



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENENTUAN KONFIGURASI RANCANGAN TEMPAT  
KERJA YANG ERGONOMIS PADA *STATION NUMBERING*  
DAN *PRESS* MELALUI *VIRTUAL ENVIRONMENT*  
*MODELING***

**SKRIPSI**

**ANGGRAINI OKTAVIANINGRUM**

**0706274445**

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



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENENTUAN KONFIGURASI RANCANGAN TEMPAT  
KERJA YANG ERGONOMIS PADA *STATION NUMBERING*  
DAN *PRESS* MELALUI *VIRTUAL ENVIRONMENT*  
*MODELING***

**SKRIPSI**

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

**ANGGRAINI OKTAVIANINGRUM**

**0706274445**

**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 yang dirujuk  
telah saya nyatakan dengan benar

Nama : Anggraini Oktavianingrum

NPM : 0706274445

Tanda Tangan : 

Tanggal : Juni 2011

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :

Nama : Anggraini Oktavianingrum

NPM : 0706274445

Program Studi : Teknik Industri

Judul Skripsi : Penentuan Konfigurasi Rancangan Tempat Kerja yang Ergonomis pada *Station Numbering* dan *Press* Melalui *Virtual Environment Modeling*

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 : Arian Dhini, ST., MT

Penguji : Dr.-Ing Amalia Suzianti

Handwritten signatures of the examiners and supervisor, including a large signature at the top right and three smaller ones below it, each enclosed in a partial circle.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2011

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT karena atas berkat, rahmat, pertolongan dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan skripsi ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Boy Nurtjahyo Moch., MSIE. selaku dosen pembimbing skripsi yang telah menyediakan waktu dan pikiran serta telah banyak memberikan motivasi, arahan, saran, dan bimbingannya untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan skripsi ini.
2. Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE yang telah memberikan banyak masukan, saran, kritik, dan bantuan lainnya selama penelitian hingga penyusunan skripsi ini.
3. Semua dosen Teknik Industri yang telah memberikan banyak masukan dan wawasan yang penting dan berharga bagi penulis.
4. Bapak Hendry, dosen Departemen Mesin Fakultas Teknik Universitas Indonesia, atas masukan dan sarannya mengenai *material handling*.
5. Bapak Lucky selaku pembimbing di perusahaan tempat penulis melakukan penelitian serta Ibu Era yang telah banyak memberikan bantuan, ide, dan masukan selama penulis berada di sana.
6. Bapak Agung, Bapak Sony, Bapak Agus, Bapak Solihin, serta bapak-bapak dan ibu-ibu lain yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu yang telah banyak memberikan masukan dan saran terutama membantu penulis dalam mendapatkan data.
7. Bapak Kamal yang telah membantu dan mengizinkan penulis untuk mengambil data di perusahaan.
8. Seluruh pekerja yang berada di *assembly unit* terutama yang berada pada *station numbering* dan *press* yang telah banyak membantu penulis dalam

mendapatkan data serta bersedia diwawancarai dan menjawab setiap pertanyaan penulis dengan sabar.

9. Keluarga besar terutama ayah dan ibu beserta adik-adik atas dukungan, semangat, doa, dan perhatian yang telah diberikan kepada penulis selama ini.
10. Heny Nopiyanti, Malouna Fellisa, Radita Tanaya, Dhareta Sasanawati, Ami Raisya, Wiwid Sriastuti atas kebersamaan, persahabatan, dan kerjasamanya selama 4 tahun terutama bantuan dan masukan yang telah diberikan pada 6 bulan terakhir ini dalam menyelesaikan skripsi ini.
11. Markus Oppusunggu yang telah banyak membantu dan mendukung penulis selama menyelesaikan skripsi ini.
12. Satuhuning Bayuarti atas semua bantuan dan kebersamaannya selama penulis berada di perusahaan.
13. Ricky David dan Wahyu Ciptadi yang telah banyak membantu penulis dalam membuat rancangan yang ada dalam skripsi ini.
14. Teman-teman laboratorium Ergonomics Center: Ivan, Yunita, Atse, Astri, Melisa, Regina, Bayu, Chandra, Eva, Tika, Komjay, Yoga, Landra, Andre, Farouk, Handoyo, dan yang lainnya yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang menjadi tempat bertukar pikiran dan wawasan serta berbagi cerita selama menyelesaikan skripsi ini.
15. Seluruh teman Teknik Industri 2007 atas kebersamaan, persahabatan, dan dukungan selama 4 tahun.
16. Semua karyawan Teknik Industri yang telah banyak membantu selama ini.
17. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu yang turut membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, semoga Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 23 Juni 2011  
Penulis



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

---

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

Nama : Anggraini Oktavianingrum  
NPM : 0706274445  
Departemen : 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 Rancangan Tempat Kerja yang Ergonomis pada  
*Station Numbering dan Press Melalui Virtual Environment Modeling***

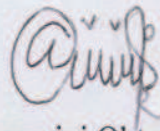
berserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2011

Yang menyatakan



(Anggraini Oktavianingrum)

## ABSTRAK

Nama : Anggraini Oktavianingrum  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Penentuan Konfigurasi Rancangan Tempat Kerja yang Ergonomis pada *Station Numbering* dan *Press* melalui *Virtual Environment Modeling*

Penelitian ini membahas mengenai masalah ergonomis yang ada pada *station numbering* dan *press* pada perusahaan penghasil motor. Analisis yang dilakukan dalam penelitian ini menggunakan metode *Static Strength Prediction (SSP)*, *Lower Back Analysis (LBA)*, *Ovako Working Posture Analysis (OWAS)*, dan *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)* yang kemudian diintegrasikan menjadi sebuah nilai atau *index* yaitu PEI (*Posture Evaluation Index*). Penelitian ini disimulasikan dalam *software Jack* pada *virtual environment modeling*. Nilai PEI tersebut digunakan untuk menganalisis postur tubuh pada kondisi aktual yang terjadi selama operator melakukan pekerjaannya sehingga dari kondisi aktual dapat diketahui postur yang perlu dilakukan perbaikan melalui perbaikan tempat kerja berdasarkan nilai PEI yang dihasilkan. Kemudian dicari konfigurasi perancangan ulang tempat kerja yang ergonomis dengan nilai PEI terendah.

Kata kunci :  
Ergonomi, *Posture Evaluation Index*, Konfigurasi Tempat Kerja yang Ergonomi, *Virtual Environment*



## ABSTRACT

Name : Anggraini Oktavianingrum  
Study Program : Industrial Engineering  
Title : Determining configuration redesign of ergonomic workplace at station numbering and press by virtual environment modeling

This research is discusses about ergonomic problem in station numbering and press in a company which produced motor cycle. Analysis in this research used Static Strength Prediction (SSP), Lower Back Analysis (LBA), Ovako Working Posture Analysis (OWAS), and Rapid Upper Limb Assessment (RULA) method then will be integrated in an index which is PEI (Posture Evaluation Index). This research will be simulated on Jack software in virtual environment modeling. PEI score will be used for analyzing work posture at actual condition that occur during operator done their job so that from actual condition could be known which posture needs to be improved by improve work place based on PEI score. Then find the configuration of redesign ergonomic work place by the lowest PEI score.

Keyword :  
Posture Evaluation Index, Ergonomic, Ergonomic Workplace, Virtual Environment

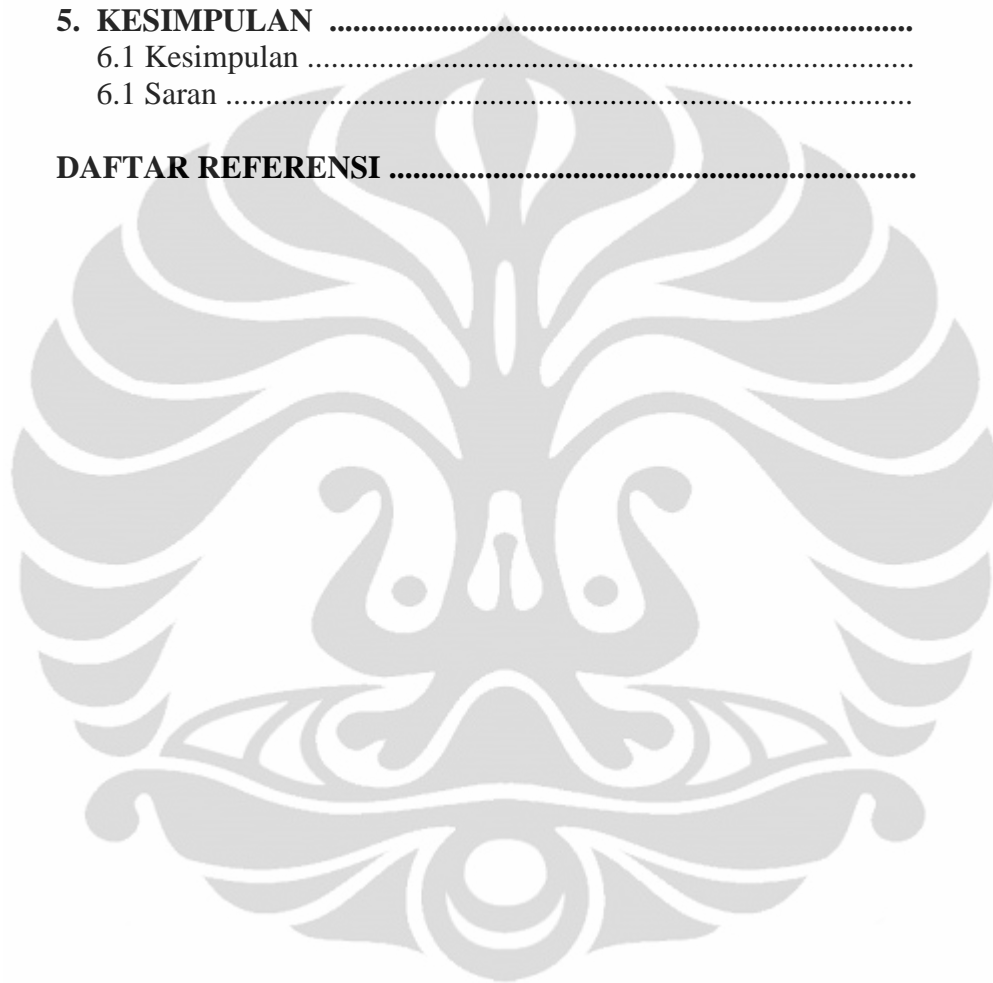
## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL .....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....	ii
HALAMAN PENGESAHAN .....	iii
KATA PENGANTAR .....	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT .....	viii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR TABEL .....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvii
<b>1. PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
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 Masalah .....	8
1.6 Metodologi Penelitian .....	9
1.7 Sistematika Penulisan .....	14
<b>2. DASAR TEORI .....</b>	<b>16</b>
2.1 Ergonomi .....	16
2.2 Antropometri.....	19
2.2.1 Jenis Pengukuran Antropometri .....	20
2.2.2 Konsep Persentil Data Antropometri .....	21
2.3 Perancangan Tempat Kerja .....	22
2.4 Desain Stasiun Kerja Posisi Berdiri .....	27
2.5 <i>Work-Related Musculoskeletal Disorders</i> (WMSD) .....	31
2.6 Kelelahan ( <i>Fatigue</i> ) .....	32
2.7 Simulasi dan Lingkungan Virtual ( <i>Virtual Environment</i> ) .....	33
2.8 Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) Jack 6.0 .....	34
2.9 <i>Posture Evaluation Index</i> (PEI) .....	41
2.9.1 <i>Static Strength Prediction</i> (SSP) .....	46
2.9.2 <i>Low Back Analysis</i> (LBA) .....	47
2.9.3 <i>Ovako Working Posture Analysis System</i> (OWAS) .....	50
2.9.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment Analysis</i> (RULA) .....	52
2.10 Waktu Standard ( <i>Standard Time</i> ) .....	56
2.10.1 Tingkat Pelaksanaan ( <i>Performance Rating</i> ) .....	56
2.10.2 Kelonggaran ( <i>Allowance</i> ) .....	58
<b>3. PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL .....</b>	<b>62</b>
3.1 Gambaran Umum Perusahaan .....	62
3.1.1 Profil Perusahaan .....	62

3.1.2 Sejarah Perusahaan .....	62
3.1.3 Produk yang dihasilkan .....	63
3.1.4 Visi dan Misi .....	63
3.1.5 Kebijakan Mutu .....	64
3.1.6 Struktur Organisasi <i>Plant I Division</i> .....	64
3.1.7 Aliran Proses Produksi ( <i>Production Flow Process</i> ) .....	66
3.1.8 Profil Area Bagian Perakitan ( <i>Assembly Unit</i> ) .....	66
3.1.9 Aliran Proses Bagian Perakitan ( <i>Flow Process Assembly Unit</i> ) .....	67
3.1.10 Stasiun penomoran dan penekanan ( <i>Station Numbering dan Press</i> ) .....	71
3.2 Pengumpulan Data .....	73
3.2.1 Identifikasi Masalah dan Keluhan Fisik Pekerja .....	73
3.2.2 Data Bentuk Peralatan Kerja pada <i>Station Numbering dan Press</i> .....	78
3.2.2.1 Spesifikasi Kereta <i>Part</i> .....	78
3.2.2.2 Spesifikasi Mesin <i>Numbering</i> .....	79
3.2.2.3 Spesifikasi <i>Frame body</i> .....	80
3.2.2.4 Spesifikasi Meja Transfer .....	80
3.2.2.5 Spesifikasi Mesin <i>Press</i> .....	81
3.2.2.6 Spesifikasi <i>Race Steering</i> .....	81
3.2.2.7 Spesifikasi <i>Jig</i> .....	82
3.2.3 Data Antropometri Operator .....	82
3.2.4 Data Waktu Kerja .....	84
3.2.5 Data Postur Kerja dan Gerakan Kerja .....	88
3.2.5.1 Postur Mengangkat <i>Frame body</i> dari Kereta <i>Part</i> di <i>Station Numbering</i> .....	88
3.2.5.2 Postur Mengecek Kode Produksi pada <i>Station Press</i> .....	90
3.2.5.3 Postur Memindahkan <i>Frame body</i> ke <i>Jig</i> .....	91
3.3 Perancangan Model Pada <i>Software Jack</i> .....	91
3.3.1 Pembuatan Lingkungan <i>Virtual</i> .....	92
3.3.2 Pembuatan Manusia <i>Virtual</i> .....	93
3.3.3 Penempatan Manusia <i>Virtual</i> pada Lingkungan <i>Virtual</i> .....	95
3.3.4 Pemberian Tugas atau Pekerjaan Pada Manusia <i>Virtual</i> .....	97
3.3.5 Melakukan Verifikasi dan Validasi Model .....	98
3.3.6 Menganalisis Kinerja Tugas dengan <i>Task Analysis Toolkit (TAT)</i> .....	102
3.3.6.1 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i> .....	103
3.3.6.2 <i>Lower Back Analysis (LBA)</i> .....	105
3.3.6.3 <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i> .....	105
3.3.6.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment (RULA)</i> .....	106
3.4 Perhitungan Nilai <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i> .....	107
3.5 Penentuan <i>Konfigurasi</i> .....	107

3.5.1 Konfigurasi pada <i>Station Numbering</i> .....	108
3.5.2 Konfigurasi pada <i>Station Press</i> .....	114
<b>4. ANALISIS .....</b>	<b>117</b>
4.1 Analisis Kondisi Aktual.....	117
4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Pengangkatan <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Bagian Atas .....	117
4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Pengangkatan <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Bagian Bawah .....	125
4.1.3 Analisis Kondisi Aktual Pengecekan Kode Produksi pada <i>Frame body</i> .....	132
4.1.4 Analisis Kondisi Aktual Pemindahan <i>Frame body</i> ke <i>Jig</i> .....	140
4.2 Analisis Kondisi Usulan .....	146
4.2.1 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Rancangan Kereta <i>Part</i> Baru dengan Tinggi Tiang 10 cm di Bawah Siku .....	147
4.2.2 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Rancangan Kereta <i>Part</i> Baru dengan Tinggi Tiang 15 cm di Bawah Siku .....	151
4.2.3 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan <i>Frame body</i> dengan Alat Bantu dari Rancangan Kereta <i>Part</i> Baru pada Ketinggian Tiang 10 cm di Bawah Siku .....	155
4.2.4 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan <i>Frame body</i> dengan Alat Bantu dari Rancangan Kereta <i>Part</i> Baru pada Ketinggian Tiang 15 cm di Bawah Siku .....	160
4.2.5 Analisis Kondisi Usulan Pengecekan Kode Produksi Pada <i>Frame Body</i> dengan Tambahan Ketinggian 16 cm dan 21 cm .....	163
4.2.5.1 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 16 cm .....	164
4.2.5.2 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 21 cm .....	166
4.2.6 Analisis Kondisi Usulan Pemindahan <i>Frame body</i> ke <i>Jig</i> Berjalan dengan Tambahan Ketinggian 16 cm dan 21 cm .....	169
4.2.6.1 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 16 cm .....	169
4.2.6.2 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 21 cm .....	171
4.3 Analisis Perbandingan PEI Kondisi Aktual dan Usulan .....	175
4.3.1 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Bagian Atas dengan Bagian Bawah Untuk Kondisi Aktual .....	176
4.3.2 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Kondisi Aktual dengan Kereta <i>Part</i> Usulan Tanpa Alat Bantu .....	177
4.3.3 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Kondisi Aktual dengan Kereta <i>Part</i> Konfigurasi Dengan Alat Bantu .....	178

4.3.4 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Tanpa Alat Bantu dan dengan Alat Bantu .....	180
4.3.5 Analisis Perbandingan Proses Pengecekan Kode Produksi Untuk Kondisi Aktual dan Kondisi Usulan ...	182
4.3.6 Analisis Perbandingan Proses Pemindahan <i>Frame body</i> ke <i>Jig</i> Untuk Kondisi Aktual dan Kondisi Usulan .....	184
<b>5. KESIMPULAN .....</b>	<b>186</b>
6.1 Kesimpulan .....	186
6.1 Saran .....	188
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>189</b>





## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Definisi dari <i>Human Factors</i> and Ergonomi .....	16
Tabel 2.2 Keterangan Data Antropometri Detail Tubuh Manusia .....	26
Tabel 2.3 Aturan Ketinggian Pengangkatan Berdasarkan Beban .....	29
Tabel 2.4 Format <i>file</i> yang diterima Jack .....	38
Tabel 2.5 Pembobotan nilai pada OWAS .....	51
Tabel 2. 6 Pembobotan nilai pada RULA .....	54
Tabel 2.7 <i>Westinghouse System Skill Rating</i> .....	56
Tabel 2.8 <i>Westinghouse System Effort Rating</i> .....	57
Tabel 2.9 <i>Westinghouse System Condition Rating</i> .....	58
Tabel 2.10 <i>Westinghouse System Consistency Rating</i> .....	58
Tabel 2.11 <i>Factor Allowance</i> .....	60
Tabel 3.1 Kegiatan pada Bagian <i>Overhead</i> Berdasarkan Gambar 3.5 .....	68
Tabel 3.2 Kegiatan pada Bagian <i>Shooter Engine</i> Berdasarkan Gambar 3.6 .....	69
Tabel 3.3 Kegiatan pada Bagian <i>Subline</i> Berdasarkan Gambar 3.7 .....	70
Tabel 3.4 Kegiatan pada Bagian <i>Main Line</i> Berdasarkan Gambar 3.8 .....	71
Tabel 3.5 Tingkat Keparahan Sakit yang Dirasakan Pada Bagian Tubuh .....	74
Tabel 3.6 Data Tinggi dan Berat Badan Operator .....	83
Tabel 3.7 Data Tinggi dan Berat Badan Operator Berdasarkan Persentil .....	83
Tabel 3.8 Data Tinggi dan Berat Badan Orang Indonesia Berdasarkan Persentil 84	
Tabel 3.9 Waktu Kerja Setiap Elemen Pada <i>Station Numbering</i> .....	85
Tabel 3.10 Waktu Kerja Setiap Elemen Pada <i>Station Press</i> .....	86
Tabel 3.11 Perhitungan Waktu Standard Dari Waktu Rata-rata .....	87

Tabel 3.12 Nilai Analisis Ergonomi pada <i>Station Numbering</i> Saat Operator Mengambil <i>Frame Body</i> dari Bagian Atas Kereta Part .....	107
Tabel 3.13 Tabel Perubahan Bentuk <i>Frame body</i> Kondisi Usulan.....	111
Tabel 3.14 Ringkasan Konfigurasi yang Akan Dilakukan .....	115
Tabel 4.1 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 5 .....	119
Tabel 4.2 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 50 .....	120
Tabel 4.3 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 95 .....	120
Tabel 4.4 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	122
Tabel 4.5 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	123
Tabel 4.6 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Aktual Proses Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Kereta Part Bagian Atas .....	124
Tabel 4.7 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 5 .....	126
Tabel 4.8 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 50 .....	127
Tabel 4.9 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 95 .....	127
Tabel 4.10 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	129
Tabel 4.11 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	130
Tabel 4.12 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Aktual Proses Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Kereta Part Bagian Bawah .....	132
Tabel 4.13 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 5 .....	134
Tabel 4.14 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 50 .....	134
Tabel 4.15 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 95 .....	134
Tabel 4.16 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	136
Tabel 4.17 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	138

Tabel 4.18 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Aktual Proses Pengecekan Kode Produksi pada <i>Frame body</i> .....	139
Tabel 4.19 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 5 .....	141
Tabel 4.20 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 50 .....	141
Tabel 4.21 <i>Capability Summary Chart</i> Model Persentil 95 .....	142
Tabel 4.22 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	143
Tabel 4.23 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	144
Tabel 4.24 Rekapitulasi Nilai PEI Aktual Proses Pemindahan <i>Frame body</i> .....	146
Tabel 4.25 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	149
Tabel 4.26 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	150
Tabel 4.27 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Kereta <i>Part</i> tanpa Alat Bantu Saat 10 cm di Bawah Siku .....	151
Tabel 4.28 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	153
Tabel 4.29 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	154
Tabel 4.30 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Kereta <i>Part</i> tanpa Alat Bantu Saat 15 cm di Bawah Siku .....	154
Tabel 4.31 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	158
Tabel 4.32 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	159
Tabel 4.33 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Kereta <i>Part</i> dengan Alat Bantu Saat 10 cm di Bawah Siku .....	160
Tabel 4.34 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	162
Tabel 4.35 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	163

Tabel 4.36 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Kereta <i>Part</i> dengan Alat Bantu Saat 15 cm di Bawah Siku .....	163
Tabel 4.37 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	165
Tabel 4.38 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, 50, dan 95 .....	166
Tabel 4.39 Rekapitulasi Nilai Kondisi Usulan Proses Pengecekan Kode Produksi pada <i>Frame body</i> .....	166
Tabel 4.40 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	167
Tabel 4.41 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	168
Tabel 4.42 Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengecekan Kode Produksi pada <i>Frame body</i> .....	168
Tabel 4.43 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	170
Tabel 4.44 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, 50, dan 95 .....	171
Tabel 4.45 Rekapitulasi Nilai PEI Usulan Pemindahan <i>Frame body</i> ke <i>Jig</i> .....	171
Tabel 4.46 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	172
Tabel 4.47 Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	173
Tabel 4.48 Rekapitulasi Nilai Kondisi Usulan Proses Pengecekan Kode Produksi pada <i>Frame body</i> .....	173
Tabel 4.49 Rekapitulasi Nilai PEI Semua Konfigurasi .....	174
Tabel 4.50 Perbandingan PEI Kondisi Aktual .....	176
Tabel 4.51 Perbandingan PEI Kondisi Aktual Dengan Kondisi Usulan .....	177
Tabel 4.52 Perbandingan PEI Kondisi Aktual dengan Kondisi Usulan .....	179
Tabel 4.53 Perbandingan PEI Kondisi Usulan Tanpa Alat Bantu dan Kondisi Usulan Dengan Alat Bantu <i>Station Numbering</i> .....	180
Tabel 4.54 Perbandingan PEI Kondisi Aktual dan Usulan <i>Station Press</i> .....	183
Tabel 4.55 Perbandingan PEI Kondisi Aktual dan Usulan .....	184

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah .....	7
Gambar 1.2 Diagram Alur Metodologi Penelitian.....	11
Gambar 2.1 Jangkauan Normal dan Maksimum Secara Horizontal .....	24
Gambar 2.2 Data Antropometri Detail Tubuh Manusia .....	25
Gambar 2.3 Penentuan Ketinggian Permukaan Kerja Pada <i>Standing Workstation</i> .....	29
Gambar 2.4 Tampilan Awal <i>Software Jack</i> .....	36
Gambar 2.5 Contoh Manusia <i>Virtual Jack</i> pada Persentil 5, 50, dan 95.....	39
Gambar 2.6 Contoh Tampilan Manusia <i>Virtual</i> dalam Lingkungan <i>Virtual</i> .....	39
Gambar 2.7 Contoh Jendela Animasi pada <i>Software Jack</i> .....	40
Gambar 2.8 Contoh Tampilan dengan <i>Output</i> Analisis SSP, LBA, dan RULA....	41
Gambar 2.9 Diagram Alur Penggunaan Metode PEI.....	42
Gambar 2.10 Tampilan SSP pada <i>Software Jack</i> .....	47
Gambar 2.11 Perhitungan Nilai Tekanan pada LBA.....	49
Gambar 2.12 <i>Output</i> LBA dari <i>Software Jack</i> .....	50
Gambar 2.13 Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh .....	51
Gambar 2.14 <i>Output</i> OWAS pada <i>Software Jack</i> .....	52
Gambar 2.15 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh A .....	53
Gambar 2.16 Pengelompokan Penilaian Metode RULA Untuk Kelompok Tubuh B .....	53
Gambar 2.17 Contoh <i>Output</i> dari RULA yang Dihasilkan Oleh <i>Software Jack</i> .....	55
Gambar 3.1 Volum Penjualan Produk PT. X .....	63



Gambar 3.2 Struktur Organisasi <i>Plant 1 Division</i> .....	65
Gambar 3.3 <i>Production Flow Process</i> .....	66
Gambar 3.4 <i>Flow Process Assembly Unit</i> .....	67
Gambar 3.5 Bagian <i>Overhead</i> pada <i>Assy Unit Line A</i> .....	67
Gambar 3.6 Bagian <i>Shooter Engine</i> pada <i>Assy Unit Line A</i> .....	68
Gambar 3.7 Bagian <i>Subline</i> pada <i>Assy Unit Line A</i> .....	69
Gambar 3.8 <i>Layout</i> Bagian <i>Main Line</i> pada <i>Assy Unit Line A</i> .....	70
Gambar 3.9 <i>Layout Station Numbering Assy Unit</i> .....	72
Gambar 3.10 <i>Layout Station Press Assy Unit</i> .....	73
Gambar 3.11 Grafik Persentase Tingkat Keparahan Keluhan Fisik .....	75
Gambar 3.12 Grafik Persentase Tingkat Frekuensi Keluhan Fisik .....	76
Gambar 3.13 Data Kecelakaan Kerja .....	77
Gambar 3.14 Tiga Dimensi <i>Kereta Part</i> .....	79
Gambar 3.15 Tiga Dimensi Mesin <i>Numbering</i> .....	79
Gambar 3.16 Tiga Dimensi <i>Frame Body</i> .....	80
Gambar 3.17 Tiga Dimensi Meja Transfer .....	80
Gambar 3.18 Tiga Dimensi Mesin <i>Press</i> .....	81
Gambar 3.19 Tiga Dimensi <i>Race Steering</i> .....	81
Gambar 3.20 Tiga Dimensi <i>Jig</i> .....	82
Gambar 3.21 Postur Operator Saat Mengambil <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Bagian Atas .....	89
Gambar 3.22 Postur Operator Saat Meraih <i>Frame Body</i> dari Kereta <i>Part</i> Bagian Bawah .....	90
Gambar 3.23 Postur Operator Mengecek Kode Produksi Pada <i>Frame Body</i> .....	90

Gambar 3.24 Postur Operator Saat Meletakkan <i>Frame body</i> pada <i>Jig</i> Berjalan...	91
Gambar 3.25 Diagram Alur Perancangan Model pada <i>Software Jack</i> .....	92
Gambar 3.26 Lingkungan <i>Virtual Station Numbering</i> .....	93
Gambar 3.27 Lingkungan <i>Virtual Station Press</i> .....	93
Gambar 3.28 <i>Dialog Box</i> Pembuatan Manusia <i>Virtual</i> .....	94
Gambar 3.29 Fitur <i>Advanced Scaling</i> pada <i>Software Jack</i> .....	94
Gambar 3.30 Membuat Manusia <i>Virtual</i> Melalui <i>Control Bar</i> .....	95
Gambar 3.31 Berbagai Macam Postur yang Dilakukan oleh Operator Selama Proses Produksi pada <i>Station Numbering</i> .....	96
Gambar 3.32 Berbagai Macam Postur yang Dilakukan oleh Operator Selama Proses Produksi Pada <i>Station Press</i> .....	97
Gambar 3.33 <i>Animation System</i> pada Kondisi Aktual Untuk <i>Station Numbering</i> .....	98
Gambar 3.34 Verifikasi Manusia <i>Virtual</i> yang Akan Disimulasikan .....	99
Gambar 3.35 Penambahan Beban Ekstrim .....	100
Gambar 3.36 Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim...100	
Gambar 3.37 Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim...101	
Gambar 3.38 Perbandingan Nilai OWAS Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim 107.....	101
Gambar 3.39 Kotak <i>Dialog Loads and Weights</i> .....	103
Gambar 3.40 Grafik SSP pada <i>Station Numbering</i> Saat Operator Mengambil <i>Frame Body</i> dari Bagian Atas Kereta <i>Part</i> .....	104
Gambar 3.41 Persentase Kapabilitas pada <i>Station Numbering</i> Saat Operator Mengambil <i>Frame Body</i> dari Bagian Atas Kereta <i>Part</i> .....	104
Gambar 3.42 Nilai LBA Tertinggi pada <i>Station Numbering</i> Saat Operator Mengambil <i>Frame Body</i> dari Bagian Atas Kereta <i>Part</i> .....	105
Gambar 3.43 Nilai OWAS pada <i>Station Numbering</i> Saat Operator Mengambil <i>Frame Body</i> dari Bagian Atas Kereta <i>Part</i> .....	106

Gambar 3.44 Nilai RULA pada <i>Station Numbering</i> Saat Operator Mengambil <i>Frame Body</i> dari Bagian Atas Kereta <i>Part</i> .....	106
Gambar 3.45 Ukuran Antropometri Orang Indonesia Persentil 50 .....	110
Gambar 3.46 Kereta <i>Part</i> Untuk Ketinggian 10 cm di Bawah Siku Tanpa Alat Bantu .....	112
Gambar 3.47 Kereta <i>Part</i> Untuk Ketinggian 15 cm di Bawah Siku Tanpa Alat Bantu .....	112
Gambar 3.48 Kereta <i>Part</i> Untuk Ketinggian 10 cm di Bawah Siku dengan Alat Bantu .....	113
Gambar 3.49 Kereta <i>Part</i> Untuk Ketinggian 15 cm di Bawah Siku dengan Alat Bantu .....	113
Gambar 3.50 <i>Roller</i> dari Karet Sebagai Alat Bantu .....	113
Gambar 3.51 Gambar Papan Untuk Ketinggian 10 cm Dibawah Siku .....	114
Gambar 3.52 Gambar Papan Untuk Ketinggian 15 cm Dibawah Siku .....	114
Gambar 4.1 Rangkaian Gerakan Untuk Dianalisis pada <i>Station Numbering</i> Saat Mengangkat <i>Frame Body</i> dari Bagian Atas Kereta <i>Part</i> .....	118
Gambar 4.2 Postur Paling Ekstrim pada Proses Pengangkatan <i>Frame</i> <i>Body</i> dari Bagian Bawah Kereta <i>Part</i> Kondisi Aktual .....	121
Gambar 4.3 Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	121
Gambar 4.4 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95 .....	122
Gambar 4.5 Rangkaian Gerakan untuk Dianalisis pada <i>Station Numbering</i> Saat Mengangkat <i>Frame body</i> dari Bagian Bawah Kereta <i>Part</i> ....	126
Gambar 4.6 Postur Paling Ekstrim pada Proses Pengangkatan <i>Frame body</i> dari Bagian Bawah Kereta <i>Part</i> Kondisi Aktual .....	128
Gambar 4.7 Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	128
Gambar 4.8 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan 95 .....	130

Gambar 4.9 Rangkaian Gerakan untuk Dianalisis pada <i>Station Press</i> Saat Mengecek Kode Produksi pada <i>Frame body</i> .....	133
Gambar 4.10 Postur Paling Ekstrim Proses Pengecekan Kode Produksi pada <i>Frame body</i> .....	135
Gambar 4.11 Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	136
Gambar 4.12 Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan 95 .....	137
Gambar 4.13 Rangkaian Gerakan untuk Dianalisis pada <i>Station press</i> Saat Memindahkan <i>Frame body</i> Ke <i>Jig</i> .....	140
Gambar 4.14 Postur Paling Ekstrim Proses Pemindahan <i>Frame body</i> ke <i>Jig</i> ....	142
Gambar 4.15 Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95 .....	143
Gambar 4.16 Perbandingan Desain Kondisi Awal dan Usulan .....	148
Gambar 4.17 Rangkaian Gerakan pada <i>Station Numbering</i> Saat Mengangkat <i>Frame body</i> Baru dengan Tinggi Tiang 10 cm di Bawah Siku .....	148
Gambar 4.18 Perbandingan Desain Kondisi Awal dan Usulan dengan Ketinggian Tiang 10 cm dan 15 cm di Bawah Siku .....	152
Gambar 4.19 Perbandingan Desain Kondisi Awal dan Usulan dengan Alat Bantu pada Ketinggian Tiang 10 cm di Bawah Siku .....	156
Gambar 4.20 Mencari Nilai Sudut $\alpha$ Melalui Rumus Tangen .....	157
Gambar 4.21 Perhitungan Manual Beban yang Dirasakan Operator .....	157
Gambar 4.22 Perbandingan Desain Kondisi Usulan dengan Alat Bantu pada Ketinggian Tiang 10 cm dan 15 di Bawah Siku .....	161
Gambar 4.23 Rangkaian Gerakan pada <i>Station press</i> Saat Mengecek Kode Produksi pada <i>Frame body</i> Setelah Diberikan Tambahan Pijakan Kaki .....	164
Gambar 4.24 Rangkaian Gerakan pada <i>Station press</i> Saat Mengecek Kode Produksi pada <i>Frame body</i> Setelah Diberikan Tambahan Pijakan Kaki .....	169
Gambar 4.25 Perbandingan PEI Kondisi Aktual <i>Station Numbering</i> .....	176
Gambar 4.26 Perbandingan PEI Kondisi Aktual Dengan Kondisi Usulan .....	177

Gambar 4.27 Perbandingan PEI Kondisi Aktual dengan Kondisi Usulan .....	179
Gambar 4.28 Perbandingan PEI Kondisi Usulan Tanpa Alat Bantu dan Kondisi Usulan Dengan Alat Bantu .....	181
Gambar 4.29 Perbandingan PEI Kondisi Aktual dan Usulan <i>Station Press</i> .....	183
Gambar 4.30 Perbandingan PEI Kondisi Aktual .....	184





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Dunia industri berkembang dengan cepat dan luas. Hingga saat ini banyak sekali berkembang perusahaan manufaktur yang menghasilkan berbagai macam produk kebutuhan manusia. Hal ini tentunya membuat perusahaan untuk berlomba menghasilkan produk yang baik yang disukai konsumen agar penjualan mereka tinggi sehingga hal ini semakin menciptakan persaingan yang sangat ketat diantara para pelakunya. Industri otomotif merupakan industri yang berkembang cukup pesat dan besar saat ini. Pelaku dunia industri otomotif salah satunya adalah industri sepeda motor. Industri sepeda motor merupakan salah satu industri otomotif yang cukup besar di Indonesia karena motor merupakan moda transportasi yang cepat, aman, dan ekonomis sehingga menjadi pilihan banyak orang.

Semakin banyak orang yang memilih sepeda motor sebagai sarana transportasi, semakin banyak pula permintaan terhadap sepeda motor ini. Hal ini dapat dilihat pada data sementara yang dikeluarkan oleh Asosiasi Industri Sepeda Motor Indonesia (AISI) yang menyatakan bahwa penjualan motor meningkat hingga mencapai angka 7,36 juta unit atau naik sebesar 25,8% dari tahun 2009. Angka penjualan tersebut melebihi dari yang ditargetkan oleh AISI yaitu sebesar 7 juta unit dan merupakan angka penjualan motor tertinggi dalam sejarah. Pasar motor ini akan terus melaju pada tahun 2011 karena perekonomian masih bagus dan diperkirakan penjualan motor pada tahun 2011 akan mencapai hingga 8,3 juta unit.

Dengan keadaan seperti ini, pastinya akan menuntut produsen sepeda motor untuk bekerja lebih cepat lagi dalam menghasilkan sepeda motor dengan kualitas baik yang dapat bersaing di pasaran dan menjadi pilihan konsumen. Oleh karena itu, perusahaan harus memiliki strategi produksi yang baik sehingga dapat membuat lebih banyak produk dan juga memiliki strategi *marketing* yang tidak

kalah baik sehingga produk yang telah banyak dibuat tidak hanya menumpuk di gudang tapi terjual hingga ke tangan konsumen.

Untuk dapat membuat produk dalam jumlah yang banyak dengan kualitas yang baik, tentunya bukan hal yang mudah. Untuk dapat memproduksi lebih banyak produk berkualitas, tentunya perusahaan harus dapat memproduksi suatu produk dalam waktu yang relatif singkat dengan proses yang baik, mempunyai lebih banyak lini produksi dan pabrik, menambah waktu produksi dengan lembur dan membuat kegiatan produksi menjadi beberapa shift. Keadaan seperti ini menuntut perusahaan memiliki jumlah operator yang cukup banyak agar perusahaan dapat memenuhi tuntutan persaingan tersebut.

Namun, dengan permintaan produksi yang cukup banyak, perhatian perusahaan biasanya hanya terfokus pada masalah kapasitas produksi serta pemenuhan target produksi sehingga terkadang masalah ergonomi, rancangan kerja, serta kenyamanan tempat kerja dan postur kerja operator masih terabaikan padahal salah satu komponen yang cukup penting dalam meningkatkan efisiensi dan produktivitas adalah manusia. Walaupun perkembangan teknologi sudah sangat maju dan penggunaan mesin sudah banyak diterapkan, namun manusia merupakan bagian kerja yang penting dalam sistem produksi dan terkadang kerjanya tidak dapat digantikan oleh mesin.

Masalah ergonomi yang terabaikan ini akan menyebabkan perusahaan tidak menyadari bahwa ada *station* yang postur dan tempat kerjanya kurang nyaman bagi operator bahkan mungkin beban kerjanya melebihi dari yang dapat ditanggung oleh operator. Apalagi pekerjaan yang harus mereka lakukan adalah pekerjaan manual dengan beban berat yang dilakukan berulang atau *repetitive* sehingga hal ini akan menyebabkan operator menjadi cepat lelah saat mengerjakan pekerjaannya bahkan menimbulkan keluhan kesehatan serta *musculoskeletal disorders*. Hal ini tentunya akan berpengaruh pada menurunnya *performance* dan produktivitas dari operator saat mengerjakan pekerjaannya tersebut. Dari perspektif ergonomi, dapat diketahui bahwa desain kerja dan tempat kerja yang tidak ergonomi akan menyebabkan banyaknya kesalahan, tingginya

kecelakaan kerja, meningkatnya jumlah pekerja yang absen, kesalahan dalam mengambil keputusan, dan menurunnya produktivitas.

