



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN KONFIGURASI DESAIN TEMPAT KERJA
TERHADAP POSTUR PEKERJA YANG ERGONOMIS
PADA AREA *MATERIAL CUTTING* INDUSTRI MEBEL
MENGUNAKAN *VIRTUAL HUMAN MODELLING***

SKRIPSI

**MALOUNA FELLISA
0706274810**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENENTUAN KONFIGURASI DESAIN TEMPAT KERJA
TERHADAP POSTUR PEKERJA YANG ERGONOMIS
PADA AREA *MATERIAL CUTTING* INDUSTRI MEBEL
MENGUNAKAN *VIRTUAL HUMAN MODELLING***

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana teknik

**MALOUNA FELLISA
0706274810**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Malouna Fellisa

NPM : 0706274810

Tanda Tangan : ......

Tanggal : 30 Juni 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh:

Nama : Malouna Fellisa

NPM : 0706274810

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Penentuan Konfigurasi Desain Tempat Kerja Terhadap Postur Pekerja yang Ergonomis Pada Area *Material Cutting* Industri Mebel Menggunakan *Virtual Human Modelling*

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE

Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE

Penguji : Ir. Armand Omar Moeis, MSc

Penguji : Dr.-Ing Amalia Suzianti

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

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

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

Nama : Malouna Fellisa

NPM : 0706274810

Program Studi : Teknik Industri

Fakultas : Teknik

Jenis karya : Skripsi

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

**Penentuan Konfigurasi Desain Tempat Kerja Terhadap Postur Pekerja
yang Ergonomis Pada Area *Material Cutting* Industri Mebel
Menggunakan *Virtual Human Modelling***

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 30 Juni 2011

Yang menyatakan



(Malouna Fellisa)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT karena hanya kepada-Nya penulis menyembah dan memohon pertolongan. Atas berkat rahmat, kemudahan, dan hidayah Allah SWT, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Shalawat dan salam tidak lupa penulis haturkan kepada junjungan Nabi Muhammad SAW.

Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Program Studi Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Secara khusus penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah membantu hingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Adapun pihak-pihak tersebut antara lain:

- (1) Bapak Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE dan selaku dosen pembimbing yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, pikiran, dan kesabarannya yang luar biasa untuk memberikan motivasi, arahan, semangat, dan doa dalam menyelesaikan penelitian ini.
- (2) Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE. selaku dosen pembimbing di *Ergonomic Centre* yang telah begitu banyak memberikan motivasi, arahan dalam penyusunan penelitian ini.
- (3) Ibu Arian Dhini, ST., MT, Ibu Ir. Fauzia Dianawati, MSi, Ibu Dr. Ing Amalia Suzianti, Bapak Prof. Dr. Teuku Yuri M. Zagloel M.Eng.Sc., Bapak Ir. Sri Bintang Pamungkas, MSISE., PhD, dan Bapak Komarudin selaku dosen penguji seminar 1 dan seminar 2 yang telah memberikan masukan berharga dalam penyusunan penelitian ini.
- (4) Ibu Ir. Isti Surjandari, PhD selaku dosen pembimbing akademis.
- (5) Seluruh staf pengajar Departemen Teknik Industri UI yang telah memberikan pengetahuan dan bimbingannya sejak awal masuk kuliah.
- (6) Kepala *Human Resource Department*, kepala produksi, dan seluruh staf produksi perusahaan tempat pengambilan data, terutama staf pada Proses Pembahanan (*Material Cutting*) serta pada *supervisor* yang banyak membantu dalam usaha memperoleh data-data yang mendukung penelitian.

- (7) Keluarga penulis, yaitu Ibu dan Kakak terkasih yang selalu bersedia membantu, menyemangati dan memberikan doa yang terbaik bagi penulis.
- (8) Almarhum Ayah penulis yang selalu menjadi motivasi terbaik bagi penulis.
- (9) Seluruh teman-teman *Ergonomics Centre* yang telah bersama-sama menyelesaikan penelitian dalam waktu beberapa bulan terakhir ini: Anggraini, Radita, Heny, Yunita, Melissa, Atse, Astri, Hilda, Regina, Eva, Babski, Valen, Sherly, Ocha, Bayu, Landra, Ivan, Farouk, Yoga, Chandra, Komara, Handoyo, Satria, Andre, Agung, dan Ferdi.
- (10) Annisa Shaira yang selalu memberikan semangat, dukungan, keceriaan, dan pengalaman berharga sebagai teman satu kosan mulai awal hingga berakhirnya masa perkuliahan.
- (11) Ami, Heny, Anggraini, Radita, dan Sri Astuti, atas persahabatan dan seluruh waktu berharga yang dinikmati bersama selama masa perkuliahan.
- (12) Ami dan Berry yang telah bersama-sama dengan penulis belajar merancang proyek ditengah kesibukan perkuliahan dan penyusunan penelitian.
- (13) Teman-teman Teknik Industri Universitas Indonesia angkatan 2007, atas segala hal berharga yang telah dinikmati bersama selama 4 tahun masa perkuliahan di Universitas Indonesia.

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, 30 Juni 2010

Penulis

ABSTRAK

Nama : Malouna Fellisa
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Penentuan Konfigurasi Desain Tempat Kerja Terhadap Postur Pekerja yang Ergonomis Pada Area *Material Cutting* Industri Mebel Menggunakan *Virtual Human Modelling*

Penelitian ini membahas penentuan konfigurasi desain tempat kerja yang berupa desain meja kerja dan peralatan *manual handling* berdasarkan tinjauan ergonomi terhadap postur dan kapasitas beban angkat pekerja pada area *material cutting* industri mebel. Penelitian dilakukan melalui pembuatan *virtual human modelling* pada *software* Jack. Analisis dilakukan menggunakan *Posture Evaluation Index* (PEI) yang mengintegrasikan metode LBA, OWAS, dan RULA serta NIOSH *Lifting*. Hasil penelitian berupa konfigurasi desain tempat kerja paling ergonomis terhadap postur pekerja pada area *material cutting* dan rekomendasi alat bantu *manual handling* yang mampu memperbaiki penilaian postur pekerja sehingga dapat mengurangi risiko terjadinya *muskuloskeletal disorder* pada pekerja serta meningkatkan produktivitas.

Kata Kunci :
Tempat Kerja, Postur, Ergonomis, *Material Cutting*, *Virtual Human Modelling*, *Posture Evaluation Index*, NIOSH *Lifting*

ABSTRACT

Name : Malouna Fellisa
Study Program : Industrial Engineering
Title : Determination of Workplace Design Configuration To Ergonomic Worker Posture in Material Cutting Area of Furniture Industry Using Virtual Human Modelling

This study discusses the determination of workplace design configuration that consists of working table and manual handling tool design based on ergonomic assesment to posture and lifting load capacity in material cutting area of furniture industry. The research was done using virtual human modelling in Jack software. The analysis was performed by using Posture Evaluation Index (PEI), which integrates the value of LBA, OWAS, and RULA and using NIOSH Lifting method. The result is ergonomic workplace design configuration to material cutting area workers and recommendation of manual handling tool that can improve posture assessment so that it will reduce the risks that may cause musculoskeletal disorders in workers and also improve productivity.

Key words :
Workplace, Posture, Ergonomic, Material Cutting, Virtual Human Modelling, Posture Evaluation Index, NIOSH Lifting

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
ABSTRAK.....	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
1. PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang Masalah.....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	6
1.3 Perumusan Masalah.....	6
1.4 Tujuan Penelitian.....	8
1.5 Ruang Lingkup Penelitian.....	8
1.6 Metodologi Penelitian.....	9
1.7 Sistematika Penulisan.....	11
2. LANDASAN TEORI.....	13
2.1 Faktor Manusia dalam Sistem Kerja.....	13
2.2 Ergonomi.....	14
2.2.1 Pengertian Ergonomi.....	14
2.2.2 Tujuan dan Pendekatan Ergonomi.....	15
2.3 Pendekatan Ergonomi dalam Perancangan Tempat Kerja.....	17
2.3.1 Posisi Kerja dalam Stasiun Kerja.....	20
2.3.1 Aktivitas <i>Handling</i> dan <i>Lifting</i>	23
2.4 Antropometri.....	24
2.4.1 Pengertian Antropometri.....	24
2.4.2 Klasifikasi Antropometri dan Dimensi Umum Tubuh yang Diukur	26
2.5 <i>Musculoskeletal Disorders</i> (MSDs).....	30
2.6 <i>Virtual Environment</i> (VE).....	31
2.6.1 Pengertian <i>Virtual Environment</i> (VE).....	31
2.6.1 <i>Virtual Environment</i> (VE) pada <i>Software Jack</i>	32
2.7 <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI).....	34
2.7.1 <i>Static Strength Prediction</i> (SSP).....	38
2.7.2 <i>Low Back Analysis</i> (LBA).....	39
2.7.3 <i>Ovako Working Posture Analysis System</i> (OWAS).....	42
2.7.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment Analysis</i> (RULA).....	44
2.8 <i>NIOSH Lifting Index</i> (LI).....	48
3. METODE PENELITIAN.....	52
3.1 Gambaran Umum PT. X.....	52

3.1.1	Profil Umum PT.X.....	52
3.1.2	Proses Produksi.....	55
3.1.3	Area <i>Material Cutting</i>	57
3.2	Penentuan Objek Penelitian.....	59
3.2.1	Data Identifikasi Permasalahan Pekerja.....	59
3.2.2	Penentuan Stasiun Kerja.....	62
3.2.3	Penentuan Variabel yang Diteliti.....	64
3.3	Pengumpulan Data.....	67
3.3.1	Data Antropometri.....	67
3.3.2	Data Spesifikasi Stasiun Kerja.....	73
3.3.2.1	Spesifikasi Stasiun Kerja Pemotongan.....	73
3.3.2.2	Spesifikasi Stasiun Kerja Penyerutan.....	74
3.3.2.3	Spesifikasi Stasiun Kerja Pembelahan.....	75
3.3.3	Data Postur dan Metode Kerja.....	76
3.3.3.1	Postur dan Metode Kerja di Stasiun Kerja Pemotongan.....	76
3.3.3.2	Postur dan Metode Kerja di Stasiun Kerja Penyerutan.....	78
3.3.3.3	Postur dan Metode Kerja di Stasiun Kerja Pembelahan.....	79
3.4	Pembuatan Model.....	82
3.4.1	Alur Pembuatan Model pada <i>Virtual Environment</i>	82
3.4.1.1	Pembuatan <i>Virtual Environment</i>	83
3.4.1.2	Pembuatan <i>Virtual Human</i>	84
3.4.1.3	Penempatan <i>Virtual Human</i> Pada <i>Virtual Environment</i>	85
3.4.1.4	Pemberian Tugas Kerja Pada <i>Virtual Human</i>	86
3.4.1.5	Pengujian Verifikasi dan Validasi Model.....	86
3.4.1.6	Evaluasi Terhadap Kinerja Tugas.....	88
3.4.2	Penentuan Konfigurasi.....	91
4.	ANALISIS.....	97
4.1	Analisis Kondisi Aktual.....	97
4.1.1	Analisis Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Pemotongan.....	98
4.1.1.1	Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Memotong Material Kayu.....	98
4.1.1.2	Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pemotongan).....	104
4.1.1.3	Analisis LI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pemotongan).....	111
4.1.2	Analisis Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Penyerutan	113
4.1.2.1	Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Menyerut Material Kayu.....	113
4.1.2.2	Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Penyerutan).....	119
4.1.2.3	Analisis LI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Penyerutan).....	126
4.1.3	Analisis Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Pembelahan.....	127
4.1.3.1	Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Membelah Material Kayu.....	127
4.1.3.2	Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pembelahan).....	134

4.1.3.3 Analisis LI Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Pembelahan.....	134
4.2 Analisis Kondisi Usulan	136
4.2.1 Analisis Kondisi Usulan Model Stasiun Kerja Pemotongan.....	136
4.2.1.1 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Memotong Material Kayu.....	137
4.2.1.2 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	144
4.2.2 Analisis Kondisi Usulan Model Stasiun Kerja Penyerutan.....	147
4.2.2.1 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Menyerut Material Kayu.....	147
4.2.2.2 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	155
4.2.3 Analisis Kondisi Usulan Model Stasiun Kerja Pembelahan.....	158
4.2.3.1 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Membelah Material Kayu.....	158
4.2.3.2 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan).....	165
4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual Dan Usulan.....	168
4.3.1 Analisis Perbandingan Model Stasiun Kerja Pemotongan.....	168
4.3.1.1 Analisis Perbandingan PEI Posisi Memotong Material Kayu.....	168
4.3.1.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	169
4.3.2 Analisis Perbandingan Model Stasiun Kerja Penyerutan.....	170
4.3.2.1 Analisis Perbandingan PEI Posisi Menyerut Material Kayu	171
4.3.2.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	171
4.3.3 Analisis Perbandingan Model Stasiun Kerja Pembelahan.....	173
4.3.3.1 Analisis Perbandingan PEI Posisi Membelah Material Kayu.....	173
4.3.3.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu (Stasiun Kerja Pembelahan).....	174
4.3.4 Analisis Perbandingan Model Kondisi Aktual dan Usulan Secara Keseluruhan.....	175
5. KESIMPULAN.....	178
5.1 Kesimpulan.....	178
5.2 Saran.....	181
DAFTAR REFERENSI.....	182

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Diagram Keterkaitan Masalah	7
Gambar 1.2	Diagram Alir Metodologi Penelitian	11
Gambar 2.1	Interaksi Manusia Dalam Sistem Kerja	14
Gambar 2.2	Kriteria untuk Tinggi Kerja Optimal dalam Aktivitas Industri.....	21
Gambar 2.3	Zona Ketinggian Pengangkatan Benda Berdasarkan Beban (kg).....	24
Gambar 2.4	Jangkauan Tinggi untuk Aktivitas Mengangkat (<i>Lifting</i>)	24
Gambar 2.5	Dimensi Umum Tubuh Manusia yang Diukur untuk Antropometri	27
Gambar 2.6	Tampilan <i>Virtual Environment</i> Pada <i>Software Jack</i>	32
Gambar 2.7	Diagram Alur Penggunaan Pendekatan PEI	35
Gambar 2.8	Contoh <i>Output</i> Analisis SSP pada Jack TAT	38
Gambar 2.9	Perhitungan Nilai Tekanan Pada LBA	40
Gambar 2.10	Contoh Manusia dengan Berat 75 kg Mengangkat Beban 25 kg.....	40
Gambar 2.11	Contoh <i>Output</i> Analisis LBA pada Jack TAT	42
Gambar 2.12	Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh	43
Gambar 2.13	Contoh <i>Output</i> Analisis OWAS pada Jack TAT	44
Gambar 2.14	Pengelompokan Tubuh Metode RULA	47
Gambar 2.15	Contoh <i>Output</i> Analisis RULA pada Jack TAT	48
Gambar 3.1	Denah Pabrik PT. X	54
Gambar 3.2	<i>Flowchat</i> Alur Proses Produksi	56
Gambar 3.3	Rekapitulasi Pertanyaan ke Pekerja Bagian Produksi Mengenai Proses/Area Kerja yang paling Sulit dan Berat untuk Dilakukan	59
Gambar 3.4	Grafik Keluhan Hasil Pembobotan Keluhan Bagian-Bagian Tubuh Pekerja Area <i>Material Cutting</i>	62
Gambar 3.5	Bentuk <i>Vacuum Lifter</i> yang Disimulasikan	66
Gambar 3.6	Hasil Keluaran <i>Software Jack</i> untuk Dimensi Ukuran Tubuh dengan Presentil 5	70
Gambar 3.7	Hasil Keluaran <i>Software Jack</i> untuk Dimensi Ukuran Tubuh dengan Presentil 95	71
Gambar 3.8	Hasil Keluaran <i>Software Jack</i> untuk Dimensi Ukuran Tubuh dengan Presentil 50	72
Gambar 3.9	Mesin <i>Radial Arm Saw</i>	73
Gambar 3.10	Material Kayu Pada Stasiun Kerja Pemotongan.....	74
Gambar 3.11	Mesin <i>Thickness Planer</i>	74
Gambar 3.12	Material Kayu Pada Stasiun Kerja Penyerutan.....	75
Gambar 3.13	Mesin <i>Single Rip Saw</i>	75
Gambar 3.14	Material Kayu Pada Stasiun Kerja Pembelahan	76
Gambar 3.15	Postur Kerja Saat Melakukan Proses Pemotongan Material Kayu	77
Gambar 3.16	<i>Flowchart</i> Proses Kerja di Stasiun Kerja Pemotongan	77
Gambar 3.17	Postur Kerja Saat Melakukan Proses Penyerutan Material	

	Kayu.....	78
Gambar 3.18	<i>Flowchart</i> Proses Kerja di Stasiun Kerja Penyerutan	79
Gambar 3.19	Postur Kerja Saat Melakukan Proses Pembelahan Material Kayu.....	80
Gambar 3.20	<i>Flowchart</i> Proses Kerja di Stasiun Kerja Pembelahan	81
Gambar 3.21	Alur Proses Pembuatan Model.....	82
Gambar 3.22	Peletakkan Objek Kerja dalam <i>Virtual Environment</i>	83
Gambar 3.23	Pembuatan Human Melalui <i>Basic Human Scaling</i>	84
Gambar 3.24	Pembuatan Human Melalui <i>Advance Scaling</i>	84
Gambar 3.25	Pembuatan Posisi Tangan dengan <i>Human Control</i>	85
Gambar 3.26	Pembuatan Posisi Tangan dengan <i>Adjust Joint</i>	85
Gambar 3.27	Tampilan Jendela Animasi.....	86
Gambar 3.28	Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri Manusia Virtual.....	87
Gambar 3.29	Uji Analisis Unit pada Durasi Waktu pada <i>Animation System</i>	87
Gambar 3.30	Analisis SSP pada Jack TAT.....	88
Gambar 3.31	Analisis LBA pada Jack TAT.....	89
Gambar 3.32	Analisis OWAS pada Jack TAT.....	89
Gambar 3.33	Analisis RULA pada Jack TAT.....	90
Gambar 3.34	Analisis NIOSH pada Jack TAT.....	90
Gambar 3.35	Ukuran Antropometri dengan Presentil 50.....	92
Gambar 3.36	Ilustrasi Perbandingan Ketinggian Permukaan Meja Kerja untuk Kondisi Aktual dan Usulan.....	94
Gambar 4.1	Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu.....	99
Gambar 4.2	<i>Output</i> Nilai LBA Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95.....	100
Gambar 4.3	<i>Output</i> Nilai OWAS Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95.....	101
Gambar 4.4	Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Pemotongan).....	105
Gambar 4.5	Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemotongan).....	108
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual Pada Stasiun Kerja Pemotongan.....	111
Gambar 4.7	Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu.....	114
Gambar 4.8	<i>Output</i> Nilai LBA Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95.....	115
Gambar 4.9	<i>Output</i> Nilai OWAS Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95.....	116
Gambar 4.10	Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	120
Gambar 4.11	Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	123
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual Pada Stasiun Kerja Penyerutan.....	125
Gambar 4.13	Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu.....	128
Gambar 4.14	Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara	

	Manual Pada Stasiun Kerja Pembelahan.....	134
Gambar 4.15	Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 5.....	137
Gambar 4.16	Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 95.....	141
Gambar 4.17	Perbandingan PEI Usulan Memotong Material Kayu.....	144
Gambar 4.18	Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	145
Gambar 4.19	Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 5.....	148
Gambar 4.20	Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95.....	151
Gambar 4.21	Perbandingan PEI Usulan Menyerut Material Kayu.....	154
Gambar 4.22	Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	156
Gambar 4.23	Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5.....	159
Gambar 4.24	Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95.....	162
Gambar 4.25	Perbandingan PEI Usulan Membelah Material Kayu.....	164
Gambar 4.26	Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan).....	166
Gambar 4.27	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Memotong Material Kayu.....	169
Gambar 4.28	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	170
Gambar 4.29	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Menyerut Material Kayu.....	171
Gambar 4.30	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	172
Gambar 4.31	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Membelah Material Kayu.....	173
Gambar 4.32	Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pembelahan).....	174

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Komponen-Komponen Dalam Sistem Kerja.....	14
Tabel 2.2	Ketinggian Meja Kerja Ergonomis untuk Posisi Berdiri dan Duduk.....	21
Tabel 2.3	Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Berdiri.....	22
Tabel 2.4	Postur Kerja dan Keluhan Sakit pada Tubuh.....	22
Tabel 2.5	Postur Kerja yang Diutamakan pada Beberapa Tipe Pekerjaan.....	23
Tabel 2.6	Aturan Ketinggian Pengangkatan Berdasarkan Beban Berdasarkan HSE	23
Tabel 2.7	Pembobotan Skor Pada OWAS.....	43
Tabel 2.8	Level Tindakan Berdasarkan Skor RULA.....	45
Table 2.9	<i>Frequency Multiplier</i>	50
Table 2.10	<i>Coupling Multiplier</i>	50
Tabel 3.1	Keterangan Skala Tingkatan dan Frekuensi Nyeri Pada Kuesioner.....	60
Tabel 3.2	Hasil Pembobotan Nilai Keluhan Masing -Masing Pekerja.....	61
Tabel 3.3	Data Antropometri Pekerja Area <i>Material Cutting</i>	67
Tabel 3.4	Data Presentil Antopometri Pekerja Area <i>Material Cutting</i>	68
Tabel 3.5	Data Presentil Antopometri Indonesia.....	68
Tabel 3.6	Perhitungan <i>Standing Elbow Height</i> Presentil 50 untuk Konfigurasi Ketinggian Permukaan Meja Kerja Pada Stasiun Kerja.....	93
Tabel 3.7	Rekapitulasi Konfigurasi Ketinggian Permukaan Meja Kerja Usulan Pada Masing-Masing Proses Kerja Pada Stasiun Kerja.....	93
Tabel 3.8	Perhitungan <i>Standing Elbow Height</i> Presentil 5 dan 95 untuk Konfigurasi Ketinggian Peralatan <i>Manual Handling</i>	95
Tabel 3.9	Ringkasan Konfigurasi Desain Tempat Kerja.....	96
Tabel 4.1	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu.....	98
Tabel 4.3	Skor RULA Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu.....	102
Tabel 4.4	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Pemotongan).....	105
Tabel 4.5	Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil (Stasiun Kerja Pemotongan).....	106
Tabel 4.6	Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Pemotongan).....	107
Tabel 4.7	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemotongan).....	108
Tabel 4.8	Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemotongan).....	109
Tabel 4.9	Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemotongan).....	110

Tabel 4.10	Perhitungan RWL dan LI untuk Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pemotongan).....	112
Tabel 4.11	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu.....	114
Tabel 4.12	Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu	114
Tabel 4.13	Skor RULA Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu.....	117
Tabel 4.14	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	120
Tabel 4.15	Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	121
Tabel 4.16	Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	122
Tabel 4.17	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	123
Tabel 4.18	Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	123
Tabel 4.19	Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan).....	125
Tabel 4.20	Perhitungan RWL dan LI untuk Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Penyerutan).....	126
Tabel 4.21	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu.....	128
Tabel 4.22	Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu.....	129
Tabel 4.23	Skor RULA Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu.....	131
Tabel 4.24	Perhitungan RWL dan LI untuk Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pembelahan).....	135
Tabel 4.25	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 5.....	137
Tabel 4.26	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 5.....	138
Tabel 4.27	Skor RULA Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu Presentil 5.....	140
Tabel 4.28	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 95.....	140
Tabel 4.29	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 95.....	141
Tabel 4.30	Skor RULA Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 95.....	143
Tabel 4.31	Perhitungan Ketinggian Penggunaan <i>Vacuum Lifter</i> Presentil 5 dan 95.....	145
Tabel 4.32	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	145

Tabel 4.33	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	146
Tabel 4.34	Skor RULA Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	147
Tabel 4.35	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu (<i>Thickness Planer</i>) dari Presentil 5.....	148
Tabel 4.36	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 5.....	149
Tabel 4.37	Skor RULA Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 5.....	151
Tabel 4.38	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95.....	152
Tabel 4.39	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95.....	152
Tabel 4.40	Skor RULA Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95.....	154
Tabel 4.31	Perhitungan Ketinggian Penggunaan <i>Vacuum Lifter</i> Presentil 5 dan 95.....	155
Tabel 4.40	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	156
Tabel 4.41	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	156
Tabel 4.42	Skor RULA Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	158
Tabel 4.43	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5.....	158
Tabel 4.44	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5.....	159
Tabel 4.45	Skor RULA Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5.....	161
Tabel 4.46	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95.....	162
Tabel 4.47	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95.....	162
Tabel 4.48	Skor RULA Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95.....	164
Tabel 4.49	Perhitungan Ketinggian Penggunaan <i>Vacuum Lifter</i> Presentil 5 dan 95.....	165
Tabel 4.50	Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan).....	166
Tabel 4.51	Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu	

	(Stasiun Kerja Pembelahan).....	166
Tabel 4.52	Skor RULA Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan).....	168
Tabel 4.53	Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Memotong Material Kayu.....	169
Tabel 4.54	Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pemotongan).....	170
Tabel 4.55	Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Menyerut Material Kayu.....	171
Tabel 4.56	Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Penyerutan).....	173
Tabel 4.57	Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Membelah Material Kayu.....	174
Tabel 4.58	Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pembelahan).....	175



BAB 1

PENDAHULUAN

Bab 1 adalah bab pendahuluan yang berisikan latar belakang pemilihan topik penelitian. Hal ini diperjelas dengan menguraikan diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan agar dapat diperoleh gambaran awal tentang langkah-langkah dan proses penyusunan penelitian ini.

1.1 Latar Belakang Masalah

Selama lebih dari dua dekade terakhir, kontribusi sektor manufaktur yang besar terhadap perekonomian nasional menyebabkan siklus perekonomian tidak terlepas dari dinamika sektor manufaktur. Menurut Kementerian Perindustrian (2010), peran industri manufaktur dalam perekonomian Indonesia telah meningkat secara substansial, dari 19% terhadap PDB tahun 1990 menjadi 26% tahun 2009, walaupun selama tahun 1990-2008, sektor industri juga sempat mengalami penurunan pertumbuhan akibat adanya krisis.

Salah satu industri manufaktur yang memiliki peranan cukup signifikan bagi kontribusi perekonomian nasional yaitu industri pengolahan kayu. Menurut Departemen Perindustrian (2007), nilai produksi industri ini pada tahun 2006 mencapai Rp 92,5 triliun atau 12,13% dari total output sektor industri manufaktur atau 3,11% dari total *output non-migas*, sementara nilai ekspornya tahun 2006 mencapai USD 7,52 milyar atau 11,4% dari total industri manufaktur atau 9,33% terhadap total ekspor nasional. Dalam hal penyerapan tenaga kerja, industri pengolahan kayu mampu menyerap 1,3 juta orang dan jumlah ini belum termasuk industri kecil dan industri rumah tangga.

Salah satu industri pengolahan kayu di Indonesia yang masih terus berpotensi berkembang dan turut berperan menyumbang devisa besar bagi negara adalah industri mebel (*furniture*). ASMINDO atau Asosiasi Mebel Indonesia (2007) melaporkan selama 2000-2005 ekspor mebel Indonesia meningkat 17% dengan total nilai ekspor mebel adalah sekitar USD 1,78 milyar pada 2005 dengan enam negara tujuan utama ekspor, yaitu Amerika Serikat (37%), Jepang

(12%), Inggris (8%), Belanda (8%), Jerman (7%), dan Perancis (7%). Indonesia juga berhasil mempertahankan pangsa pasar ekspor dunia untuk mebel sebesar 2.5% dari tahun 2003-2005 ditengah lonjakan tajam pangsa pasar yang direbut oleh China. Tercatat banyak perusahaan mebel, baik industri skala besar, kecil, maupun menengah dimana terdapat 350 perusahaan yang tercatat sebagai anggota ASMINDO disamping ribuan perusahaan lainnya yang belum terdaftar (ASMINDO, 2007).

Di tengah tingginya permintaan akan produk-produk mebel baik di pasar lokal maupun internasional, industri penghasil mebel selalu berusaha bersaing satu sama lain untuk membuat produk seperti meja dan kursi yang paling fungsional, menarik dan juga ergonomis bagi penggunaanya untuk meningkatkan daya saing produk. Industri mebel sendiri tergolong sebagai salah satu industri kreatif dimana produk-produk yang dihasilkan sangat mengandalkan kreativitas dan keahlian tangan-tangan terampil manusia melalui para pekerjanya. Akan tetapi, sangat disayangkan ternyata industri mebel pada proses produksinya sendiri kurang memperhatikan faktor ergonomi bagi pekerjanya dimana resiko *Musculoskeletal Disorders* pada industri ini cenderung lebih tinggi daripada industri manufaktur lainnya (NIOSH, 2009).

Istilah *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) sering juga disebut sebagai *Repetitive Motion Injury* (RMI) atau *Cumulative Trauma Disorder* (CTD). MSDs merupakan pengelompokan dari suatu penyakit atau kelainan yang disebabkan oleh kegiatan berulang (*repetitive*), pekerjaan statis, pemuatan yang terus menerus pada struktur jaringan, dan kurangnya waktu penyembuhan dalam waktu yang lama. Apabila kondisi ini terjadi pada pekerja tentunya akan menimbulkan potensi terjadinya penurunan konsentrasi, kesehatan, dan kesalahan kerja yang berdampak pada penurunan performa pekerja dan produktivitas produksi perusahaan.

U.S. Bureau of Labor Statistics melaporkan terdapat 9.600 kasus MSDs dimana sebanyak 7.000 kasus MSDs terjadi pada industri mebel (U.S. Department, 2002). *N.C. Industrial Commission* di Amerika mengungkapkan bahwa pada tahun 1996, industri mebel di Amerika membayar sekitar USD 33.000 sebagai biaya kompensasi untuk setiap klaim MSDs yang ada dengan rata-rata hampir kehilangan 97 hari kerja untuk setiap klaim yang diajukan sehingga

hal ini mengakibatkan kerugian industri dari segi produksi, pendapatan, biaya penggantian pekerja dan pelatihan, biaya jaminan pada keluarga pekerja, serta masih banyak lagi kerugian lainnya (North, 1996).

Fakta yang juga cukup mengkhawatirkan adalah bahwa resiko jumlah kecelakaan kerja pada industri mebel cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan sektor industri ini di negara-negara Asia, terutama di Asia Tenggara (Ratnasingam, Ioras, Swan, Yoon, Thanasegaran, 2011). Oleh karena itu, resiko munculnya kasus MSDs pada industri mebel serta biaya kompensasi yang ditimbulkannya diprediksi masih akan mengalami peningkatan sehingga baik secara langsung maupun tidak langsung hal ini dapat menurunkan performa pekerja sehingga dapat merugikan industri.

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk meminimalisasi resiko MSDs sekaligus meningkatkan produktivitas dan memperkuat industri mebel di Indonesia yaitu dengan merancang tempat kerja serta lingkungan yang kondusif bagi industri tersebut, terutama di area produksi. Hal ini mengingat produksi merupakan bagian yang sangat penting dalam sebuah industri manufaktur mengingat segala aktivitas menghasilkan produk berlangsung dalam proses tersebut dengan melibatkan keseluruhan faktor produksi yang terlibat didalamnya. Menurut Wignjosoebroto (2000), di dalam dunia industri sistem produksi tersebut dapat dirancang secara optimal melalui pendekatan ergonomis untuk menjalankan aktivitas kerja tertentu dengan didukung keserasian hubungan antara manusia dengan sistem kerja yang dikendalikannya (*man-machine system*).

Faktor manusia atau seringkali disebut dengan istilah ergonomi adalah cabang ilmu yang mempelajari manusia dan interaksi mereka dengan lingkungan kerja beserta peralatan, produk, dan fasilitas yang digunakan sehari-hari dalam rangka menyesuaikan lingkungan kerja dan peralatan tersebut agar lebih sesuai dengan batas kemampuan mereka (Sanders, McCormick, 1993). Keilmuan ergonomi berupaya memanfaatkan informasi-informasi mengenai sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia dalam merancang sistem kerja sehingga manusia dapat mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu dengan lebih efektif, aman, dan nyaman.

Adapun salah satu indikasi utama penyebab tingginya resiko MSDs pada industri mebel yaitu dikarenakan industri mebel banyak mengandalkan kemampuan pekerjanya untuk melakukan berbagai aktivitas, mengingat banyak proses produksi dalam pembuatan mebel yang tidak dapat dilakukan oleh bantuan mesin atau otomatisasi, terutama pada industri mebel skala kecil dan menengah. Industri mebel merupakan bagian dari industri semi berat dan peran pekerja pada proses produksi tidak dapat dihindarkan, seperti pada pekerjaan *manual handling* (bergerak, mendorong, dan menekan) serta pekerjaan yang bersifat statis sehingga hal ini dapat menyebabkan MSDs, terutama pada bagian punggung, bahu, lengan, pergelangan tangan, dan leher pekerja (Mirmohamadi, Seraji, Nasl, Shahtaheri, Lahmi, Ghasemkhani, 2004).

Faktor lain yang dapat meningkatkan tingginya resiko MSDs yaitu *ergonomic stressors* atau faktor-faktor tekanan kepada pekerja dari sisi ergonomi akibat tidak ergonomisnya sistem dan lingkungan kerja yang ada. Dalam industri mebel, faktor *ergonomic stressors* pada pekerja diantaranya terdiri dari gaya atau usaha fisik (*physical force*), repetisi kerja (*repetition*), postur kerja yang janggal (*awkward postures*), postur kerja yang statis (*static postures*), tekanan akibat kontak dengan peralatan atau produk (*contact stress*), getaran (*vibration*) dan faktor lingkungan lainnya (*American Furniture Manufacturers Association*, 2002). Dalam hal ini, postur kerja pada pekerja merupakan salah faktor dominan yang berpengaruh terhadap resiko MSDs.

Adapun postur kerja yang dimaksud meliputi metode kerja dan posisi pekerja pada area kerja, diantaranya yaitu merancang kursi, meja kerja, dan proporsi tipe kerja terhadap ketinggian; dan melibatkan prinsip ergonomi dalam pergerakan kerja dengan tangan (Pheasant, 1995). Selain mempertimbangkan metode dan posisi kerja, menurut Maras Karwowski (1999) untuk menentukan postur kerja, prinsip antropometri atau pengukuran tubuh manusia pekerja dalam mendesain stasiun kerja juga dapat meminimalisasi timbulnya MSDs.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, diperlukan rancangan tempat kerja dengan memperhatikan aspek ergonomi. Dalam hal ini diperlukan tinjauan postur untuk menentukan postur kerja yang baik dalam bekerja disamping peralatan *manual handling* yang dapat membantu proses kerja yang

akan mendukung terciptanya rancangan area kerja yang ergonomis sehingga pekerja dapat bekerja dengan lebih efektif, aman, dan nyaman.

Adapun penelitian difokuskan pada penentuan konfigurasi desain tempat kerja terhadap tinjauan postur kerja yang ergonomis, berupa desain stasiun kerja dan peralatan *manual handling* pada area *material cutting* di industri mebel. Proses tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan hasil penelitian pendahuluan berupa kuesioner dan wawancara kepada pekerja di salah satu industri mebel dimana pekerja pada area *material cutting* dinilai paling beresiko terkena MSDs dibandingkan dengan area kerja yang lain dimana postur pekerja yang janggal dengan posisi kerja yang cenderung membungkuk. Hampir seluruh aktivitas kerja dilakukan dengan posisi berdiri atau berjalan dengan tingkat *repetitive* yang tinggi disertai beban angkat yang cukup besar (antara 5 kg sampai 40 kg).

Adapun tempat pengambilan data penelitian merupakan perusahaan mebel skala menengah yang memproduksi produk mebel dengan jangkauan pasar lokal dan internasional. Sekitar 50% aktivitas produksinya mengandalkan keahlian pekerjanya atau bekerja secara manual (*manual handling*) dan sisanya mengandalkan kemampuan mesin atau otomatisasi.

Dalam penelitian ini akan ditentukan konfigurasi yang memungkinkan perbaikan terhadap rancangan tempat kerja dengan menggunakan *virtual human modelling* pada *virtual environment*, yaitu menggunakan *Posture Evaluation Index* (PEI) berdasarkan penilaian kenyamanan postur pekerja yang dimodelkan dalam *software* Jack berdasarkan hasil *Task Analysis Toolkits*. PEI merupakan integrasi dari hasil penilaian postur kerja menggunakan metode *Lower Back Analysis* (LBA), *Ovako Ovako Working Posture Analysis System* (OWAS), dan *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) yang dirangkum dalam tiga variabel. Penilaian *Lifting Index* (LI) berdasarkan standar NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) juga dilakukan untuk meninjau batas kemampuan pekerja dalam mengangkat material yang diproses.

Keunggulan penggunaan *virtual human modelling* yaitu memungkinkan pembuatan usulan penyesuaian postur pekerja terhadap perancangan tempat kerja, tanpa melakukan penerapan langsung pada subjek di lingkungan aktual sehingga

mampu menekan biaya, meminimalisasi resiko kerja pada subjek hidup, dan mempendek jangka waktu simulasi ergonomi pada proses perancangan kerja.

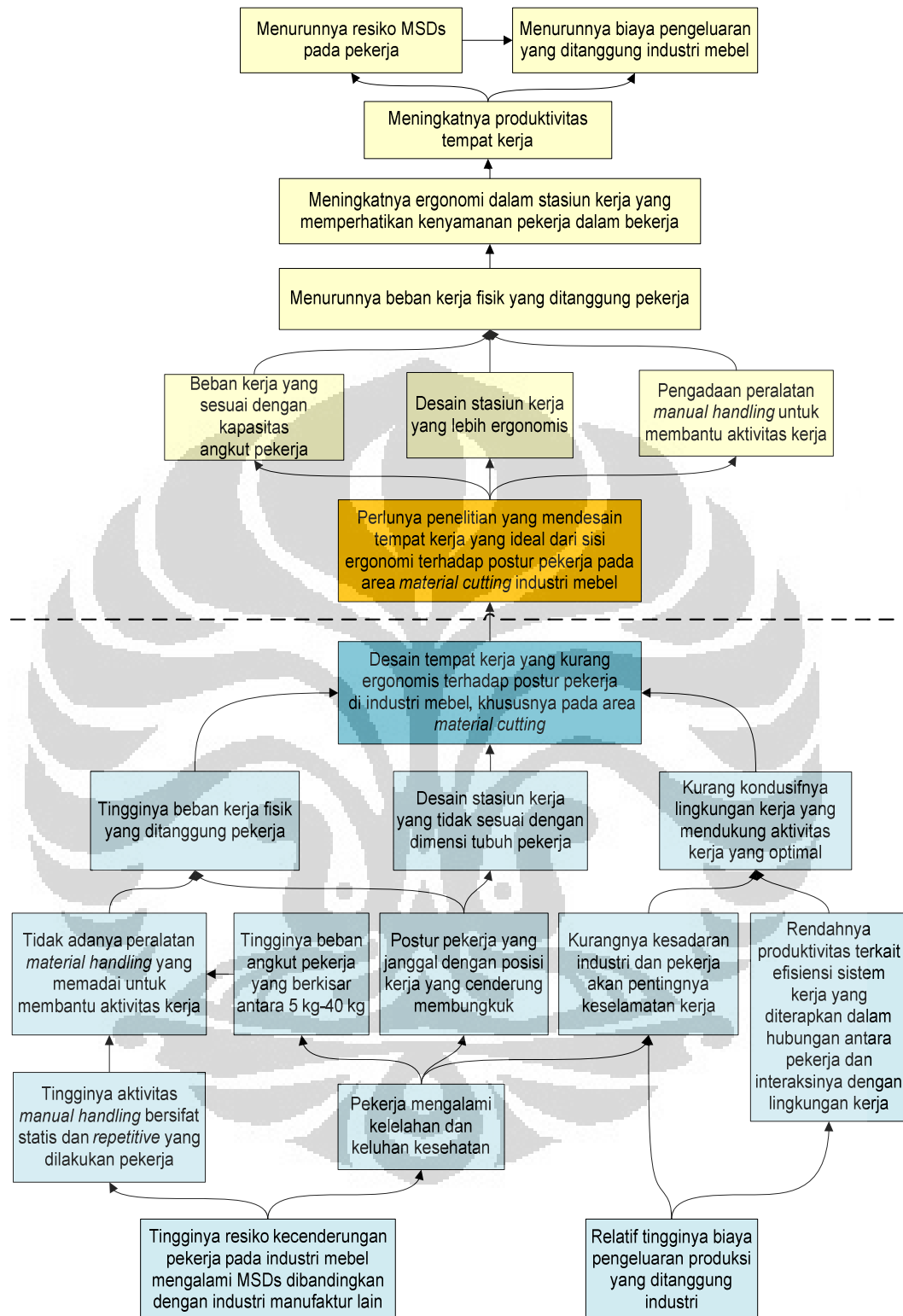
Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam menentukan rancangan tempat kerja yang ergonomis, khususnya pada area *material cutting* di industri mebel ditinjau postur pekerja serta kemampuan beban angkat material sehingga dapat meminimalisir resiko terjadinya MSDs dan kerugian finansial serta meningkatkan performa pekerja dan produktivitas tempat kerja. Melalui hal tersebut, diharapkan industri mebel yang ada di Indonesia mampu meningkatkan produktivitas dan daya saing, baik di pasar lokal maupun internasional.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Latar belakang permasalahan yang ada kemudian digambarkan dalam diagram keterkaitan masalah pada Gambar 1.1. Diagram ini menjabarkan keterkaitan secara terintegrasi, mulai dari akar permasalahan, sub-sub masalah, solusinya, hingga mencapai tujuan dan *outcome* akhir penelitian.

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah, pokok permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah kurang ergonomisnya desain tempat kerja yang berupa desain meja kerja dan peralatan *manual handling* berdasarkan tinjauan postur dan kapasitas pekerja mengangkat beban pada area *material cutting* di industri mebel. Adapun penentuan konfigurasi desain tempat kerja tersebut akan dibuat melalui pembuatan model simulasi kerja manusia virtual (*virtual human modelling*). Penelitian akan difokuskan pada tinjauan postur dengan analisis *Posture Evaluation Index* (PEI) dan *Lifting Index* (LI) dengan variabel konfigurasi desain berupa jenis kelamin pekerja, presentil antropometri pekerja, ketinggian permukaan meja kerja pada stasiun kerja serta peralatan *manual handling* untuk mendapatkan rancangan sistem kerja yang dinilai paling ergonomis untuk pekerja pada elemen kerja yang berbeda- beda.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menentukan konfigurasi yang paling ideal dari desain tempat kerja yang berupa desain meja kerja dan peralatan *manual handling* berdasarkan tinjauan ergonomi terhadap postur dan kapasitas beban angkat pekerja melalui pembuatan model simulasi kerja manusia virtual (*virtual human modelling*) pada area *material cutting* di industri mebel.

Adapun manfaat dari penelitian yang dilakukan antara lain yaitu:

1. Meminimalisasi dampak jangka panjang dari resiko terjadinya kelelahan, keluhan kesehatan *musculoskeletal disorders*, dan kecelakaan kerja pada operator akibat desain tempat kerja yang kurang ideal dari sisi ergonomi.
2. Mengurangi biaya kompensasi yang ditimbulkan akibat ketidakhadiran pekerja pada jadwal yang ditetapkan sebagai dampak dari keluhan kesehatan.
3. Meningkatkan performa desain tempat kerja dalam rangka meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam sistem kerja.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam penelitian ini dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian. Adapun batasan masalahnya yaitu:

1. Penelitian dilakukan pada tiga stasiun kerja utama pada area *material cutting* di salah satu industri mebel.
2. Analisis simulasi postur kerja dilakukan dengan menggunakan *Jack Analysis Toolkit* yang ada pada *software* simulasi Jack, tepatnya dengan menggunakan pendekatan *Posture Evaluation Index* dan *Lifting Index*.
3. Variabel analisis postur yang digunakan meliputi jenis kelamin pekerja, presentil antropometri pekerja, ketinggian permukaan meja kerja pada stasiun kerja serta peralatan *manual handling*.
4. Penelitian dibatasi hanya sampai memberikan rekomendasi perbaikan pada industri mebel khususnya industri mebel skala menengah, tidak sampai tahap implementasi rekomendasi tersebut.
5. Pemecahan masalah dilakukan tanpa mempertimbangkan faktor biaya yang dikeluarkan untuk implementasi rekomendasi ergonomi yang diberikan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang akan digunakan dalam skripsi ini secara sistematis dibagi menjadi beberapa tahapan yaitu sebagai berikut.

1. Tahap Persiapan Penelitian

- Menentukan topik penelitian.
- Mencari jurnal dan referensi yang berhubungan dengan topik yang dipilih.
- Mengidentifikasi kebutuhan objektif dari penelitian.
- Melakukan penelitian pendahuluan terkait karakteristik objek penelitian.
- Menentukan perumusan masalah, tujuan, dan ruang lingkup penelitian.
- Mengidentifikasi variabel dan data penelitian yang akan diambil.

2. Tahap Pengumpulan Data Penelitian

- Menyebarkan kuesioner awal penelitian untuk mengetahui realita masalah yang terjadi berupa keluhan yang dirasakan pekerja di stasiun kerja.
- Melakukan observasi lapangan mengenai mengenai aktivitas dan postur kerja yang paling bermasalah pada stasiun kerja.
- Merancang sistem pengambilan data di lapangan.
- Melakukan pengambilan data pada stasiun kerja utama. Data-data utama yang diperlukan yaitu data identifikasi keluhan pekerja, penentuan stasiun kerja dan variabel yang diteliti, spesifikasi stasiun kerja, postur dan metode kerja, dan antropometri pekerja.

3. Tahap Pengolahan Data Penelitian

- Membuat desain stasiun kerja dengan menggunakan *software NX*.
- Membuat model simulasi postur kerja melalui *virtual human modelling* pada *virtual environment* yang ada pada *software Jack*.
- Merancang konfigurasi stasiun kerja dan peralatan *manual handling* yang akan dimodelkan.
- Membuat simulasi kerja dari rancangan konfigurasi yang telah dibuat.

4. Tahap Analisis Data Penelitian

- Menganalisis hasil simulasi yang dikeluarkan *software Jack* pada *Jack Task Analysis Toolkits* dan menghitung skor PEI dan LI untuk kondisi aktual. Penilaian PIE ini mengintegrasikan hasil analisis dari tiga buah

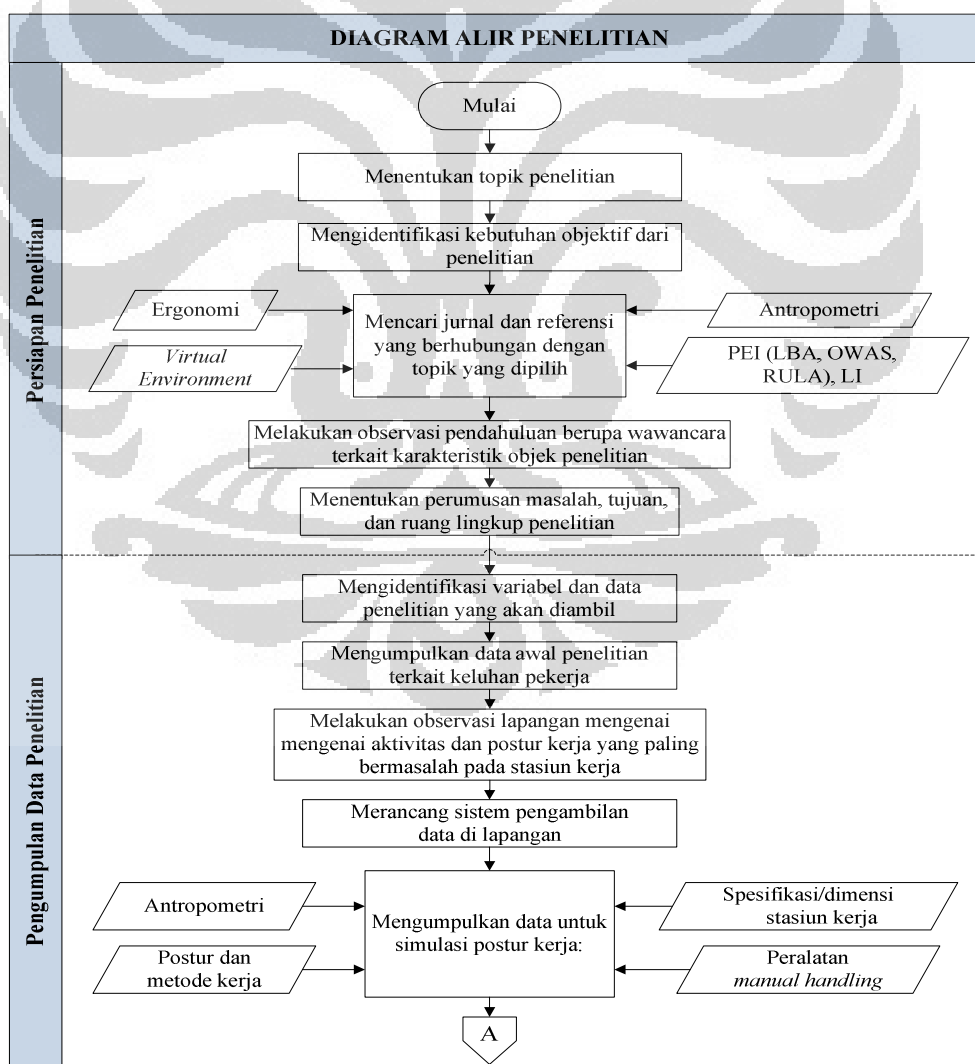
metode, yaitu *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*, dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*.

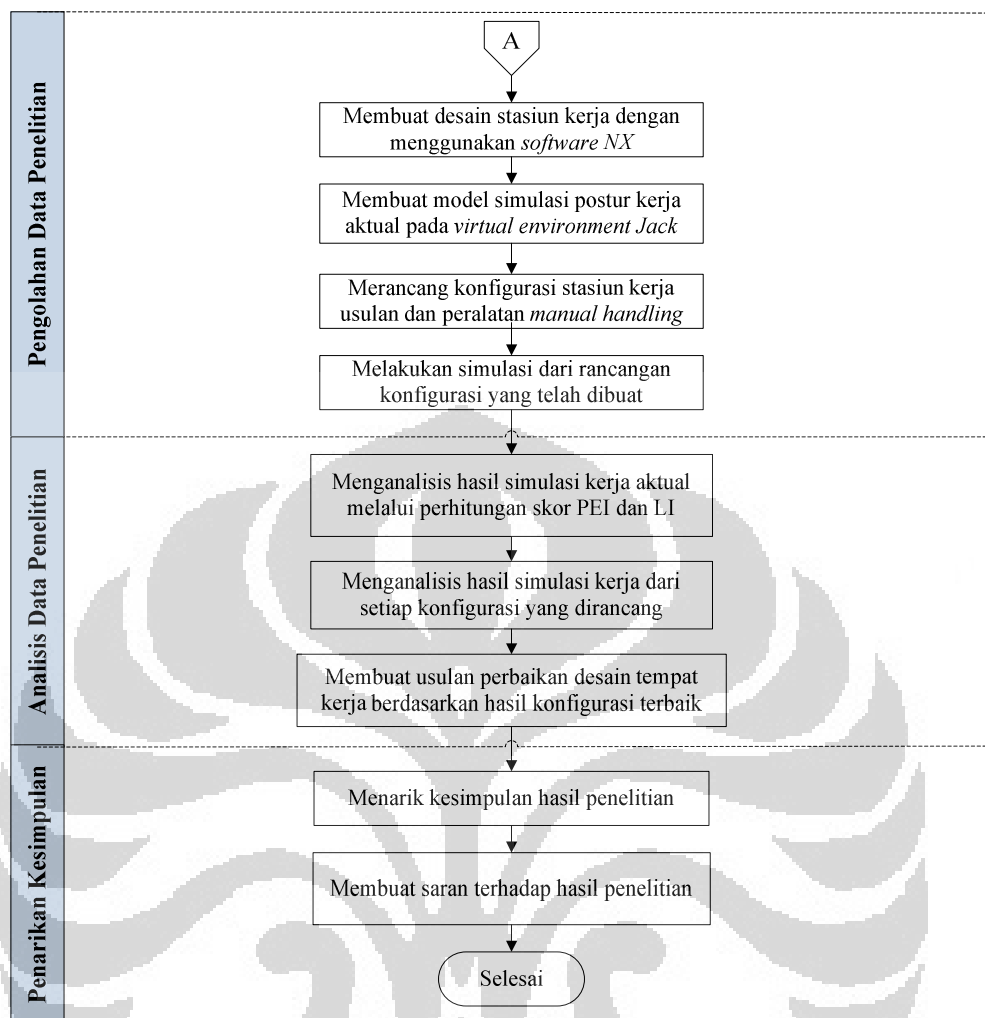
- Menganalisis hasil simulasi yang dikeluarkan *software* Jack dan menghitung skor PEI untuk kondisi usulan setelah konfigurasi.
- Menentukan konfigurasi desain tempat stasiun kerja yang ideal dari sisi ergonomi terhadap postur pekerja serta peralatan *manual handling*.