Sebuah studi yang dilakukan oleh Anki Falck dan Ortegren Roland telah membuktikan bahwa ada hubungan yang kuat antara ergonomi dengan kualitas dari produk yang dihasilkan. Tidak baiknya kondisi ergonomi dari suatu lingkungan kerja, tidak diragukan lagi akan menyebabkan menurunnya kualitas produk yang dapat dihasilkan oleh operator. Bekerja pada kondisi lingkungan yang tidak ergonomi akan menyebabkan *product defect* yang dihasilkan menjadi tiga hingga sepuluh kali lebih banyak dibandingkan dengan yang bekerja pada kondisi yang ideal.

Oleh karena itu, sebaiknya perusahaan merancang ulang tempat kerja operator jika tempat kerja tersebut tidak nyaman atau bahkan cukup berbahaya sehingga produktivitas operator menurun dan menimbulkan banyaknya keluhan atau kecelakaan kerja serta menyebabkan banyaknya *product defect*. Dengan melakukan hal ini, diharapkan perusahaan dapat mengurangi keluhan kerja operator dimana keluhan tersebut dapat berujung pada gangguan masalah kesehatan maupun kecelakaan kerja. Merancang tempat kerja yang optimal bagi operator sebaiknya menggunakan prinsip ergonomi namun tetap harus disesuaikan dengan target produksi. Selain itu, *layout* tempat kerja operator serta semua peralatan yang berhubungan langsung dengan kegiatan produksi juga harus sesuai dengan kebutuhan produksi dan keterbatasan manusia sebagai penggunaannya.

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani yang terdiri dari ergo atau kerja dan nomos yang berarti hukum. Ergonomi juga merupakan ilmu yang mempelajari tentang aspek-aspek manusia dalam lingkungan kerjanya yang ditinjau secara anatomi, fisiologi, psikologi, *engineering*, manajemen dan perancangan atau desain. Ergonomi khususnya mempelajari tentang keterbatasan dan kemampuan manusia dalam berinteraksi dengan teknologi, mesin maupun produk-produk buaatannya. Ilmu ini berkembang karena manusia memiliki batas-batas kemampuan baik jangka pendek maupun jangka panjang, pada saat berinteraksi dengan lingkungan sistem kerja yang berupa perangkat keras seperti mesin dan peralatan kerja serta perangkat lunak seperti metode kerja dan sistem. Tujuan dari

ergonomi adalah mendesain alat-alat, sistem teknikal, dan pekerjaan sehingga dapat meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan performance dari manusia. Oleh karena itu, studi tentang ergonomi merupakan sesuatu yang sangat diperlukan oleh perusahaan saat ini.

PT. X merupakan salah satu perusahaan yang bergerak dibidang manufaktur sebagai salah satu produsen sepeda motor terbesar di Indonesia. Oleh karena itu, ergonomi juga menjadi salah satu topik yang penting untuk dikembangkan lebih lanjut sehingga kenyamanan dan keselamatan kerja dapat terus dikembangkan. Namun, terkadang perusahaan hanya merancang tempat kerja yang aman namun tidak terlalu memberikan perhatian yang lebih pada masalah perancangan tempat kerja yang ergonomis dan nyaman bagi operator.

Perusahaan kurang memberikan perhatian dalam merancang tempat kerja yang ergonomis, ideal, dan nyaman pada *station* yang beban kerjanya cukup berat terutama pada *station numbering* dan *press* karena pada *station* tersebut terdapat kegiatan mengangkat *frame body* seberat 11 kg secara manual dan *repetitive*. Kegiatan *manual material handling* seperti mengangkat *part* berat secara *repetitive*, merupakan kegiatan yang secara potensial dapat membahayakan sistem *musculoskeletal* manusia. Selain itu, kegiatan *manual material handling*, dapat menyebabkan 20% - 25% kecelakaan kerja. Terlebih lagi, terkadang operator harus bekerja dengan postur tubuh yang kurang ideal seperti membungkuk, memutar badan, menggunakan jangkauan maksimal, serta bekerja dengan lengan di atas siku secara *repetitive*.

Menurut data Departemen Tenaga Kerja Amerika Serikat (Accident Facts, 1990), cedera tulang belakang adalah yang paling umum terjadi, yaitu 22% dari semua kecelakaan kerja yang terjadi dan paling banyak membutuhkan biaya pengobatan. Salah satu penyebab cedera ini adalah beban yang berlebihan yang diterima oleh tulang belakang, yaitu sebesar > 60% dan 60% dari overload ini disebabkan oleh pekerjaan mengangkat barang, 20% pekerjaan mendorong atau menarik barang dan 20% akibat membawa barang. Selain itu, perancangan kerja yang kurang baik dan pekerjaan manual akan sangat berpengaruh pada tingkat keselamatan dan kesehatan kerja. Hasil penelitian Troup dan Edward di Amerika

Serikat pada tahun 1985 melaporkan bahwa 69% dari semua kasus kecelakaan yang terjadi pada pekerjaan yang dikerjakan secara manual, disebabkan oleh perancangan sistem kerja yang kurang baik. Selain itu, tempat kerja yang kurang ergonomis akan mempengaruhi postur kerja saat bekerja terlebih jika dilakukan secara berulang-ulang. Pekerja yang melakukan pekerjaan berulang dengan gerakan dan posisi tubuh yang tidak alamiah selama bekerja, sangat rentan mengalami gangguan cedera. Selain itu, gangguan muskuloskeletal juga dapat dipicu oleh pengeluaran tenaga yang berlebihan dan lamanya waktu kerja (Purnomo et al, 2006).

Dengan penjabaran di atas, terlihat bahwa perlu dilakukan penelitian lebih lanjut pada *station numbering* dan *press* serta diperlukan perancangan ulang tempat kerja yang ergonomis dan optimal melalui kaidah ilmu ergonomi demi tercapainya sistem kerja dan tempat kerja yang ideal dan memperhatikan kesehatan dan kenyamanan pekerja. Ilmu ergonomi dapat membantu memberikan saran perbaikan untuk merancang stasiun kerja yang lebih baik. Dengan merancang tempat kerja yang ergonomis dan optimal, hal ini tentu akan membuat postur dan cara kerja operator menjadi lebih baik sehingga operator dapat bekerja lebih efektif dan produktif tanpa mengalami keluhan kesehatan bahkan mengalami kecelakaan kerja serta diharapkan dapat menciptakan sistem kerja yang efektif, aman, sehat, nyaman, dan efisien.

Dalam merancang perbaikan stasiun kerja, hal yang diperlukan terlebih dahulu adalah menganalisis dan mengevaluasi kondisi aktual dari *station* kerja tersebut, sehingga dapat diperkirakan dan ditentukan apa dan bagian mana yang perlu dirancang ulang. Setelah didapatkan bentuk stasiun baru hasil rancangan ulang, maka sebaiknya stasiun yang baru tersebut juga dianalisis dan dievaluasi kelayakannya apakah benar-benar telah optimal dan jauh lebih baik dari stasiun sebelumnya. Oleh karena itu, penggunaan metode simulasi merupakan cara yang ideal untuk diterapkan dalam membuat dan menganalisis hasil rekomendasi stasiun kerja yang baru tanpa harus diterapkan langsung di kondisi aktual. Keuntungan lain penggunaan simulasi adalah peneliti tidak harus mengganggu



kondisi nyata dalam sistem sesungguhnya serta waktu dan biaya yang digunakan jauh lebih sedikit.

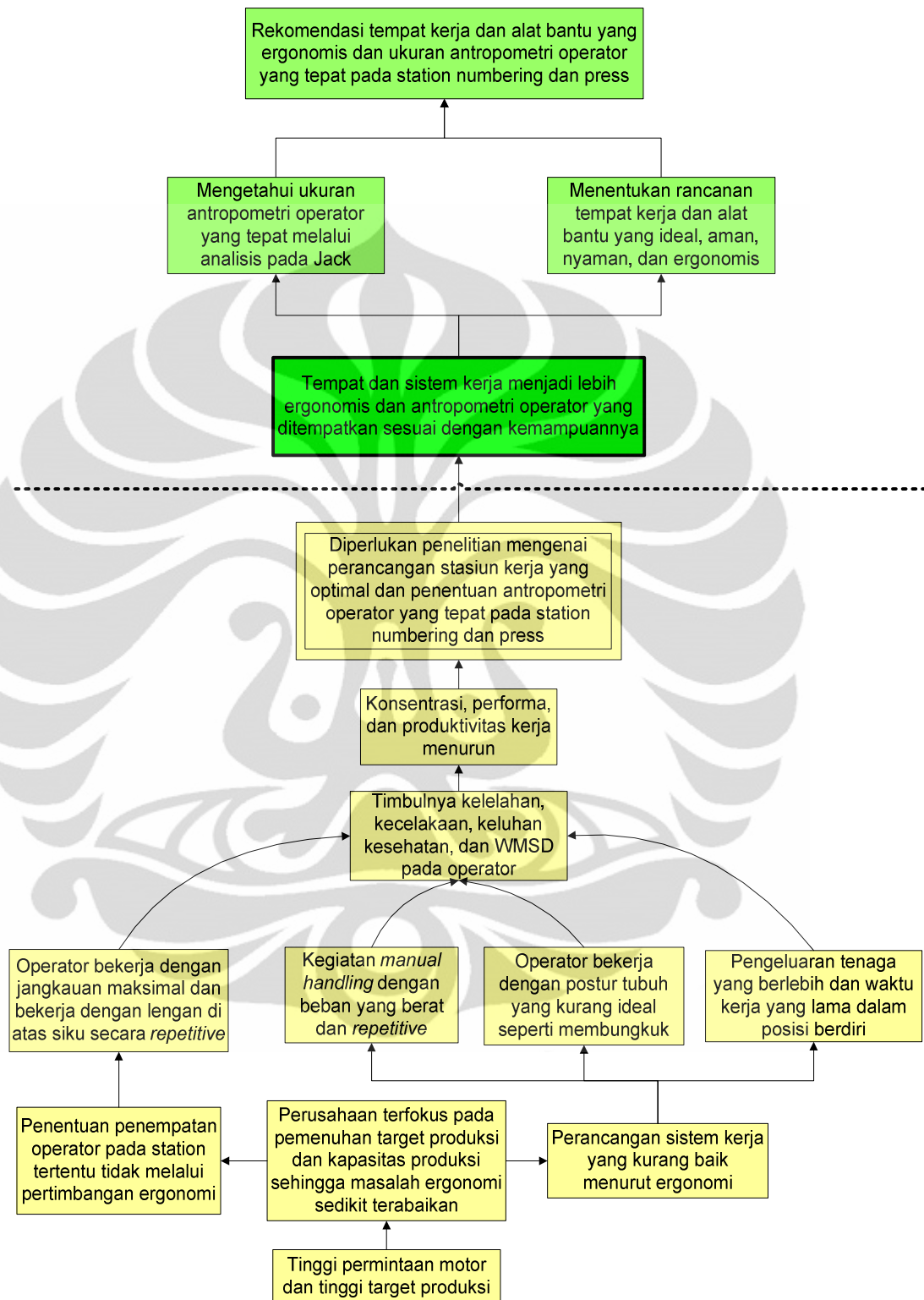
Penggunaan metode simulasi yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan *software* Jack untuk menganalisis postur kerja kondisi aktual. Dengan dilakukannya penelitian ini, diharapkan perusahaan dapat mengetahui bagaimana bentuk stasiun kerja yang lebih baik serta penempatan operator yang sesuai pada *station* tertentu dengan kondisi kerja tertentu sehingga operator dapat bekerja lebih semangat, produktif, dan efektif serta *performance* operator menjadi lebih meningkat.

## 1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Diagram keterkaitan masalah ini merupakan penyederhanaan argumen penulisan skripsi berupa penjelasan secara singkat dan detail mengenai masalah yang akan diangkat dalam penelitian ini serta solusi yang mungkin diterapkan untuk masalah tersebut dalam bentuk gambar atau diagram. Diagram keterkaitan masalah yang ada pada **Gambar 1.1** ini merupakan rangkuman dari latar belakang, perumusan masalah, dan tujuan penulisan.

## 1.3 Perumusan Masalah

Saat ini, masih banyak perusahaan yang hanya fokus pada masalah pencapaian target produksi dan kapasitas produksi sehingga sedikit mengabaikan masalah ergonomi. Perusahaan tidak menganalisis lebih lanjut mengenai masalah ergonomi seperti perancangan tempat dan sistem kerja yang ergonomis yang disesuaikan dengan keterbatasan dan kemampuan operator, penentuan alat bantu yang tepat, serta penempatan operator yang tepat. Salah satu contohnya adalah yang ada pada *station numbering* dan *press*. Operator yang ada pada *station* tersebut harus mengangkat *frame body* 11 kg secara berulang-ulang dengan waktu siklus yang cukup pendek namun waktu kerja yang cukup lama, bekerja dengan postur kerja yang kurang ideal seperti membungkuk, dan bekerja dengan jangkauan maksimal serta bekerja dengan lengan di atas bahu dengan mengangkat beban yang berat dan dilakukan secara *repetitive*.



**Gambar 1.1** Diagram Keterkaitan Masalah

Dengan kondisi kerja seperti ini, operator merasa kelelahan karena tempat dan sistem kerjanya yang kurang ergonomis sehingga jika hal ini terus terjadi, akan menimbulkan keluhan kesehatan pada operator saat melakukan pekerjaannya. Kelelahan dan keluhan kesehatan ini akan membuat operator menjadi kurang konsentrasi dalam melakukan pekerjaannya serta membuat performa operator menjadi menurun.

Masalah ini diangkat menjadi topik penelitian karena masalah ini penting untuk dianalisis lebih jauh. Dengan merancang stasiun kerja yang lebih optimal, aman, dan nyaman melalui analisis ergonomi, serta menempatkan operator yang tepat untuk menyelesaikan pekerjaan tertentu, hal ini diharapkan dapat membuat operator bekerja lebih baik, efisien, dan produktif sehingga operator dapat berkonsentrasi dalam melakukan pekerjaannya serta berkurangnya keluhan kesehatan serta diharapkan pula terjadi peningkatan dari performa operator.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian kali ini adalah untuk:

- Mengevaluasi postur kerja yang dialami oleh operator *assy unit* di *station numbering* dan *station press* kondisi aktual dengan menggunakan *software* Jack melalui *Posture Evaluation Index* (PEI).
- Memberi masukan berupa rancangan tempat kerja yang aman dan nyaman melalui analisis ergonomi serta masukan berupa alat bantu yang tepat.
- Memberi *input* berupa ukuran tubuh atau antropometri operator yang tepat berupa tinggi dan berat badan operator pada *station numbering*, dan *press*.

#### **1.5 Ruang Lingkup Masalah**

Agar pembuatan skripsi ini menjadi lebih terarah, maka perlu diberikan batasan atau ruang lingkup yang jelas tentang penelitian ini. Fokus pembahasan penulisan atau ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- Penelitian dilakukan pada salah satu perusahaan otomotif penghasil sepeda motor.
- Penelitian dilakukan pada *assembly unit* atau bagian perakitan di *line A*.

- Penelitian ini memfokuskan pada salah satu tipe motor yaitu tipe CH karena tipe ini adalah tipe yang paling banyak dibuat di *plant 1* ini.
- Penelitian ini memfokuskan pada masalah postur dan analisis tempat kerja melalui analisis PEI (*Posture Evaluation Index*).
- Penelitian ini dilakukan pada 2 *station* yaitu *station numbering* dan *press*.
- Penelitian ini hanya sampai tahap pemberian masukan namun masukan ini belum diterapkan pada perusahaan.
- Penelitian ini juga tidak memperhitungkan masalah penurunan *reject*, produktivitas, maupun *cost*.

## 1.6 Metodologi Penelitian

Metode penelitian yang dilakukan dalam skripsi ini adalah sebagai berikut:

### 1. Tahap awal penelitian

- Menentukan tema penelitian dengan membaca referensi dari jurnal maupun buku.
- Mencari perusahaan untuk pengambilan data.
- Mempelajari *flow process* yang ada di perusahaan tersebut.
- Memilih 2 *station* untuk diteliti lebih jauh mengenai beban kerja yang ada di sana. Pemilihan *station* tersebut telah dijelaskan dalam latar belakang.
- Melakukan penelitian awal serta *interview* mengenai kondisi kerja operator di *station* yang telah dipilih di awal.
- Menentukan masalah dan tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini.
- Menentukan dasar teori dan metodologi yang akan digunakan dalam penelitian ini.

### 2. Tahap pengumpulan data

- Mengumpulkan data keluhan berdasarkan hasil kuesioner yang diwawancarakan.
- Mengumpulkan data *motion study* berupa postur gerakan dari kegiatan operator di *station numbering* dan *press* pada bagian *assembling unit*.

- Mengumpulkan data faktor lingkungan seperti kelembaban, kebisingan, pencahayaan, dan temperatur.
- Mengumpulkan data mesin dan kereta *part* yang terlibat dalam proses.
- Mengumpulkan data *part-part* yang terlibat dalam proses.
- Mengumpulkan data *layout* dari *station* yang telah dipilih sebelumnya.
- Mengumpulkan data *time study* dari setiap elemen yang dikerjakan operator di *station* yang telah dipilih.
- Mengumpulkan data antropometri tubuh operator.

### 3. Tahap pengolahan data

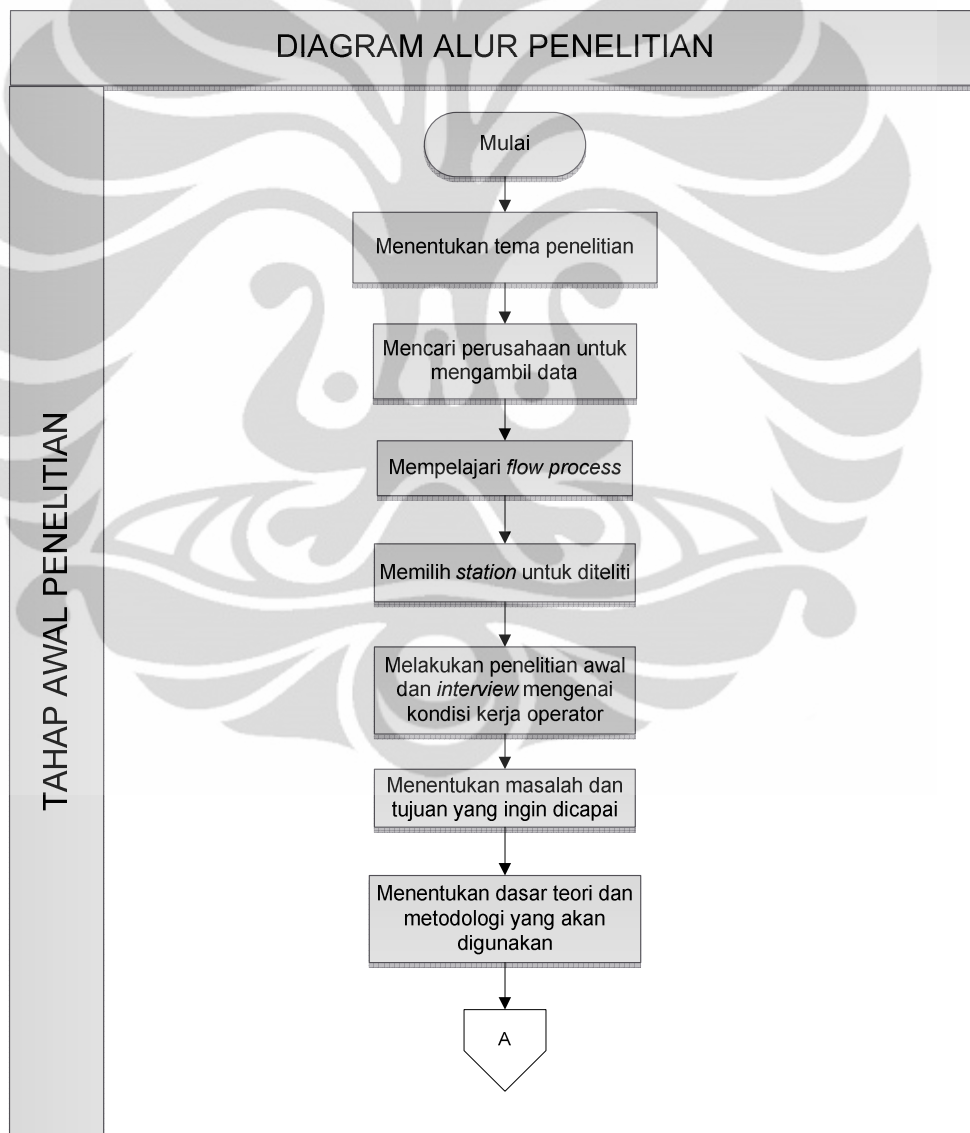
- Mengolah data waktu observasi menjadi data waktu standard untuk setiap elemen kerja serta menghitung persentil antropometri operator.
- Membuat mesin kerja, kereta *part*, *part-part* yang terlibat serta alat bantu yang akan diusulkan ke dalam SolidWorks kemudian mengubahnya ke dalam bentuk atau format yang dapat dibaca oleh Jack.
- Memasukkan data mesin kerja, kereta *part*, serta *part-part* yang terlibat dengan *layout* yang disesuaikan dengan kondisi aktual ke Jack untuk menggambarkan *virtual environment*-nya.
- Membuat manusia virtual dengan memasukkan data antropometri operator ke Jack.
- Mensimulasikan kondisi aktual yang ada pada kedua *station* tersebut.
- Menentukan konfigurasi yang tepat untuk tempat kerja yang lebih ergonomis.
- Mensimulasikan kondisi usulan untuk kedua *station* tersebut berdasarkan konfigurasi dan alat bantu yang telah ditetapkan kemudian dicari konfigurasi yang paling optimal dan antropometri operator yang paling tepat.

### 4. Tahap analisis data

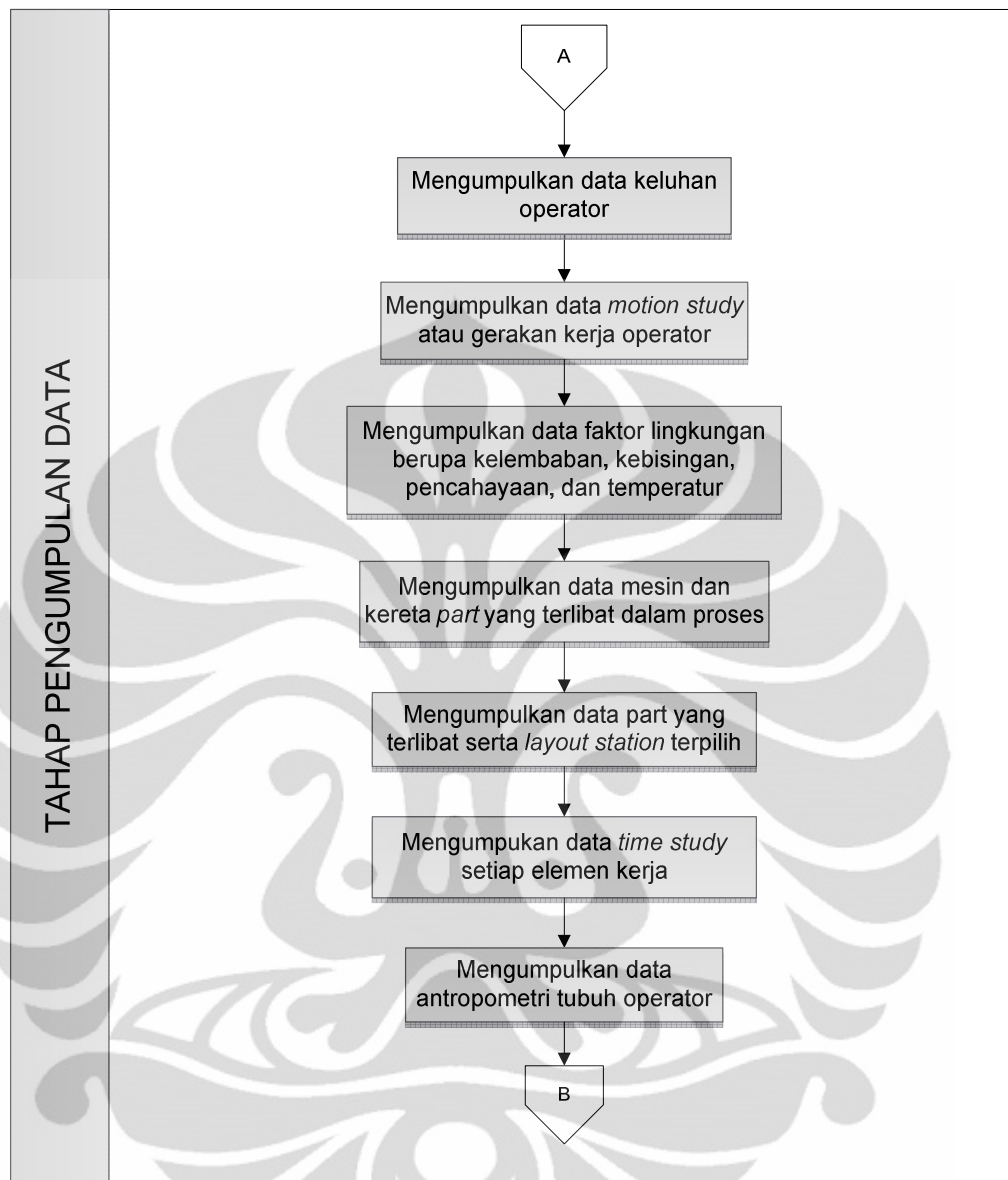
- Menganalisis output kondisi aktual yang dihasilkan oleh Jack, menghitung dan menganalisis nilai PEI yang dihasilkan.

- Menganalisis output kondisi usulan yang dihasilkan oleh Jack, menghitung dan menganalisis nilai PEI yang dihasilkan.
  - Menentukan rancangan tempat kerja yang lebih ergonomis serta menentukan alat bantu yang tepat dan antropometri operator yang tepat untuk *station numbering* dan *press*.
5. Tahap pembuatan kesimpulan
- Membuat kesimpulan dan saran dari hasil analisis

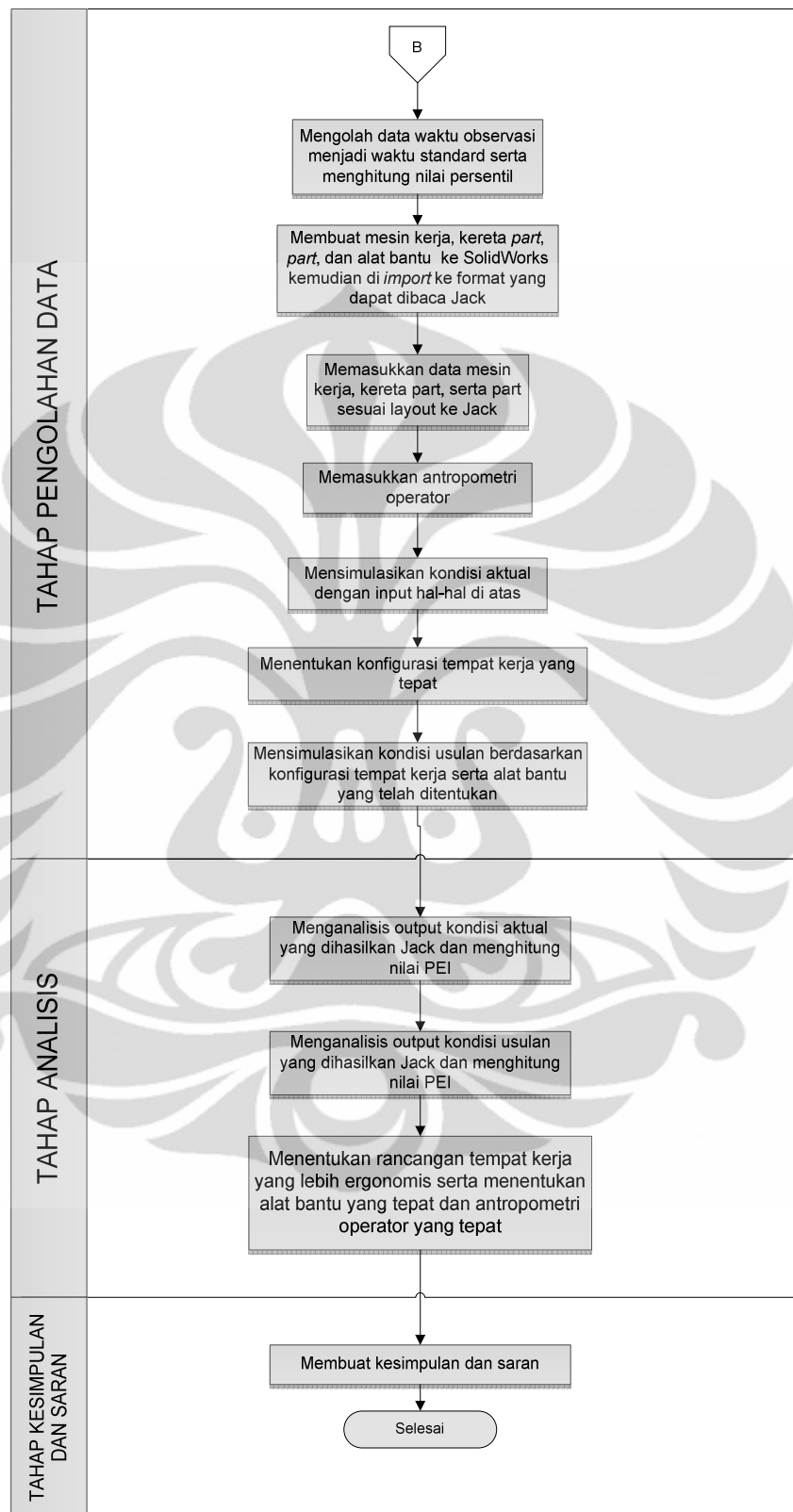
Gambar 1.2 berikut adalah diagram alur metodologi penelitiannya:



**Gambar 1.2** Diagram Alur Metodologi Penelitian



**Gambar 1.3** Diagram Alur Metodologi Penelitian (Sambungan)



**Gambar 1.4** Diagram Alur Metodologi Penelitian (Sambungan)



## 1.7 Sistematika Penulisan

Penyusunan laporan ini dilakukan dengan mengikuti aturan sistematika penulisan yang baku sehingga memudahkan penulis dalam proses penyusunan dan memudahkan pembaca ketika membaca laporan ini. Laporan ini terdiri dari lima bab yaitu, Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Tinjauan Pustaka, Bab 3 Metode Penelitian, Bab 4 Analisis, Bab 5 Kesimpulan.

Bab 1 merupakan pendahuluan yang terdiri dari latar belakang masalah, diagram keterkaitan masalah, perumusan masalah, tujuan penelitian, ruang lingkup masalah, metodologi penelitian, dan sistematika penelitian. Diagram keterkaitan masalah berisi argumen yang digambarkan melalui sebuah diagram tentang alasan penulisan penelitian beserta masalah dan solusinya. Perumusan masalah berisi masalah yang akan dicari penyelesaiannya. Tujuan penelitian berisi tujuan yang ingin dicapai dari penelitian. Ruang lingkup berisi batasan dalam mengerjakan penelitian. Metodologi penelitian berisi langkah yang akan ditempuh dalam menyelesaikan penelitian dan metode yang akan digunakan dalam penyelesaian masalah. Sistematika penulisan berisi susunan penulisan penelitian.

Bab 2 berisi landasan teori yang didalamnya akan dibahas mengenai ergonomi, antropometri, tempat dan postur kerja yang ergonomis, waktu standard dan waktu siklus, keluhan kesehatan, *software* Jack, dan PEI (*Posture Evaluation Index*).

Bab 3 merupakan metode penelitian yang berisi kumpulan data dan pengolahan data menggunakan metode yang telah dijelaskan pada Bab 2. Kumpulan data berupa semua data yang telah di dapat dari perusahaan yaitu data mengenai proses kerja, postur kerja dan tempat kerja, antropometri operator. Untuk pengolahan data berisi cara pengolahan data serta simulasi yang dilakukan pada *software* Jack.

Bab 4 berisi analisis dari hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada Bab 3. Analisis tersebut adalah analisis dari *output* yang dikeluarkan oleh Jack berupa nilai PEI yang dihasilkan serta membandingkan PEI kondisi aktual dan PEI usulan, sehingga dari analisis tersebut dapat diketahui tempat kerja seperti apa yang paling ergonomis.

Bab 5 berupa bab yang berisi kesimpulan dan saran dari hasil penelitian yang telah diolah dan dianalisis kemudian berikan saran atau masukan perbaikan melalui hasil pengolahan dan analisis data.



## BAB 2 DASAR TEORI

### 2.1 Ergonomi

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani yaitu *ergon* yang berarti kerja dan *nomos* yang berarti hukum. Ergonomi merupakan ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dan mesin serta faktor yang mempengaruhi interaksi tersebut. Ergonomi juga merupakan ilmu yang mempelajari tentang kerja: orang yang melakukan pekerjaan tersebut dan bagaimana dia melakukannya; alat dan peralatan yang digunakan, tempat kerja mereka, dan aspek psikososial dari situasi kerja (Pheasant, 2003).

Menurut Satalaksana (1979), ergonomi merupakan ilmu yang sistematis untuk memanfaatkan informasi-informasi mengenai sifat, kemampuan dan keterbatasan manusia untuk merancang suatu sistem kerja sehingga orang dapat hidup dan bekerja pada sistem itu dengan baik serta mencapai tujuan yang diinginkan melalui pekerjaan itu dengan efektif, nyaman, aman, sehat dan efisien. Pengertian ergonomi juga diungkapkan oleh berbagai ahli lain seperti yang terdapat pada **Tabel 2.1** berikut.

**Tabel 2.1** Definisi dari *Human Factors* and Ergonomi

Penulis	Definisi dari <i>Human Factors</i> and Ergonomi
Murrell, 1965	Ilmu yang mempelajari hubungan antara manusia dan lingkungan kerjanya. Dalam pengertian ini, istilah ergonomi tidak hanya meliputi lingkungan tempat kerjanya tapi juga peralatan dan materialnya, metode kerjanya dan organisasi tempat bekerjanya, baik secara individu maupun bekerja secara berkelompok. Semua hal itu berhubungan dengan sifat dasar dari dirinya sendiri seperti kemampuannya, kapasitasnya, dan keterbatasannya.
Grandjean, 1980	Ilmu yang mempelajari kelakuan manusia dengan hubungannya terhadap pekerjaannya. Prinsip yang paling penting dalam ergonomi adalah mencocokkan pekerjaan dengan manusianya. Interdisiplin dari ergonomi adalah fisiologi, psikologi, antropometri, dan berbagai aspek keteknikan.

**Tabel 2.1** Definisi dari *Human Factors* and Ergonomi (Sambungan)

Penulis	Definisi dari <i>Human Factors</i> and Ergonomi
Mesiter, 1989	Ilmu yang mempelajari bagaimana manusia menyelesaikan pekerjaannya dalam konteks operasi antara manusia dan mesin serta bagaimana variable kelakukan dan yang bukan kelakunan mempengaruhi penyelesaian tersebut
Sanders and McCormick, 1993	Menemukan dan menerapkan informasi tentang kelakukan manusia, kemampuan, keterbatasan, dan karakteristik lain untuk merancang peralatan, mesin, tugas, pekerjaan, dan lingkungan agar produktif, aman, nyaman, dan efektif digunakan manusia

Sumber: Dempsey, P.G., Wolgalter, M.S., and Hancock, P.A. (2000), *Theor. Issues Ergonomics Sci*, 1, 3–10.

Berdasarkan definisi tersebut, dapat disimpulkan bahwa bidang *human factors* and ergonomi meliputi (Stanton, Neville, et al. 2005) :

- Kemampuan manusia dan keterbatasannya
- Interaksi antara manusia dan mesin
- Kerja tim
- Peralatan, mesin, dan rancangan dari material
- Faktor lingkungan
- Perancangan dari pekerjaan dan organisasi

Melalui penjabaran di atas dapat ditegaskan bahwa ergonomi menganalisis *performance* manusia, keamanan, kenyamanan, kesehatan, dan kepuasan melalui pengembangan dan pengaplikasian metode untuk meningkatkan *performance*-nya dengan prinsip yang harus selalu ditegaskan yaitu *fitting the task/job to the man* yang berarti bahwa pekerjaan harus disesuaikan dengan pekerjaannya. Dengan demikian, tujuan dari ergonomi menurut Bridger (2003) adalah untuk memperbaiki *performance* dari suatu sistem dengan memperbaiki interaksi manusia dengan mesin atau lingkungannya sehingga meningkatkan reabilitas, efisiensi, dan produktivitas manusia saat melakukan pekerjaannya dan meminimumkan tingkat *human error*. Selain itu, untuk meningkatkan keselamatan kerja, mengurangi kelelahan dan ketegangan mental, serta meningkatkan kenyamanan kerja.

Ada tiga pendekatan ergonomi yang lebih komprehensif yang dinyatakan oleh Sanders dan McCormick (1993) yaitu fokus utama, tujuan, dan pendekatan

utama. Fokus utama yaitu ergonomi fokus pada unsur manusia dan interaksinya dengan produk, peralatan, fasilitas, dan lingkungan kerjanya, sedangkan tujuan yang ingin dicapai ergonomi adalah peningkatan efektivitas dan efisiensi kerja yang dihasilkan oleh sistem manusia-mesin namun tetap mempertahankan unsur kenyamanan serta keselamatan kerja sebaik mungkin. Terakhir adalah pendekatan dimana ergonomi menggunakan informasi mengenai kemampuan dan keterbatasan manusia pada perancangan sistem kerja maupun prosedur kerja.

Menurut Satalaksana (1982), ergonomi sendiri dikelompokkan menjadi 4 bidang penelitian, yaitu:

a. Penelitian tentang tampilan (*display*)

*Display* adalah perangkat yang mampu menyajikan informasi tentang keadaan lingkungan dan mengkomunikasikannya kepada manusia dalam bentuk tanda, angka, lambang, dan lainnya. Contoh *display* adalah peta, *sign*, rambu lalu lintas, dan lain-lain.

b. Penelitian tentang kekuatan fisik manusia

Penelitian ini mengukur kekuatan serta ketahanan fisik manusia pada saat kerja serta mempelajari perancangan objek serta peralatan yang sesuai dengan kemampuan fisik manusia pada saat melakukan aktivitasnya.

c. Penelitian mengenai tempat kerja

Tempat kerja yang baik adalah tempat kerja yang sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia. Hal ini dapat diperoleh jika ukuran-ukuran tersebut sesuai dengan dimensi tubuh manusia. Penelitian ini banyak berhubungan dengan antropometri yang bertujuan untuk mendapatkan rancangan tempat kerja yang sesuai dengan ukuran dimensi tubuh manusia.

d. Penelitian mengenai lingkungan fisik

Kondisi lingkungan fisik tempat dan fasilitas kerja yang biasa digunakan manusia. Contohnya adalah iklim, suhu, kebisingan, kelembaban, pencahayaan, dan lainnya.

Istilah ergonomi sering dikaitkan dengan istilah *human factors*. Banyak ahli yang berpendapat bahwa ergonomi adalah sinonim dari *human factors* namun ada pula yang berpendapat bahwa ergonomi dan *human factors* merupakan dua hal yang berbeda, yaitu ergonomi lebih dikaitkan dengan aspek kerja fisik,

sedangkan *human factors* berkaitan dengan aspek kognitif dan persepsi (Karwowski, 2006). Ada pula yang membedakan ergonomi dan *human factors* berdasarkan lokasi penggunaannya, yaitu *human factors* lebih sering digunakan di Amerika Serikat dan beberapa negara lain sedangkan istilah ergonomi lebih sering digunakan di negara-negara Eropa (Sanders and McCormick, 1993).

## 2.2 Antropometri

Antropometri berasal dari “*anthro*” yang berarti manusia dan “*metri*” yang berarti ukuran. Antropometri merupakan cabang ilmu pengetahuan yang berhubungan dengan ukuran tubuh, berupa bentuk, kekuatan, ukuran, dan kapasitas kerja manusia (Pheasant, 2003). Sedangkan menurut Satalaksana (1982), antropometri merupakan salah satu kajian ergonomi yang berhubungan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia untuk digunakan dalam perancangan peralatan dan fasilitas sehingga sesuai dengan pemakainya.

Antropometri merupakan salah satu disiplin ilmu yang sangat bermanfaat dalam mencapai kondisi sistem dan produk yang ergonomis dan biasanya data antropometri digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk merancang sistem kerja dan alat yang digunakan untuk bekerja secara ergonomis serta mengoptimalkan dimensi dari benda kerja yang digunakan oleh manusia yang memiliki karakteristik yang berbeda – beda, bahkan untuk mengembangkan suatu produk. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi yang berkaitan dengan produk yang dirancang tersebut.

Dalam kaitan ini maka perancang produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari yang terbesar hingga dimensi tubuh terkecil dari populasi sehingga minimal 90% sampai dengan 95% dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk mampu menggunakannya dengan sebaik-baiknya. Pada dasarnya peralatan kerja yang dibuat melalui dimensi tubuh tertentu jarang bisa mengakomodasikan seluruh range ukuran tubuh dari pemakainya sehingga kemampuan penyesuaian suatu produk terhadap antropometri pemakainya merupakan syarat yang penting dalam proses perancangan.

Dimensi tubuh manusia dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu:

1. Usia

Umumnya dimensi tubuh manusia akan tumbuh dan bertambah besar, seiring dengan bertambahnya usia, yaitu sejak awal kelahiran sampai dengan umur 20 tahunan. Menurut penelitian, biasanya lelaki akan tumbuh dan berkembang naik sampai dengan usia 21 tahun, sedangkan wanita pada usia 17 tahun.

2. Jenis kelamin

Secara distribusi statistik ada perbedaan yang signifikan antara dimensi tubuh pria dan wanita. Pria pada umumnya memiliki dimensi tubuh yang lebih besar dari pada wanita kecuali bagian pinggul dan paha.

3. Suku Bangsa

Setiap suku bangsa memiliki karakteristik fisik yang berbeda satu dengan lainnya. Bangsa Amerika dan Eropa biasanya memiliki ukuran tubuh yang lebih besar dibandingkan dengan bangsa Asia.

4. Kondisi sosial ekonomi dan konsumsi gizi yang diperoleh

Dengan asupan gizi yang baik, biasanya ukuran tubuh manusia menjadi lebih besar dibanding dengan yang asupan gizinya kurang baik.

5. Pekerjaan dan aktivitas sehari-hari

6. Kondisi waktu pengukuran

Waktu pengukuran akan mempengaruhi ukuran antropometri tubuh manusia. Saat ini, umumnya dimensi tubuh manusia lebih besar dibanding dengan ukuran tubuh manusia di masa lalu.

7. Posisi tubuh

8. Cacat tubuh

9. Kehamilan

### 2.2.1 Jenis Pengukuran Antropometri

Secara garis besar, Sutalaksana (1982) membagi antropometri menjadi dua bagian, yaitu:

1. Antropometri Statis (Pengukuran Struktural)

Pengukuran dimensi tubuh manusia yang dilakukan saat tubuh dalam posisi diam dan linier pada permukaan tubuhnya. Dimensi tubuh yang diukur pada

posisi ini antara lain berat badan, tinggi tubuh dalam posisi berdiri maupun duduk, ukuran kepala, tinggi/panjang lutut pada saat berdiri/ duduk, panjang lengan, dan sebagainya.

## 2. Antropometri Dinamis (Pengukuran Fungsional)

Pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam keadaan bergerak atau memperhatikan gerakan yang mungkin terjadi saat pekerja tersebut melaksanakan aktivitas fisik, dimana fungsi anggota tubuh tertentu menjadi perhatian utama. Contohnya adalah pengukuran sudut putaran telapak tangan.

### 2.2.2 Konsep Persentil Data Antropometri

Dalam penggunaannya, data antropometri tidak langsung digunakan dalam perancangan suatu sistem kerja. Data antropometri tersebut memerlukan tahapan-tahapan lebih lanjut antara lain:

- Analisis data antropometri bagian tubuh mana yang berhubungan langsung atau dipengaruhi secara langsung oleh rancangan.
- Memilih persentil data antropometri yang cocok dalam pembuatan dimensi rancangan.

Konsep persentil sangat penting dalam merancang suatu stasiun kerja maupun desain suatu produk. Persentil penting untuk desain karena persentil membantu dalam mengestimasi persentase dari pengguna pada populasi tersebut yang akan diakomodasikan oleh desain yang dirancang (Wickens, C.D. et al, 2004). Persentil juga digunakan untuk menentukan dimensi alat maupun produk yang akan digunakan.

Pemilihan persentil yang digunakan untuk perancangan dipengaruhi oleh tujuan dan jenis perancangan seperti pembuatan dimensi minimum untuk tinggi pintu, lebar alas duduk, dan sebagainya harus menggunakan persentil tinggi seperti 95% atau 99%, sedangkan untuk pembuatan dimensi maksimum seperti tinggi letak kunci pintu, kedalaman dan ketinggian kursi, dan sebagainya harus menggunakan persentil rendah seperti 1%, 5%, dan 10%. Hal ini bertujuan agar hasil rancangan dapat digunakan oleh seluruh populasi.



### 2.3 Perancangan Tempat Kerja

Dalam merancang tempat kerja, terdapat beberapa aspek ergonomi yang harus diperhatikan sebagai berikut:

#### 1. Sikap dan posisi kerja

Untuk menghindari sikap dan posisi kerja yang kurang nyaman, yang perlu diperhatikan dalam merancang tempat kerja adalah:

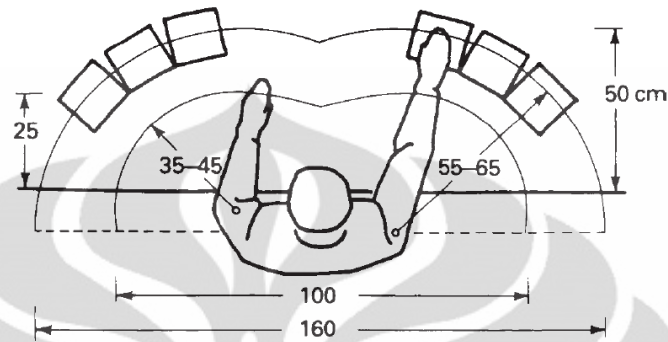
- Meminimalkan kemungkinan operator bekerja dalam posisi membungkuk dengan frekuensi tinggi dan jangka waktu lama. Untuk mengatasi masalah tersebut maka perancangan tempat kerja harus memperhatikan fasilitas kerja seperti meja kerja, kursi, dan yang lainnya agar sesuai dengan antropometri operator agar operator tetap bekerja dengan posisi tegak dan normal terutama jika pekerjaan dilakukan pada posisi berdiri.
- Operator sebaiknya tidak menggunakan jangkauan maksimum yang bisa dilakukan.
- Operator sebaiknya tidak duduk atau berdiri pada saat bekerja dalam waktu yang lama dengan kepala, leher, dada, atau kaki pada posisi miring.
- Operator sebaiknya tidak bekerja dalam frekuensi sering dan periode yang lama dengan posisi tangan diatas siku.

Dalam merancang tempat kerja yang menghasilkan postur paling ideal dan ergonomis, yang perlu dilakukan adalah:

- Menentukan Ketinggian Meja Kerja dengan Menyesuaikan Tinggi Siku  
Permukaan meja kerja yang nyaman untuk bekerja, yaitu pada saat posisi tangan bagian atas tergantung natural dan siku membentuk sudut  $90^0$ . Tangan bagian bawah paralel dengan tanah. Tinggi siku menjadi acuan untuk ketinggian permukaan kerja. *Fatigue* (cedera) pada bahu akan terjadi jika permukaan kerja terlalu tinggi serta cedera punggung dapat terjadi jika terlalu rendah karena leher dan punggung tertekuk ke depan.
- Menyesuaikan Tinggi Meja Kerja dengan Pekerjaan yang Dikerjakan  
Baik untuk operator dalam posisi kerja berdiri maupun duduk, permukaan kerja paling baik disesuaikan dengan posisi siku pada keadaan istirahat.

- Menyediakan Tempat Duduk yang Nyaman Bagi Operator yang duduk  
Mengurangi ketegangan pada kaki dan memperhatikan aliran energi merupakan sesuatu yang penting untuk diperhatikan saat postur duduk. Jangan sampai postur duduk yang salah menyebabkan kelainan pada tulang belakang seperti kifosis.
- Menyediakan Tempat Duduk yang Dapat Disesuaikan (*Adjustable*)  
Seperti yang telah disebutkan pada *point* di atas, agar didapatkan kenyamanan yang optimal untuk operator, sebaiknya disediakan kursi yang dapat disesuaikan dengan kondisi operator yaitu kursi dengan desain yang memiliki *range* ukuran yang beragam dari yang paling kecil sampai yang paling besar.
- Mendukung Fleksibilitas Tubuh  
Melakukan pekerjaan dengan posisi yang monoton akan menyebabkan peredaran darah yang kurang lancar dan *fatigue*. Dengan menyediakan alat yang dapat disesuaikan ketinggiannya diharapkan dapat memberikan kebebasan bagi operator untuk melakukan pekerjaan dengan berdiri atau duduk sehingga dengan bantuan alat tersebut, pekerjaan dapat dilakukan secara efisien pada posisi duduk ataupun berdiri.
- Menyediakan Karpet *anti-fatigue* Bagi Operator yang Berdiri  
Berdiri pada permukaan lantai semen dalam jangka waktu yang lama dapat menyebabkan *fatigue*. Oleh karena itu, operator harus didukung dengan karpet *antifatigue*. Karpet ini membuat kontraksi otot kaki menjadi kecil dan mendorong darah untuk tetap mengalir pada kaki bagian bawah.
- Menempatkan Peralatan dan Material pada Tempat Kerja yang Terjangkau  
Pada setiap gerakan, jarak merupakan faktor yang penting. Semakin jauh jarak, semakin besar energi, usaha dan waktu yang digunakan sehingga sangat penting untuk memperkecil jarak. Area jangkauan yang baik adalah sesuai dengan jangkauan tangan manusia.  
*Kodak's Ergonomi Design for People at Work* (2002) menyatakan, meski pekerja dapat bergerak dengan bebas, tetapi semua peralatan atau

alat kerja yang dibutuhkan harus berada pada jangkauan pekerja untuk menghindari posisi-posisi kerja yang ekstrim seperti jangkauan berlebih, membungkuk, memutar badan, dan posisi kepala tidak alami karena alasan visual. **Gambar 2.1** berikut adalah gambar jangkauan tangan manusia.



**Gambar 2.1** Jangkauan Normal dan Maksimum Secara Horizontal

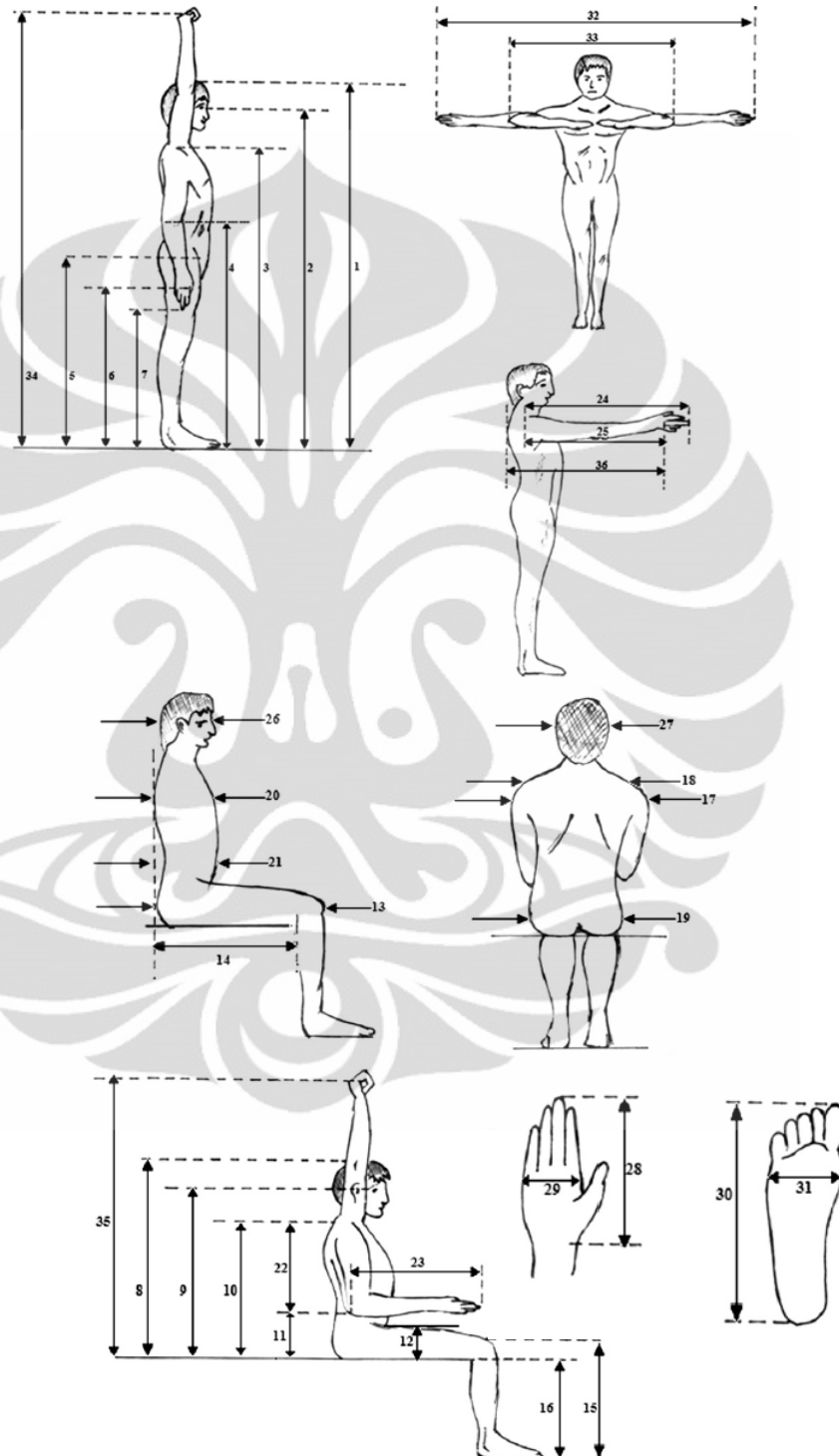
Sumber: Stephen Pheasant, *Bodyspace*, Second Edition, Taylor & Francis, London, 2003, p.55

- Menempatkan Peralatan dan Material pada Tempat yang Tetap

Untuk memudahkan operator dalam bekerja serta efisiensi waktu, sebaiknya semua peralatan berada ditempat yang tetap atau tidak berubah-ubah sehingga operator tidak perlu berpikir panjang karena lupa dimana peralatannya diletakkan. Selain itu, agar pemindahan peralatan dan material menjadi lebih mudah, dapat dilakukan juga cara berikut:

- a. Memanfaatkan gaya gravitasi untuk memindahkan barang sehingga dapat mengurangi waktu menjangkau dan pindah. Selain mengurangi waktu, penggunaan gaya gravitasi untuk perpindahan juga dapat membuat energi yang digunakan menjadi lebih kecil dibandingkan dengan gerakan mengangkat karena berlawanan dengan gaya gravitasi.
- b. Menyusun peralatan dan komponen lain secara optimal untuk minimalisasi gerakan. Prinsip yang harus dipatuhi, perancang harus mengetahui lokasi komponen dan hubungan diantaranya, faktor fungsional serta waktu penggunaan. Komponen yang sering digunakan diletakkan di tempat yang mudah dijangkau dan komponen yang memiliki fungsi yang sama, dikelompokkan dalam satu tempat. Pada proses *assembly*, sebaiknya komponen diletakkan sesuai dengan urutan perakitan.

**Gambar 2.2** berikut merupakan gambaran detail antropometri manusia. Semua data dibawah ini akan dibutuhkan dalam perancangan suatu produk maupun sistem kerja yang ergonomis.



**Gambar 2.2** Data Antropometri Detail Tubuh Manusia

Sumber: Chuan, Tan Kay et al, (2010). Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations. International Journal of Industrial Ergonomics. Elsevier. p. 758-759

**Universitas Indonesia**

Keterangan detail dari gambar di atas, terlihat pada **Tabel 2.2** berikut ini.

**Tabel 2.2** Keterangan Data Antropometri Detail Tubuh Manusia

No.	Dimensi Tubuh	No.	Dimensi Tubuh
1	Stature	20	Chest (bust) depth
2	Eye height	21	Abdominal depth
3	Shoulder height	22	Shoulder-elbow length
4	Elbow height	23	Elbow-fingertip length
5	Hip height	24	Upper limb length
6	Knuckle height	25	Shoulder-grip length
7	Fingertip height	26	Head length
8	Sitting height	27	Head breadth
9	Sitting eye height	28	Hand length
10	Sitting shoulder height	29	Hand breadth
11	Sitting elbow height	30	Foot length
12	Thigh thickness	31	Foot breadth
13	Buttock-knee length	32	Span
14	Buttock-popliteal length	33	Elbow span
15	Knee height	34	Vertical grip reach (standing)
16	Popliteal height	35	Vertical grip reach (sitting)
17	Shoulder breadth (bilateral)	36	Forward grip reach
18	Shoulder breadth (biacromial)	37	Body weight (kg)
19	Hip breadth		

Sumber : Chuan, Tan Kay et al, (2010). Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations. *International Journal of Industrial Ergonomics*. Elsevier. p. 758-759

## 2. Antropometri dan Dimensi Ruang

Data Antropometri yang menyangkut ukuran fisik atau fungsi tubuh manusia termasuk ukuran linier, berat volume, ruang gerak, dan lainnya, sangat bermanfaat dalam perancangan peralatan kerja atau fasilitas kerja. Selain itu, data antropometri akan bermanfaat dalam memilih fasilitas kerja yang sesuai dengan ukuran tubuh operator serta merencanakan dimensi ruang kerja. Ergonomi mengharuskan peralatan dan fasilitas kerja disesuaikan dengan penggunaannya khususnya yang menyangkut dimensi tubuh. Dalam menentukan ukuran maksimum atau minimum biasanya digunakan data antropometri antara persentil 5 dan 95.

Dalam menentukan dimensi ruang kerja, yang perlu diperhatikan adalah jarak jangkauan yang bisa dilakukan oleh operator, batasan-batasan ruang yang

nyaman dan cukup memberikan keleluasaan gerak operator serta kebutuhan area minimum yang harus dipenuhi untuk kegiatan-kegiatan tertentu.

### 3. Kondisi Lingkungan Kerja

Walaupun telah diseleksi dengan ketat operator yang sehat sehingga diharapkan dapat beradaptasi dengan situasi dan lingkungan fisik kerja yang bervariasi seperti temperatur, kelembaban, getaran, kebisingan dan lainnya, akan tetapi stress akibat lingkungan kerja akan terus berakumulasi dan secara tiba-tiba dapat menyebabkan sesuatu yang fatal. Adanya lingkungan fisik kerja yang bising, panas atau atmosfer yang tercemar menyebabkan performa kerja operator menurun sehingga pada saat perancangan stasiun kerja harus dipikirkan seluruh aspek lingkungan fisik kerja yang memiliki potensi bahaya serta dipikirkan sistem pengendaliannya. Dengan demikian kondisi bahaya dapat diantisipasi dan dapat diambil tindakan preventif.

### 4. Efisiensi Gerakan dan Pengaturan Fasilitas Kerja

Perancangan sistem kerja haruslah memperhatikan prosedur agar tercapai prinsip ekonomis pada gerakan kerja sehingga dapat memperbaiki efisiensi dan mengurangi kelelahan kerja.

### 5. Energi yang Dikonsumsi

Tujuan pokok dari perancangan kerja seharusnya bisa menghemat energi yang harus dikonsumsi untuk menyelesaikan suatu kegiatan. Aplikasi prinsip-prinsip ergonomi dan ekonomi gerakan dalam tahap perancangan dan pengembangan sistem kerja secara umum akan dapat meminimalkan energi yang harus dikonsumsi dan meningkatkan efisiensi *output* kerja.

## 2.4 Desain Stasiun Kerja Posisi Berdiri

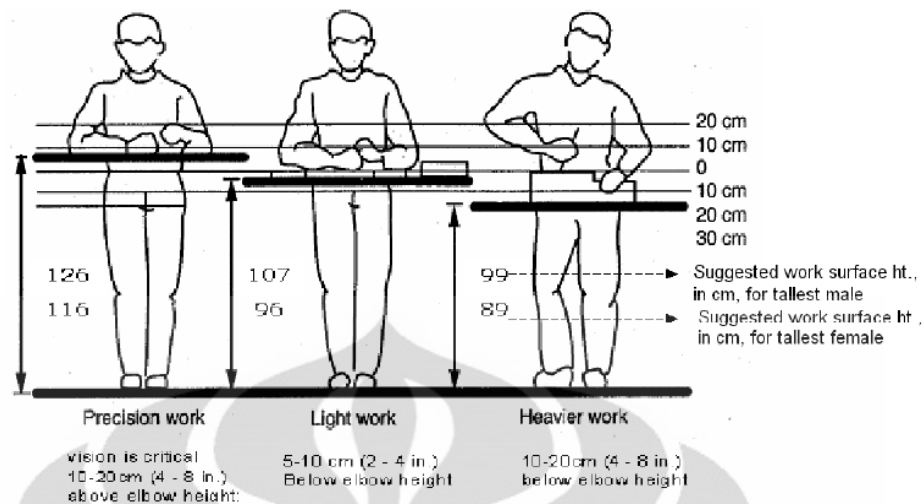
Posisi kerja berdiri digunakan jika pada suatu pekerjaan posisi duduk tidak memungkinkan untuk dilakukan karena keterbatasan jangkauan area pekerjaan yang terlalu luas serta pekerjaan tertentu memerlukan posisi kerja yang lebih fleksible. Menurut Sotalaksana (2000) sikap berdiri merupakan sikap siaga baik fisik maupun mental, sehingga aktivitas kerja yang dilakukan lebih cepat, kuat, dan teliti sehingga posisi berdiri banyak ditemukan pada perusahaan. Namun

berdiri merupakan kegiatan yang melelahkan daripada duduk dan energi yang dikeluarkan untuk berdiri lebih banyak 10-15% dibandingkan dengan duduk.

Faktor kelelahan menjadi penting untuk dipertimbangkan jika pekerja harus bekerja dalam posisi berdiri dengan waktu yang lama. Untuk meminimalkan pengaruh kelelahan dan keluhan, maka pekerjaan harus didisain agar tidak terlalu banyak menjangkau, membungkuk, atau melakukan gerakan dengan posisi kepala yang tidak ilmiah.

Menurut Pulat (1992) dibutuhkan data beberapa faktor dimensi untuk perancangan, yaitu posisi mata yang tepat yang digunakan untuk mengukur jangkauan penglihatan yang sesuai kaidah, jarak jangkauan tangan, ketinggian dan lebar dari area kerja. Beberapa rekomendasi ketinggian meja kerja yang ideal sesuai jenis pekerjaan untuk *standing workstation* berdasarkan *guideline for the design of standing workstation* yang dibuat oleh *Ergonomic System Associates Incorporated* pada tahun 2009 adalah sebagai berikut:

- Untuk pekerjaan yang membutuhkan ketelitian penglihatan (*precision work*) seperti menyetik atau *electronic assembly*, untuk mengurangi pembebanan statis pada otot bagian belakang, lebih baik untuk menaikkan permukaan kerja 2-4 inch atau 5-10 cm di atas tinggi siku. Agar lebih mudah, permukaan kerjanya dapat dimiringkan sebesar 15<sup>0</sup>.
  - Untuk pekerjaan yang melibatkan pengangkatan komponen yang berat, mendorong, menarik, memindahkan, atau pekerjaan yang membutuhkan banyak gaya (*heavy work*) akan lebih baik untuk merendahkan permukaan kerja 4 hingga 8 inci atau 10 hingga 20 cm di bawah tinggi siku pekerja saat posisi berdiri.
  - Untuk pekerjaan normal atau ringan (*light or normal work*), sebaiknya tinggi tempat kerja lebih rendah 2 – 4 inci atau 5 – 10 cm di bawah tinggi siku.
- Gambar 2.3** berikut menggambarkan ketinggian kerja yang optimal dalam industry perakitan.



**Gambar 2.3** Penentuan Ketinggian Permukaan Kerja Pada *Standing Workstation*

Sumber: Guideline for the Design of Standing Workstation, 2009

Tinggi landasan kerja adalah jarak ketinggian dari pijakan kaki pekerja hingga titik handling benda kerja. Ketinggian landasan kerja ini juga dipengaruhi oleh beban benda kerja yang diangkat atau ditangani. Untuk beban yang tergolong kategori berat, tinggi ideal yang direkomendasikan adalah antara ketinggian genggam tangan dan tinggi siku. Aturan lebih jelas dilihat pada **Tabel 2.3** berikut:

**Tabel 2.3** Aturan Ketinggian Pengangkatan Berdasarkan Beban

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

Sumber: Martin Helander, *A Guide to Human Factors and Ergonomics, 2nd Edition*, 2003

Dalam perancangan tempat kerja, terdapat tiga buah prinsip umum pengaplikasian data antropometri yang harus diperhatikan. Ketiga prinsip tersebut adalah sebagai berikut:

**Universitas Indonesia**



### 1. Desain untuk individu dengan ukuran ekstrim

Dalam beberapa kondisi, dimensi desain yang spesifik dapat menjadi faktor yang membatasi penggunaan suatu fasilitas oleh individu. Untuk mengatasi keterbatasan penggunaan oleh individu yang memiliki ukuran tubuh yang ekstrim (terlalu besar ataupun terlalu kecil dibandingkan rata-rata), maka perlu digunakan nilai parameter maksimum dan minimum yang mampu mengakomodasi ukuran yang ekstrim tersebut. Parameter pengukuran yang digunakan untuk dimensi maksimum adalah dengan menggunakan persentil 95 dari ukuran tubuh laki-laki, sedangkan parameter pengukuran untuk dimensi minimum menggunakan persentil 5 dari ukuran tubuh perempuan karena penggunaan kedua persentil ini dapat mengakomodasi keseluruhan populasi.

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

Dalam hal ini, ukuran rancangan dapat diubah-ubah sehingga cukup fleksibel dioperasikan oleh setiap orang yang memiliki berbagai macam ukuran tubuh. Contohnya adalah perancangan kursi mobil yang dapat digeser maju mundur dan sudut sandarannya bisa berubah sesuai dengan yang diinginkan. Dalam kaitannya untuk mendapatkan rancangan yang fleksibel, semacam ini maka data antropometri yang umum diaplikasikan adalah dalam rentang nilai 5<sup>th</sup> persentil dari perempuan sampai dengan 95<sup>th</sup> *percentile* dari laki-laki. Desain dengan jarak yang dapat disesuaikan merupakan metode desain yang ideal, namun tidak selalu memungkinkan untuk menerapkan hal tersebut pada sebuah desain.

### 3. Desain untuk ukuran rata-rata

Seseorang mungkin memiliki ukuran rata-rata pada beberapa ukuran dimensi tubuhnya, namun sangat sulit untuk menentukan ukuran rata-rata manusia. Seringkali ukuran rata-rata diambil untuk mengatasi kompleksitas antropometri. Ukuran rata-rata dapat diterima apabila situasinya tidak meliputi pekerjaan yang bersifat kritis dan dilakukan setelah melalui pertimbangan yang hati-hati, serta bukan sebagai jalan keluar desain yang bersifat praktis.

## 2.5 Work-Related Musculoskeletal Disorders (WMSD)

*Work – Related Musculoskeletal Disorder* (WMSD) atau *Repetitive Motion Injury* (RMI) semakin dikenal di dalam dunia ergonomi. Istilah WMSD ini merupakan istilah untuk gangguan yang terjadi pada sistem *musculoskeletal* manusia. Kondisi kerja dan postur kerja yang tidak ergonomis dapat memicu terjadinya *Work related Musculoskeletal Disorders* (WMSD). RMI dan WMSD merupakan tipe cedera yang disebabkan oleh gerakan berulang-ulang dengan beban yang terus menerus serta menimbulkan efek kumulatif sehingga RMI semakin bertambah setelah beberapa periode waktu berjalan (Putz-Anderson, 2005).

Penyebab terjadinya WMSD merupakan kombinasi dari metode kerja yang tidak sesuai sehingga menyebabkan postur kerja yang buruk dan berakibat pada penggunaan kekuatan otot berlebihan dan dilakukan secara repetitif tanpa adanya waktu istirahat yang cukup untuk memulihkan kondisi fisik. Saat kontraksi otot melebihi 20% dari kekuatan otot maksimum, maka akan terjadi keluhan otot sehingga menyebabkan peredaran darah ke otot akan berkurang namun kontraksi otot meningkat. Suplai oksigen yang menurun menyebabkan proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang akan menyebabkan timbulnya rasa nyeri pada otot (Suma'mur, 1982).

Menurut Randini (2006), hal yang secara umum dapat menyebabkan WMSD pada pekerja adalah faktor pribadi dan faktor pekerjaan. Faktor pribadi merupakan kondisi dari orang tersebut seperti jenis kelamin, usia, asupan gizi, dan lain-lain, sedangkan faktor pekerjaan terkait dengan kegiatan kerja yang dilakukan oleh pekerja tersebut, seperti posisi kerja, postur kerja, lama bekerja, lembur, dan lain-lain. Secara detail, faktor penyebab WMSD dapat dibagi menjadi tiga, yaitu:

- Faktor Primer  
Terdiri dari peregangan otot yang berlebihan, aktivitas yang berulang, sikap kerja yang tidak ilmiah.
- Faktor Sekunder  
Terdiri dari tekanan yang terjadi langsung pada jaringan otot lunak, paparan udara atau suhu udara panas dan dingin yang tidak sesuai, serta getaran dengan frekuensi tinggi yang menyebabkan kontraksi otot bertambah.

- **Faktor Kombinasi**

Terdiri dari usia, jenis kelamin, kebiasaan merokok, kesehatan jasmani, kekuatan fisik, dan antropometri tubuh. Keluhan otot umumnya dirasakan pada usia kerja yaitu usia 25-60 tahun. Untuk jenis kelamin, umumnya kemampuan otot wanita lebih rendah daripada lelaki, sedangkan bagi orang yang terbiasa mengkonsumsi rokok dalam jumlah berlebih semakin tinggi pula tingkat keluhan otot yang dirasakan.

Secara umum, keluhan otot dikelompokkan menjadi dua yaitu keluhan sementara dan keluhan menetap. Keluhan sementara merupakan keluhan otot yang terjadi pada saat otot menerima beban statis, namun bila pembebanan dihentikan keluhan tersebut akan segera hilang, sedangkan keluhan menetap merupakan keluhan otot yang bersifat menetap sehingga walaupun pemberian beban telah dihentikan, namun rasa sakit pada otot masih terus terjadi.

## **2.6 Kelelahan (*Fatigue*)**

Kelelahan merupakan istilah yang berkaitan dengan menurunnya efisiensi dalam melakukan pekerjaan. Beberapa penyebab kelelahan pada industri adalah intensitas dan lamanya kerja fisik atau mental, lingkungan seperti iklim, suhu, pencahayaan, dan kebisingan, masalah psikis seperti tanggung jawab, kekhawatiran, dan konflik, penyakit yang dialami serta nutrisi.

Menurut Grandjean (1988), kelelahan dibedakan menjadi dua bagian, yaitu kelelahan otot (*muscular fatigue*) dan kelelahan umum (*general fatigue*).

- **Kelelahan Otot (*Muscular Fatigue*)**

Kelelahan otot merupakan gejala kesakitan yang dirasakan pada otot yang muncul akibat otot terlalu tegang. Ketika otot diberikan stimulus secara terus menerus, maka otot akan berkontraksi dan semakin lama performansinya akan semakin menurun sehingga gerakannya akan menjadi lambat.

- **Kelelahan Umum (*General Fatigue*)**

Munculnya perasaan letih merupakan gejala kelelahan umum. Penyebab kelelahan umum dibedakan menjadi:

1. *Visual Fatigue*, yaitu kelelahan yang timbul karena ketegangan yang berlebihan pada mata.

2. *General Body Fatigue*, yaitu kelelahan yang timbul karena beban fisik yang berlebihan pada seluruh organ tubuh.
3. *Mental Fatigue*, yaitu kelelahan yang timbul karena kerja mental atau kerja otak yang berlebihan.
4. *Nervous Fatigue*, disebabkan karena tekanan yang berlebihan pada sistem psikomotor.
5. Lelah karena sifat pekerjaan yang monoton dan kondisi lingkungan kerja yang membosankan.
6. Kelelahan kronis yaitu kelelahan karena akumulasi sejumlah faktor secara terus menerus.
7. *Circadian Fatigue* yaitu bagian dari ritme siklus siang-malam dan awal periode tidur.

Gejala kelelahan yang biasanya dialami adalah perasaan letih, mengantuk, pusing, tidak enak dalam bekerja, dan tidak semangat bekerja. Selain itu, menurunnya kewaspadaan, semakin lamban dalam berpikir, menurunnya performansi, serta persepsi yang lemah dan lambat juga merupakan bentuk gejala kelelahan yang biasa terjadi.

## **2.7 Simulasi dan Lingkungan *Virtual* (*Virtual Environment*)**

Simulasi merupakan tiruan dari suatu proses atau sistem pada dunia nyata, baik dilakukan secara manual maupun dengan menggunakan komputer. Simulasi bertujuan untuk mengambil kesimpulan yang berkaitan dengan karakteristik operasi dari sistem sesungguhnya (Bank et al, 2005). Simulasi merupakan suatu metode analisis yang tidak hanya formal dan prediktif tapi juga akurat dalam mengevaluasi performa dari sistem. Keuntungan menggunakan simulasi yaitu peneliti tidak harus mengganggu kondisi nyata dalam sistem sesungguhnya. Selain itu, perbaikan yang mungkin dapat memakan waktu yang cukup lama yaitu berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dapat dipersingkat menjadi beberapa hari atau beberapa jam saja dengan menggunakan simulasi.

*Virtual environment (VE)* adalah representasi sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintetis yang memiliki kemiripan dengan lingkungan nyata

(Kalawsky, 1993). Sedangkan *virtual human* adalah model biomekanis yang akurat dari sosok manusia. Simulasi dalam lingkungan *virtual* harus dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*human virtual*) berada pada lokasi yang baru, berinteraksi dengan objek dan lingkungan, serta mendapat respon balik yang tepat dari objek yang mereka manipulasi (Wilson, 1999).

Pengguna dapat memanipulasi manusia *virtual* yang berada di dalam lingkungan *virtual* untuk berinteraksi dengan lingkungan dan objek yang ada pada lingkungan *virtual* tersebut. Model ini meniru gerakan manusia sehingga memungkinkan para peneliti untuk melakukan simulasi aliran proses kerja, dan melihat bagaimana beban kerja yang dirasakan pekerja ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu.

Contoh penggunaan *virtual environment* yang berguna bagi kesehatan dan keselamatan kerja adalah untuk melakukan penilaian ergonomis pada tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja. Selain itu, juga diperlukan untuk pelatihan teknisi pemeliharaan, misalnya untuk bekerja di lingkungan yang berbahaya, dan melakukan perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi, serta untuk pelatihan umum untuk industri, termasuk prosedur untuk pergerakan material dan penggunaan mesin pelindung maupun diagnosa kesalahan (*error*) yang terjadi dan perbaikan dalam proses yang berlangsung di pabrik (Wilson et al, 1995).

Analisis dengan menggunakan lingkungan *virtual* dapat berlangsung dengan dua cara, yaitu membuat simulasi manusia *virtual* yang berinteraksi pada lingkungan *virtual* serta interaksi langsung antara pengguna dengan lingkungan *virtual* dengan menggunakan teknologi *Virtual Reality* (VR). Teknologi ini memungkinkan pengguna untuk pindah ke lingkungan *virtual* tanpa harus melakukan perpindahan secara fisik. *Software Jack*, merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan dalam pembuatan lingkungan *virtual*.

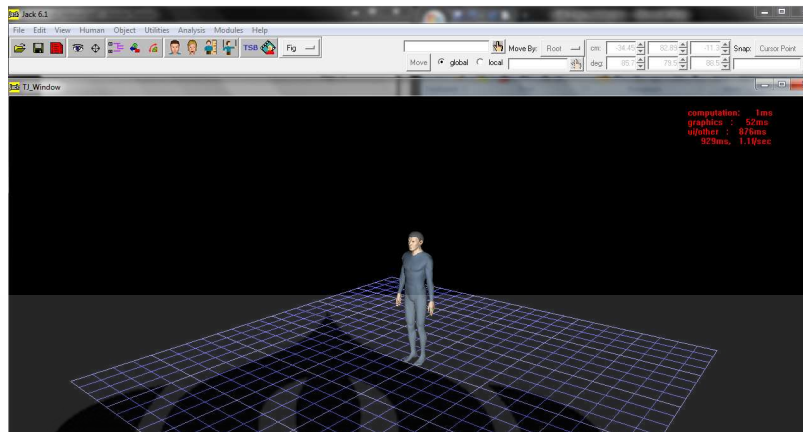
## **2.8 Perangkat Lunak (*Software*) Jack 6.0**

*Software Jack* adalah *ergonomic software* yang dapat digunakan untuk menciptakan lingkungan tiga dimensi atau *virtual world* dan membuat suatu interaksi antar elemen dalam lingkungan grafis (Jack User Manual, 2010).

Perangkat lunak (*software*) Jack 6.0 adalah suatu alat yang dapat mensimulasikan model manusia yang berada pada lingkungan *virtual* berinteraksi dengan objek dan lingkungannya serta mendapatkan respon balik dari objek yang dimanipulasi untuk dilihat sejauh mana kelayakan suatu desain dan lingkungan kerja dari sudut pandang ergonomi.

Jack memberikan kemudahan bagi penggunanya untuk mengatur model manusia berdasarkan prinsip biomekanika seakurat mungkin pada lingkungan buatan, memberikan model manusia tersebut pekerjaan dan menganalisis performanya (Caputo, et al, 2006). *Software* Jack memungkinkan kita dapat memasukkan dimensi tubuh dan antropometri manusia *virtual* pada *software* ini sehingga model manusia menggambarkan populasi manusia aktual yang ingin disimulasikan. *Software* Jack memiliki keunggulan dibandingkan *software* ergonomi lainnya dalam hal menciptakan simulasi manusia dengan menggunakan karakteristik ergonomi, biomekanika, dan antropometri yang kemudian dapat dioperasikan dan bertindak layaknya manusia di dunia nyata. Model manusia pada Jack memiliki hampir semua sendi penting yang ada pada tubuh manusia serta dapat dimanipulasi sehingga model manusia tersebut bergerak untuk mensimulasikan kondisi aktual. Model ini juga memiliki karakteristik dan limit seperti halnya manusia biasa antara lain dapat mengerti keseimbangan, kemiripan cara berjalan, dan mengangkat.