5. Tahap Penarikan Kesimpulan dan Saran

- Menarik kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian tugas akhir yang menjawab tujuan utama penelitian.
- Membuat masukan yang berguna bagi industri atau penelitian selanjutnya.

Gambar 2.1 di bawah ini merupakan penjabaran metodologi penelitian yang dibuat dalam sebuah diagram alir metodologi penelitian.





Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan ini dilakukan dengan mengikuti aturan sistematika penulisan penelitian yang baku sehingga memudahkan dalam proses penyusunannya. Sistematika penulisan laporan pada penelitian ini terdiri dari lima bab dengan rincian sebagai berikut.

Bab 1 adalah bab pendahuluan. Bab ini berisikan latar belakang pemilihan topik penelitian. Hal ini diperjelas dengan menguraikan diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkup penelitian, metodologi penelitian, serta sistematika penulisan agar dapat diperoleh gambaran awal tentang langkah-langkah dan proses penyusunan penelitian ini.

Bab 2 adalah bab landasan teori. Bab ini berisikan penjelasan tentang tentang teori-teori yaitu teori faktor manusia dalam sistem kerja, ergonomi, pendekatan ergonomi dalam perancangan stasiun kerja, antropometri, *Musculoskeletal Disorders*, *Virtual Environment (VE)*, *Posture Evaluation Index (PEI)*, dan *Lifting Index (LI)*. Pada bagian PEI, akan diperdalam penjelasan tentang *Static Strength Prediction (SSP)*, *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*, *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*.

Bab 3 adalah bab pengumpulan dan pengolahan data. Bab ini berisikan gambaran umum tempat pengambilan data, penentuan objek penelitian, pengumpulan data serta pembuatan model untuk analisis postur kerja pada area *material cutting* di industri mebel. Data-data yang dikumpulkan diantaranya data identifikasi keluhan pekerja, penentuan stasiun kerja dan variabel yang diteliti, spesifikasi stasiun kerja, postur dan metode kerja, dan antropometri pekerja. Selanjutnya pembuatan model kondisi aktual pada *virtual environment* dan penentuan konfigurasi juga dirancang untuk memperoleh nilai PEI dan LI sebagai pendekatan untuk menentukan perancangan postur kerja yang paling ergonomis.

Bab 4 adalah bab analisis. Bab ini berisikan pembahasan hasil pengolahan data yang diperoleh melalui *virtual human modelling simulation* di tiga stasiun kerja pada area *material cutting*, yaitu berupa analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA yang kemudian akan dihitung menjadi nilai PEI. Disamping itu, hasil analisis NIOSH pada aktivitas pengangkatan beban akan menghasilkan nilai RWL dan LI. Analisis terdiri dari tiga subbab utama, yaitu analisis kondisi aktual, analisis kondisi usulan, dan analisis perbandingan kondisi aktual dan usulan untuk melihat seberapa besar desain konfigurasi tempat kerja mempengaruhi postur pekerja.

Bab 5 adalah bab kesimpulan dan saran. Bab ini berisikan penarikan kesimpulan untuk menjawab permasalahan dan mencapai tujuan yang telah diidentifikasi sebelumnya. Saran dibuat berdasarkan pengalaman penulis selama melakukan penelitian yang ditujukan kepada industri/mahasiswa/peneliti dalam bidang sejenis yang ingin melanjutkan atau mengembangkan penelitian yang telah dilaksanakan.

BAB 2 DASAR TEORI

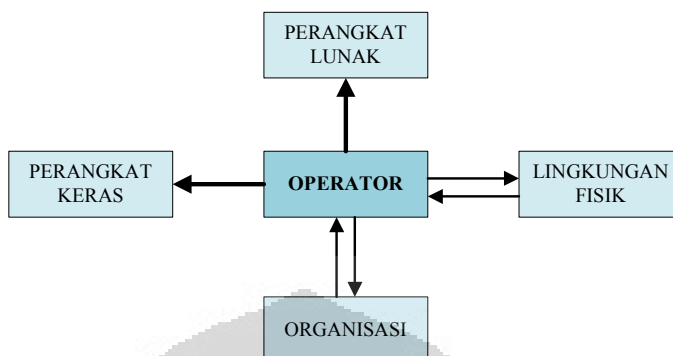
Dalam bab ini akan dibahas dasar teori yang berhubungan dengan penelitian. Adapun teori tersebut antara lain faktor manusia dalam sistem kerja, ergonomi, pendekatan ergonomi dalam perancangan stasiun kerja, antropometri, *Musculoskeletal Disorders*, *Virtual Environment (VE)*, *Posture Evaluation Index (PEI)*, dan *Lifting Index (LI)*. Pada bagian PEI, akan diperdalam penjelasan teori tentang SSP, LBA, OWAS, dan RULA.

2.1 Faktor Manusia dalam Sistem Kerja

Sistem didefinisikan sebagai kumpulan objek yang bekerjasama dalam beberapa interaksi dan saling ketergantungan secara teratur untuk mencapai suatu tujuan tertentu. Sistem kerja merupakan suatu sistem yang *purposeful* yaitu suatu sistem dengan arah segala aktivitasnya ditentukan oleh sebuah *goal* dan menghasilkan *output* akhir yang teridentifikasi dengan jelas (Bridger, 1995). Suatu sistem kerja secara umum pada dasarnya terdiri dari komponen manusia, material, mesin, metode kerja dan lingkungan yang terintegrasi menjadi satu kesatuan. Komponen-komponen tersebut saling berinteraksi satu sama lain sehingga dapat mempengaruhi performansi sistem tersebut.

Dalam dunia industri khususnya industri manufaktur, manusia merupakan komponen penting yang berfungsi sebagai pemeran utama dalam membangun dan menjalankan sistem kerja tersebut (biasanya disebut operator) sehingga interaksi antara manusia dan komponen kerja lainnya harus dipertimbangkan dengan baik pada desain sistem kerja agar dihasilkan performa kerja yang terbaik atau optimal. Adapun dalam aktivitasnya, manusia (operator) menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak dalam lingkungan fisik dan organisasi (Grandjean, 1999). Faktor manusia baik sebagai ilmu maupun teknologi selalu memperhatikan desain *interface* dan interaksi antara operator dengan komponen-komponen kerja, serta fokus terhadap pengaruh dan interaksi pada performansi sistem kerja (Clark, 1999). Interaksi atau hubungan antara operator dengan komponen kerja yang lain

ditunjukkan pada Gambar 2.1 sedangkan komponen dalam sistem kerja dapat dilihat pada Tabel 2.1.



Gambar 2.1 Interaksi Manusia Dalam Sistem Kerja

Sumber: E. Grandjean, 1999

Tabel 2.1 Komponen-Komponen Dalam Sistem Kerja

Komponen	Area Desain	Pertimbangan
Operator	Karakteristik fisik kecakapan	Karakteristik tubuh, kekuatan, kapasitas kerja, postur tubuh, kelelahan, dan ketahanan
	Penerima Informasi dan proses	Panca indera (penglihatan, pendengaran, dll), perhatian, daya ingat, dll
	Karakteristik individu dan social	Umur, jenis kelamin, latar belakang budaya, suku, keterampilan, training, motivasi, kepuasan dan ketertarikan kerja, kejenuhan, perilaku, dll
Perangkat Keras	Desain dan tata letak komponen	Proses, peralatan, akses
Perangkat Lunak	Performansi bebas kesalahan	Standar operasi, buku penuntun, simbol, dll
Lingkungan	Performansi yang aman dan selamat	Iklm kerja, kebisingan, penerangan, vibrasi mekanik, dll
Organisasi	Organisasi personalia	Waktu kerja-istirahat, rotasi kerja, kerja bergilir, ketertarikan, kepuasan, tanggung jawab, interaksi

Sumber: Dr. Clark, 1999

2.2 Ergonomi

2.2.1 Pengertian Ergonomi

Ergonomi atau *ergonomics* berasal dari kata Yunani yaitu *ergo* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti aturan atau hukum (Helander, 2006). Ergonomi atau yang dikenal dengan istilah lain yaitu *human factors* merupakan suatu ilmu yang mempelajari manusia dan interaksi mereka dengan lingkungan kerja beserta peralatan, produk, dan fasilitas yang mereka gunakan sehari-hari dalam rangka

menyesuaikan lingkungan kerja dan peralatan tersebut agar lebih sesuai dengan batas kemampuan mereka (Sanders, McCormick, 1993). Tarwaka (2004) mendefinisikan ergonomi sebagai ilmu, seni dan penerapan teknologi untuk menyasikan atau menyeimbangkan segala fasilitas yang digunakan baik dalam beraktivitas maupun istirahat dengan kemampuan dan keterbatasan manusia, baik fisik maupun mental sehingga kualitas hidup secara keseluruhan menjadi lebih baik. Di Amerika Serikat, ergonomi sering juga disebut dengan istilah *human engineering* atau *engineering psychology*.

Ergonomi dimaksudkan sebagai disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaannya (Wignjosoebroto S., 2000). Disiplin ini mempertimbangkan kenyataan bahwa manusia memiliki batas-batas kemampuan baik jangka pendek maupun jangka panjang pada saat berhadapan dengan keadaan lingkungan sistem kerjanya yang berupa perangkat keras (mesin, peralatan kerja) dan perangkat lunak (metode kerja, sistem dan prosedur) sehingga fokus utama dari ergonomi adalah manusia dalam interaksinya dengan produk, peralatan, fasilitas, prosedur dan lingkungan pada tempat kerja sehari-hari, artinya segala aspek tersebut idealnya harus mempertimbangkan keterbatasan dan kemampuan manusia sebagai pusat sistem (*human centered system*).

2.2.2 Tujuan dan Pendekatan Ergonomi

Pada dasarnya terdapat dua tujuan utama dari penerapan keilmuan ergonomi. Tujuan pertamanya yaitu meningkatkan efisiensi dan efektivitas pekerjaan, termasuk di dalamnya meningkatkan keserasian dan mengurangi kesalahan kerja (*errors*) untuk meningkatkan produktivitas sedangkan tujuan kedua yaitu meningkatkan segi keselamatan kerja, mengurangi kelelahan (*fatigue*) dan ketegangan mental, serta meningkatkan kenyamanan kerja sehingga dapat tercapai peningkatan kepuasan pekerja (Sanders, McCormick, 1993). Melalui penerapan ergonomi diharapkan terciptanya peningkatan produktivitas, efektifitas dan efisiensi dari kegiatan yang dilakukan oleh manusia dalam interaksinya dengan lingkungan kerja dengan tetap mengacu pada terciptanya keselamatan, kenyamanan dan kesehatan kerja. Secara umum tujuan dari penerapan ergonomi (Tarwaka, 2004), yaitu:

- a. Meningkatkan kesejahteraan fisik dan mental melalui upaya pencegahan cedera dan penyakit akibat kerja, menurunkan beban kerja fisik dan mental, mengupayakan promosi dan kepuasan kerja.
- b. Meningkatkan kesejahteraan sosial melalui peningkatan kualitas kontak sosial, mengelola dan mengkoordinir kerja secara tepat guna dan meningkatkan jaminan sosial baik selama kurun waktu usia produktif maupun setelah tidak produktif.
- c. Menciptakan keseimbangan rasional antara berbagai aspek yaitu aspek teknis, ekonomis, antropologis dan budaya dari setiap sistem kerja yang dilakukan sehingga tercipta kualitas kerja dan kualitas hidup yang tinggi.

Pendekatan yang digunakan dalam ergonomi bersifat sistematis berdasarkan investigasi dan pengolahan informasi-informasi tentang kapasitas, keterbatasan, karakteristik, dan tingkah laku manusia serta desain tempat kerja, prosedur, dan lingkungan yang digunakan sebagai dasar dalam evaluasi dan perancangan sistem dan tempat kerja yang lebih baik. Dalam penerapannya, ergonomi adalah suatu keilmuan yang multidisiplin yang membutuhkan keilmuan-keilmuan lainnya yang berkaitan erat dengan aspek manusia sebagai dasar dalam melakukan pertimbangan dan evaluasi, diantaranya ilmu antropometri, anatomi, fisiologi, dan psikologi manusia. Adapun disiplin ilmu ergonomi dikelompokkan atas empat bidang penyelidikan, antara lain (Sutalaksana, 1982):

1. Penyelidikan tentang tampilan (*display*)
Tampilan (*display*) adalah suatu perangkat antara (*interface*) yang menyajikan informasi tentang keadaan lingkungan, dan mengkomunikasikannya pada manusia dalam bentuk tanda-tanda, angka, lambang dan sebagainya.
2. Penyelidikan tentang kekuatan fisik manusia
Penyelidikan ditujukan pada aktivitas-aktivitas manusia ketika bekerja, dan kemudian dipelajari cara mengukur aktivitas-aktivitas tersebut.
3. Penyelidikan tentang ukuran tempat kerja
Penyelidikan ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan tempat kerja yang sesuai dengan ukuran atau dimensi tubuh manusia, agar diperoleh tempat kerja

yang baik, yang sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia sekaligus memberikan kenyamanan yang optimal.

4. Penyelidikan tentang lingkungan kerja

Penyelidikan ini meliputi kondisi fisik lingkungan tempat kerja dan fasilitas kerja yang mempengaruhi kondisi fisik manusia seperti intensitas cahaya, kebisingan, temperatur, getaran, kelembapan, dan lain-lain.

2.3 Pendekatan Ergonomi dalam Perancangan Tempat Kerja

Ergonomi secara nyata memberi dampak terhadap peningkatan kualitas kehidupan manusia sehari-hari, khususnya pada tempat kerja di industri dimana pendekatan dan evaluasi ergonomi banyak diaplikasikan, yaitu mulai dari perancangan produk, fasilitas kerja sampai tempat kerja (*work stations/places*) secara keseluruhan. Sasarannya yaitu untuk menambah efektivitas, efisiensi dan produktivitas tenaga kerja serta memperbaiki kenyamanan, keselamatan dan kesehatan kerja (*comfort, safety and health*).

Dalam industri manufaktur, stasiun kerja merupakan lokasi dimana suatu operasi produksi akan mengambil tempat yang menurut James A. Apple dalam bukunya *Plant Layout and Material Handling* (John Wilen & Sons, 1977), bahwa dalam stasiun kerja problematika utamanya adalah pengaturan komponen-komponen yang terlibat dalam kegiatan produksi yaitu yang berkaitan dengan material (bahan baku, produk jadi dan *scrap*), mesin/peralatan kerja, perkakas-perkakas pembantu, fasilitas-fasilitas penunjang (utilitas), lingkungan fisik kerja dan manusia pelaksana kerja (operator). Dengan mengaplikasikan aspek-aspek ergonomi atau *human engineering*, maka dapat dirancang sebuah stasiun kerja yang bisa dioperasikan oleh rata-rata manusia (Wignjosoebroto, 2000).

Terdapat beberapa aspek ergonomi yang harus dipertimbangkan berkaitan dengan perancangan area atau stasiun kerja dalam industri, yaitu sikap dan posisi kerja, antropometri dan dimensi ruang, kondisi lingkungan kerja, efisiensi ekonomi gerakan dan pengaturan fasilitas kerja, serta energi kerja yang dikonsumsi (Wignjosoebroto, 2000). Berikut ini penjelasan kelima aspek ergonomi tersebut.

1. Sikap dan posisi kerja

Setiap jenis pekerjaan memerlukan sikap dan posisi kerja tertentu agar dapat bekerja dengan nyaman dalam jangka waktu tertentu. Berikut ini hal-hal yang perlu dipertimbangkan dalam perancangan stasiun kerja dalam hubungannya dengan sikap dan posisi pekerja (operator) ketika bekerja:

- Meminimalisasi kemungkinan operator untuk bekerja dalam sikap posisi membungkuk dengan frekuensi kegiatan sering atau jangka waktu lama. Untuk mengatasi masalah ini, stasiun kerja yang dirancang terutama sekali harus memperhatikan fasilitas kerja seperti meja kerja dan kursi yang sesuai dengan data antropometri agar operator dapat menjaga sikap dan posisi kerjanya tetap tegak dan normal. Ketentuan ini terutama sekali ditekankan bilamana pekerjaan harus dilaksanakan pada posisi berdiri.
- Meminimalisasi atau menghindari jarak jangkauan maksimum yang dapat dilakukan operator untuk menghindari tegangan pada bagian tubuh tertentu, terutama jangkauan alat gerak.
- Meminimalisasi atau menghindari posisi duduk atau berdiri pada operator untuk jangka waktu yang lama dengan kepala, leher, dada, atau kaki berada pada posisi miring.
- Meminimalisasi atau menghindari sikap atau postur kerja pada operator dalam frekuensi dan periode waktu yang lama dengan tangan berada dalam posisi diatas level siku yang normal.

2. Antropometri dan dimensi ruang

Antropometri pada dasarnya berhubungan dengan ukuran fisik atau fungsi dari tubuh manusia, termasuk ukuran linier, berat, volume, ruang gerak, dan lainnya. Prinsip ergonomi mensyaratkan agar dimensi peralatan dan fasilitas kerja disesuaikan dengan penggunanya, khususnya yang berkaitan dengan antropometri atau ukuran tubuh. Dalam menentukan ukuran maksimum atau minimum biasanya digunakan data antropometri antara persentil 5% dan 95%. Untuk perencanaan stasiun kerja, data antropometri akan bermanfaat baik dalam memilih fasilitas kerja apabila dimensinya disesuaikan dengan ukuran tubuh operator atau didalam merencanakan dimensi ruang kerja itu sendiri.

Dimensi ruang kerja akan dipengaruhi oleh dua hal pokok yaitu situasi lingkungan dan situasi kerja yang ada. Dalam menentukan dimensi ruang kerja, hal yang perlu diperhatikan antara lain jarak jangkauan yang bisa dilakukan oleh operator, batasan-batasan ruang yang nyaman dan cukup memberikan keleluasaan gerak operator, dan kebutuhan area minimum yang harus dipenuhi untuk kegiatan-kegiatan tertentu.

3. Kondisi lingkungan kerja

Faktor lingkungan fisik kerja yang bervariasi seperti temperatur, kelembaban, getaran, kebisingan, debu, bau, dan lainnya apabila tidak dirancang dengan baik mengakibatkan stress pada pekerja akan dan apabila terakumulasi terus menerus dapat berakibat fatal atau membahayakan keselamatan. Misalnya lingkungan fisik kerja yang bising, panas atau atmosfer yang tercemar menyebabkan performa kerja operator menurun. Aspek lingkungan fisik kerja beserta sistem pengendaliannya merupakan hal penting sebagai tindakan antisipatif saat perancangan stasiun kerja karena memiliki potensi bahaya.

4. Efisiensi ekonomi gerakan dan pengaturan fasilitas kerja

Perancangan sistem kerja haruslah memperhatikan prosedur untuk tercapainya prinsip ekonomis pada gerakan kerja sehingga dapat memperbaiki efisiensi dan mengurangi kelelahan kerja. Pertimbangan prinsip ekonomi gerakan berperan selama tahap perancangan sistem kerja dari suatu industri. Marvin E. Mundel membahas dan mensistematisasikan prinsip-prinsip ekonomi gerakan yang terdiri dari prinsip mengeliminasi kegiatan, menggabungkan gerakan atau aktivitas kerja, dan juga menyederhanakan kegiatan (Mundel, 1994).

5. Energi kerja yang dikonsumsi

Energi dalam jumlah besar harus dikeluarkan untuk periode yang lama dapat menimbulkan kelelahan fisik dan juga kelelahan fisiologis manusia. Kelelahan fisiologis yang berhubungan dengan mental manusia karena dapat berakibat pada timbulnya kesalahan-kesalahan kerja yang serius. Perancangan kerja seharusnya dapat meminimalkan energi yang harus dikonsumsi untuk penyelesaian suatu kegiatan dan meningkatkan efisiensi *output* kerja.

2.3.1 Posisi Kerja dalam Stasiun Kerja

Stasiun kerja yang ergonomis harus dapat mengakomodasi karakteristik dari pekerja dan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja tersebut. Seperti yang telah disebutkan sebelumnya, dalam hal ini sikap dan posisi kerja merupakan faktor penting yang harus dipertimbangkan.

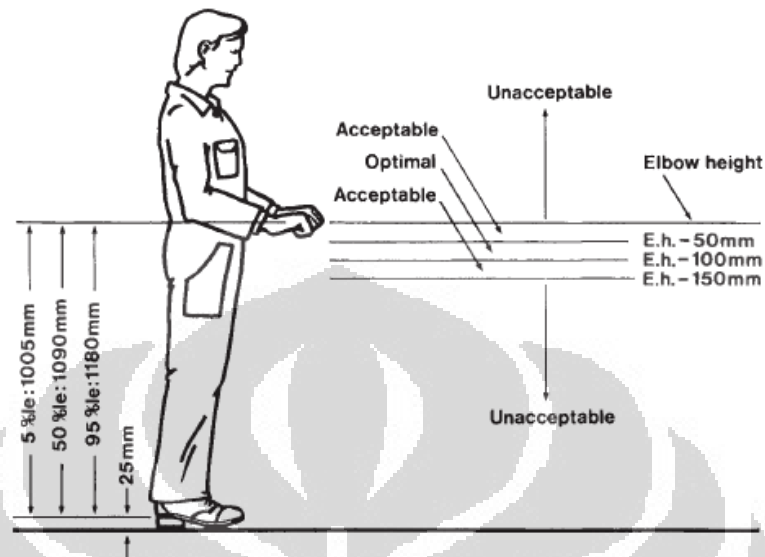
Secara garis besar, terdapat dua posisi kerja utama dalam stasiun kerja, yaitu pekerjaan yang dilakukan dengan posisi duduk dan posisi berdiri. Penentuan posisi kerja ini sangat penting dalam hubungannya dengan antropometri pekerja dan perancangan dimensi fasilitas kerja yang ada, terutama fasilitas meja kerja dan kursi yang digunakan pekerja ketika bekerja.

Dimensi yang sangat berpengaruh terhadap ergonomi stasiun kerja yaitu ketinggian meja dan kursi kerja karena hal ini berhubungan langsung dengan postur pekerja ketika bekerja. Misalnya, meja kerja yang terlalu pendek akan mengakibatkan pekerja membungkuk dengan tajam, sebaliknya meja kerja yang terlalu tinggi juga akan menyulitkan jangkauan sehingga hal ini mengganggu kenyamanan bekerja. Adapun prinsip utama dalam perancangan ketinggian meja kerja untuk posisi duduk dan berdiri pada umumnya adalah sama yaitu ketinggian meja kerja semaksimal mungkin disesuaikan dengan ketinggian siku pekerja pada saat melakukan kerja tersebut.

Adapun kriteria untuk tinggi kerja optimal dalam aktivitas industri ditunjukkan pada Gambar 2.2. Berikut ini rekomendasi ketinggian permukaan meja kerja yang ideal sesuai jenis pekerjaan untuk *standing workstation* adalah (Sanders & McCormick, 1993; Helander, 2006):

- 2 sampai 4 inci (5-10 cm) di atas tinggi siku dan dengan penyangga tangan untuk jenis pekerjaan yang membutuhkan ketelitian (*precision work*), yaitu pekerjaan dengan beban atau tekanan kurang dari 1 kg atau membutuhkan ketelitian penglihatan seperti mengetik atau *electronic assembly*;
- 2 sampai 4 inci (5-10 cm) di bawah tinggi siku untuk jenis pekerjaan *light* atau *normal work*, yaitu pekerjaan dengan beban atau tekanan kurang dari 5 kg seperti pekerjaan mekanik, *packaging*, atau *assembly line*;
- 4 sampai 8 inci (10-20 cm) di bawah tinggi siku untuk jenis pekerjaan *heavy work*, yaitu pekerjaan mendorong, mengangkat, atau memindahkan

yang membutuhkan banyak gaya (*heavy work*) atau dengan beban sama dengan atau lebih dari 5 kg.



Gambar 2.2 Kriteria untuk Tinggi Kerja Optimal dalam Aktivitas Industri

Sumber: Bodyspace: Anthropometry, Ergonomics and the Design of Work 2nd Edition, hal 25.

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. Menurut Pheasant (2003), perhitungan kursi kerja yang ideal dengan tinggi meja kerja biasanya dilakukan dengan mengurangi tinggi meja kerja yang didapat dengan tinggi siku dalam posisi duduk (*sitting elbow height*). Untuk perancangan meja kerja dalam posisi berdiri dan duduk, ketinggian meja kerja disesuaikan dengan ketinggian siku pekerjaannya. Rekomendasi ketinggian meja kerja untuk posisi berdiri dan duduk ditunjukkan oleh Tabel 2.2. Ketinggian meja kerja ergonomis yang disarankan ditunjukkan oleh Tabel 2.3.

Tabel 2.2 Ketinggian Meja Kerja Ergonomis untuk Posisi Berdiri dan Duduk

Type of Task	Hand Height	Elbow Height	Standing (5 th to 95)		Sitting (5 th to 95)	
			Male	Female	Male	Female
Heavy Lifting	-15	-20 to -10	91 to 110	85 to 110	Not Recommended	
Light Assembly	-5	-10 to 0	101 to 120	95 to 110	59 to 79	55 to 73
Typing	+3	0 to +6	109 to 128	103 to 118	67 to 87	63 to 81
Precision Work	+8	+5 to +10	Not Recommended		72 to 92	68 to 91

Sumber: Helander, A Guide to Human Factor and Ergonomics 2nd Edition, hal. 177

Tabel 2.3 Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Berdiri

<i>Task Requirement</i>	<i>Male (cm)</i>	<i>Female (cm)</i>
<i>Precision Work</i>	109 – 119	103 – 113
<i>Light Assembly work</i>	99 – 109	87 – 98
<i>Heavy Work</i>	85 – 101	78 – 94

Sumber: Bridger, Introduction to Ergonomis, hal. 104

Perancangan meja kerja atau stasiun kerja baik secara langsung maupun tidak langsung turut mempengaruhi postur kerja dari pekerja itu sendiri. Postur kerja tersebut penting untuk diperhatikan karena postur kerja sering kali menjadi penyebab utama timbulnya sakit atau keluhan pada beberapa bagian tubuh manusia, seperti yang diperlihatkan oleh Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Postur Kerja dan Keluhan Sakit pada Tubuh

Tipe Postur Kerja	Lokasi Keluhan
Berdiri	kaki, punggung bagian bawah
Duduk tanpa penyangga punggung bagian bawah	punggung bagian bawah
Duduk tanpa penyangga punggung	punggung bagian tengah
Duduk tanpa penyangga kaki	lutut, kaki, punggung bagian bawah
Duduk dengan siku di atas permukaan kerja	punggung bagian bawah dan atas
Lengan yang tidak ditopang atau meraih ke atas	bahu, lengan bagian atas
Kepala tertekuk ke belakang	leher
Batang tubuh menekuk ke depan	punggung bagian bawah dan tengah
Posisi <i>Cramped</i>	otot - otot tubuh
Posisi ekstrim pada bagian <i>joint</i> tubuh	bagian <i>joint</i> tubuh

Sumber: A Guide to Human Factor and Ergonomis 2nd Edition , hal. 171

Penentuan postur kerja yang paling baik adalah didasarkan pertimbangan pada jenis pekerjaan yang dilakukan, secara umum terdapat tiga jenis postur dasar yaitu duduk, berdiri dan duduk berdiri. Dari ketiga postur dasar tersebut, postur kerja yang diusulkan untuk beberapa tipe pekerjaan ditampilkan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5 Postur Kerja yang Diutamakan pada Beberapa Tipe Pekerjaan

Tipe Kerja	Postur Kerja yang Diutamakan
Mengangkat beban lebih dari 5 kg	Berdiri
Berkerja di bawah tinggi siku	Berdiri
Menjangkau horizontal	Berdiri
Perakitan ringan dan repetitive	Duduk
Pekerjaan yang membutuhkan ketelitian dan detail	Duduk
Inspeksi visual dan monitoring	Duduk
Bergerak secara rutin	Duduk - Berdiri

Sumber: A Guide to Human Factor and Ergonomis 2nd Edition , hal. 173

2.3.2 Aktivitas *Handling* dan *Lifting*

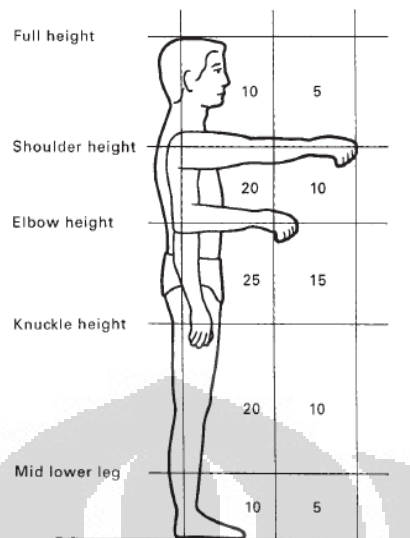
Beban yang diletakkan terlalu rendah atau terlalu tinggi akan beresiko mencederai tubuh, terutama tubuh di bagian atas. Aktivitas *handling* dan *lifting* beresiko mencederai punggung sebesar 45%, jari tangan sebesar 16%, lengan sebesar 13%, *lower limb* sebesar 9%, *rest of torso* sebesar 8%, tangan 6% dan sisanya bagian tubuh lainnya (Pheasant, 2003).

Pekerjaan yang penanganannya dilakukan secara manual, khususnya aktivitas *handling* dan *lifting* merupakan kegiatan yang tergolong berat karena berhubungan erat dengan kapasitas fisik pekerja dalam melakukan aktivitas dimana semakin besar beban yang diangkat pekerja, maka semakin besar tenaga dan energi yang dikeluarkan. Dampak aktivitas *handling* dan *lifting* tersebut terkait erat dengan ketinggian seseorang ketika mengambil atau mengangkat suatu beban. Aktivitas *lifting* direkomendasikan dilakukan secara horizontal dari titik awal pengangkatan sampai dengan titik tujuan pengangkatan (Stanton, 2005). Tabel 2.6, Gambar 2.3 dan Gambar 2.4 menunjukkan aturan dan zona ketinggian serta dan jangkauan pengangkatan berdasarkan beban.

Tabel 2.6 Aturan Ketinggian Pengangkatan Berdasarkan Beban Berdasarkan HSE

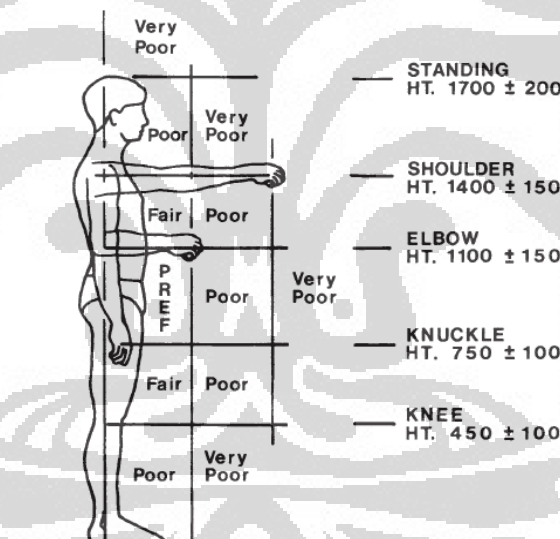
Ketinggian	<i>Less than Half Arm's Length (kg)</i>	<i>Between Half Arm's Length and Full Arm's Length (kg)</i>
<i>Below knee height</i>	10	5
<i>Knee height - knuckle height</i>	20	10
<i>Knuckle height - elbow height</i>	25	15
<i>Elbow height - shoulder height</i>	20	10
<i>Shoulder height - full length</i>	10	5

Sumber: Helander, A Guide to Human Factor and Ergonomis 2nd Edition , 2003



Gambar 2.3 Zona Ketinggian Pengangkatan Benda Berdasarkan Beban (kg)

Sumber: Bodyspace: Anthropometry, Ergonomis and the Design of Work 2nd Edition, hal 136.



Gambar 2.4 Jangkauan Tinggi untuk Aktivitas Mengangkat (*Lifting*)

Sumber: Bodyspace: Anthropometry, Ergonomis and the Design of Work 2nd Edition, hal 133.

2.4 Antropometri

2.4.1 Pengertian Antropometri

Istilah *anthropometry* berasal dari kata *anthro* yang berarti manusia dan *metry* yang berarti ukuran. Pengertian antropometri menurut Stevenson (1989) dan Nurmiyanto (1991) adalah suatu kumpulan data numerik yang berhubungan dengan karakteristik fisik tubuh manusia (ukuran dan bentuk) disertai penerapan

data tersebut untuk penanganan masalah perancangan atau desain. Antropometri secara luas digunakan sebagai pertimbangan-pertimbangan ergonomis dalam proses perancangan produk maupun sistem kerja yang memerlukan interaksi manusia. Disiplin ergonomi khususnya yang berkaitan antropometri dapat menganalisa, mengevaluasi dan membakukan jarak jangkauan yang memungkinkan sebagian besar manusia untuk melaksanakan kegiatannya dengan mudah dan gerakan-gerakan yang sederhana.

Fungsi utama penggunaan data antropometri adalah untuk mengoptimalkan dimensi dari benda-benda kerja yang digunakan oleh manusia yang memiliki karakteristik yang berbeda-beda. Pengaplikasian data antropometri antara lain untuk:

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

Manusia pada umumnya berbeda-beda dalam hal bentuk dan dimensi ukuran tubuhnya. Beberapa faktor yang mempengaruhi ukuran tubuh manusia sebagai pertimbangan dalam antropometri yaitu (Wignjosoebroto, 2000):

1. Umur

Ukuran tubuh manusia akan berkembang dari saat lahir sampai sekitar 20 tahun untuk pria dan 17 tahun untuk wanita. Setelah itu, tidak lagi akan terjadi pertumbuhan, bahkan justru akan cenderung berubah menjadi pertumbuhan menurun ataupun penyusutan yang dimulai sekitar umur 40 tahunan.

2. Jenis kelamin (*sex*)

Jenis kelamin pria umumnya memiliki dimensi tubuh yang lebih besar kecuali dada dan pinggul.

3. Suku bangsa (*ethnic*)

Setiap suku bangsa akan memiliki karakteristik fisik yang berbeda satu dengan yang lainnya. Dimensi tubuh suku bangsa negara Barat pada umumnya mempunyai ukuran yang lebih besar daripada dimensi tubuh suku bangsa negara bagian timur.

4. Sosial ekonomi

Tingkat sosial ekonomi sangat mempengaruhi dimensi tubuh manusia. Pada negara-negara maju dengan tingkat sosio ekonomi tinggi, penduduknya mempunyai dimensi tubuh yang lebih besar dibandingkan dengan negara-negara berkembang.

5. Posisi tubuh (*posture*)

Sikap atau posisi tubuh akan berpengaruh terhadap ukuran tubuh sehingga posisi tubuh standar harus diterapkan untuk survei pengukuran.

2.4.2 Klasifikasi Antropometri dan Dimensi Umum Tubuh yang Diukur

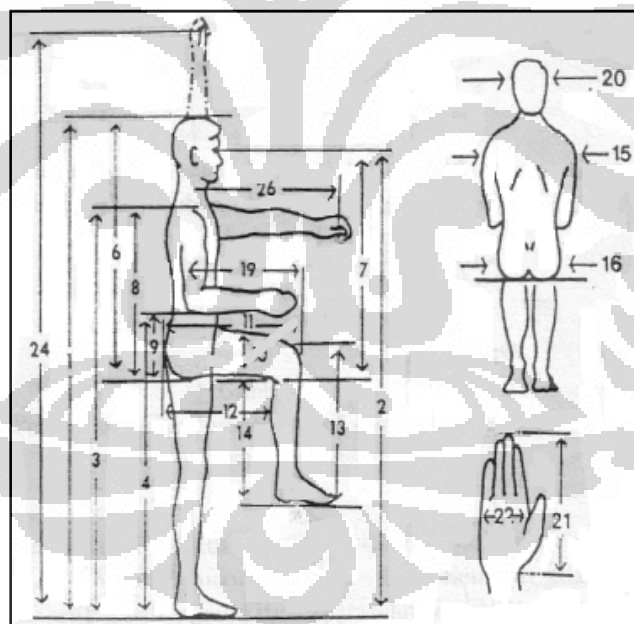
Berkaitan dengan posisi tubuh (*posture*) manusia ketika bekerja, antropometri diklasifikasikan menjadi dua, yaitu antropometri statis dan antropometri dinamis. Penentuan jenis antropometri ini ke depannya akan menentukan cara pengambilan data antropometri.

Antropometri statis (*structural body dimensions*) adalah pengukuran manusia pada posisi diam dan *linier* pada permukaan tubuh atau dengan kata lain pengukuran dimensi struktur tubuh dimana tubuh diukur dalam berbagai posisi standar dan tidak bergerak (tetap tegak sempurna). Ada beberapa metode pengukuran tertentu agar hasilnya dapat *representative*. Dimensi tubuh yang diukur dengan posisi tetap antara lain berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri maupun duduk, ukuran kepala, tinggi atau panjang lutut pada saat berdiri atau duduk, panjang lengan, dan sebagainya. Dalam hal ini ukuran diambil dengan percentil tertentu, seperti percentil 5, percentile 50 dan percentile 95.

Antropometri dinamis (*functional body dimensions*) adalah pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan-gerakan yang mungkin terjadi saat pekerja tersebut melaksanakan kegiatannya. Hasil yang diperoleh merupakan ukuran tubuh yang nantinya akan berkaitan erat dengan gerakan-gerakan nyata yang diperlukan tubuh untuk melaksanakan kegiatan-kegiatan tertentu. Antropometri dalam posisi tubuh dinamis banyak diaplikasikan dalam proses perancangan fasilitas ataupun ruang kerja. Terdapat tiga kelas pengukuran antropometri dinamis, yaitu:

- Pengukuran tingkat ketrampilan sebagai pendekatan untuk mengerti keadaan mekanis dari suatu aktifitas. Contoh: mempelajari performansi atlet.
- Pengukuran jangkauan ruang yang dibutuhkan saat kerja. Contoh: jangkauan dari gerakan tangan dan kaki efektif pada saat bekerja yang dilakukan dengan berdiri atau duduk.
- Pengukuran variabilitas kerja. Contoh: analisis kinematika dan kemampuan jari-jari tangan dari seorang juru ketik atau operator komputer.

Selanjutnya untuk memperjelas mengenai data antropometri untuk bisa diaplikasikan dalam berbagai rancangan produk ataupun tempat kerja diperlukan informasi tentang berbagai macam anggota tubuh yang perlu diukur seperti terlihat pada Gambar 2.2 dibawah ini.



Gambar 2.5 Dimensi Umum Tubuh Manusia yang Diukur untuk Antropometri

Sumber: Stevenson, 1989; Nurmianto, 1991

Keterangan gambar:

- 1 = dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak (dari lantai sampai dengan ujung kepala)
 2 = tinggi mata dalam posisi berdiri tegak

- 3 = tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak
- 4 = tinggi siku dalam posisi berdiri tegak (siku tegak lurus)
- 5 = tinggi kepalan tangan yang terjulur lepas dalam posisi berdiri tegak (dalam gambar tidak ditunjukkan)
- 6 = tinggi tubuh dalam posisi duduk (diukur dari alas tempat duduk pantat sampai dengan kepala)
- 7 = tinggi mata dalam posisi duduk
- 8 = tinggi bahu dalam posisi duduk
- 9 = tinggi siku dalam posisi duduk (siku tegak lurus)
- 10 = tebal atau lebar paha
- 11 = panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan ujung lutut
- 12 = panjang paha yang diukur dari pantat sampai dengan. bagian belakang dari lutut atau betis
- 13 = tinggi lutut yang bisa diukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk
- 14 = tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari lantai sampai dengan paha
- 15 = lebar dari bahu (bisa diukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk)
- 16 = lebar pinggul ataupun pantat
- 17 = lebar dari dada dalam keadaan membusung (tidak ditunjukkan di gambar)
- 18 = lebar perut
- 19 = panjang siku yang diukur dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus
- 20 = lebar kepala
- 21 = panjang tangan diukur dari pergelangan sampai dengan ujung jari
- 22 = lebar telapak tangan
- 23 = lebar tangan dalam posisi tangan terbentang lebar-lebar kesamping kiri-kanan (tidak ditunjukkan dalam gambar)
- 24 = tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak, diukur dari lantai sampai dengan telapak tangan yang terjangkau lurus keatas (vertikal)
- 25 = tinggi jangkauan tangan dalam posisi duduk tegak, diukur seperti halnya nomor 24 tetapi dalam posisi duduk (tidak ditunjukkan dalam gambar)
- 26 = jarak jangkauan tangan yang terjulur kedepan diukur dari bahu sampai ujung jari tangan

Data antropometri prinsipnya diperlukan supaya rancangan suatu produk atau tempat kerja dapat sesuai dengan orang yang akan mengoperasikannya. Perancangan produk, peralatan atau stasiun kerja harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangannya tersebut. Secara umum sekurang-kurangnya 90%-95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakannya dengan selayaknya (Wignjosoebroto, 2000). Terdapat tiga prinsip umum dalam mengaplikasikan antropometri pada suatu aktivitas perancangan tertentu, yaitu:

1. Perancangan untuk individu dengan ukuran ekstrim

Untuk mengatasi keterbatasan penggunaan suatu rancangan fasilitas oleh individu yang memiliki ukuran tubuh ekstrim (terlalu besar atau terlalu kecil dibandingkan rata-rata), maka perlu digunakan nilai parameter maksimum dan minimum yang mampu mengakomodasi ukuran yang ekstrim tersebut. Parameter pengukuran yang digunakan untuk dimensi maksimum yaitu 95th presentil dari ukuran tubuh laki-laki sedangkan parameter pengukuran yang digunakan untuk dimensi minimum yaitu 5th presentil dari ukuran tubuh perempuan.

2. Perancangan untuk ukuran rata-rata

Prinsip ini membuat rancangan suatu produk atau fasilitas kerja berdasarkan ukuran rata-rata manusia. Permasalahan yang sering terjadi dalam menerapkan prinsip ini adalah hanya sebagian kecil manusia yang mampu diakomodasi karena pada kenyataannya relatif sedikit manusia yang ukuran tubuhnya berada di rata-rata.

3. Perancangan untuk jarak yang dapat diubah sesuai kebutuhan

Untuk mendapatkan rancangan yang dapat diubah-ubah atau fleksibel, data antropometri yang umumnya digunakan adalah rentang nilai 5th presentil sampai 95th presentil. Contoh rancangan yang paling banyak ditemukan adalah perancangan kursi mobil yang letaknya dapat digeser maju mundur dan sudut sandarannya yang dapat diubah sesuai keinginan.

2.5 *Musculoskeletal Disorders (MSDs)*

Keluhan musculoskeletal adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan sangat ringan sampai sangat sakit. Tarwaka (2004) menyatakan 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% dan 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 pada otot (Suma'mur, 1982).

Peter Vi (2000) dalam buku *Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas* menjelaskan bahwa terdapat beberapa faktor yang dapat menyebabkan terjadinya keluhan *musculoskeletal*, yaitu:

a. Peregangan otot yang berlebihan

Peregangan otot yang berlebihan (*overexertion*) pada umumnya sering dikeluhkan oleh pekerja dimana aktivitas kerjanya menuntut pengerahan tenaga yang besar seperti aktivitas *manual handling* (mengangkat, mendorong, menarik dan menahan beban yang berat). Peregangan otot yang berlebihan ini terjadi karena pengerahan tenaga yang diperlukan melampaui kekuatan optimum otot. Apabila hal serupa sering dilakukan, maka dapat mempertinggi resiko terjadinya keluhan otot, bahkan dapat menyebabkan terjadinya cedera otot skeletal.

b. Aktivitas berulang (*repetitive*)

Aktivitas berulang adalah pekerjaan yang dilakukan secara terus menerus seperti pekerjaan mencangkul, membelah kayu besar, angkat-angkut dan sebagainya. Keluhan otot terjadi karena otot menerima tekanan akibat beban kerja secara terus menerus tanpa memperoleh kesempatan untuk relaksasi.

c. Sikap kerja tidak alamiah

Sikap kerja tidak alamiah adalah sikap kerja yang menyebabkan posisi bagian-bagian tubuh bergerak menjauhi posisi alamiah, misalnya pergerakan tangan

terangkat, punggung terlalu membungkuk, kepala terangkat, dan sebagainya. Semakin jauh posisi bagian tubuh dari pusat gravitasi tubuh, maka semakin tinggi pula resiko terjadinya keluhan otot skeletal. Di Indonesia, sikap kerja tidak alamiah ini lebih banyak disebabkan oleh adanya ketidaksesuaian antara dimensi alat dan stasiun kerja dengan ukuran tubuh pekerja.

Sebagai negara berkembang, sampai saat ini Indonesia masih tergantung pada perkembangan teknologi negara-negara maju, khususnya dalam pengadaan peralatan industri. Mengingat bahwa dimensi peralatan tersebut didesain tidak berdasarkan ukuran tubuh orang Indonesia, maka pada saat pekerja Indonesia harus mengoperasikan peralatan tersebut, terjadilah sikap kerja tidak alamiah.

d. Faktor penyebab sekunder,

Beberapa faktor penyebab sekunder dalam keluhan *musculoskeletal* diantaranya getaran, tekanan dan mikrolimat.

2.6 *Virtual Environment* (VE)

2.6.1 Pengertian *Virtual Environment* (VE)

Virtual environment (VE) merupakan suatu representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintetis yang memiliki kemiripan dengan lingkungan nyata (Kalawsky, 1993). 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 (Thalman, 1998).

VE dan VR dapat dimanfaatkan untuk berbagai macam keperluan, diantaranya untuk keperluan desain, visualisasi ilmiah, visualisasi arsitektur, kedokteran, simulasi kerja dan ergonomi, dan *entertainment*. Menurut Wilson *et al.* (1995), *virtual environment* memiliki atribut sebagai berikut:

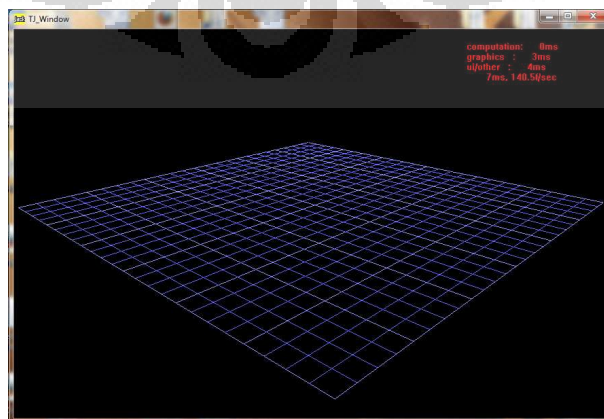
- Lingkungan yang dihasilkan atau diciptakan oleh komputer.
- Lingkungan atau pengalaman partisipan mengenai lingkungan yang berada dalam dunia 3 dimensi.
- Partisipan dapat mengatur variabel-variabel yang ada pada *virtual environment*.

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

2.6.2 *Virtual Environment (VE)* pada *Software Jack*

Software Jack merupakan *software* permodelan dan simulasi manusia (*human modeling and simulation*) yang membantu dalam peningkatan aspek ergonomi dari desain produk dan tempat kerja (*workplace*). *Software* ini memungkinkan pengguna untuk memposisikan model manusia secara akurat dalam lingkungan *virtual (virtual environment)*, memberikan tugas kepada mereka dan menganalisis kinerja mereka. *Software Jack* bekerja dengan menggunakan fitur yang merepresentasikan manusia sesungguhnya di dunia nyata. Fokus dari pengembangan yang dilakukan oleh *software Jack* adalah menciptakan model tubuh manusia yang paling akurat dari seluruh sistem yang tersedia.

Kemampuan terbaik dari *software Jack* adalah mampu mengisi lingkungan (*environment*) dengan model biomekanikal yang tepat, data antropometri, dan karakteristik ergonomi yang berlaku di dunia nyata. *Software Jack* dapat mengevaluasi performa manusia mengenai apa yang dapat mereka lihat dan jangkau, seberapa nyaman mereka, seberapa besar resiko kecelakaan kerja, kapan mereka merasa lelah, dan informasi ergonomi lainnya. Informasi-informasi yang diperoleh tersebut dapat digunakan untuk merancang produk yang lebih aman dan ergonomis, serta proses kerja yang lebih cepat dengan biaya yang minimum.



Gambar 2.6 Tampilan *Virtual Environment* Pada *Software Jack*

Model manusia dalam *software* Jack beraksi seperti layaknya manusia sungguhan, misalnya mampu melakukan kegiatan berjalan dan dapat diperintahkan untuk mengangkat sebuah benda. Model manusia (manekin) ini juga memiliki “kekuatan” yang apabila telah melebihi batasnya, maka *software* Jack akan memberikan informasi kepada penggunanya. Selain itu, pengguna *software* Jack dapat memodelkan pria (Jack) maupun wanita (Jill) dalam berbagai macam ukuran tubuh berdasarkan populasi yang telah divalidasi. Pengguna dapat menyesuaikan data antropometri model manusia (manekin) tersebut sesuai dengan ukuran yang diinginkan. Pada prinsipnya *software* Jack menggunakan beberapa *database* antropometri untuk membuat model manusia (manekin) standar, diantaranya *database antropometri* ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*) 1988 dan *Chinese*.

Jack Task Analysis Toolkit (TAT) adalah sebuah alat analisis *human factor* yang akan membantu penggunanya dalam mendesain area kerja yang lebih baik dan juga memperbaiki eksekusi dari sebuah operasi pekerjaan. 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 (*Siemens PLM Software*, 2008). TAT ini menyediakan sembilan alat analisis yang memiliki keunggulan dan fungsi masing-masing:

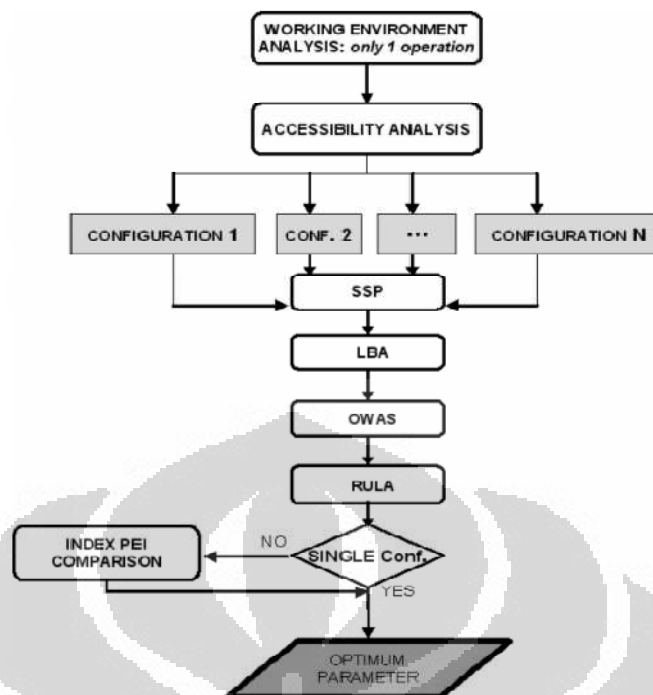
1. *Low-Back Spinal Force Analysis Tool*, digunakan untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu.
2. *Static Strength Prediction Tool*, digunakan untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan suatu pekerjaan berdasarkan postur tubuh, kebutuhan energi, dan antropometri.
3. *NIOSH Lifting Analysis Tool*, digunakan mengevaluasi pekerjaan yang membuat seseorang harus mengangkat sesuatu berdasarkan standard NIOSH.
4. *Predetermined Time Analysis Tool*, digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*.
5. *Rapid Upper Limb Assessment (RULA) Tool*, digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan pada tubuh bagian atas.

6. *Manual Handling Limits Tool*, digunakan untuk mengevaluasi dan mendesain pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang.
7. *Working Posture Analysis (OWAS) Tool*, digunakan untuk menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan operasi kerja.
8. *Metabolic Energy Expenditure Tool*, digunakan untuk memprediksi energi yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan.
9. *Fatigue And Recovery Time Analysis Tool*, digunakan untuk memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja.

2.7 Posture Evaluation Index (PEI)

Posture Evaluation Index (PEI) merupakan suatu pendekatan berupa indeks yang dikembangkan sebagai alat ukur penilaian postur kerja pada *virtual human* di *virtual environment* dari sebuah aplikasi bernama *software* Jack. Tujuan dari metode PEI adalah untuk menetapkan optimasi secara ergonomi pada sebuah operasi yang berada di sebuah area kerja.

Adapun untuk mendapatkan suatu tingkat nyaman yang optimal maka harus diminimalisir terbentuknya *critical posture* selama operasi kerja berlangsung. *Critical posture* dari setiap rangkaian operasi kerja merupakan postur kerja yang paling berpotensi menimbulkan *Musculoskeletal Disorders* (MSDs). Akan tetapi, sering kali *critical posture* ini sulit untuk dideteksi dengan tepat. Dengan menggunakan metode PEI, kualitas dari suatu postur tunggal dengan mengandalkan (*Task Analyst Toolkits*) TAT yang dimiliki oleh *software* Jack dapat dinilai sehingga *critical posture* juga dapat dideteksi (Gironimo, Monacellia, Patalano, 2004). Gambar 2.7 berikut ini menunjukkan diagram alur penggunaan PEI.