*Software* Jack sebagai alat simulasi memiliki kemampuan untuk mengimpor gambar CAD sehingga pengguna dapat mendesain *virtual environment* sesuai dengan *layout* dan komponen lokasi yang diinginkan, membuat model pria dan wanita digital dengan berbagai ukuran antropometri, dan memosisikan manusia *virtual* dan membuat postur tubuh sesuai dengan aktivitas dan stasiun kerja yang terlibat. Selain itu, Jack juga memiliki kemampuan untuk mengevaluasi apa saja yang dapat dilihat seorang manusia dari sudut pandang mereka dengan memanfaatkan tampilan dari *feature view cone*, serta mengevaluasi kemampuan menjangkau dan mengangkat maksimum dari manusia digital, dan menganalisis pengaruh postur kerja pada bagian – bagian tubuh manusia digital. **Gambar 2.4** berikut adalah bentuk tampilan awal pada *software* Jack.



**Gambar 2.4** Tampilan awal *software* Jack

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008

Selain kemampuan di atas, *software* Jack juga memiliki keunggulan sebagai berikut (Jack User Manual, 2010) :

1. Menciptakan dan memvisualisasikan desain digital tiruan.
2. Menganalisis faktor manusia dalam sebuah desain.
3. Mempelajari manusia dalam simulasi tempat kerja.
4. Mengevaluasi kegiatan pemeliharaan.
5. Sebagai alat bantu dalam proses pelatihan serta penelitian

Terdapat sembilan alat analisis atau metode dalam *software* Jack yang ada pada modul *Task Analysis Toolkit* (TAT) yang dapat membantu pengguna menganalisis simulasi maupun performa model manusia yang telah dibuat dengan kaidah ergonomi. TAT dapat digunakan untuk memperkirakan resiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi serta menunjukkan batasan maksimal kemampuan pekerja dalam mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membengkokkan ketika melakukan pekerjaan. Sembilan alat analisis tersebut adalah:

1. *Low Back Spinal Force Analysis*

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada posisi kerja tertentu.

2. *Static Strength Prediction*

Metode ini digunakan untuk mengetahui presentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan yang diberikan pada model manusia berdasarkan posisi tubuh.

**Universitas Indonesia**

### 3. *NIOSH Lifting Analysis*

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi pekerjaan yang melibatkan proses pengangkatan dan menilai apakah telah sesuai dengan standard NIOSH.

### 4. *Predetermined Time Analysis*

Metode ini digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan pekerja untuk melaksanakan suatu pekerjaan dengan membagi pekerjaan tersebut menjadi serangkaian gerakan yang telah ditentukan durasinya berdasarkan methods-time measurement (MTM-1).

### 5. *Rapid Upper Limb Assessment*

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan cedera maupun kelainan pada tubuh bagian atas pekerja serta membantu pengambilan keputusan untuk perbaikan kondisi kerja.

### 6. *Metabolic Energy Expenditure*

Metode ini digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi yang dibutuhkan seseorang saat menyelesaikan pekerjaannya berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan.

### 7. *Manual Handling Limit*

Metode ini digunakan untuk mengevaluasi dan merancang pekerjaan-pekerjaan yang dilakukan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang. Dengan *tools* ini, dapat diketahui berapa batas maksimum berat objek kerja yang dapat diterima oleh pekerja dalam melakukan kegiatan, sehingga dapat mengurangi resiko terjadinya sakit pada tulang belakang. Tool ini menggunakan rangkaian table untuk menghitung berat maksimum atau batas gaya maksimum yang dapat diterima untuk persentase kemampuan pekerja yang kita tentukan. Analisis tersebut juga dapat menghitung persentase pekerja yang mampu menerima berat atau gaya tertentu.

### 8. *Fatigue/Recovery time analysis*

Metode ini digunakan untuk memerkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja.

### 9. *Ovako working posture analysis system*

Metode ini digunakan untuk memeriksa tingkat kenyamanan kerja.



Sebelum melakukan analisis menggunakan metode di atas, beberapa tahapan yang harus dilakukan saat menggunakan *software* Jack adalah sebagai berikut:

1. Membangun *virtual environment* atau lingkungan *virtual*

Membangun *virtual environment* atau lingkungan *virtual* dapat dilakukan dengan cara mengimpor komponen maupun benda yang dibutuhkan dari SolidWorks atau mengambil dari *library* yang terdapat pada Jack ke dalam layar simulasi Jack. Kemudian komponen tersebut diatur dan diposisikan sedemikian rupa sehingga sesuai dengan kondisi aktual dengan cara mengatur koordinat pada sumbu x, y, dan z serta koordinat sudut x, y, dan z-nya. Tidak semua *format file* dari berbagai *software* CAD dapat diterima, *file* yang dapat diterima oleh Jack untuk menjadi lingkungan *virtualnya* adalah seperti yang ditampilkan pada **Tabel 2.4** berikut.

**Tabel 2.4** Format *file* yang diterima Jack

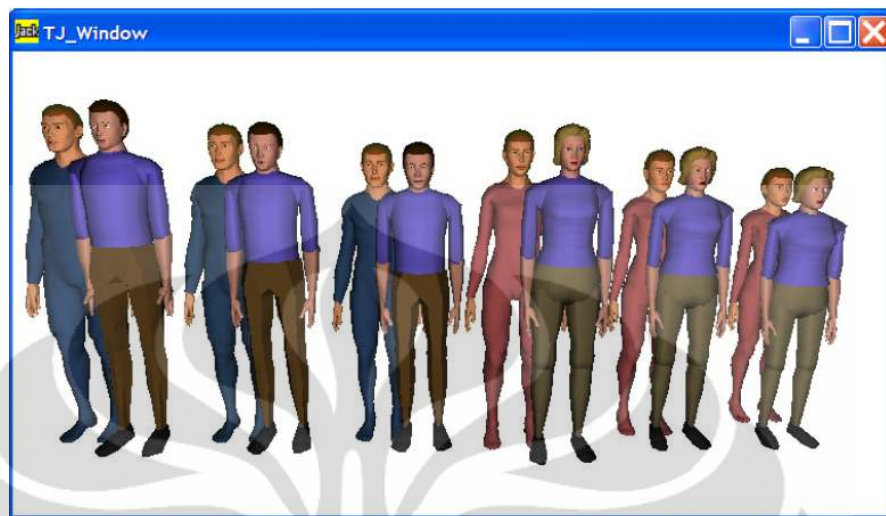
No.	Format	File Extension
1	Vis/DirectModel	(.jt)
2	VRML 1.0/2.0	(.wrl)
3	IGES 5.3	(.igs, .iges)
4	Stereolithography	(.stl)
5	Inventor	(.iv)
6	Optimizer 1.1	(.csb)
7	Deneb IGRIP 1.2 parts	(.igp.*)

Sumber : Jack User Manual version 6.0 Siemens 2010 US page x

2. Menciptakan *virtual human* atau manusia *virtual*

Manusia *virtual* dapat dibuat dengan cara memilih gambar manusia pada *icon toolbar* kemudian mengatur semua dimensi tubuhnya pada *scale* atau dengan cara memilih *human – create – custom* pada *menubar*. Semua dimensi tubuh manusia *virtual* tersebut dapat diinput lebih detail dengan memanfaatkan fitur *advance human scaling* sehingga pengguna dapat membuat model manusia yang sesuai dengan ukuran antropometri yang diinginkan. Namun, jika pengguna hanya memiliki data tinggi dan berat badan, Jack memiliki database antropometri yang lebih detail untuk membuat manekin manusia, diantaranya adalah ANSUR (*Army Natick Survey User Requirements*), Chinese, Nhanes,

Na\_Auto, dan CDN\_LF\_97. **Gambar 2.5** berikut merupakan contoh manusia virtual dengan berbagai ukuran persentil.



**Gambar 2.5** Contoh manusia virtual Jack pada persentil 5, 50, dan 95

Sumber Siemens PLM Software Inc., 2008, hal.66

### 3. Memosisikan manusia *virtual* ke dalam lingkungan *virtual*

Model manusia yang telah dibuat diposisikan ke dalam lingkungan buatan sehingga memiliki posisi kerja atau gerakan yang sesuai dengan kondisi sebenarnya. Manusia buatan tersebut dapat diatur dengan dengan cara mengatur koordinat pada sumbu x, y, dan z serta koordinat sudut x, y, dan z-nya. **Gambar 2.6** berikut adalah contoh tampilan pada Jack setelah lingkungan *virtual* diatur dan manusia *virtual* dimasukkan.

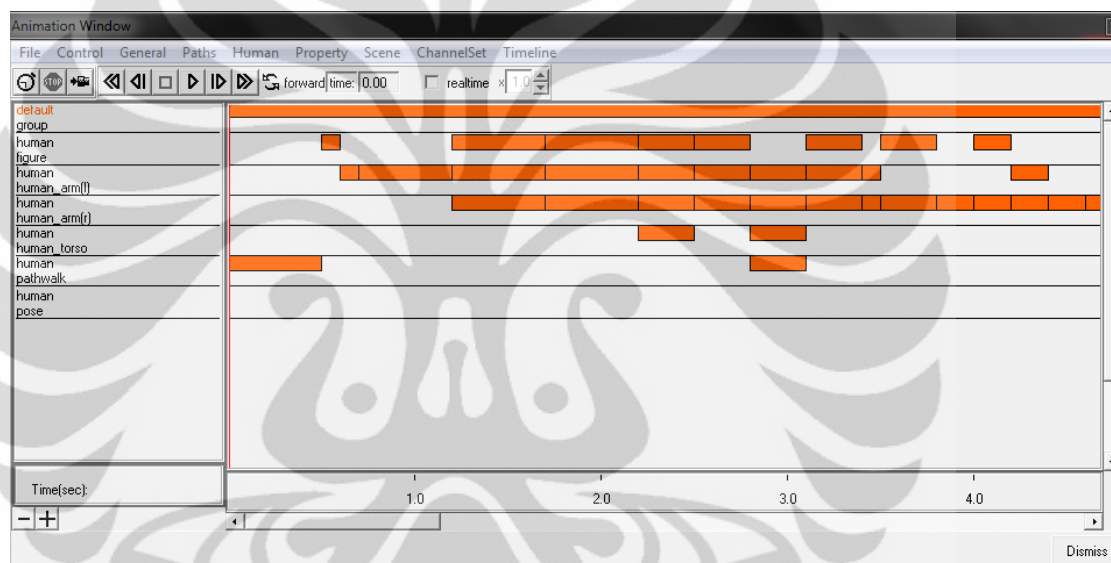


**Gambar 2.6** Contoh tampilan manusia *virtual* dalam lingkungan *virtual*

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

#### 4. Memberikan tugas atau pekerjaan pada manusia *virtual*

Dengan menggunakan fitur animasi pada *software* Jack, pengguna dapat membuat suatu mekanisme gerakan sehingga manusia *virtual* dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Menggunakan fitur animasi tersebut dapat dilakukan dengan memilih *module – animation system* yang ada pada *menubar*. Kemudian atur gerakan yang ingin diberikan pada manusia buatan tersebut dengan memainkan fitur yang ada di jendela animasi, seperti *human*, *path*, *general*, dan menu lainnya. **Gambar 2.7** berikut ini adalah contoh jendela animasi yang terdapat pada *software* Jack.



**Gambar 2.7** Contoh jendela animasi pada *Software* Jack

Sumber: Siemens PLM Software Inc. 2008

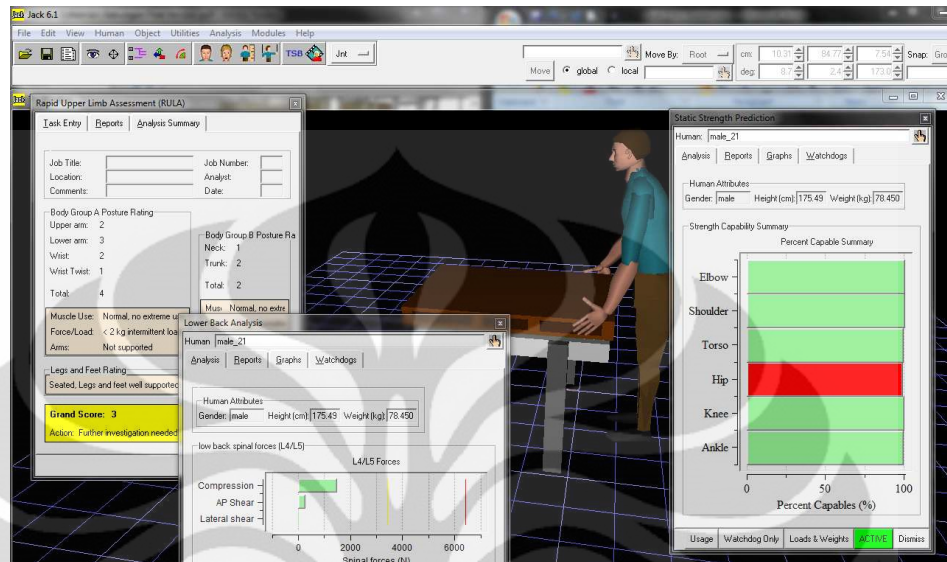
Setelah dibuat animasi pada jendela animasi, maka manusia *virtual* dapat melakukan pekerjaan yang telah ditugaskan sebelumnya sesuai dengan yang terdapat pada jendela animasi. Hasil animasi tersebut dapat diputar berulang kali dan dijalankan perlahan untuk mempermudah proses analisis. Hasil analisis tersebut juga dapat diekspor ke dalam bentuk video.

#### 5. Menganalisis performansi manusia *virtual*

Tugas yang diberikan kepada manusia *virtual* tentu akan memberikan dampak atau reaksi terhadap tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh bagian tubuh pada manusia *virtual* tersebut. Untuk melihat hasil analisis yang dirasakan oleh manusia *virtual* dengan metode tertentu, maka modul TAT perlu diaktifkan.

**Universitas Indonesia**

Modul TAT dapat diaktifkan secara bersamaan untuk mengevaluasi performa dari manusia *virtual*. **Gambar 2.8** berikut adalah contoh tampilan manusia virtual yang dianalisis dengan metode SSP, RULA, dan LBA.



**Gambar 2.8** Contoh tampilan dengan output analisis SSP, LBA, dan RULA

Sumber: Siemens PLM Software Inc. 2008

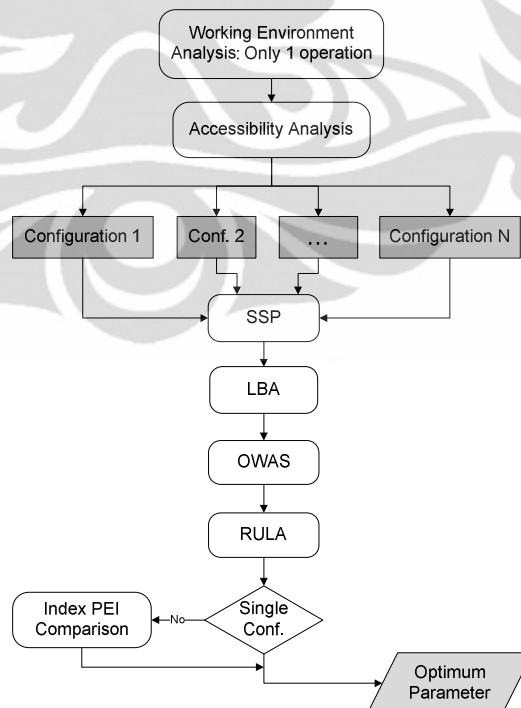
## 2.9 Posture Evaluation Index (PEI)

Masalah ergonomi yang dihadapi oleh peneliti dalam suatu tempat kerja adalah harus dapat mengoptimalkan fitur geometri dalam tempat kerja tersebut sehingga dapat menjamin kenyamanan postur yang maksimum bagi operator yang memiliki persentil yang berbeda selama pekerjaan berlangsung. Optimalisasi tersebut sangat berhubungan dengan layout dari elemen fisik yang ada pada tempat kerja. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode yang dapat memberikan analisis yang menyeluruh mengenai masalah tersebut sehingga dapat dianalisis postur kerja, tingkat performa dan optimalisasi kenyamanan yang dirasakan manusia virtual yang disimulasikan saat melakukan tugas yang diberikan. Metode tersebut adalah *Posture Evaluation Index (PEI)* yang memanfaatkan fungsi *Task Analysis Toolkit* yang terdapat di dalam *software Jack* (Caputo et al, 2006).

*Posture Evaluation Index (PEI)* adalah suatu angka atau indeks yang merepresentasikan tingkat kenyamanan postur manusia saat melakukan suatu pekerjaan tertentu. PEI tersebut dihitung melalui hasil analisis yang dikeluarkan oleh *Task Toolkit Analysis (TAT)* yang mempertimbangkan dan mengintegrasikan

beberapa metode yang terdapat dalam TAT tersebut, yaitu *Static Strength Prediction* (SSP), *Low Back Analysis* (LBA), *Ovako Working Posture Analysis* (OWAS) dan *Rapid Upper Limb Assesment* (RULA). Metode PEI dikembangkan oleh Francesco Caputo, Prof., Giuseppe Di Gironimo, Ph.D, dan Adelaide Marzano, Ing. dari University of Naples Frederico II, Italia.

*Critical posture* selama operasi kerja berlangsung harus diminimalkan sehingga akan didapatkan suatu tingkat kenyamanan yang optimal. *Critical posture* merupakan postur kerja yang paling berpotensi menimbulkan WMSD. Dengan menggunakan PEI, kualitas dari postur tunggal dapat dinilai dengan menggunakan modul TAT pada *software* Jack 6.0 sehingga *critical posture* yang biasanya sulit ditentukan dapat dideteksi (Gironimo et al, 2004). *Posture Evaluation Index* (PEI) juga dapat memberikan penilaian optimal diantara solusi perbaikan berupa kombinasi postur pada sebuah operasi di stasiun kerja. *Software* Jack lebih memudahkan dalam membuat kemungkinan model perbaikan yang akan dibuat karena kondisi kerja aktual dapat dibandingkan dengan model perbaikan yang akan dibuat sehingga dapat dilihat seberapa signifikan perubahan yang telah dilakukan. **Gambar 2.9** berikut ini menunjukkan diagram alur penggunaan PEI.



**Gambar 2.9** Diagram Alur Penggunaan PEI

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

Dari diagram di atas, terdapat 7 tahapan atau fase yang harus dilalui untuk mendapatkan nilai PEI, antara lain:

- Fase Satu : Analisa Lingkungan Kerja

Fase pertama merupakan tahap menganalisis kondisi lingkungan kerja dengan memperhatikan dan mempertimbangkan kemungkinan alternatif gerakan kerja operator. Pada fase ini peneliti harus mencoba untuk memahami faktor-faktor yang akan berkontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil termasuk mempertimbangkan rute alternatif, postur, dan kecepatan kerja, yang semua itu memberikan kontribusi terhadap kesimpulan yang akan diambil. Dalam simulasi model lingkungan *virtual*, sangatlah penting melakukan simulasi operasi-operasi kerja dengan berbagai alternatif gerakan yang bertujuan untuk memverifikasi kelayakan tugas yang dilakukan operator. Parameter lain yang dapat dimodifikasi adalah jarak dimensi objek-objek kerja yang mempengaruhi postur kerja *virtual human*. Fase pertama adalah fase yang membutuhkan waktu paling lama karena pada fase ini peneliti harus membuat *real-time simulation* dalam jumlah yang sangat banyak dengan adanya kemungkinan beberapa simulasi yang telah dibuat tersebut tidak akan digunakan untuk penelitian lebih lanjut.

- Fase Dua : Analisa Kemampuan Menjangkau dan Mengakses

Perancangan tempat kerja memerlukan studi pendahuluan mengenai aksesibilitas dari titik-titik kritis (*critical points*). Permasalahan yang muncul adalah apakah seluruh metode gerakan yang telah dirancang memungkinkan untuk dimasukkan ke sebuah operasi dan apakah semua titik kritis dapat dijangkau oleh pekerja. Untuk itu perlu dipastikan bahwa titik kritis jangkauan benda-benda kerja dapat terjangkau oleh operator. Fase berikutnya tidak akan dilanjutkan jika konfigurasi tata letak yang ada di luar kemampuan kerja dan jangkauan operator. Dari analisis lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas, konfigurasi yang akan dianalisa pada fase berikutnya dapat ditentukan.



- Fase Tiga : *Static Strength Prediction (SSP)*  
*Static Strength Prediction* adalah *tools* yang dapat memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan. Pekerjaan tersebut dipertimbangkan untuk tahap analisis selanjutnya jika nilai skor SSP yang dikeluarkan software Jack minimal 90%. Operasi pekerjaan yang memiliki nilai skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut (Marzano, 2009).
- Fase Empat : *Low Back Analysis (LBA)*  
*Low Back Analysis (LBA)* merupakan *tools* yang digunakan untuk mengevaluasi secara *real-time* gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia berdasarkan postur dan beban yang diterima saat melakukan suatu kerja atau tugas yang diberikan. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu 3400 N.
- Fase Lima : *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*  
*Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* merupakan metode untuk mengetahui tingkat kenyamanan pekerja ketika melakukan suatu pekerjaan. Analisis yang dikeluarkan oleh OWAS juga memberikan rekomendasi perlunya perbaikan postur kerja atau tidak. Nilai OWAS yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan maksimum yang ada pada OWAS yaitu 4.
- Fase Enam : *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*  
*RULA (Rapid Upper Limb Assessment)* adalah *tools* untuk mengevaluasi kualitas postur tubuh bagian atas serta untuk mengidentifikasi risiko cedera atau gangguan pada tubuh bagian atas. Analisis dibuat berdasarkan kualitas postur, penggunaan otot, berat beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensinya. Nilai RULA yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks maksimum RULA yaitu 7.

- Fase Tujuh : *PEI Evaluation*

PEI merupakan hasil integrasi dari nilai LBA, OWAS, dan RULA yang dikeluarkan oleh *software* Jack. PEI menjumlahkan tiga variabel dimensional I1, I2, dan I3. Variabel I1 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 I1 harus lebih kecil dari 1. Jika nilai I1 > 1, maka hal tersebut menunjukkan bahwa kegiatan kerja dalam simulasi tidak valid. Variabel I2 merupakan perbandingan nilai OWAS dengan nilai maksimumnya yaitu sebesar 4, sedangkan nilai I3 merupakan perbandingan nilai RULA dengan indeks batas maksimum tingkat kenyamanan RULA sebesar 7. Khusus untuk I3 maka hasil yang didapatkan dikalikan dengan *amplification factor* “*mr*”.

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

$$I_1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I_2 = \frac{OWAS}{4} \quad I_3 = \frac{RULA}{7} \quad mr = 1,42 \dots \dots \dots (2.2)$$

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 dirasakan oleh manusia. Sehingga suatu postur kerja dikatakan optimal jika memiliki nilai PEI paling rendah.



### 2.9.1 *Static Strength Prediction (SSP)*

SSP adalah salah satu tool yang digunakan untuk mengevaluasi persentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Analisis kapabilitas yang dilakukan SSP dilakukan dengan mempertimbangkan postur, tenaga yang dibutuhkan, dan antropometri. SSP menggunakan konsep biomekanika, yaitu dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit (fungsi tulang) dan bergerak (fungsi otot). Pergerakan otot akan membuat tulang untuk cenderung berotasi pada setiap persendian yang ada. Besarnya kecenderungan berotasi ini disebut dengan momen rotasi pada suatu sendi.

Selama terjadi pergerakan, maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal lainnya.

Secara matematis hal tersebut dapat dituliskan dalam persamaan:

$$M_j = S_j \dots\dots\dots(2.3)$$

Dimana  $M_j$  dalam persamaan di atas merupakan gaya eksternal di setiap persendian dan  $S_j$  merupakan gaya maksimum yang dapat dihasilkan oleh otot pada setiap persendian. Besarnya nilai dari  $M_j$  dipengaruhi oleh tiga faktor:

- beban yang dialami tangan, contoh: beban angkat, gaya dorong, dan lain-lain
- postur kerja ketika seseorang mengeluarkan usaha terbesarnya
- antropometri seseorang

Setelah semua data yang dibutuhkan terkumpul, data-data tersebut kemudian diolah dengan mekanika Newton. Gaya yang didapatkan tubuh dari luar akan dikalikan dengan jarak antara titik tempat tubuh menerima gaya luar tersebut dengan persendian. Hal yang perlu diperhatikan dalam perhitungan ini adalah penentuan populasi sendi yang terkena dampak dari gaya luar tersebut. Menurut Choffin et al. (2003), prinsip dasar SSP adalah sebagai berikut (Chaffin, 2003) :

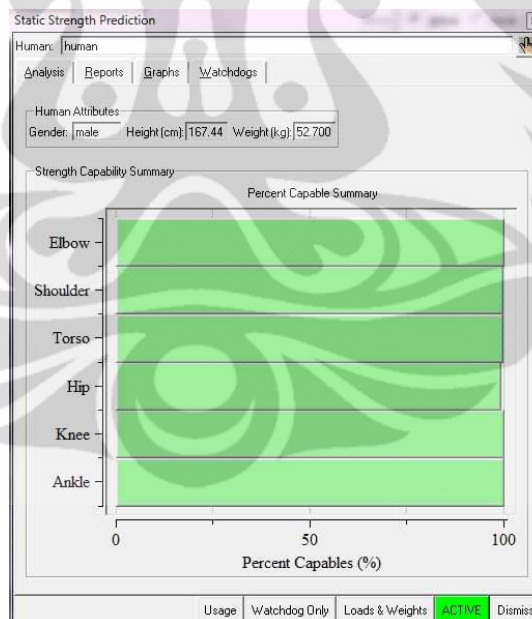
$$\begin{array}{l} \text{[Each Joint Load Moment]} < \text{[Population Strength Moments]} \\ \text{(Predicted from model)} \qquad \qquad \text{(Statistically defined norms)} \end{array}$$

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

**Universitas Indonesia**

- Menganalisis pekerjaan yang berhubungan dengan operasi *manual material handling* yang seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, dan menarik yang membutuhkan pergerakan pada pinggang, serta gerakan tangan dan gaya yang kompleks dan gerakan memutar bagian tubuh dan penekukan bagian tubuh tertentu
- Memprediksi persentase pekerja wanita dan pria yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan tertentu yang telah ditentukan
- Mengidentifikasi dan mengevaluasi pekerjaan tertentu yang membutuhkan karakteristik kekuatan yang melebihi standard NIOSH maupun melebihi batas kemampuan pekerja secara *real-time*

Dengan informasi yang diberikan SSP, seorang perancang dapat mendesain sebuah kerja yang mampu dilaksanakan oleh sebanyak mungkin orang dalam suatu populasi. **Gambar 2.10** berikut menampilkan beberapa informasi atau output SSP yang dikeluarkan oleh *software* Jack yang antara lain:



**Gambar 2.10** Tampilan SSP pada *Software* Jack

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008

### 2.9.2 Low Back Analysis (LBA)

*Low Back Analysis* (LBA) adalah sebuah metode untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja di tulang belakang manusia pada kondisi beban dan postur tertentu (Siemens PLM software, 2006). LBA pada Jack TAT

**Universitas Indonesia**

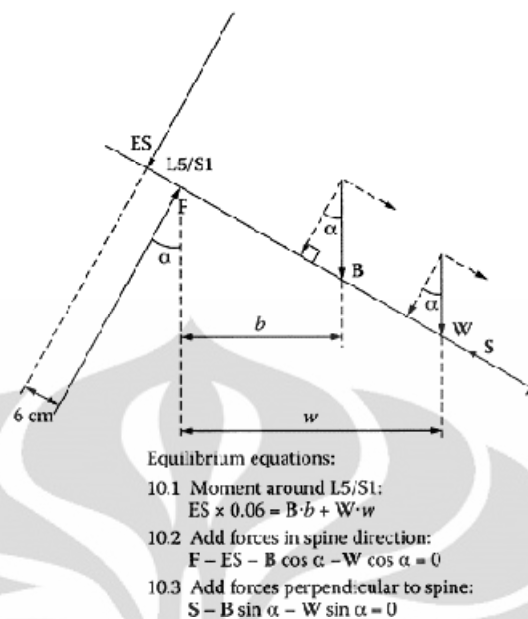
mengevaluasi secara *real-time* beban yang diterima oleh bagian tulang belakang model manusia *virtual* saat melakukan tugas yang diberikan. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH, yaitu 3400 N. Metode LBA bertujuan untuk:

- Menentukan apakah tempat kerja dan posisi kerja yang ada telah sesuai dengan standard NIOSH atau sebaliknya meningkatkan risiko kecelakaan dan penyakit pada tulang belakang.
- Mengevaluasi posisi kerja tertentu yang membutuhkan perhatian maupun perbaikan dari segi ergonomi

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

Hasil atau nilai LBA yang dihasilkan akan memberikan informasi berupa Momen-reaksi (torsi) yang terjadi pada bidang axial, sagittal, dan lateral L4 dan L5 bagian lumbal tulang belakang sebagai hasil representasi efek yang diterima oleh tubuh bagian atas terhadap berat yang ditopangnya serta aktivitas yang terjadi pada otot tubuh ketika mencoba untuk menyeimbangkan momen pada tulang belakang.

Cara perhitungan LBA secara manual adalah dengan menghitung biomekanik dari bagian L5/S1. 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 2.11** dibawah ini.



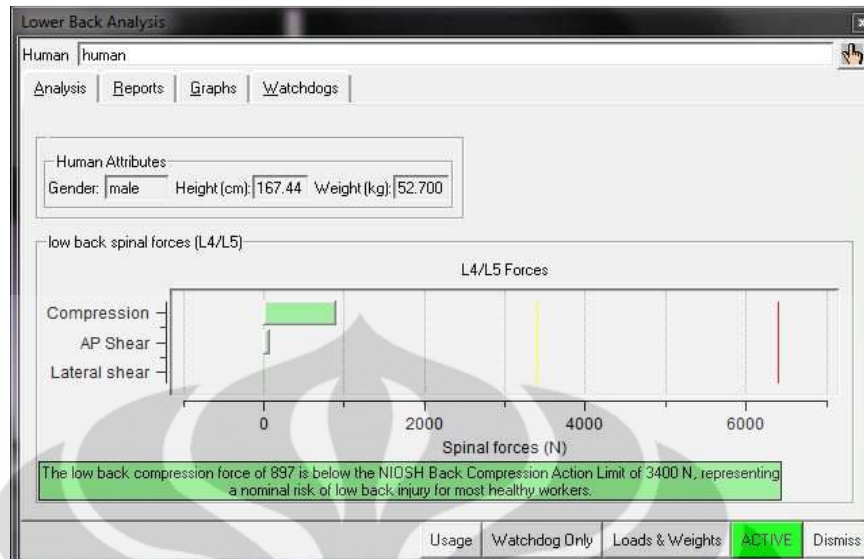
**Gambar 2.11** Perhitungan nilai tekanan pada LBA

Sumber: Helander, Martin. A Guide to Human Factor dan Ergonomics p.192. New York: Taylor & Francis

Untuk menghitung tekanan LBA secara *real time*, Jack juga menggunakan dasar perhitungan tersebut. Pengguna Jack hanya tinggal membuat animasi dari pekerjaan yang ingin dikerjakan. Permasalah-permasalahan yang dapat diatasi dengan menggunakan hasil dari LBA adalah:

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

**Gambar 2.12** berikut merupakan contoh output LBA yang dihasilkan dari *software* Jack.






**Gambar 2.12** Output LBA dari Software Jack

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008

### 2.9.3 Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)

OWAS merupakan metode yang digunakan untuk menganalisis tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh manusia akibat postur kerja dilakukan pada saat melakukan pekerjaan tertentu. McAtamney dan Hignett (1997) menyatakan bahwa OWAS menunjukkan validitas yang konvergen apabila dibandingkan dengan metode analisis postur tubuh saat bekerja lainnya. Dalam analisa postur OWAS, sejumlah observasi dari berbagai kode postur akan dihitung kemudian digambarkan distribusi relatifnya. Hasil OWAS dikelompokkan ke dalam 4 faktor postur, yaitu tulang belakang (*back*), tangan (*arm*), kaki (*leg*), dan beban atau *load*. Metode ini ditemukan pertama kali oleh Ovako Oy, sebuah perusahaan manufaktur besi yang terletak di negara Finlandia pada tahun 1977.

Hasil penilaian OWAS akan menentukan tingkat kepentingan untuk dilakukan perbaikan terhadap rancangan stasiun kerja maupun prosedur kerja. Selain itu berdasarkan nilai OWAS dapat ditentukan tindakan perbaikan dari postur kerja yang ada sehingga postur yang berbahaya dapat dieliminasi. **Gambar 2.13** berikut menunjukkan kode OWAS untuk berbagai bagian tubuh.

 <p>Back</p>	KODE ANGKA	POSTUR PUNGGUNG
	1	Lurus, netral
	2	Cenderung membungkuk
	3	Memutar ( <i>twist</i> ), cenderung ke samping
 <p>Arms</p>		POSTUR LENGAN
	1	Kedua lengan di bawah bahu
	2	Satu lengan berada pada atau di atas bahu
 <p>Legs</p>		POSTUR KAKI
	1	Duduk
	2	Berdiri dengan kedua kaki lurus
	3	Berdiri lebih ditopang dengan satu kaki
	4	Berdiri atau jongkok dengan kedua kaki tertekuk
	5	Berdiri atau jongkok dengan satu kaki tertekuk
	6	Berlutut dengan satu atau kedua kaki
7	Berjalan atau bergerak	
		BEBAN YANG DITANGANI
1	Sama dengan atau kurang dari 10 kg	
2	10 – 20 kg	
3	Lebih dari 20 kg	

**Gambar 2.13** Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh

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

Evaluasi terhadap faktor – faktor tersebut menghasilkan nilai dalam bentuk angka yang memberikan gambaran kondisi kerja yang dialami dan resiko cedera yang mungkin dapat dialami. Keempat hasil OWAS yang dikeluarkan oleh Jack akan diintegrasikan menjadi skor tunggal yang menunjukkan tingkat kenyamanan total yang ditimbulkan oleh postur kerja yang dilakukan disertai dengan rekomendasi perlu tidaknya perbaikan terhadap postur tersebut.

Nilai tunggal yang dihasilkan, ditampilkan dalam empat kategori utama seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.5** berikut.

**Tabel 2.5** Pembobotan nilai pada OWAS

Kategori OWAS	Deskripsi
Tindakan kategori 1	Postur kerja normal dan dianggap tidak membahayakan bagi sistem muskuloskeletal. Tidak diperlukan tindakan khusus untuk mengubah postur kerja
Tindakan kategori 2	Postur kerja memiliki beberapa efek yang membahayakan bagi sistem muskuloskeletal. Tidak diperlukan tindakan perubahan postur kerja dengan segera tetapi perubahan perlu dilakukan pada perencanaan yang akan datang



**Tabel 2.5** Pembobotan nilai pada OWAS (Sambungan)

Kategori OWAS	Deskripsi
Tindakan kategori 3	Postur kerja memiliki efek yang berbahaya bagi sistem muskuloskeletal. Metode kerja harus diubah secepatnya
Tindakan kategori 4	Postur kerja memiliki efek yang sangat berbahaya bagi sistem muskuloskeletal. Diperlukan tindakan perbaikan sesegera mungkin

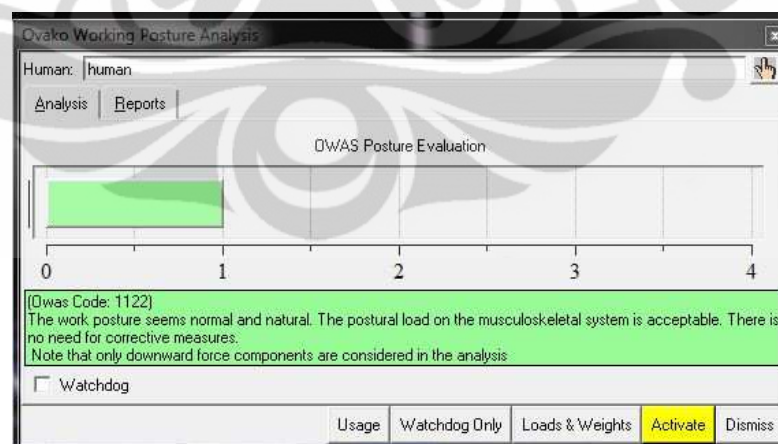
Sumber: *Benchmarking of the Manual Handling Assessment Charts, 2002*

Nilai tunggal tersebut memiliki analisis tersendiri yang didasarkan pertimbangan kemungkinan timbulnya risiko kesehatan dari suatu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem *muskuloskeletal* (Karwowski, 2001).

Berdasarkan teori – teori seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka 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 penilaian yang menunjukkan perlunya mengambil tindakan perbaikan yang dapat mengurangi potensi cedera dari postur kerja sebelumnya.

**Gambar 2.14** berikut adalah contoh *output* OWAS dari *software* Jack.



**Gambar 2.14** Output OWAS pada Software Jack

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008

#### 2.9.4 Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)

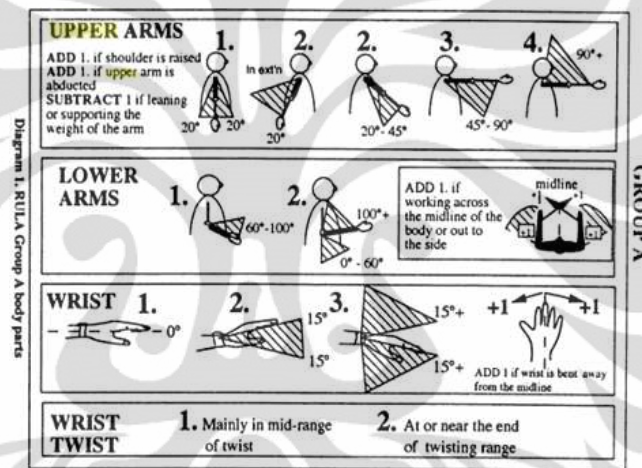
RULA merupakan metode untuk mengevaluasi pembebanan biomekanik dan pembebanan postur yang dialami pekerja. Secara garis besar RULA lebih

**Universitas Indonesia**

memfokuskan diri pada tubuh bagian atas (McAtamney dan Corlett, 1993). Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas yang menjadi dibagi menjadi dua kelompok yaitu:

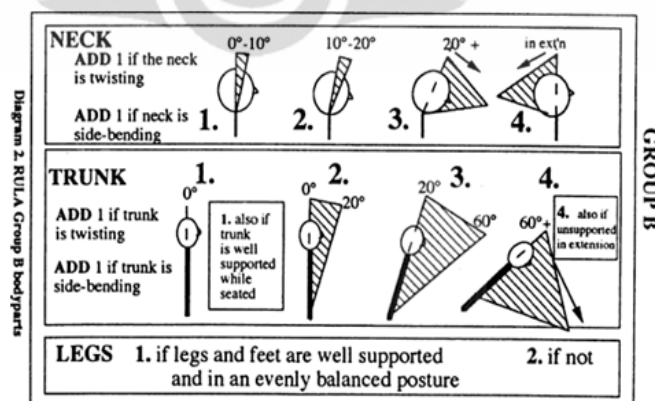
1. Kelompok A adalah skor untuk lengan yang terdiri dari lengan bagian atas dan bawah dan tangan yang terdiri dari pergelangan tangan dan putaran yang terjadi pada pergelangan tangan.
2. Kelompok B adalah skor untuk batang tubuh dan leher.

**Gambar 2.15** berikut adalah pengelompokan penilaian metode RULA untuk kelompok tubuh A sedangkan **Gambar 2.16** adalah pengelompokan penilaian metode RULA untuk kelompok tubuh B.



**Gambar 2.15** Pengelompokan penilaian metode RULA untuk kelompok tubuh A

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



**Gambar 2.16** Pengelompokan penilaian metode RULA untuk kelompok tubuh B

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



Setiap nilai yang dihasilkan akan diintegrasikan dengan faktor pembebanan dan jenis tugas yang dimasukkan sebelum analisis RULA dijalankan. RULA memberikan output atau hasil evaluasi berupa bobot nilai. Semakin tinggi nilai yang dihasilkan menandakan resiko pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan (Lueder, 1996). Nilai ini mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi resiko cedera seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.6**.

**Tabel 2. 6** Pembobotan nilai pada RULA

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

Sumber: McAtamney and Corlett, 1993

Menurut Occhipinti and D. Colombini (1999) Pada RULA terdapat lima faktor yang mempengaruhi penilaian, yaitu:

1. Pengulangan (frekuensi)

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

2. Gaya

Gaya atau tenaga menjelaskan usaha yang dilakukan untuk melakukan suatu kegiatan atau suatu urutan aksi.

3. Postur dan tipe pergerakan

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

4. *Recovery period*

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

## 5. Faktor resiko tambahan

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

Berdasarkan teori – teori seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, maka secara umum fungsi penggunaan metode RULA adalah:

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

Metode Rula digunakan untuk 4 tujuan yaitu, sebagai sarana pengidentifikasian potensi dari beban kerja yang memungkinkan cedera pada tubuh bagian atas, sebagai paduan desain untuk manual kerja yang baru atau pedoman perancangan ulang manual kerja yang telah ada, serta sebagai bahan identifikasi skala prioritas postur kerja yang paling membutuhkan perubahan secara ergonomis. **Gambar 2.17** berikut adalah contoh *output* dari RULA yang dihasilkan oleh *software* Jack.

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

Job Title:	Job Number:
Location:	Analyst:
Comments:	Date:
<b>Body Group A Posture Rating</b>	
Upper arm:	4
Lower arm:	3
Wrist:	3
Wrist Twist:	1
<b>Total:</b>	<b>8</b>
<b>Body Group B Posture Rating</b>	
Neck:	3
Trunk:	1
<b>Total:</b>	<b>3</b>
<b>Muscle Use:</b> Action repeated more than 4 times per minute	<b>Muscle Use:</b> Normal, no extreme use
<b>Force/Load:</b> 2-10 kg static load or 2-10 kg repeated load	<b>Force/Load:</b> < 2 kg intermittent load
<b>Arms:</b> Not supported	
<b>Legs and Feet Rating</b>	
Standing, weight even. Room for weight changes.	
<b>Grand Score: 6</b>	
Action: Investigation and changes are required soon.	
Update Analysis	
Usage Dismiss	

**Gambar 2.17** Contoh *output* dari RULA yang dihasilkan oleh *software* Jack

Sumber: Siemens PLM Software Inc., 2008

## 2.10 Waktu Standard (*Standard Time*)

Untuk membentuk suatu standard pengerjaan yang efisien, kita butuh untuk menentukan *standard time*. *Standard time* merupakan waktu yang diperlukan untuk melakukan suatu pekerjaan dengan mempertimbangkan kelelahan dan penundaan personal atau penundaan yang tidak dapat dihindari dengan metode kerja terbaik. *Standard time* juga merupakan waktu yang diperlukan oleh pekerja untuk melakukan dan menyelesaikan pekerjaannya dengan tingkat kemampuan rata-rata dan mempertimbangkan allowance serta kemampuan pekerja dan kondisi lingkungan kerjanya (Niebel, B & Frievalds, 2003).

Pengukuran waktu kerja ada dua, yaitu pengukuran waktu kerja secara langsung dan tidak langsung. Untuk mengukur waktu kerja dalam kasus ini, penulis melakukannya dengan cara mengukur waktu kerja secara langsung menggunakan metode *stopwatch time study*. Metode ini cocok digunakan untuk pekerjaan yang berulang-ulang, terspesifikasi dengan jelas, berlangsung singkat, dan menghasilkan *output* yang sama. Berikut adalah rumus untuk melakukan perhitungan *standard time*

$$\text{Standard time} = \text{Normal time} \times (1 + \text{allowance}) \dots\dots\dots (2.4)$$

### 2.10.1 Tingkat Pelaksanaan (*Performance Rating*)

*Normal time* didapatkan dengan memperhitungkan *performance rating* dengan rata-rata *observe time*. *Performance rating* yang digunakan untuk kasus kali ini adalah *the Westinghouse system rating* yang mempertimbangkan empat factor penting yaitu, *skill, effort, condition, and consistency*.

*Skill* adalah kemampuan operator dalam mengerjakan pekerjaan berdasarkan standard yang telah ditetapkan. **Tabel 2.7** berikut menggambarkan *level skill* operator berdasarkan *the Westinghouse system rating*.

**Tabel 2.7** *Westinghouse System Skill Rating*

Jenis	Rating	Tipe
<i>Superskill</i>	0.15	A1
<i>Superskill</i>	0.13	A2
<i>Excellent</i>	0.11	B1
<i>Excellent</i>	0.08	B2

**Tabel 2.7** *Westinghouse System Skill Rating* (Sambungan)

Jenis	Rating	Tipe
<i>Good</i>	0.06	C1
<i>Good</i>	0.03	C2
<i>Average</i>	0	D
<i>Fair</i>	-0.05	E1
<i>Fair</i>	-0.1	E2
<i>Poor</i>	-0.16	F1
<i>Poor</i>	-0.22	F2

(Sumber: Buku *Method, Standard, and Work Design*)

**Effort** adalah usaha dan kesungguhan operator dalam melakukan pekerjaannya serta keinginan dari operator untuk bekerja secara efektif. *Effort* merepresentasikan kecepatan dari *skill* yang digunakan oleh operator. **Tabel 2.8** berikut menggambarkan *level effort* operator berdasarkan *the Westinghouse system rating*.

**Tabel 2.8** *Westinghouse System Effort Rating*

Tipe	Jenis	Rating
<b>A1</b>	<i>Excessive</i>	0.13
<b>A2</b>	<i>Excessive</i>	0.12
<b>B1</b>	<i>Excellent</i>	0.1
<b>B2</b>	<i>Excellent</i>	0.08
<b>C1</b>	<i>Good</i>	0.05
<b>C2</b>	<i>Good</i>	0.02
<b>D</b>	<i>Average</i>	0
<b>E1</b>	<i>Fair</i>	-0.04
<b>E2</b>	<i>Fair</i>	-0.08
<b>F1</b>	<i>Poor</i>	-0.12
<b>F2</b>	<i>Poor</i>	-0.17

(Sumber: Buku *Method, Standard, and Work Design*)

**Condition** menggambarkan kondisi kerja dan lingkungan tempat operator bekerja seperti kondisi pencahayaan, suhu, kebisingan dan lain-lain. **Tabel 2.9** berikut menggambarkan *level condition* tempat operator bekerja berdasarkan *the Westinghouse system rating*.

**Tabel 2.9** *Westinghouse System Condition Rating*

<b>Tipe</b>	<b>Jenis</b>	<b>Rating</b>
<b>A</b>	<i>Ideal</i>	0.06
<b>B</b>	<i>Excellent</i>	0.04
<b>C</b>	<i>Good</i>	0.02
<b>D</b>	<i>Average</i>	0
<b>E</b>	<i>Fair</i>	-0.03
<b>F</b>	<i>Poor</i>	-0.07

(Sumber: Buku *Method, Standard, and Work Design*)

**Consistency** adalah kekonsistenan para operator dalam melakukan pekerjaannya. **Tabel 2.10** berikut menggambarkan *level condition* tempat operator bekerja berdasarkan *the Westinghouse system rating*.

**Tabel 2.10** *Westinghouse System Consistency Rating*

<b>Tipe</b>	<b>Jenis</b>	<b>Rating</b>
<b>A</b>	<i>Perfect</i>	0.04
<b>B</b>	<i>Excellent</i>	0.03
<b>C</b>	<i>Good</i>	0.01
<b>D</b>	<i>Average</i>	0
<b>E</b>	<i>Fair</i>	-0.02
<b>F</b>	<i>Poor</i>	-0.04

(Sumber: Buku *Method, Standard, and Work Design*)

Setelah menentukan *rating* dari setiap komponen, maka akan didapatkan waktu normal. waktu normal ini dihitung berdasarkan waktu rata-rata pengamatan dan *rating* faktornya. Berikut adalah rumusnya.

$$\text{Waktu Normal} = \text{Waktu Pengamatan} \times \frac{\text{Rating Factor (\%)}}{100} \dots\dots\dots (2.5)$$

### 2.10.2 Kelonggaran (*Allowance*)

Langkah terakhir yang perlu ditambahkan agar bisa didapatkan *standard time* adalah menambahkan *allowance* dengan mempertimbangkan dan memperhitungkan banyaknya gangguan, penundaan, dan keterlambatan akibat kelelahan pada setiap pekerjaan. Oleh karena itu, harus diberikan penyesuaian untuk mengkompensasi waktu yang hilang karena penundaan tersebut.

Penyesuaian yang perlu dilakukan tersebut adalah dengan menambahkan *allowance*.

Berikut adalah pembagian *allowance*:

#### 1. Kelonggaran Konstan (*Constant Allowance*)

- *Personal Needs* : untuk keperluan pribadi seperti waktu ke toilet
- *Basic Fatigue* : untuk pengeluaran energy saat melakukan pekerjaan dan menguragi *monotony*

#### 2. Variabel Kelonggaran Kelelahan (*Variable Fatigue Allowance*)

- *Abnormal Posture* : berdasarkan pertimbangan metabolisme tubuh seperti energi yang dibutuhkan saat bekerja
- *Muscular Force* : kelelahan otot sehingga perlu untuk memberikan waktu relaksasi untuk memulihkan kondisi
- *Atmospheric Conditions* : respon operator terhadap kondisi lingkungan dan perubahan lingkungan
- *Noise level* : kemampuan operator untuk menerima gangguan kebisingan pada lingkungan kerjanya
- *Illumination Levels* : *allowance* bagi operator terhadap tingkat pencahayaan pada lingkungan kerjanya terutama untuk pencahayaan yang tidak normal
- *Visual Strain* : *allowance* untuk pekerjaan yang memerlukan tingkat presisi dari penglihatan
- *Mental Strain* : *allowance* untuk pekerjaan yang memiliki tekanan mental
- *Monotony* : *allowance* untuk pekerjaan yang terus berulang dan monoton
- *Tediousness* : untuk pekerjaan yang dilakukan secara berulang dan cukup membosankan

#### 3. Kelonggaran Spesial (*Special Allowance*)

- *Unavoidable Delays* : *allowance* untuk berbagai macam interupsi seperti interupsi dari supervisor dan peneliti serta berbagai macam penundaan seperti ketidakteraturan material; kesulitan mempertahankan toleransi dan spesifikasi; dan penundaan penugasan untuk mesin yang bermacam-macam.

- *Avoidable Delays* : *allowance* saat operator berjalan-jalan ke tempat operator lain dan saat mengganggu.
- *Extra Allowance* : *allowance* karena banyak terdapat *material* yang kurang baik kualitasnya sehingga perlu waktu tambahan untuk menghitung barang *reject*.
- *Policy Allowance* : *allowance* yang ditentukan oleh manajemen perusahaan karena menyangkut tingkat kepuasan pendapatan atau gaji untuk tingkat hasil kinerja tertentu.

**Tabel 2.11** berikut adalah *factor allowance* berdasarkan ILO (*International Labour Organization*) *Recommended Allowance* (dalam %).

**Tabel 2.11** *Factor Allowance*

ALLOWANCE	Persentase
<b>Constant Allowance</b>	
Personal allowance	5
Basic fatigue allowance	4
<b>Variable Allowance</b>	
Standing allowance	
Abnormal position allowance	
Slightly Awkward	0
Awkward	2
Very Awkward (lying, stretching)	7
Use of force or muscular energy (lifting, pulling, or pushing)	
Weight lifted 5 pound	0
Weight lifted 10 pound	1
Weight lifted 15 pound	2
Weight lifted 20 pound	3
Weight lifted 25 pound	4
Weight lifted 30 pound	5
Weight lifted 35 pound	7
Weight lifted 40 pound	9
Weight lifted 45 pound	11
Weight lifted 50 pound	13
Weight lifted 60 pound	17
Weight lifted 70 pound	22
Bad Light	
Slightly below recommended	0
Well below	2
Quite Inadequate	5
Atmospheric conditions (heat and humidity) - variable	0-100



**Tabel 2.11** *Factor Allowance* (Sambungan)

Variable Allowance	Persentase
Close Attention	
Fairly fine work	0
Fine or exacting	2
Very fine or very exacting	5
Noise Level	
Continuous	0
Intermittent - loud	2
Intermittent – very loud	5
High-pitched - loud	7
Mental Strain	
Fairly complex process	1
Complex or wide span of attention	4
Very Complex	8
Monotony	
Low	0
Medium	1
High	4
Tediousness	
Rather tedious	0
Tedious	2
Very tedious	5

Semua *allowance* tersebut dijumlahkan kemudian akan didapatkan *total allowance* dari suatu pekerjaan. Kemudian dihitung *allowance factornya* dengan rumus

$$\text{Faktor kelonggaran} = \frac{100}{100 - \text{kelonggaran}} \dots\dots\dots (2.8)$$



## BAB 3

### PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL

#### 3.1 Gambaran Umum Perusahaan

Objek yang dijadikan sebagai tempat penelitian adalah salah satu perusahaan penghasil motor terbesar di Indonesia. Berikut akan dijelaskan lebih jauh tentang perusahaan tersebut.

##### 3.1.1 Profil Perusahaan

Nama Perusahaan : PT. X

Status Investasi : PMA (Penanaman Modal Asing)

Jam Kerja :

Kantor : 07.30 - 16.30 WIB

Pabrik : *Shift I* : 07.00 - 16.00 WIB

*Shift II* : 16.00 - 24.00 WIB

*Shift III* : 24.00 - 07.00 WIB

##### 3.1.2 Sejarah Perusahaan

PT. X merupakan perusahaan penghasil sepeda motor terbesar di Indonesia dan pelopor industri sepeda motor di Indonesia. Awalnya, PT. X ini berdiri sebagai PT. XY. Saat itu, PT XY hanya merakit, sedangkan komponennya diimpor dari Jepang.

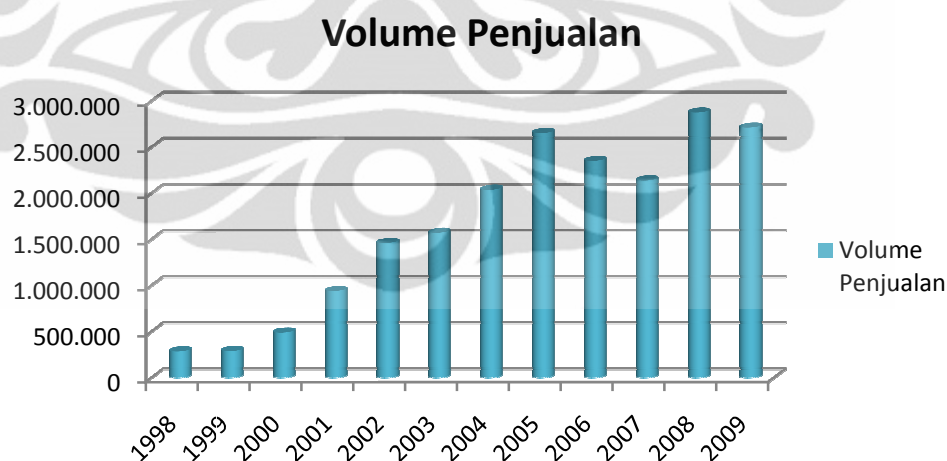
Tipe sepeda motor yang pertama kali di produksi perusahaan ini adalah tipe bisnis bermesin 4 tak. Jumlah produksi pada tahun pertama selama satu tahun hanya 1500 unit, namun melonjak menjadi sekitar 30.000 pada tahun selanjutnya dan terus berkembang hingga saat ini. Kebijakan pemerintah dalam hal lokalisasi komponen otomotif mendorong PT XY memproduksi berbagai komponen sepeda motor X di dalam negeri melalui beberapa anak perusahaan, seperti PT ST yang memproduksi komponen-komponen dasar sepeda motor seperti rangka, roda, knalpot dan sebagainya, sedangkan PT OPQ memproduksi peredam kejut, dan PT XYM memproduksi mesin sepeda motor serta PT ZI khusus memproduksi piston.

Seiring dengan perkembangan kondisi ekonomi serta tumbuhnya pasar sepeda motor terjadi perubahan komposisi kepemilikan saham di pabrik sepeda motor ini. PT XY dan beberapa anak perusahaan melakukan merger menjadi satu perusahaan dengan nama PT X, yang komposisi kepemilikan sahamnya menjadi 50% milik PT F dan 50% milik PT G. PT X memiliki 3 fasilitas pabrik perakitan, pabrik pertama berlokasi di Jakarta Utara yang kedua berlokasi di Pegangsaan serta pabrik ketiga berlokasi di Cikarang.

### 3.1.3 Produk yang dihasilkan

Jenis produk yang dihasilkan PT. X ini sepeda motor dengan berbagai jenis. Ada tiga jenis sepeda motor yang dihasilkan oleh PT. X, yaitu tipe *cub* atau bebek, tipe *sport*, dan tipe skutik

Setiap tipe motor ini diproduksi di *plant* yang berbeda. Untuk tipe *cub* dihasilkan di *plant* 1, sedangkan *plant* 2 menghasilkan tipe *sport* dan beberapa tipe *cub*, dan *plant* 3 menghasilkan tipe skutik. Referensi standar yang digunakan adalah JIS (*Japan Industrial Standard*), SII (Standar Industri Indonesia), SNI (Standar Nasional Indonesia), ISO 9001, ISO 14001, ISO 17025. **Gambar 3.1** berikut merupakan volume penjualan PT. X:



**Gambar 3.1** Volum penjualan produk PT. X

Sumber : *Website perusahaan*

### 3.1.4 Visi dan Misi

PT X, perusahaan yang menjalankan fungsi produksi, penjualan dan pelayanan purna jual yang lengkap untuk kepuasan pelanggan dan memiliki:

**Universitas Indonesia**

### Visi

*To Be Number One Market Driven Trend-setter motorcycle Company in Indonesia in term of customer satisfaction the empowered human capital guided by shared values.*

### Misi

*To provide mobility solution which exceed customer expectation with the best value motorcycle & Its related products, thru empowered human capital for the benefit of all stakeholders.*

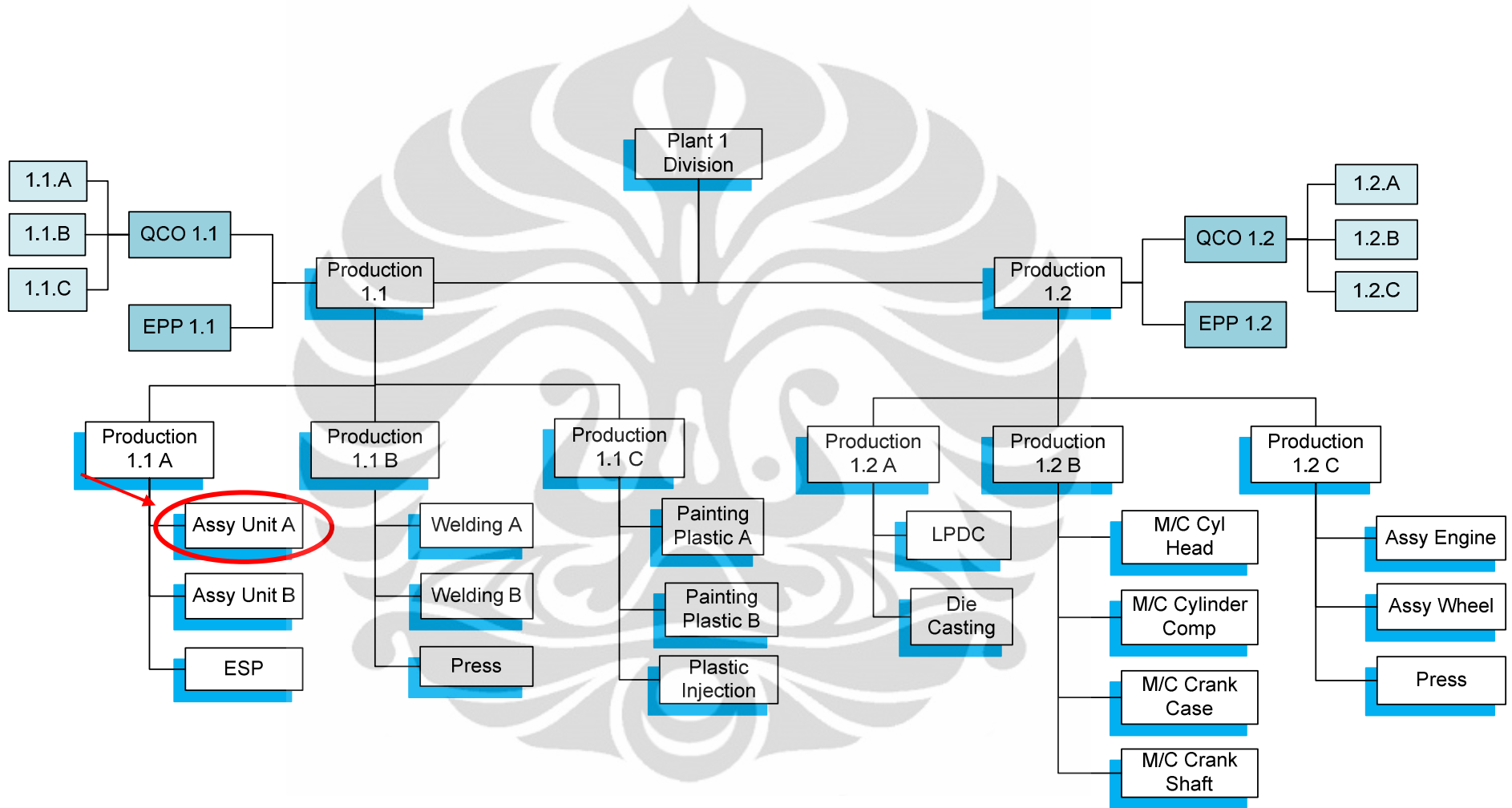
#### 3.1.5 Kebijakan Mutu

Semua karyawan PT. X agar senantiasa berkarya dengan berpedoman pada Sistem Manajemen Mutu ISO 9001.2008 serta melaksanakan prinsip dasar sistem mutu:

1. Membuat produk dan memberikan pelayanan yang bermutu tinggi serta sesuai dengan kebutuhan dan harapan para pelanggan
2. Membuat produk dan memberikan pelayanan secara efisien dengan memperhatikan unsur-unsur QCDDM secara berimbang
3. Membangun budaya dan etos kerja yang berorientasi pasar, produktif dan memandang mutu sebagai hal yang sangat penting dengan melaksanakan kegiatan 5K2S
4. Membangun kompetensi Sumber Daya Manusia yang berwawasan mutu serta mampu berperan serta dalam program peningkatan mutu produk dan layanan.

#### 3.1.6 Struktur Organisasi *Plant 1 Division*

PT. X dipimpin oleh seorang *President Director*. PT. X memiliki tiga plant yaitu divisi *plant 1*, divisi *plant 2*, dan divisi *plant 3*. Ketiga divisi *plant* tersebut berada di bawah *Production Engineering dan Procurement Direktorat*. Untuk *assembly unit* sendiri berada dibawah divisi *plant 1*. **Gambar 3.2** berikut adalah struktur organisasi lengkap divisi *plant 1*.



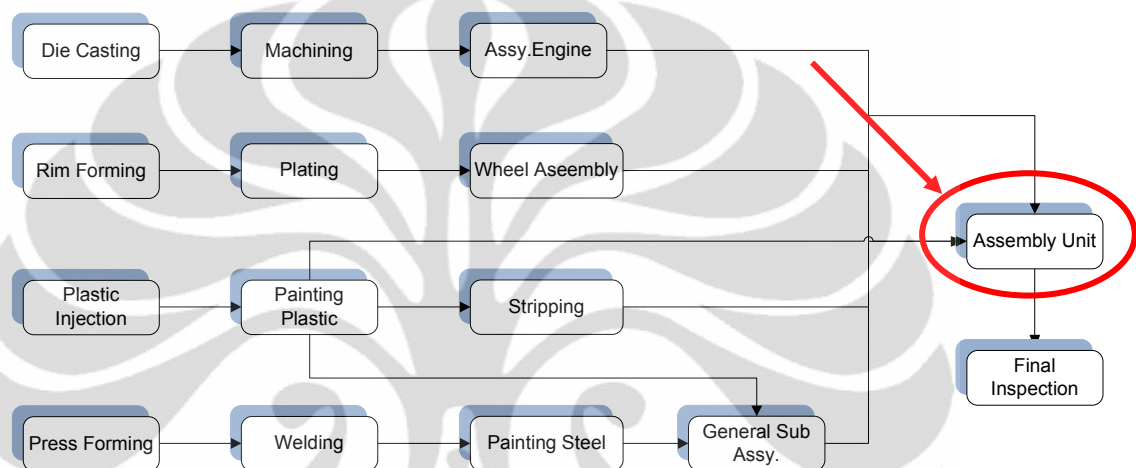
**Gambar 3.2** Struktur organisasi *Plant 1 Division*

Sumber: *Plant 1 Division*

### 3.1.7 Aliran Proses Produksi (*Production Flow Process*)

Untuk membuat motor, PT. X mempunyai 4 *line* utama yaitu, *die casting*, *rim forming*, *plastic injection*, dan *press forming*. Setelah melalui semua proses tersebut, beberapa komponen terpisah kemudian di *assembly* atau dirakit menjadi satu produk motor. Setelah selesai dirakit, maka motor tersebut masuk ke *final inspection* kemudian di cek berdasarkan SPA atau Standard Pemeriksaan Akhir.

**Gambar 3.3** berikut adalah *production flow process* yang lebih lengkap.



**Gambar 3.3** *Production Flow Process*

Sumber: *Assy Unit*

### 3.1.8 Profil Area Bagian Perakitan (*Assembly Unit*)

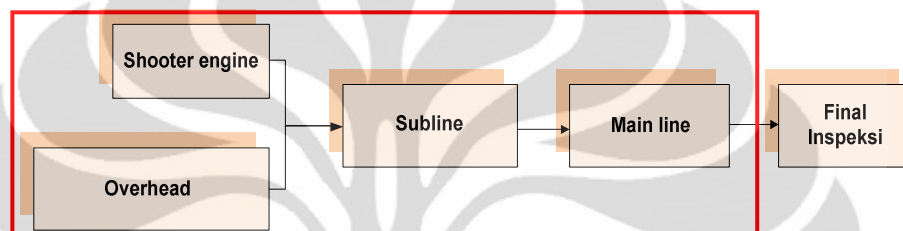
Penulis melakukan penelitian pada bagian *assembly unit* di *line A* pada *station numbering* dan *press* khususnya untuk motor tipe CH3. *Assembly unit* merupakan bagian yang bertanggung jawab untuk memproduksi motor terutama untuk kegiatan penyatuan *part-part* yang telah diproduksi oleh kegiatan sebelum untuk dijadikan sebuah unit motor. Selain itu, *assy unit* juga bertugas untuk memastikan agar kegiatan produksi ini berjalan dengan lancar sesuai dengan *Master Production Schedule (MPS)* yang dikeluarkan oleh pihak bagian *Production Planning Control (PPC)*.

Terdapat dua *line* pada *assy unit*, yaitu *line A* dan *B*. Secara umum jenis pekerjaan yang dilakukan pada kedua *line* tersebut tidak jauh berbeda. Kedua *line* mempunyai 4 bagian yang sama, yaitu *overhead*, *shooter engine*, *sub line*, dan *main line*. *Assy unit* ini mempunyai dua *shift* kerja yaitu *shift 1* dan *shift 2*. *Line A* dan *line B* sama-sama memproduksi pada kedua *shift* tersebut.

Universitas Indonesia

### 3.1.9 Aliran Proses Bagian Perakitan (*Flow Process Assembly Unit*)

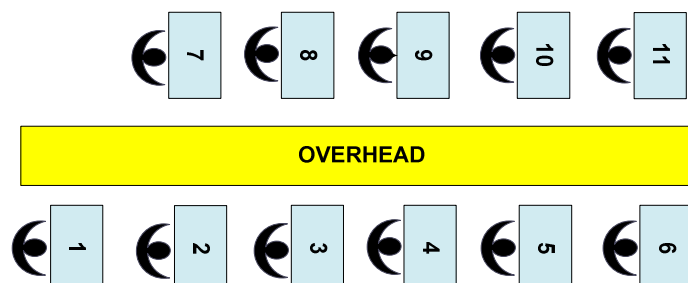
*Assembly unit* adalah proses pembuatan motor yang paling akhir. Pada bagian ini, *part-part* yang telah dibuat oleh proses sebelumnya dikirim menuju ke *assembly unit*, kemudian diproses dan dirakit menjadi sebuah motor. **Gambar 3.4** berikut adalah empat bagian dimana setiap bagian tersebut terdiri dari beberapa *workstation*. Setiap *workstation* tersebut mempunyai kegiatan berbeda yang saling berkesinambungan dari satu *workstation* ke *workstation* lain hingga terbentuk satu unit motor.



**Gambar 3.4** *Flow Process Assembly Unit*

Sumber: *Assy Unit*

Bagian *overhead* dan *shooter engine* merupakan bagian awal dari *assy unit*. Proses yang terjadi sebelum bagian *overhead* adalah *painting steel*. Setelah selesai dibuat pada bagian *welding, frame body* kemudian menuju bagian *painting steel* untuk diberikan cat atau di *painting steel*. Setelah selesai, selanjutnya *frame body* dibawa menuju ke *assy unit* pada bagian *overhead* khususnya *station numbering*. *Station numbering* merupakan *station* pertama yang ada pada *assy unit* bagian *overhead* yang bertugas untuk memberikan kode produksi pada *frame body*. **Gambar 3.5** berikut menggambarkan *layout* bagian *overhead* yang ada pada *assy unit*.



**Gambar 3.5** Bagian *overhead* pada *assy unit line A*

Sumber : *Assy Unit*



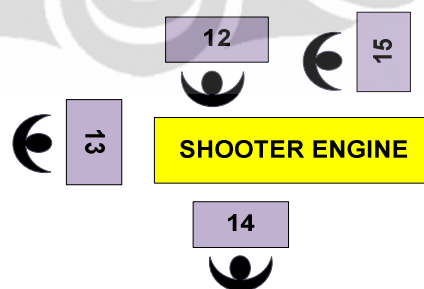
Penjelasan mengenai bagian *overhead* pada gambar di atas ditampilkan pada **Tabel 3.1** berikut ini.

**Tabel 3.1** Kegiatan pada bagian *overhead* berdasarkan Gambar 3.5

OVERHEAD			
Kanan		Kiri	
1	Numbering frame body	7	Pasang seat lock
2	Press race steering	8	Install rear fender dan key set
3	Pasang wire harness	9	Pasang pin split
4	Pasang main stand	10	Clear numbering
5	Pasang rubber	11	Pasang keyset
6	Pasang steel ball		

Sumber : *Assy Unit*

Selain *overhead*, *shooter engine* juga merupakan bagian pendahuluan yang ada pada *assy unit*. Proses yang terjadi sebelum bagian *shooter engine* adalah *assy engine*. Setelah beberapa *part engine* yang dikerjakan terpisah selesai dibuat, maka selanjutnya *part* tersebut digabungkan atau dirakit menjadi satu pada bagian *assy engine* untuk menjadi satu *engine* motor yang utuh. Setelah selesai dirakit menjadi *engine* yang utuh, *engine* tersebut kemudian dikirim menuju *assy unit* bagian *shooter engine* khususnya ke *station engine lifter*, dimana *station* tersebut merupakan *station* pertama yang ada pada bagian *shooter engine*. *Station* tersebut bertugas untuk mengangkat *engine* dari kereta *part* ke meja *assembly* untuk diproses lebih lanjut. **Gambar 3.6** berikut menggambarkan *layout* yang ada pada bagian *shooter engine* pada *assy unit line A*.



**Gambar 3.6** Bagian *shooter engine* pada *assy unit line A*

Sumber : *Assy Unit*

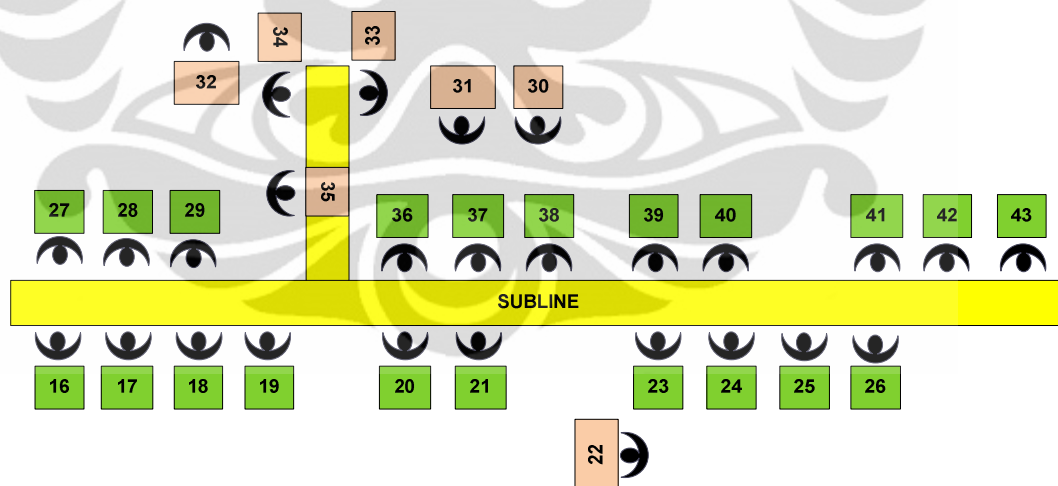
Penjelasan mengenai bagian *shooter engine* pada gambar di atas ditampilkan pada **Tabel 3.2** berikut ini.

**Tabel 3.2** Kegiatan pada bagian *shooter engine* berdasarkan Gambar 3.6

SHOOTER ENGINE	
12	Engine lifter
13	Pasang stepbar assy
14	Pasang stay leg
15	Pasang karburator

Sumber : *Assy Unit*

Setelah semua proses yang ada pada bagian *overhead* dan *shooter engine* selesai, kemudian kedua bagian yang berbeda tersebut bersatu pada bagian *subline*. Bagian *subline* adalah bagian yang merakit motor dari komponen terpisah kemudian dirakit hingga menjadi motor setengah jadi atau hingga pemasangan roda. Setelah bagian *overhead* selesai memasang *keyset* pada *frame body*, kemudian *frame body* tersebut di *transfer* ke bagian *subline* bersamaan dengan ditransfernya *engine* yang telah selesai dipasangkan karburator pada bagian *shooter engine*, kemudian *frame body* dan *engine* digabungkan. **Gambar 3.7** berikut ini menggambarkan *layout* bagian *subline* yang ada pada *assy unit line A*.

**Gambar 3.7** Bagian *subline* pada *assy unit line A*

Sumber : *Assy Unit*

Penjelasan mengenai bagian *subline* pada gambar di atas ditampilkan pada **Tabel 3.3** berikut ini.

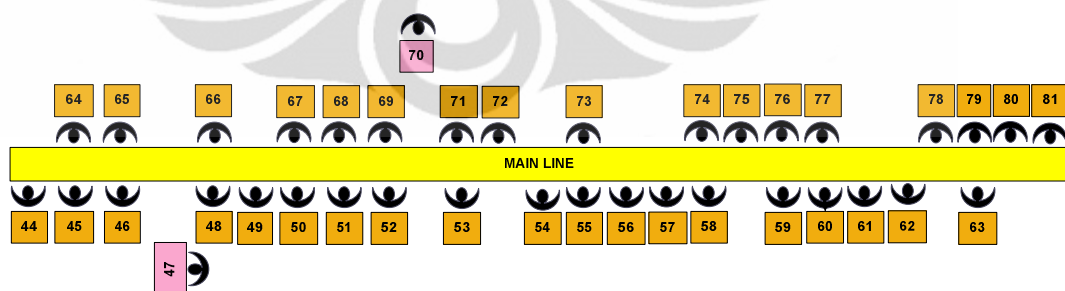


**Tabel 3.3** Kegiatan pada bagian *subline* berdasarkan Gambar 3.7

SUBLINE			
Kanan		Kiri	
16	Pasang rear cushion	27	Setting engine frame body
17	Pasang air cleaner	28	Pasang kabel dan connect switch
18	Pasang CDI	29	Pasang steel ball dan ambil rantai
19	Pasang ASV	30	Press bushing
20	Ambil front fork dan pasang ban belakang	31	Pasang rubber arm swing
21	Pasang washer plain	32	Press ban
22	Buat brake pedal assy	33	Pasang adjuster dan axle
23	Gabung brake pedal assy ke master rem	34	Pasang calliper
24	Tembak bolt	35	Pasang sticker
25	Pasang axle	36	Pasang arm swing
26	Pasang ban depan	37	Coonect coil
		38	Set front fork
		39	Set front fork nut steering
		40	Pasang steering handle
		41	Kencangkan rear cushion
		42	Connect coupler
		43	Transfer Main Line

Sumber : *Assy Unit*

Setelah semua proses yang ada pada bagian *subline* selesai, kemudian motor ditransfer menuju *main line*. Seperti halnya bagian *subline*, bagian *main line* juga merupakan bagian yang merakit motor, namun jika pada bagian *subline* hanya sampai pada pemasangan ban, pada bagian *main line* motor dirakit hingga selesai menjadi satu unit motor yang utuh. Setelah bagian *subline* selesai, motor kemudian ditransfer dari *subline* menuju *main line*. **Gambar 3.8** berikut, menggambarkan *layout* bagian *main line* yang ada pada *assy unit line A*.

**Gambar 3.8** *Layout* bagian *main line* pada *assy unit line A*

Sumber : *Assy Unit*

Penjelasan mengenai bagian *main line* pada gambar di atas ditampilkan pada **Tabel 3.4** berikut ini.