Gambar 2.7 Diagram Alur Penggunaan Pendekatan PEI

Sumber: F. Caputo, G. Di Gironimo, A. Marzano, Ergonomi Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment, University of Naples, Italy, 2006, hal.5

Secara garis besar, terdapat tujuh tahapan atau fase yang harus dilalui secara berurutan dalam menggunakan pendekatan PEI, antara lain yaitu sebagai berikut (Caputo, Gironimo, Marzano, 2006):

1. Analisis Lingkungan Kerja

Fase pertama ini merupakan tahap menganalisis kondisi lingkungan kerja dan mempertimbangkan kemungkinan alternatif gerakan kerja operator (seperti alternatif rute, postur, dan kecepatan kerja). Dalam simulasi model lingkungan *virtual*, diperlukan melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternatif gerakan untuk memverifikasi kelayakan tugas yang dilakukan operator. Parameter lain yang dapat di modifikasi adalah jarak dimensi objek-objek kerja yang mempengaruhi postur kerja *virtual human*.

2. Analisis Kemampuan Menjangkau dan Mengakses

Perancangan tempat kerja memerlukan studi pendahuluan mengenai aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan

untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Konfigurasi tata letak yang di luar kemampuan kerja dan jangkauan operator pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Jika analisis lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas konfigurasi telah menunjukkan kondisi-kondisi yang sesuai dengan kondisi dan keterbatasan manusia, maka fase berikutnya dari tahapan PEI baru dapat dilanjutkan.

3. Analisis Skor *Static Strength Prediction (SSP)*

Static Strength Prediction adalah *tools* yang dapat memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan. Operasi pekerjaan yang memiliki nilai skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut.

4. Analisis Skor *Low Back Analysis (LBA)*

Low Back Analysis (LBA) merupakan *tools* yang digunakan untuk mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia berdasarkan postur dan beban yang dikenakan saat melakukan suatu operasi kerja. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu 3400 N.

5. Analisis Skor *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*

Ovako Working Posture Analysis System (OWAS) merupakan metode sederhana untuk mengetahui tingkat kenyamanan dari suatu postur kerja serta untuk memberikan informasi mengenai tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Tingkat penilaian ini berdasarkan pada postur dan observasi rangkaian kerja operator yang disimulasikan. Nilai OWAS yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan maksimum yang ada pada OWAS yaitu 4.

6. Analisis Skor *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

RULA (Rapid Upper Limb Assessment) adalah *tools* untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas serta untuk mengidentifikasi risiko cedera atau gangguan pada tubuh bagian atas. Nilai RULA yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimum RULA yaitu 7.

7. Evaluasi PEI

PEI merupakan hasil integrasi dari nilai LBA, OWAS, dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. PEI mengintegrasikan ketiga nilai ini dengan menjumlahkan tiga variabel dimensional I_1 , I_2 , dan I_3 . Variabel I_1 merupakan perbandingan antara skor LBA dengan batas aman kekuatan kompresi yang dapat diterima manusia. Nilai batas aman yang digunakan dalam metode ini merujuk pada nilai yang dikeluarkan oleh NIOSH yaitu sebesar 3400 N. Sebelum melanjutkan pada perhitungan selanjutnya, perlu diyakini bahwa nilai I_1 harus lebih kecil dari 1. $I_1 > 1$ menunjukkan kegiatan kerja dalam simulasi tidak valid. Variabel I_2 merupakan perbandingan nilai OWAS dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4. Sedangkan nilai I_3 merupakan perbandingan nilai RULA dengan indeks batas maksimum tingkat kenyamanan RULA sebesar 7. Khusus untuk I_3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* “ mr ”.

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

$$I_1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I_2 = \frac{OWAS}{4} \quad I_3 = \frac{RULA}{7} \quad mr = 1,42$$

Keterangan :

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

4 = nilai maximum index OWAS

7 = level maximum ketidaknyamanan tubuh bagian atas

mr = koefisien amplifikasi

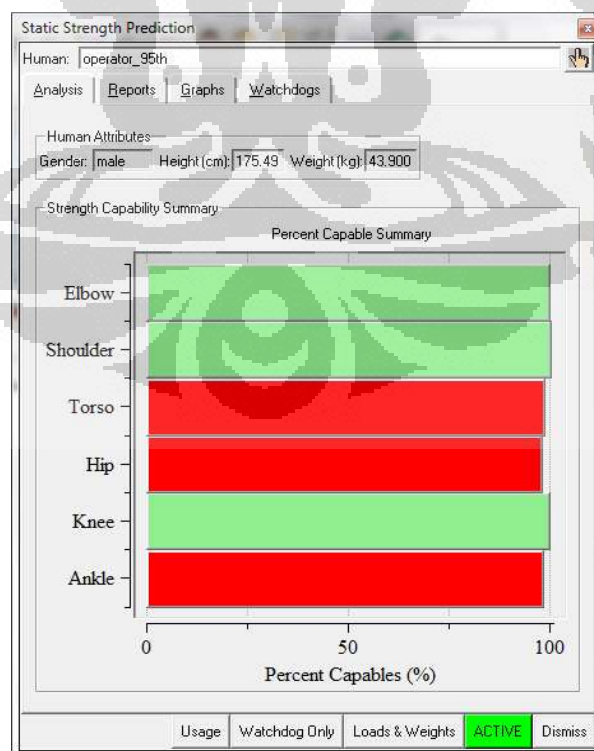
Perbedaan antar nilai PEI yang dihasilkan pada masing-masing *critical posture* yang ditinjau, menunjukkan bahwa semakin kecil nilai PEI, semakin tinggi tingkat kenyamanan dan semakin rendah resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia yang melakukan postur tersebut. Sebaliknya semakin tinggi nilai PEI, semakin rendah tingkat kenyamanan dan semakin tinggi resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia. Dengan kata lain, suatu konfigurasi postur kerja dikatakan optimal jika memiliki nilai PEI yang paling rendah. Adapun nilai minimum PEI adalah 0,47 (kondisi ketika pekerja tidak mendapat beban sama sekali) sedangkan nilai maksimum

tergantung pada nilai I_1 , dimana diasumsikan postur dengan nilai $I_1 > 1$ adalah tidak valid sehingga nilai maksimum PEI adalah 3,42.

2.7.1 Static Strength Prediction (SSP)

Static Strength Prediction (SSP) merupakan salah satu *tools* atau *Task Analysis Toolkits* (TAT) dalam *software* Jack yang digunakan untuk mengetahui dan memvalidasi berapa persen pekerja yang mampu menjalankan aktivitas sesuai dengan postur dan kondisi yang sedang disimulasikan. Nilai hasil analisis SSP ini berubah-ubah seiring dengan berjalannya simulasi dikarenakan perubahan postur dan aktivitas akan berpengaruh pada kemampuan tubuh pekerja dalam melakukannya.

Berdasarkan definisi SSP, prinsip tolak ukur penilaian SSP yang digunakan dalam penelitian ialah lebih besar dari 90% atau dengan pengertian minimal nilai SSP yang diperbolehkan dari hasil simulasi kerja diharapkan dapat mengakomodasi 90% dari populasi pekerja. Dengan demikian dapat dikatakan seluruh rangkaian aktivitas yang disimulasikan memungkinkan untuk dilakukan oleh manusia.



Gambar 2.8. Contoh *Output* Analisis SSP pada Jack TAT

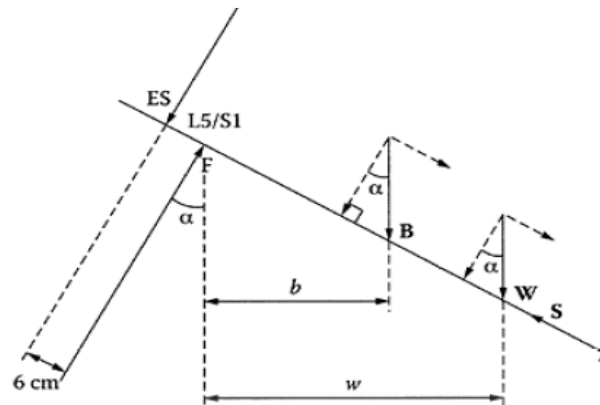
2.7.2 Low Back Analysis (LBA)

LBA merupakan metode untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja di tulang belakang manusia pada kondisi beban dan postur tertentu. Analisis ini mengevaluasi secara *real time* beban yang diterima oleh bagian tulang belakang model manekin saat melakukan tugas yang diberikan. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standar NIOSH yaitu 3400 N.

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

Perhitungan manual gaya kompresi punggung (*Low Back Compressive Force*) yang mirip dengan LBA secara sederhana dapat dilakukan dengan menghitung biomekanik pada ruas L₅/S₁ (dimana fleksi punggung dan hernia ruas tulang punggung biasa terjadi) dan membuat model dari komponen tersebut seperti tuas dengan pusat ruas sebagai pusat momennya.

Misalnya diasumsikan seseorang mempunyai berat badan 75 kg dan 65% dari masa tubuh berada di bagian atas tubuh. Tekanan pada bagian L₅/S₁ tersebut dinotasikan dengan vector **B** (Lindh, 1980). Panjang lengan momen dari otot erector spinae ke bagian L₅/S₁ diasumsikan 6 cm. Perhitungan di atas diilustrasikan pada Gambar 2.9 dibawah ini.



Equilibrium equations:

10.1 Moment around L5/S1:

$$ES \times 0.06 = B \cdot b + W \cdot w$$

10.2 Add forces in spine direction:

$$F - ES - B \cos \alpha - W \cos \alpha = 0$$

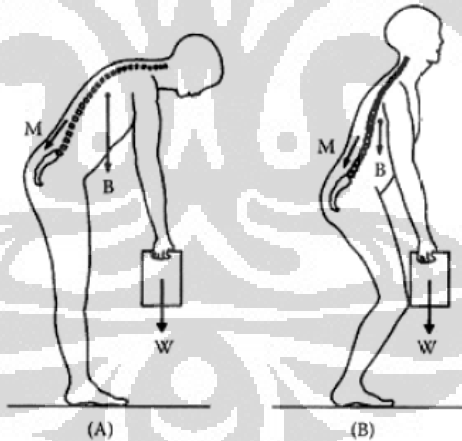
10.3 Add forces perpendicular to spine:

$$S - B \sin \alpha - W \sin \alpha = 0$$

Gambar 2.9 Perhitungan Nilai Tekanan Pada LBA

Sumber: Helander, Martin. A Guide to Human Factor dan Ergonomics p.192.

Prinsip perhitungan tersebut digunakan untuk menghitung tekanan LBA pada kegiatan mengangkat seperti Gambar 2.10 berikut.



Gambar 2.10 Contoh manusia dengan berat 75 kg mengangkat beban 25 kg

(A) Mengangkat dengan punggung ditebuk

(B) Mengangkat dengan membengkokkan lutut

Sumber: Helander, Martin. A Guide to Human Factor dan Ergonomics p.192.

Diasumsikan gaya w pada gambar A dengan kegiatan mengangkat tersebut adalah 40 cm dan b adalah 26 cm, sedangkan untuk kegiatan B dengan posisi

lebih lurus, gaya ternyata berkurang menjadi 35 cm untuk w dan 18 cm untuk b. diasumsikan B dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$B = \text{berat pekerja} \times \text{persentase tubuh bagian atas} \times \text{gaya gravitasi} \dots\dots\dots(2.2)$$

sehingga $B = 75 \text{ kg} \times 0.65 \times 9.8 = 478 \text{ N}$ dan W benda sebesar 250 N. Setelah itu dapat digunakan persamaan momen L5/S1 pada Gambar 2.9 untuk menghitung LBA posisi A. Nilai tekanan pada otot *erector spinae* yang didapat pada posisi A tersebut adalah 3658 N.

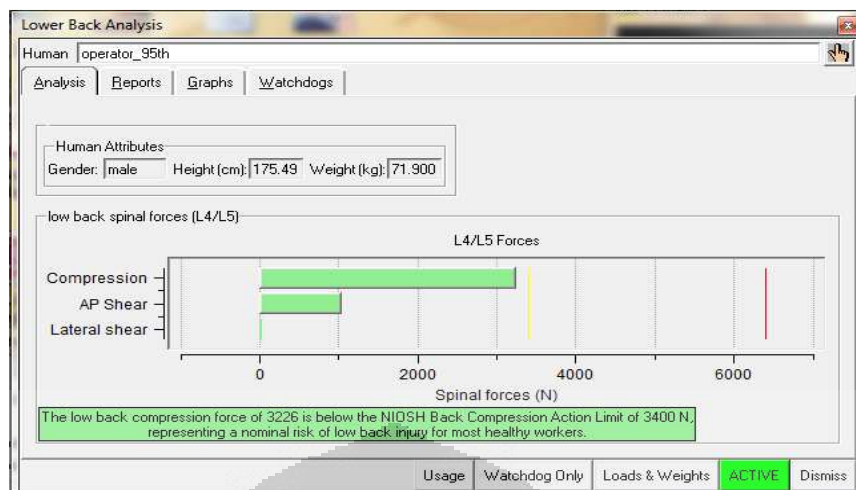
Selanjutnya dapat dihitung tekanan total yang menekan punggung belakang pekerja. Diasumsikan tubuh mencondong sebesar 30^0 sehingga tekanan LBA dihitung dengan persamaan yang ada pada Gambar 2.9. Perhitungan tersebut didapat dengan perhitungan:

$$F = 3658 + 478 \times 0.89 + 2500.89 = 4306 \text{ N.}$$

Berdasarkan persamaan di atas, didapat LBA pekerja pada posisi A adalah 4306 N. Untuk menghitung LBA pada posisi B dapat dihitung dengan cara yang sama, sehingga didapat tekanan pada bagian *erector spinae* sebesar 2892 N. Posisi B pun diasumsikan tubuh mencondong sebesar 30^0 sehingga nilai F atau tekanan total didapat sebesar 3540 N.

Untuk menghitung tekanan LBA secara *real time*, Jack juga menggunakan dasar perhitungan tersebut. Pengguna Jack hanya tinggal membuat animasi dari pekerjaan yang ingin dikerjakan. Pada Jack *Task Analysis Toolkits* (TAT), nilai tekanan kompresi memiliki 3 buah kategori atau batasan yakni kurang dari 3.400N, antara 3.400N hingga 6.000N, dan di atas 6.000N.

Batasan nilai ini didasarkan pada nilai atau standar NIOSH *Back Compression Action Limit* dimana jika nilai kompresi kurang dari 3.400N maka aktivitas tersebut tidak terlalu beresiko untuk dilakukan sedangkan jika nilainya melebihi 3.400N maka grafik akan berwarna kuning yang menunjukkan resiko dari postur dan aktivitas tersebut berbahaya bagi kesehatan. Apabila melampaui 6.000N maka grafik akan berubah menjadi berwarna merah yang mengindikasikan aktivitas dan postur tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh pekerjanya. Adapun pada perhitungan PEI, nilai batas LBA yang diperbolehkan yaitu tidak melebihi 3400 N.



Gambar 2.11 Contoh *Output* Analisis LBA pada Jack TAT




2.7.3 *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*

OWAS adalah sebuah metode evaluasi ergonomi untuk mengamati postur kerja pada bagian punggung, lengan, dan tungkai kaki secara objektif. OWAS juga mempertimbangkan beban yang ditangani oleh pekerja, sehingga membuat metode ini cukup baik untuk aplikasi di bidang industri. Metode ini pertama kali dikembangkan di sebuah pabrik Baja Finlandia bernama Ovako Oy (Karhu, 1977). Semenjak itu, banyak pabrik yang mulai menggunakan OWAS untuk pengamatan postur pekerja mereka, bahkan OWAS telah dimodifikasi untuk pengamatan di bidang konstruksi. OWAS mengidentifikasi beberapa postur yang umum terjadi pada sebuah pekerjaan, terutama pada industri manufaktur.

OWAS merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh manusia akibat postur kerja dilakukan pada saat melakukan suatu operasi kerja. Hasil penilaian OWAS akan menentukan tingkat kepentingan atau urgensi untuk dilakukannya perbaikan terhadap rancangan stasiun kerja. Secara umum fungsi penggunaan metode OWAS adalah:

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

Penggunaan metode OWAS dalam menanalisis kenyamanan hanya ditekankan pada evaluasi beberapa faktor antara lain postur kerja yang dialami punggung, lengan, kaki, dan besarnya beban yang harus ditopang oleh tubuh seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 2.12.

<p>Back</p>  <p>1 2 3 4</p>	<p>PUNGGUNG</p> <p>1 = Lurus, netral 2 = cenderung ke depan (bungkok) atau ke belakang 3 = memutar (twist) atau cenderung ke samping 4 = bungkok (bent) dan memutar (twist)</p>
<p>Arms</p>  <p>1 2 3</p>	<p>TANGAN</p> <p>1 = Kedua tangan di bawah bahu 2 = satu tangan berada pada atau di atas bahu 3 = kedua tangan berada pada atau di atas bahu</p>
<p>Legs</p>  <p>1 2 3 4 5 6 7</p>	<p>KAKI</p> <p>1 = Duduk 2 = berdiri dengan kedua kaki lurus 3 = berdiri lebih ditopang dengan satu kaki 4 = berdiri atau jongkok dengan kedua kaki tertekuk 5 = berdiri atau jongkok dengan satu kaki tertekuk 6 = berlutut dengan satu atau kedua kaki 7 = berjalan atau bergerak</p>
	<p>BEBAN</p> <p>1 = sama dengan atau kurang dari 10 kg 2 = 10-20 kg 3 = lebih dari 20 kg</p>

Gambar 2.12 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

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

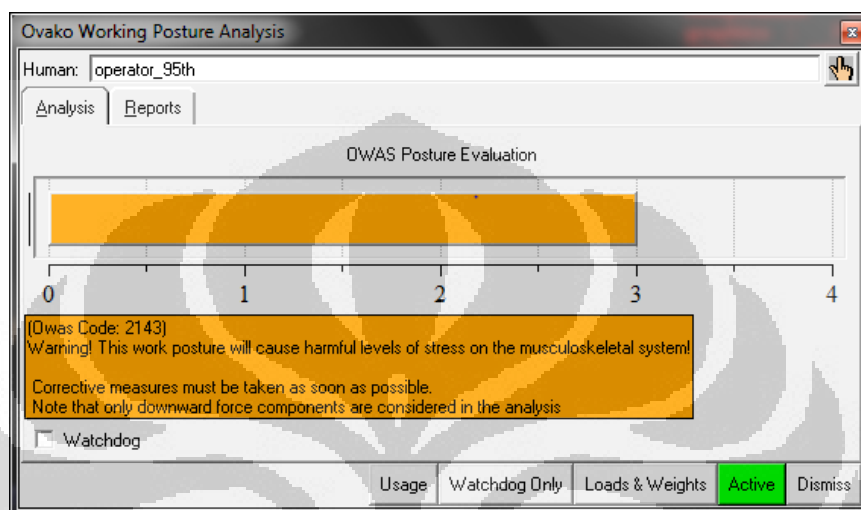
Berdasarkan pengamatan postur yang telah dilakukan, dapat diketahui urgensi dari tindakan perbaikan terhadap postur tersebut lewat klasifikasi 4 kategori tindakan dari skala 1 hingga 4. Nilai tunggal yang dihasilkan memiliki jangkauan nilai 1 hingga 4 seperti yang ditunjukkan oleh Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Pembobotan Skor Pada OWAS

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

Sumber: Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002

Output analisis OWAS pada Jack TAT akan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan indikator mulai dari 1 sampai dengan 4. Analisis OWAS pada Jack TAT sebagaimana yang terdapat pada Gambar 2.13 menunjukkan kaitan antara tingkat beban dan postur aktivitas yang dilakukan dengan tekanan pada sistem muskuloskeletal tubuh pekerjanya.



Gambar 2.13. Contoh *Output* Analisis OWAS pada Jack TAT

2.7.4 Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)

RULA (*Rapid Upper Limb Assesment*) merupakan sebuah cara penilaian beban *muskuloskeletal* secara mudah untuk berbagai pekerjaan yang memiliki resiko pada leher dan bagian atas lengan yang dirancang oleh McAtamney & Corlett pada tahun 1993. RULA merupakan suatu metode penelitian ergonomi sederhana yang digunakan untuk menilai dari segi biomekanik dan postur tubuh secara keseluruhan dengan menitikberatkan pada leher, punggung dan anggota gerak bagian atas (upper limb). RULA lebih umum digunakan untuk menilai postur, tenaga, dan pergerakan dari sebuah pekerjaan yang cenderung statis (Neville et.al, 2005). Terdapat beberapa fungsi penggunaan metode RULA yaitu diantaranya sebagai berikut.

- Mengukur resiko *muskuloskeletal*, biasanya sebagai bagian dalam sebuah investigasi ergonomi.
- Membandingkan beban *muskuloskeletal* dari desain *workstation* saat ini dan setelah perbaikan.

- Mengevaluasi hasil keluaran (*output*) seperti produktivitas atau kecocokan peralatan yang digunakan oleh pekerja.
- Mengajarkan pekerja mengenai resiko *musculoskeletal* yang diakibatkan oleh postur kerja tertentu.

Penilaian postur dengan RULA akan menghasilkan sebuah skor yang memiliki rentang angka dari 1 hingga 7 yang menggambarkan resiko postur tersebut terhadap sistem *musculoskeletal* pekerja. Skor itu kemudian dikelompokkan kembali dalam 4 level yang menjelaskan rentang waktu yang diharapkan untuk mengendalikan resiko postur tersebut. Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok A dan kelompok B.

- Kelompok A yaitu lengan yang terdiri dari lengan bagian atas dan bawah dan tangan yang terdiri dari pergelangan tangan dan putaran yang terjadi pada pergelangan tangan.
- Kelompok B yaitu batang tubuh dan leher.

Pada akhir perhitungan RULA, akan diperoleh sebuah skor total yang berkisar antara 1 hingga 7. Skor ini kemudian dikonversikan menjadi level tindakan perbaikan postur. Skor ini digunakan sebagai pedoman dalam melakukan tindakan penyesuaian ataupun tindakan perbaikan. Terdapat 4 level tindakan dalam RULA yang klasifikasinya dapat dilihat pada Tabel 2.8 berikut.

Tabel 2.8 Level Tindakan Berdasarkan Skor RULA

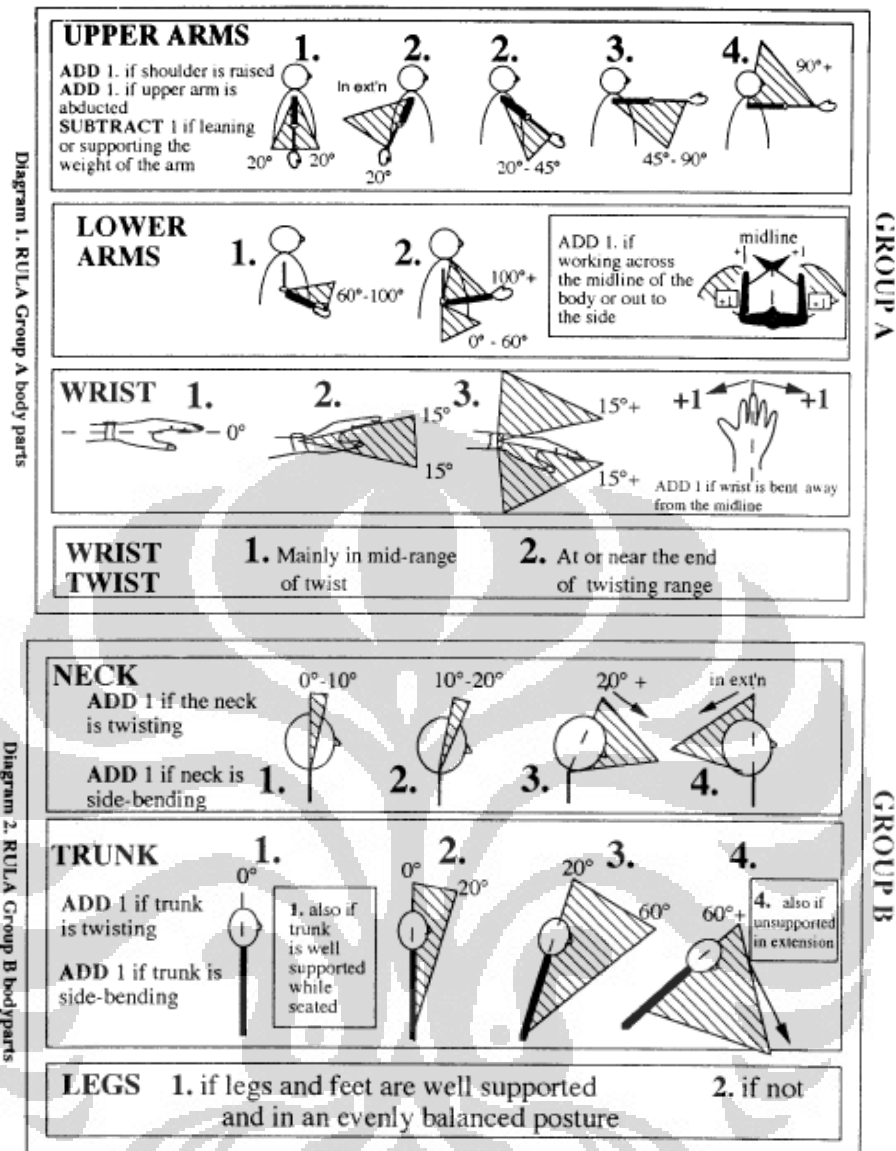
Skor RULA	Level Tindakan	Penjelasan
1 atau 2	Tindakan level 1	Postur yang diamati dapat diterima
3 atau 4	Tindakan level 2	Investigasi perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan
5 atau 6	Tindakan level 3	Investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera
7	Tindakan level 4	Investigasi dan perubahan perlu dilakukan secepat mungkin

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008

Adapun level tindakan tersebut dijelaskan sebagai berikut:

- Level Tindakan 1 : Nilai 1 atau 2
Nilai akhir sebesar 1 atau 2 menunjukkan bahwa pekerja telah melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang baik dengan tidak adanya resiko cedera yang dikarenakan postur kerjanya.
- Level Tindakan 2 : Nilai 3 atau 4
Nilai akhir sebesar 3 atau 4 menunjukkan bahwa pekerja melakukan pekerjaan dengan posisi kerja yang dapat menimbulkan cedera, hal ini biasanya dikarenakan terdapat satu bagian tubuh dalam posisi yang canggung dan menyimpang. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini seharusnya ditinjau kembali dan dilakukan koreksi.
- Level Tindakan 3 : Nilai 5 atau 6
Nilai akhir sebesar 5 atau 6 menunjukkan bahwa pekerja melakukan pekerjaan dengan posisi kerja buruk (*poor posture*) yang menimbulkan cedera. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini harus ditinjau kembali dan dilakukan perubahan segera perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya cedera.
- Level Tindakan 4 : Nilai 7
Nilai akhir sebesar 7 menunjukkan bahwa pekerja melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang sangat buruk (*worst posture*) yang dalam waktu singkat akan menimbulkan cedera. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini harus dikoreksi dan dilakukan perubahan secepatnya untuk mencegah timbulnya cedera.

Skor yang diperoleh dari kedua grup (kelompok bagian tubuh A dan kelompok bagian tubuh B) dapat ditambahkan dengan skor tambahan dari faktor lainnya yaitu penggunaan otot dan gaya atau beban yang ditangani. Contoh posisi yang dinilai oleh RULA untuk grup A dan B dapat dilihat pada Gambar 2.14 di bawah ini.



Gambar 2.14 Pengelompokan Tubuh Metode RULA

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

Output analisis RULA pada Jack TAT akan ditampilkan dalam bentuk penilaian dengan mulai dari 1 sampai dengan 7. Analisis RULA sebagaimana yang terdapat pada Gambar 2.15 ini menunjukkan indikator analisis yang digunakan untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas terkait dengan dampak dari pekerjaan dan beban yang disimulasikan.

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

Job Title:	Kondisi Aktual	Job Number:	1
Location:	Radial Arm Saw-Lifting	Analyst:	Malouna Fellisa
Comments:	Operator 1-Presentil 5	Date:	10 mei 2011

Body Group A Posture Rating:

Upper arm:	4
Lower arm:	3
Wrist:	1
Wrist Twist:	1
Total:	7

Body Group B Posture Rating:

Neck:	4
Trunk:	3
Total:	7

Muscle Use: Mainly static, e.g. held for longer than 1 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:
 Legs/feet not supported. Weight distribution uneven.

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

Buttons: Update Analysis, Usage, Dismiss

Gambar 2.15. Contoh *Output* Analisis RULA pada Jack TAT

2.8 NIOSH Lifting Index (LI)

Analisis NIOSH *Lifting* adalah sebuah *guideline* yang dikembangkan oleh *National Institute for Occupational Safety and Health* (NIOSH) dengan *output* berupa satuan beban yang dapat ditangani oleh hampir setiap orang. Satuan beban atau yang biasa disebut *Recommended Weight Limit* (RWL) ini merupakan beban maksimal yang direkomendasikan untuk suatu pekerjaan berdasarkan kondisi-kondisi yang didefinisikan. Nilai *Recommended Weight Limit* (RWL) merupakan sebuah model multiplikatif dari beberapa variabel yang dimasukkan dalam fungsi (Waters et al., 1993).

Pada ketentuan NIOSH (*National Institute for Occupational Safety and Health*) ini, batas tekanan kompresi maksimum yang dialami manusia adalah 3400 N. Standar pengangkatan yang paling nyaman dan ideal bagi manusia adalah ketinggian pada level pinggang. Proses angkat pada level atas pinggang manusia akan melibatkan usaha pada lengan dan bahu, namun proses angkat pada level

bawah pinggang akan melibatkan keseluruhan bagian tubuh. Secara matematis, standar *lifting* NIOSH ini dapat dirumuskan dalam perhitungan RWL dan LI. RWL (*Recommended Weight Limit*) merupakan batas beban yang direkomendasikan dalam satuan kg yang dirumuskan sebagai berikut:

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times AM \times FM \times CM$$

$$RWL = 23 \times (25/H) \times (1 - 0,003 | V - 75 |) \times (0,82 + 4,5/D) \times (1 - 0,0032A) \times FM \times CM \dots (2.3)$$

Keterangan:

- LC (*Load Constant*) merupakan berat konstan, yaitu 23 kg
- HM ialah *Horizontal Multiplier* yang besarnya 25 dibagi jarak antara lutut dengan tangan ($HM = 25/H$)
- VM ialah *Vertical Multiplier* yang besarnya dipengaruhi oleh ketinggian titik awal pengangkatan ($VM = 1 - 0,003 | V - 75 |$)
- DM ialah *Distance Multiplier* dengan D merupakan jarak vertikal pengangkatan ($DM = 0,82 + 4,5/D$)
- FM ialah *Frequency Multiplier* yang berhubungan dengan frekuensi angkat per menit serta durasi kerja. Nilai FM dapat dilihat pada Tabel 2.9.
- AM ialah *Asymmetric Multiplier* yang merupakan sudut perpindahan lokasi beban angkat ($AM = 1 - 0,0032A$)
- CM ialah *Coupling Multiplier* yang memiliki tiga kriteria (good, fair, poor) dan dua jarak pengangkatan ($V > 30$ inci dan $V \leq 30$ inci). Nilai CM dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Adapun persamaan (2.3) RWL yang disampaikan hanya berlaku pada keadaan berikut:

- Beban yang diberikan adalah beban statis, tidak ada penambahan ataupun pengurangan beban di tengah-tengah pekerjaan.
- Beban diangkat dengan menggunakan kedua tangan.
- Proses pengangkatan atau penurunan hanya dilakukan dalam waktu maksimal 8 jam.
- Pengangkatan atau penurunan benada tidak boleh dilakukan pada saat duduk atau berlutut.

Table 2.9. 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, 1998

Table 2.10. Coupling Multiplier

Coupling	Vertical horizontal of hands from floor < 75 cm (30 in)	Vertical horizontal of hands from floor < 75 cm (30 in)
Good	1,00	1,00
Fair	0,95	1,00
Poor	0,90	0,90

Sumber: Applications Manual for the Revised NIOSH Lifting Equation, 1998

Melalui *software* Jack, dapat diketahui koordinat titik vertikal (V) dan horizontal (V) untuk titik awal pengangkatan (*lift origin*) dan titik akhir pengangkatan (*lift destination*). Selain itu, *software* Jack juga dapat memunculkan nilai asimetri yang dapat digunakan untuk perhitungan RWL. Melalui data-data

tersebut dapat diketahui nilai RWL sebagai nilai batas maksimal pengangkatan yang direkomendasikan berdasarkan prinsip ergonomi bagi setiap pekerja.

Selain RWL, indikator lain yang berhubungan yang dapat digunakan untuk analisis pengangkutan beban dengan standar NIOSH adalah *Lifting Index* (LI). *Lifting Index* merupakan indeks yang menunjukkan estimasi dari bahaya pengangkatan yang berisiko. *Lifting Index* (LI) didapatkan dari perbandingan besar beban angkat benda (L) terhadap *Recommended Weight Limit* (RWL) (Waters et al., 1993). Rumus perhitungan LI adalah sebagai berikut.

$$LI = L/RWL = \text{Load of weight} / \text{Recommended Weight Limit} \dots \dots \dots (2.4)$$

Berdasarkan NIOSH (1994), tugas pengangkatan dengan nilai LI yang lebih besar dari 1,0 memiliki resiko sakit punggung bagian bawah akibat pengangkatan bagi sebagian pekerja. Oleh karena itu, sangat direkomendasikan untuk merancang aktivitas pekerjaan mengangkat agar memiliki nilai LI sama dengan atau kurang dari 1.

BAB 3

METODE PENELITIAN

Bab ketiga adalah bab metode penelitian yang berisi gambaran umum tempat pengambilan data, penentuan objek penelitian, pengumpulan data serta pembuatan model untuk analisis postur kerja pada area *material cutting* di industri mebel. Data-data yang dikumpulkan diantaranya data identifikasi keluhan pekerja, penentuan stasiun kerja dan variabel yang diteliti, spesifikasi stasiun kerja, postur dan metode kerja, dan antropometri pekerja. Selanjutnya proses pembuatan model pada *virtual environment* dan penentuan konfigurasi desain juga dibahas lebih lanjut.

3.1 Gambaran Umum PT. X

Pada subbab ini akan dijelaskan gambaran umum PT. X sebagai tempat penelitian yang berisikan profil umum PT. X, proses produksi, dan area *material cutting*. Informasi-informasi tersebut digunakan sebagai data awal yang menjabarkan secara singkat karakteristik tempat penelitian.

3.1.1 Profil Umum PT.X

Saat ini PT. X merupakan perusahaan manufaktur mebel yang tergolong industri berskala menengah, khususnya dalam memproduksi produk-produk interior yang berbahan kayu. Perusahaan merupakan perusahaan mebel yang telah lama beroperasi (berdiri pada tahun 1977) dan sudah berpengalaman di bidangnya. Konsumen dari perusahaan berasal dari pasar domestik dan internasional dimana perusahaan memproduksi produk-produk mebel baik untuk konsumen dalam dan luar negeri. Adapun wilayah tujuan ekspor utama produk-produk mebel PT. X adalah Eropa, Amerika, dan Jepang. Disamping itu, PT. X juga mengekspor produk ke wilayah Asia, Afrika dan Australia. Konsumen PT. X antara lain Hotel Barito, Hoka-Hoka Bento, Gedung ICBC Jakarta, ICBC Surabaya dan Mark Plus Internasional.

Kapasitas produksi rata-rata adalah sebesar 20 x 40 kontainer per bulan untuk produk mebel berbahan kayu dan 15 x 40 kontainer perbulan untuk produk

mebel berbahan rattan. Adapun produk-produk interior mebel utama yang diproduksi meliputi kursi, meja, tempat tidur, lemari, dan rak-rak pajangan yang berkualitas tinggi.

Dalam proses produksinya, PT. X rata-rata menggunakan 50% tenaga manusia dan 50% tenaga mesin atau otomatisasi sehingga peran manusia dalam proses produksinya masih tergolong dominan (Kepala *Human Resources Department* PT. X, 2011). Hal ini terkait erat dengan tingginya peran manusia atau pekerja industri mebel yang membutuhkan keahlian dan keterampilan khusus dalam membuat desain produk-produk mebel yang berkualitas, nyaman, aman bagi para pemakai atau konsumennya.

Departemen produksi PT. X merupakan departemen yang memegang peranan penting dalam keberlangsungan perusahaan dimana manager produksi bertanggung jawab langsung kepada dewan komisaris. Secara struktural, terdapat dua divisi utama pada PT. X, yaitu Divisi Interior dan Divisi *Furniture*. Masing-masing divisi tersebut dipimpin oleh seorang koordinator divisi.

- Divisi Interior

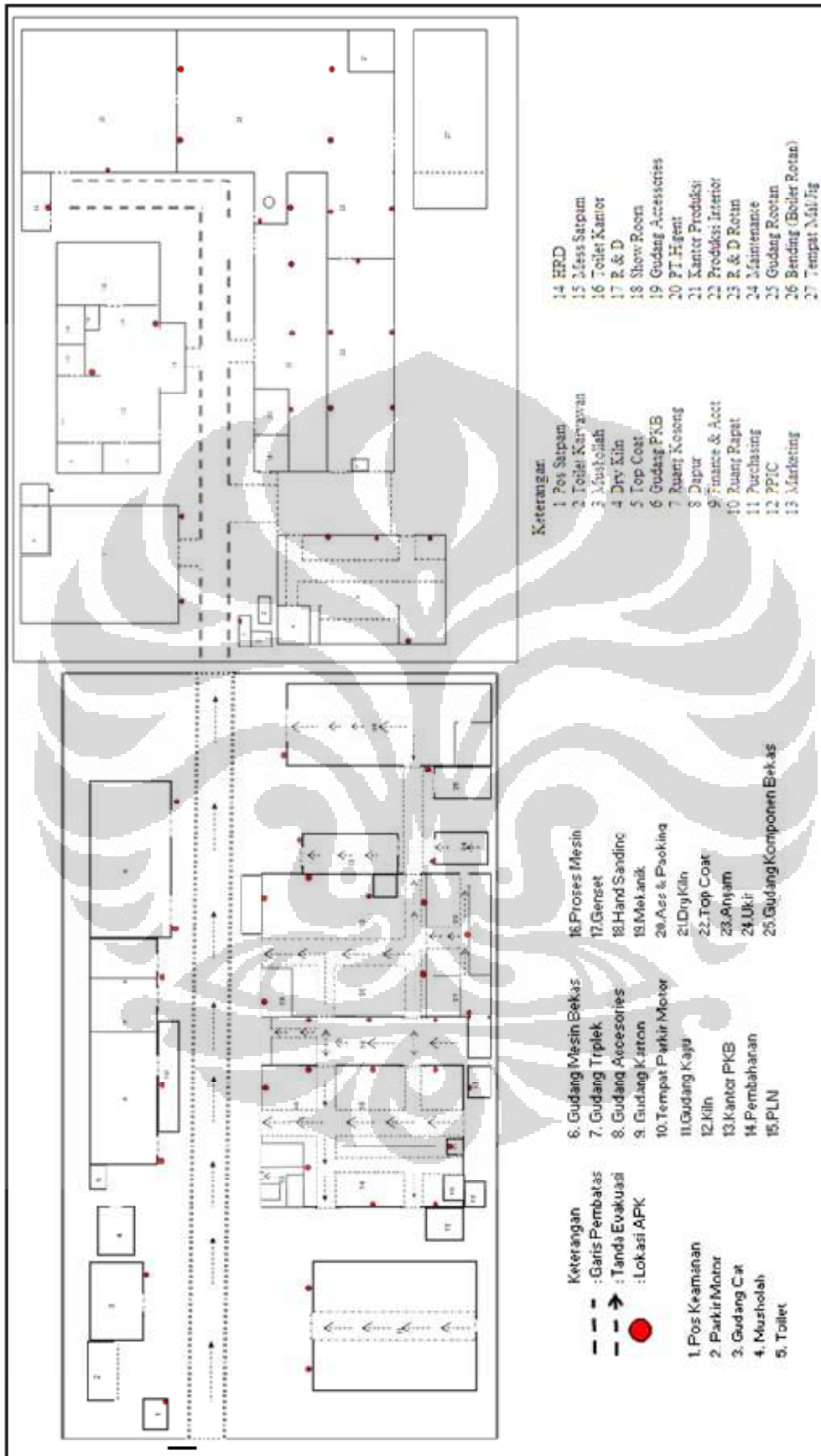
Divisi interior merupakan divisi yang bertugas memproduksi produk-produk mebel untuk konsumsi pasar lokal atau dalam negeri.

- Divisi *Furniture*

Divisi interior merupakan divisi yang bertugas untuk memproduksi produk-produk mebel untuk konsumsi pasar internasional atau luar negeri. Mebel yang diproduksi oleh pekerja di Divisi *Furniture* merupakan mebel berkualitas tinggi yang akan diekspor ke luar negeri untuk memenuhi permintaan konsumen internasional.

Adapun pemisahan kedua divisi di PT. X ini berlaku secara struktural dimana terdapat pemisahan jenis pekerja produksi Divisi Interior dan pekerja Divisi *Furniture*. Dari segi fungsional, proses produksi oleh kedua jenis pekerja divisi ini akan melalui tahapan atau proses produksi yang sama. Adapun jumlah pekerja pada departemen produksi berjumlah 115 orang.

Jam kerja dalam sehari yaitu 8 jam dengan waktu istirahat selama 1 jam. Waktu kerja pekerja dimulai pukul 08.00 sampai dengan pukul 17.00 dengan waktu istirahat selama satu jam mulai pukul 12.00 sampai pukul 13.00.



Gambar 3.1 Denah Pabrik PT. X

Sumber: Human Resources Department PT. X, 2011

3.1.2 Proses Produksi

Tahapan-tahapan pembuatan mebel yang dijelaskan berikut ini merupakan tahapan pembuatan mebel yang berlaku di PT. X. Alur pembuatan produk-produk mebel terdiri dari beberapa tahapan, yaitu sebagai berikut:

1. Tahap Pra Produksi - Penyediaan Bahan Mentah

Penyediaan bahan baku mentah berupa material kayu balok atau papan dilakukan oleh Bagian *Purchasing* (Pembelian) yang dibeli sesuai dengan alokasi dari PPC (*Production Planning Control*), kayu yang dibeli harus sudah kering (*dry kiln*) setelah itu disimpan digudang bahan baku.

2. Tahap Proses Produksi

Bagian produksi mengerjakan mebel sesuai dengan PO (*Purchasing Order*) dari bagian *Marketing* dan sebelum mebel tersebut dibuat oleh bagian produksi terlebih dahulu barang tersebut di *costing* oleh bagian PPC. Setelah di-*costing* langsung, PO tersebut dikerjakan oleh produksi dengan tahapan proses produksi sebagai berikut:

a. Proses Pembahanan/Pemotongan Bahan (*Material Cutting*)

Produksi mengadakan permintaan bahan baku sesuai kebutuhan melalui gudang bahan baku setelah itu masuk ke bagian pemotongan bahan (material kayu). Proses ini merupakan proses pemotongan material-material kayu awal yang berasal dari gudang bahan baku sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan. Proses pemotongan yang dimaksud tersebut secara spesifik terdiri dari aktivitas memotong, membelah, dan menyerut.

b. Proses Permesinan (*Mashinging*)

Setelah dipotong sesuai ukuran kasar yang dibutuhkan, bagian *mashinging* melakukan proses detail sesuai dengan detail-detail barang yang sesuai dengan gambar kerja produk yang telah dibuat oleh PPC. Pada proses ini kayu-kayu yang telah dipotong akan dipola secara detail, termasuk dilakukan proses perakitan (*assembly*).

c. Proses Pengampelasan (*Sanding*)

Bagian *mashinging* menyerahkan barang yang telah dikerjakan tersebut kepada bagian *sanding* untuk diampelas agar ketika barang tersebut dicat menjadi halus sehingga sesuai dengan standar kualitas yang dibutuhkan.

d. Proses Pengecatan (*Top Coating*)

Pengecatan adalah suatu proses yang pengakhiran pembuatan barang jadi yang dilakukan sesuai dengan model yang dibuat berdasarkan PO.

e. Proses Pengecekan Kualitas (*Quality Control*)

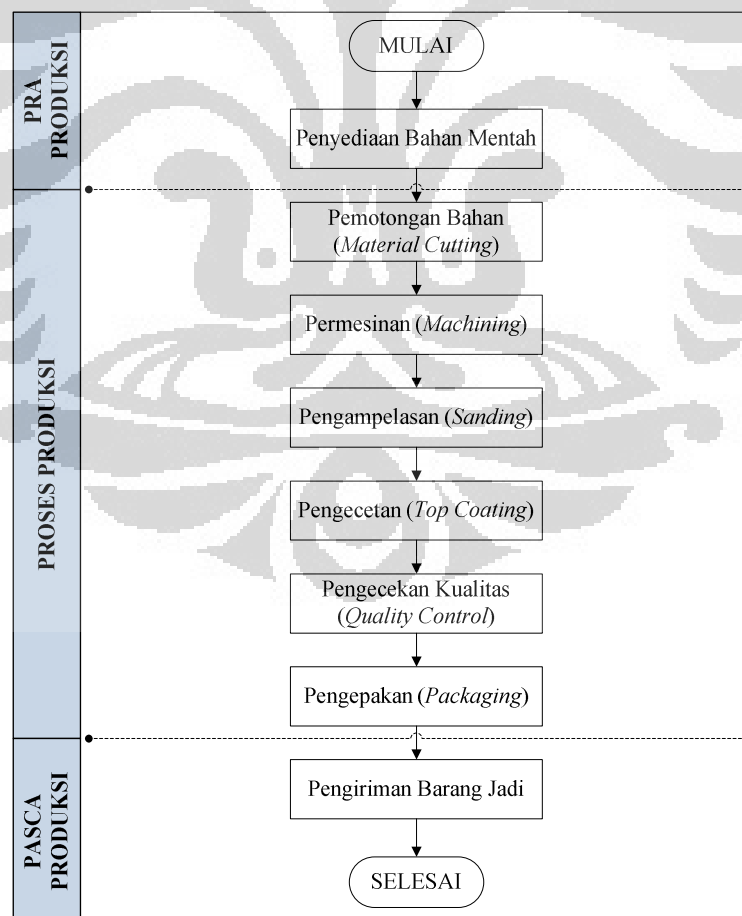
Quality Control adalah suatu pengecekan barang dari mulai proses pembelian bahan baku sampai kepada proses pengiriman untuk menjamin kualitas barang tetap terjaga sesuai standar yang ditetapkan.

f. Proses Pengemasan (*Packaging*)

Proses ini merupakan suatu pengemasan atau pembungkusan barang yang dilakukan setelah barang selesai dibuat dan dilakukan pengecekan kualitas sebelum akhirnya dikirimkan kepada konsumen.

3. Tahap Pasca Produksi - Pengiriman Barang Jadi

Adalah suatu proses pengiriman barang jadi yang dilakukan menggunakan kontainer melalui kapal laut hingga sampai ketempat pembeli.



Gambar 3.2 Flowchat Alur Proses Produksi

3.1.3 Area *Material Cutting*

Material cutting merupakan area kerja yang digunakan untuk proses pemotongan material-material balok kayu awal yang berasal dari gudang bahan baku sesuai dengan ukuran kasar yang dibutuhkan untuk pembuatan produk mebel. Area *material cutting* ini lebih dikenal dengan istilah area pemotongan bahan atau area pembahanan. Proses pemotongan yang dimaksud tersebut secara spesifik terdiri dari aktivitas memotong, membelah, dan menyerut. Adapun pemotongan material-material kayu ini merupakan aktivitas utama yang dilakukan pekerja (biasanya disebut operator) yang mengawali kegiatan produksi.

Material kayu yang dibawa dari gudang bahan baku akan dipotong sesuai dengan jumlah dan ukuran yang telah ditetapkan oleh bagian *Production Planning Control* (PPC). Adapun bahan baku mentah berupa material kayu utama yang digunakan dalam proses produksi terbuat dari kayu meranti. Material kayu yang dibawa dari gudang bahan baku ke area *material cutting* tersebut memiliki ukuran yang berbeda-beda, akan tetapi umumnya dimensi maksimum kayu yang digunakan memiliki panjang 4000 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm dengan rata-rata berat maksimum sebesar 40 kg. Dikarenakan area *material cutting* merupakan area pemotongan awal balok-balok kayu, massa material kayu yang diproses pada area ini cukup berat, yaitu berkisar antara 5 kg sampai 40 kg.

Terdapat operator yang bertugas mengantarkan material kayu yang berasal dari gudang bahan baku ke area *material cutting* dengan menggunakan *forklift*. Penggunaan *forklift* ini dilakukan untuk memudahkan *material handling* berupa pemindahan balok-balok kayu yang cukup besar. Operator tersebut juga bertugas melakukan *unloading* material kayu dari *forklift* ke lantai produksi area *material cutting* dengan bantuan *forklift* tersebut. Material-material kayu tersebut yang akan diproses ke mesin pada stasiun kerja pemotongan, pembelahan, dan penyerutan dibantu aktivitas pengoperasian manual oleh operator.

Pada area *material cutting*, terdapat beberapa stasiun kerja dimana setiap stasiun kerja terdiri mesin yang fungsi utamanya adalah untuk melakukan pemotongan, pembelahan, atau penyerutan terhadap material balok-balok kayu. Setiap mesin dioperasikan operator yang mengendalikan secara manual proses pemotongan material balok kayu tersebut pada mesin kerja. Setiap mesin dapat

dioperasikan oleh satu atau dua operator, tergantung mesin yang digunakan dan beban kerjanya. Jenis mesin-mesin yang digunakan yaitu *radial arm saw, single rip saw, thickness planer, surface planer, double planer, panel saw, multi rip saw, band saw, molding, laminating manual machine*.

Diantara mesin-mesin tersebut mesin utama yang digunakan untuk memotong material kayu yaitu *radial arm saw*, mesin utama yang digunakan untuk membelah material kayu yaitu *single rip saw*, sedangkan mesin utama yang digunakan untuk menyerut material kayu yaitu *thickness planer*. Mesin-mesin tersebut dioperasikan setiap harinya secara rutin oleh operator, sementara mesin-mesin lainnya tidak selalu digunakan dikarenakan fungsinya yang lebih spesifik sehingga penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan. Proses kerja yang dilakukan pada area *material cutting* yaitu sebagai berikut:

- Menerima rencana produksi dari bagian PPC berupa jumlah dan ukuran material kayu yang harus dipotong.
- Menerima bahan baku berupa material balok kayu yang dibawa dari gudang bahan baku dengan menggunakan *forklift*.
- Memosisikan diri pada mesin atau stasiun kerja.
- Mengambil material kayu yang akan diproses dari permukaan lantai atau tumpukan kayu untuk dipotong, dibelah ataupun diserut.
- Melakukan proses pemotongan material kayu pada mesin potong, mesin belah, atau mesin serut.
- Meletakkan material kayu yang telah dipotong dibelah ataupun diserut pada permukaan lantai atau tumpukan kayu.

Proses pemotongan, pembelahan, dan penyerutan pada stasiun kerja dilakukan secara berkelanjutan sehingga pada akhirnya material balok-balok kayu tersebut dibuat sesuai dengan jumlah dan ukuran yang telah ditetapkan sebelumnya oleh bagian perencanaan produksi.

Adapun jumlah operator bagian pada area *material cutting* adalah sebanyak 30 orang. Rata-rata jam kerja dalam sehari yaitu 8 jam dengan waktu istirahat selama 1 jam. Waktu kerja dimulai pukul 08.00 sampai dengan pukul 17.00 dengan waktu istirahat selama satu jam mulai pukul 12.00 sampai pukul 13.00.

3.2 Penentuan Objek Penelitian

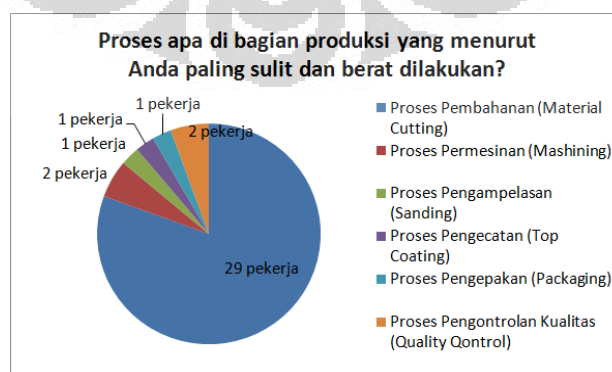
Penentuan objek penelitian terdiri dari pengidentifikasian permasalahan pekerja, penentuan stasiun kerja, dan penentuan variabel yang diteliti. Penentuan objek penelitian ini penting dilakukan sebagai dasar dalam melakukan penelitian.

3.2.1 Data Identifikasi Permasalahan Pekerja

Sebagai langkah dasar pengumpulan data dalam penelitian ini yaitu mengidentifikasi permasalahan yang ada pada pekerja di bagian produksi industri mebel PT.X. Identifikasi tersebut diperlukan untuk melihat gejala dari permasalahan yang akan dibahas lebih lanjut ke depannya pada penelitian ini.

Adapun penelitian difokuskan pada area *material cutting* di industri mebel. Proses tersebut dipilih berdasarkan pertimbangan hasil penelitian pendahuluan berupa kuesioner dan wawancara kepada pekerja dimana pekerja pada area *material cutting* dinilai paling beresiko terkena MSDs dibandingkan dengan area kerja yang lain dimana postur pekerja yang janggal dengan posisi kerja yang cenderung membungkuk. Hampir seluruh aktivitas kerja dilakukan dengan posisi berdiri atau berjalan dengan tingkat *repetitive* yang tinggi disertai beban angkat yang cukup besar (antara 5 kg sampai 40 kg).

Selain observasi langsung di area produksi, pertanyaan juga dilakukan terhadap 36 orang pekerja produksi dengan dipilih secara acak masing-masing 6 pekerja setiap area kerja (*material cutting, mashing, sanding, top coating, packaging, quality control*) dengan pertanyaan utama yaitu area kerja yang menurut pekerja paling sulit dan berat dilakukan. Hasil observasi dan pertanyaan menunjukkan proses/area *material cutting* paling sulit dan berat untuk dilakukan.



Gambar 3.3 Rekapitulasi Pertanyaan ke Pekerja Bagian Produksi Mengenai Proses/Area Kerja yang paling Sulit dan Berat untuk Dilakukan

Untuk mendapatkan informasi mengenai permasalahan ergonomi yang terjadi pada area *material cutting* secara akurat maka dilakukan pengambilan data wawancara kuesioner ergonomi pada area tersebut. Tujuan dilakukannya pengambilan data ini adalah untuk memastikan bahwa pemilihan objek penelitian dapat mendukung tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Penulis menggunakan kuesioner dengan metode wawancara untuk mengidentifikasi permasalahan yang terdapat pada pekerja produksi yang berhubungan dengan aspek ergonomi dalam kerja. Pemilihan proses wawancara untuk pengisian kuesioner ini dimaksudkan untuk mendapatkan hasil jawaban kuesioner yang lebih menggambarkan keluhan dari para pekerja.

Adapun kuesioner ergonomi yang dibuat merupakan pengembangan dari *Nordic Musculoskeletal Questionnaire* dan jurnal teknologi University Teknologi Malaysia (2008) yang digunakan untuk mengidentifikasi terjadinya gejala *Musculoskeletal Disorders* (MSDs) pada pekerja yang meliputi keluhan nyeri, sakit atau ketidaknyamanan pada bagian-bagian tubuh tertentu. Identifikasi keluhan dilakukan pada 9 bagian tubuh yang mengacu pada *Nordic Musculoskeletal Questionnaire* sedangkan pembobotan yang dilakukan untuk menilai tingkat nyeri dan frekuensi terjadinya mengacu pada jurnal teknologi tersebut. Pembobotan ialah hasil perkalian dari tingkat nyeri yang dirasakan (skala 0-4) dengan frekuensi terjadinya nyeri pada bagian tubuh tersebut (skala 0-3).

Tabel 3.1 Keterangan Skala Tingkatan dan Frekuensi Nyeri Pada Kuesioner

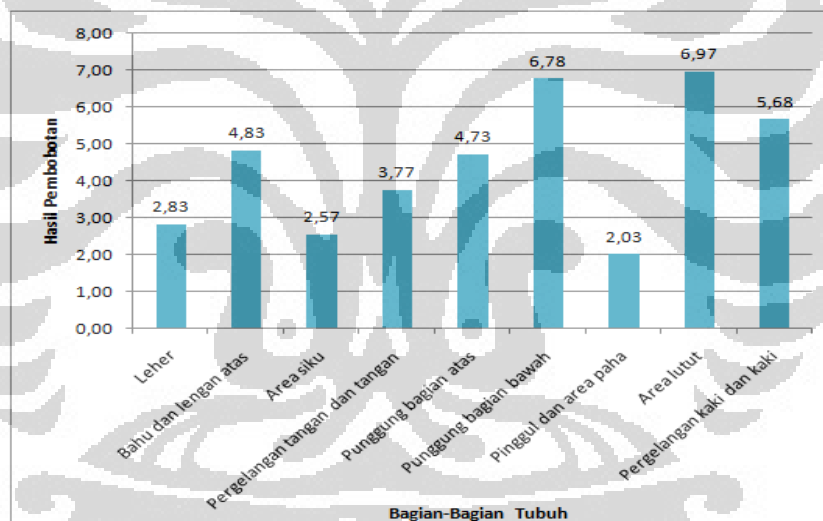
Tingkat Nyeri atau Keluhan		Frekuensi Terjadinya Nyeri	
Skala	Keterangan	Skala	Keterangan
0	Tidak merasakan nyeri	0	Tidak merasakan nyeri
1	Ringan: didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan sedikit peregangan, tidak menimbulkan gangguan kerja	1	Jarang: didefinisikan sebagai keluhan yang terjadi lebih hanya sesekali saja
2	Sedang: didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan beristirahat sejenak, akan tetapi masih dapat melaksanakan pekerjaan dengan baik	2	Sering: didefinisikan sebagai keluhan yang terjadi beberapa kali dalam 1 hari pekerjaan
3	Berat: ditandai dengan rasa keram pada bagian tubuh yang dikeluhkan, membutuhkan istirahat lebih panjang dan menghentikan pekerjaan sejenak	3	Selalu: didefinisikan sebagai keluhan yang terjadi sepanjang melakukan pekerjaan
4	Sangat berat: membutuhkan penanganan khusus, tidak dapat melanjutkan pekerjaan kembali		

Data hasil wawancara kuesioner ergonomi yang dilakukan memberikan informasi bagian tubuh mana dari pekerja atau operator yang sering kali mengalami keluhan sakit atau nyeri akibat dari pekerjaan yang mereka lakukan. Berikut ini merupakan data banyaknya keluhan sakit 30 pekerja yang berada pada area *material cutting* serta bagian-bagian tubuh yang mengalami sakit atau nyeri. Tabel 3.2 berikut adalah rekapitulasi dari hasil observasi tersebut.

Tabel 3.2 Hasil Pembobotan Nilai Keluhan Masing -Masing Pekerja

Pekerja <i>Material Cutting</i>	Nilai Pembobotan Nyeri (Tingkat Nyeri x Frekuensi Terjadinya)																	
	Bagian Tubuh Kiri								Bagian Tubuh Kanan									
	Leher	Bahu dan lengan atas	Area siku	Pergelangan tangan & tangan	Punggung bagian atas	Punggung bagian bawah	Pinggul dan area paha	Area lutut	Pergelangan kaki dan kaki	Leher	Bahu dan lengan atas	Area siku	Pergelangan tangan & tangan	Punggung bagian atas	Punggung bagian bawah	Pinggul dan area paha	Area lutut	Pergelangan kaki dan kaki
Pekerja 1	3	8	2	3	4	8	6	12	6	3	8	2	3	4	8	6	12	9
Pekerja 2	4	4	1	1	12	9	1	8	6	4	4	1	1	12	9	1	8	6
Pekerja 3	0	6	2	6	4	6	1	6	12	0	8	2	6	4	6	1	6	12
Pekerja 4	6	4	8	6	6	9	2	9	6	6	4	8	6	6	9	2	9	6
Pekerja 5	4	6	1	2	2	8	1	8	6	4	6	1	2	2	8	1	8	3
Pekerja 6	1	4	1	1	2	6	8	4	2	1	4	2	1	2	6	8	4	2
Pekerja 7	2	4	2	1	4	4	1	6	6	2	6	2	1	4	4	1	6	8
Pekerja 8	2	4	1	4	12	6	2	8	6	2	8	2	4	12	12	2	8	6
Pekerja 9	4	4	1	3	12	9	1	8	8	4	4	1	3	12	9	1	8	8
Pekerja 10	4	6	2	6	4	4	1	6	8	4	6	2	6	4	6	1	6	9
Pekerja 11	3	4	6	8	6	9	2	9	6	3	6	6	8	6	9	2	9	6
Pekerja 12	0	2	1	4	2	2	2	3	1	0	3	1	4	2	2	2	4	2
Pekerja 13	4	6	2	6	4	6	1	6	12	4	6	2	6	4	8	1	6	8
Pekerja 14	6	4	6	8	6	9	2	9	6	6	12	6	8	6	9	2	9	6
Pekerja 15	2	6	4	1	2	8	2	8	3	2	6	4	1	2	8	2	8	6
Pekerja 16	2	3	2	4	1	2	1	9	8	2	3	2	4	1	4	1	9	6
Pekerja 17	2	2	4	6	2	12	2	1	2	2	8	4	6	4	12	2	1	2
Pekerja 18	1	2	1	0	2	4	2	4	1	1	2	2	2	2	4	2	4	1
Pekerja 19	4	3	2	2	1	6	1	4	2	4	4	2	2	1	6	1	4	2
Pekerja 20	2	6	2	8	4	6	2	6	12	2	6	2	8	4	6	2	6	12
Pekerja 21	6	4	6	6	6	9	0	9	6	6	4	6	6	6	12	0	9	6
Pekerja 22	4	6	4	4	2	8	1	8	3	4	6	4	4	2	8	1	8	8
Pekerja 23	3	8	2	2	4	8	6	12	6	3	8	2	2	4	8	6	12	6
Pekerja 24	4	4	1	1	12	9	1	8	6	4	4	2	1	12	9	1	8	6
Pekerja 25	1	1	4	4	2	4	1	6	1	1	1	4	4	2	4	1	6	1
Pekerja 26	2	4	2	1	4	4	1	6	8	2	6	2	1	4	4	1	6	4
Pekerja 27	4	4	1	1	12	9	1	8	6	4	4	1	1	12	9	1	8	6
Pekerja 28	3	8	2	3	4	8	6	12	9	3	8	2	3	4	8	6	12	9
Pekerja 29	2	2	1	4	2	2	2	3	1	2	3	1	4	2	2	2	4	2
Pekerja 30	0	1	1	6	1	2	1	2	4	0	2	1	6	1	2	1	2	4
Total	85	130	75	112	141	196	61	208	169	85	160	79	114	143	211	61	210	172
Rata-Rata	2,83	4,33	2,50	3,73	4,70	6,53	2,03	6,93	5,63	2,83	5,33	2,63	3,80	4,77	7,03	2,03	7,00	5,73

Hasil dari pengolahan data keluhan pekerja *material cutting* menunjukkan bahwa bagian tubuh yang memiliki keluhan nyeri terbesar yaitu pada area lutut. Selanjutnya keluhan juga dirasakan cukup besar dibanding area tubuh lainnya terjadi pada punggung bagian bawah serta pergelangan kaki dan kaki. Hal ini menunjukkan bahwa desain tempat kerja yang ada di area *material cutting* pada saat ini menyebabkan gangguan pada bagian anggota tubuh-anggota tubuh tersebut. Gangguan punggung bagian bawah, area lutut, dan pergelangan kaki serta kaki yang dirasakan pekerja dinilai sejalan dengan aktivitas pekerja di area *material cutting* yang berdiri dan cenderung membungkuk pada proses pemotongan material kayu pada stasiun kerja. Disamping itu, aktivitas mengangkut material kayu yang beratnya berkisar antara 5 kg sampai 40 kg pada permukaan lantai atau tumpukan kayu yang letaknya relatif rendah juga dinilai mendukung besarnya keluhan nyeri pada bagian-bagian tubuh tersebut.



Gambar 3.4 Grafik Keluhan Hasil Pembobotan Keluhan Bagian-Bagian Tubuh Pekerja Area *Material Cutting*

3.2.2 Penentuan Stasiun Kerja

Pada area *material cutting*, terdapat beberapa stasiun kerja dimana setiap stasiun kerja terdiri mesin yang fungsi utamanya adalah untuk melakukan pemotongan, pembelahan, atau penyerutan terhadap material balok-balok kayu. Setiap mesin dioperasikan operator yang mengendalikan secara manual proses pemotongan pembelahan, atau penyerutan material balok kayu tersebut pada mesin kerja.

Diantara mesin-mesin tersebut mesin utama yang digunakan untuk memotong material kayu yaitu *radial arm saw*, mesin utama yang digunakan untuk menyerut material kayu yaitu *thickness planer*, sedangkan mesin utama yang digunakan untuk membelah material kayu yaitu *single rip saw*. Mesin-mesin tersebut dioperasikan setiap harinya secara rutin oleh operator, sementara mesin-mesin lainnya tidak selalu digunakan dikarenakan fungsinya yang lebih spesifik sehingga penggunaannya disesuaikan dengan kebutuhan.

Terkait dengan material balok kayu yang diproses pada stasiun kerja, berdasarkan hasil observasi lapangan di area produksi *material cutting*, terdapat beberapa perbedaan pada ukuran dan berat material kayu yang di suplai pada setiap stasiun kerja. Untuk mengatasi hal banyaknya kombinasi ukuran material kayu yang ada yang akan digunakan dalam simulasi kerja pada penelitian ini, maka dipilih material kayu yang maksimum yang biasanya dilakukan proses pemotongan, pembelahan, atau penyerutan. Hal ini dipilih dengan pertimbangan bahwa analisis ergonomi berupa simulasi postur kerja yang akan disimulasikan diharapkan dapat dijangkau oleh pekerja dengan beban atau kapasitas maksimum sehingga dapat ditinjau kemampuan atau batas angkut maksimum dari setiap operator mengingat aktivitas pengangkatan beban material kayu merupakan sub aktivitas dari proses pemotongan, pembelahan, dan penyerutan di stasiun kerja yang ada.

Berdasarkan data yang dimiliki PT. X, berikut ini adalah dimensi dan berat material kayu yang disuplai ke setiap stasiun kerja utama pada area *material cutting*:

- Pada stasiun kerja pemotongan kayu, dimensi maksimum kayu yang biasanya digunakan memiliki panjang 4000 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm dengan rata-rata berat 40 kg.
- Pada stasiun kerja penyerutan kayu, dimensi maksimum kayu yang biasanya digunakan memiliki panjang 2000 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm dengan rata-rata berat 20 kg.
- Pada stasiun kerja pembelahan kayu, dimensi maksimum kayu yang biasanya digunakan memiliki panjang 2000 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm dengan rata-rata berat 20 kg.

Berdasarkan pertimbangan tersebut, maka terdapat 3 stasiun kerja utama yang akan diteliti dalam penelitian ini. Berikut ini adalah stasiun kerja, mesin dan material yang akan disuplai dan menjadi objek penelitian:

- Pada stasiun kerja pemotongan kayu, digunakan mesin *radial arm saw* dengan dimensi maksimum material kayu yang akan dipotong berukuran panjang 4000 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm serta berat 40 kg.
- Pada stasiun kerja penyerutan kayu, digunakan mesin *thickness planer* dengan dimensi maksimum material kayu yang akan diserut berukuran panjang 2000 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm serta berat 20 kg.
- Pada stasiun kerja pembelahan kayu, digunakan mesin *single rip saw* dengan dimensi maksimum material kayu yang akan dibelah berukuran panjang 2000 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm serta berat 20 kg.

3.2.3 Penentuan Variabel yang Diteliti

Berdasarkan hasil observasi atau penelitian lapangan yang dilakukan terkait postur dan metode kerja pada tempat kerja di area *material cutting*, ditentukan beberapa variabel konfigurasi yang nantinya akan digunakan dalam memodelkan simulasi kerja melalui *virtual human modelling* untuk menentukan desain tempat kerja yang dinilai ergonomis terhadap postur pekerjaannya. Variabel-variabel konfigurasi yang digunakan adalah sebagai berikut:

a. Jenis Kelamin

Jenis kelamin yang akan digunakan dalam pembuatan model *virtual human* untuk menentukan desain tempat kerja pada penelitian ini adalah jenis kelamin laki-laki. Penentuan jenis kelamin laki-laki tersebut dikarenakan pekerja atau operator yang terdapat pada area *material cutting* yang mengoperasikan mesin atau stasiun kerja 100% berjenis kelamin laki-laki.

b. Presentil Data Antropometri

Data antropometri pada prinsipnya diperlukan supaya rancangan suatu tempat kerja dapat sesuai dengan orang yang akan mengoperasikannya. Perancangan tempat kerja harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangannya tersebut.

Presentil data antropometri yang akan digunakan dalam pembuatan model *virtual human* untuk menentukan desain tempat kerja pada penelitian ini adalah presentil 5 dan presentil 95. Presentil data antropometri tersebut dipilih untuk mengatasi keterbatasan penggunaan suatu rancangan oleh individu yang memiliki ukuran tubuh ekstrim (terlalu besar atau terlalu kecil dibandingkan rata-rata). Oleh karena itu, perlu digunakan nilai parameter maksimum (presentil 95) dan minimum (presentil 5) yang mampu mengakomodasi ukuran yang ekstrim tersebut.

Data antropometri yang akan digunakan untuk *input* pembuatan model konfigurasi desain tempat kerja pada simulasi kerja yaitu data antropometri penduduk Indonesia yang didapatkan dari jurnal internasional ergonomi industri (Chuan, et al., 2010). Akan tetapi, pengambilan data antropometri pekerja area *material cutting* juga tetap dilakukan untuk membandingkan tingkat representasi data dari jurnal internasional tersebut.

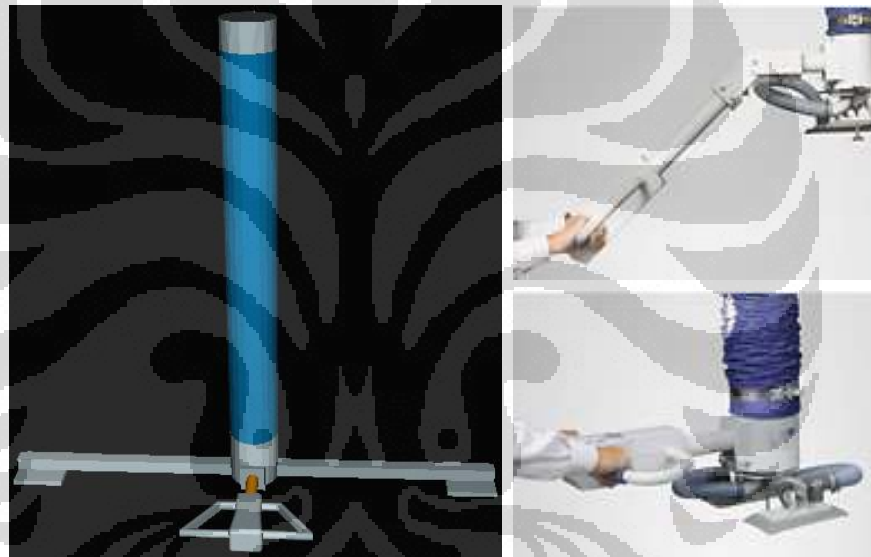
c. Ketinggian Permukaan Meja Kerja Pada Stasiun Kerja

Pada area *material cutting*, seluruh aktivitas harus dilakukan dengan posisi, terutama pada proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material kayu pada setiap stasiun kerjanya. Dikarenakan posisi tubuh yang berdiri dan adanya indikasi pekerja yang cenderung membungkuk ketika melakukan aktivitasnya pada stasiun kerja, fakta tersebut menjadikan ketinggian sebagai faktor yang signifikan berpengaruh terhadap postur tubuh pekerja ketika melakukan aktivitas tersebut.

Menurut Sanders & McCormick (1993) dan Helander (2006), rekomendasi ketinggian permukaan meja kerja yang ideal untuk *standing workstation* pada jenis pekerjaan *heavy work* (pekerjaan mendorong, mengangkat, atau memindahkan yang membutuhkan banyak gaya atau dengan beban sama dengan atau lebih dari 5 kg) yaitu 4 sampai 8 inci (10-20 cm) di bawah tinggi siku (*standing elbow height*). Adapun perubahan ketinggian permukaan meja kerja ini dilakukan dengan mengubah ketinggian permukaan meja kerja pada setiap stasiun kerja dimana setiap stasiun kerja memiliki elemen aktivitas dan postur tubuh yang berbeda-beda untuk proses kerja pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material kayu.

d. Peralatan *Material Handling*

Peralatan *manual handling* yang direkomendasikan pada penelitian ini adalah *vacuum lifter*. Alat ini dapat membantu proses pengangkutan manual beban material kayu pada stasiun kerja yang memiliki berat sampai mencapai 40 kg. Alat ini dapat mengangkat material atau benda mencapai beban 300 kg untuk setiap proses pengangkutan sehingga penggunaan *vacuum lifter* dapat membantu meringankan beban operator ketika melakukan proses pengambilan dan pengangkutan, dan peletakan material-material kayu dalam proses pemotongan, penyerutan dan pembelahan di stasiun kerja *radial arm saw*, *thickness planer*, dan *single rip saw* pada area *material cutting*.



Gambar 3.5 Bentuk *Vacuum Lifter* yang Disimulasikan

Dengan menggunakan alat bantu ini, operator tidak perlu menanggung beban material kayu yang diangkat, melainkan cukup dengan hanya memegang gagang (*handle*) *vacuum lifter* dan menggeser atau mengarahkan benda untuk dipindahkan dari suatu lokasi ke lokasi lainnya yang dituju dikarenakan beban angkut sebagian besar telah ditanggung oleh alat bantu ini. Tabung *vacuum lifter* bersifat *adjustable* dan elastis disertai gagang yang ergonomis dan elastis sehingga walaupun dapat digunakan untuk mengambil benda yang terlalu tinggi maupun rendah, ketinggian gagang dapat tetap dipertahankan pada ketinggian dan posisi tertentu yang diinginkan penggunaanya. Dengan

demikian, kendala tinggi tumpukan kayu yang dikhawatirkan menjadi kendala tersendiri dalam merancang ketinggian pada aktivitas pengangkatan beban dapat teratasi dengan catatan bahwa ketinggian tumpukan kayu tidak melebihi batas ketinggian *vacuum lifter* dalam mengambil atau mengangkat beban. Ketinggian dasar tabung *vacuum lifter* beserta gagangnya dapat diatur mulai dari permukaan lantai (0 cm) sampai dengan *range* 170 cm diatas permukaan lantai.

3.3 Pengumpulan Data

Data-data yang dikumpulkan dalam penelitian ini terdiri dari data antropometri, data bentuk dan dimensi mesin, serta data postur dan metode kerja. Data-data tersebut akan diolah dan digunakan sebagai data input dalam pembuatan konfigurasi desain tempat kerja melalui pembuatan simulasi model kerja manusia virtual pada *virtual environment*.

3.3.1 Data Antropometri

Data antropometri yang akan digunakan untuk *input* pembuatan model konfigurasi desain tempat kerja pada simulasi kerja yaitu data antropometri penduduk Indonesia yang didapatkan dari jurnal internasional ergonomi industri (Chuan, et al., 2010). Akan tetapi, pengambilan data antropometri pekerja area *material cutting* juga tetap dilakukan untuk membandingkan tingkat representasi data dari jurnal internasional tersebut. Perbandingan ini dilakukan agar usulan desain yang didapatkan dari penelitian ini dapat benar-benar diimplementasikan pada area *material cutting* industri mebel. Pengambilan data antropometri pada area *material cutting* yaitu berupa data tinggi badan dan berat badan 30 orang pekerja berjenis kelamin laki-laki.

Tabel 3.3 Data Antropometri Pekerja Area *Material Cutting*

No.	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
1	175	61
2	160	55
3	166	55
4	170	60
5	162	63
6	157	50

Tabel 3.3 Data Antropometri Pekerja Area *Material Cutting* (Sambungan)

No.	Tinggi Badan (cm)	Berat Badan (kg)
7	156	63
8	165	55
9	177	45
10	153	53
11	170	53
12	160	61
13	166	62
14	168	58
15	160	52
16	165	82
17	160	60
18	158	68
19	155	45
20	169	50
21	171	71
22	170	50
23	170	60
24	162	50
25	172	70
26	165	68
27	160	54
28	161	49
29	164	50
30	172	65
x rata-rata	164,6333333	57,93333333
standar deviasi	6,155924163	8,513410651

Tabel 3.4 Data Presentil Antropometri Pekerja Area *Material Cutting*

Presentil	Data Pekerja Area <i>Material Cutting</i>	
	Tinggi Badan	Berat Badan
5	154,5 cm	43,9 kg
50	164,6 cm	57,9 kg
95	174,8 cm	71,9 kg

Tabel 3.5 Data Presentil Antropometri Indonesia

Presentil	Data Antropometri Indonesia	
	Tinggi Badan	Berat Badan
5	162 cm	50 kg
50	172 cm	63 kg
95	183 cm	89,25 kg

Sumber: Chuan, Tan Kay, Markus, H., Naresh, K. (2010). Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40 (2010) 757e766.

Jarak interval antara persentil 5, 50, dan 95 dari kedua data antropometri pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5 cukup jauh, hal ini dikarenakan data yang dikumpulkan tidak dalam jumlah yang banyak, yaitu sebanyak 30 orang yang merupakan 100% jumlah data populasi pada objek penelitian. Hal inilah yang menyebabkan variasi data antropometri pada area *material cutting* yang didapatkan cukup berbeda jauh dari data antropometri Indonesia.

Persentil data antropometri yang akan digunakan dalam pembuatan model *virtual human* untuk menentukan desain tempat kerja pada penelitian ini adalah persentil 5 dan persentil 95 dengan jenis kelamin laki-laki. Persentil data antropometri tersebut dipilih untuk mengatasi keterbatasan penggunaan suatu rancangan oleh individu yang memiliki ukuran tubuh ekstrim (terlalu besar atau terlalu kecil dibandingkan rata-rata). Oleh karena itu, perlu digunakan nilai parameter maksimum (persentil 95) dan minimum (persentil 5) yang mampu mengakomodasi ukuran yang ekstrim tersebut.

Data persentil antropometri berupa ukuran tinggi dan berat badan yang ditunjukkan pada Tabel 3.5 tersebut akan dimasukkan ke dalam *software* Jack. Selanjutnya Jack akan menyesuaikan data tinggi dan berat badan tersebut dengan *database* antropometri manusia *Chinese* yang dimiliki Jack. Berdasarkan *database* tersebut, Jack akan memberikan data antropometri ukuran tubuh lain selain tinggi dan berat badan yang belum didapatkan. Pemilihan antropometri manusia *Chinese* sebagai *database* yang digunakan dilakukan dengan pertimbangan bahwa berdasarkan jurnal internasional ergonomi industri (Chuan, et al., 2010) yang didapatkan, diketahui bahwa ukuran tubuh manusia Indonesia hampir mendekati ukuran tubuh manusia China. Dikarenakan tidak terdapat *database* manusia Indonesia pada Jack, maka penggunaan *database Chinese* dipilih sebagai alternatif untuk menjembatani permasalahan tersebut.

Untuk pembuatan simulasi postur kerja pada konfigurasi, digunakan data persentil 5 dan persentil 95 antropometri Indonesia. Untuk objek penelitian dengan persentil 5 data yang digunakan adalah model manusia berjenis kelamin pria dengan tinggi badan 162 cm dan berat 50 kg. Untuk objek penelitian dengan persentil 95 data yang digunakan adalah model manusia berjenis kelamin pria dengan tinggi badan 183 cm dan berat 89,25 kg. Dari model manusia virtual yang

dibuat dengan *software* Jack, dapat diketahui ukuran bagian tubuh lainnya dengan memasukkan data tinggi dan berat badan tersebut. Dimensi detail ukuran tubuh data presentil 5 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.6 sedangkan dimensi detail ukuran tubuh data presentil 95 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.7.

Stature:		Gender:	Units: cm
<input type="text" value="162.0"/>		<input type="radio"/> Female	
Abdominal Dep.:		<input checked="" type="radio"/> Male	
<input type="text" value="17.1"/>			
Ankle Hgt:			
<input type="text" value="6.0"/>			
Acromion Height:			
<input type="text" value="133.3"/>			
Arm Length:			
<input type="text" value="71.4"/>			
Biacromial Br.:			
<input type="text" value="36.3"/>			
Bideltoid Br.:			
<input type="text" value="41.4"/>			
Buttock-Knee:			
<input type="text" value="56.3"/>			
Elbow Rest Hgt:	Hip Breadth:		
<input type="text" value="25.4"/>	<input type="text" value="30.0"/>		
Elbow-Fingertip:	Interpupil Dist:		
<input type="text" value="41.7"/>	<input type="text" value="6.5"/>		
Foot Breadth:	Shoulder-Elbow:		
<input type="text" value="9.1"/>	<input type="text" value="35.0"/>		
Foot Length:	Sitting Acromial:		
<input type="text" value="23.8"/>	<input type="text" value="60.3"/>		
Hand Breadth:	Sitting Eye:		
<input type="text" value="8.3"/>	<input type="text" value="77.4"/>		
Hand Length:	Sitting Hgt:		
<input type="text" value="17.6"/>	<input type="text" value="89.0"/>		
Head Breadth:	Sit Knee Hgt:		
<input type="text" value="15.2"/>	<input type="text" value="46.7"/>		
Head Height:	Thigh Clearance:		
<input type="text" value="22.2"/>	<input type="text" value="15.0"/>		
Head Length:	Thumbtip Reach:		
<input type="text" value="18.0"/>	<input type="text" value="75.0"/>		
Save as... Name <input type="text"/>	Edit Existing... Human <input type="text" value="Operator_5th"/>		
Add to Menu	Create New		

Gambar 3.6 Hasil Keluaran *Software* Jack untuk Dimensi Ukuran Tubuh dengan Presentil 5

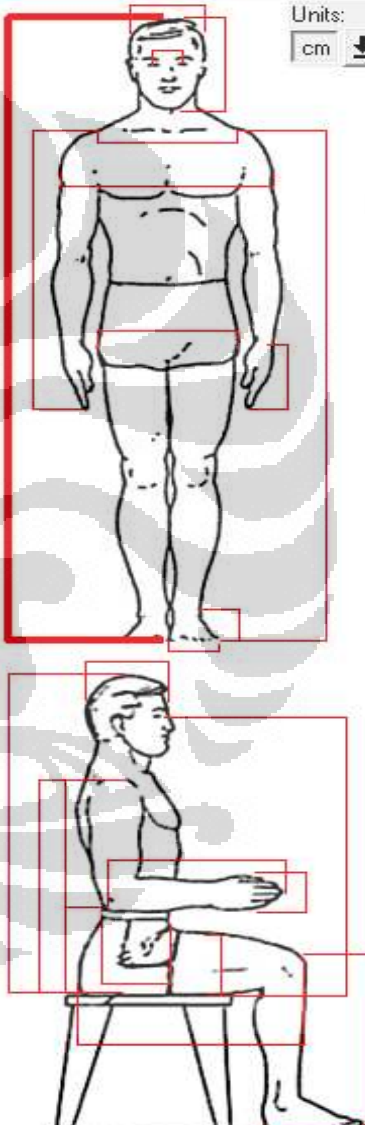
Stature: <input type="text" value="183.0"/>		Gender: <input type="radio"/> Female <input checked="" type="radio"/> Male	Units: cm <input type="button" value="↓"/>
Abdominal Dep.: <input type="text" value="24.2"/>			
Ankle Hgt: <input type="text" value="6.7"/>			
Acromion Height: <input type="text" value="151.9"/>			
Arm Length: <input type="text" value="81.5"/>			
Biacromial Br.: <input type="text" value="40.4"/>			
Bideltoid Br.: <input type="text" value="47.1"/>			
Buttock-Knee: <input type="text" value="66.1"/>			
Elbow Rest Hgt: <input type="text" value="28.3"/>	Hip Breadth: <input type="text" value="38.1"/>		
Elbow-Fingertip: <input type="text" value="47.7"/>	Interpupil Dist: <input type="text" value="6.8"/>		
Foot Breadth: <input type="text" value="10.3"/>	Shoulder-Elbow: <input type="text" value="40.3"/>		
Foot Length: <input type="text" value="27.2"/>	Sitting Acromial: <input type="text" value="68.6"/>		
Hand Breadth: <input type="text" value="9.3"/>	Sitting Eye: <input type="text" value="87.8"/>		
Hand Length: <input type="text" value="19.9"/>	Sitting Hgt: <input type="text" value="99.8"/>		
Head Breadth: <input type="text" value="15.9"/>	Sit Knee Hgt: <input type="text" value="54.7"/>		
Head Height: <input type="text" value="22.8"/>	Thigh Clearance: <input type="text" value="19.9"/>		
Head Length: <input type="text" value="19.2"/>	Thumbtip Reach: <input type="text" value="87.9"/>		

Save as... Name <input type="text"/>	Edit Existing... Human <input type="text" value="Operator_95th"/> <input type="button" value="👉"/>
<input type="button" value="Add to Menu"/> <input type="button" value="Create New"/>	

Gambar 3.7 Hasil Keluaran *Software Jack* untuk Dimensi Ukuran Tubuh dengan Presentil 95

Pekerja dengan dimensi ukuran tubuh presentil 50 memang tidak dibuat menjadi objek penelitian. Akan tetapi, dalam membuat rekomendasi desain, dibutuhkan beberapa dimensi ukuran tubuh presentil 50 sehingga data ini tetap dibutuhkan. Data yang digunakan adalah model manusia pria presentil 50 yaitu dengan tinggi badan 172 cm dan berat 63 kg. Dimensi detail ukuran tubuh data presentil 50 dapat ditunjukkan pada Gambar 3.8.

Stature: <input type="text" value="172.0"/>	Gender: <input type="radio"/> Female <input checked="" type="radio"/> Male	Units: cm <input type="button" value="↓"/>
Abdominal Dep.: <input type="text" value="19.5"/>		
Ankle Hgt: <input type="text" value="6.5"/>		
Acromion Height: <input type="text" value="141.7"/>		
Arm Length: <input type="text" value="79.1"/>		
Biacromial Br.: <input type="text" value="38.5"/>		
Bideltoid Br.: <input type="text" value="44.5"/>		
Buttock-Knee: <input type="text" value="57.7"/>		
Elbow Rest Hgt: <input type="text" value="23.8"/>	Hip Breadth: <input type="text" value="32.3"/>	
Elbow-Fingertip: <input type="text" value="47.0"/>	Interpupil Dist: <input type="text" value="6.4"/>	
Foot Breadth: <input type="text" value="9.7"/>	Shoulder-Elbow: <input type="text" value="38.6"/>	
Foot Length: <input type="text" value="26.2"/>	Sitting Acromial: <input type="text" value="62.4"/>	
Hand Breadth: <input type="text" value="9.1"/>	Sitting Eye: <input type="text" value="80.6"/>	
Hand Length: <input type="text" value="18.9"/>	Sitting Hgt: <input type="text" value="92.7"/>	
Head Breadth: <input type="text" value="14.9"/>	Sit Knee Hgt: <input type="text" value="53.7"/>	
Head Height: <input type="text" value="22.9"/>	Thigh Clearance: <input type="text" value="15.5"/>	
Head Length: <input type="text" value="19.4"/>	Thumbtip Reach: <input type="text" value="84.9"/>	



Save as...
Name

Edit Existing...
Human

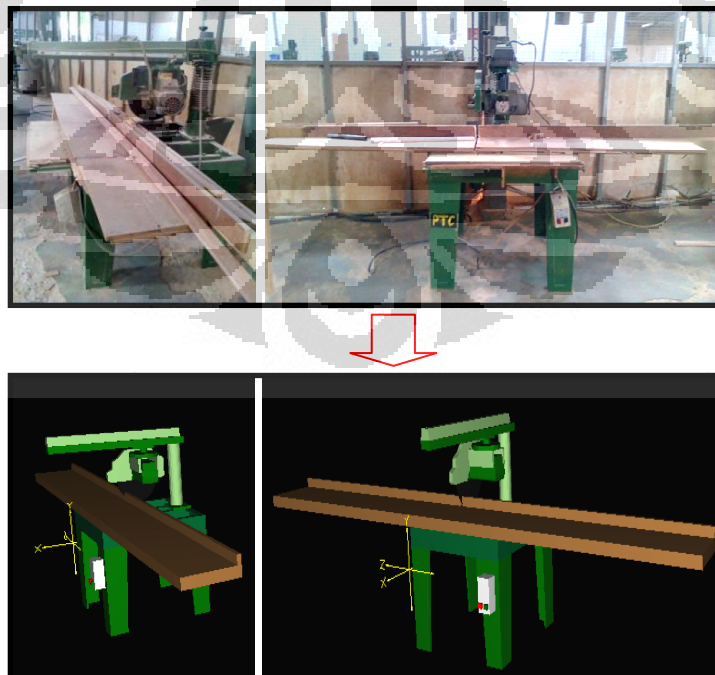
Gambar 3.8 Hasil Keluaran *Software Jack* untuk Dimensi Ukuran Tubuh dengan Presentil 50

3.3.2 Data Spesifikasi Stasiun Kerja

Data spesifikasi ketiga stasiun kerja (pemotongan, penyerutan, pembelahan) dibutuhkan untuk membuat model replikasi dari tempat kerja. Data-data mesin dan material dalam bentuk CAD (*Computer Aided Design*) akan di-*import* ke dalam *software* Jack sebagai bagian dari proses pembuatan model simulasi kerja *virtual human* pada *virtual environment*. *Software* yang digunakan untuk membuat model CAD dari stasiun kerja pada penelitian ini yaitu *software* NX. Pemilihan penggunaan *software* NX ini dibandingkan dengan *software* AUTOCAD yang biasanya digunakan yaitu NX dapat membuat file dengan *extension* (format *file*) yang dapat langsung di-*import* pada Jack tanpa harus menggunakan bantuan *software* lainnya. Format *file* yang digunakan yaitu *.igs*.

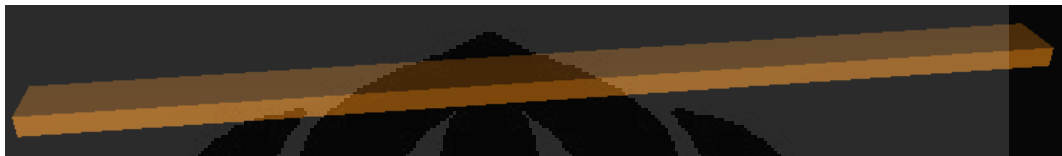
3.3.2.1 Spesifikasi Stasiun Kerja Pemotongan

Mesin utama yang digunakan pada proses pemotongan material kayu yaitu mesin *radial arm saw*. Mesin tersebut memiliki dimensi 135 cm x 86 cm x 84 cm. Mesin ini dilengkapi dengan meja potong yang terbuat dari kayu dengan panjang meja sebesar 400 cm dan lebar 35 cm. Ketinggian aktual permukaan meja yang digunakan untuk proses pemotongan kayu pada mesin ini yaitu 81 cm.



Gambar 3.9 Mesin *Radial Arm Saw*

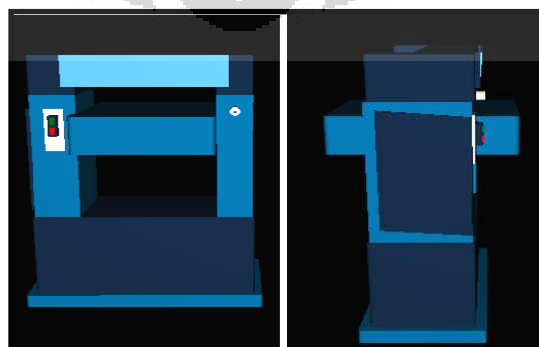
Dimensi material kayu yang akan digunakan dalam proses pemotongan pada penelitian ini yaitu memiliki panjang 400 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm serta berat 40 kg. Pada faktanya, sebelum dilakukan proses pemotongan, balok kayu-kayu tersebut diletakkan di permukaan lantai produksi di depan stasiun kerja pemotongan dengan rata-rata maksimal ketinggian tumpukan mencapai 40 cm di atas lantai atau sebanyak 5 tumpukan kayu (tebal kayu 8 cm). Gambar 3.10 merupakan material kayu yang telah dibuat dalam *software* NX.



Gambar 3.10 Material Kayu Pada Stasiun Kerja Pemotongan

3.3.2.2 Spesifikasi Stasiun Kerja Penyerutan

Mesin utama yang digunakan pada proses penyerutan material kayu yaitu mesin *thickness planer*. Mesin tersebut berfungsi menyerut kedua sisi kayu, dengan dimensi mesin 101,5 cm x 100 cm x 46,5 cm. Ketinggian aktual permukaan meja serut yang digunakan yaitu 79 cm.



Gambar 3.11 Mesin *Thickness Planer*

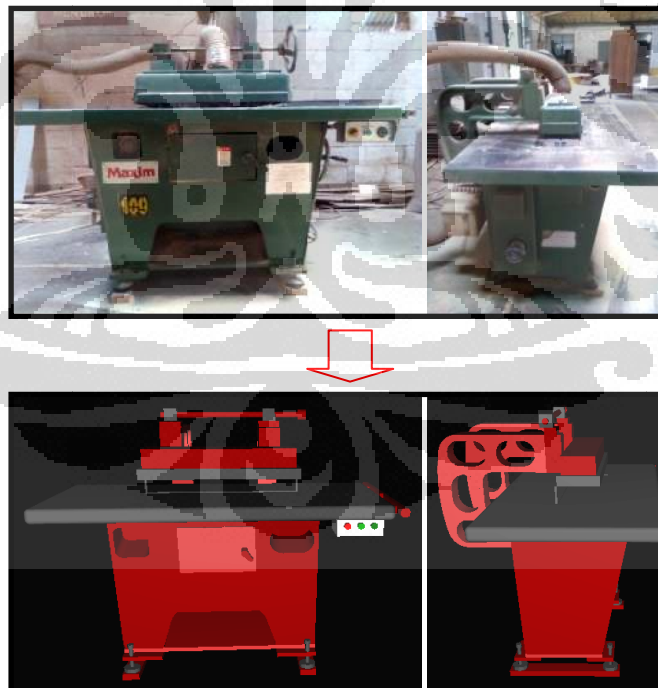
Dimensi material kayu yang akan digunakan dalam proses penyerutan pada penelitian ini yaitu memiliki panjang 200 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm serta berat 20 kg. Rata-rata maksimal ketinggian tumpukan mencapai 40 cm di atas lantai atau sebanyak 5 tumpukan kayu (tebal kayu 8 cm). Gambar 3.12 merupakan material kayu yang telah dibuat dalam *software NX*.



Gambar 3.12 Material Kayu Pada Stasiun Kerja Penyerutan

3.3.2.3 Spesifikasi Stasiun Kerja Pembelahan

Mesin utama yang digunakan pada proses pembelahan material kayu yaitu mesin *single rip saw*. Mesin tersebut memiliki dimensi 125 cm x 107 cm x 97 cm. Ketinggian aktual permukaan meja untuk proses pembelahan material kayu pada mesin ini yaitu 89 cm.



Gambar 3.13 Mesin *Single Rip Saw*

Dimensi material kayu yang akan digunakan dalam proses pembelahan pada penelitian ini yaitu memiliki panjang 200 cm, lebar 25 cm, dan tebal 8 cm serta

berat 20 kg. Rata-rata maksimal ketinggian tumpukan mencapai 40 cm diatas lantai atau sebanyak 5 tumpukan kayu (tebal kayu 8 cm). Gambar 3.14 merupakan material kayu yang telah dibuat dalam *software NX*.



Gambar 3.14 Material Kayu Pada Stasiun Kerja Pembelahan

3.3.3 Data Postur dan Metode Kerja

Pada prinsipnya proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material kayu yang dilakukan pada ketiga stasiun kerja utama di area *material cutting* terdiri dari dua jenis *task* utama yang relatif sama, yaitu terdiri dari proses pengangkutan manual material dan proses pemotongan, penyerutan, atau pembelahan material kayu itu sendiri pada setiap mesin kerja yang dioperasikan. Perbedaan antar stasiun kerja terdapat pada hal berikut:

- Perbedaan jenis mesin yang dioperasikan dan fungsinya
- Perbedaan postur kerja ketika melakukan pada proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan
- Perbedaan area peletakan, dimensi dan berat material kayu yang diproses
- Perbedaan elemen gerak operator 1 dan operator 2 pada proses kerja

3.3.3.1 Postur dan Metode Kerja di Stasiun Kerja Pemotongan

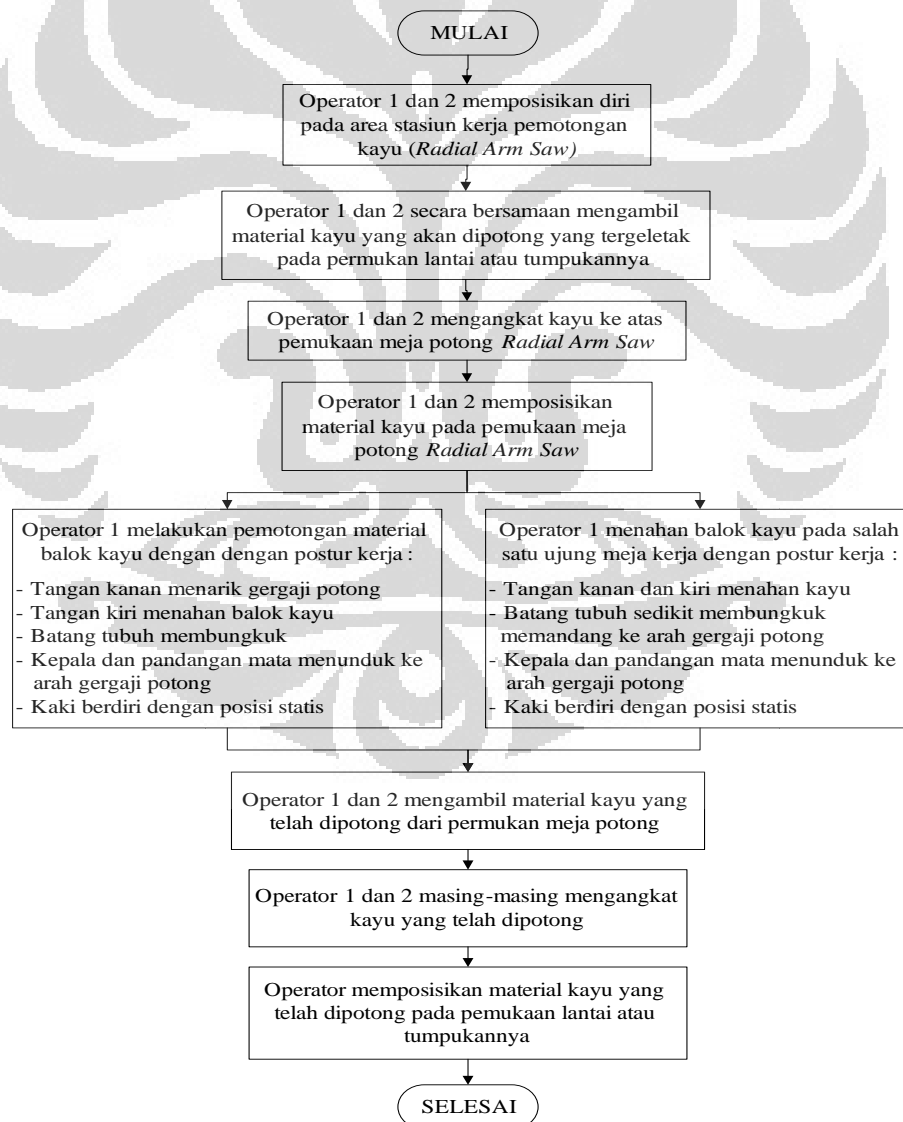
Proses kerja yang dilakukan pada stasiun kerja pemotongan dilakukan oleh dua orang operator (operator 1 dan 2) dengan urutan kerja sebagai berikut:

- Operator 1 dan 2 memposisikan diri pada area mesin *radial arm saw*.
- Operator 1 dan 2 mengangkat kayu yang akan dipotong (berat 40 kg) secara bersamaan dari area permukaan lantai atau tumpukan kayu yang akan dipotong ke atas permukaan meja potong pada mesin *radial arm saw*.
- Operator 1 melakukan proses pemotongan material kayu pada mesin potong *radial arm saw*.
- Operator 1 dan 2 masing-masing mengangkat kayu yang telah dipotong dan meletakkannya pada area tumpukan kayu yang juga telah potong.

Proses kerja tersebut dilakukan secara berulang dengan mengangkat satu persatu material balok kayu yang akan dipotong. Gambar 3.16 ialah *flowchart* kerja detail yang ada di stasiun pemotongan, termasuk penjelasan postur operator saat melakukan proses pemotongan kayu.



Gambar 3.15 Postur Kerja Saat Melakukan Proses Pemotongan Material Kayu



Gambar 3.16 *Flowchart* Proses Kerja di Stasiun Kerja Pemotongan

3.3.3.2 Postur dan Metode Kerja di Stasiun Kerja Penyerutan

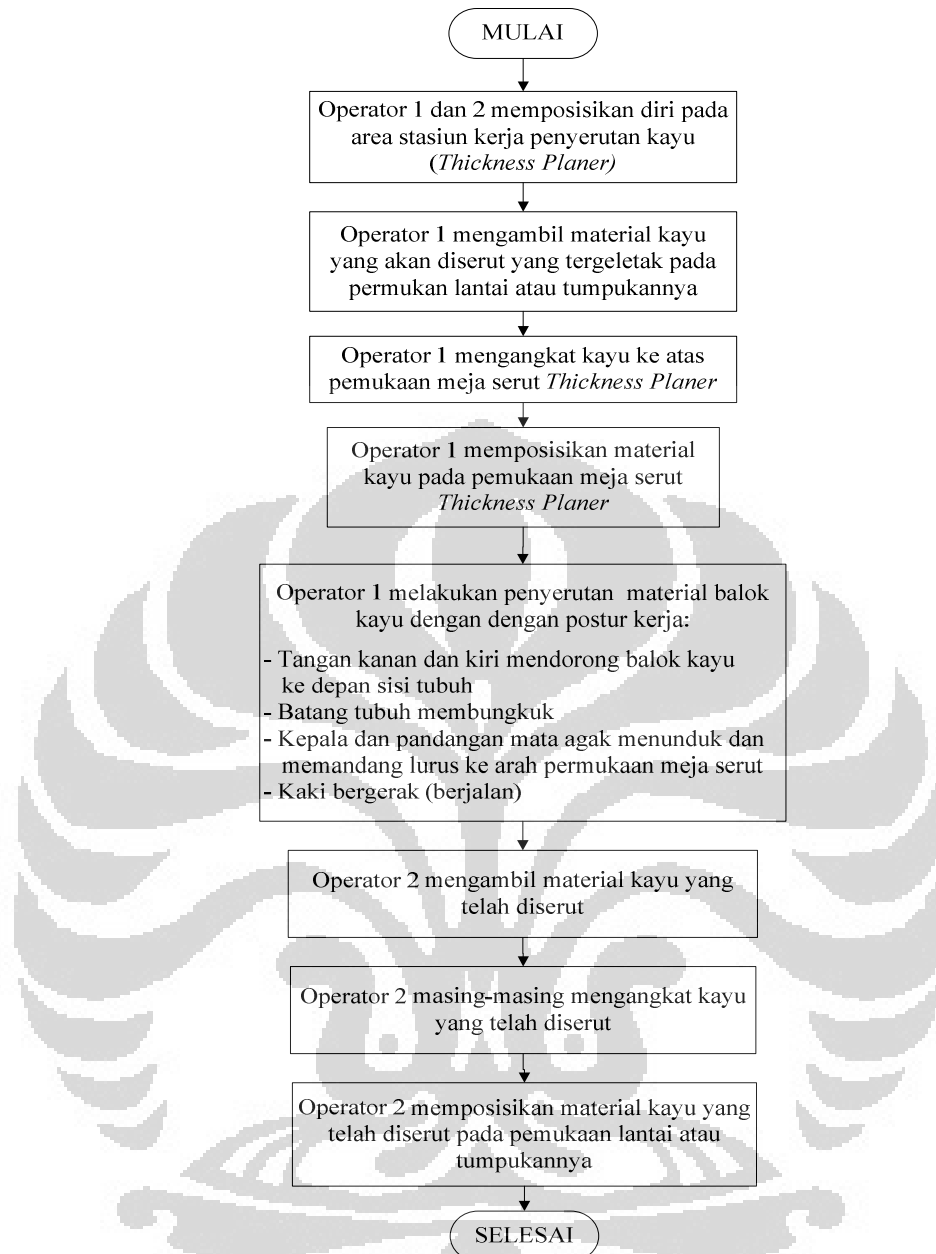
Proses kerja yang dilakukan pada stasiun kerja penyerutan dilakukan oleh dua orang operator (operator 1 dan 2) dengan urutan kerja sebagai berikut:

- Operator 1 dan 2 memposisikan diri pada area mesin *thickness planer*.
- Operator 1 mengangkat kayu yang akan diserut (berat 20 kg) dari area permukaan lantai atau tumpukan kayu yang akan diserut ke atas permukaan meja serut pada mesin *thickness planer*.
- Operator 1 melakukan proses penyerutan material kayu pada mesin serut *thickness planer*.
- Operator 2 mengangkat kayu yang telah diserut dan meletakkannya pada area tumpukan kayu yang juga telah serut.