**Tabel 3.4** Kegiatan pada bagian *main line* berdasarkan Gambar 3.8

MAIN LINE			
Kanan		Kiri	
44	Pasang full tank	64	Pasang stay front top cover
45	Pasang box luggage	65	Connect spidometer
46	Kait master cylinder	66	Pasang auto cock fuel
47	Sticker set light	67	Pasang crank case
48	Pasang set light	68	Torsi steering dan front axle
49	Connect wire harness	69	Connect kabel spidometer
50	Connect sub harness dan pasang pin	70	Pasang cover body dan cover tail
51	Pasang pin dan marking	71	Online Inspection
52	Torsi kaliber dan rear cushion	72	Pasang cover front body
53	Online inspection	73	Pasang pedal gear change
54	Connect karburator	74	Vacuum bensin
55	Pasang kabel throttle	75	Tembak bracket dan rear grip
56	Pasang muffler	76	Pasang cover main pipe
57	Pasang rear grip	77	Pasang cover center
58	Pasang protector	78	Pasang seat
59	Pasang valve	79	Setting cover engine
60	Pasang cover main pipe	80	Online inspection
61	Pasang cover main pipe under	81	Scan kode produksi
62	Pasang front top cover		
63	Pasang kick starter		

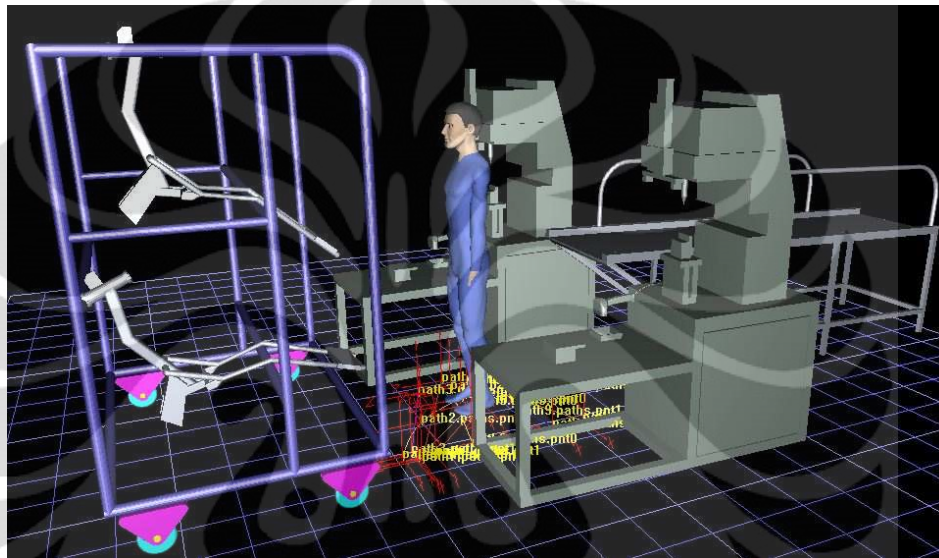
Sumber : Assy Unit

### 3.1.10 Stasiun penomoran dan penekanan (*station numbering* dan *press*)

Ada dua *station* yang akan dibahas dalam penelitian ini, yaitu *station numbering* dan *station press*. Seperti yang telah dijelaskan, *station numbering* dan *press* terdapat pada bagian *overhead*. Tugas *station numbering* adalah memberikan nomor atau kode produksi pada *frame body* dengan cara operator mengambil *frame body* yang terletak di kereta *part* kemudian meletakkannya pada mesin *numbering* untuk diberikan nomor atau kode produksi. Setelah *frame body* selesai diberi nomor, kemudian *frame body* tersebut dipindahkan menuju *station* setelahnya yaitu *station press*. Semua yang terjadi pada *station numbering* dilakukan secara manual. Berat *frame body* yang harus diangkat oleh operator adalah sebesar 11 kg dan ini harus dilakukan secara *repetitive* hingga 1225 kali dimana jumlah tersebut merupakan target produksi perusahaan untuk *line A shift* satu. Operator melakukan kegiatan tersebut dengan potur yang kurang ideal

Universitas Indonesia

karena operator harus membungkuk dan harus bekerja dengan lengan di atas bahu dalam waktu yang cukup lama karena desain kereta *part* yang kurang optimal. Terlebih lagi, saat operator mengambil *frame body* pada baris atas kereta *part*, kepala operator rentan terbentur dengan *frame body* dan desain *frame body* juga cukup membahayakan kepala operator. Untuk mengetahui keadaan *station numbering*, **Gambar 3.9** berikut akan memberikan bayangan mengenai kondisi yang ada pada *station* tersebut.

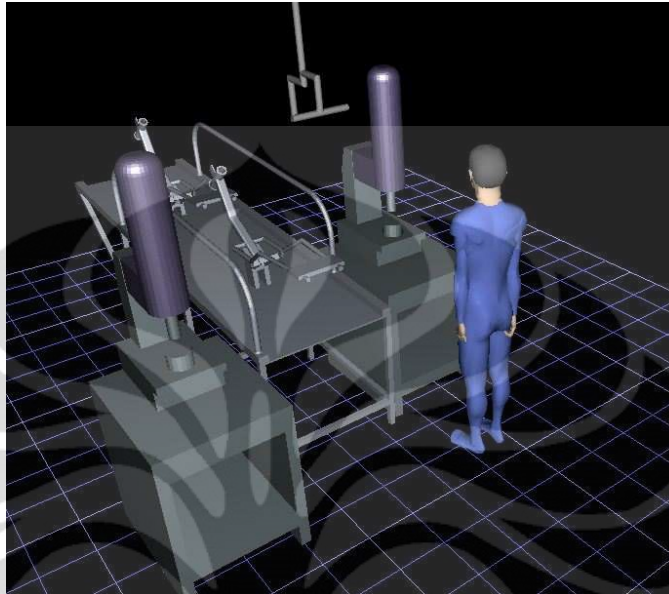


**Gambar 3.9** *Layout station numbering assy unit*

Sumber : *Software Jack*

Selain *station numbering*, *station press* juga akan dibahas lebih lanjut dalam penelitian ini. Tugas *station press* adalah mengambil *frame body* dari yang telah ditrasfer oleh operator *station numbering* kemudian menambahkan *race steering* ke dalam *frame body* dengan menggunakan mesin *press* serta mengecek kode produksi yang telah dilakukan pada *station numbering*. Setelah *frame body* selesai di-*press* bersama *race steering*, *frame body* dipindahkan ke *jig* agar *frame body* dapat berjalan secara otomatis ke *station* berikutnya. Seperti halnya *station numbering*, semua yang terjadi pada *station press* pun dilakukan secara manual dimana kegiatan ini juga harus dilakukan secara *repetitive* hingga 1225 kali. Untuk kasus *station press*, operator harus bekerja dengan sedikit mendongak saat akan mengecek kode produksi dan harus bekerja dengan lengan di atas bahu sedikit saat akan memindahkan *frame body* dari mesin *press* ke *jig* sehingga hal

ini jika terakumulasi menjadi kurang baik bagi kesehatan operator. Untuk mengetahui keadaan *station press*, **Gambar 3.10** berikut akan memberikan bayangan mengenai kondisi yang ada pada *station* tersebut.



**Gambar 3.10** *Layout station press assy unit*

Sumber : *Software Jack*

### 3.2 Pengumpulan Data

#### 3.2.1 Identifikasi Masalah dan Keluhan Fisik Pekerja

Data yang dikumpulkan pada penelitian ini diperlukan untuk menganalisis kondisi aktual pekerja saat melakukan pekerjaannya melalui pendekatan ergonomi. Data tersebut diharapkan dapat menunjang analisis ergonomi yang akan dilakukan pada *software Jack* melalui metode *Posture Evaluation Index* (PEI). Namun, sebelum mendapatkan masalah ergonomi secara lebih detail serta menganalisis lebih lanjut mengenai masalah yang ada pada *station numbering* dan *press*, maka diperlukan *preliminary study* berupa data keluhan operator yang didapatkan melalui kuesioner yang diwawancarakan. Tujuan pengambilan data keluhan ini adalah untuk memastikan bahwa pemilihan objek penelitian dapat mendukung tujuan yang ingin dicapai dari penelitian. Hasil kuesioner tersebut juga dapat memperkuat dugaan adanya masalah ergonomi pada kedua *station* kerja tersebut.



Pengambilan data keluhan fisik ini dilakukan terhadap semua pekerja yang ada pada *station numbering* dan *press* yaitu sebanyak 14 orang. Hasil dari data keluhan ini, dapat diketahui bagian tubuh mana yang paling sering mengalami keluhan sakit serta seberapa sering operator mengalami keluhan tersebut. Berikut adalah data hasil keluhan fisik yang dialami operator pada *station numbering* dan *press*. **Tabel 3.5** berikut adalah tabel yang menunjukkan tingkat keparahan rasa sakit yang dirasakan pada bagian tubuh tertentu serta frekuensi atau seberapa sering operator mengalami keluhan pada anggota tubuh tersebut. Untuk persentase, dibandingkan dengan total pekerja yang ada pada *station* tersebut yaitu 14 orang. Berikut adalah hasilnya:

**Tabel 3.5** Tingkat Keparahan Sakit yang Dirasakan Pada Bagian Tubuh

Bagian Tubuh	Tingkat Keparahan (orang)			Frekuensi (orang)		
	Ringan	Sedang	Berat	Jarang	Sering	Selalu
Leher	0	0	0	0	0	0
Bahu Kanan	0	1	5	1	3	2
Bahu Kiri	0	1	5	1	3	2
Tangan Kanan	0	1	6	1	1	5
Tangan Kiri	0	1	6	1	1	5
Siku Kanan	0	0	0	0	0	0
Siku Kiri	0	0	0	0	0	0
Pergelangan Tangan Kanan	1	0	0	0	0	0
Pergelangan Tangan Kiri	1	0	0	0	0	0
Punggung	0	4	7	1	5	5
Paha	1	0	0	0	1	0
Lutut	1	0	0	1	0	0
Kaki Kanan	0	1	3	0	2	1
Kaki Kiri	0	1	3	0	2	1

Berikut adalah penjelasan mengenai tingkat keparahan keluhan yang dirasakan yang ada pada tabel di atas:

Ringan : Keluhan yang dirasakan oleh operator dapat diatasi dengan sedikit peregangan dan tidak menimbulkan gangguan kerja.

Sedang : Keluhan yang dirasakan oleh operator dapat diatasi dengan beristirahat sejenak dan tetap dapat mengerjakan pekerjaan dengan baik.

Berat : Keluhan yang dirasakan oleh operator baru dapat diatasi setelah beristirahat lebih lama serta menghentikan pekerjaan.

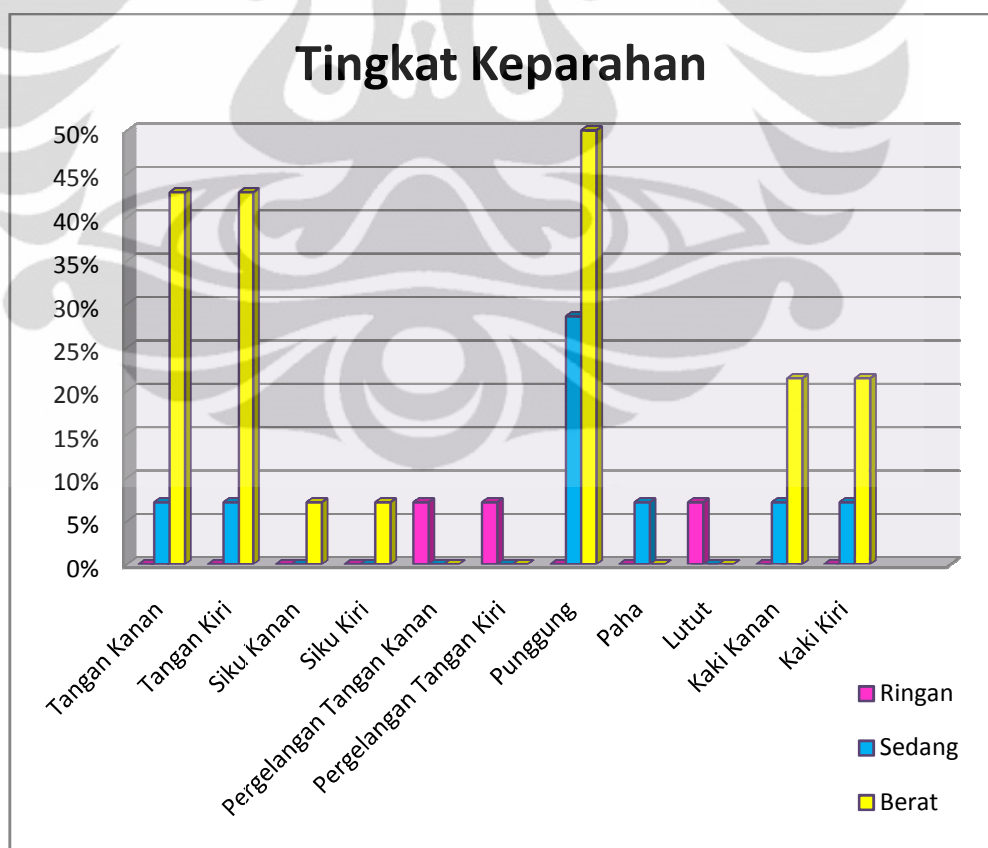
Berikut adalah penjelasan mengenai frekuensi keluhan yang dirasakan yang ada pada tabel di atas:

Jarang : Keluhan yang dirasakan hanya terjadi sesekali dalam seminggu.

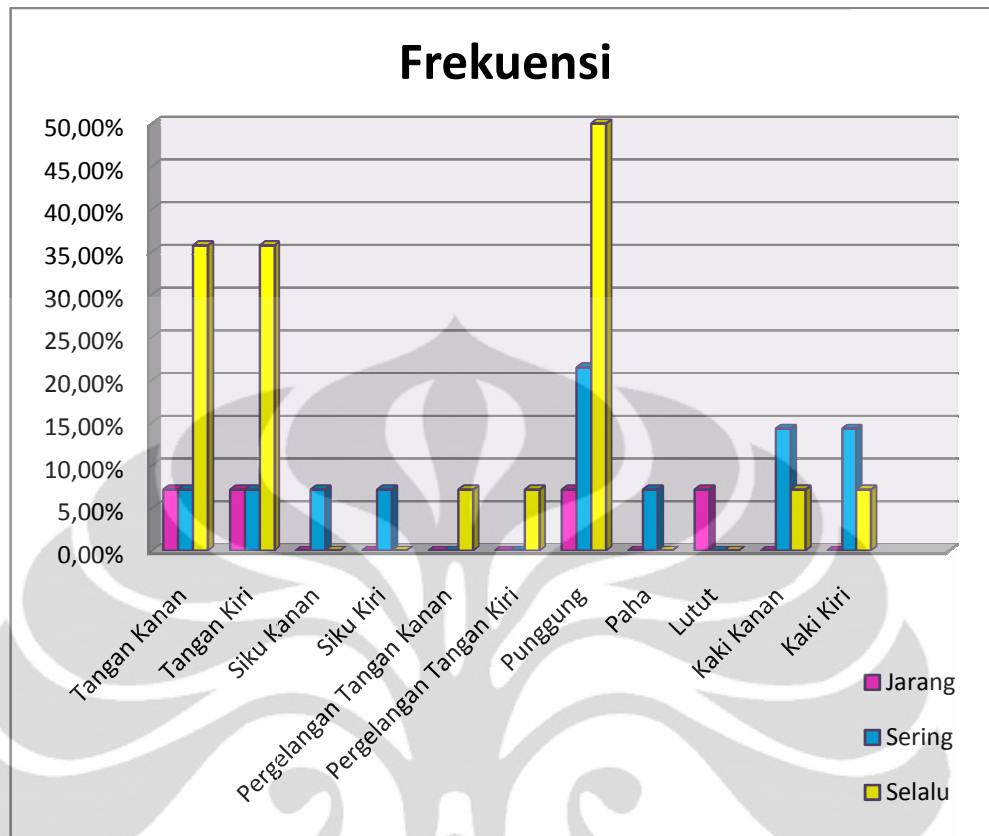
Sering : Keluhan dirasakan beberapa kali (3-4 kali) dalam seminggu.

Selalu : Keluhan yang dirasakan terjadi setiap hari atau sepanjang melakukan pekerjaan.

Setelah didapatkan data keluhan fisik yang dirasakan per orang, maka selanjutnya data tersebut diolah ke dalam bentuk persentase. **Gambar 3.11** menunjukkan grafik persentase tingkat keparahan keluhan fisik yang dirasakan oleh operator pada bagian tubuh tertentu, sedangkan **Gambar 3.12** menunjukkan grafik persentase frekuensi keluhan fisik yang dirasakan oleh operator.



**Gambar 3.11** Grafik Persentase Tingkat Keparahan Keluhan Fisik



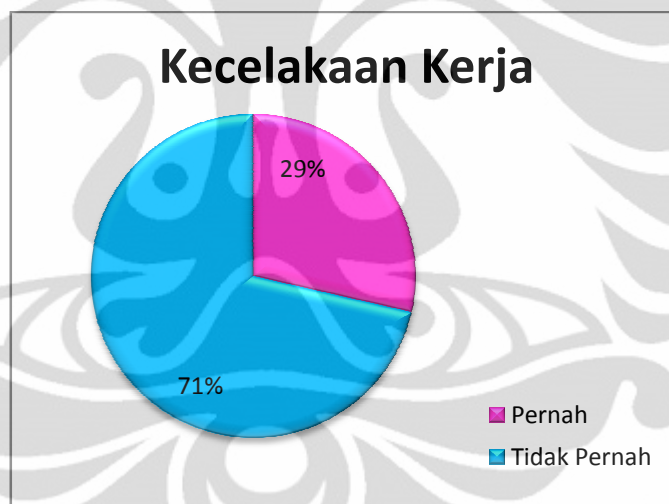
**Gambar 3.12** Grafik Persentase Tingkat Frekuensi Keluhan Fisik

Dari kedua grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa operator pada *station numbering* dan *press* banyak mengalami keluhan pada bagian punggung baik dari tingkat keparahan maupun dari frekuensi terjadinya keluhan dimana untuk bagian punggung tersebut, operator mengalami keluhan yang berat dengan frekuensi selalu. Hal ini disebabkan oleh kegiatan pengangkatan manual yang dilakukan oleh operator disertai oleh postur yang kurang ideal yang dilakukan secara *repetitive*. Selain itu, punggung juga berperan sebagai penopang tubuh sehingga bagian ini akan mendapatkan tekanan yang paling tinggi dari kegiatan *manual handling*.

Setelah punggung, bagian lain yang cukup sering dikeluhkan adalah tangan dan kaki baik dari tingkat keparahan maupun frekuensinya. Untuk tangan, operator mengalami keluhan yang berat dan dengan frekuensi selalu sedangkan untuk kaki, operator mengalami keluhan yang berat dengan frekuensi sering. Hal ini disebabkan karena kegiatan pengangkatan manual sangat mengandalkan

kekuatan otot tangan yang cukup besar terutama untuk kegiatan mengangkat beban yang berat dengan tingkat *repetitive* yang sangat tinggi. Untuk kaki, hal ini disebabkan karena pekerjaan tersebut dilakukan dengan berdiri selama 8 jam dimana selama itu, kaki menumpu seluruh tubuh dan beban yang diangkat sehingga kaki pun sering dikeluhkan oleh operator dengan tingkat yang berat.

Selain keluhan fisik, didapatkan juga data berupa kecelakaan kerja yang dialami oleh operator yang berada pada *station numbering* dan *press*. Data kecelakaan yang didapatkan ini terjadi dalam waktu kurang dari satu tahun atau sekitar sepuluh bulan, dimana waktu tersebut merupakan waktu rata-rata dari lamanya operator mulai bekerja pada perusahaan di *station* tersebut. Data ini didapatkan dengan menanyakan langsung pada operator yang berada pada kedua *station* tersebut. **Gambar 3.13** berikut adalah persentase kecelakaan yang terjadi pada kedua *station* tersebut.



**Gambar 3.13** Data Kecelakaan Kerja

Setelah mendapatkan data keluhan serta kecelakaan kerja yang terjadi, maka selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari data lain yang dapat mendukung analisis kondisi aktual pada *station numbering* dan *press* yang dilakukan dengan menggunakan *software* Jack. Data didapatkan melalui pengamatan atau observasi langsung, bertanya maupun wawancara pada operator yang berada di sana. Data yang dibutuhkan tersebut adalah data antropometri operator yang ada pada *station numbering* dan *press* dimana data tersebut digunakan untuk membuat *virtual*



*human* pada *software* Jack yang akan merepresentasikan tubuh operator pada kondisi aktual.

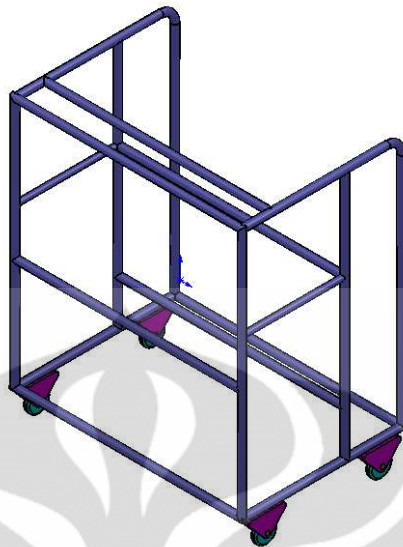
Selain itu juga dibutuhkan data-data dimensi stasiun kerja seperti peralatan atau mesin yang digunakan oleh operator saat bekerja serta *layout*, jarak, dan penempatan benda kerja dimana data tersebut digunakan untuk membuat *virtual environment* yang merepresentasikan lingkungan aktual. Dibutuhkan pula data postur kerja yang dilakukan oleh operator selama bekerja dengan cara mengamati gerakan operator saat bekerja. Semua data tersebut kemudian diintegrasikan dan dijalankan melalui animasi atau simulasi pada Jack untuk menggambarkan kondisi kerja aktual yang sesuai dengan keadaan nyata untuk kemudian dianalisis.

### 3.2.2 Data Bentuk Peralatan Kerja pada *Station Numbering* dan *Press*

Data bentuk peralatan kerja yang terdapat dalam setiap *station* ini didapatkan melalui observasi langsung ke dalam *line* tempat operator bekerja. Data yang diambil berupa semua dimensi dari mesin, peralatan, dan benda kerja lain yang berkaitan langsung dengan kegiatan produksi. Data tersebut digunakan sebagai input untuk *virtual environment* pada *software* Jack. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan meteran. Untuk *station numbering*, benda kerja yang terlibat terdiri dari dua buah mesin *numbering* identik, *frame body*, kereta *part* serta meja untuk mentransfer *frame body* menuju *station* berikutnya. Untuk *station press*, yang terlibat adalah *race steering* yang besar dan kecil, mesin *press*, *jig* berjalan yang berfungsi untuk mentransfer *frame body* ke *station* berikutnya serta *frame body* dan meja transfer yang juga ada pada *station numbering*.

#### 3.2.2.1 Spesifikasi Kereta *part*

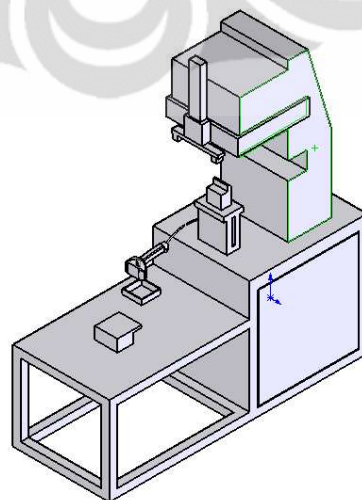
Kereta *part* merupakan kereta yang digunakan untuk membawa *frame body* dari proses sebelumnya yaitu *painting steel* menuju ke *station numbering*. Kereta *part* ini dapat menampung 5 *frame body* pada bagian atas dan 5 *frame body* pada bagian bawah. Gambar kereta *part* ini menggunakan satuan *centimeter* (cm). **Gambar 3.14** berikut adalah gambar kereta *part* yang merupakan benda kerja yang terlibat dalam *station numbering*.



**Gambar 3.14** Tiga Dimensi Kereta *Part*

#### 3.2.2.2 Spesifikasi Mesin *Numbering*

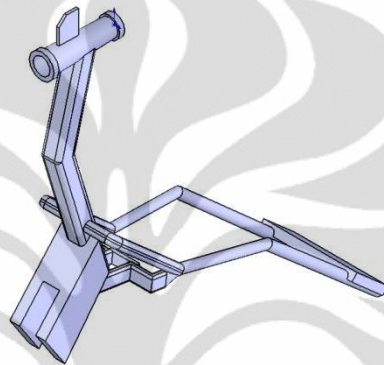
Mesin *numbering* adalah mesin yang digunakan untuk memberikan kode produksi pada *frame body*. Terdapat dua buah mesin pada *station numbering* yang dioperasikan secara paralel oleh operator. Mesin akan membaca *barcode* produksi yang ada pada *sticker* melalui *scanner*, kemudian *scanner* mentransfer informasi ke komputer. Setelah komputer membaca informasi tersebut, mesin *numbering* akan memberikan nomor sesuai dengan yang telah terbaca tadi. Gambar mesin *numbering* ini menggunakan satuan *centimeter* (cm). **Gambar 3.15** berikut adalah gambar dari mesin *numbering*.



**Gambar 3.15** Tiga Dimensi Mesin *Numbering*

### 3.2.2.3 Spesifikasi *Frame body*

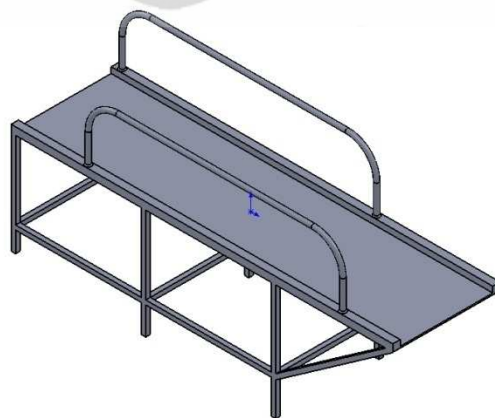
*Frame body* merupakan *part* yang terlibat selama proses produksi pada *station numbering*. *Frame body* ini datang dari proses *painting steel*. Berat *frame body* untuk tipe CH, mencapai 11 kg. *Frame body* merupakan rangka motor yang akan ditambahkan berbagai komponen hingga menjadi motor utuh. Gambar *frame body* menggunakan satuan *centimeter* (cm). **Gambar 3.16** berikut adalah gambar *frame body*.



**Gambar 3.16** Tiga Dimensi *Frame body*

### 3.2.2.4 Spesifikasi Meja Transfer

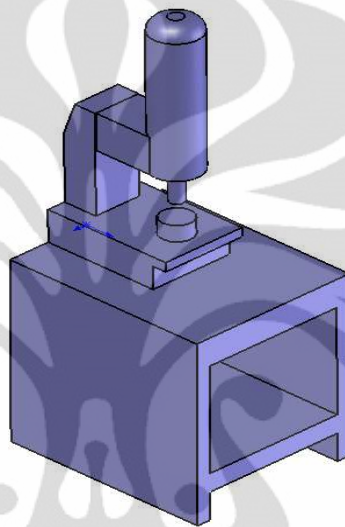
Meja transfer merupakan meja yang digunakan untuk mentransfer *frame body* yang telah diberi kode produksi menuju ke *station* berikutnya yaitu *station press*. Meja ini berbentuk agak menurun agar dapat memudahkan proses pentransferan dan dapat menampung hingga 3 *frame body*. Meja ini terletak diantara *station numbering* dan *press*. Gambar meja transfer menggunakan satuan *centimeter* (cm). **Gambar 3.17** berikut adalah gambar meja transfer.



**Gambar 3.17** Tiga Dimensi Meja Transfer

### 3.2.2.5 Spesifikasi Mesin Press

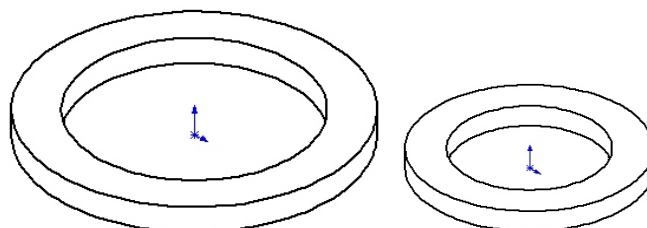
Mesin *press* adalah mesin yang digunakan untuk menekan *race steering* masuk ke dalam *frame body*. Setelah operator menempatkan *frame body* dan *race steering* pada mesin *press*, kemudian operator menjalankan mesin. Setelah selesai di *press*, *frame body* dipindahkan ke *jig* berjalan agar *frame body* dapat pindah secara otomatis ke *station* berikutnya. Gambar mesin *press* menggunakan satuan *centimeter* (cm). **Gambar 3.18** berikut adalah gambar mesin *press*.



**Gambar 3.18** Tiga Dimensi Mesin Press

### 3.2.2.6 Spesifikasi Race Steering

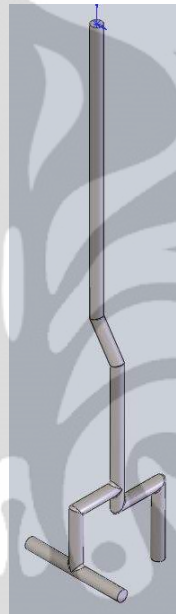
*Race Steering* adalah *roller* yang terlibat dalam *station press*. *Race steering* ini kemudian dimasukkan ke dalam *frame body*. *Race steering* ini terdapat dua macam yaitu yang berdiameter besar dan kecil. Gambar *race steering* ini menggunakan satuan *centimeter* (cm). **Gambar 3.19** berikut adalah gambaran detail dari *race steering* yang berdiameter besar dan kecil.



**Gambar 3.19** Tiga Dimensi Race Steering Besar dan Kecil

### 3.2.2.7 Spesifikasi Jig

*Jig* adalah benda kerja yang terlibat dalam *station press*. *Jig* ini berfungsi untuk memindahkan *frame body* dari satu *station* ke *station* lainnya secara otomatis pada bagian *overhead*. *Jig* ini tergantung pada *conveyor* bagian atas dengan ketinggian sekitar 3 meter dari tanah. Gambar *jig* menggunakan satuan *centimeter* (cm). **Gambar 3.20** berikut adalah gambar dari *jig*.



**Gambar 3.20** Tiga Dimensi *Jig*

### 3.2.3 Data Antropometri Operator

Data lain yang dibutuhkan dalam penelitian ini adalah data antropometri semua operator *station numbering* dan *press* kondisi aktual. Data ini diperlukan sebagai *input* manusia *virtual* pada *software* Jack. Data ini didapatkan dengan cara mengukur langsung operator yang berada di *line* baik tinggi dan berat badannya. Beberapa ukuran tubuh lain juga ikut diukur namun setelah bagian tersebut dimasukkan ke dalam Jack, tubuh manusia *virtual* menjadi kurang proporsional sehingga diputuskan untuk memasukkan hanya tinggi dan berat badan operator ke dalam *software* Jack. Untuk bagian tubuh lainnya, dihasilkan oleh Jack dengan menggunakan *database* orang China.

Pengumpulan data dilakukan hanya pada semua operator *station numbering* dan *press* kondisi aktual pada *line* A dan B baik *shift* 1 maupun *shift* 2



sebanyak 14 orang yang semuanya berjenis kelamin laki-laki. Pengumpulan data antropometri ini memang cukup sedikit karena tidak mengambil data antropometri operator pada *station* lain. Hal ini dilakukan agar model manusia *virtual* yang akan dijalankan pada *software* Jack ini dapat mewakili atau merepresentasikan antropometri operator kondisi aktual yang ada pada *station numbering* dan *press* sehingga hasil analisis yang dihasilkan pun aktual. **Tabel 3.6** berikut menunjukkan 7 dari 14 data hasil pengumpulan data tinggi dan berat badan operator.

**Tabel 3.6** Data Tinggi dan Berat Badan Operator

No.	Stature (cm)	Body weight (kg)
1	171	53
2	173	60
3	169	55
4	168	56
5	167	62
6	167	57
7	170	58

Data antropometri operator di atas masih belum dapat dimasukkan ke dalam *software* Jack karena harus dicari nilai dari beberapa persentil terlebih dahulu. Sesuai dengan seluruh data yang didapatkan, hanya data tinggi dan berat badan saja yang akan dicari nilai. Persentil yang akan digunakan untuk *input* ke dalam *software* Jack adalah persentil 5, 50, dan 95 karena ketiga persentil ini cukup mewakili semua populasi mulai dari yang terkecil hingga ke yang terbesar. **Tabel 3.7** adalah data tinggi dan berat badan operator dari persentil 5, 50, dan 95.

**Tabel 3.7** Data Tinggi dan Berat Badan Operator Berdasarkan Persentil

Percentile	Stature	Body weight (kg)
percentil 5	167	52,65
percentil 50	170	56,5
percentil 95	177,05	67,4

Data antropometri di atas digunakan untuk menganalisis kondisi aktual pada *station numbering* dan *press*, sedangkan untuk merancang tempat kerja yang baru yang dapat mengakomodasi sebagian besar ukuran tubuh orang Indonesia,

**Universitas Indonesia**

maka digunakan antropometri orang Indonesia karena pada dasarnya perusahaan pasti akan merekrut pekerja dari populasi Indonesia. Data tinggi dan berat badan orang Indonesia pada **Tabel 3.8** akan dijadikan *input* ke dalam *software* Jack dan ukuran tubuh lainnya didapatkan dari *software* Jack dengan *database* Chinese.

**Tabel 3.8** Data Tinggi dan Berat Badan Orang Indonesia Berdasarkan Persentil

Percentile	Stature (cm)	Body weight (kg)
percentil 5	162	50
percentil 50	172	63
percentil 95	183	89,25

Dalam merancang tempat kerja yang baru, ketinggian persentil 50 dari populasi Indonesia yang akan digunakan sebagai acuan ketinggian tempat kerja. Hal ini dilakukan karena persentil 50 merupakan persentil yang cukup mewakili persentil lainnya karena tinggi dan berat badan persentil tersebut yang berada pada rata-rata populasi. Selain itu, persentil 50 juga merupakan persentil yang jangkauannya dapat diakses oleh sebagian besar persentil mulai dari persentil terkecil yaitu 5 hingga ke persentil yang terbesar yaitu 95. Melalui persentil 50 ini pun, semua persentil dapat merasakan perlakuan yang cukup adil, karena jika persentil 5 yang dijadikan acuan, persentil 95 akan menjadi semakin membungkuk dalam meraih karena ketinggian tempat kerja yang cukup rendah, sedangkan jika persentil 95 yang dijadikan acuan, persentil 5 akan cukup kesulitan dalam meraih sehingga perlu menggunakan jangkauan maksimumnya. Berdasarkan pertimbangan tersebut, akhirnya ketinggian persentil 50 data antropometri orang Indonesia yang dijadikan acuan dalam merancang ketinggian tempat kerja.

#### 3.2.4 Data Waktu Kerja

Untuk dapat mensimulasikan kondisi aktual serta proses yang terjadi pada *station numbering* dan *press* ke dalam *software* Jack sesuai dengan keadaan nyata, data waktu saat operator melakukan pekerjaannya juga diperlukan untuk *input* animasi dalam *animation window*. Dengan demikian, manusia *virtual* tidak hanya bekerja sesuai dengan postur aktualnya saja namun juga bekerja sesuai dengan waktu aktualnya. Waktu ini didapatkan melalui *time study* dengan perhitungan

**Universitas Indonesia**

langsung dengan menggunakan alat bantu *stopwatch* untuk mengukur waktu kerja yang terjadi saat operator melakukan pekerjaannya. Perhitungan ini dilakukan untuk setiap elemen kerja pada kedua *station* tersebut. **Tabel 3.9** menunjukkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan pada *station numbering* dan **Tabel 3.10** adalah waktu untuk melakukan pekerjaan pada *station press*.

**Tabel 3.9** Waktu Kerja Rata-Rata Setiap Elemen Pada *Station Numbering*

No.	PROSES NUMBERING					
	A	B	C	D	E	F
1	3,07	1,03	1,74	0,87	1,84	3,58
2	3	0,97	1,42	0,85	1,64	2,76
3	2,47	0,99	1,39	0,76	1,86	2,76
4	3,36	0,95	1,36	1,04	1,78	3,08
5	2,9	1,20	1,53	0,77	1,77	2,64
6	2,73	1,00	2,49	0,99	1,91	2,68
7	2,49	0,87	1,62	1,28	1,73	2,61
8	3,82	1,03	2,41	1,21	2,09	2,41
9	2,6	0,95	1,79	1,1	1,88	2,62
10	3,08	0,99	2,2	0,88	1,67	3,26
11	2,92	1,12	1,92	0,76	1,52	2,7
12	3,86	1,25	2,05	0,92	2,19	3,21
13	3,93	1,11	1,96	0,76	1,3	2,99
14	3,15	1,16	2,32	0,78	1,97	2,79
15	3,5	1,01	1,58	0,82	1,21	3,13
16	3,76	1,05	2,64	1	1,92	2,85
17	3,63	0,86	1,97	0,78	1,98	2,81
18	3,45	1,00	2,12	1,17	1,39	3,09
19	3,55	0,96	1,68	1,09	2	2,89
20	3,76	0,85	2,07	0,86	1,36	3,01
21	3,99	1,17	1,85	0,91	1,47	2,94
22	3,82	0,84	2,22	0,85	1,34	2,95
23	3,73	1,07	1,9	1,28	2,59	2,7
24	3,44	1,37	2,01	0,98	1,48	3,42
25	3,04	0,90	1,43	1,05	1,96	3,71
26	3,87	1,11	2,27	0,75	1,97	3,06
27	3,88	1,12	2,33	0,98	1,89	3,87
28	3,5	0,98	1,61	1,04	1,29	2,37
29	3,83	1,06	1,65	0,84	1,35	3,17

Proses *numbering* di atas adalah sebagai berikut:

A : Mengangkat *frame body* dari kereta *part* ke mesin *numbering*

B : Menjalankan atau menekan tombol mesin

C : Membuka *sticker barcode*



D : Menempel *sticker* pada *frame body*

E : Meletakkan *barcode* lainnya pada *frame body*

F : Mentransfer *frame body* menuju *station* berikutnya

**Tabel 3.10** Waktu Kerja Setiap Elemen Pada *Station Press*

No.	PROSES PRESS			
	A	B	C	D
1	1,41	2,89	1,79	3,44
2	2,15	3,34	1,04	3,77
3	1,44	3,68	1,52	3,22
4	1,82	4,35	1,81	3,81
5	1,42	3,57	2,15	4,52
6	1,77	3,35	2,08	2,72
7	1,54	3,25	1,61	2,9
8	1,72	3,67	1,86	3,83
9	1,08	3,95	1,14	3,29
10	1,69	3,62	2,40	3,06
11	2,08	2,89	1,35	3,96
12	1,77	3,55	1,74	3,56
13	1,99	3,77	1,69	4,1
14	1,06	3,33	1,85	3,41
15	1,59	3,58	1,66	3,07
16	1,68	3,74	2,45	3,34
17	1,54	3,5	1,69	3,67
18	1,85	4,51	1,39	2,83
19	1,66	4,5	2,47	3,57
20	1,48	3,18	1,52	3,52
21	1,97	3,29	1,28	3,23
22	2,04	3,05	1,54	3,24
23	1,87	2,52	1,63	3,76
24	1,34	2,91	1,30	4,03
25	1,74	3,08	2,19	4,73
26	1,71	3,39	2,54	4,04
27	1,3	3,24	2,63	3,6
28	2,1	3,33	2,02	4,94
29	1,97	4,02	1,65	4,8
30	2,21	3,43	1,32	3,63
31	1,64	3,76	1,72	3,86
32	1,68	3,14	1,83	3,06

Universitas Indonesia

Proses *press* di atas secara detail akan dijelaskan sebagai berikut:

A : Mengambil *race steering* dan meletakkannya pada mesin *press*

B : Mengangkat *frame body* dari meja transfer ke mesin *press*

C : Mengecek kode *numbering* pada *frame body*

D : Angkat *frame body* dan pindahkan ke *jig* berjalan

Setelah didapatkan waktu rata-rata dari setiap elemen seperti yang terlihat pada dua tabel sebelumnya, maka selanjutnya dihitung waktu standard dan waktu normalnya seperti yang terlihat pada **Tabel 3.11** berikut ini:

**Tabel 3.11** Perhitungan Waktu Standard Dari Waktu Rata-rata

No.	Station	Description of Element	Total Rating	Normal Time	Total Allownc	ST
1	Numbering	Angkat FB	109%	<b>3,69</b>	21%	<b>4,46</b>
		Pencet Mesin	109%	<b>1,13</b>	17%	<b>1,32</b>
		Buka Sticker	106%	<b>2,03</b>	17%	<b>2,37</b>
		Tempel Sticker	106%	<b>1,00</b>	17%	<b>1,17</b>
		Lipat Sticker	106%	<b>1,84</b>	17%	<b>2,15</b>
		Transfer ke Press	109%	<b>3,23</b>	21%	<b>3,91</b>
2	Press	Ambil Race Steering Taro di Mesin Press	109%	<b>1,85</b>	21%	<b>2,24</b>
		Angkat FB Letakkan di Press	109%	<b>3,79</b>	17%	<b>4,44</b>
		Cek Numbering Label	109%	<b>1,94</b>	17%	<b>2,27</b>
		Angkat FB Pindah ke Conveyor	109%	<b>3,97</b>	21%	<b>4,80</b>

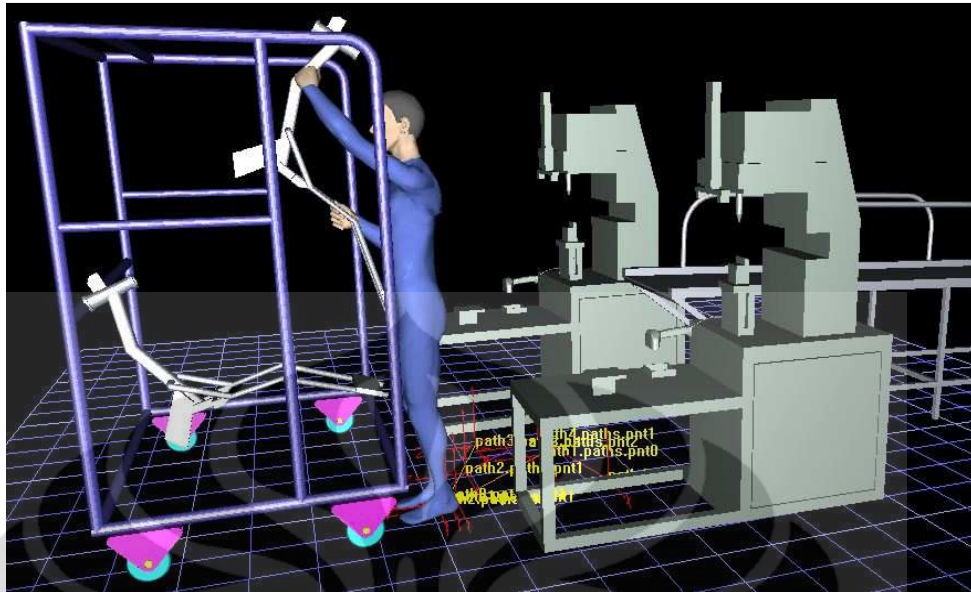
Perhitungan waktu tersebut akan dimasukkan ke dalam *animation windows* saat akan menganimasikan proses kerja. *Rating* didapatkan dengan menyesuaikan kemampuan, usaha, dan kondisi operator saat mereka melakukan pekerjaannya sedangkan *allowance* didapatkan dengan memperhatikan kebutuhan personal dan kondisi lingkungan yang dihadapi operator saat bekerja atau kondisi yang ada di *line* tempat mereka bekerja. Semua waktu di atas menggunakan satuan detik.