Proses kerja tersebut dilakukan secara berulang dengan mengangkat satu persatu material balok kayu yang akan serut. Gambar 3.17 ialah postur kerja saat melakukan proses penyerutan material kayu. Gambar 3.18 ialah *flowchart* kerja detail yang ada di stasiun penyerutan, termasuk penjelasan postur operator saat melakukan proses penyerutan kayu.



Gambar 3.17 Postur Kerja Saat Melakukan Proses Penyerutan Material Kayu



Gambar 3.18 Flowchart Proses Kerja di Stasiun Kerja Penyerutan

3.3.3.3 Postur dan Metode Kerja di Stasiun Kerja Pembelahan

Proses kerja yang dilakukan pada stasiun kerja pembelahan dilakukan oleh dua orang operator (operator 1 dan 2) dengan urutan kerja sebagai berikut:

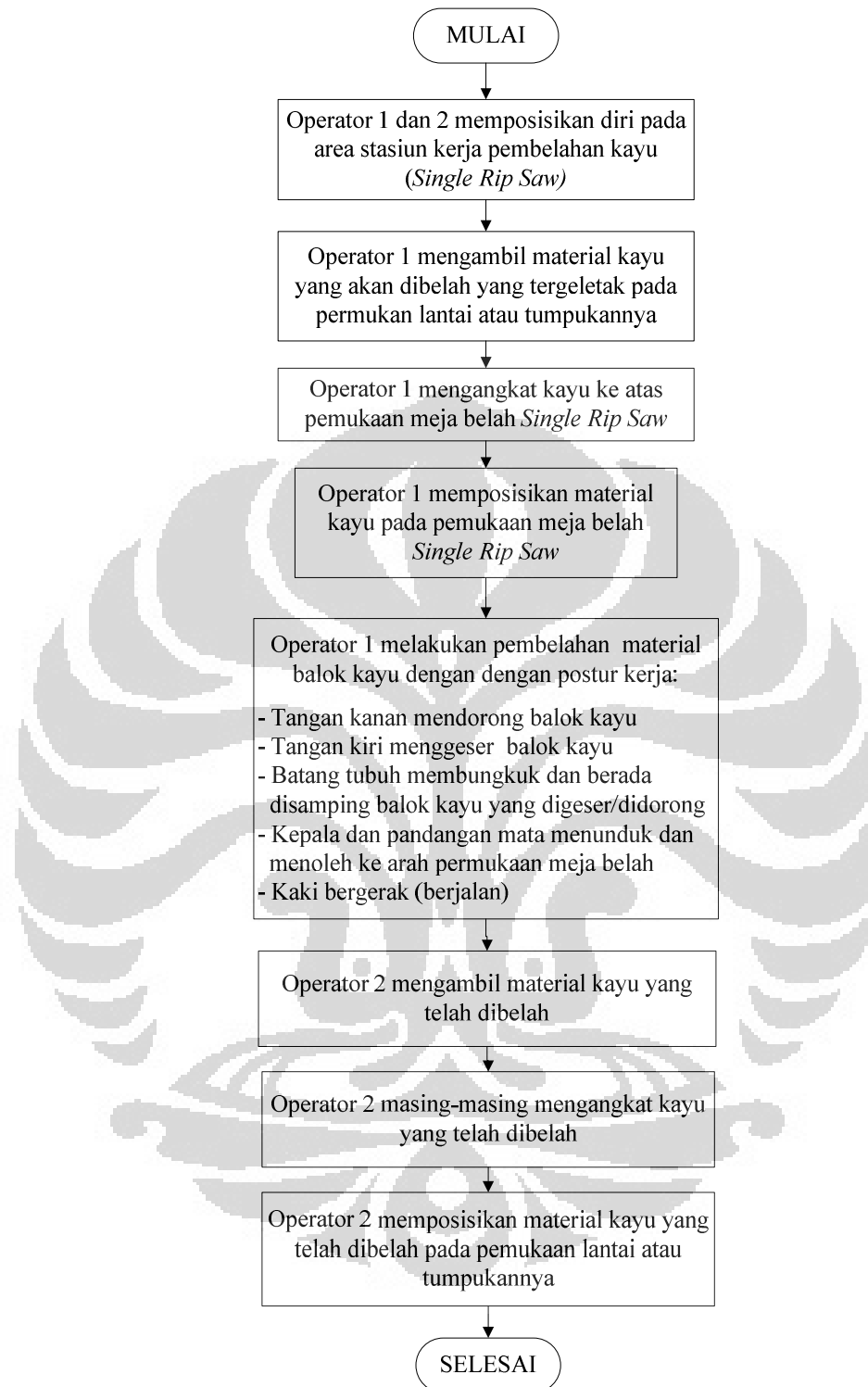
- Operator 1 dan 2 memposisikan diri pada area mesin *single rip saw*.
- Operator 1 mengangkat kayu yang akan diserut (berat 20 kg) dari area permukaan lantai atau tumpukan kayu yang akan dibelah ke atas permukaan meja belah pada mesin *single rip saw*.

- Operator 1 melakukan proses pembelahan material kayu pada mesin belah *single rip saw*.
- Operator 2 mengangkat kayu yang telah dibelah dan meletakkannya pada area tumpukan kayu yang juga telah belah.

Proses kerja tersebut dilakukan secara berulang dengan mengangkat satu persatu material balok kayu yang akan dibelah. Gambar 3.19 ialah postur kerja saat melakukan proses pembelahan material kayu. Gambar 3.20 ialah *flowchart* kerja detail yang ada di stasiun pembelahan, termasuk penjelasan postur operator saat melakukan proses pembelahan kayu.



Gambar 3.19 Postur Kerja Saat Melakukan Proses Pembelahan Material Kayu



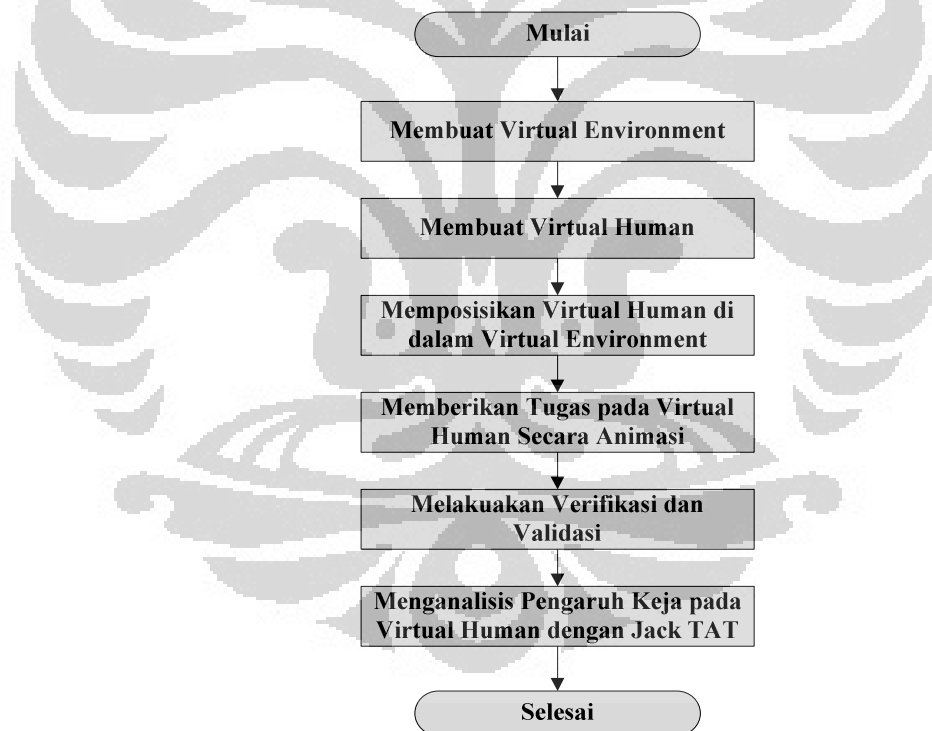
Gambar 3.20 Flowchart Proses Kerja di Stasiun Kerja Pembelahan

3.4 Pembuatan Model

Setelah mendapatkan data yang dibutuhkan, tahap yang selanjutnya dilakukan yaitu merancang model simulasi yang dibuat dalam beberapa variasi konfigurasi. Model dibuat terlebih dahulu sebelum pada akhirnya akan dianalisis pula dengan menggunakan *software* Jack 6.1. Subbab ini akan menjelaskan proses langkah perancangan model salah satu konfigurasi yang akan dibuat untuk menjelaskan bagaimana tahapan yang dilakukan sebelum memulai melakukan penilaian secara keseluruhan.

3.4.1 Alur Pembuatan Model pada *Virtual Environment*

Perancangan model dibuat dengan tahapan yang berurutan dengan menggunakan *software* Jack. Gambar 3.21 di bawah ini menunjukkan alur proses perancangan model.



Gambar 3.21 Alur Proses Pembuatan Model

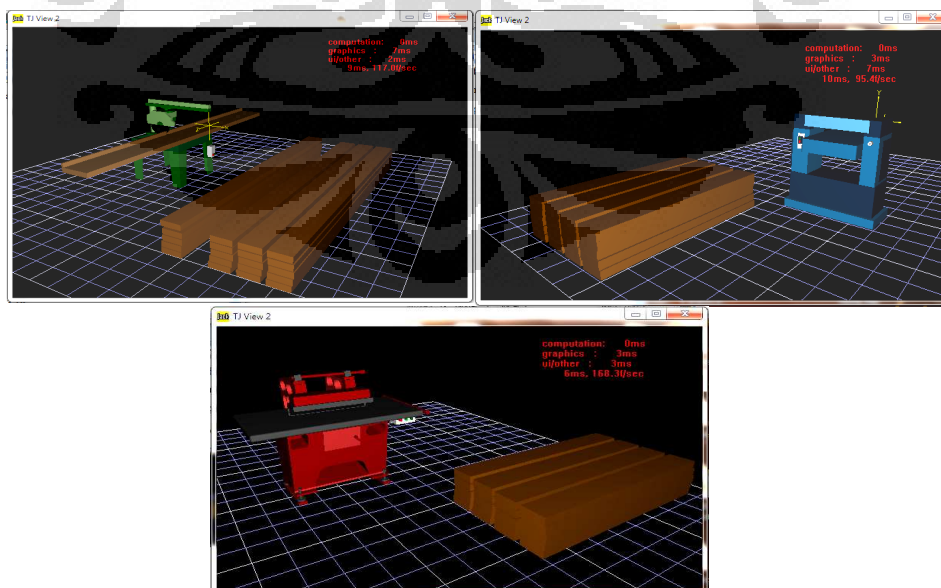
Alur perancangan model secara lengkap adalah sebagai berikut:

1. Membuat *virtual environment*
2. Membuat *virtual human*

3. Memadukan *virtual human* dan *virtual environment* sesuai dengan kondisi yang diinginkan
4. Memberikan *virtual human* sebuah tugas atau kerja
5. Melakukan uji verifikasi dan validasi terhadap model yang telah dibuat
6. Menganalisis postur dan gerakan kerja dari tugas yang dirancang pada *virtual human* dengan *Task Analysis Toolkit* (TAT)

3.4.1.1 Pembuatan *Virtual Environment*

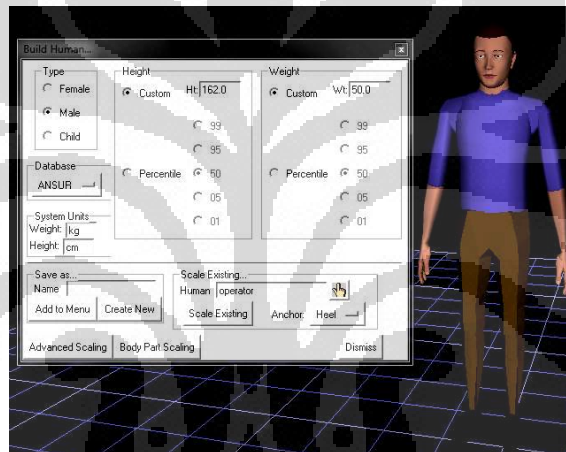
Langkah paling awal dalam perancangan keseluruhan model adalah pembuatan lingkungan kerja secara aktual, yaitu dinamakan *virtual environment*. Data-data mesin dan material pada area *material cutting* dibuat dalam bentuk CAD (*Computer Aided Design*) dan akan di-*import* ke dalam *software* Jack sebagai bagian dari proses pembuatan model simulasi kerja *virtual human* pada *virtual environment*. *Software* yang digunakan untuk membuat model CAD dari stasiun kerja pada penelitian ini yaitu *software* NX. Pemilihan penggunaan *software* NX ini dibandingkan dengan *software* AUTOCAD yang biasanya digunakan yaitu NX dapat membuat file dengan *extension* (format *file*) yang dapat langsung di-*import* pada Jack tanpa harus menggunakan bantuan *software* lainnya. Format *file* yang digunakan yaitu *.igs*. Pada sorotan objek penelitian dalam kasus ini, walaupun terdapat sejumlah tiga stasiun kerja yang akan dimodelkan.



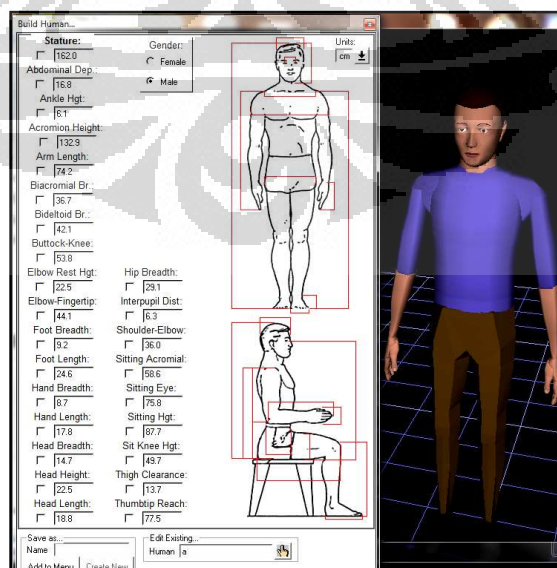
Gambar 3.22 Peletakkan Objek Kerja dalam *Virtual Environment*

3.4.1.2 Pembuatan *Virtual Human*

Pembuatan model dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan menggunakan default *human* atau dengan melakukan *custom*. Agar dapat lebih merepresentasikan pekerja pada objek penelitian, maka pembuatan model *human* dilakukan dengan menu *custom*, sehingga melalui *human scaling*, data antropometri dapat dimasukkan sendiri sesuai dengan data persentil yang telah didapatkan. Data *basic* yang dimasukkan adalah jenis kelamin serta tinggi dan berat badan. Untuk dapat memasukkan data ukuran yang lebih lengkap dan detail, dilakukan dalam *Advanced Human Scaling*, yang dapat membuat model manusia digital dengan dimensi antropometri tertentu dengan memasukkan data ukuran 26 bagian tubuh.



Gambar 3.23 Pembuatan Human Melalui *Basic Human Scaling*

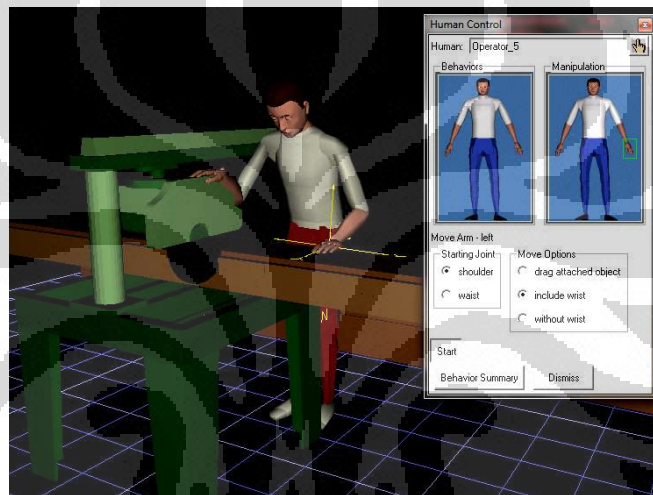


Gambar 3.24 Pembuatan Human Melalui *Advance Scaling*

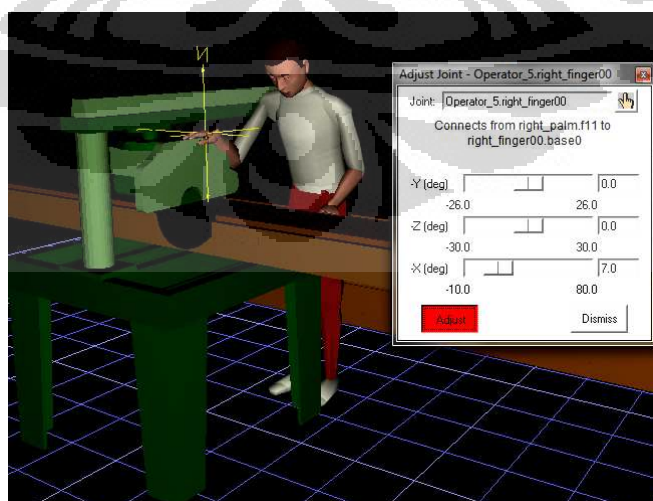
3.4.1.3 Penempatan *Virtual Human* Pada *Virtual Environment*

Model manusia yang dirancang untuk simulasi kerja memiliki postur tubuh tertentu yang akan menjadi input untuk analisis postur dalam interaksi dengan lingkungan kerjanya. Postur pekerja dibuat sedemikian rupa agar menyerupai operator pada stasiun kerja area *material cutting* yang dijadikan objek penelitian.

Modifikasi atau manipulasi dapat dilakukan dengan bantuan *human control* yang 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 3.25 Pembuatan Posisi Tangan dengan *Human Control*



Gambar 3.26 Pembuatan Posisi Tangan dengan *Adjust Joint*

3.4.1.4 Pemberian Tugas Kerja Pada *Virtual Human*

Gerakan kerja pekerja disimulasikan melalui gerakan yang disusun dalam tiap jarak waktu tertentu sesuai dengan detail tugas kerja yang dijalankan. Rangkuman gerakan yang tersusun ini pada akhirnya menjadi sebuah animasi gerakan yang mendekati keadaan sebenarnya maupun keadaan yang diinginkan. Pembuatan animasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan *Animation System*. Dalam membuat gerakan, beberapa faktor yang harus dimasukkan adalah waktu mulai serta durasi waktu setiap postur. Setiap posisi manusia maupun jalannya gerakan benda kerja masuk dalam urutan *timeline* dalam satuan waktu tertentu. Hasil gerakan animasi yang telah dirancang ditampilkan dalam jendela animasi dan dapat diputar ulang.



Gambar 3.27 Tampilan Jendela Animasi

3.4.1.5 Pengujian Verifikasi dan Validasi Model

Dalam perancangan model, sebelum dapat dianalisis lebih lanjut, perlu dilakukan tahap pengujian model, yang terdiri dari verifikasi dan validasi. Jika suatu model telah lolos verifikasi, maka berarti model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen dan dipercaya konsepsinya. Secara umum, pembuatan model konfigurasi tidak menggunakan algoritma yang dibuat sendiri, sehingga *logic* yang digunakan murni mengikuti apa yang telah terdapat pada program yang ada. Uji verifikasi dilakukan dengan cara uji analisis unit, yaitu mengecek ketepatan angka dan satuan yang digunakan dalam tahap pemasukkan data.

Dalam pemasukan data antropometri, uji analisis unit dilakukan dengan mengecek satuan yang digunakan. Dalam uji ini, dihasilkan hasil verifikasi yang tepat, karena ukuran satuan yang digunakan pada model adalah sama dengan yang digunakan dalam pengukuran di dunia nyata, di mana ukuran tinggi badan adalah *centimeter* dan ukuran berat badan adalah kilogram. Sedangkan dalam pemasukan data durasi waktu kerja, satuan durasi yang digunakan adalah detik, sesuai dengan pengukuran nyata.

Gambar 3.28 Uji Analisis Unit pada Ukuran Antropometri Manusia Virtual

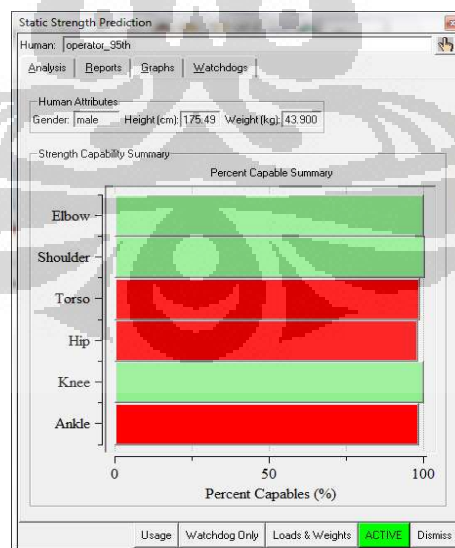
Gambar 3.29 Uji Analisis Unit pada Durasi Waktu pada *Animation System*

Setelah verifikasi, kemudian validasi dilakukan dengan melakukan uji kondisi ekstrim. Langkah validasi dilakukan dengan melakukan uji kondisi ekstrim, yang dilakukan dengan tujuan untuk membuktikan bahwa model berjalan sesuai dengan hubungan logis antar-variabel yang ada dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan dan irasional dalam model. Dalam pengujian ini, dilakukan beberapa perbandingan hasil penilaian ergonomis pada kondisi ekstrim dengan kondisi normal pada model manusia.

3.4.1.6 Evaluasi Terhadap Kinerja Tugas

Analisis dilakukan dengan menggunakan media tools yang tersedia dalam *software*, yaitu Task Analysis Toolkit (TAT). Dalam penelitian ini, tools yang digunakan adalah *Static Strength Prediction*, *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis System*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Melalui simulasi yang dijalankan dalam animasi, tools yang diaktifkan akan memperlihatkan nilai-nilai ergonomis dari tiap rangkaian tugas kerja model. Melalui tahap ini lah maka dapat ditemukan letak postur ekstrim pekerja atau dinamakan *critical posture*, yang menunjukkan posisi kerja dalam keadaan yang paling tidak ergonomis.

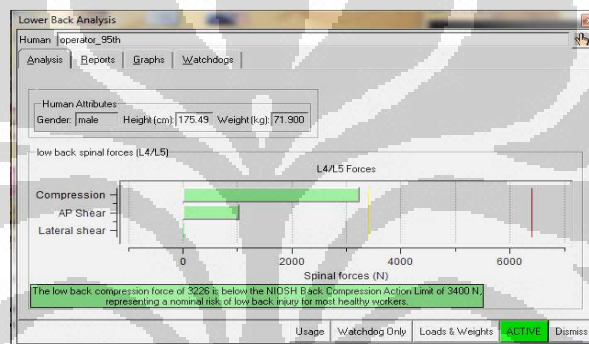
Static Strength Prediction (SSP) merupakan salah satu *tools* atau *Task Analysis Toolkits* (TAT) dalam *software* Jack yang digunakan untuk mengetahui dan memvalidasi berapa persen pekerja yang mampu menjalankan aktivitas sesuai dengan postur dan kondisi yang sedang disimulasikan. Berdasarkan definisi SSP, prinsip tolak ukur penilaian SSP yang digunakan dalam penelitian ialah lebih besar dari 90% atau dengan pengertian minimal nilai SSP yang diperbolehkan dari hasil simulasi kerja diharapkan dapat mengakomodasi 90% dari populasi pekerja. Dengan demikian dapat dikatakan seluruh rangkaian aktivitas yang disimulasikan memungkinkan untuk dilakukan oleh manusia.



Gambar 3.30 Analisis SSP pada Jack TAT

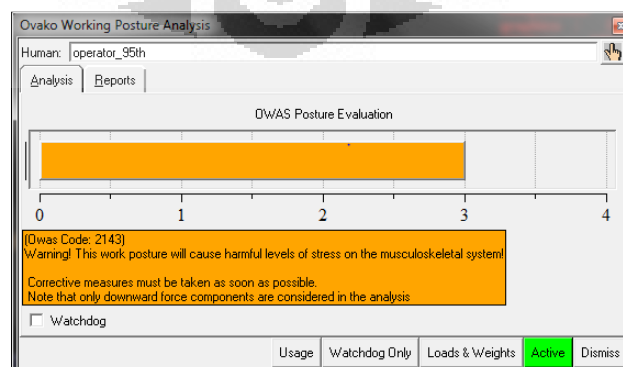
Setelah evaluasi SSP, dilakukan evaluasi LBA. Pada Jack *Task Analysis Toolkits* (TAT), LBA nilai tekanan kompresi memiliki 3 buah kategori atau

batasan yakni kurang dari 3.400N, antara 3.400N hingga 6.000N, dan di atas 6.000N. Batasan nilai ini didasarkan pada nilai atau standar NIOSH *Back Compression Action Limit* dimana jika nilai kompresi kurang dari 3.400N maka aktivitas tersebut tidak terlalu beresiko untuk dilakukan sedangkan jika nilainya melebihi 3.400N maka grafik akan berwarna kuning yang menunjukkan resiko dari postur dan aktivitas tersebut berbahaya bagi kesehatan. Apabila melampaui 6.000N maka grafik akan berubah menjadi berwarna merah yang mengindikasikan aktivitas dan postur tersebut sangat berbahaya bagi kesehatan tubuh pekerjaanya. Adapun pada perhitungan PEI, nilai batas LBA yang diperbolehkan yaitu tidak melebihi 3400 N.



Gambar 3.31 Analisis LBA pada Jack TAT

Setelah evaluasi LBA, dilakukan evaluasi OWAS. *Output* analisis OWAS pada Jack TAT akan ditampilkan dalam bentuk grafik dengan indikator mulai dari 1 sampai dengan 4. *Output* analisis OWAS sebagaimana yang terdapat pada Gambar 3.32 menunjukkan kaitan antara tingkat beban dan postur aktivitas yang dilakukan dengan tekanan pada sistem musculoskeletal tubuh pekerjaanya.



Gambar 3.32 Analisis OWAS pada Jack TAT

Setelah evaluasi OWAS, dilakukan evaluasi RULA. *Output* analisis RULA pada Jack TAT akan ditampilkan dalam bentuk penilaian dengan mulai dari 1 sampai dengan 7. Analisis RULA sebagaimana yang terdapat pada Gambar 2.33 ini menunjukkan indikator analisis yang digunakan untuk mengevaluasi postur tubuh bagian atas terkait dengan dampak dari pekerjaan dan beban yang disimulasikan.

Gambar 3.33 Analisis RULA pada Jack TAT

Selanjutnya pada *software* Jack, perhitungan nilai LI dan RWL dari NIOSH pada Jack TAT tidak dapat dilakukan secara otomatis sehingga perlu dilakukan perhitungan secara manual. Sedangkan *software* Jack akan memberikan bantuan *output* berupa jarak perpindahan benda dan nilai asimetri yang dibutuhkan dalam melakukan perhitungan RWL.

Gambar 3.34 Analisis NIOSH pada Jack TAT

3.4.2 Penentuan Konfigurasi

Konfigurasi dilakukan untuk menentukan desain tempat kerja yang paling ergonomis dengan mempertimbangkan perubahan variabel konfigurasi yang paling berpengaruh terhadap terhadap postur kerja manusia pada stasiun kerja pemotongan, penyerutan dan pembelahan material kayu. Konfigurasi ini juga bertujuan agar penelitian yang dilakukan dapat menghasilkan usulan atau rekomendasi optimum yang ditinjau dari aspek ergonomi di area *material cutting* industri mebel berdasarkan variabel-variabel yang telah ditentukan sebelumnya.

Variabel pertama yang diubah pada penentuan konfigurasi ini adalah ketinggian permukaan meja kerja pada stasiun kerja. Ketentuan perubahan ketinggian permukaan meja kerja tersebut dilakukan berdasarkan referensi ketinggian tempat kerja yang ideal. Menurut Sanders & McCormick (1993) dan Helander (2006), rekomendasi ketinggian permukaan meja kerja yang ideal untuk *standing workstation* (posisi kerja berdiri) pada jenis pekerjaan *heavy work* (pekerjaan mendorong, mengangkat, atau memindahkan yang membutuhkan banyak gaya atau dengan beban sama dengan atau lebih dari 5 kg) yaitu 4 sampai 8 inci (10-20 cm) di bawah tinggi siku (*standing elbow height*).

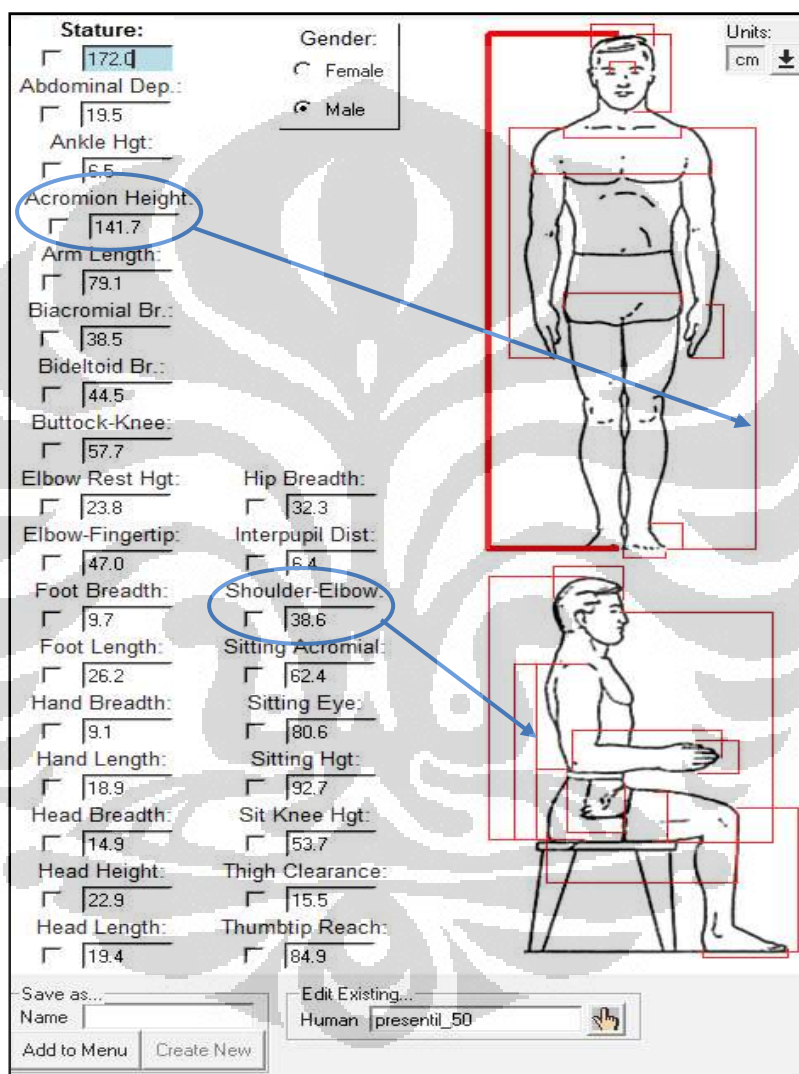
Pada area *material cutting*, seluruh aktivitas harus dilakukan dengan posisi, terutama pada proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material kayu pada setiap stasiun kerjanya. Dikarenakan posisi tubuh yang berdiri dan adanya indikasi pekerja yang cenderung membungkuk ketika melakukan aktivitasnya pada stasiun kerja, fakta tersebut menjadikan ketinggian sebagai faktor yang signifikan berpengaruh terhadap postur tubuh pekerja ketika melakukan jenis aktivitas tersebut.

Ketinggian permukaan meja kerja pada stasiun kerja terbut akan dihitung berdasarkan *design for the average*, yaitu menggunakan data antropometri dengan presentil 50. Pertimbangan ini dipilih dikarenakan karakteristik stasiun kerja mesin kerja yang tidak memungkinkan untuk dilakukannya *design for adjustability*, sehingga digunakan *design for the average* untuk meminimalisir ketidaknyamanan yang terjadi pada manusia dengan presentil 5 dan 95.

Antropometri tinggi siku pekerja dapat dihitung berdasarkan hasil keluaran ukuran bagian tubuh tertentu dari *software* Jack setelah dilakukan proses input

data ukuran tinggi dan berat badan manusia Indonesia dengan presentil 50. Berdasarkan data ukuran antropometri pada Gambar 3.35, diperoleh rumus untuk menghitung tinggi siku dalam posisi berdiri (*standing elbow height*) sesuai persamaan (3.1) berikut ini:

$$\text{Standing Foot Elbow Height (EH)} = \text{Acromion Height (AH)} - \text{Shoulder Elbow (SE)} \dots (3.1)$$



Gambar 3.35 Ukuran Antropometri dengan Presentil 50

Setelah diperoleh nilai *Acromion Height (AH)* dan *Shoulder Elbow (SE)*, maka tinggi siku akan diperoleh dengan menggunakan persamaan (3.1). Setelah diperoleh tinggi siku, maka ketinggian permukaan meja kerja yang pada stasiun kerja yang akan digunakan untuk konfigurasi akan didapatkan. Tabel 3.6

menunjukkan cara perhitungan konfigurasi ketinggian permukaan meja kerja yang akan disimulasikan melalui *virtual human modelling* pada *virtual environment*.

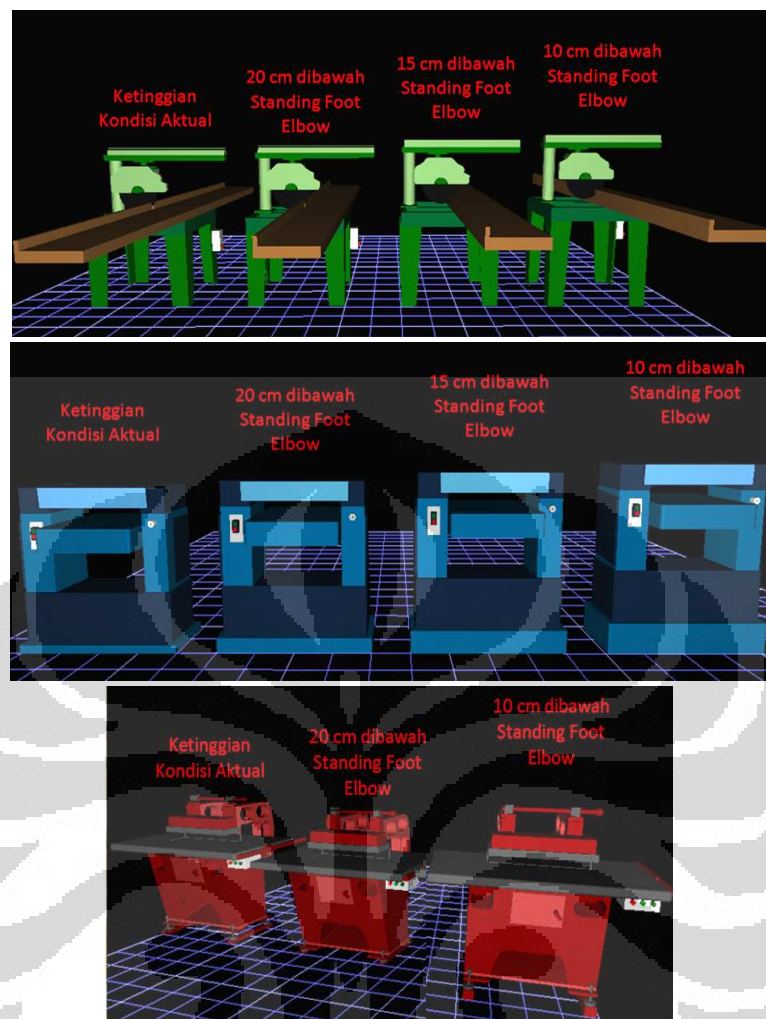
Tabel 3.6 Perhitungan *Standing Elbow Height* Presentil 50 untuk Konfigurasi Ketinggian Permukaan Meja Kerja Pada Stasiun Kerja

Perhitungan <i>Standing Foot-Elbow Height</i> (EH)	
<i>Acromion Height</i> (AH)	141,7
<i>Shoulder Elbow</i> (SE)	38,6
<i>Standing Elbow Height</i> (EH) = AH - SE	103,1
Perhitungan Konfigurasi Ketinggian Permukaan Meja Kerja	
10 cm dibawah <i>Standing Elbow Height</i>	103,1 - (10) = 93,1 cm
15 cm dibawah <i>Standing Elbow Height</i>	103,1 - (15) = 88,1 cm
20 cm dibawah <i>Standing Elbow Height</i>	103,1 - (20) = 83,1 cm

Adapun karakteristik stasiun kerja pada proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material (balok-balok kayu) memiliki elemen aktivitas dan postur tubuh yang berbeda-beda sehingga perubahan ketinggian permukaan meja kerja ini akan dikonfigurasi pada ketiga proses kerja utama, yaitu pada proses pemotongan pada mesin *radial arm saw*, proses penyerutan pada mesin *thickness planer*, dan proses pembelahan pada mesin *single rip saw*. Tabel 3.7 memuat rekapitulasi konfigurasi ketinggian permukaan meja kerja usulan pada masing-masing proses kerja pada stasiun kerja dan Gambar 3.36 menggambarkan ilustrasi perbandingan ketinggian permukaan meja kerja untuk kondisi aktual dan usulan.

Tabel 3.7 Rekapitulasi Konfigurasi Ketinggian Permukaan Meja Kerja Usulan Pada Masing-Masing Proses Kerja Pada Stasiun Kerja

Aturan Konfigurasi Ketinggian Permukaan Meja Kerja Usulan	Konfigurasi Ketinggian Permukaan Meja Kerja Usulan		
	Proses Pemotongan Kayu	Proses Penyerutan Kayu	Proses Pembelahan Kayu
Aktual	81 cm	73 cm	89 cm
10 cm dibawah <i>Elbow Height</i>	93,1 cm	93,1 cm	93,1 cm
15 cm dibawah <i>Elbow Height</i>	88,1 cm	88,1 cm	-
20 cm dibawah <i>Elbow Height</i>	83,1 cm	83,1 cm	83,1 cm



Gambar 3.36 Ilustrasi Perbandingan Ketinggian Permukaan Meja Kerja untuk Kondisi Aktual dan Usulan

Variabel kedua yang diubah pada penentuan konfigurasi ini adalah penambahan alat bantu *manual handling* yang direkomendasikan, yaitu *vacuum lifter*. Alat ini dapat membantu proses pengangkutan manual beban material kayu pada stasiun kerja yang memiliki berat sampai mencapai 40 kg. Alat ini dapat mengangkut material atau benda mencapai beban 300 kg untuk setiap proses pengangkutan sehingga penggunaan *vacuum lifter* dapat membantu meringankan beban operator ketika melakukan proses pengambilan dan pengangkutan, dan peletakan material-material kayu dalam proses pemotongan, penyerutan dan pembelahan di stasiun kerja *radial arm saw*, *thickness planer*, dan *single rip saw* pada area *material cutting*. Karena alat ini bersifat *adjustable* dengan gagang yang ergonomis dan elastis sehingga walaupun dapat digunakan untuk mengambil

benda yang terlalu tinggi maupun rendah, ketinggian gagang dapat tetap dipertahankan pada ketinggian dan posisi tertentu yang diinginkan penggunaannya. Melihat kondisi tersebut, maka dapat dihitung ketinggian pengangkatan awal yang ideal bagi manusia dengan presentil 5 dan presentil 95.

Tabel 3.8 Perhitungan *Standing Elbow Height* Presentil 5 dan 95 untuk Konfigurasi Ketinggian Peralatan *Manual Handling*

Perhitungan <i>Standing Foot Elbow</i> (FE)		
Bagian Tubuh	Presentil 5	Presentil 95
<i>Acromion Height</i> (AH)	133,3	151,9
<i>Shoulder Elbow</i> (SE)	35	40,3
<i>Standing Foot Elbow</i> (FE) = AH - SE	98,3	111,6

Adapun nantinya konfigurasi ketinggian pemakaian peralatan *manual handling* ini akan disesuaikan dengan hasil konfigurasi ketinggian permukaan meja kerja usulan pada masing-masing proses kerja pada stasiun kerja. Ketentuan konfigurasi ketinggian peralatan *manual handling* tersebut dilakukan berdasarkan referensi ketinggian aktivitas *handling dan lifting*. Menurut Neville Stanton., et all (2005) dalam bukunya yang berjudul *Handbook of Human Factor and Ergonomic Method*, aktivitas *lifting* direkomendasikan dilakukan secara horizontal dari titik awal pengangkatan sampai dengan titik tujuan pengangkatan.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya pada subbab 3.2.3, disamping variabel ketinggian permukaan meja kerja pada stasiun kerja dan peralatan *manual handling*, variabel lain yang menjadi dasar dalam menentukan konfigurasi desain tempat kerja terhadap postur pekerja yang ergonomis yaitu jenis kelamin dan presentil data antropometri. Jenis kelamin yang digunakan untuk pembuatan model simulasi yaitu laki-laki sedangkan data presentil yang digunakan yaitu presentil 5 dan 95. Adapun jenis pekerjaan (*task*) yang ditinjau untuk pada konfigurasi merupakan aktivitas yang dinilai paling ekstrim dan berpengaruh pada faktor ergonomi postur pekerja. Aktivitas tersebut yaitu proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material kayu itu sendiri serta proses pengangkatan manual pada masing-masing stasiun kerja. Tabel 3.9 berikut ini menunjukkan ringkasan konfigurasi desain tempat kerja secara keseluruhan.

Tabel 3.9 Ringkasan Konfigurasi Desain Tempat Kerja

No.	Konfigurasi	Jenis Task	Jenis Kelamin	Posisi Kerja	Kondisi	Ketinggian Aktual	Standing Elbow Height (EH)	Aturan Konfigurasi Ketinggian Usulan	Konfigurasi Ketinggian Usulan	Presentil Model
1	Konfigurasi 1	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Aktual	81 cm				Presentil 5
2	Konfigurasi 2	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Aktual	81 cm				Presentil 95
3	Konfigurasi 3	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Usulan	81 cm	103,1 cm	20 cm di bawah EH	83,1 cm	Presentil 5
4	Konfigurasi 4	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Usulan	81 cm	103,1 cm	20 cm di bawah EH	83,1 cm	Presentil 95
5	Konfigurasi 5	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Usulan	81 cm	103,1 cm	15 cm di bawah EH	88,1 cm	Presentil 5
6	Konfigurasi 6	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Usulan	81 cm	103,1 cm	15 cm di bawah EH	88,1 cm	Presentil 95
7	Konfigurasi 7	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Usulan	81 cm	103,1 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 5
8	Konfigurasi 8	Proses Pemotongan	Pria	Berdiri	Usulan	81 cm	103,1 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 95
9	Konfigurasi 9	Pengangkatan Manual (Stasiun Kerja Pemotongan)	Pria	Berdiri	Aktual	0 cm				Presentil 5
10	Konfigurasi 10	Pengangkatan Manual (Stasiun Kerja Pemotongan)	Pria	Berdiri	Aktual	0 cm				Presentil 95
11	Konfigurasi 11	Pengangkatan Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan)	Pria	Berdiri	Usulan	0 cm	98,3 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 5
12	Konfigurasi 12	Pengangkatan Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan)	Pria	Berdiri	Usulan	0 cm	111,6 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 95
13	Konfigurasi 13	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Aktual	79 cm	103,1 cm			Presentil 5
14	Konfigurasi 14	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Aktual	79 cm	103,1 cm			Presentil 95
15	Konfigurasi 15	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Usulan	79 cm	103,1 cm	20 cm di bawah EH	83,1 cm	Presentil 5
16	Konfigurasi 16	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Usulan	79 cm	103,1 cm	20 cm di bawah EH	83,1 cm	Presentil 95
17	Konfigurasi 17	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Usulan	79 cm	103,1 cm	15 cm di bawah EH	88,1 cm	Presentil 5
18	Konfigurasi 18	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Usulan	79 cm	103,1 cm	15 cm di bawah EH	88,1 cm	Presentil 95
19	Konfigurasi 19	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Usulan	79 cm	103,1 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 5
20	Konfigurasi 20	Proses Penyertuan	Pria	Berdiri	Usulan	79 cm	103,1 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 95
21	Konfigurasi 21	Pengangkatan Manual (Stasiun Kerja Penyertuan)	Pria	Berdiri	Aktual	0 cm				Presentil 5
22	Konfigurasi 22	Pengangkatan Manual (Stasiun Kerja Penyertuan)	Pria	Berdiri	Aktual	0 cm				Presentil 95
23	Konfigurasi 23	Pengangkatan Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyertuan)	Pria	Berdiri	Usulan	0 cm	98,3 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 5
24	Konfigurasi 24	Pengangkatan Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyertuan)	Pria	Berdiri	Usulan	0 cm	111,6 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 95
25	Konfigurasi 25	Proses Pembalahan	Pria	Berdiri	Aktual	89 cm	103,1 cm			Presentil 5
26	Konfigurasi 26	Proses Pembalahan	Pria	Berdiri	Aktual	89 cm	103,1 cm			Presentil 95
27	Konfigurasi 27	Proses Pembalahan	Pria	Berdiri	Usulan	89 cm	103,1 cm	20 cm di bawah EH	83,1 cm	Presentil 5
28	Konfigurasi 28	Proses Pembalahan	Pria	Berdiri	Usulan	89 cm	103,1 cm	20 cm di bawah EH	83,1 cm	Presentil 95
29	Konfigurasi 29	Proses Pembalahan	Pria	Berdiri	Usulan	89 cm	103,1 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 5
30	Konfigurasi 30	Proses Pembalahan	Pria	Berdiri	Usulan	89 cm	103,1 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 95
31	Konfigurasi 31	Pengangkatan Manual (Stasiun Kerja Pembalahan)	Pria	Berdiri	Aktual	0 cm				Presentil 5
32	Konfigurasi 32	Pengangkatan Manual (Stasiun Kerja Pembalahan)	Pria	Berdiri	Aktual	0 cm				Presentil 95
33	Konfigurasi 33	Pengangkatan Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembalahan)	Pria	Berdiri	Usulan	0 cm	98,3 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 5
34	Konfigurasi 34	Pengangkatan Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembalahan)	Pria	Berdiri	Usulan	0 cm	111,6 cm	10 cm di bawah EH	93,1 cm	Presentil 95

BAB 4

ANALISIS

Pada bab keempat ini dibahas analisis hasil pengolahan data yang diperoleh melalui *virtual human modelling simulation* di tiga stasiun kerja pada area *material cutting*, yaitu berupa analisis SSP, LBA, OWAS, dan RULA yang kemudian akan dihitung menjadi nilai PEL. Disamping itu, hasil analisis NIOSH pada aktivitas pengangkatan beban akan menghasilkan nilai RWL dan LI. Analisis terdiri dari tiga subbab utama, yaitu analisis kondisi aktual, analisis kondisi usulan, dan analisis perbandingan kondisi aktual dan usulan untuk melihat seberapa besar desain konfigurasi tempat kerja mempengaruhi postur pekerja.

4.1 Analisis Kondisi Aktual

Kondisi aktual merupakan model kondisi yang dibuat menyerupai keadaan sebenarnya dari objek yang diteliti pada area *material cutting*, baik keadaan posisi kerja, metode kerja, maupun spesifikasi stasiun kerja yang ada. Untuk mempermudah analisis, analisis kondisi aktual pada pembahasan ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu analisis kondisi aktual model pada stasiun kerja pemotongan, penyerutan dan juga stasiun kerja pembelahan material balok kayu.

Adapun proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material kayu aktual yang dilakukan pada ketiga stasiun kerja utama di area *material cutting* terdiri dari dua jenis *task* utama yang relatif sama, yaitu terdiri dari proses pengangkutan manual material dan proses pemotongan, penyerutan, atau pembelahan material kayu itu sendiri pada setiap mesin kerja yang dioperasikan. Secara garis besar, perbedaan antar stasiun kerja terdapat pada hal berikut:

- Perbedaan jenis mesin yang dioperasikan dan fungsinya
- Perbedaan postur kerja ketika melakukan pada proses pemotongan, penyerutan, dan pembelahan
- Perbedaan area peletakan, dimensi dan berat material kayu yang diangkat dan diproses
- Perbedaan elemen gerak operator 1 dan operator 2 pada proses kerja

4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Pemotongan

Untuk memudahkan interpretasi hasil, maka pembahasan analisis kondisi aktual pada stasiun kerja pemotongan terbagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan jenis atau posisi kerjanya. Analisis bagian pertama yaitu analisis PEI kondisi aktual posisi memotong material kayu, analisis kedua yaitu analisis PEI kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual, dan analisis yang ketiga yaitu analisis LI kondisi aktual pada aktivitas pengangkatan manual.

4.1.1.1 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Memotong Material Kayu

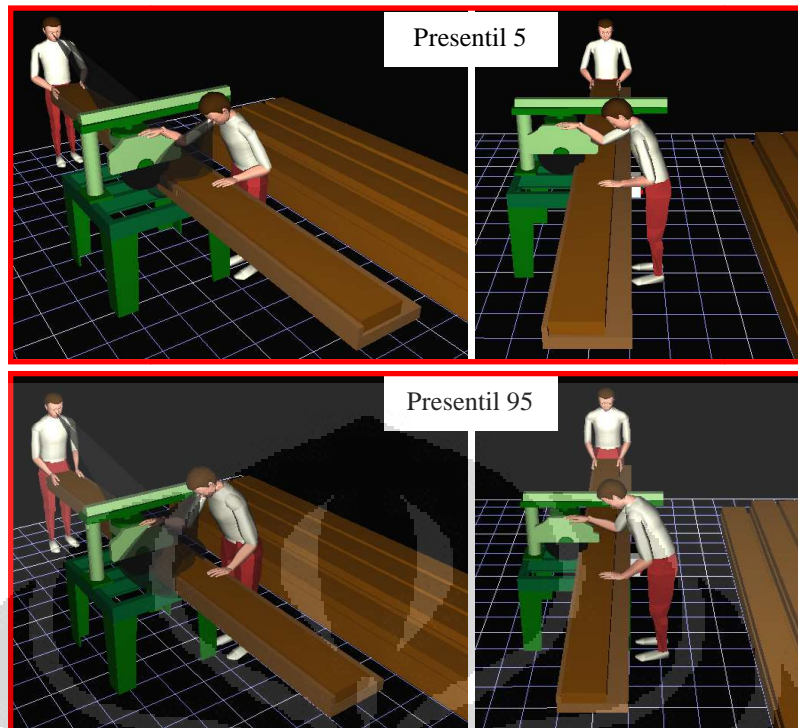
Gerakan memotong material kayu pada permukaan mesin kerja *radial arm saw* dilakukan oleh seorang operator (operator 1). Postur kerja ekstrim yang dievaluasi dalam proses kerja yaitu ketika tangan kanan pertama kali menarik tuas gergaji potong sementara tangan kiri menahan balok kayu, batang tubuh membungkuk, kepala dan pandangan mata menunduk ke arah gergaji potong pada permukaan meja, serta kaki berdiri dengan posisi statis.

Dalam proses pemotongan material kayu ini, operator 2 hanya bertugas memegang material kayu yang sedang dipotong dengan posisi berdiri yang normal menghadap ke meja potong dan tidak terlalu berperan dalam proses pemotongan. Operator 2 lebih berperan membantu operator 1 dalam proses pengangkutan material. Oleh karena itu, analisis PEI pada proses pemotongan hanya akan dilakukan pada operator 1.

Postur kerja operator 1 tersebut diujikan kepada model manusia presentil 5 dan 95. Pada Gambar 4.1, ditampilkan kondisi postur kerja aktual dari presentil 5 dan 95 ketika melakukan proses pemotongan material kayu. Pada Tabel 4.1, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja aktual memotong material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu

Presentil	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Presentil 5	Ya	1030	2121	2	4	5	5	1,817
Presentil 95	Ya	1948	2121	2	3	7	6	2,290



Gambar 4.1 Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu

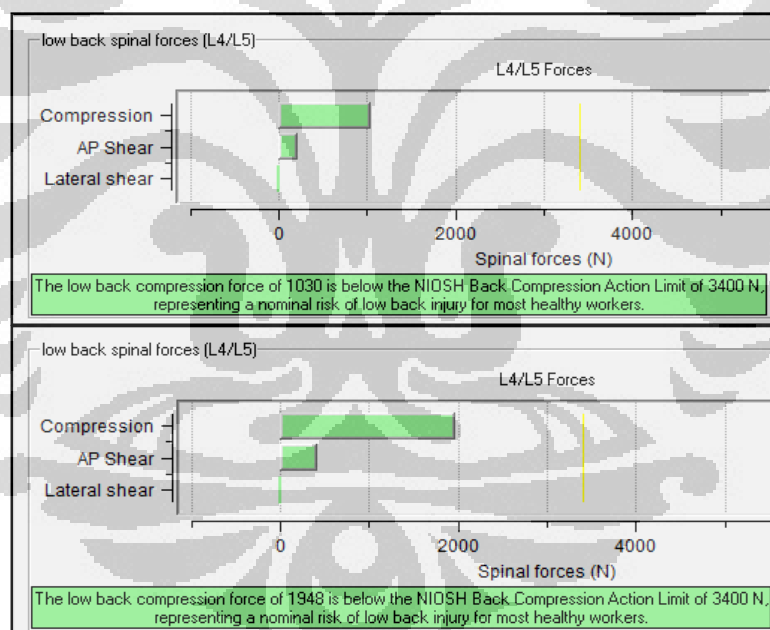
Tabel 4.2 Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu

Body Part	Hasil % SSP Posisi Memotong Material Kayu			
	Presentil 5		Presentil 95	
	Left	Right	Left	Right
Elbow	100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/Adduc	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%
	Humeral Rot	100%	100%	100%
Trunk	Flex/Ext	100%	98%	
	Lateral Bending	100%	100%	
	Rotation	100%	100%	
Hip	99%	99%	99%	99%
Knee	100%	100%	100%	100%
Ankle	99%	100%	98%	99%

Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis penilaian ergonomi pada Tabel 4.1, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam untuk menginterpretasikan hasil penilaian kedua postur yang telah dimodelkan. Analisis dimulai dari tahap analisis SSP dengan cara melihat besar persentase kapabilitas pekerja untuk postur yang dilakukan di sepanjang proses kerja yang dijalankan.

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada tabel 4.2 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 dan persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pemotongan material kayu. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 98% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses pemotongan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

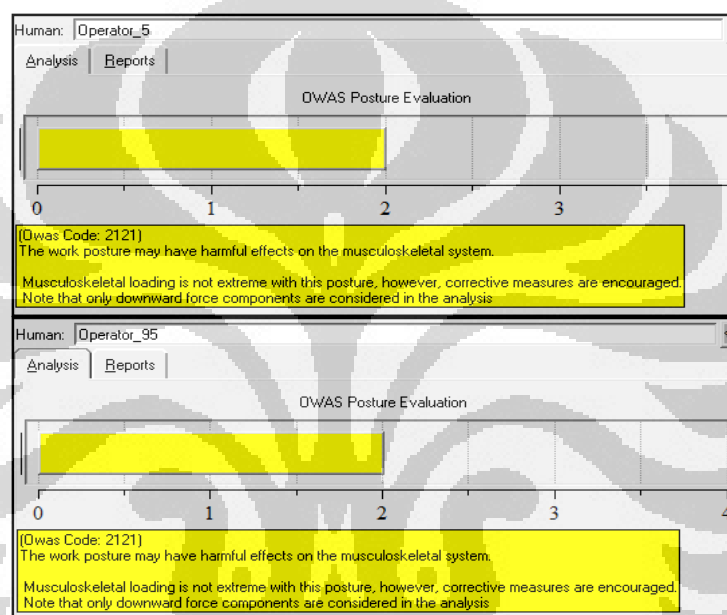
Postur kerja aktual memotong material kayu dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1030 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 25°. Sementara postur kerja aktual memotong material kayu dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1948 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 32°.



Gambar 4.2 Output Nilai LBA Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95

Langkah selanjutnya yaitu menganalisis nilai OWAS. Postur kerja aktual memotong material kayu dari presentil 5 dan presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan diperlukan di masa datang, dengan kode OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.



Gambar 4.3 Output Nilai OWAS Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95

Analisis terakhir adalah mengevaluasi hasil RULA. Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok tubuh A dan kelompok tubuh B. Kelompok tubuh A merupakan bagian tubuh dinamis yang terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah, pergelangan tangan, dan putaran sendi yang terjadi pada pergelangan tangan. Kelompok tubuh B terdiri dari batang tubuh dan leher.

Pada Tabel 4.3, ditampilkan skor RULA untuk postur kerja aktual memotong material kayu pada setiap bagian tubuh dari presentil 5 dan 95. Kelompok tubuh A atas mengalami kontraksi otot dikarenakan posisi tangan yang menjangkau tuas gergaji mesin potong. Kelompok tubuh B mengalami kontraksi

otot yang lebih besar akibat batang tubuh dan leher yang membungkuk, terutama pada presentil 95. Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja aktual memotong material kayu dari presentil 5 menunjukkan nilai 5 sedangkan dari presentil 95 menunjukkan nilai 6. Nilai akhir sebesar 5 atau 6 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan posisi kerja buruk (*poor posture*) yang menimbulkan cedera. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini harus ditinjau kembali dan dilakukan perubahan segera perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya cedera.

Tabel 4.3 Skor RULA Postur Kerja Aktual Memotong Material Kayu

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Memotong Material Kayu	
		Presentil 5	Presentil 95
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	3	2
	<i>Lower Arm</i>	2	2
	<i>Wrist</i>	3	2
	<i>Wrist Twist</i>	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	2	4
	<i>Trunk</i>	3	3
<i>Grand Score RULA</i>		5	6

Pada postur kerja aktual memotong material kayu dari presentil 5, detail nilai-nilai untuk masing-masing elemen RULA dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Lengan atas
Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas pada model operator presentil 5 yaitu sebesar 3, hal ini berarti lengan bagian atas memiliki pergerakan ke arah depan dalam interval 45° hingga 90° . Hal ini dikarenakan posisi tangan operator yang menjangkau tuas gergaji mesin potong yang berada dihadapannya.
- Lengan bawah
Nilai evaluasi untuk lengan bawah pada model operator presentil 5 yaitu sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dengan karakteristik posisi membungkuk melebihi 100° ke arah sumbu z positif.
- Pergelangan tangan

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

- Perputaran pegelangan tangan

Nilai evaluasi pegelangan tangan yaitu 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pegelangan tangan operator.

- Leher

Nilai evaluasi untuk leher adalah 2 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 10° - 20° (melihat ke arah meja potong).

- Batang tubuh

Nilai evaluasi untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk ke arah depan dengan kemiringan 20° - 60° . Hal ini dikarenakan operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 25° .

Sementara pada postur kerja aktual memotong material kayu dari presentil 95, detail nilai-nilai untuk masing-masing elemen RULA dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas pada model operator presentil 95 yaitu sebesar 2, hal ini berarti lengan bagian atas memiliki pergerakan ke arah depan dalam interval 20° hingga 45° . Hal ini dikarenakan posisi tangan operator yang menjangkau tuas gergaji mesin potong yang berada dihadapannya.

- Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah pada model operator presentil 95 yaitu sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dengan karakteristik posisi membengkok melebihi 100° ke arah sumbu z positif.

- Pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan sebesar 2, hal ini menunjukkan bahwa pegelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah dengan derajat kemiringan kurang dari 15° .

- Perputaran pergelangan tangan
Nilai evaluasi pergelangan tangan pada model operator yaitu 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan operator.
- Leher
Nilai evaluasi untuk leher adalah 4 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah lebih dari 20° (melihat ke arah meja potong).
- Batang tubuh
Nilai evaluasi untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk ke arah depan dengan kemiringan 20° -60°. Hal ini dikarenakan operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 32°.

4.1.1.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pemotongan)

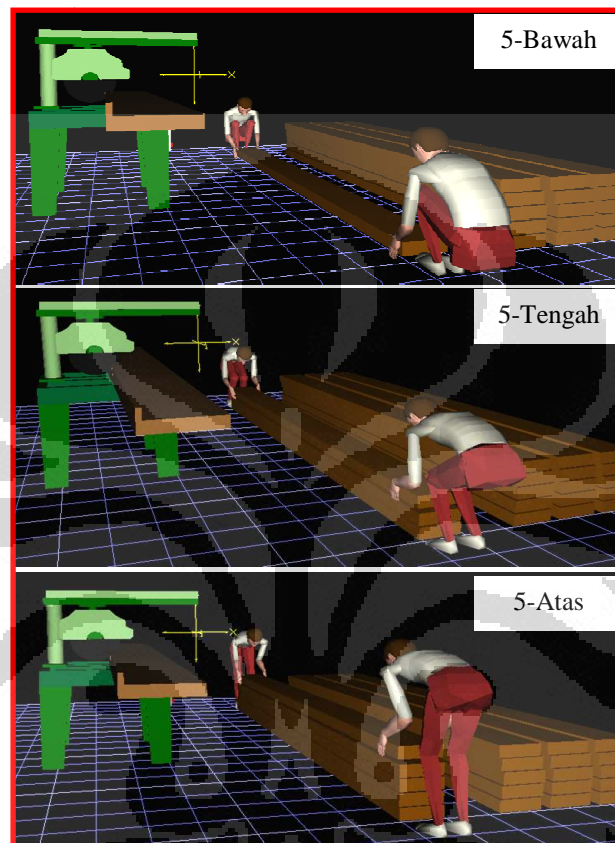
Gerakan mengangkat material kayu yang paling ekstrim dilakukan oleh operator yaitu diprediksi ketika mengangkat material kayu dari dasar lantai menuju permukaan meja pada stasiun kerja pemotongan. Diketahui rata-rata maksimal ketinggian tumpukan kayu yang akan dipotong mencapai 40 cm di atas permukaan lantai atau sebanyak 5 tumpukan kayu (tebal kayu yang disimulasikan ialah 8 cm).

Pada kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual aktivitas mengangkat material kayu dimodelkan ke dalam tiga jenis postur kerja. Ketiga jenis postur kerja tersebut yaitu sebagai berikut:

- Postur kerja mengangkat material kayu dari dasar lantai atau kayu pada tumpukan paling bawah.
- Postur mengangkat material kayu pada tumpukan bagian tengah, atau dalam hal ini tumpukan ketiga.
- Postur mengangkat material kayu pada tumpukan bagian atas, atau dalam hal ini tumpukan kelima.

Tujuan dimodelkan proses pengangkatan material ke dalam tiga jenis postur kerja tersebut yaitu untuk membandingkan posisi ketinggian peletakan awal material kayu terhadap postur operator. Pada Gambar 4.4 ditampilkan postur kerja

aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 5 dalam tiga posisi kerja. Pada Tabel 4.4 ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 5 yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.



Gambar 4.4 Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Pemotongan)

Tabel 4.4 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Pemotongan)

Posisi Mengambil Material Kayu	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Bawah	Ya	2984	2143	3	5	7	7	3,048
Tengah	Ya	2924	2143	3	7	6	7	3,030
Atas	Ya	2455	2143	3	5	5	6	2,689

Tabel 4.5 Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Pemoangan)

<i>Body Part</i>		Hasil % SSP Posisi Mengangkat Material Kayu					
		Bawah		Tengah		Atas	
		<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>		100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	99%		99%		98%	
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%		100%	
	<i>Rotation</i>	100%		100%		100%	
<i>Hip</i>		98%	98%	98%	98%	98%	98%
<i>Knee</i>		99%	99%	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>		100%	100%	99%	99%	98%	98%

Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis penilaian ergonomi pada Tabel 4.4, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam untuk menginterpretasikan hasil penilaian ketiga postur yang telah dimodelkan. Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada tabel 4.5 nilainya lebih besar lebih besar atau sama dengan 98%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pengangkatan material kayu dalam ketiga jenis postur kerja yang dimodelkan tersebut. Hal tersebut menandakan bahwa proses pengangkatan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Pada analisis LBA, postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah dari presentil 5 menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 2984 Newton. Sementara postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi tengah dan atas berturut-turut menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 2924 Newton dan 2455 Newton. Tekanan kompresi pada postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah menunjukkan nilai terbesar. Hal ini dikarenakan pada postur ini operator membungkuk paling tajam sehingga mengakibatkan terjadinya momen pada lumbar 4 dan lumbar 5 spinal tulang belakang searah sumbu x.

Langkah selanjutnya yaitu menganalisis nilai OWAS. Postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja, yaitu pada posisi bawah, tengah dan atas dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu

sebesar 3 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan perlu dilakukan dengan segera, dengan kode OWAS 2143 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 4 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri atau jongkok dengan kedua kaki tertekuk.
- Beban dalam kategori 3 menandakan beban diterima lebih dari 20 kg.

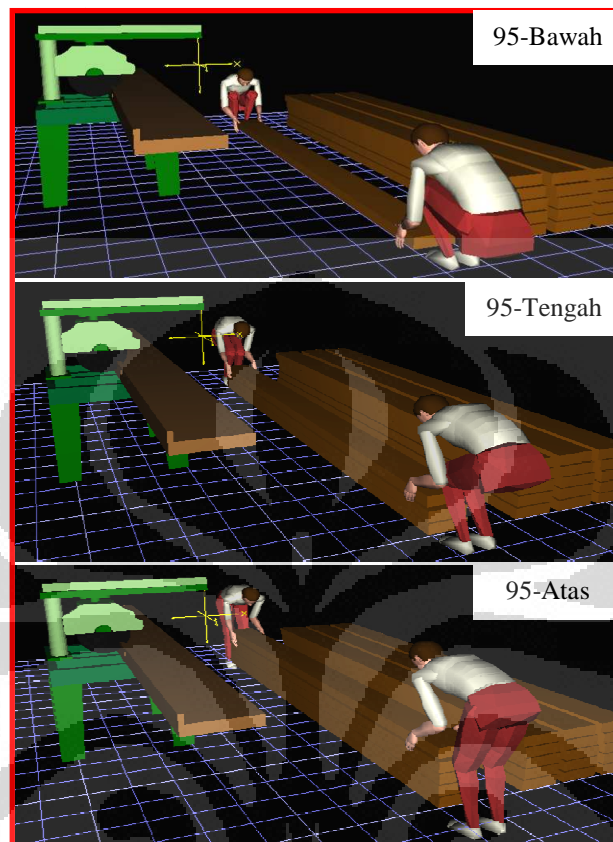
Tabel 4.6 Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Pemotongan)

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Mengangkat Material Kayu		
		Bawah	Tengah	Atas
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	4	5	3
	<i>Lower Arm</i>	3	2	2
	<i>Wrist</i>	2	2	2
	<i>Wrist Twist</i>	1	1	1
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	4	4	4
	<i>Trunk</i>	4	3	1
<i>Grand Score RULA</i>		7	7	6

Pada Tabel 4.6, ditampilkan skor RULA untuk postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja, yaitu pada posisi bawah, tengah dan atas dari presentil 5. Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja pengangkutan di bagian bawah dan tengah menunjukkan nilai yang sama, yaitu 7, sedangkan untuk postur kerja pengangkutan di bagian atas menunjukkan nilai 6. Nilai akhir 7 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang sangat buruk yang dalam waktu singkat akan menimbulkan cedera. Nilai akhir 6 menunjukkan operator melakukan pekerjaan dengan posisi kerja buruk sehingga postur kerja ini harus ditinjau kembali dan dilakukan perubahan segera perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya cedera.

Selanjutnya pada Gambar 4.5 ditampilkan postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 95 dalam tiga posisi kerja. Pada Tabel

4.7 ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 95.



Gambar 4.5 Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemoangan)

Tabel 4.7 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemoangan)

Posisi Mengambil Material Kayu	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA		PEI	
			Kode	Skor	Body Group			
					A	B		Grand Score
Bawah	Ya	3360	2143	3	5	7	7	3,158
Tengah	Ya	3015	2143	3	7	6	7	3,057
Atas	Ya	2841	2143	3	4	6	6	2,803

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.8 nilainya lebih besar lebih besar atau sama dengan 93%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pengangkutan material kayu dalam

ketiga jenis postur kerja yang dimodelkan tersebut. Hal tersebut menandakan bahwa proses pengangkutan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Tabel 4.8 Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemotongan)

<i>Body Part</i>		Hasil % SSP Posisi Mengangkat Material Kayu					
		Bawah		Tengah		Atas	
		<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>		100%	100%	99%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	98%		97%		98%	
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%		100%	
	<i>Rotation</i>	100%		100%		100%	
<i>Hip</i>		98%	98%	97%	97%	97%	97%
<i>Knee</i>		93%	93%	98%	98%	100%	100%
<i>Ankle</i>		100%	100%	99%	99%	97%	97%

Pada analisis LBA, postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah dari presentil 95 menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 3360 Newton. Sementara postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi tengah dan atas berturut-turut menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 3015 Newton dan 2841 Newton. Tekanan kompresi pada postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah menunjukkan nilai terbesar dikarenakan pada postur ini operator membungkuk paling tajam.

Langkah selanjutnya yaitu menganalisis nilai OWAS. Postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja, yaitu pada posisi bawah, tengah dan atas dari presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu sebesar 3 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan perlu dilakukan dengan segera, dengan kode OWAS 2143 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.

- Bagian kaki berada dalam kategori 4 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri atau jongkok dengan kedua kaki tertekuk.
- Beban dalam kategori 3 menandakan beban diterima lebih dari 20 kg.

Pada Tabel 4.9, ditampilkan skor RULA untuk postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja, yaitu pada posisi bawah, tengah dan atas dari presentil 95. Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja pengangkutan di bagian bawah dan tengah menunjukkan nilai yang sama, yaitu 7, sedangkan untuk postur kerja pengangkutan di bagian atas menunjukkan nilai 6. Nilai akhir 7 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang sangat buruk yang dalam waktu singkat akan menimbulkan cedera. Nilai akhir 6 menunjukkan operator melakukan pekerjaan dengan posisi kerja buruk sehingga postur kerja ini harus ditinjau kembali dan dilakukan perubahan segera perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya cedera.

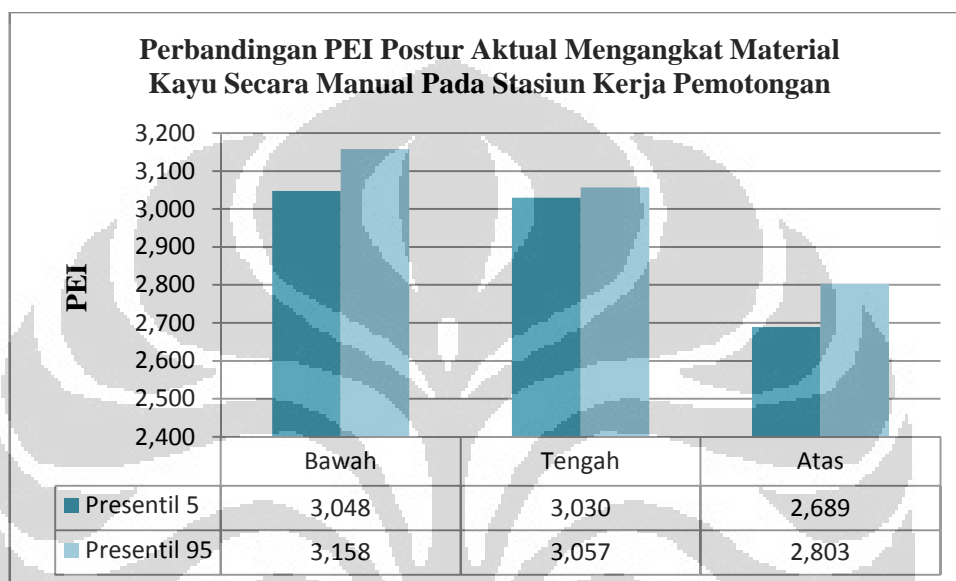
Tabel 4.9 Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Pemoangan)

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Mengangkat Material Kayu		
		Bawah	Tengah	Atas
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	4	5	2
	<i>Lower Arm</i>	3	2	2
	<i>Wrist</i>	2	2	2
	<i>Wrist Twist</i>	1	2	1
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	4	4	4
	<i>Trunk</i>	4	3	2
<i>Grand Score</i>		7	7	6

Setelah menganalisis hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, dan RULA dari ketiga postur pengangkatan material kayu yang dimodelkan dalam operator dengan presentil 5 dan 95, maka selanjutnya dapat dilakukan perbandingan nilai PEI untuk ketiga postur pengangkatan material kayu dengan kedua presentil pada stasiun kerja pemoangan.

Dapat diketahui bahwa postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pemoangan beresiko menimbulkan cedera pada tubuh apabila dilakukan secara berulang dalam jangka waktu yang lama, sehingga perlu

postur tersebut perlu dihindari dan dicari solusi untuk memperbaikinya, terutama pada postur kerja terekstrim berupa pengambilan material kayu dari dasar lantai atau tumpukan kayu paling bawah. Hal ini ditunjukkan dengan dihasilkannya nilai PEI terbesar untuk postur pengangkatan tersebut, yaitu dengan PEI sebesar 3,048 pada operator presentil 5 dan PEI sebesar 3,158 pada presentil 95. Gambar 4.6 menunjukkan grafik yang membandingkan nilai PEI dari setiap postur tersebut.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual Pada Stasiun Kerja Pemotongan

4.1.1.3 Analisis LI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pemotongan)

Analisis *Lifting Index* (LI) ini digunakan untuk melihat sejauh mana postur kerja yang dilakukan saat ini mempengaruhi kemampuan pekerja untuk mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pemotongan. Postur pengangkatan yang dipilih adalah postur kerja ekstrim dengan postur awal pengangkatan ketika posisi operator 1 dan operator 2 secara bersamaan mengangkat material kayu dari permukaan lantai. Postur akhir pengangkatan adalah ketika operator 1 dan operator 2 meletakkan material kayu pada permukaan meja kerja pada mesin potong. Dikarenakan kedua orang operator yang bertugas mengangkat material balok kayu seberat 40 kg secara bersamaan, maka setiap operator diasumsikan mengganggu beban yang sama, yaitu sebesar 20 kg. Pada

Tabel 4.10, ditampilkan data-data dan hasil perhitungan LI dan RWL model manusia presentil 5 dan 95 pada kondisi aktual.

Tabel 4.10 Perhitungan RWL dan LI untuk Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pematangan)

PRESENTIL 5									
	H (cm)		V (cm)		A (cm)		F	C	Load
Lift Origin	33,806		2,951		1,145		2/min	poor	20 kg
Lift Destination	34,893		84,126		1,791				
	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM	RWL	LI
Lift Origin	23	0,740	0,784	0,875	0,996	0,91	0,9	9,52	2,10
Lift Destination	23	0,716	0,973	0,875	0,994	0,91	0,9		
PRESENTIL 95									
	H (cm)		V (cm)		A (cm)		F	C	Load
Lift Origin	36,621		2,582		2,176		2/min	poor	20 kg
Lift Destination	27,606		83,01		3,191				
	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM	RWL	LI
Lift Origin	23	0,683	0,783	0,876	0,993	0,91	0,9	8,76	2,28
Lift Destination	23	0,906	0,976	0,876	0,990	0,91	0,9		

Recommended Weight Limit (RWL) ini merupakan beban maksimal yang direkomendasikan untuk suatu pekerjaan berdasarkan kondisi-kondisi yang didefinisikan. Pada perhitungan kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pematangan didapatkan nilai RWL (*Recommended Weight Limit*) sebesar 9,25 kg untuk presentil 5 dan 8,76 kg untuk presentil 95. Sementara pada keadaan aktual berat beban yang diangkut setiap pekerja sebesar 20 kg. Hal ini menandakan beban yang diangkut pekerja melebihi batas angkut yang direkomendasikan.

Nilai LI berhubungan erat dengan RWL. Berdasarkan NIOSH (1994), tugas pengangkatan dengan nilai LI yang lebih besar dari 1,0 memiliki resiko sakit punggung bagian bawah akibat pengangkatan bagi sebagian pekerja sehingga sangat direkomendasikan untuk merancang aktivitas pekerjaan mengangkat agar memiliki nilai LI sama dengan atau kurang dari 1. Pada perhitungan kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pematangan didapatkan nilai LI sebesar 2,10 untuk presentil 5 dan 2,28 untuk

presentil 95. Hal ini menandakan bahwa proses pengangkatan memerlukan perubahan metode kerja agar beban yang diangkut memenuhi batas RWL.

4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Penyerutan

Pembahasan analisis kondisi aktual pada stasiun kerja penyerutan terbagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan jenis atau posisi kerjanya. Analisis bagian pertama yaitu analisis PEI kondisi aktual posisi menyerut material kayu, analisis kedua yaitu analisis PEI kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual, dan analisis yang ketiga yaitu analisis LI kondisi aktual pada aktivitas pengangkatan manual.

4.1.2.1 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Menyerut Material Kayu

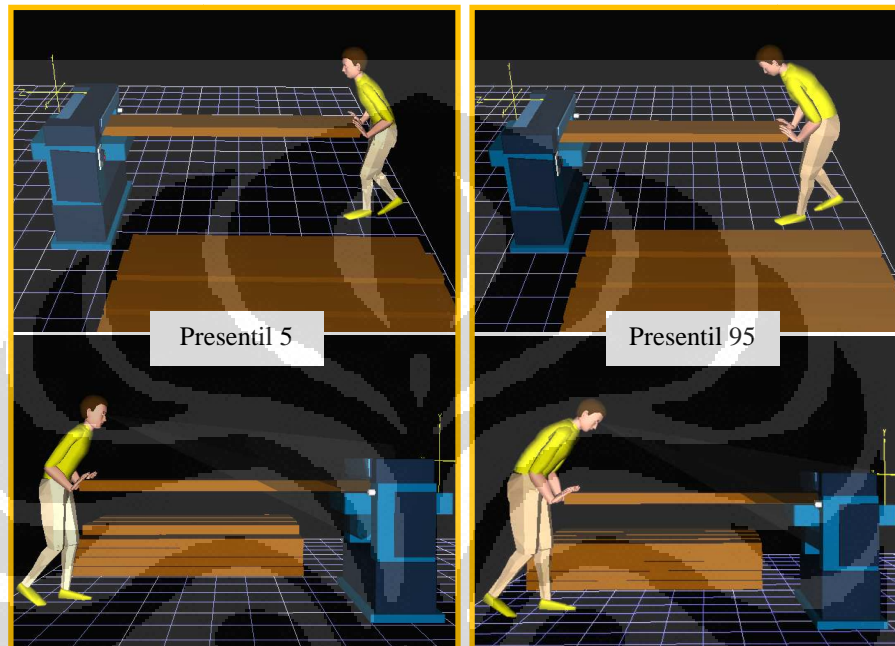
Gerakan menyerut material kayu pada permukaan mesin kerja *thickness planer* dilakukan oleh seorang operator (operator 1). Postur kerja ekstrim yang dievaluasi dalam proses kerja yaitu ketika kedua tangan pertama kali mendorong balok kayu ke depan sisi tubuh, batang tubuh membungkuk, kepala dan pandangan mata memandang lurus ke arah permukaan meja serut, serta kaki sambil berjalan ke arah depan.

Dalam proses penyerutan material kayu ini, operator 2 hanya bertugas membantu operator 2 mengambil material kayu yang telah diserut. Pada saat proses penyerutan dilakukan, operator 2 berdiri dengan posisi normal disamping ke mesin serut dan tidak berperan dalam proses penyerutan. Oleh karena itu, analisis PEI pada proses penyerutan hanya akan dilakukan pada operator 1.

Postur kerja operator 1 tersebut diujikan kepada model manusia presentil 5 dan 95. Pada Gambar 4.7, ditampilkan kondisi postur kerja aktual dari presentil 5 dan 95 ketika melakukan proses penyerutan material kayu. Pada Tabel 4.11, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja aktual menyerut material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu

Presentil	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Presentil 5	Ya	1188	2131	2	4	6	6	2,067
Presentil 95	Ya	1927	2131	2	5	6	7	2,487

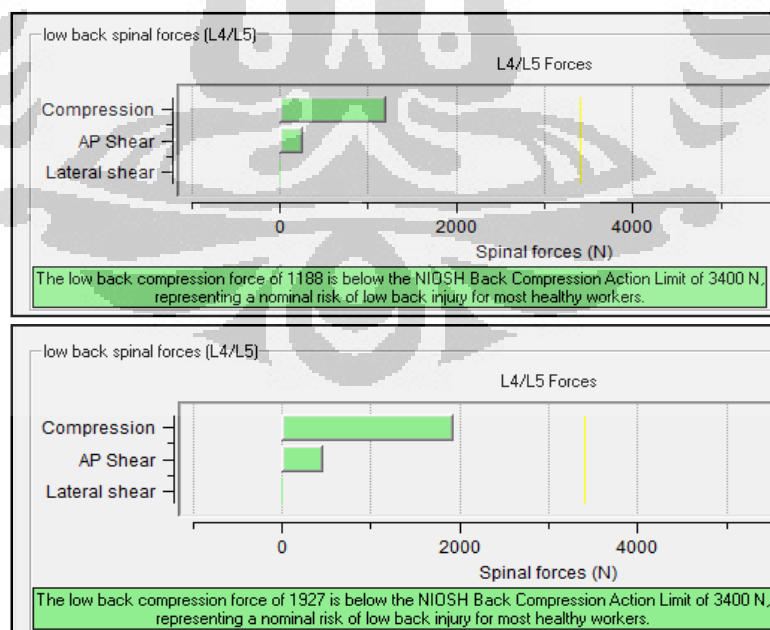
**Gambar 4.7** Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu**Tabel 4.12** Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu

Body Part		Hasil % SSP Posisi Menyerut Material Kayu			
		Presentil 5		Presentil 95	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/Adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral Rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/Ext	100%		99%	
	Lateral Bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	99%	98%	99%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	99%	100%	96%

Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis penilaian ergonomi pada Tabel 4.11, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam untuk menginterpretasikan hasil penilaian kedua postur yang telah dimodelkan. Analisis dimulai dari tahap analisis SSP dengan cara melihat besar persentase kapabilitas pekerja untuk postur yang dilakukan di sepanjang proses kerja yang dijalankan.

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.12. nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 dan persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses penyerutan material kayu. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 96% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses penyerutan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

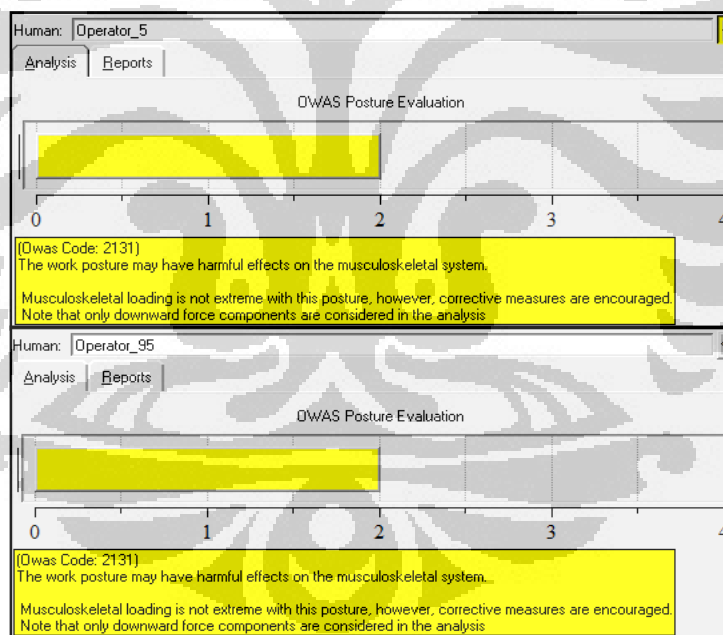
Postur kerja aktual menyerut material kayu dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1188 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 35°. Sementara postur kerja aktual menyerut material kayu dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1927 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 50°.



Gambar 4.8 Output Nilai LBA Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95

Langkah selanjutnya yaitu menganalisis nilai OWAS. Postur kerja aktual menyerut material kayu dari presentil 5 dan presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan diperlukan di masa datang, dengan kode OWAS 2131 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 3 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri yang lebih ditopang dengan satu kaki. Hal ini dikarenakan ketika proses penyerutan dilakukan, operator sambil berjalan ke arah depan.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.



Gambar 4.9 Output Nilai OWAS Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu dari Presentil 5 dan Presentil 95

Analisis terakhir adalah mengevaluasi hasil RULA. Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok tubuh A dan kelompok tubuh B. Kelompok tubuh A merupakan bagian tubuh dinamis yang terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah,

pergelangan tangan, dan putaran sendi yang terjadi pada pergelangan tangan. Kelompok tubuh B terdiri dari batang tubuh dan leher.

Pada Tabel 4.13, ditampilkan skor RULA untuk postur kerja aktual menyerut material kayu pada setiap bagian tubuh dari presentil 5 dan 95. Kelompok tubuh A atas mengalami kontraksi otot dikarenakan posisi tangan yang mendorong kayu ketika melakukan proses penyerutan. Kelompok tubuh B mengalami kontraksi otot lebih besar akibat batang tubuh dan leher membungkuk.

Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja aktual menyerut material kayu dari presentil 5 menunjukkan nilai 6. Nilai akhir 6 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan posisi kerja buruk (*poor posture*) yang menimbulkan cedera. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini harus ditinjau kembali dan dilakukan perubahan segera perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya cedera. Skor RULA untuk postur kerja aktual menyerut material kayu dari presentil 95 menunjukkan nilai 7. Nilai akhir 7 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang sangat buruk (*worst posture*) yang dalam waktu singkat akan menimbulkan cedera. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini harus dikoreksi dan dilakukan perubahan secepatnya untuk mencegah timbulnya cedera.

Tabel 4.13 Skor RULA Postur Kerja Aktual Menyerut Material Kayu

<i>Body Part</i>		Skor RULA Menyerut Material Kayu	
		Presentil 5	Presentil 95
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	1	2
	<i>Lower Arm</i>	2	2
	<i>Wrist</i>	3	3
	<i>Wrist Twist</i>	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	4	4
	<i>Trunk</i>	3	3
<i>Grand Score RULA</i>		6	7

Pada postur kerja aktual menyerut material kayu dari presentil 5, detail nilai-nilai untuk masing- masing elemen RULA dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas pada model operator presentil 5 yaitu sebesar 1, hal ini berarti lengan bagian atas memiliki pergerakan ke arah depan dalam interval kurang dari 20° .

- Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah pada model operator presentil 5 yaitu sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dengan karakteristik posisi membengkok melebihi 100° ke arah sumbu z positif.

- Pergelangan tangan

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

- Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi pergelangan tangan yaitu 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan operator.

- Leher

Nilai evaluasi untuk leher adalah 4 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20° (melihat ke arah meja serut).

- Batang tubuh

Nilai evaluasi untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk ke arah depan dengan kemiringan 20° - 60° . Hal ini dikarenakan operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 35° .

Sementara pada postur kerja aktual menyerut material kayu dari presentil 95, detail nilai-nilai untuk masing-masing elemen RULA dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas pada model operator presentil 95 yaitu sebesar 2, hal ini berarti lengan bagian atas memiliki pergerakan ke arah depan dalam interval 20° hingga 45° .

- Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah pada model operator presentil 95 yaitu sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dengan karakteristik posisi membengkok melebihi 100° ke arah sumbu z positif.

- Pergelangan tangan

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

- Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi pergelangan tangan yaitu 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan operator.

- Leher

Nilai evaluasi untuk leher adalah 4 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20° (melihat ke arah meja serut).

- Batang tubuh

Nilai evaluasi untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk kearah depan dengan kemiringan $20^\circ - 60^\circ$. Hal ini dikarenakan operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 50° .

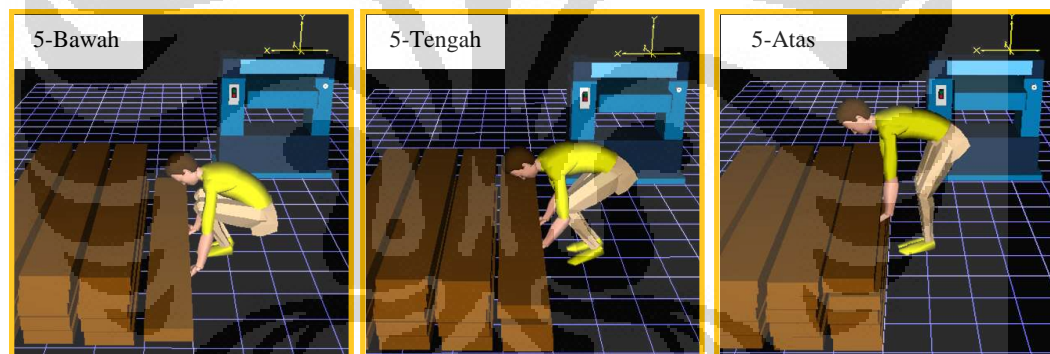
4.1.2.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Penyerutan)

Gerakan mengangkat material kayu yang paling ekstrim dilakukan oleh operator yaitu ketika mengangkat material kayu dari dasar lantai menuju permukaan meja pada stasiun kerja penyerutan.

Sama seperti pada analisis stasiun kerja pemotongan sebelumnya, kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual aktivitas mengangkat material kayu dimodelkan ke dalam tiga jenis postur kerja, yaitu pada posisi pengangkutan kayu tumpukan bawah, tengah, dan atas. Adapun perbedaan postur pengangkutan pada stasiun kerja pemotongan dan penyerutan, yaitu terdapat pada jumlah operator yang mengangkat, berat material kayu yang diangkut, postur angkut, dan jarak pengangkutan.

Jika pada stasiun kerja pemotongan, proses pengangkutan material kayu dari tumpukannya ke permukaan meja kerja (pada mesin potong *radial arm saw*) dilakukan oleh kedua operator secara bersamaan, sedangkan pada stasiun kerja penyerutan proses pengangkutan material kayu dari tumpukannya ke permukaan meja kerja (pada mesin potong *thickness planer*) dilakukan oleh seorang operator saja. Adapun berat material kayu yang diangkut pada stasiun kerja pemotongan sebesar 40 kg, sedangkan pada stasiun kerja pemotongan beratnya 20 kg. Disamping itu, postur pengangkutan, dan jarak pengangkutan material kayu pada kedua stasiun kerja juga berbeda.

Pada Gambar 4.10 ditampilkan postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 5 dalam tiga posisi kerja. Pada Tabel 4.14 ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 5 yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.



Gambar 4.10 Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan)

Tabel 4.14 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan)

Posisi Mengambil Material Kayu	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Bawah	Ya	2777	2143	3	6	7	7	2,987
Tengah	Ya	2518	2143	3	8	7	7	2,911
Atas	Ya	2379	2143	3	6	6	7	2,870

Tabel 4.15 Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan)

<i>Body Part</i>		Hasil % SSP Posisi Mengangkat Material Kayu					
		Bawah		Tengah		Atas	
		<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>		100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	99%		99%		99%	
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%		100%	
	<i>Rotation</i>	100%		100%		100%	
<i>Hip</i>		99%	98%	98%	98%	98%	99%
<i>Knee</i>		98%	98%	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>		100%	100%	99%	99%	99%	100%

Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis penilaian ergonomi pada Tabel 4.14, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam untuk menginterpretasikan hasil penilaian ketiga postur yang telah dimodelkan. Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.15 nilainya lebih besar lebih besar atau sama dengan 98%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pengangkatan material kayu dalam ketiga jenis postur kerja yang dimodelkan tersebut. Hal tersebut menandakan bahwa proses pengangkutan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Pada analisis LBA, postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah dari presentil 5 menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 2777 Newton. Sementara postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi tengah dan atas berturut-turut menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 2518 Newton dan 2379 Newton. Tekanan kompresi pada postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah menunjukkan nilai terbesar. Hal ini dikarenakan pada postur ini operator membungkuk paling tajam sehingga mengakibatkan terjadinya momen pada lumbar 4 dan lumbar 5 spinal tulang belakang searah sumbu x.

Postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja, yaitu pada posisi bawah, tengah dan atas dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir

OWAS yang sama, yaitu sebesar 3 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan perlu dilakukan dengan segera, dengan kode OWAS 2143 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 4 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri atau jongkok dengan kedua kaki tertekuk.
- Beban dalam kategori 3 menandakan beban diterima lebih dari 20 kg.

Tabel 4.16 Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 5 (Stasiun Kerja Penyerutan)

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Mengangkat Material Kayu		
		Bawah	Tengah	Atas
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	4	5	4
	<i>Lower Arm</i>	3	3	3
	<i>Wrist</i>	2	2	2
	<i>Wrist Twist</i>	2	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	4	4	4
	<i>Trunk</i>	4	4	3
<i>Grand Score RULA</i>		7	7	7

Selanjutnya pada Tabel 4.16, ditampilkan skor RULA untuk postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja dari presentil 5. Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja pengangkutan di bagian bawah, tengah, dan atas menunjukkan nilai yang sama, yaitu 7. Nilai akhir 7 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang sangat buruk yang dalam waktu singkat akan menimbulkan cedera.

Pada Gambar 4.11 ditampilkan postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 95 dalam tiga posisi kerja yang berbeda. Tabel 4.17 menampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 95 pada stasiun kerja penyerutan untuk ketiga postur pengangkutan yang berbeda.



Gambar 4.11 Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan)

Tabel 4.17 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan)

Posisi Mengambil Material Kayu	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Bawah	Ya	3390	2143	3	6	7	7	3,167
Tengah	Ya	3309	2143	3	6	7	7	3,143
Atas	Ya	3226	2143	3	8	7	7	3,119

Tabel 4.18 Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan)

Body Part		Hasil % SSP Posisi Mengangkat Material Kayu					
		Bawah		Tengah		Atas	
		Left	Right	Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/Adduc	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	Humeral Rot	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/Ext	98%		98%		98%	
	Lateral Bending	100%		100%		100%	
	Rotation	100%		100%		100%	
Hip		98%	98%	98%	97%	98%	99%
Knee		93%	93%	98%	98%	100%	99%
Ankle		100%	100%	99%	99%	100%	100%

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.18 nilainya lebih besar lebih besar atau sama dengan 93%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle*

strength) yang cukup untuk melakukan proses pengangkutan material kayu dalam ketiga jenis postur kerja yang dimodelkan tersebut. Hal tersebut menandakan bahwa proses pengangkutan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Pada analisis LBA, postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah dari presentil 95 menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 3390 Newton. Sementara postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi tengah dan atas berturut-turut menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 3309 Newton dan 3326 Newton. Tekanan kompresi pada postur kerja aktual mengangkat material kayu pada posisi bawah menunjukkan nilai terbesar.

Postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja, yaitu pada posisi bawah, tengah dan atas dari presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu sebesar 3 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan perlu dilakukan dengan segera, dengan kode OWAS 2143 yang berarti:

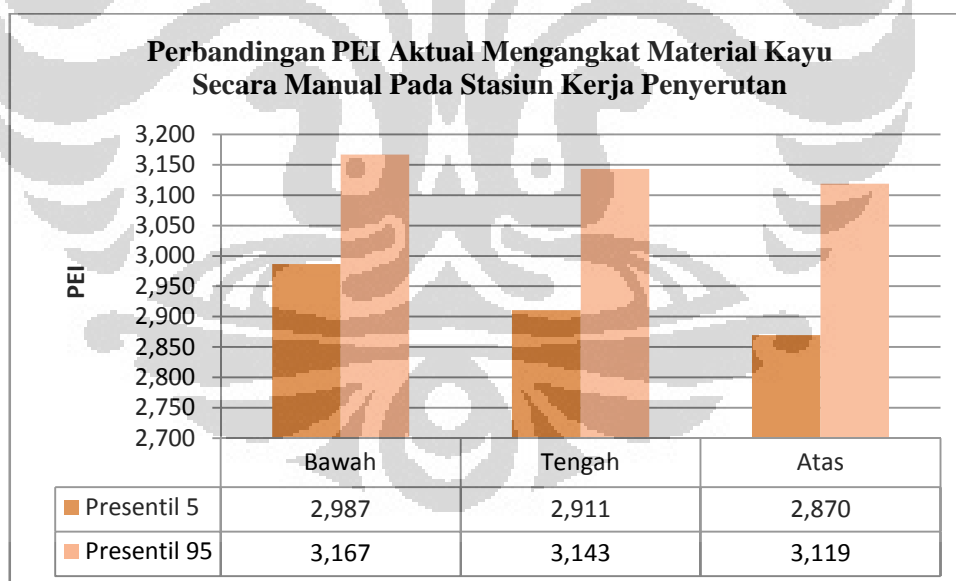
- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 4 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri atau jongkok dengan kedua kaki tertekuk.
- Beban dalam kategori 3 menandakan beban diterima lebih dari 20 kg.

Tabel 4.19 Skor RULA Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual dari Presentil 95 (Stasiun Kerja Penyerutan)

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Mengangkat Material Kayu		
		Bawah	Tengah	Atas
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	4	4	5
	<i>Lower Arm</i>	3	3	3
	<i>Wrist</i>	2	2	3
	<i>Wrist Twist</i>	2	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	4	4	4
	<i>Trunk</i>	4	4	4
<i>Grand Score</i>		7	7	7

Selanjutnya pada Tabel 4.19, ditampilkan skor RULA untuk postur kerja aktual mengangkat material kayu dari ketiga postur kerja dari presentil 95. Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja pengangkatan di bagian bawah, tengah, dan atas menunjukkan nilai yang sama, yaitu 7. Nilai akhir 7 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang sangat buruk yang dalam waktu singkat akan menimbulkan cedera.

Selanjutnya dapat dilakukan perbandingan nilai PEI untuk ketiga postur pengangkatan material kayu dengan kedua presentil pada stasiun kerja penyerutan. Postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pemotongan beresiko menimbulkan cedera pada tubuh sehingga perlu postur tersebut perlu dicari solusi untuk memperbaikinya, terutama pada postur kerja terekstrim berupa pengambilan material kayu dari dasar lantai atau tumpukan kayu paling bawah. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 4.12 dengan dihasilkannya nilai PEI terbesar untuk postur pengangkatan tersebut, yaitu dengan PEI sebesar 2,987 pada presentil 5 dan PEI 3,167 pada presentil 95.



Gambar 4.12 Grafik Perbandingan PEI Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual Pada Stasiun Kerja Penyerutan

4.1.2.3 Analisis LI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Penyerutan)

Analisis *Lifting Index* (LI) ini digunakan untuk melihat sejauh mana postur kerja yang dilakukan saat ini mempengaruhi kemampuan pekerja untuk mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja penyerutan. Postur pengangkatan yang dipilih adalah postur kerja ekstrim dengan postur awal pengangkatan ketika posisi operator 1 mengangkat material kayu dari permukaan lantai. Postur akhir pengangkatan adalah ketika operator 1 meletakkan material kayu pada permukaan meja kerja pada mesin serut. Pada tabel 4.20, ditampilkan data-data dan hasil perhitungan LI dan RWL model manusia presentil 5 dan 95 pada kondisi aktual.

Tabel 4.20 Perhitungan RWL dan LI untuk Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Penyerutan)

PRESENTIL 5									
	H (cm)		V (cm)		A (cm)		F	C	Load
<i>Lift Origin</i>	35,681		2,053		1,838		2/min	poor	20 kg
<i>Lift Destination</i>	35,413		78,767		3,251				
	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM	RWL	LI
<i>Lift Origin</i>	23	0,701	0,781	0,879	0,994	0,91	0,9	9,01	2,22
<i>Lift Destination</i>	23	0,706	0,989	0,879	0,990	0,91	0,9		
PRESENTIL 95									
	H (cm)		V (cm)		A (cm)		F	C	Load
<i>Lift Origin</i>	39,944		2,045		2,911		2/min	poor	20 kg
<i>Lift Destination</i>	34,637		81,439		1,128				
	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM	RWL	LI
<i>Lift Origin</i>	23	0,626	0,781	0,877	0,991	0,91	0,9	8,00	2,50
<i>Lift Destination</i>	23	0,722	0,981	0,877	0,996	0,91	0,9		

Recommended Weight Limit (RWL) ini merupakan beban maksimal yang direkomendasikan untuk suatu pekerjaan berdasarkan kondisi-kondisi yang didefinisikan. Pada perhitungan kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja penyerutan didapatkan nilai RWL (*Recommended Weight Limit*) sebesar 9,01 kg untuk presentil 5 dan 8 kg untuk presentil 95. Sementara pada keadaan aktual berat beban yang diangkut setiap

pekerja sebesar 20 kg. Hal ini menandakan beban yang diangkut pekerja melebihi batas angkut yang direkomendasikan.

Nilai LI berhubungan erat dengan RWL. Tugas pengangkatan dengan nilai LI yang lebih besar dari 1,0 memiliki resiko sakit punggung bagian bawah akibat pengangkatan bagi sebagian pekerja sehingga sangat direkomendasikan untuk merancang aktivitas pekerjaan mengangkat agar memiliki nilai LI sama dengan atau kurang dari 1. Pada perhitungan kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja penyerutan didapatkan nilai LI sebesar 2,22 untuk presentil 5 dan 2,50 untuk presentil 95. Hal ini menandakan bahwa proses pengangkatan memerlukan perubahan metode kerja agar beban yang diangkut memenuhi batas RWL.

4.1.3 Analisis Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Pembelahan

Pembahasan analisis kondisi aktual pada stasiun kerja pembelahan terbagi menjadi beberapa bagian sesuai dengan jenis atau posisi kerjanya. Analisis bagian pertama yaitu analisis PEI kondisi aktual posisi membelah material kayu, analisis kedua yaitu analisis PEI kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual, dan analisis yang ketiga yaitu analisis LI kondisi aktual pada aktivitas pengangkatan manual.

4.1.3.1 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Membelah Material Kayu

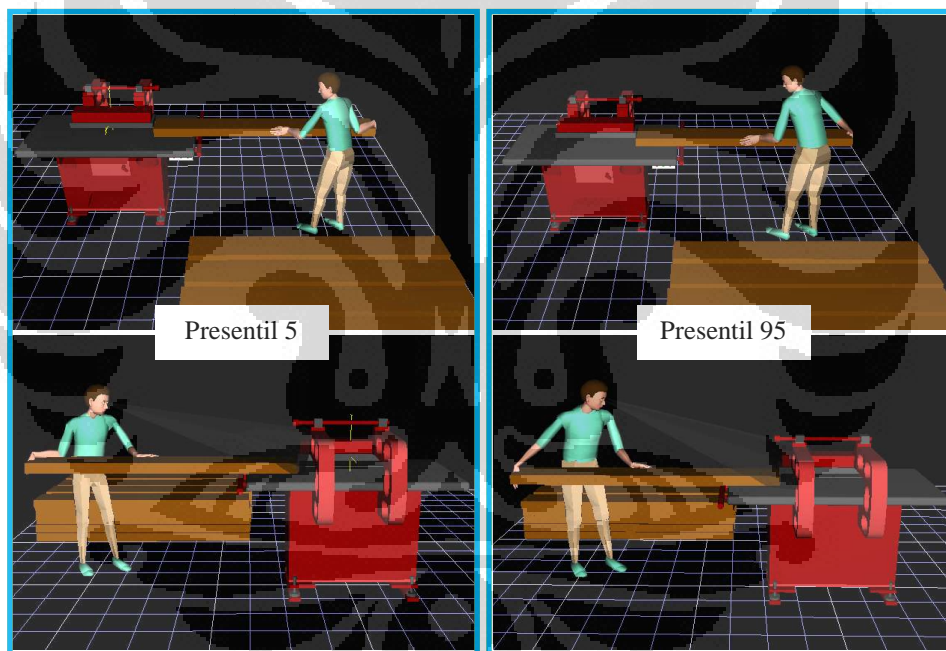
Gerakan membelah material kayu pada permukaan mesin kerja *sigle rip saw* dilakukan oleh seorang operator (operator 1). Postur kerja ekstrim yang dievaluasi dalam proses kerja yaitu ketika tangan kanan pertama kali mendorong balok kayu sementara tangan kiri menggeser balok kayu, batang tubuh membungkuk dan berada di samping balok kayu yang digeser dan didorong, kepala dan pandangan mata memandang lurus ke arah permukaan meja belah, serta kaki sambil berjalan.

Dalam proses pembelahan material kayu ini, operator 2 hanya bertugas membantu operator 2 mengambil material kayu yang telah dibelah. Pada saat proses pembelahan dilakukan, operator 2 berdiri dengan posisi normal di sisi lain dari mesin belah dan tidak berperan dalam proses pembelahan. Oleh karena itu, analisis PEI pada proses pembelahan hanya akan dilakukan pada operator 1.

Postur kerja operator 1 tersebut diujikan kepada model manusia presentil 5 dan 95. Pada Gambar 4.13, ditampilkan kondisi postur kerja aktual dari presentil 5 dan 95 ketika melakukan proses pembelahan material kayu. Pada Tabel 4.21, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja aktual membelah material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.