### 3.2.5 Data Postur Kerja dan Gerakan Kerja

Postur dan gerakan kerja akan digunakan sebagai *input* dalam membuat simulasi gerakan yang dilakukan oleh manusia *virtual* dalam *software* Jack. Untuk mendapatkan data ini, maka dilakukan pengamatan secara langsung tentang cara kerja operator kepada kedua *station* yaitu *station numbering* dan *press*. Kemudian dilakukan pendokumentasian mengenai cara kerja, gerakan dan postur kerja yang dialami operator. Pembuatan animasi gerakan model manusia *virtual* pada *software* Jack akan disesuaikan dengan yang sudah didokumentasikan sehingga hasil analisis akan memperlihatkan beban yang diterima oleh operator sesuai dengan kondisi yang sebenarnya. Setelah itu akan dilakukan analisis pada postur yang cukup ekstrim di antara postur yang lainnya. Berikut ini akan dijelaskan beberapa postur kritis yang akan di analisis lebih lanjut.

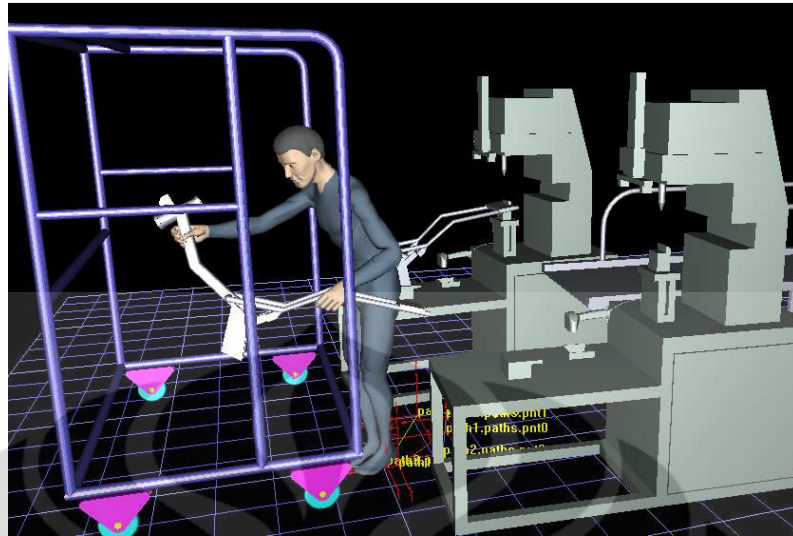
#### 3.2.5.1 Postur Mengangkat *Frame body* dari Kereta *part* di *Station Numbering*

Kegiatan mengangkat *frame body* dilakukan dalam posisi berdiri oleh seorang operator yang ada pada *station numbering*. Operator tersebut mengambil *frame body* yang ada pada kereta *part* kemudian memindahkannya ke mesin *numbering* untuk diberikan kode produksi. Operator mengambil *frame body* tersebut dari baris atas dan baris bawah kereta *part*. Saat operator mengambil *frame body* dari baris atas kereta *part*, operator harus menggunakan jangkauan maksimumnya dan bekerja dengan lengan yang berada di atas siku dengan beban yang cukup berat yaitu 11 kg. Terlebih lagi, kepala *frame body* tepat berada di atas kepala operator sehingga hal ini yang sering menyebabkan terbenturnya kepala operator dengan *frame body* saat operator tidak dapat menangkap dengan baik *frame body* yang diambilnya. Hal ini mungkin disebabkan oleh operator yang merasa lelah sehingga menjadi tidak konsentrasi dalam bekerja dan tidak dapat menangkap *frame body* dengan tepat. **Gambar 3.21** berikut menunjukkan gambar saat operator mengambil *frame body* dari bagian atas kereta *part*.



**Gambar 3.21** Postur Operator Saat Mengambil *Frame body* Dari Kereta *part* Bagian Atas

Postur kedua yang berhubungan dengan pengangkatan *frame body* adalah postur saat operator mengambil *frame body* dari baris bawah kereta *part*. Pada saat mengambil *frame body* dari baris bawah, operator harus menunduk untuk dapat meraih *frame body* karena posisi *frame body* berada cukup jauh di bagian bawah kereta *part*. Dengan posisi yang kurang ideal serta pengeluaran tenaga berlebih karena *frame body* cukup berat, hal ini akan mudah memicu munculnya kelelahan dan keluhan kesehatan terutama pada bagian punggung. Melalui hasil kuesioner, ditunjukkan bahwa bagian tubuh yang paling banyak dikeluhkan serta memiliki keluhan yang cukup berat dan sering adalah bagian punggung. Hal ini dikarenakan punggung menerima tekanan yang paling berat saat operator harus mengangkat *frame body* yang cukup berat dengan posisi menunduk karena pada posisi itu, punggung menopang beban yang cukup berat termasuk beban *frame body* dan beban tubuh operator itu sendiri. **Gambar 3.22** berikut ini menunjukkan postur tubuh operator saat harus meraih *frame body* di baris bawah kereta *part*.



**Gambar 3.22** Postur Operator Saat Meraih *Frame body* Dari Kereta *part* Bagian Bawah

#### 3.2.5.2 Postur Mengecek Kode Produksi pada *Station Press*

Kegiatan mengecek kode produksi dilakukan oleh operator *station press* secara berdiri. Kegiatan ini dilakukan bersamaan dengan mesin *press* yang sedang menekan *race steering* ke dalam *frame body*. Saat operator itu memegang *frame body* serta mengecek kode produksi. Postur yang dilakukan oleh operator adalah lengan mengangkat ke atas untuk memberikan tanda pengecekan serta kepala yang mendongak miring ke atas untuk melihat tempat yang harus diberikan tanda pengecekan yaitu pada ujung *frame body*. **Gambar 3.23** berikut menunjukkan gambar saat operator mengecek kode produksi yang ada pada *frame body*.

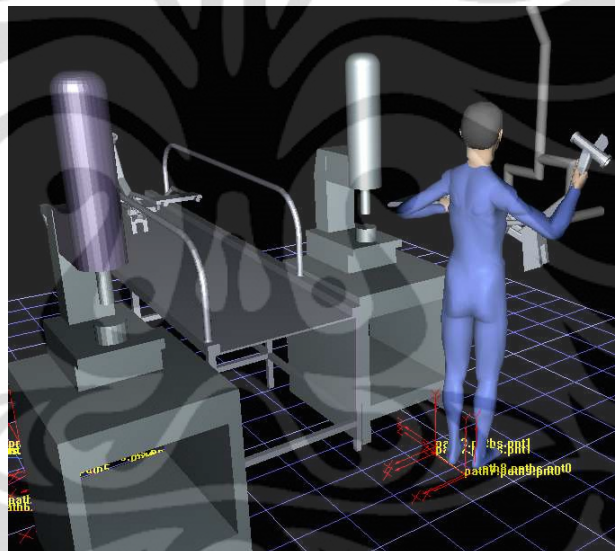


**Gambar 3.23** Postur Operator Saat Mengecek Kode Produksi Pada *Frame body*



### 3.2.5.3 Postur Memindahkan *Frame body* ke *Jig*

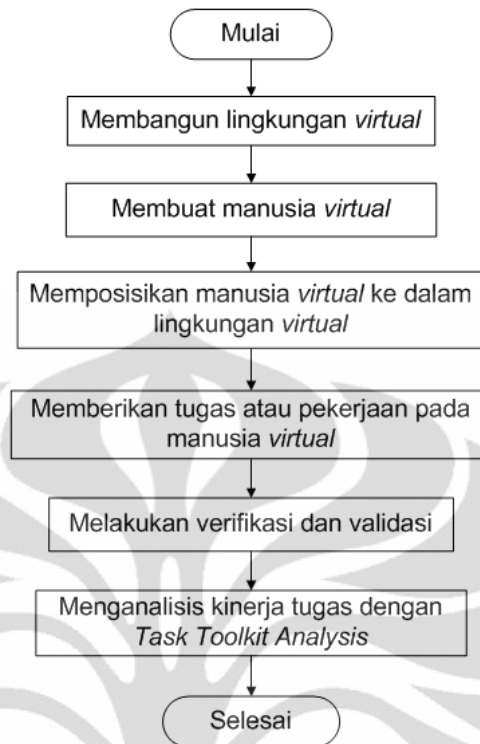
Kegiatan memindahkan *frame body* ke *jig* dilakukan oleh operator *station press* secara berdiri. Kegiatan ini dilakukan setelah operator selesai menekan *race steering* ke dalam *frame body*. Operator kemudian memindahkan *frame body* ke *jig* berjalan agar *frame body* dapat pindah ke *station* berikutnya secara otomatis. Postur yang dilakukan oleh operator adalah lengan agak mengangkat ke atas agar operator dapat meletakkan *frame body* ke *jig* yang terletak di atas siku serta dengan postur punggung yang memutar ke samping karena *jig* tersebut terletak di samping mesin *press*. **Gambar 3.24** berikut menunjukkan gambar saat operator memindahkan *frame body* ke *jig* berjalan.



**Gambar 3.24** Postur Operator Saat Meletakkan *Frame body* pada *Jig* Berjalan

### 3.3 Perancangan Model Pada *Software Jack*

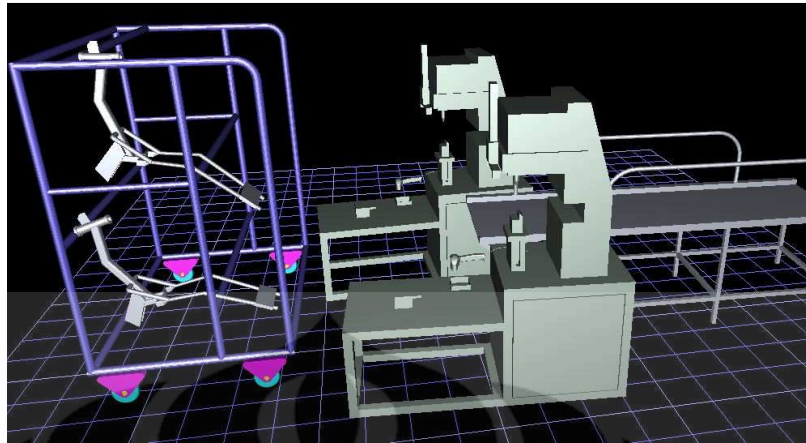
Tahap selanjutnya setelah mendapatkan semua data yang dibutuhkan adalah merancang model simulasi yang disesuaikan dengan kondisi aktual agar dapat dianalisis lebih lanjut *station numbering* dan *press* pada kondisi aktual serta dapat diberikan rekomendasi yang tepat dalam merancang tempat kerja yang baru yang lebih ergonomis. Perancangan model ini dilakukan dengan menggunakan *software Jack*. Langkah dalam perancangan model dibagi menjadi beberapa tahapan seperti yang terlihat pada **Gambar 3.25** berikut.



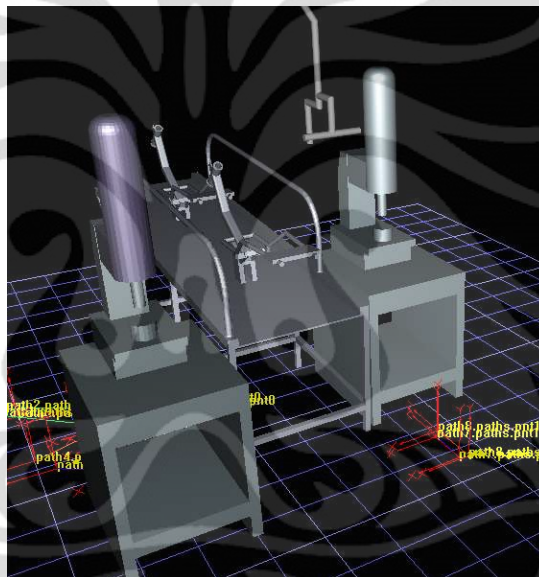
**Gambar 3.25** Diagram Alur Perancangan Model Pada *Software Jack*

### 3.3.1 Pembuatan Lingkungan *Virtual*

Langkah awal dalam merancang keseluruhan model adalah dengan membangun lingkungan *virtual*. Lingkungan *virtual* ini harus dibuat sesuai dengan kondisi aktual. Lingkungan *virtual* yang ada pada penelitian ini adalah mesin dan semua *part* yang terlibat selama proses produksi yang ada pada *station numbering* dan *press*. Semua *part* dan mesin yang terlibat, dibuat terlebih dahulu menggunakan *software SolidWorks* dengan menggunakan bentuk dan ukuran sebenarnya yang sesuai dengan kondisi aktual. Setelah semua benda kerja yang terlibat selesai dibuat, selanjutnya mengimport benda kerja tersebut ke dalam bentuk yang dapat diterima oleh *Jack*. Kemudian semua benda kerja tersebut diatur dan diposisikan agar sesuai dengan kondisi aktual. **Gambar 3.26** dan **Gambar 3.27** berikut adalah *virtual environment* dari *station numbering* dan *press*.



**Gambar 3.26** Lingkungan *Virtual Station Numbering*



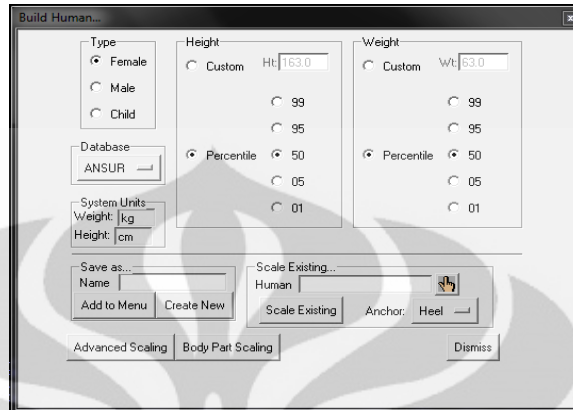
**Gambar 3.27** Lingkungan *Virtual Station Press*

### 3.3.2 Pembuatan Manusia *Virtual*

Setelah membuat lingkungan *virtual*, maka selanjutnya adalah membuat manusia *virtual*. Manusia *virtual* ini, ukuran tubuhnya dibuat sesuai dengan operator yang ada di kondisi aktual. Untuk dapat mencapai hal tersebut, maka dibuat manusia *virtual* yang semuanya berjenis kelamin laki-laki, dengan tinggi dan berat badan yang didapatkan dari pengumpulan data antropometri operator *station numbering* dan *press*. Model manusia ini pun dibuat dalam tiga persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 agar dapat mengakomodasi semua pekerja dari yang terkecil hingga yang terbesar.

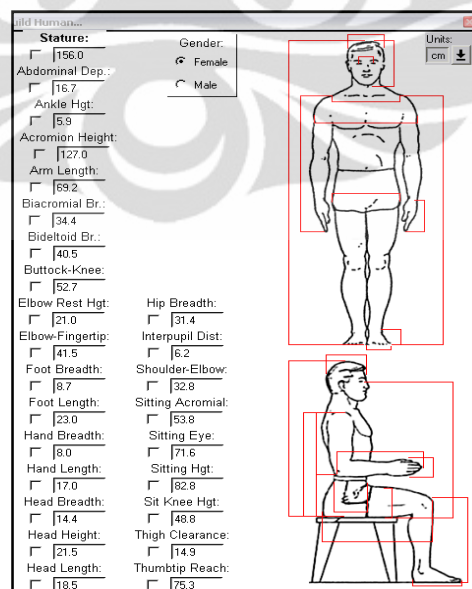


Cara membuat manusia *virtual* ada dua, yang pertama dengan memilih *human > create human > custom*. Setelah itu akan muncul *dialog box* seperti **Gambar 3.28** dibawah ini.



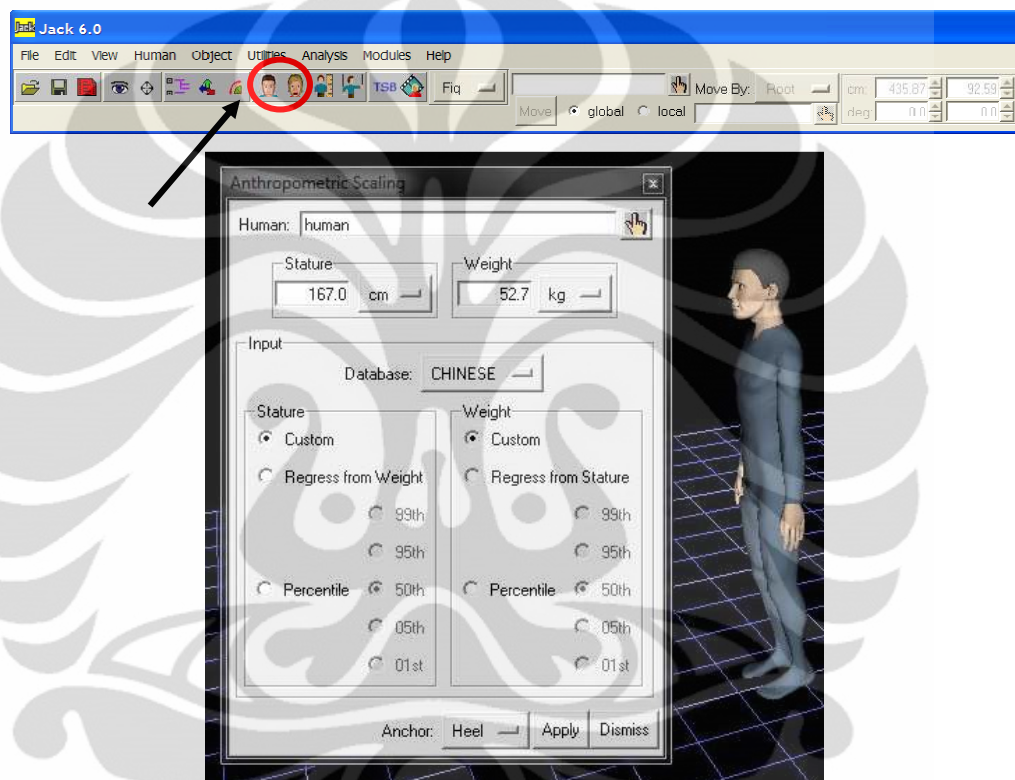
**Gambar 3.28** Dialog Box Pembuatan Manusia Virtual

Kemudian, pilih jenis kelamin dan masukkan berat dan tinggi badan sesuai data yang telah didapatkan. Kemudian pilih *database* yang akan digunakan karena Jack dapat mengeluarkan ukuran tubuh lainnya secara proporsional sesuai dengan *database* yang dipilih. Selain memasukkan data tinggi dan berat badan, dapat pula dimasukkan ukuran tubuh lainnya dengan fitur *advanced scaling* agar manusia yang dibuat dapat mewakili ukuran tubuh operator yang sebenarnya seperti yang terlihat pada **Gambar 3.29** berikut.



**Gambar 3.29** Fitur *Advanced Scaling* Pada Software Jack

Cara membuat manusia *virtual* yang kedua adalah dengan memilih *icon* bergambar kepala manusia berjenis kelamin laki-laki atau perempuan. Untuk penelitian ini, pilih manusia berjenis kelamin laki-laki. Setelah itu akan muncul manusia *virtual* pada *window* Jack. Kemudian, masukkan berat dan tinggi badan, serta pilih *database* yang diinginkan. Pada penelitian kali ini, dimasukkan terlebih dahulu manusia persentil 5 kemudian masukkan tingginya sebesar 167 cm dan beratnya sebesar 52.65 kg seperti yang terlihat pada **Gambar 3.30** dibawah ini.

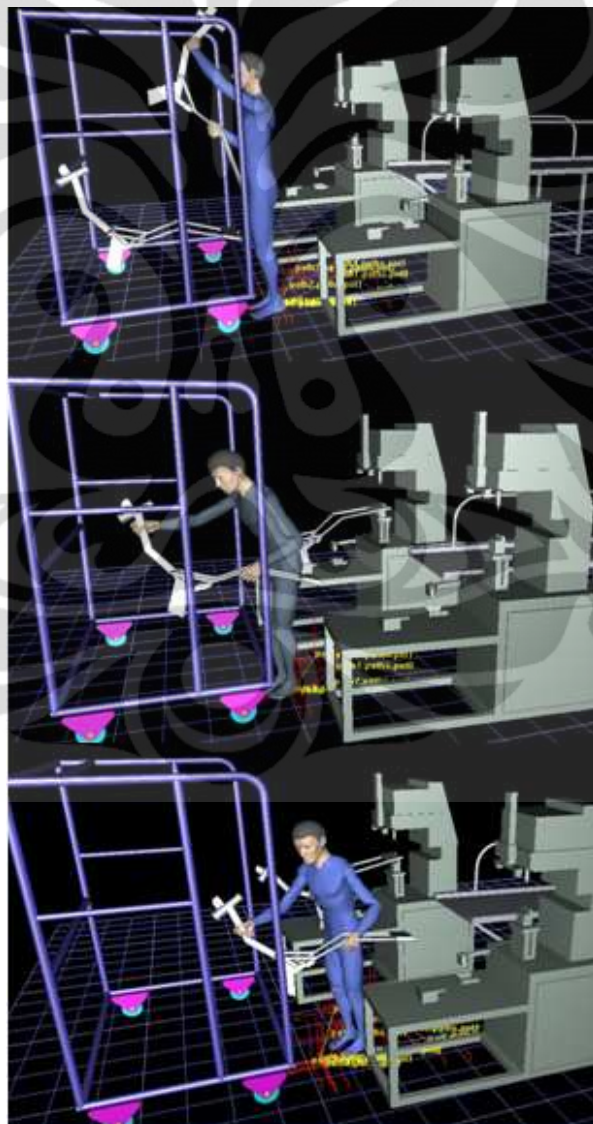


**Gambar 3.30** Membuat Manusia *Virtual* Melalui *Control Bar*

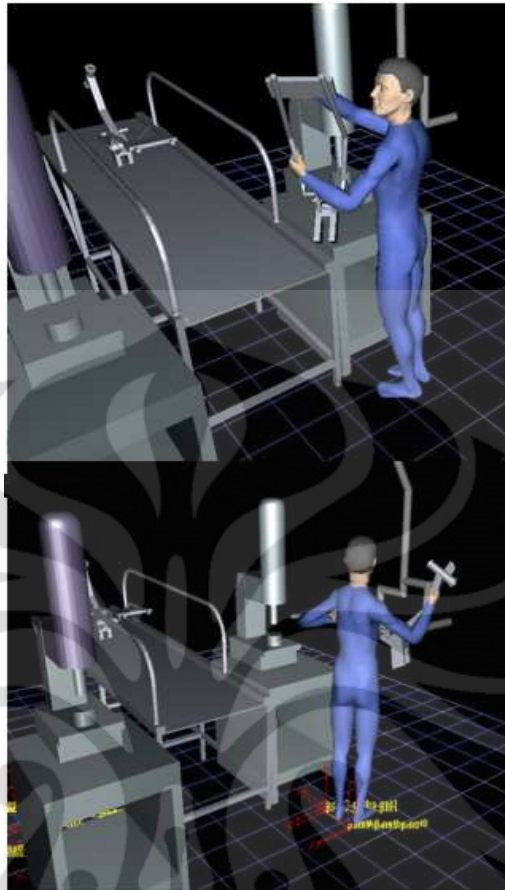
### 3.3.3 Penempatan Manusia *Virtual* pada Lingkungan *Virtual*

Setelah lingkungan *virtual* dan manusia *virtual* selesai dibuat, maka selanjutnya adalah menempatkan atau memposisikan manusia *virtual* tersebut ke dalam lingkungan *virtual* sesuai dengan layout, jarak, dan postur yang ada pada kondisi aktual di *station numbering* dan *press*. Terdapat beberapa kegiatan yang akan dianalisis lebih lanjut yaitu saat pengangkatan *frame body* dari kereta *part* ke mesin *numbering* pada *station numbering*, mengecek kode produksi dan memindahkan *frame body* ke *jig* pada *station press*.

Untuk dapat memposisikan manusia *virtual* ke dalam lingkungan *virtual* dengan postur yang tepat yang sesuai dengan kondisi aktual, maka manusia *virtual* tersebut diatur posturnya dengan menggunakan fitur *human control* pada *software* Jack. Melalui *human control*, setiap bagian tubuh, persendian (*joint*), dan segmen yang ada pada manusia *virtual* dapat diubah-ubah bentuknya sesuai dengan yang diinginkan. Bagian yang diubah-ubah adalah tangan, bahu, punggung, kaki, kepala, dan bagian lainnya. **Gambar 3.31** dan **Gambar 3.32** berikut adalah tampilan dari manusia *virtual* yang telah diposisikan ke dalam lingkungan *virtual* sesuai dengan postur yang ada pada kondisi nyata.



**Gambar 3.31** Berbagai Macam Postur yang Dilakukan Oleh Operator Selama Proses Produksi Pada *Station Numbering*

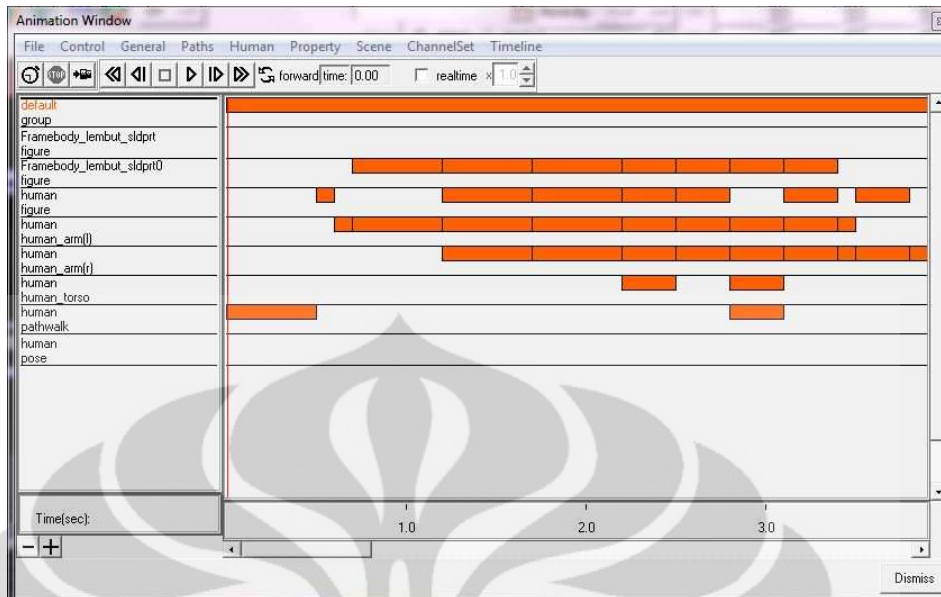


**Gambar 3.32** Berbagai Macam Postur yang Dilakukan Oleh Operator Selama Proses Produksi Pada *Station Press*

#### 3.3.4 Pemberian Tugas atau Pekerjaan Pada Manusia *Virtual*

Setelah manusia *virtual* menempati posisi yang tepat pada lingkungan *virtual*, kemudian manusia *virtual* tersebut diberikan tugas untuk mengerjakan proses kerja yang sesuai pada kondisi nyata. Pemberian tugas tersebut dapat dilakukan dengan menggunakan modul *animation system* pada *software* Jack. Dengan menggunakan fitur animasi tersebut, kita dapat membuat suatu mekanisme gerakan sehingga manusia *virtual* dapat melakukan suatu operasi pekerjaan seperti yang diinginkan. Atur gerakan yang ingin diberikan pada manusia *virtual* tersebut dengan memainkan fitur yang ada di jendela animasi, seperti *human*, *path*, *general*, dan menu lainnya. **Gambar 3.33** berikut ini adalah contoh jendela animasi yang terdapat pada *software* Jack.





**Gambar 3.33** Animation System pada Kondisi Aktual Untuk Station Numbering

### 3.3.5 Melakukan Verifikasi dan Validasi Model

Sebelum model di analisis lebih lanjut, model tersebut perlu diverifikasi dan divalidasi terlebih dahulu. Verifikasi menunjukkan bahwa model yang telah dibuat, telah dipercaya konsepsinya. Jika model sudah dapat dijalankan dengan cara yang independen, maka model tersebut telah lolos verifikasi. Terdapat dua cara untuk menguji model melalui verifikasi, yaitu uji analisis unit dan uji numerical. Uji analisis unit dapat dilakukan dengan cara melihat seluruh variable apakah sudah mempunyai satuan yang benar dan sesuai dengan kondisi aktual. Uji *numerical* dilakukan dengan menggunakan integrasi *numerical* serta melihat dimensi waktu yang dipilih telah sesuai dengan *timestep* berjalannya model.

**Gambar 3.34** dibawah ini akan menunjukkan bahwa dimensi yang digunakan untuk input antropometri manusia *virtual* telah mengikuti dimensi standard yang tepat untuk tinggi dan berat badan manusia, sehingga model simulasi manusia *virtual* yang telah dibuat pada penelitian ini dapat dipercaya karena sesuai dengan kondisi nyata dari operator.



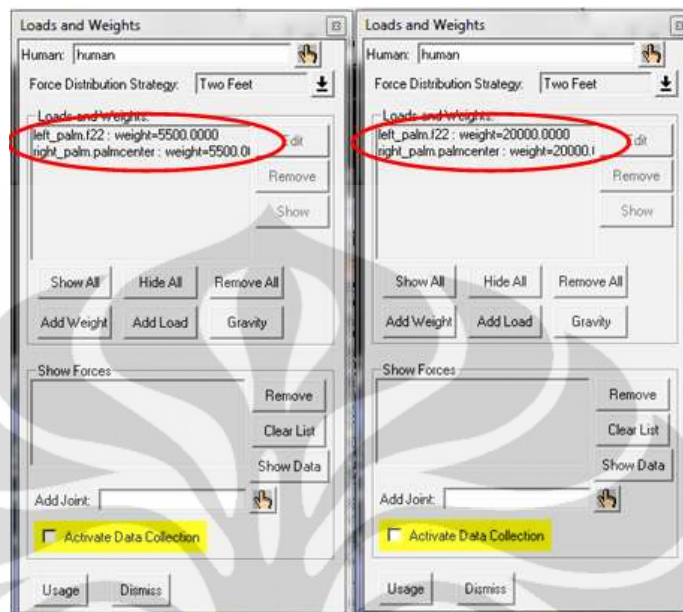
**Gambar 3.34** Verifikasi Manusia *Virtual* yang Akan Disimulasikan

Setelah model lolos uji verifikasi, maka tahap selanjutnya adalah menguji model dengan proses validasi. Terdapat tiga cara untuk menguji validasi dari model, yaitu uji historikal fit, uji kondisi ekstrim, dan uji analisis sensitivitas. Uji historikal fit dilakukan dengan cara memasukkan input ke dalam suatu model dengan nilai historis dan melihat apakah *outputnya* sesuai dengan data historis yang ada.

Uji kondisi ekstrim dapat dilakukan dengan dua cara. Cara pertama dengan memasukkan nilai nol pada variabel tertentu. Jika seluruh variabel berhubungan secara rasional, maka variabel yang berhubungan juga akan menjadi nol. Kedua adalah dengan uji ekstrim nilai yang sangat besar, yaitu akan terjadi kenaikan yang sangat besar juga untuk semua variabel yang berhubungan. Uji nilai ekstrim menunjukkan bahwa model berjalan sesuai dengan hubungan logikal antar variabel dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan atau irasional dalam model. Uji analisis sensitivitas dilakukan dengan mengidentifikasi parameter mana yang sensitif. Jika dilakukan perubahan kecil pada variabel sensitif tersebut, maka akan berpengaruh pada seluruh sistem.

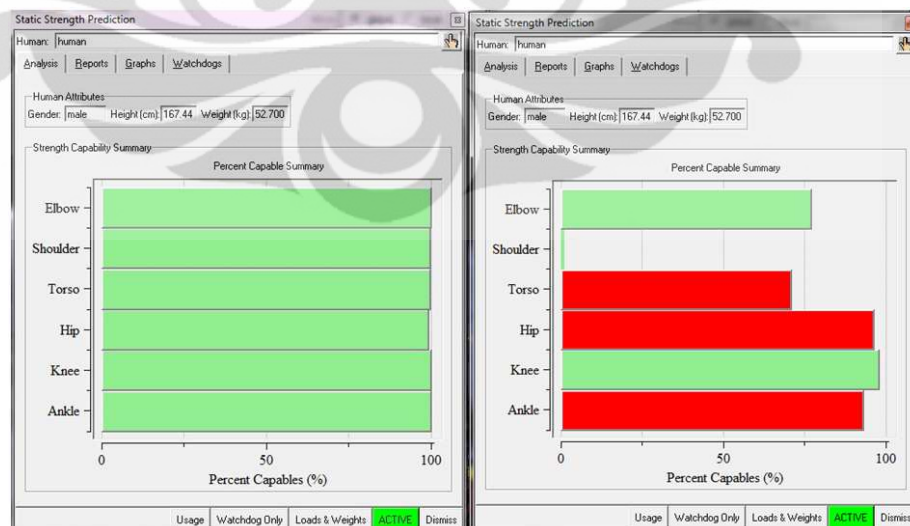
Pada penelitian yang dilakukan menggunakan *software* Jack ini, hanya akan dilakukan uji validitas melalui uji kondisi ekstrim. Uji validitas melalui uji

kondisi ekstrim ini dilakukan dengan memberikan beban yang ekstrim pada operator. **Gambar 3.35** berikut menunjukkan hasil uji kondisi ekstrim.



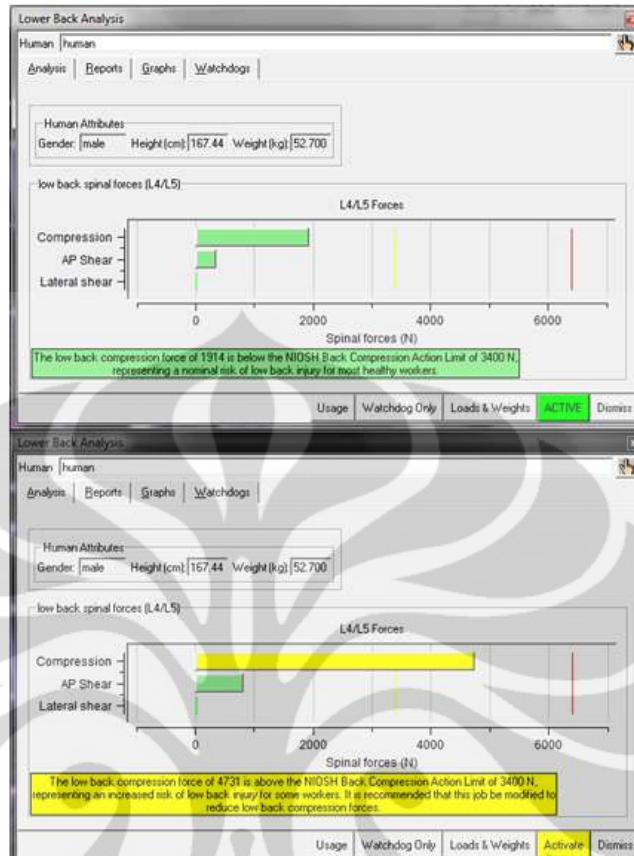
**Gambar 3.35** Penambahan Beban Ekstrim

Setelah ditambah beban yang cukup ekstrim pada kedua tangan operator, terjadi perubahan beban yang dialami oleh operator. **Gambar 3.36, 3.37, 3.38** berikut adalah hasil perubahan nilai dari SSP, LBA, dan OWAS yang dialami oleh operator tersebut.