Tabel 4.21 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu

Presentil	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Presentil 5	Ya	1187	2121	2	5	8	7	2,269
Presentil 95	Ya	2014	2121	2	4	8	6	2,309



Gambar 4.13 Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu

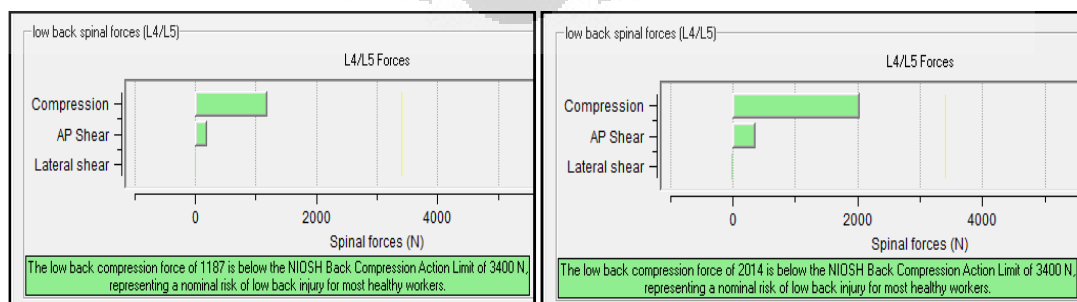
Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis penilaian ergonomi pada tabel 4.21, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam untuk menginterpretasikan hasil penilaian kedua postur yang telah dimodelkan. Analisis dimulai dari tahap analisis SSP dengan cara melihat besar persentase kapabilitas pekerja untuk postur yang dilakukan di sepanjang proses kerja yang dijalankan. Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.22 nilainya lebih besar dari

90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 dan persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pembelahan material kayu. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 98% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses pembelahan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Tabel 4.22 Hasil % SSP Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu

Body Part		Hasil % SSP Posisi Membelah Material Kayu			
		Presentil 5		Presentil 95	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/Adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral Rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/Ext	100%		99%	
	Lateral Bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	99%	99%	98%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	99%	100%	98%

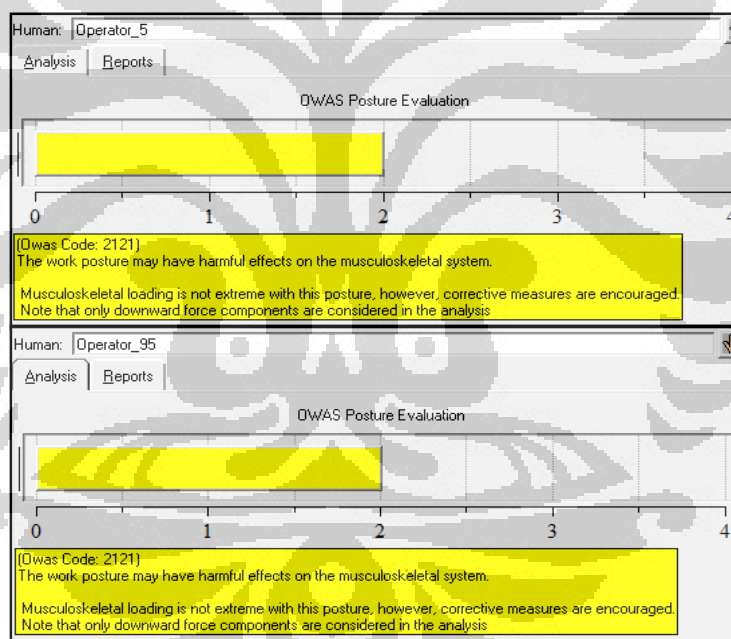
Postur kerja aktual membelah material kayu dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1187 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 20°. Sementara postur kerja aktual membelah material kayu dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 2014 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 30°.



Gambar 4.13 Perbandingan *Output* Nilai LBA Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu dari Presentil 5 (atas) dan Presentil 95 (bawah)

Langkah selanjutnya yaitu menganalisis nilai OWAS. Postur kerja aktual membelah material kayu dari presentil 5 dan presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan diperlukan di masa datang, dengan kode OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.



Gambar 4.13 Output Nilai OWAS Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu dari Presentil 5 (atas) dan Presentil 95 (bawah)

Analisis terakhir adalah mengevaluasi hasil RULA. Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok tubuh A dan kelompok tubuh B. Kelompok tubuh A merupakan bagian tubuh dinamis yang terdiri dari lengan bagian atas, lengan bagian bawah,

pergelangan tangan, dan putaran sendi yang terjadi pada pergelangan tangan. Kelompok tubuh B terdiri dari batang tubuh dan leher.

Pada Tabel 4.23, ditampilkan skor RULA untuk postur kerja aktual membelah material kayu pada setiap bagian tubuh dari presentil 5 dan 95. Kelompok tubuh A atas mengalami kontraksi otot dikarenakan posisi tangan yang mendorong dan menggeser balok kayu ketika melakukan proses pembelahan. Kelompok tubuh B mengalami kontraksi otot yang lebih besar akibat batang tubuh dan leher yang posisinya agak membungkuk.

Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja aktual membelah material kayu dari presentil 5 menunjukkan nilai 6. Nilai akhir 6 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan posisi kerja buruk (*poor posture*) yang menimbulkan cedera. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini harus ditinjau kembali dan dilakukan perubahan segera perlu dilakukan untuk mencegah timbulnya cedera. Sedangkan skor RULA untuk postur kerja aktual membelah material kayu dari presentil 95 menunjukkan nilai 7. Nilai akhir 7 menunjukkan bahwa operator melakukan pekerjaan dengan postur kerja yang sangat buruk (*worst posture*) yang dalam waktu singkat akan menimbulkan cedera. Oleh karena itu, postur kerja yang berada dalam level ini harus dikoreksi dan dilakukan perubahan secepatnya untuk mencegah timbulnya cedera.

Tabel 4.23 Skor RULA Postur Kerja Aktual Membelah Material Kayu

<i>Body Part</i>		Skor RULA Membelah Material Kayu	
		Presentil 5	Presentil 95
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	2	1
	<i>Lower Arm</i>	3	3
	<i>Wrist</i>	3	1
	<i>Wrist Twist</i>	1	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	6	6
	<i>Trunk</i>	3	3
<i>Grand Score RULA</i>		7	6

Pada postur kerja aktual membelah material kayu dari presentil 5, detail nilai-nilai untuk masing-masing elemen RULA dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas pada model operator presentil 5 yaitu sebesar 2, hal ini berarti lengan bagian atas memiliki pergerakan ke arah depan dalam interval 20° hingga 45° .

- Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah pada model operator presentil 5 yaitu sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah memiliki karakteristik posisi melewati sumbu tengah tubuh.

- Pergelangan tangan

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

- Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi pergelangan tangan yaitu 1, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan tidak memiliki putaran.

- Leher

Nilai evaluasi untuk leher adalah 6 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20° , ditambah adanya putaran ke arah samping, dan (melihat ke arah meja belah).

- Batang tubuh

Nilai evaluasi untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk ke arah depan dengan kemiringan 20° - 60° . Hal ini dikarenakan operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 20° .

Sementara pada postur kerja aktual membelah material kayu dari presentil 95, detail nilai-nilai untuk masing-masing elemen RULA dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas pada model operator presentil 95 yaitu sebesar 1, hal ini berarti lengan bagian atas memiliki pergerakan ke arah depan dalam interval kurang dari 20° .

- Lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah pada model operator presentil 95 yaitu sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah memiliki karakteristik posisi melewati sumbu tengah tubuh.

- Pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan sebesar 1, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan lurus dan tidak melakukan gerakan menekuk.

- Perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi pergelangan tangan yaitu 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan operator.

- Leher

Nilai evaluasi untuk leher adalah 6 yang berarti bahwa leher menunduk lebih dari 20° , ditambah adanya putaran ke arah samping, dan (melihat ke arah meja belah).

- Batang tubuh

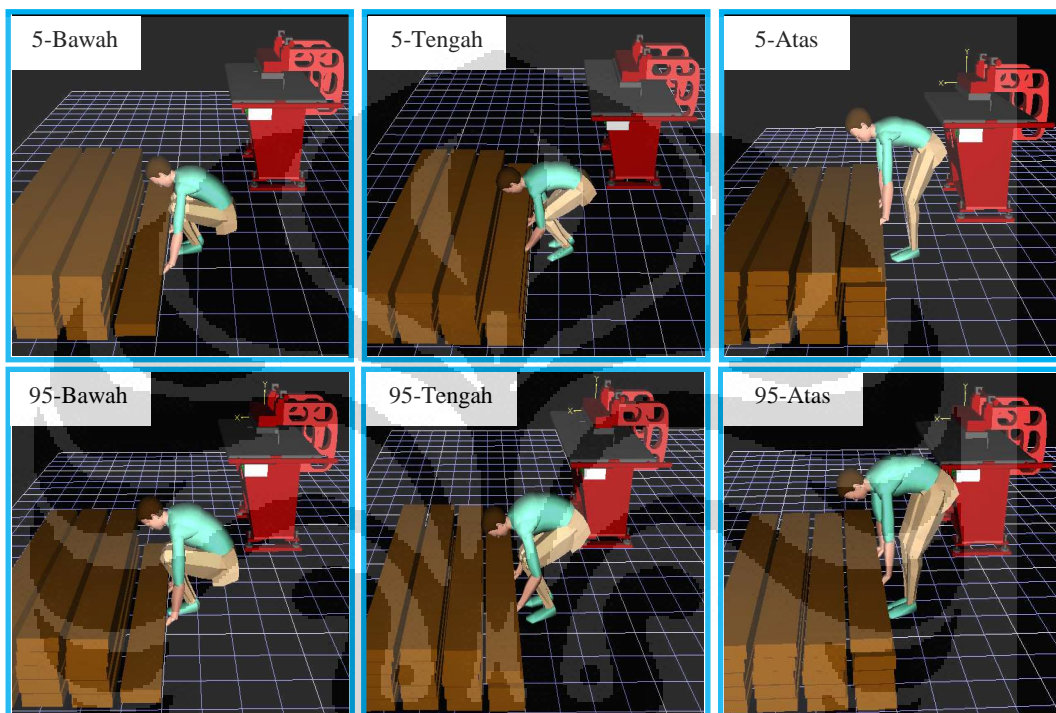
Nilai evaluasi untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh membungkuk kearah depan dengan kemiringan 20° - 60° . Hal ini dikarenakan operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 30° .

4.1.3.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pembelahan)

Posisi ekstrim mengangkat material kayu secara manual yang dilakukan oleh operator pada stasiun kerja pembelahan kayu diasumsikan identik sama dengan posisi pengangkatan material yang dilakukan pada stasiun kerja penyerutan kayu. Material kayu sama-sama memiliki berat 20 kg dan diangkat oleh 1 orang operator dengan cara pengangkatan yang sama. Hal tersebut menyebabkan nilai penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA serta PEI yang dihasilkan pun sama diantara kedua stasiun kerja tersebut. Oleh karena itu, analisis penilaian ergonominya tidak akan dijabarkan kembali karena telah dijelaskan pada pembahasan sebelumnya.

Hal yang dapat disimpulkan yaitu pada intinya postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pembelahan beresiko

menimbulkan cedera pada tubuh seperti pada stasiun kerja penyerutan sehingga perlu postur tersebut perlu dicari solusi untuk memperbaikinya, terutama pada postur kerja terekstrim berupa pengambilan material kayu dari dasar lantai atau tumpukan kayu paling bawah. Pada Gambar 4.14 ditampilkan postur kerja aktual mengangkat material kayu secara manual dari presentil 5 dan 95 dalam tiga posisi kerja pada stasiun kerja pembelahan kayu.



Gambar 4.14 Postur Kerja Aktual Mengangkat Material Kayu Secara Manual Pada Stasiun Kerja Pembelahan

4.1.3.3 Analisis LI Kondisi Aktual Model Stasiun Kerja Pembelahan

Analisis *Lifting Index* (LI) ini digunakan untuk melihat sejauh mana postur kerja yang dilakukan saat ini mempengaruhi kemampuan pekerja untuk mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pembelahan. Walaupun nilai penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA serta PEI yang dihasilkan sama pada aktivitas pengangkatan material kayu diantara stasiun kerja pembelahan dan penyerutan, akan tetap nilai LI kondisi aktual yang dihasilkan sedikit berbeda. Hal tersebut dikarenakan titik tujuan pengangkatan berupa postur akhir diantara kedua stasiun kerja memiliki yang jarak yang

berbeda. Hal ini dipengaruhi oleh ketinggian mesin kerja penyerutan (*thickness planer*) dan mesin pembelahan (*single rip saw*) yang berbeda pada kondisi aktual.

Postur pengangkatan yang dipilih adalah postur kerja ekstrim dengan postur awal pengangkatan ketika posisi operator 1 mengangkat material kayu dari permukaan lantai. Postur akhir pengangkatan adalah ketika operator 1 meletakkan material kayu pada permukaan meja kerja pada mesin belah. Pada Tabel 4.20, ditampilkan data-data dan hasil perhitungan LI dan RWL model manusia presentil 5 dan 95 pada kondisi aktual.

Tabel 4.24 Perhitungan RWL dan LI untuk Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual (Stasiun Kerja Pembelahan)

PRESENTIL 5									
	H (cm)		V (cm)		A (cm)		F	C	Load
<i>Lift Origin</i>	47,681		3,053		1,738		2/min	poor	20 kg
<i>Lift Destination</i>	45,413		76,767		3,251				
	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM	RWL	LI
<i>Lift Origin</i>	23	0,704	0,789	0,879	0,994	0,91	0,9	9,07	2,05
<i>Lift Destination</i>	23	0,709	0,989	0,879	0,990	0,91	0,9		
PRESENTIL 95									
	H (cm)		V (cm)		A (cm)		F	C	Load
<i>Lift Origin</i>	39,944		3,045		2,511		2/min	poor	20 kg
<i>Lift Destination</i>	34,637		80,439		1,128				
	LC	HM	VM	DM	AM	FM	CM	RWL	LI
<i>Lift Origin</i>	23	0,626	0,781	0,897	0,991	0,91	0,9	8,30	2,40
<i>Lift Destination</i>	23	0,722	0,981	0,877	0,996	0,91	0,9		

Pada perhitungan kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pembelahan didapatkan nilai RWL (*Recommended Weight Limit*) sebesar 9,07 kg untuk presentil 5 dan 8,03 kg untuk presentil 95. Sementara pada keadaan aktual berat beban yang diangkut setiap pekerja sebesar 20 kg. Hal ini menandakan beban tersebut melebihi batas angkut yang direkomendasikan. Pada perhitungan kondisi aktual posisi mengangkat material kayu secara manual pada stasiun kerja pembelahan didapatkan nilai LI sebesar 2,05 untuk presentil 5 dan 2,40 untuk presentil 95. Hal ini menandakan bahwa proses pengangkatan memerlukan perubahan metode kerja agar beban yang diangkut memenuhi batas RWL.

4.2 Analisis Kondisi Usulan

Beberapa konfigurasi model dibuat untuk menentukan konfigurasi terbaik yang dapat memperbaiki kondisi aktual dari tempat kerja di area *material cutting* yang ada saat ini. Konfigurasi-konfigurasi tersebut akan dianalisis sebagai kondisi usulan. Variabel konfigurasi pertama yang diubah adalah ketinggian permukaan meja kerja pada stasiun kerja. Terdapat tiga jenis ketinggian permukaan meja kerja yang akan dikonfigurasi, yaitu pada ketinggian 10 cm, 15 cm, dan 20 cm di bawah tinggi siku (*standing elbow height*).

Variabel kedua yang diubah pada penentuan konfigurasi ini adalah penambahan alat bantu *manual handling* yang direkomendasikan, yaitu *vacuum lifter*. Alat ini dapat mengangkat material atau benda mencapai beban 300 kg untuk setiap proses pengangkutan sehingga penggunaan *vacuum lifter* dapat membantu meringankan beban operator ketika melakukan proses pengambilan dan pengangkutan, dan peletakan material-material kayu dalam proses pemotongan, penyerutan dan pembelahan pada area *material cutting*. Karena alat ini bersifat *adjustable* dengan gagang yang ergonomis dan elastis sehingga walaupun dapat digunakan untuk mengambil benda yang terlalu tinggi maupun rendah, ketinggian gagang dapat tetap dipertahankan pada ketinggian dan posisi tertentu yang diinginkan penggunanya.

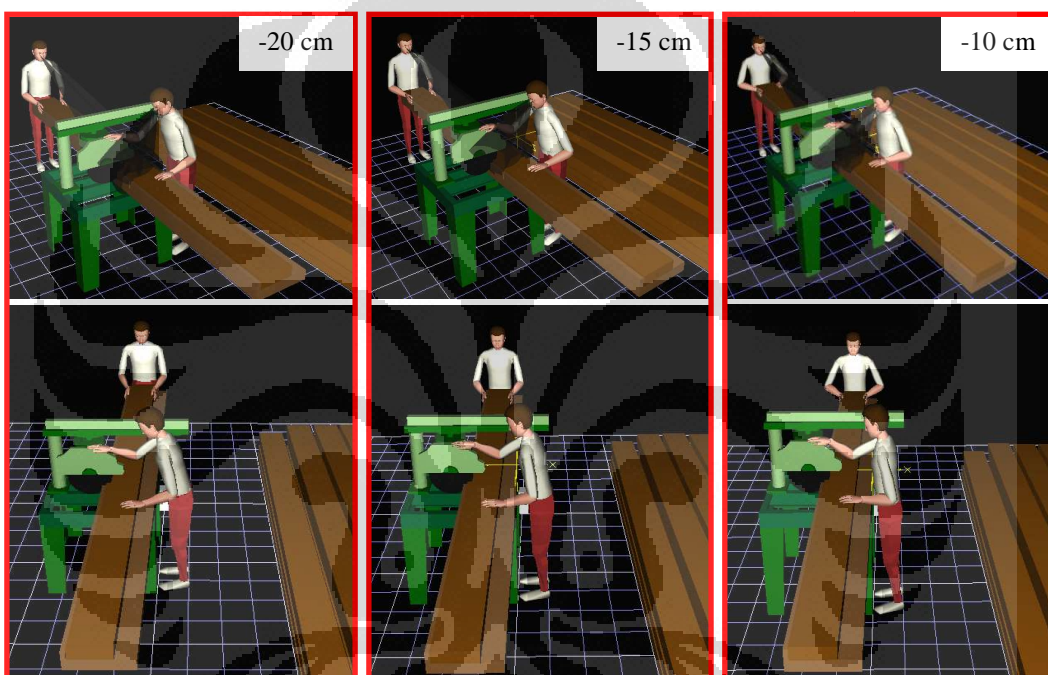
Adapun ketinggian pemakaian alat bantu ini nantinya akan disesuaikan dengan konfigurasi ketinggian meja kerja yang dinilai paling ideal dari sisi ergonomi pada setiap stasiun kerjanya (pemotongan, penyerutan, pembelahan). Untuk mempermudah analisis, analisis kondisi usulan pada pembahasan ini dibagi menjadi tiga bagian utama, yaitu analisis kondisi usulan model pada stasiun kerja pemotongan, penyerutan dan juga stasiun kerja pembelahan material kayu.

4.2.1 Analisis Kondisi Usulan Model Stasiun Kerja Pemotongan

Untuk memudahkan interpretasi hasil, maka pembahasan analisis kondisi usulan pada stasiun kerja pemotongan terbagi menjadi dua bagian sesuai dengan jenis atau posisi kerjanya. Analisis bagian pertama yaitu analisis PEI kondisi usulan posisi memotong material kayu, analisis kedua yaitu analisis PEI kondisi usulan posisi mengangkat material kayu secara manual dengan alat bantu.

4.2.1.1 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Memotong Material Kayu

Untuk memperbaiki postur tubuh pekerja pada posisi ini, dilakukan masing-masing tiga buah konfigurasi yang diujikan kepada model manusia presentil 5 dan 95. Pada Gambar 4.15, ditampilkan kondisi postur kerja usulan dari presentil 5 ketika melakukan proses pemotongan material kayu. Pada Tabel 4.25, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja usulan memotong material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.



Gambar 4.15. Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 5

Tabel 4.25 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 5

Posisi dari <i>Elbow Height</i>	Ketinggian Permukaan Meja Pada Stasiun Kerja	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
				Kode	Skor	<i>Body Group</i>		<i>Grand Score</i>	
						A	B		
-20 cm	83,1 cm	Ya	931	2121	2	4	5	5	1,788
-15 cm	88,1 cm	Ya	878	2121	2	4	4	4	1,570
-10 cm	93,1 cm	Ya	701	1121	1	4	2	3	1,065

Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis penilaian ergonomi pada Tabel 4.25, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam untuk menginterpretasikan hasil penilaian ketiga postur yang telah dimodelkan. Analisis dimulai dari tahap analisis SSP dengan cara melihat besar persentase kapabilitas pekerja untuk postur yang dilakukan di sepanjang proses kerja yang dijalankan.

Tabel 4.26 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 5

Body Part		Posisi dari <i>Elbow Height</i>					
		-20 cm		-15 cm		-10 cm	
		<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>		100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	100%		100%		100%	
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%		100%	
	<i>Rotation</i>	100%		100%		100%	
<i>Hip</i>		99%	99%	99%	99%	99%	99%
<i>Knee</i>		100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>		99%	100%	100%	100%	99%	100%

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.26 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pemotongan material kayu dengan desain ketinggian permukaan meja kerja yang dikonfigurasi. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 99% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses pemotongan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 931 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 16°. Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -15 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 878 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*)

sebesar 11°. Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 701 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 7°. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Langkah selanjutnya yaitu menganalisis nilai OWAS. Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dan -15 cm dibawah siku dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan diperlukan di masa datang, dengan kode OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 dibawah siku dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 1121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 5 menunjukkan nilai 5 yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera untuk menghindari cedera. Untuk postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -15 cm dibawah siku dari presentil 5 menunjukkan nilai 4 dan postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm menunjukkan nilai 3. Hal yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan dan perubahan postur kerja mungkin diperlukan dimasa datang. Tabel 4.27 menampilkan skor RULA postur kerja usulan untuk masing-masing bagian tubuh bagian utama bagian atas.

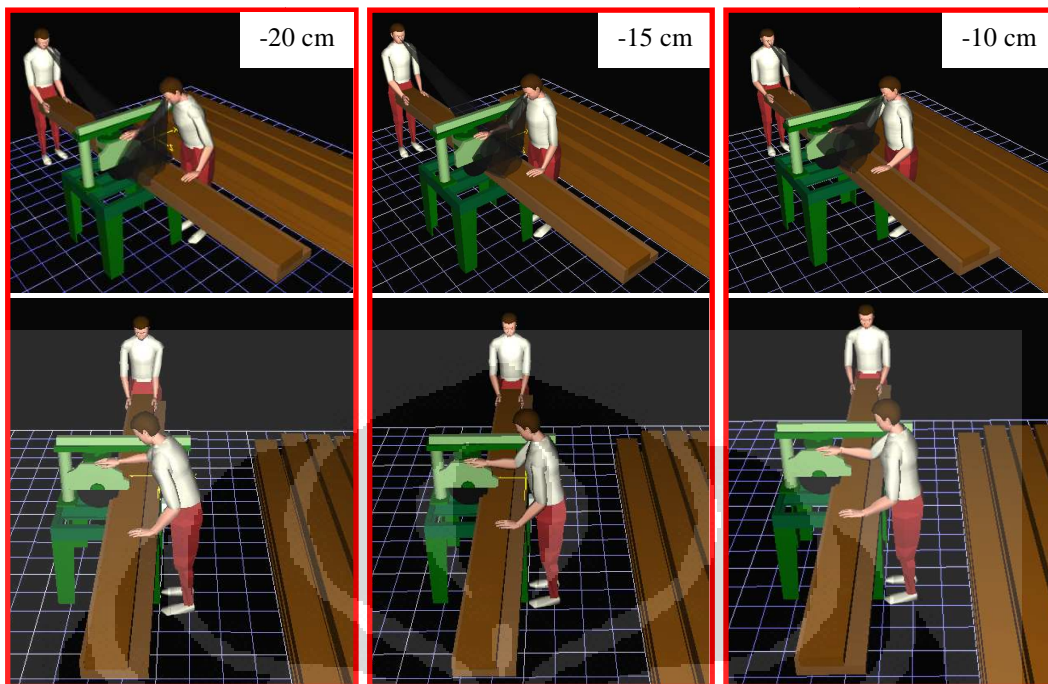
Tabel 4.27 Skor RULA Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu
Presentil 5

<i>Body Part</i>		<i>Posisi dari Elbow Height</i>		
		-20 cm	-15 cm	-10 cm
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	3	2	2
	<i>Lower Arm</i>	2	2	2
	<i>Wrist</i>	2	3	3
	<i>Wrist Twist</i>	2	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	2	2	1
	<i>Trunk</i>	3	2	1
<i>Grand Score RULA</i>		5	4	3

Pada Gambar 4.16, ditampilkan kondisi postur kerja usulan dari presentil 95 ketika melakukan proses pemotongan material kayu. Pada Tabel 4.28, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja usulan memotong material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.

Tabel 4.28 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu
dari Presentil 95

<i>Posisi dari Elbow Height</i>	<i>Ketinggian Permukaan Meja Pada Stasiun Kerja</i>	<i>SSP > 90%</i>	<i>Skor LBA (N)</i>	<i>OWAS</i>		<i>RULA</i>			<i>PEI</i>
				<i>Kode</i>	<i>Skor</i>	<i>Body Group</i>		<i>Grand Score</i>	
						<i>A</i>	<i>B</i>		
-20 cm	83,1 cm	Ya	1764	2121	2	4	5	5	2,033
-15 cm	88,1 cm	Ya	1330	2121	2	3	4	4	1,703
-10 cm	93,1 cm	Ya	1258	1121	1	3	3	3	1,229



Gambar 4.16 Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 95

Tabel 4.29 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 95

Body Part	Posisi dari <i>Elbow Height</i>					
	-20 cm		-15 cm		-10 cm	
	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	99%		100%		99%
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%		100%
	<i>Rotation</i>	100%		100%		100%
<i>Hip</i>	99%	99%	99%	99%	99%	99%
<i>Knee</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>	99%	100%	100%	100%	99%	100%

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.29 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pemotongan material kayu dengan desain ketinggian

permukaan meja kerja yang dikonfigurasi. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 99% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses pemotongan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1764 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 20°. Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -15 cm dibawah siku dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1330 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 17°. Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1258 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 11°. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Langkah selanjutnya yaitu menganalisis nilai OWAS. Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dan ketinggian -15 cm dibawah siku dari presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS yang sama, yaitu sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan diperlukan di masa datang, dengan kode OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 dibawah siku dari presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur telah normal, dengan kode OWAS 1121 yang berarti:

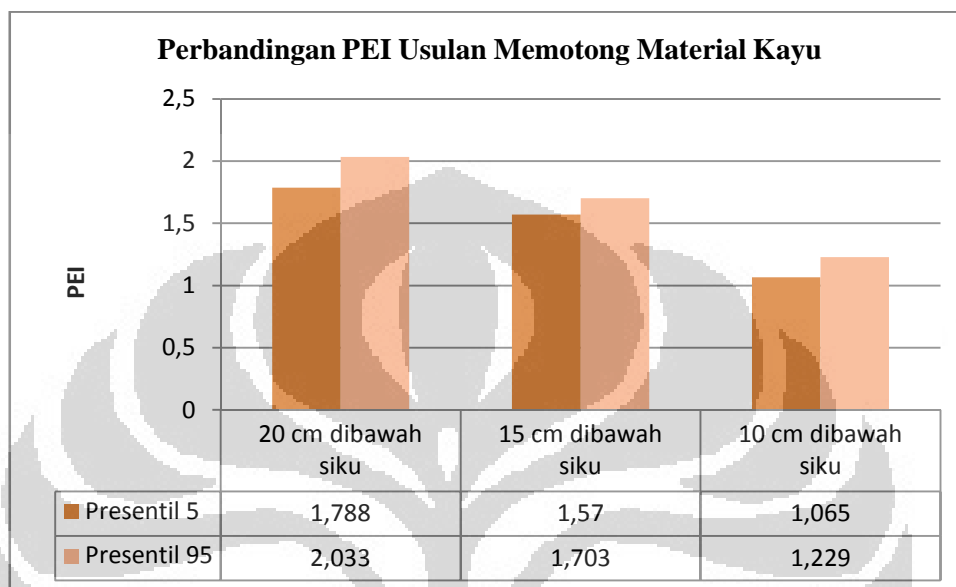
- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 95 menunjukkan nilai 5 yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera untuk menghindari cedera. Untuk postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -15 cm dibawah siku dari presentil 95 menunjukkan nilai 4 dan postur kerja usulan memotong material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm menunjukkan nilai 3. Hal yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan dan perubahan postur kerja mungkin diperlukan dimasa datang. Tabel 4.30 menampilkan skor RULA postur kerja usulan untuk masing-masing bagian tubuh bagian utama bagian atas.

Tabel 4.30 Skor RULA Postur Kerja Usulan Memotong Material Kayu dari Presentil 95

<i>Body Part</i>		<i>Posisi dari Elbow Height</i>		
		-20 cm	-15 cm	-10 cm
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	3	3	2
	<i>Lower Arm</i>	2	2	2
	<i>Wrist</i>	2	1	1
	<i>Wrist Twist</i>	2	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	3	3	2
	<i>Trunk</i>	3	2	1
<i>Grand Score RULA</i>		5	4	3

Setelah memodelkan seluruh konfigurasi usulan yang ada, langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai PEI usulan, baik dari presentil 5 maupun presentil 95. Semakin kecil nilai PEI yang dihasilkan, menunjukkan bahwa postur yang dimodelkan semakin nyaman dirasakan oleh operator.



Gambar 4.17 Perbandingan PEI Usulan Memotong Material Kayu

4.2.1.2 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan)

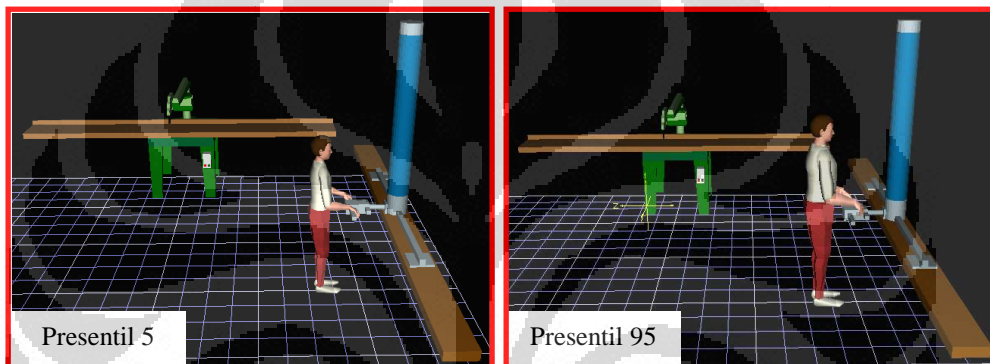
Berdasarkan hasil analisis posisi memotong material kayu, telah didapatkan bahwa usulan terbaik ketinggian permukaan stasiun kerja yaitu 10 cm dibawah tinggi siku. Dengan menyesuaikan ketinggian permukaan meja kerja yang direkomendasikan tersebut, dibuatlan konfigurasi untuk variabel alat bantu *vacuum lifter*. Adapun ketinggian pemakaian alat bantu ini nantinya akan disesuaikan dengan konfigurasi ketinggian meja kerja.

Dikarenakan alat ini bersifat *adjustable* dengan gagang yang ergonomis dan elastis sehingga walaupun dapat digunakan untuk mengambil benda yang terlalu tinggi maupun rendah, ketinggian gagang dapat tetap dipertahankan pada ketinggian dan posisi tertentu yang diinginkan penggunanya. Melihat kondisi tersebut, maka dapat dihitung ketinggian penggunaan yang direkomendasikan dalam pemakaian alat ini bagi manusia dengan presentil 5 dan presentil 95.

Tabel 4.31 Perhitungan Ketinggian Penggunaan *Vacuum Lifter*
Presentil 5 dan 95

Penurunan dari siku		10 cm
<i>Standing Foot Elbow</i> (FE)	Presentil 5	98,3 cm
	Presentil 95	111,6 cm
Ketinggian Penggunaan <i>Vacuum Lifter</i>		
Presentil 5	98,3 - 10 = 88,3 cm	
Presentil 95	111,6 - 10 = 101,6 cm	

Pada Gambar 4.18 ditampilkan postur kerja usulan posisi mengangkat material kayu secara manual dengan alat bantu pada stasiun kerja pemotongan.



Gambar 4.18 Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan)

Tabel 4.32 Hasil % SSP Postur Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan)

Presentil	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	<i>Body Group</i>		<i>Grand Score</i>	
					A	B		
Presentil 5	Ya	473	1121	1	2	1	2	0,795
Presentil 95	Ya	752	1121	1	2	1	2	0,877

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.33 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pengangkutan material kayu dengan desain ketinggian alat bantu yang dikonfigurasi.

Tabel 4.33 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan)

<i>Body Part</i>		Hasil % SSP Posisi Mengangkat Material Kayu			
		Presentil 5		Presentil 95	
		<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>		100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	100%		99%	
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%	
	<i>Rotation</i>	100%		100%	
<i>Hip</i>		99%	99%	99%	98%
<i>Knee</i>		100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>		100%	99%	100%	98%

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian permukaan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 473 Newton. Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian permukaan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 752 Newton. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* yang dikonfigurasi pada presentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 1121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.

- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* yang dikonfigurasi pada presentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir RULA sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal.

Tabel 4.34 Skor RULA Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pemotongan)

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Mengangkat Material Kayu	
		Presentil 5	Presentil 95
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	1	2
	<i>Lower Arm</i>	2	2
	<i>Wrist</i>	2	2
	<i>Wrist Twist</i>	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	1	1
	<i>Trunk</i>	1	1
<i>Grand Score RULA</i>		2	2

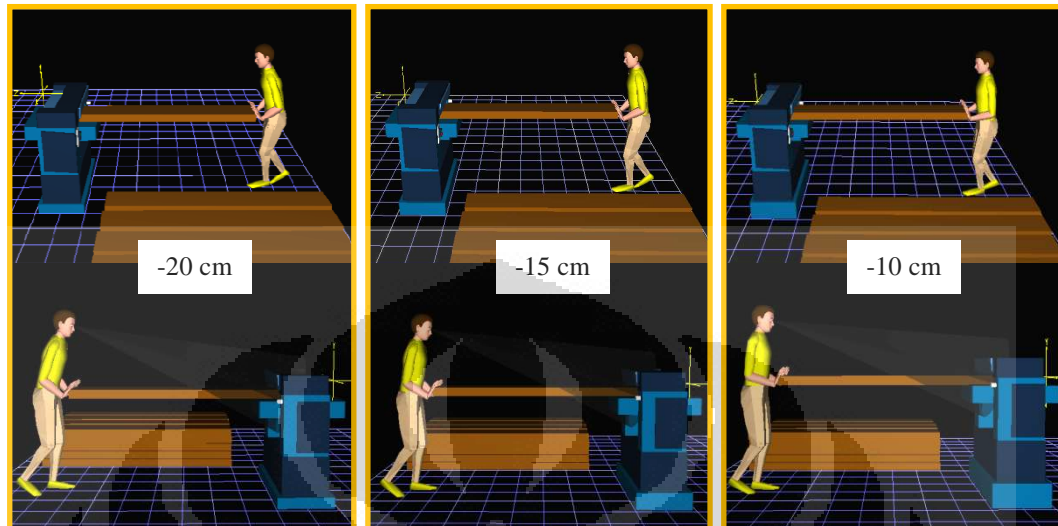
4.2.2 Analisis Kondisi Usulan Model Stasiun Kerja Penyerutan

Untuk memudahkan interpretasi hasil, maka pembahasan analisis kondisi usulan pada stasiun kerja penyerutan terbagi menjadi dua bagian sesuai dengan jenis atau posisi kerjanya. Analisis bagian pertama yaitu analisis PEI kondisi usulan posisi menyerut material kayu, analisis kedua yaitu analisis PEI kondisi usulan posisi mengangkat material kayu secara manual dengan alat bantu.

4.2.2.1 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Menyerut Material Kayu

Untuk memperbaiki postur tubuh pekerja pada posisi ini, dilakukan masing-masing tiga buah konfigurasi yang diujikan kepada model manusia presentil 5 dan 95. Pada Gambar 4.19, ditampilkan kondisi postur kerja usulan dari presentil 5 ketika melakukan proses penyerutan material kayu. Pada Tabel 4.35, ditampilkan

rekapitulasi nilai PEI postur kerja usulan menyerut material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.



Gambar 4.19 Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 5

Berdasarkan rekapitulasi hasil analisis penilaian ergonomi pada tabel 4.35, dapat dilakukan analisis yang lebih mendalam untuk menginterpretasikan hasil penilaian ketiga postur yang telah dimodelkan. Analisis dimulai dari tahap analisis SSP dengan cara melihat besar persentase kapabilitas pekerja untuk postur yang dilakukan di sepanjang proses kerja yang dijalankan.

Tabel 4.35 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu (*Thickness Planer*) dari Presentil 5

Posisi dari <i>Elbow Height</i>	Ketinggian Permukaan Meja Pada Stasiun Kerja	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
				Kode	Skor	<i>Body Group</i>		<i>Grand Score</i>	
						A	B		
-20 cm	83,1 cm	Ya	950	2131	2	4	5	5	1,794
-15 cm	88,1 cm	Ya	874	2131	2	4	2	3	1,366
-10 cm	93,1 cm	Ya	787	1131	1	4	1	3	1,090

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.36 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses penyerutan material kayu dengan desain ketinggian permukaan

meja kerja yang dikonfigurasi. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 99% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses penyerutan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Tabel 4.36 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 5

Body Part		Posisi dari <i>Elbow Height</i>					
		-20 cm		-15 cm		-10 cm	
		<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>		100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	100%		100%		100%	
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%		100%	
	<i>Rotation</i>	100%		100%		100%	
<i>Hip</i>		99%	99%	99%	99%	99%	99%
<i>Knee</i>		100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>		100%	99%	100%	99%	100%	99%

Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 950 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 17°. Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -15 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 874 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 13°. Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 787 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 9°. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 dan -15 dibawah siku dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 2131 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 3 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri ditopang dengan satu kaki.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 dibawah siku dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 1131 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 3 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri ditopang dengan satu kaki.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

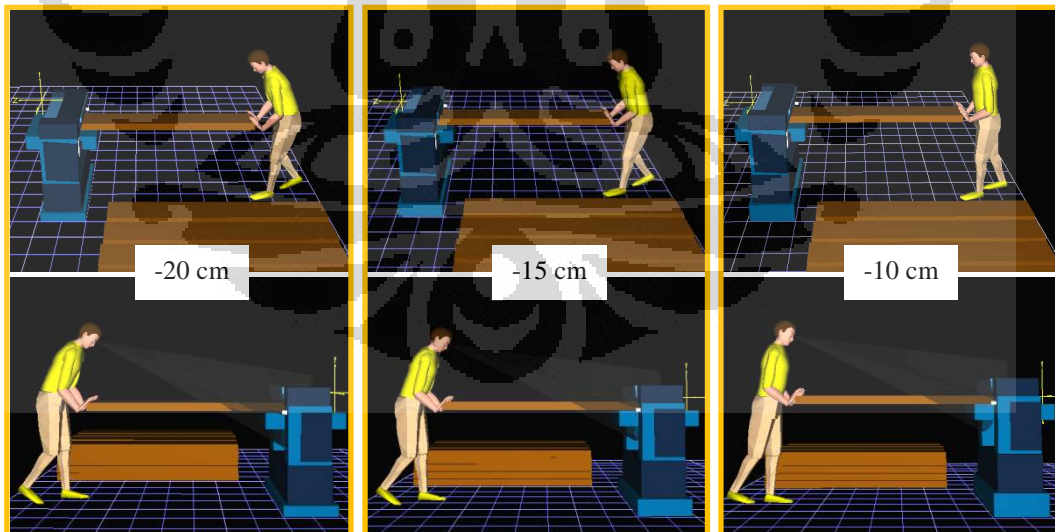
Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 5 menunjukkan nilai 5 yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera untuk menghindari cedera. Untuk postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -15 dan -10 cm dibawah siku dari presentil 5 menunjukkan nilai 3. Hal yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan dan perubahan postur kerja mungkin diperlukan

dimasa datang. Tabel 4.37 menampilkan skor RULA postur kerja usulan untuk masing-masing bagian tubuh bagian utama bagian atas.

Tabel 4.37 Skor RULA Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 5

<i>Body Part</i>		Posisi dari <i>Elbow Height</i>		
		-20 cm	-15 cm	-10 cm
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	0	0	0
	<i>Lower Arm</i>	1	1	2
	<i>Wrist</i>	3	3	3
	<i>Wrist Twist</i>	2	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	4	1	1
	<i>Trunk</i>	2	2	1
<i>Grand Score RULA</i>		5	3	3

Pada Gambar 4.20, ditampilkan kondisi postur kerja usulan dari presentil 95 ketika melakukan proses penyerutan material kayu. Pada Tabel 4.38, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja usulan menyerut material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.



Gambar 4.20 Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95

Tabel 4.38 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95

Posisi dari <i>Elbow Height</i>	Ketinggian Permukaan Meja Pada Stasiun Kerja	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
				Kode	Skor	<i>Body Group</i>		<i>Grand Score</i>	
						A	B		
-20 cm	83,1 cm	Ya	1790	2131	2	4	5	4	1,838
-15 cm	88,1 cm	Ya	1618	2131	2	4	4	4	1,787
-10 cm	93,1 cm	Ya	1136	1121	1	4	2	3	1,193

Tabel 4.39 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95

<i>Body Part</i>	Posisi dari <i>Elbow Height</i>					
	-20 cm		-15 cm		-10 cm	
	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	99%		99%		99%
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%		100%
	<i>Rotation</i>	100%		100%		100%
<i>Hip</i>	98%	99%	98%	99%	99%	99%
<i>Knee</i>	100%	100%	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>	100%	95%	100%	95%	100%	95%

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.38 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses penyerutan material kayu dengan desain ketinggian permukaan meja kerja yang dikonfigurasi.

Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1790 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 21°. Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -15 cm dibawah siku dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1618

Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 14°. Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1136 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 9°. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 dan -15 dibawah siku dari presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 2131 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 3 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri ditopang dengan satu kaki.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 dibawah siku dari presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 1121 yang berarti:

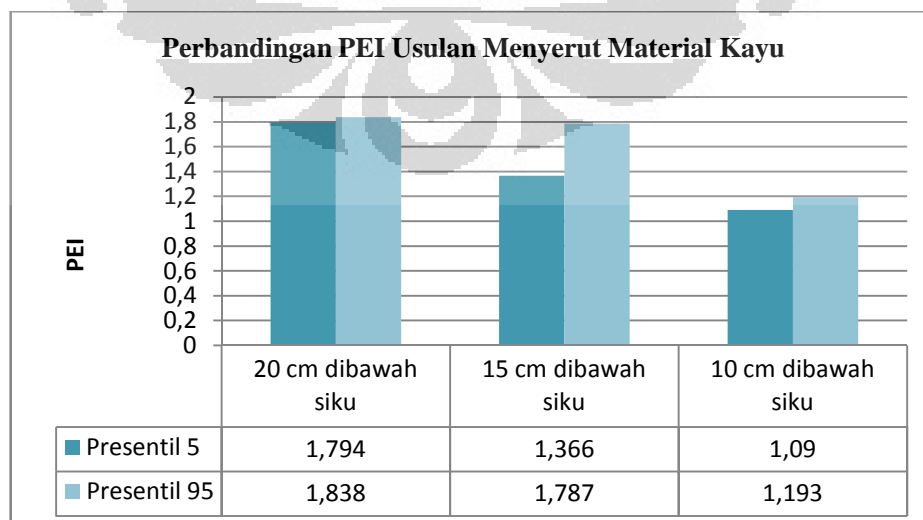
- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dan -15 dibawah siku dari presentil 95 menunjukkan nilai 4 yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan dan perubahan postur kerja mungkin diperlukan dimasa datang. Untuk postur kerja usulan menyerut material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 95 menunjukkan nilai 3. Hal ini juga menandakan hal yang sama.

Tabel 4.40 Skor RULA Postur Kerja Usulan Menyerut Material Kayu dari Presentil 95

<i>Body Part</i>		Posisi dari <i>Elbow Height</i>		
		-20 cm	-15 cm	-10 cm
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	2	0	0
	<i>Lower Arm</i>	3	2	2
	<i>Wrist</i>	3	3	3
	<i>Wrist Twist</i>	2	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	2	2	2
	<i>Trunk</i>	3	3	1
<i>Grand Score RULA</i>		4	4	3

Setelah memodelkan seluruh konfigurasi usulan yang ada, langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai PEI usulan, baik dari presentil 5 maupun presentil 95. Semakin kecil nilai PEI yang dihasilkan, menunjukkan bahwa postur yang dimodelkan semakin nyaman dirasakan oleh operator.



Gambar 4.21 Perbandingan PEI Usulan Menyerut Material Kayu

4.2.2.2 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan)

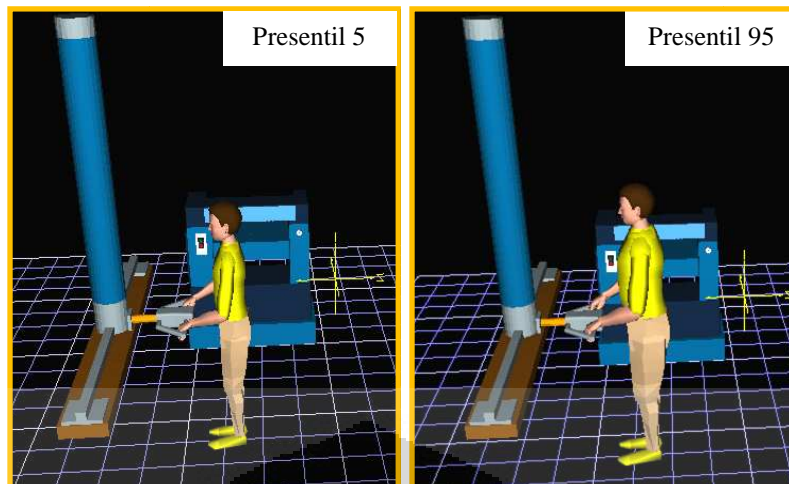
Berdasarkan hasil analisis posisi menyerut material kayu, telah didapatkan bahwa usulan terbaik ketinggian permukaan stasiun kerja yaitu 10 cm dibawah tinggi siku. Dengan menyesuaikan ketinggian permukaan meja kerja yang direkomendasikan tersebut, dibuatlan konfigurasi untuk variabel alat bantu *vacuum lifter*. Adapun ketinggian pemakaian alat bantu ini nantinya akan disesuaikan dengan konfigurasi ketinggian meja kerja.

Dikarenakan alat ini bersifat *adjustable* dengan gagang yang ergonomis dan elastis sehingga walaupun dapat digunakan untuk mengambil benda yang terlalu tinggi maupun rendah, ketinggian gagang dapat tetap dipertahankan pada ketinggian dan posisi tertentu yang diinginkan penggunaanya. Melihat kondisi tersebut, maka dapat dihitung ketinggian penggunaan yang direkomendasikan dalam pemakaian alat ini bagi manusia dengan presentil 5 dan presentil 95.

Tabel 4.31 Perhitungan Ketinggian Penggunaan *Vacuum Lifter*
Presentil 5 dan 95

Penurunan dari siku		10 cm
<i>Standing Foot Elbow</i> (FE)	Presentil 5	98,3 cm
	Presentil 95	111,6 cm
Ketinggian Penggunaan <i>Vacuum Lifter</i>		
Presentil 5	98,3 - 10 = 88,3 cm	
Presentil 95	111,6 - 10 = 101,6 cm	

Pada Gambar 4.22 ditampilkan postur kerja usulan posisi mengangkat material kayu secara manual dengan alat bantu pada stasiun kerja penyerutan.



Gambar 4.22 Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan)

Tabel 4.40 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan)

Presentil	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA		PEI	
			Kode	Skor	Body Group			
					A	B		
Presentil 5	Ya	473	1121	1	2	1	2	0,795
Presentil 95	Ya	752	1121	1	2	1	2	0,877

Tabel 4.41 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan)

Body Part		Hasil % SSP Posisi Mengangkat Material Kayu			
		Presentil 5		Presentil 95	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/Adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral Rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/Ext	100%		99%	
	Lateral Bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	99%	99%	98%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	99%	100%	98%

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.41 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pengangkutan material kayu dengan desain ketinggian alat bantu yang dikonfigurasi.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian permukaan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 473 Newton. Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian permukaan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 752 Newton. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* yang dikonfigurasi pada presentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 1121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* yang dikonfigurasi pada presentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir RULA sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal.

Tabel 4.42 Skor RULA Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Penyerutan)

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Mengangkat Material Kayu	
		Presentil 5	Presentil 95
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	1	2
	<i>Lower Arm</i>	2	2
	<i>Wrist</i>	2	2
	<i>Wrist Twist</i>	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	1	1
	<i>Trunk</i>	1	1
<i>Grand Score RULA</i>		2	2

4.2.3 Analisis Kondisi Usulan Model Stasiun Kerja Pembelahan

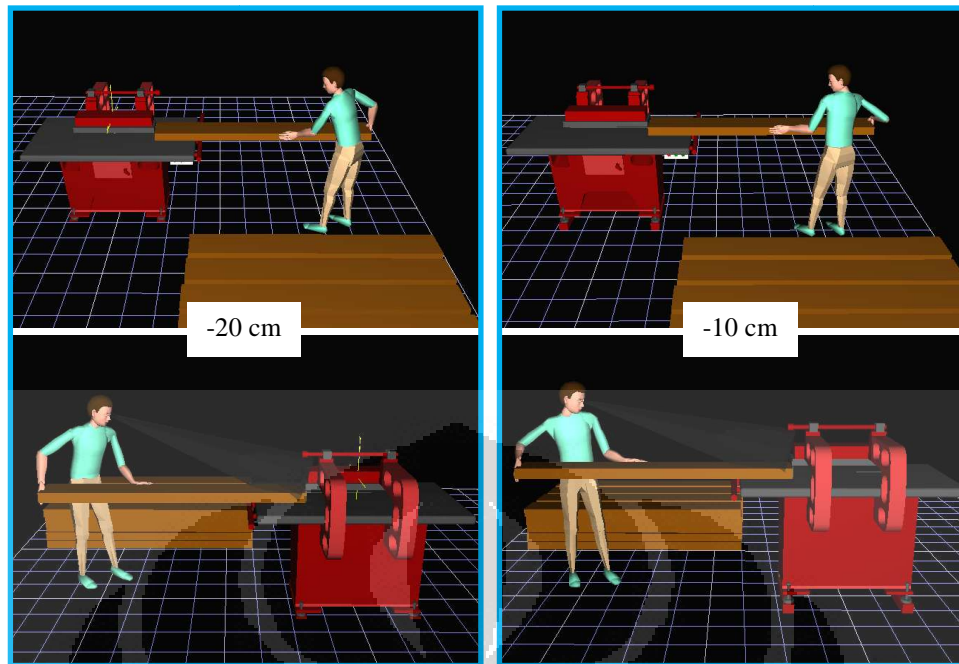
Untuk memudahkan interpretasi hasil, maka pembahasan analisis kondisi usulan pada stasiun kerja pembelahan terbagi menjadi dua bagian sesuai dengan jenis atau posisi kerjanya. Analisis bagian pertama yaitu analisis PEI kondisi usulan posisi membelah material kayu, analisis kedua yaitu analisis PEI kondisi usulan posisi mengangkat material kayu secara manual dengan alat bantu.

4.2.3.1 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Membelah Material Kayu

Untuk memperbaiki postur tubuh pekerja pada posisi ini, dilakukan masing-masing dua buah konfigurasi yang diujikan kepada model manusia presentil 5 dan 95. Pada Gambar 4.23, ditampilkan kondisi postur kerja usulan dari presentil 5 ketika melakukan proses pembelahan material kayu. Pada Tabel 4.43, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja usulan membelah material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.

Tabel 4.43 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5

Posisi dari <i>Elbow Height</i>	Ketinggian Permukaan Meja Pada Stasiun Kerja	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
				Kode	Skor	<i>Body Group</i>		<i>Grand Score</i>	
						A	B		
-20 cm	83,1 cm	Ya	1203	2121	2	6	4	6	2,071
-10 cm	93,1 cm	Ya	1167	1121	1	5	3	4	1,405



Gambar 4.23 Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.36 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 5 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pembelahan material kayu dengan desain ketinggian permukaan meja kerja yang dikonfigurasi. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 99% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses pembelahan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Tabel 4.44 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5

Body Part	Posisi dari <i>Elbow Height</i>			
	-20 cm		-10 cm	
	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	100%		99%
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%
	<i>Rotation</i>	100%		100%
<i>Hip</i>	99%	99%	99%	99%
<i>Knee</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>	100%	99%	100%	100%

Postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1203 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 17° dan arah samping (*axial*) sebesar 10° . Postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1167 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 13° arah samping (*axial*) sebesar 10° . Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 dibawah siku dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan investigasi perlu dilanjutkan dan perbaikan dimasa datang, dengan kode OWAS 2121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 dibawah siku dari presentil 5 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 1121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.

- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 5 menunjukkan nilai 6 yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera untuk menghindari cedera. Untuk postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 5 menunjukkan nilai 4. Hal yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan dan perubahan postur kerja mungkin diperlukan dimasa datang. Tabel 4.45 menampilkan skor RULA postur kerja usulan untuk masing-masing bagian tubuh bagian utama bagian atas.

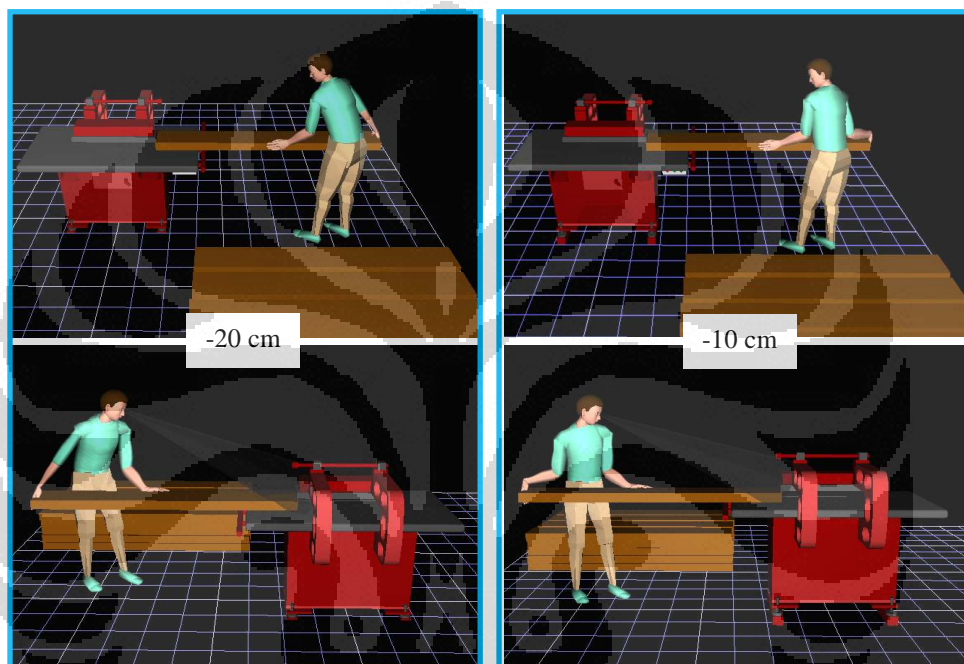
Tabel 4.45 Skor RULA Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 5

<i>Body Part</i>		<i>Posisi dari Elbow Height</i>	
		-20 cm	-10 cm
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	3	2
	<i>Lower Arm</i>	3	2
	<i>Wrist</i>	3	3
	<i>Wrist Twist</i>	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	2	3
	<i>Trunk</i>	3	1
<i>Grand Score RULA</i>		6	4

Pada Gambar 4.24, ditampilkan kondisi postur kerja usulan dari presentil 95 ketika melakukan proses pembelahan material kayu. Pada Tabel 4.46, ditampilkan rekapitulasi nilai PEI postur kerja usulan membelah material kayu yang terdiri dari hasil penilaian ergonomi berupa skor SSP, LBA, OWAS, RULA.

Tabel 4.46 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95

Posisi dari <i>Elbow Height</i>	Ketinggian Permukaan Meja Pada Stasiun Kerja	SSP > 90%	Skor LBA (N)	OWAS		RULA			PEI
				Kode	Skor	<i>Body Group</i>		<i>Grand Score</i>	
						A	B		
-20 cm	83,1 cm	Ya	2038	2121	2	6	4	6	2,317
-10 cm	93,1 cm	Ya	1943	2121	2	4	4	4	1,883



Gambar 4.24 Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95

Tabel 4.47 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95

<i>Body Part</i>	Posisi dari <i>Elbow Height</i>			
	-20 cm		-10 cm	
	<i>Left</i>	<i>Right</i>	<i>Left</i>	<i>Right</i>
<i>Elbow</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Shoulder</i>	<i>Abduc/Adduc</i>	100%	100%	100%
	<i>Rotation Bk/Fd</i>	100%	100%	100%
	<i>Humeral Rot</i>	100%	100%	100%
<i>Trunk</i>	<i>Flex/Ext</i>	98%		99%
	<i>Lateral Bending</i>	100%		100%
	<i>Rotation</i>	100%		100%
<i>Hip</i>	99%	98%	99%	98%
<i>Knee</i>	100%	100%	100%	100%
<i>Ankle</i>	100%	98%	100%	99%

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.47 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja persentil 95 memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pembelahan material kayu dengan desain ketinggian permukaan meja kerja yang dikonfigurasi. Hasil persentase kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 99% untuk setiap bagian tubuh utama pekerja menandakan bahwa proses pembelahan material kayu ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 2038 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 21° dan arah samping (*axial*) sebesar 13°. Postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 1943 Newton. Tekanan ini terjadi akibat operator membungkuk ke arah depan (*flexion*) sebesar 11° arah samping (*axial*) sebesar 12°. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 dan -10 dibawah siku dari presentil 95 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan investigasi perlu dilanjutkan dan perbaikan dimasa datang, dengan kode OWAS 2121 yang berarti:

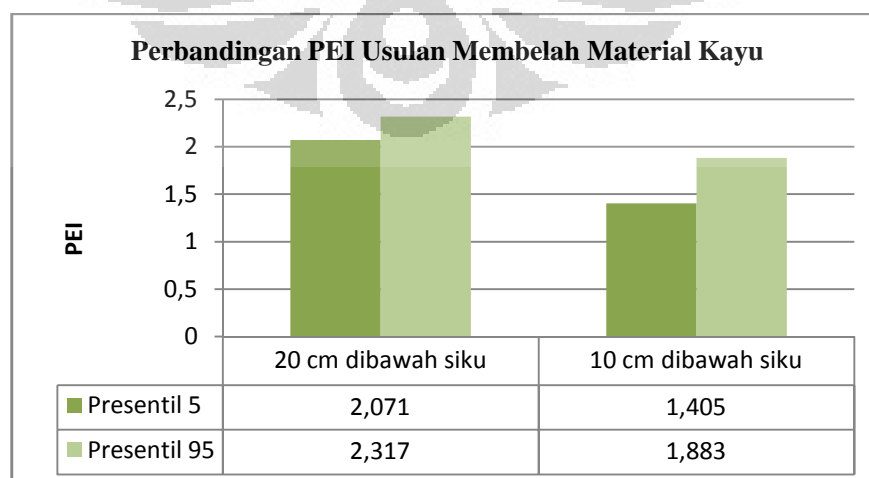
- Bagian punggung berada dalam kategori 2 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang membungkuk ke depan.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Secara keseluruhan skor RULA untuk postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -20 cm dibawah siku dari presentil 95 menunjukkan nilai 6 yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan segera untuk menghindari cedera. Untuk postur kerja usulan membelah material kayu dengan ketinggian permukaan meja kerja -10 cm dibawah siku dari presentil 5 menunjukkan nilai 4. Hal yang menandakan investigasi dan perubahan perlu dilakukan dan perubahan postur kerja mungkin diperlukan dimasa datang. Tabel 4.48 menampilkan skor RULA postur kerja usulan untuk masing-masing bagian tubuh bagian utama bagian atas.

Tabel 4.48 Skor RULA Postur Kerja Usulan Membelah Material Kayu dari Presentil 95

<i>Body Part</i>		Posisi dari <i>Elbow Height</i>	
		-20 cm	-10 cm
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	1	1
	<i>Lower Arm</i>	3	3
	<i>Wrist</i>	2	1
	<i>Wrist Twist</i>	1	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	6	3
	<i>Trunk</i>	3	3
<i>Grand Score RULA</i>		6	4

Setelah memodelkan seluruh konfigurasi usulan yang ada, langkah selanjutnya adalah membandingkan nilai PEI usulan, baik dari presentil 5 maupun presentil 95. Semakin kecil nilai PEI yang dihasilkan, menunjukkan bahwa postur yang dimodelkan semakin nyaman dirasakan oleh operator.



Gambar 4.25 Perbandingan PEI Usulan Membelah Material Kayu

4.2.3.2 Analisis PEI Kondisi Usulan Posisi Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan)

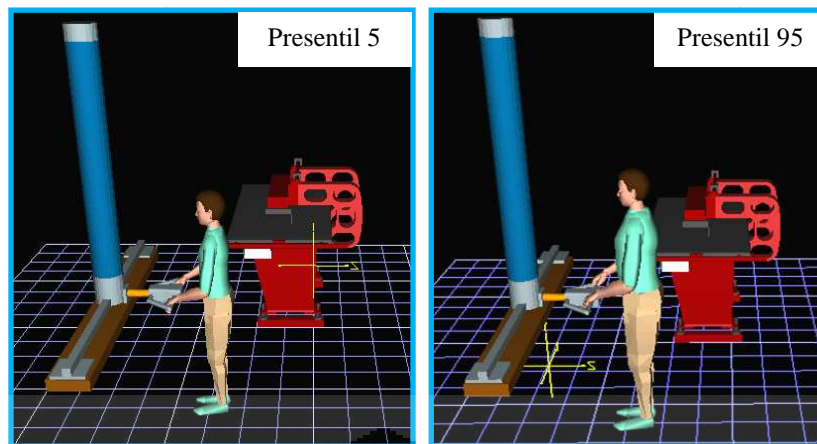
Berdasarkan hasil analisis posisi membelah material kayu, telah didapatkan bahwa usulan terbaik ketinggian permukaan stasiun kerja yaitu 10 cm dibawah tinggi siku. Dengan menyesuaikan ketinggian permukaan meja kerja yang direkomendasikan tersebut, dibuatlan konfigurasi untuk variabel alat bantu *vacuum lifter*. Adapun ketinggian pemakaian alat bantu ini nantinya akan disesuaikan dengan konfigurasi ketinggian meja kerja.

Dikarenakan alat ini bersifat *adjustable* dengan gagang yang ergonomis dan elastis sehingga walaupun dapat digunakan untuk mengambil benda yang terlalu tinggi maupun rendah, ketinggian gagang dapat tetap dipertahankan pada ketinggian dan posisi tertentu yang diinginkan penggunanya. Melihat kondisi tersebut, maka dapat dihitung ketinggian penggunaan yang direkomendasikan dalam pemakaian alat ini bagi manusia dengan presentil 5 dan presentil 95.

Tabel 4.49 Perhitungan Ketinggian Penggunaan *Vacuum Lifter*
Presentil 5 dan 95

Penurunan dari siku		10 cm
<i>Standing Foot Elbow</i> (FE)	Presentil 5	98,3 cm
	Presentil 95	111,6 cm
Ketinggian Penggunaan <i>Vacuum Lifter</i>		
Presentil 5	98,3 - 10 = 88,3 cm	
Presentil 95	111,6 - 10 = 101,6 cm	

Pada Gambar 4.26 ditampilkan postur kerja usulan posisi mengangkat material kayu secara manual dengan alat bantu pada stasiun kerja pembelahan.



Gambar 4.26 Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan)

Tabel 4.50 Rekapitulasi Nilai PEI Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan)

Presentil	SSP > 90%	Skor LBA (Newton)	OWAS		RULA			PEI
			Kode	Skor	Body Group		Grand Score	
					A	B		
Presentil 5	Ya	473	1121	1	2	1	2	0,795
Presentil 95	Ya	752	1121	1	2	1	2	0,877

Tabel 4.51 Hasil % SSP Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan)

Body Part		Hasil % SSP Posisi Mengangkat Material Kayu			
		Presentil 5		Presentil 95	
		Left	Right	Left	Right
Elbow		100%	100%	100%	100%
Shoulder	Abduc/Adduc	100%	100%	100%	100%
	Rotation Bk/Fd	100%	100%	100%	100%
	Humeral Rot	100%	100%	100%	100%
Trunk	Flex/Ext	100%		99%	
	Lateral Bending	100%		100%	
	Rotation	100%		100%	
Hip		99%	99%	99%	98%
Knee		100%	100%	100%	100%
Ankle		100%	99%	100%	98%

Hasil SSP masing-masing anggota tubuh utama yang ditampilkan pada Tabel 4.51 nilainya lebih besar dari 90%. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas pekerja memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang cukup untuk melakukan proses pengangkutan material kayu dengan desain ketinggian alat bantu yang dikonfigurasi.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian permukaan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* dari presentil 5 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 473 Newton. Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian permukaan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* dari presentil 95 pada analisis LBA menghasilkan nilai tekan kompresi sebesar 752 Newton. Melihat kondisi tersebut, tekanan kompresi yang terjadi pada ketiga postur masih berada dibawah batas nilai yang ditetapkan NIOSH sebesar 3400 Newton) sehingga masih merupakan batas beban ideal yang dapat diterima operator.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* yang dikonfigurasi pada presentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir OWAS sebesar 1 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal, dengan kode OWAS 1121 yang berarti:

- Bagian punggung berada dalam kategori 1 yang menandakan terjadinya posisi punggung yang cenderung lurus.
- Bagian tangan berada dalam kategori 1 yang menandakan kondisi normal, yaitu posisi tangan di bawah bahu.
- Bagian kaki berada dalam kategori 2 yang menandakan kaki dalam posisi berdiri dengan kedua kaki lurus.
- Beban dalam kategori 1 menandakan beban diterima sama dengan atau kurang dari 10 kg.

Postur kerja usulan mengangkat material kayu dengan ketinggian penggunaan ketinggian *vacuum lifter* yang dikonfigurasi pada presentil 5 dan 95 menghasilkan nilai akhir RULA sebesar 2 yang menandakan bahwa tindakan perbaikan tidak diperlukan karena postur sudah normal.

Tabel 4.52 Skor RULA Postur Kerja Usulan Mengangkat Material Kayu Secara Manual dengan Alat Bantu (Stasiun Kerja Pembelahan)

<i>Body Part</i>		Skor RULA Posisi Mengangkat Material Kayu	
		Presentil 5	Presentil 95
<i>Body Group A</i>	<i>Upper Arm</i>	1	2
	<i>Lower Arm</i>	2	2
	<i>Wrist</i>	2	2
	<i>Wrist Twist</i>	2	2
<i>Body Group B</i>	<i>Neck</i>	1	1
	<i>Trunk</i>	1	1
<i>Grand Score RULA</i>		2	2

4.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual Dan Usulan

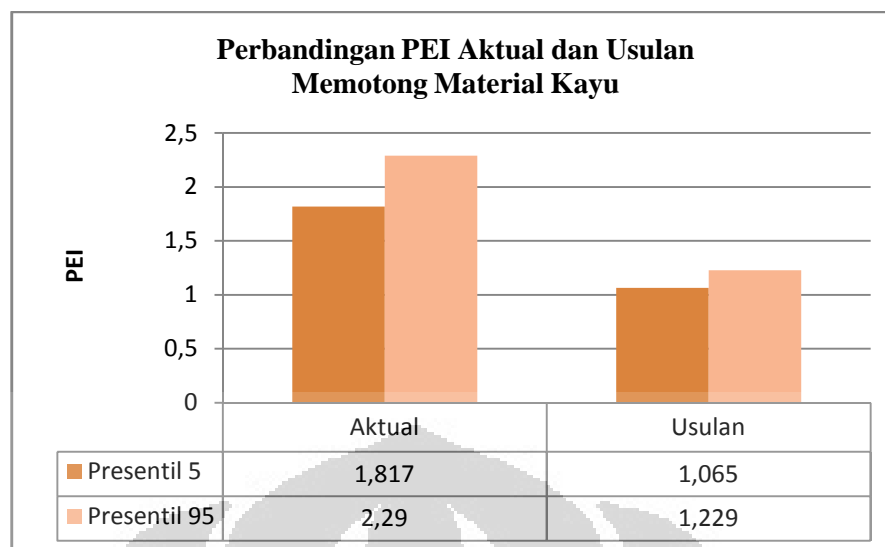
Pada subbab ini akan dibahas mengenai perbandingan PEI dan LI model kondisi aktual sebelum dilakukannya perbaikan dan model kondisi usulan yang diberikan untuk setiap stasiun kerja.

4.3.1 Analisis Perbandingan Model Stasiun Kerja Pemotongan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perbandingan PEI dan LI model kondisi aktual sebelum dilakukannya perbaikan dan model kondisi usulan yang diberikan untuk stasiun kerja pemotongan.

4.3.1.1 Analisis Perbandingan PEI Posisi Memotong Material Kayu

Perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke model konfigurasi ideal menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI kondisi aktual adalah 1,817 untuk presentil 5 dan 2,290 untuk presentil 95. Kedua nilai ini dapat dikurangi menjadi 1,065 untuk presentil 5 dan 1,229 untuk presentil 95. Setelah mengalami konfigurasi berupa perubahan ketinggian permukaan meja kerja menjadi 10 cm dibawah siku.



Gambar 4.27 Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Memotong Material Kayu

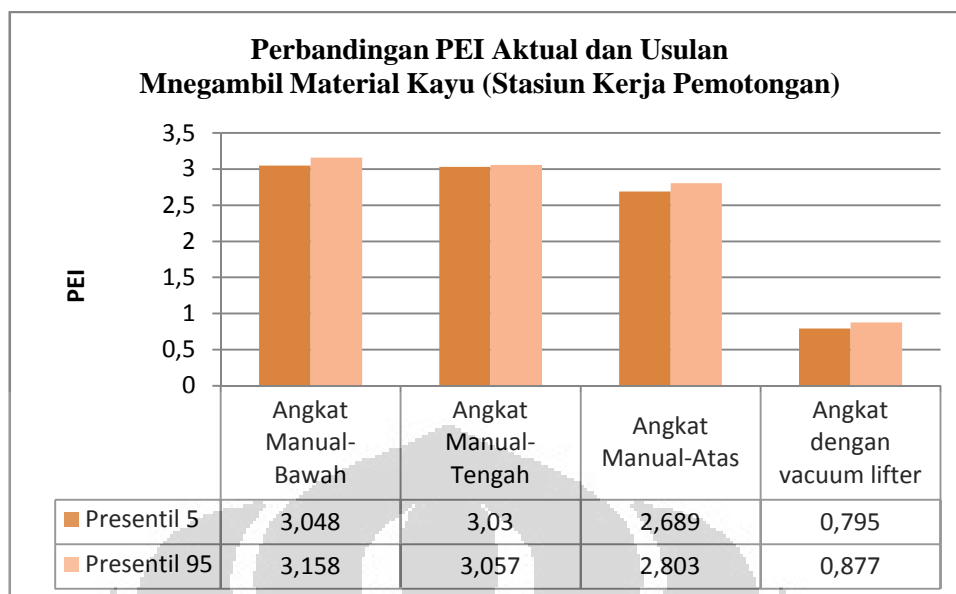
Adapun perubahan nilai PEI terjadi karena adanya perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, RULA. Secara keseluruhan tersapat perubahan signifikan pada setiap elemen tersebut dari kondisi aktual ke kondisi usulan. Dengan demikian, dapat dikatakan desain konfigurasi perubahan ketinggian meja kerja yang dilakukan telah membantu memperbaiki sisi ergonomi postur pekerja dalam proses pemotongan tersebut.

Tabel 4.53 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Memotong Material Kayu

Kondisi	Presentil 5			Presentil 95		
	LBA	OWAS	RULA	LBA	OWAS	RULA
Aktual	1030	2	5	1948	2	6
Usulan	701	1	3	1258	1	3

4.3.1.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu (Stasiun Kerja Pemotongan)

Perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke model konfigurasi ideal menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI kondisi aktual maksimum adalah 3,048 untuk presentil 5 dan 3,158 untuk presentil 95. Kedua nilai ini dapat dikurangi menjadi 0,795 untuk presentil 5 dan 0,877 untuk presentil 95 setelah mengalami konfigurasi berupa perubahan penambahan alat bantu *vacuum lifter* dengan ketinggian penggunaan alat ini 10 cm dibawah siku.



Gambar 4.28 Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pemotongan)

Adapun perubahan nilai PEI terjadi karena adanya perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, RULA. Secara keseluruhan tersapat perubahan signifikan pada setaip elemen tersebut dari kondisi aktul ke kondisi usulan. Dengan demikian, dapat dikatakan desain konfigurasi penambahan alat bantu *vacuum lifter* dengan ketinggian penggunaan alat yang diusulkan telah membantu memperbaiki sisi ergonomi postur pekerja dalam proses pemotongan tersebut.

Tabel 4.54 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pemotongan)

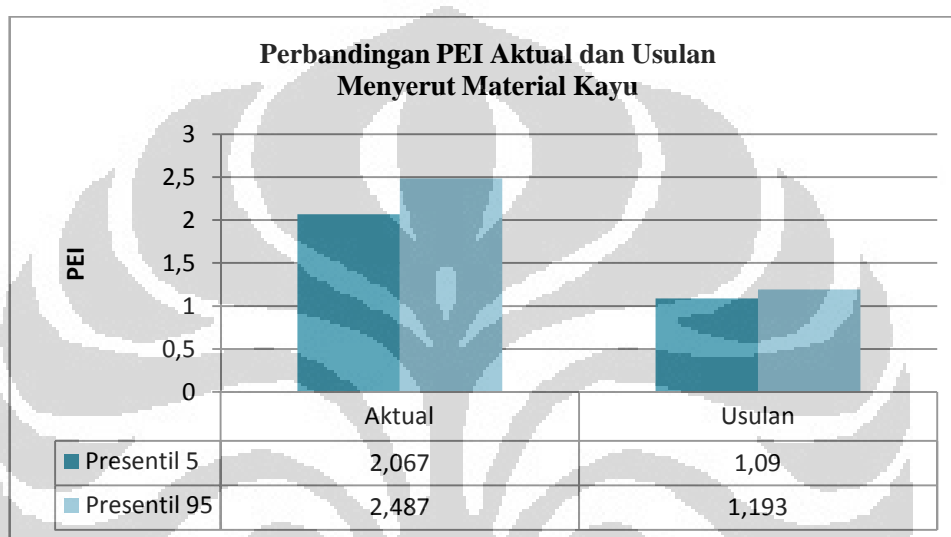
Kondisi	Presentil 5			Presentil 95		
	LBA	OWAS	RULA	LBA	OWAS	RULA
Angkat Manual-Bawah	2984	3	7	3360	3	7
Angkat Manual-Tengah	2924	3	7	3015	3	7
Angkat Manual-Atas	2455	3	6	2841	3	6
Angkat dengan <i>vacuum lifter</i>	473	1	2	752	1	2

4.3.2 Analisis Perbandingan Model Stasiun Kerja Penyerutan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perbandingan PEI dan LI model kondisi aktual sebelum dilakukannya perbaikan dan model kondisi usulan yang diberikan untuk stasiun kerja penyerutan.

4.3.2.1 Analisis Perbandingan PEI Posisi Menyerut Material Kayu

Perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke model konfigurasi ideal menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI kondisi aktual adalah 2,067 untuk presentil 5 dan 2,487 untuk presentil 95. Kedua nilai ini dapat dikurangi menjadi 1,09 untuk presentil 5 dan 1,193 untuk presentil 95. Setelah mengalami konfigurasi berupa perubahan ketinggian permukaan meja kerja menjadi 10 cm dibawah siku.



Gambar 4.29 Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Menyerut Material Kayu

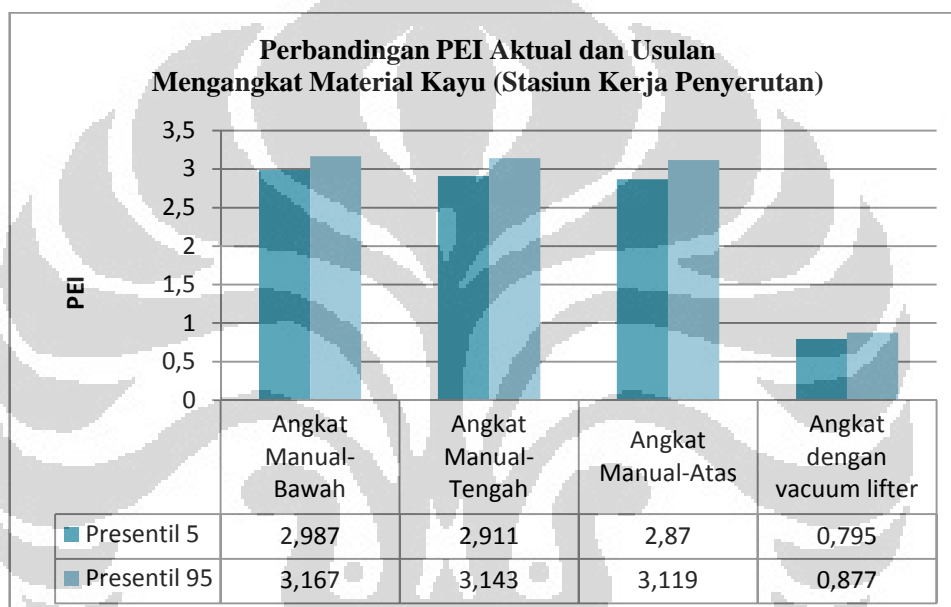
Adapun perubahan nilai PEI terjadi karena adanya perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, RULA. Secara keseluruhan tersapat perubahan signifikan pada setiap elemen tersebut dari kondisi aktual ke kondisi usulan. Dengan demikian, dapat dikatakan desain konfigurasi perubahan ketinggian meja kerja yang dilakukan telah membantu memperbaiki sisi ergonomi postur pekerja dalam proses penyerutan tersebut.

Tabel 4.55 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Menyerut Material Kayu

Kondisi	Presentil 5			Presentil 95		
	LBA	OWAS	RULA	LBA	OWAS	RULA
Aktual	1188	2	6	1927	2	7
Usulan	787	1	3	1136	1	3

4.3.2.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu (Stasiun Kerja Penyerutan)

Perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke model konfigurasi ideal menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI kondisi aktual maksimum adalah 2,987 untuk presentil 5 dan 3,167 untuk presentil 95. Kedua nilai ini dapat dikurangi menjadi 0,795 untuk presentil 5 dan 0,877 untuk presentil 95 setelah mengalami konfigurasi berupa perubahan penambahan alat bantu *vacuum lifter* dengan ketinggian penggunaan alat ini 10 cm dibawah siku.



Gambar 4.30 Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Penyerutan)

Adapun perubahan nilai PEI terjadi karena adanya perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, RULA. Secara keseluruhan tersapat perubahan signifikan pada setiap elemen tersebut dari kondisi aktual ke kondisi usulan. Dengan demikian, dapat dikatakan desain konfigurasi penambahan alat bantu *vacuum lifter* dengan ketinggian penggunaan alat yang diusulkan telah membantu memperbaiki sisi ergonomi postur pekerja dalam proses penyerutan tersebut.

Tabel 4.56 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Penyerutan)

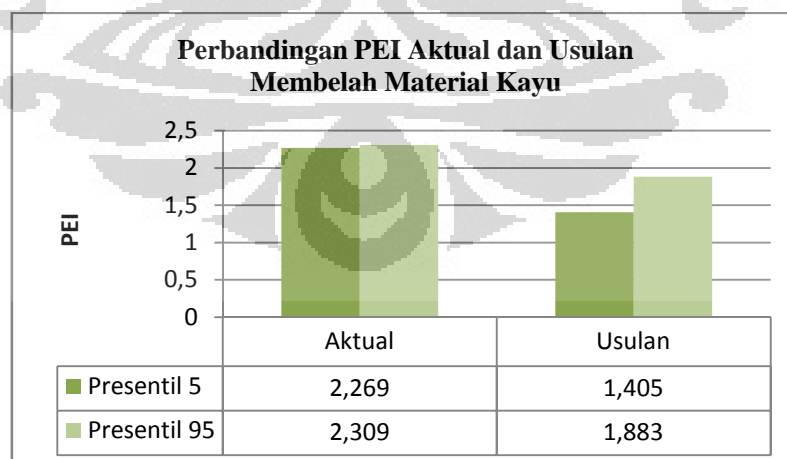
Kondisi	Presentil 5			Presentil 95		
	LBA	OWAS	RULA	LBA	OWAS	RULA
Angkat Manual-Bawah	2777	3	7	3390	3	7
Angkat Manual-Tengah	2518	3	7	3309	3	7
Angkat Manual-Atas	2379	3	7	3226	3	7
Angkat dengan <i>vacuum lifter</i>	473	1	2	752	1	2

4.3.3 Analisis Perbandingan Model Stasiun Kerja Pembelahan

Pada subbab ini akan dibahas mengenai perbandingan PEI dan LI model kondisi aktual sebelum dilakukannya perbaikan dan model kondisi usulan yang diberikan untuk stasiun kerja pembelahan.

4.3.3.1 Analisis Perbandingan PEI Posisi Membelah Material Kayu

Perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke model konfigurasi ideal menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI kondisi aktual adalah 2,269 untuk presentil 5 dan 2,309 untuk presentil 95. Kedua nilai ini dapat dikurangi menjadi 1,405 untuk presentil 5 dan 1,883 untuk presentil 95. Setelah mengalami konfigurasi berupa perubahan ketinggian permukaan meja kerja menjadi 10 cm dibawah siku.



Gambar 4.31 Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Membelah Material Kayu

Adapun perubahan nilai PEI terjadi karena adanya perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, RULA. Secara keseluruhan tersapat perubahan signifikan

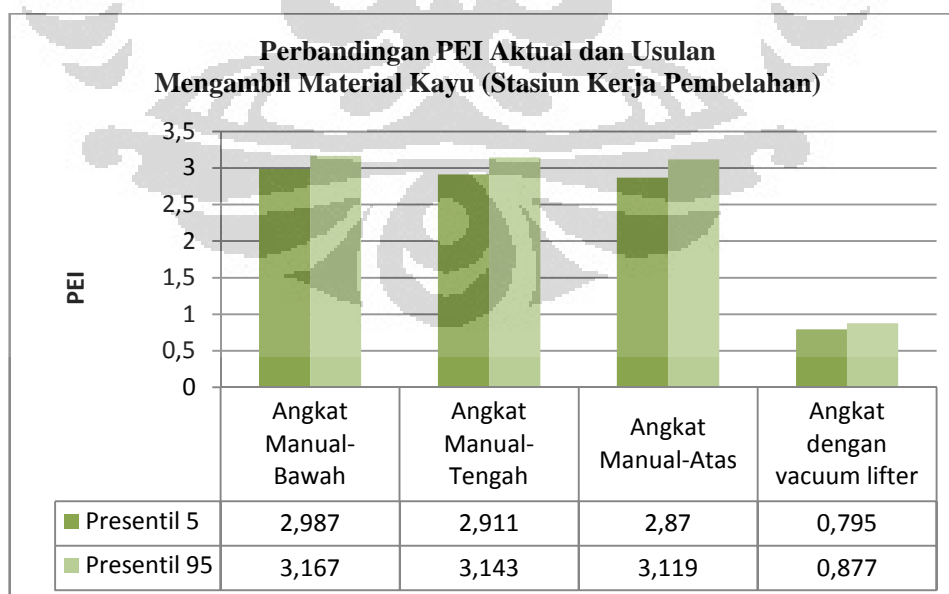
pada setiap elemen tersebut dari kondisi aktual ke kondisi usulan. Dengan demikian, dapat dikatakan desain konfigurasi perubahan ketinggian meja kerja yang dilakukan telah membantu memperbaiki sisi ergonomi postur pekerja dalam proses pembelahan tersebut.

Tabel 4.57 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Membelah Material Kayu

Kondisi	Presentil 5			Presentil 95		
	LBA	OWAS	RULA	LBA	OWAS	RULA
Aktual	1187	2	7	2014	2	6
Usulan	1167	1	4	1943	2	4

4.3.3.2 Analisis PEI Kondisi Aktual Posisi Mengangkat Material Kayu (Stasiun Kerja Pembelahan)

Perubahan nilai PEI dari kondisi aktual ke model konfigurasi ideal menunjukkan perubahan yang sangat signifikan. Nilai PEI kondisi aktual maksimum adalah 2,987 untuk presentil 5 dan 3,167 untuk presentil 95. Kedua nilai ini dapat dikurangi menjadi 0,795 untuk presentil 5 dan 0,877 untuk presentil 95 setelah mengalami konfigurasi berupa perubahan penambahan alat bantu *vacuum lifter* dengan ketinggian penggunaan alat ini 10 cm dibawah siku.



Gambar 4.32 Perbandingan PEI Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pembelahan)

Adapun perubahan nilai PEI terjadi karena adanya perubahan elemen-elemen LBA, OWAS, RULA. Secara keseluruhan tersapat perubahan signifikan pada setiap elemen tersebut dari kondisi aktual ke kondisi usulan. Dengan demikian, dapat dikatakan desain konfigurasi penambahan alat bantu *vacuum lifter* dengan ketinggian penggunaan alat yang diusulkan telah membantu memperbaiki sisi ergonomi postur pekerja dalam proses pembelahan tersebut.

Tabel 4.58 Perbandingan Skor LBA, OWAS, RULA Kondisi Aktual dan Usulan Mengambil Material Kayu (Stasiun Kerja Pembelahan)

Kondisi	Presentil 5			Presentil 95		
	LBA	OWAS	RULA	LBA	OWAS	RULA
Angkat Manual-Bawah	2777	3	7	3390	3	7
Angkat Manual-Tengah	2518	3	7	3309	3	7
Angkat Manual-Atas	2379	3	7	3226	3	7
Angkat dengan <i>vacuum lifter</i>	473	1	2	752	1	2

4.3.4 Analisis Perbandingan Model Kondisi Aktual dan Usulan Secara Keseluruhan

Seperti yang telah dijelaskan pada bab pendahuluan bahwa tujuan penelitian ini adalah menentukan konfigurasi yang paling ideal dari desain tempat kerja yang berupa desain meja kerja dan peralatan *manual handling* berdasarkan tinjauan ergonomi terhadap postur dan kapasitas beban angkat pekerja melalui pembuatan model simulasi kerja manusia virtual (*virtual human modelling*) pada area *material cutting* di industri mebel. Berdasarkan analisis perbandingan model kondisi aktual dan kondisi usulan yang telah dibuat, pada area kerja ini desain tempat kerja yang secepat mungkin perlu diperbaiki adalah desain pada ketiga stasiun kerja utama, yaitu stasiun kerja pemotongan, penyerutan, dan juga pembelahan material kayu.

Pada ketiga stasiun kerja, terdapat perbedaan yang signifikan antara model pada kondisi aktual dan usulan, khususnya pada posisi memotong, menyerut, membelah, dan mengangkat material kayu ditinjau dari ergonomi postur. Perbedaan ini ditandai dengan berkurangnya nilai PEI dan beban angkut pekerja secara signifikan dari kondisi aktual ke kondisi usulan. Hal ini mengindikasikan bahwa desain tempat kerja (meja kerja dan peralatan *manual handling*) pada

kondisi usulan merupakan desain yang dinilai ideal dan lebih dapat mengakomodir kenyamanan bagi operator atau pekerja sehingga pekerja tidak mengalami kelelahan akibat beban kerja yang terlalu besar. Dengan demikian, perubahan konfigurasi desain ini diharapkan dapat sejalan dengan manfaat penelitian ini yaitu meminimalisasi dampak jangka panjang dari resiko terjadinya kelelahan, keluhan kesehatan *musculoskeletal disorders*, dan kecelakaan kerja pada operator akibat desain tempat kerja yang kurang ideal dari sisi ergonomi.

Melalui penggunaan data antropometri manusia Indonesia pada pembuatan model penelitian ini diharapkan ketinggian usulan mesin-mesin (khususnya permukaan meja kerja) dapat menjadi acuan dalam aktivitas pemotongan, penyerutan, dan pembelahan material kayu yang ideal pada industri mebel di Indonesia. Hal ini mengingat mesin-mesin kerja yang ada pada umumnya merupakan mesin yang diimpor dari luar negeri sehingga tidak adanya kesesuaian dimensi permukaan meja kerja pada mesin dengan dimensi tubuh manusia-manusia Indonesia pada umumnya.

Selain itu, melalui desain tempat kerja yang lebih ideal dari sisi ergonomi, diharapkan hal ini baik secara langsung maupun tidak langsung dapat mengurangi biaya kompensasi yang ditimbulkan akibat ketidakhadiran pekerja pada jadwal yang ditetapkan sebagai dampak dari keluhan kesehatan. Sebagai perbandingan, menurut data dari *U.S. Department (2002), U.S. Bureau of Labor Statistics* melaporkan terdapat 9.600 kasus *musculoskeletal disorders* (MSDs) dimana sebanyak 7.000 kasus MSDs terjadi pada industri mebel. *N.C. Industrial Commission* di Amerika mengungkapkan bahwa pada tahun 1996, industri mebel di Amerika membayar sekitar USD 33.000 sebagai biaya kompensasi untuk setiap klaim MSDs yang ada dengan rata-rata hampir kehilangan 97 hari kerja untuk setiap klaim yang diajukan sehingga hal ini mengakibatkan kerugian industri dari segi produksi, pendapatan, biaya penggantian pekerja dan pelatihan, biaya jaminan pada keluarga pekerja, serta masih banyak lagi kerugian lainnya (North, 1996).

Terkait data tersebut, walaupun belum ada data yang menunjukkan besarnya kerugian industri mebel di Indonesia, dapat dilihat kecenderungan sama yang menunjukkan besarnya resiko industri mebel mengalami keluhan kesehatan

mengingat kemiripan jenis pekerjaan industri mebel yang tergolong kategori berat (*heavy work*). Adapun menurut Sanders & McCormick (1993) dan Helander (2006) jenis pekerjaan *heavy work*, yaitu pekerjaan mendorong, mengangkat, atau memindahkan yang membutuhkan banyak gaya atau dengan beban sama dengan atau lebih dari 5 kg dimana karakteristik jenis pekerjaan tersebut dinilai sesuai dengan karakteristik pekerjaan-pekerjaan di industri mebel.

Disamping peningkatan dari segi kenyamanan atau ergonomi pada pekerja, penelitian mengenai desain tempat kerja yang lebih ideal ini juga diharapkan secara langsung maupun tidak langsung dapat bermanfaat dalam meningkatkan performa desain tempat kerja dalam rangka meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam sistem kerja. Hal yang paling nyata terlihat yaitu pada stasiun kerja pemotongan material kayu dimana terdapat pengurangan jumlah operator dari kondisi aktual ke kondisi usulan. Berdasarkan konfigurasi usulan dengan penggunaan peralatan *manual handling (vacuum lifter)*, jumlah operator pada setiap stasiun kerja pemotongan yang ada dapat berkurang, yaitu dari 2 operator menjadi 1 operator dengan beban kerja yang jauh lebih ringan dibandingkan dengan kondisi aktual.

Terdapat pilihan bagi industri apabila menggunakan peralatan *manual handling* yang diusulkan (*vacuum lifter*) yaitu berupa biaya investasi di awal pembelian peralatan, namun hal ini dinilai cukup sebanding dengan pengurangan jumlah pekerja dan beban kerja, mengingat kondisi ini kurang lebihnya tentu berpengaruh terhadap penurunan biaya produksi rutin dan peningkatan performa tempat kerja dan *output* produksi secara keseluruhan. Terkait hal ini, untuk kedepannya diperlukan analisis lebih lanjut mengenai *trade off* biaya dari pembelian peralatan yang diusulkan. Namun secara keseluruhan, manfaat penerapan kondisi usulan melalui pembuatan simulasi model manusia virtual pada penelitian ini diharapkan dapat meminimalisasi dampak jangka panjang dari resiko terjadinya keluhan kesehatan; mengurangi biaya kompensasi yang ditimbulkan akibat ketidakhadiran pekerja pada jadwal yang ditetapkan sebagai dampak dari keluhan kesehatan; serta meningkatkan produktivitas kerja, khususnya pada area *material cutting* industri mebel yang ada di Indonesia.

BAB V

KESIMPULAN

Bab 5 merupakan bab penutup dari laporan penelitian ini. Bab ini berisikan kesimpulan dan saran dari hasil penelitian.

5.1 Kesimpulan

Dari hasil penelitian “Penentuan Konfigurasi Desain Tempat Kerja Terhadap Postur Pekerja yang Ergonomis Pada Area *Material Cutting* Industri Mebel Menggunakan *Virtual Human Modelling*”, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada area kerja ini, desain tempat kerja yang secepat mungkin perlu diperbaiki adalah desain pada ketiga stasiun kerja utama, yaitu stasiun kerja pemotongan, penyerutan, dan juga pembelahan material kayu.
2. Telah dibuat suatu model manusia virtual yang dapat memperlihatkan dan merepresentasikan postur kerja dari operator di area *material cutting* sehingga dapat ditentukan desain konfigurasi tempat kerja yang ideal terhadap postur pekerja melalui tinjauan ergonomi.
3. Pada stasiun kerja pemotongan material kayu, untuk postur kerja aktual memotong material kayu memiliki PEI sebesar 1,817 untuk presentil 5 dan 2,290 untuk presentil 95. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel ketinggian permukaan meja kerja sehingga berada 10 cm, 15 cm, dan 20 cm dibawah tinggi siku pekerja (*elbow height*) dengan presentil 50. Setelah dilakukan pembuatan model dan analisis, maka didapatkan bahwa ketinggian permukaan meja kerja yang ideal adalah 10 cm dibawah tinggi siku pekerja presentil 50. Perubahan dapat dilakukan dengan penambahan ketinggian sebesar 12,1 cm yaitu dari tinggi awal sebesar 81 cm ke tinggi usulan 93,1 cm. Postur kerja usulan pada proses pemotongan material kayu memiliki nilai PEI sebesar 1,065 untuk presentil 5 dan 1,229 untuk presentil 95.
4. Pada stasiun kerja penyerutan material kayu, untuk postur kerja aktual memotong material kayu memiliki PEI sebesar 2,067 untuk presentil 5 dan 2,487 untuk presentil 95. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel

ketinggian permukaan meja kerja sehingga berada 10 cm, 15 cm, dan 20 cm dibawah tinggi siku pekerja (*elbow height*) dengan presentil 50. Setelah dilakukan pembuatan model dan analisis, maka didapatkan bahwa ketinggian permukaan meja kerja yang ideal adalah 10 cm dibawah tinggi siku pekerja presentil 50. Perubahan dapat dilakukan dengan penambahan ketinggian sebesar 14,1 cm yaitu dari tinggi awal sebesar 79 cm ke tinggi usulan 93,1 cm. Postur kerja usulan pada proses pemotongan material kayu memiliki nilai PEI sebesar 1,09 untuk presentil 5 dan 1,193 untuk presentil 95.

5. Pada stasiun kerja pembelahan material kayu, untuk postur kerja aktual memotong material kayu memiliki PEI sebesar 2,269 untuk presentil 5 dan 2,309 untuk presentil 95. Konfigurasi dilakukan dengan mengubah variabel ketinggian permukaan meja kerja sehingga berada 10 cm, 15 cm, dan 20 cm dibawah tinggi siku pekerja (*elbow height*) dengan presentil 50. Setelah dilakukan pembuatan model dan analisis, maka didapatkan bahwa ketinggian permukaan meja kerja yang ideal adalah 10 cm dibawah tinggi siku pekerja presentil 50. Perubahan dapat dilakukan dengan penambahan ketinggian sebesar 4,1 cm yaitu dari tinggi awal sebesar 89 cm ke tinggi usulan 93,1 cm. Postur kerja usulan pada proses pemotongan material kayu memiliki nilai PEI sebesar 1,405 untuk presentil 5 dan 1,883 untuk presentil 95.
6. Pada stasiun kerja pemotongan material kayu, untuk postur kerja aktual mengangkat material kayu dari bagian bawah atau permukaan lantai menuju permukaan meja kerja memiliki PEI sebesar 3,048 untuk presentil 5 dan 3,158 untuk presentil 95. Konfigurasi dilakukan dengan menggunakan alat bantu *vacuum lifting* yang tingginya disesuaikan dengan antropometri pekerja dan ketinggian permukaan meja kerja ideal yang telah dihitung sebelumnya. Ketinggian penggunaan *vacuum lifter* yang disarankan untuk presentil 5 adalah 75,3 cm dan untuk presentil 95 adalah 88,6 cm. Postur kerja usulan pada proses pengangkatan material kayu ini memiliki nilai PEI sebesar 0,795 untuk presentil 5 dan 0,877 untuk presentil 95. Berdasarkan konfigurasi usulan dengan penggunaan *vacuum lifter* ini jumlah operator pada stasiun kerja pemotongan juga dapat berkurang, yaitu dari 2 operator menjadi 1 operator.

7. Pada stasiun kerja penyerutan dan stasiun kerja pembelahan material kayu, untuk postur kerja aktual mengangkat material kayu dari bagian bawah atau permukaan lantai menuju permukaan meja kerja memiliki PEI sebesar 2,987 untuk presentil 5 dan 3,167 untuk presentil 95. Konfigurasi dilakukan dengan menggunakan alat bantu *vacuum lifting* yang tingginya disesuaikan dengan antropometri pekerja dan ketinggian permukaan meja kerja ideal yang telah dihitung sebelumnya. Ketinggian penggunaan *vacuum lifter* yang disarankan untuk presentil 5 adalah 75,3 cm dan untuk presentil 95 adalah 88,6 cm. Postur kerja usulan pada proses pengangkatan material kayu ini memiliki nilai PEI sebesar 0,795 untuk presentil 5 dan 0,877 untuk presentil 95.
8. Pada stasiun kerja pemotongan material kayu, RWL kondisi aktual adalah sebesar 9,25 kg untuk presentil 5 dan 8,76 kg untuk presentil 95 sedangkan LI kondisi aktual sebesar 2,10 untuk presentil 5 dan 2,28 untuk presentil 95. Pada stasiun kerja penyerutan material kayu, RWL kondisi aktual adalah sebesar 9,25 kg untuk presentil 5 dan 8,76 kg untuk presentil 95 sedangkan LI kondisi aktual sebesar 2,10 untuk presentil 5 dan 2,28 untuk presentil 95. Pada stasiun kerja pembelahan material kayu, RWL kondisi aktual adalah sebesar 9,07 kg untuk presentil 5 dan 8,03 kg untuk presentil 95 untuk presentil 95 sedangkan LI kondisi aktual sebesar 2,05 untuk presentil 5 dan 2,40 untuk presentil 95. Tidak terdapat RWL dan LI usulan dikarenakan aktivitas pengangkatan yang dilakukan pada kondisi usulan yaitu menggunakan *vacuum lifter* dimana dengan alat ini, operator tidak perlu menanggung beban material kayu yang diangkat, melainkan cukup dengan hanya memegang gagang (*handle*) *vacuum lifter* dan menggeser atau mengarahkan benda untuk dipindahkan dari suatu lokasi ke lokasi lainnya yang dituju dikarenakan beban angkut telah ditanggung oleh alat bantu ini.
9. Secara umum, ketinggian permukaan meja kerja yang ideal bagi pekerja untuk melakukan pekerjaan yang sifatnya memberikan gaya berupa tarikan dan dorongan seperti pada aktivitas pemotongan, penyerutan, dan pembelahan adalah 10 cm dibawah tinggi siku pekerja.

5.2 Saran

Berkaitan dengan penelitian yang telah dilakukan, berikut ini merupakan saran-saran yang dapat direkomendasikan:

1. Pada penelitian ini dimana kondisi ketinggian permukaan meja kerja dipengaruhi oleh ketinggian mesin kerja itu sendiri, maka untuk meninggikan permukaan meja kerja tersebut dapat dilakukan dengan memberikan tambahan ketinggian berupa balok kayu dibawah mesin kerja. Hal ini mengingat bahwa tidak memungkinkannya dilakukan modifikasi pada mesin kerja untuk penambahan ketinggian. Hal ini sangat memungkinkan untuk dilakukan mengingat mesin-mesin kerja yang ada berdimensi tidak besar.
2. Tipe pekerjaan yang memberikan efek membungkuk pada pekerja beresiko menimbulkan cedera, terutama pada tubuh bagian atas sehingga aktivitas membungkuk ini sedapat mungkin diminimalisir dan dicarikan solusinya.
3. Pada proses pengangkatan material kayu yang massanya tidak telalu besar (kurang dari 9 kg atau kurang dari *Recommended Weight Limit*), pengangkatan masih dapat dilakukan secara manual tanpa menggunakan peralatan *manual handling vacuum lifter*. Akan tetapi, untuk mencegah proses pengangkatan dari dasar permukaan lantai yang menyebabkan besarnya resiko cedera pada tulang punggung, hal ini dapat diatasi dengan alternatif penggunaan peralatan *manual handling* lain, yaitu *scissor lift table* yang dapat diatur ketinggian permukaannya untuk meletakkan material kayu yang massanya tidak telalu besar tersebut.
4. Peletakan material balok-balok kayu yang akan diproses pada mesin potong, mesin serut, dan mesin belah sedapat mungkin berada dalam jarak terdekat dengan mesin kerja, namun dengan mempertimbangkan titik pengangkatan material awal dan titik peletakan material akhir yang akan dilakukan pekerja. Sedapat mungkin dalam proses pengangkatan dilakukan dalam posisi simetri (tubuh tidak dalam keadaan memutar secara ekstrim) atau sejajar antara titik awal pengangkatan dan titik akhir peletakan material.
5. Analisis biaya mengenai *trade off* pembelian peralatan *material handling* yang diusulkan untuk kedepannya diperlukan untuk melihat perbandingan dengan pengurangan jumlah operator yang ditinjau dari sisi finansial.

DAFTAR REFERENSI

- Bridger, R.S. (1995). *Introduction to ergonomic*. Singapore: McGraw-Hill.
- Caputo, F., G. Gironimo, Giuseppe Di, Marzano, A. (2006). Ergonomic optimization of a manufacturing system work cell in a virtual environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006, Czech Technical University Publishing House*.
- Choffin, Don, Johnson, B., Louise G., Lawton, G. (2003). *Some biomechanical perspectives on musculoskeletal disorders: causation and prevention*. Michigan: University of Michigan.
- Chuan, Tan Kay, Markus, H., Naresh, K. (2010). Anthropometry of the singaporean and indonesian populations. *International Journal of Industrial Ergonomics* 40 (2010) 757e766.
- Gironimo, Giuseppe Di, Monacellia, G., and Patalano, S. (2004). A design methodology for maintainability of utomotive components in virtual environment. *International Design Conference-Design 2004, Dubrovnik, 2004*.
- Grandjean, E. Nishiyama, Hunting K., Piderman, M.. (1984). A laboratory study on preferred and imposed settings of a VDT workstation. *Behaviour and Information Technology*. 3. 289–304.
- Helander, Martin. (2003). *A guide to human factors and ergonomics* (2nd edition). New York: Taylor & Francis.
- Kalawsky, R. (1993). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company, 396 p.
- Lueder, R. (1996). A propose rula for computer users, in *occupational and environmental health*. San Fransisco: UC Berkeley Center.
- McAtamney, L. and Corlett, E.N., (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. *Applied Ergonomics* 24 (2), 91-99.

- Mirka, Gary A. , Christy S., Carrie S., James T. (2002). Ergonomic interventions for the furniture manufacturing industry, part I-lift assist devices. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29 (2002) 263–273.
- Mirka, Gary A., Shivers, Carrie., Smith, Christy., Taylor, James. (2002). Ergonomic interventions for the furniture manufacturing industry. Part II- Handtools. *International Journal of Industrial Ergonomics* 29 (2002) 275–287.
- Mirmohamadi, M. et all. (2004). Evaluation of risk factors causing musculoskeletal disorders using QEC method in a furniture producing unite. *Iranian Journal Public Health*, Vol. 33, No. 2, pp.24-27, 2004.
- Muslimah, E., Pratiwi, I., Rafsanjani, F. (2005). *Analisis manual material handling menggunakan NIOSH equation*. Surakarta: Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- NIOSH. (1998). *NIOSH document, applications manual for the revised NIOSH lifting equation, NIOSH publication number 94-110*. US: Author.
- Occhipinti, E. & Colombini, D. (1999). Assessment of exposure to repetitive upper limb movement: an iea consensus document. *TU TB Newsletter*, June, 1999, p.11-12.
- Openshaw, Scott, Erin Taylor. (2006). *Ergonomics and design: a reference guide handbook*. Allsteel Inc: Author.
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace: anthropometry, ergonomics and design of work*. London: Taylor & Francis.
- Putz-Anderson, Vern. (2005). *Cumulative trauma disorders: a manual for musculoskeletal disease of the upper limbs*. London: Taylor & Francis.
- Ratnasingam, J., Ioras, F., Swan, T.T., Yoon, C.Y., Thanasegaran, G. (2011). Determinants of occupational accidents in the woodworking sector: the case of the malaysian wooden furniture industry. *Journal of Applied Sciences* 11 (3): 561-566, 2011.

- Richard, T. & Adams, T. (2000). Ergonomic analysis of a multi-task industrial lifting station using the NIOSH method. *Journal of Industrial Technology*, Volume 16, National Association of Industrial Technology.
- Roy C. Davies. (2000). *Application of systems design using virtual environment*. Sweden: University of Lund.
- Sanders, Mark & McCormick, E. (1993). *Human factors in engineering and design 7th edition*. New York: McGraw-Hill, Inc.
- Sastrowinoto, Suyatno. (1985). *Meningkatkan produktivitas dengan ergonomi*. Jakarta: PT Pustaka Binaman Pressindo.
- Sedarmayanti.(1996). *Tata kerja dan produktivitas kerja*. Bandung: Mandar Maju.
- Siemens Product Lifecycle Management Software Inc. (2008). *Jack task analysis toolkit manual*. California USA: Author.
- Sutalaksana, I.Z. dkk. (1979). *Teknik tata cara kerja*. Bandung: Lab. PSK&E. Teknik Industri ITB.
- Thalmann, Danial. (1998). *Introduction to virtual environment*. Switzerland: Swiss Federal insatitute of Technology.
- Wignjosoebroto, Sritomo. (2000). *Ergonomi, studi gerak, dan waktu*. Jakarta: Penerbit Guna Widya.