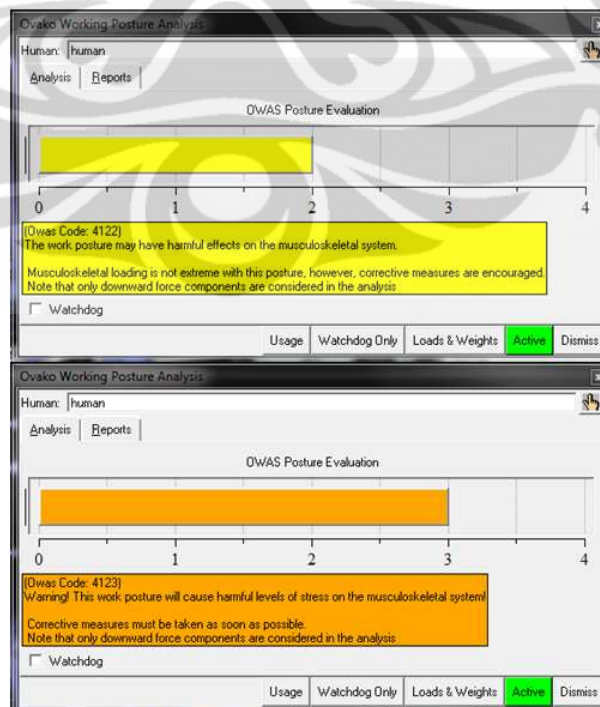


**Gambar 3.36** Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim





Gambar 3.37 Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim



Gambar 3.38 Perbandingan Nilai OWAS Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim

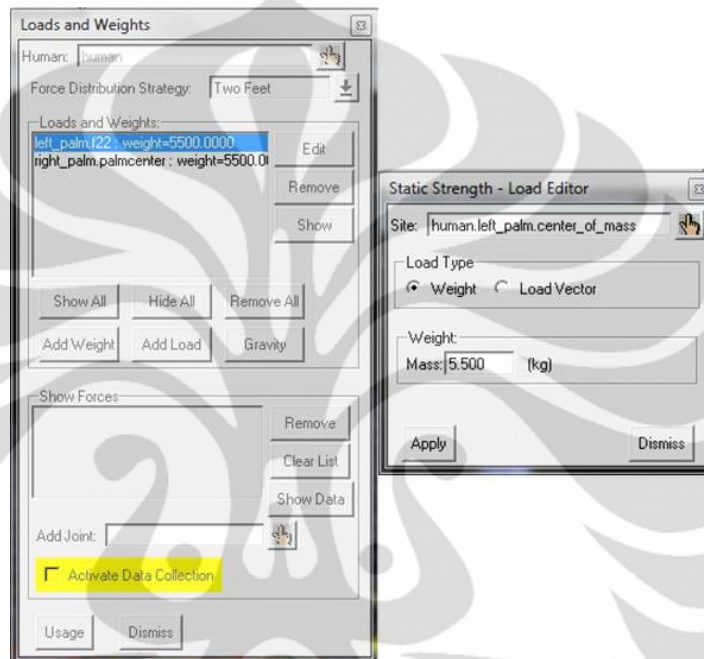
Berdasarkan nilai yang dihasilkan oleh SSP, LBA, dan OWAS pada gambar di atas, terlihat bahwa dengan penambahan beban ekstrim pada operator menyebabkan perubahan performa yang signifikan pada *virtual human*. Nilai SSP menjadi jauh dibawah 100% yang menandakan bahwa persen kemampuan operator yang mampu melakukan tersebut berkurang sangat signifikan saat beban ditambah menjadi cukup besar. Pada LBA terlihat bahwa terjadi peningkatan beban atau peningkatan tekanan yang sangat besar pada bagian tulang belakang dari manusia *virtual* dengan ditambahnya beban yang cukup ekstrim. Hal yang sama pun terjadi pada OWAS. Terjadi peningkatan nilai OWAS saat beban yang diterima operator ditambah. Perubahan yang terjadi berjalan secara logis sehingga dapat dikatakan bahwa model telah lolos uji validasi.

### 3.3.6 Menganalisis Kinerja Tugas dengan *Task Analysis Toolkit* (TAT)

Tahap akhir setelah merancang semua model dan selesai melakukan verifikasi dan validasi adalah melakukan analisis kerja dari rangkaian kegiatan atau kerja yang dilakukan oleh operator menggunakan *Task Analysis Toolkits* (TAT). Analisis dan evaluasi ini dilakukan terhadap postur kerja dan gerakan manusia *virtual* yang telah dibuat.

Dalam penelitian ini, terdapat empat *tools* yang digunakan untuk menganalisis postur yang dilakukan oleh manusia *virtual*, yaitu *Static Strength Prediction*, *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis System*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Keempat metode tersebut akan menghasilkan *output* penilaian secara *real-time* ketika simulasi dijalankan. Kemudian keempat metode tersebut akan diintegrasikan menjadi satu nilai atau *index* yaitu *Posture Evaluation Index* (PEI) yang dapat memberikan analisis menyeluruh mengenai postur kerja, tingkat performa dan optimalisasi kenyamanan yang dirasakan manusia *virtual* yang disimulasikan saat melakukan tugas yang diberikan. Selain itu, dapat pula dilihat resiko yang dirasakan tubuh manusia *virtual* akibat postur atau pekerjaan yang dilakukan serta menemukan letak postur ekstrim atau *critical posture* yang dirasakan manusia *virtual* dimana postur tersebut menunjukkan posisi kerja dalam keadaan yang paling tidak ergonomis.

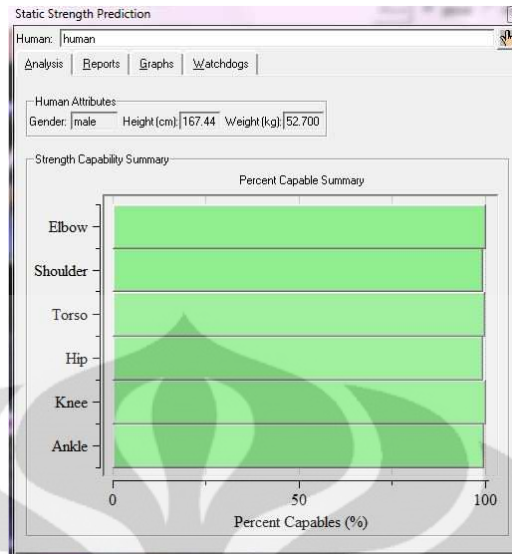
Namun, sebelum analisis dilakukan, perlu diberikan penambahan beban yang dirasakan manusia *virtual* sesuai dengan beban yang diterima pada kondisi aktual. Penambahan beban ini agar kondisi yang ada pada simulasi *virtual* ini dapat merepresentasikan kondisi kerja yang sebenarnya. Untuk penelitian kali ini, diberikan beban masing-masing 5.5 kg pada *site* tangan kanan dan kiri seperti yang terlihat pada **Gambar 3.39** dibawah ini.



**Gambar 3.39** Kotak Dialog *Loads and Weights*

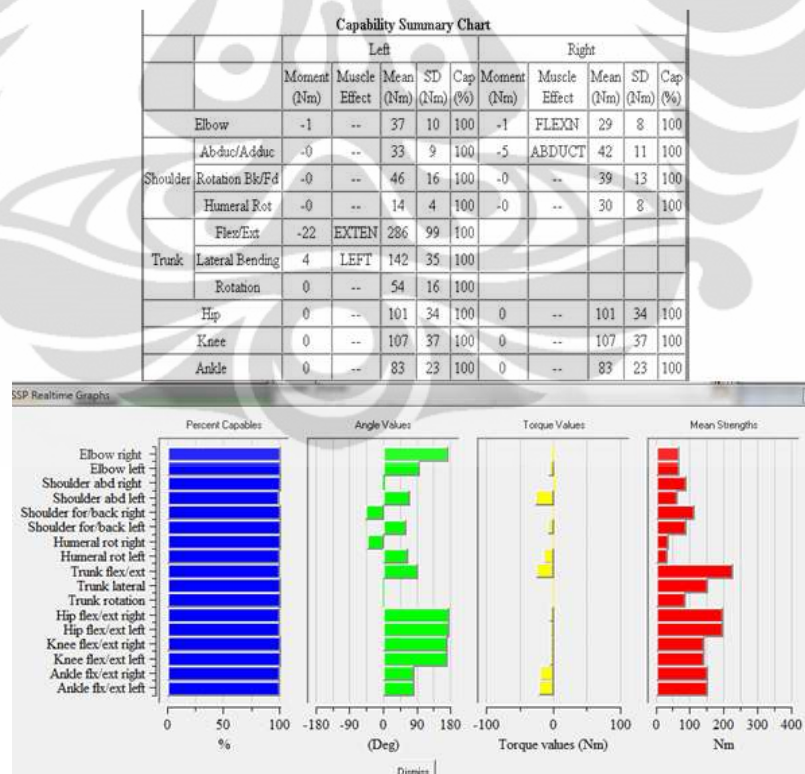
### 3.3.6.1 *Static Strength Prediction (SSP)*

Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis *Static Strength Prediction (SSP)* dimana SSP ini menunjukkan persentase kemampuan operator dalam melakukan suatu pekerjaan tertentu. SSP diperlukan untuk mengetahui dan memastikan bahwa sebuah pekerjaan atau postur kerja dapat dilakukan oleh seluruh populasi pekerja. Persentase minimal untuk SSP ini adalah 90% dari seluruh jumlah pekerja. **Gambar 3.40** berikut ini menunjukkan nilai SSP pekerja persentil 5 saat mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian atas pada *station numbering*.



**Gambar 3.40** Grafik SSP pada *Station Numbering* Saat Operator Mengambil *Frame body* dari Bagian Atas Kereta *Part*

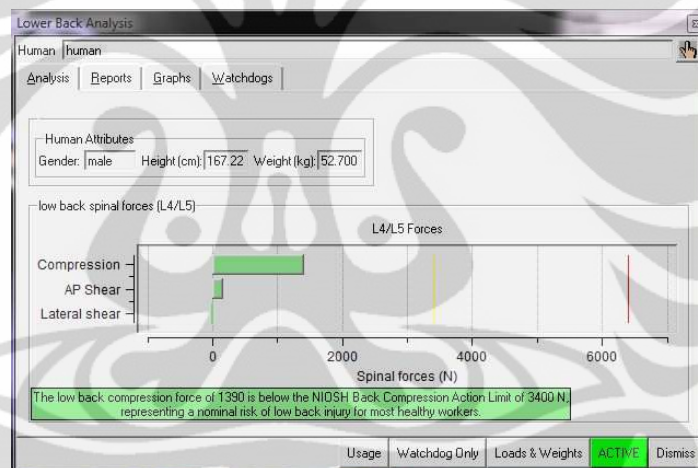
Selain grafik *percent capable summary*, SSP juga mengeluarkan hasil analisis dalam bentuk tabel seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.41** berikut



**Gambar 3.41** Persentase Kapabilitas pada *Station Numbering* Saat Operator Mengambil *Frame body* dari Bagian Atas Kereta *Part*

### 3.3.6.2 Lower Back Analysis (LBA)

*Lower Back Analysis* digunakan untuk melihat seberapa besar beban yang diterima oleh tulang belakang manusia atau punggung bagian L4 dan L5 manusia. Kemudian, animasi dijalankan secara *real time* untuk mencari titik ekstrim postur kerja yang memberikan nilai LBA paling tinggi untuk setiap gerakan postur yang disimulasikan. Nilai yang tinggi menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis. Nilai LBA tertinggi kemudian didokumentasikan untuk bahan analisis selanjutnya dalam menghitung nilai PEI dan digunakan dalam menentukan rancangan kerja yang lebih ergonomis dan postur kerja yang lebih baik dengan nilai LBA yang lebih rendah. **Gambar 3.42** berikut merupakan nilai LBA tertinggi pada saat operator mengangkat *frame body* dari baris atas pada *station numbering*.

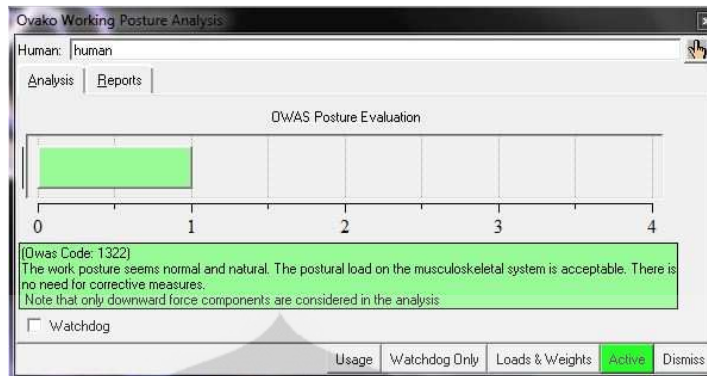


**Gambar 3.42** Nilai LBA Tertinggi pada *Station Numbering* Saat Operator Mengambil *Frame body* dari Bagian Atas Kereta Part

### 3.3.6.3 Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)

Metode OWAS ini digunakan untuk mengevaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur proses kerja operator saat mengangkat *frame body* dari baris atas pada *station numbering* berdasarkan posisi punggung, lengan, dan kaki serta beban yang diterima oleh operator. Hasil analisis OWAS yang dihasilkan oleh *software* Jack untuk kegiatan mengambil *frame body* dari kereta part bagian atas untuk persentil 5 operator *station numbering* adalah seperti yang terlihat pada **Gambar 3.43** berikut.





**Gambar 3.43** Nilai OWAS pada *Station Numbering* Saat Operator Mengambil *Frame body* dari Bagian Atas Kereta *Part*

#### 3.3.6.4 Rapid Upper Limb Assessment (RULA)

RULA merupakan metode untuk mengevaluasi pembebanan biomekanik dan pembebanan postur yang dialami pekerja. Yang dianalisis oleh metode ini adalah faktor resiko postur, penggunaan otot, pembebanan, gerakan repetitif, dan gaya yang digunakan untuk suatu pekerjaan tertentu. RULA menganalisis bagian tubuh seperti lengan, pergelangan tangan, dan leher. Nilai *grand score* RULA dari postur saat operator mengambil *frame body* dari bagian atas kereta *part* adalah 5 seperti yang terlihat pada **Gambar 3.44**. Nilai ini menunjukkan bahwa postur tersebut cukup membahayakan sehingga dibutuhkan perbaikan secepatnya.

**Gambar 3.44** Nilai RULA pada *Station Numbering* Saat Operator Mengambil *Frame body* dari Bagian Atas Kereta *Part*

Universitas Indonesia

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

Setelah semua nilai dari LBA, OWAS, dan RULA didapatkan, maka selanjutnya yang perlu dilakukan adalah menghitung nilai PEI untuk mendapatkan nilai atau hasil analisis ergonomis yang utuh dari postur kerja yang dialami oleh manusia *virtual* dalam suatu rancangan stasiun kerja yang telah disesuaikan dengan kondisi aktual. Sebelumnya perlu dicek terlebih dahulu apakah nilai SSP sudah lebih dari 90% atau belum. Jika nilai SSP sudah lebih dari 90%, maka perhitungan PEI dapat dilakukan. Perhitungan PEI dilakukan dengan menggunakan rumus

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

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

Contoh perhitungan nilai PEI adalah pada proses pengambilan *frame body* dari kereta *part* bagian atas oleh operator *numbering* persentil 5, dimana nilai SSP telah lebih dari 90%, adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.12** Nilai Analisis Ergonomi pada *Station Numbering* Saat Operator Mengambil *Frame body* dari Bagian Atas Kereta *Part*

SSP > 90%	Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA
Ya	1390	1	5

Nilai PEI tersebut didapatkan berdasarkan perhitungan:

$$PEI = 1.673$$

### 3.5 Penentuan Konfigurasi

Penentuan konfigurasi ini ditujukan untuk membuat suatu perbaikan rancangan tempat kerja dari tempat kerja yang ada sebelumnya. Perbaikan postur kerja dan penentuan konfigurasi yang ideal didapatkan dengan mengubah variable yang berpengaruh terhadap postur kerja manusia. Variable tersebut adalah perubahan ketinggian tempat kerja serta memberikan tambahan alat bantu dalam *manual material handling* yang sebelumnya dilakukan manual oleh operator.



Ketinggian ini disesuaikan berdasarkan ketinggian landasan kerja yang optimal pada posisi berdiri menurut prinsip ergonomis serta didasarkan pada kegiatan kerja yang dilakukan oleh operator.

Dalam *station numbering* sendiri, yang diberikan perubahan adalah ketinggian kereta *part* karena berdasarkan hasil perhitungan PEI, nilai PEI yang paling tinggi terletak pada kegiatan mengambil *frame body* dari kereta *part* sehingga kereta *part* yang desainnya akan diubah. Selain itu, pada *station numbering* pun akan diberikan alat bantu dalam memudahkan pengangkatan *frame body* menuju mesin *numbering*. Pada *station press*, kegiatan yang nilai PEI-nya paling besar adalah saat operator melakukan pengecekan kode produksi dimana kode produksi yang harus dicek berada di ujung di *frame body* dan letak ujung tersebut cukup tinggi dari siku operator. Selain itu, yang nilai PEI-nya cukup tinggi juga ada pada kegiatan peminadahan *frame body* ke *jig*.

### 3.5.1 Konfigurasi pada *Station Numbering*

Untuk menganalisis kondisi aktual pada pangangkatan *frame body* dari kereta *part*, simulasi dilakukan oleh manusia *virtual* dari persentil 5, 50, dan 95 dari antropometri semua operator yang ada pada *station numbering* dan *press* kondisi aktual agar dapat dilihat perbandingan besarnya beban dan nilai postur yang dialami oleh ketiga persentil tersebut pada kondisi aktual.

Sedangkan pada kondisi usulan yang akan menjadi rekomendasi, dilakukan perubahan ketinggian kereta *part* sebesar 10 cm dan 15 cm dibawah tinggi siku posisi berdiri, dimana ketinggian tersebut adalah ukuran ketinggian yang ideal untuk proses kerja posisi berdiri dengan beban benda kerja yang termasuk dalam kategori berat, dimana *frame body* yang merupakan benda kerja yang ditangani oleh operator memiliki beban sebesar 11 kg. Ketinggian kereta *part* yang akan diubah ini, akan diubah secara permanen dan tidak dapat diubah dengan ketinggian tertentu (*adjustable*). Oleh karena itu, ketinggian *elbow height* yang dipilih harus dari persentil tertentu yang dapat memberikan hasil yang optimal dan ergonomis untuk persentil lainnya.

Dalam merancang tempat kerja yang baru, *elbow height* persentil 50 dari populasi Indonesia yang akan digunakan sebagai acuan ketinggian tempat kerja.

**Universitas Indonesia**

Hal ini dilakukan karena persentil 50 merupakan persentil yang cukup mewakili persentil lainnya karena tinggi dan berat badan persentil tersebut yang berada pada rata-rata populasi. Selain itu, persentil 50 juga merupakan persentil yang jangkauannya dapat diakses oleh sebagian besar persentil mulai dari persentil terkecil yaitu 5 hingga ke persentil yang terbesar yaitu 95. Melalui persentil 50 ini pun, semua persentil dapat merasakan perlakuan yang cukup adil, karena jika persentil 5 yang dijadikan acuan, persentil 95 akan menjadi semakin membungkuk dalam meraih karena ketinggian tempat kerja yang cukup rendah, sedangkan jika persentil 95 yang dijadikan acuan, persentil 5 akan cukup kesulitan dalam meraih sehingga perlu menggunakan jangkauan maksimumnya. Melalui pertimbangan tersebut, akhirnya persentil 50 yang dipilih untuk menentukan ketinggian *elbow height* dalam merancang ketinggian kereta *part* yang baru.

Percobaan konfigurasi untuk rekomendasi dilakukan pada ketinggian 10 cm dan 15 cm pada ketiga persentil yaitu 5, 50, dan 95. Hal tersebut dilakukan agar didapatkan hasil yang paling tepat sehingga semua persentil dan dua ketinggian tersebut dicoba untuk disimulasikan. Variasi tersebut dipilih agar didapatkan nilai postur yang paling baik dan ergonomis melalui pertimbangan persentil dan ketinggian tempat kerja yang tepat.

Selain itu dicobakan juga dengan memberikan alat bantu pada *station numbering* berupa *roller* yang terbuat dari *rubber* untuk membantu mempermudah perpindahan *frame body* sehingga operator tidak perlu mengangkat secara manual. Untuk alat bantu ini, juga dicobakan pada ketiga persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 dan pada dua ketinggian yaitu ketinggian 10 cm dan 15 cm. Dari kondisi aktual terdapat 6 konfigurasi sedangkan dari kondisi usulan terdapat 12 konfigurasi sehingga untuk *station numbering* total ada 18 konfigurasi.

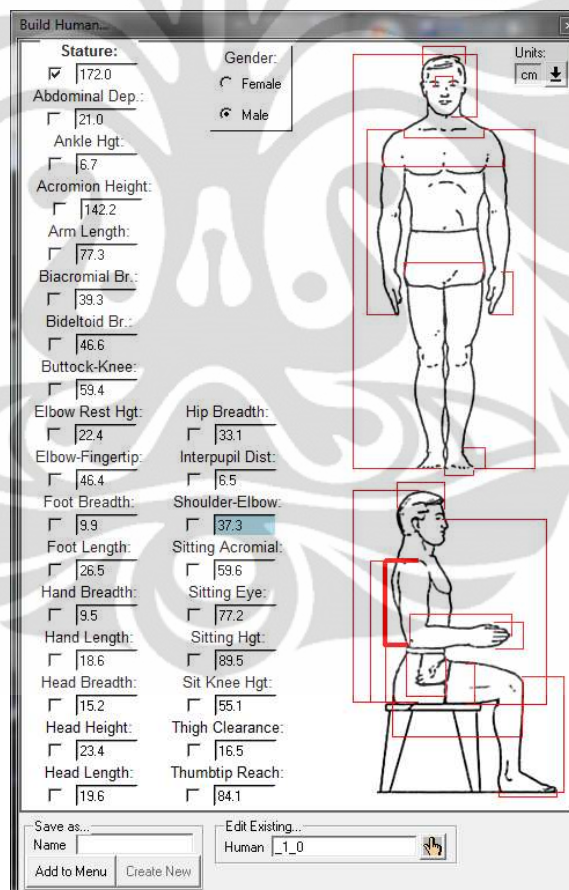
Sebelum ditentukan berapa ketinggian kereta *part*, dihitung terlebih dahulu ketinggian siku posisi berdiri. Di awal telah ditentukan bahwa ketinggian siku posisi berdiri yang dipilih adalah dari persentil 50 dari antropometri orang Indonesia berjenis kelamin laki-laki karena perusahaan pasti akan merekrut pegawai dari populasi Indonesia dengan pertimbangan yang tadi telah dijelaskan di atas, sehingga data itu dianggap cukup valid untuk digunakan. Data ketinggian siku posisi berdiri orang Indonesia persentil 50 berjenis kelamin laki-laki

**Universitas Indonesia**

didapatkan melalui *software* Jack dengan cara memasukkan data tinggi dan berat badan terlebih dahulu. Kemudian untuk mendapatkan ketinggian siku atau jarak dari kaki ke siku, diperoleh melalui perhitungan sebagai berikut:

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

Untuk melihat nilai-nilai tersebut, maka dilakukan dengan cara melihat *advanced body scaling* pada manusia *virtual* dengan ketinggian 172 cm dan berat 63 kg dimana data tersebut merupakan data antropometri orang Indonesia persentil 50 berjenis kelamin laki-laki yang terdapat pada jurnal berjudul *Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations* (2010). **Gambar 3.45** berikut adalah detail dari ukuran tubuh manusia *virtual* yang didapatkan dari *advanced body scaling software* Jack.



**Gambar 3.45** Ukuran Antropometri Orang Indonesia Persentil 50

Setelah itu dicari jarak dari siku ke kaki dengan cara berikut:

$$\text{Foot Elbow} = \text{Acromion Height} - \text{Shoulder Elbow}$$

$$\text{Foot Elbow} = 104,9 \text{ cm} \approx 105 \text{ cm.}$$

**Universitas Indonesia**

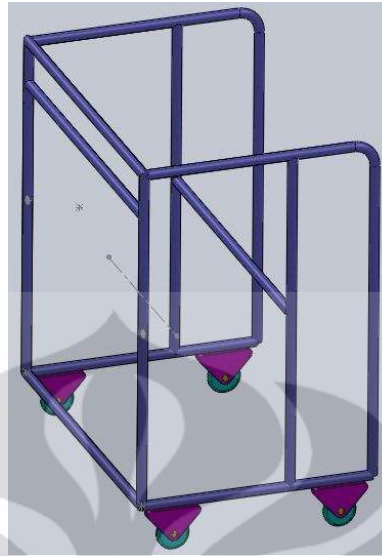
Ukuran tinggi siku posisi berdiri antropometri orang Indonesia persentil 50 berjenis kelamin laki-laki di atas akan dijadikan dasar perhitungan ketinggian tiang kereta *part* yang baru, yaitu sebesar 105 cm. Untuk perubahan ketinggian tiang kereta *part* dengan 10 cm dibawah siku, didapatkan tinggi sebesar 95 cm, namun karena *frame body* mempunyai bentuk yang agak panjang, diputuskan untuk memberikan tambahan ketinggian sebesar 9 cm menjadi 104 cm. Untuk ketinggian tiang bagian kepala, didapatkan dengan cara mencobanya langsung ke dalam *software* Jack. Untuk perubahan ketinggian tiang kereta *part* dengan 15 cm dibawah siku dari ketinggian acuan yaitu 105 cm, didapatkan tinggi sebesar 90 cm, namun ketinggian ditambah sebesar 9 cm menjadi sebesar 99 cm..

Untuk kereta *part* yang hanya diubah ketinggian tanpa diberikan alat bantu, lebarnya tetap seperti kondisi aktual yaitu 155 cm, sedangkan kereta *part* yang diberikan alat bantu, lebarnya ditambah 50 cm. Untuk kereta *part* yang diberi tambahan alat bantu, rodanya diberi sedikit modifikasi berupa penambahan *lock* atau kunci pada bagian rodanya dengan tujuan agar alat bantu tersebut tidak bergerak saat operator memindahkan *frame body* menggunakan alat bantu tersebut. Berdasarkan penjabaran di atas, didapatkan perubahan atau modifikasi kereta *part* yang baru seperti yang terlihat pada **Tabel 3.13** berikut.

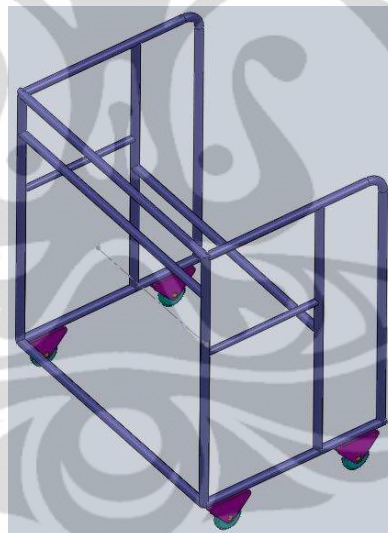
**Tabel 3.13** Tabel Perubahan Bentuk *Frame body* Kondisi Usulan

Keterangan	Ketinggian	Tiang Kaki	Tiang Kepala	Lebar	Roda
Tanpa alat bantu	Ketinggian 10 cm	104 cm	161 cm	155 cm	Tidak diganti
	Ketinggian 15 cm	99 cm	156 cm		
Dengan alat bantu	Ketinggian 10 cm	104 cm	112,5 cm	205 cm	Diganti dengan yang mempunyai lock
	Ketinggian 15 cm	99 cm	107,5 cm		

**Tabel 3.13** merupakan penjabaran perubahan kereta *part* kondisi usulan yang akan dipilih untuk ditentukan bentuk rekomendasi atau usulan kereta *part* yang paling tepat dan ergonomis. Perubahan kereta *part* tanpa alat bantu dapat terlihat pada **Gambar 3.46** untuk ketinggian 10 cm di bawah siku dan **Gambar 3.47** untuk ketinggian 15 cm dibawah siku.



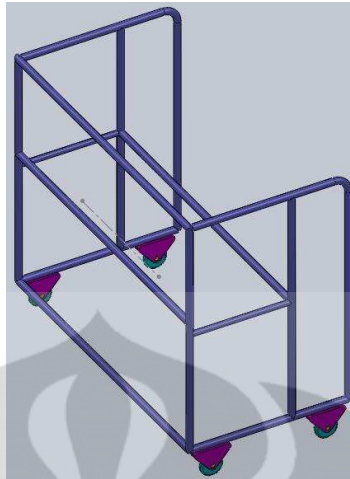
**Gambar 3.46** Kereta *Part* Untuk Ketinggian 10 cm di Bawah siku Tanpa Alat Bantu



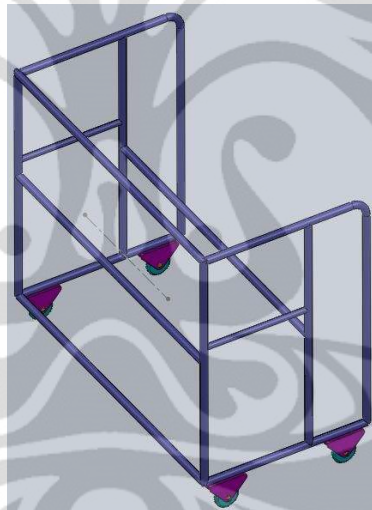
**Gambar 3.47** Kereta *Part* Untuk Ketinggian 15 cm di Bawah siku Tanpa Alat Bantu

Selain dua kereta *part* di atas, terdapat dua kereta *part* lainnya yaitu kereta *part* dengan alat bantu dimana lebarnya bertambah 50 cm menjadi 2050 cm untuk ketinggian 10 cm dibawah siku dan 15 cm dibawah siku seperti yang terlihat pada **Gambar 3.48** dan **Gambar 3.49** berikut secara berturut-turut. Terdapat juga alat bantu berupa *roller* yang terbuat dari karet seperti yang terlihat pada **Gambar 3.50** di bawah.

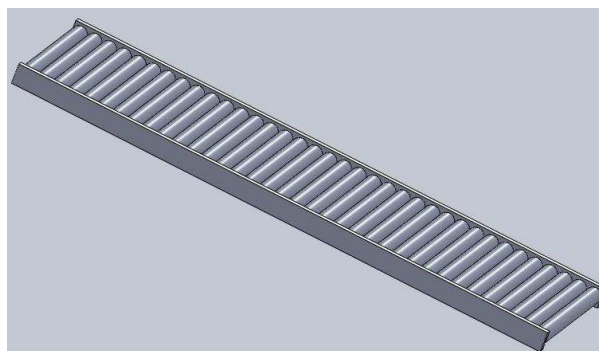
Universitas Indonesia



**Gambar 3.48** Kereta *part* Untuk Ketinggian 10 cm di Bawah siku Dengan Alat Bantu



**Gambar 3.49** Kereta *Part* Untuk Ketinggian 15 cm di Bawah siku Dengan Alat Bantu



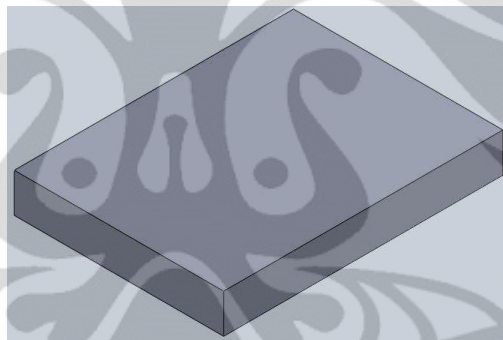
**Gambar 3.50** *Roller* dari Karet Sebagai Alat Bantu



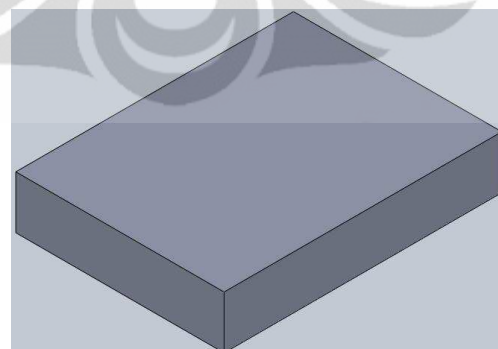
### 3.5.2 Konfigurasi pada *Station Press*

Pada *station press* pun diberikan perubahan ketinggian pada kegiatan memberikan kode produksi dan memindahkan *frame body* ke *jig* berjalan. Perubahan dilakukan dengan memberikan tambahan pijakan kaki agar ketinggian tempat kerja menjadi 10 cm dan 15 cm dibawah siku. Untuk ketinggian 10 cm dibawah siku, harus diberikan tambahan perubahan menjadi 16 cm. Untuk 15 cm dibawah siku, harus diberikan tambahan perubahan 21 cm.

Perubahan ketinggian dilakukan dengan cara memberikan tambahan papan pijakan pada bagian kaki sebesar 16 cm dan 21 cm seperti yang telah dijelaskan di atas. **Gambar 3.51** dan **Gambar 3.52** berikut adalah gambar tambahan papan untuk perubahan ketinggian 10 cm dibawah siku berupa papan dengan tinggi 16 cm dan perubahan ketinggian 15 cm dibawah siku berupa papan dengan tinggi 21 cm.



**Gambar 3.51** Gambar Papan Untuk Ketinggian 10 cm Dibawah Siku



**Gambar 3.52** Gambar Papan Untuk Ketinggian 15 cm Dibawah Siku

Jika dirangkum dalam satu tabel yang berisi semua konfigurasi yang akan dilakukan pada *station numbering* dan *press*, **Tabel 3.14** berikut adalah hasilnya.

**Tabel 3.14** Ringkasan Konfigurasi yang Akan Dilakukan

No.	Nama Konfigurasi	Kondisi	Station	Persentil	Jenis Pekerjaan	Konfigurasi Ketinggian Rekomendasi
1	Konfigurasi 1	Aktual	Numbering	5%	Mengambil FB dari bawah	-
2	Konfigurasi 2				Mengambil FB dari atas	-
3	Konfigurasi 3			50%	Mengambil FB dari bawah	-
4	Konfigurasi 4				Mengambil FB dari atas	-
5	Konfigurasi 5			95%	Mengambil FB dari bawah	-
6	Konfigurasi 6				Mengambil FB dari atas	-
7	Konfigurasi 7		Press	5%	Cek hasil numbering	-
8	Konfigurasi 8				Peletakkan ke jig	-
9	Konfigurasi 9			50%	Cek hasil numbering	-
10	Konfigurasi 10				Peletakkan ke jig	-
11	Konfigurasi 11			95%	Cek hasil numbering	-
12	Konfigurasi 12				Peletakkan ke jig	-
13	Konfigurasi 13	Rekomendasi	Numbering	5%	Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku
14	Konfigurasi 14				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku
15	Konfigurasi 15				Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku dengan alat bantu
16	Konfigurasi 16				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku dengan alat bantu
17	Konfigurasi 17			50%	Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku
18	Konfigurasi 18				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku
19	Konfigurasi 19				Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku dengan alat bantu
20	Konfigurasi 20				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku dengan alat bantu
21	Konfigurasi 21			95%	Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku
22	Konfigurasi 22				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku
23	Konfigurasi 23				Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku dengan alat bantu
24	Konfigurasi 24				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku dengan alat bantu

Tabel 3.14 Ringkasan Konfigurasi yang Akan Dilakukan (Sambungan)

25	Konfigurasi 25	Rekomendasi	Press	5%	Cek hasil numbering	Tambahan papan 16 cm
26	Konfigurasi 26					Tambahan papan 21 cm
27	Konfigurasi 27				Peletakkan ke jig	Tambahan papan 16 cm
28	Konfigurasi 28					Tambahan papan 21 cm
29	Konfigurasi 29			50%	Cek hasil numbering	Tambahan papan 16 cm
30	Konfigurasi 30					Tambahan papan 21 cm
31	Konfigurasi 31				Peletakkan ke jig	Tambahan papan 16 cm
32	Konfigurasi 32					Tambahan papan 21 cm
33	Konfigurasi 33			95%	Cek hasil numbering	Tambahan papan 16 cm
34	Konfigurasi 34					Tambahan papan 21 cm
35	Konfigurasi 35				Peletakkan ke jig	Tambahan papan 16 cm
36	Konfigurasi 36					Tambahan papan 21 cm

## BAB 4 ANALISIS

### 4.1 Analisis Kondisi Aktual

Kondisi aktual yang ada pada *station numbering* dan *press*, disimulasikan ke dalam *software Jack* untuk dapat dianalisis lebih lanjut kondisi yang ada di sana. Oleh karena itu, pembuatan simulasi dalam *software Jack* ini diusahakan sangat menyerupai kondisi aktual sehingga analisis yang dihasilkan pun aktual. Analisis ini dilakukan agar dapat diketahui berapa nilai postur, kenyamanan, resiko gangguan kerja, serta beban yang dirasakan oleh operator selama mereka bekerja pada kondisi aktual melalui simulasi pada *software Jack*.

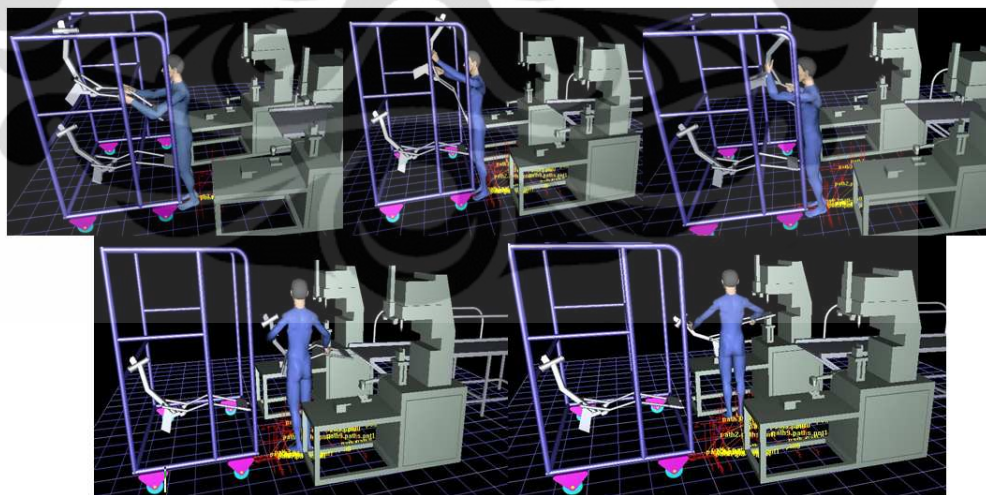
Hasil pengolahan data kondisi aktual yang dikeluarkan oleh Jack berupa nilai SSP, LBA, OWAS, dan RULA yang kemudian dihitung menjadi nilai PEI. Setelah diketahui nilai PEI kondisi aktual, kemudian nilai tersebut dianalisis. Setelah itu, diberikan beberapa usulan rancangan tempat kerja yang lebih ergonomis dari sebelumnya berdasarkan hasil analisis dari kondisi aktual. Rancangan tempat kerja yang baru pun dianalisis kembali untuk dapat diketahui apakah tempat kerja yang baru tersebut lebih ergonomis daripada tempat kerja sebelumnya. Setelah itu, rancangan tempat kerja yang baru dibandingkan, baik dengan rancangan aktual maupun dengan sesama rancangan baru, untuk dapat diketahui rancangan mana yang paling ergonomis dan tepat dengan nilai PEI terendah sehingga rancangan tersebut yang akan dipilih untuk menjadi rancangan tempat kerja yang baru.

#### 4.1.1 Analisis Kondisi Aktual Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* Bagian Atas

Pada kegiatan pengangkatan manual kondisi aktual, yang dianalisis adalah konfigurasi dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 pada kondisi aktual. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat. Kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian atas dilakukan dengan posisi berdiri dan kondisi yang

dianalisis adalah posisi pada saat hasil analisis memberikan nilai yang tertinggi saat simulasi dijalankan. Saat mengangkat *frame body* dari bagian atas kereta, operator bekerja dengan posisi lengan di atas bahu yang cukup jauh dimana beban yang diangkatnya pun cukup berat, yaitu 11 kg. Terlebih lagi, saat pengangkatan manual tersebut, posisi kepala *frame body* tepat berada di atas kepala operator dimana saat operator kelelahan ada kemungkinan operator tidak dapat menangkap *frame body* dengan tepat sehingga hal ini dapat menyebabkan *frame body* terlepas dari tangan operator dan terbentur mengenai kepala operator. Hal ini sangat membahayakan bagi operator dan dapat menyebabkan kecelakaan kerja.

Posisi pengangkatan *frame body* dimulai dari posisi tangan operator yang meraih *frame body* yang berada di atas siku operator, kemudian mengayunkan *frame body* tersebut agar keluar dari tiang penahan kepala kereta *part* bagian atas kemudian menangkapnya dengan satu tangan. Kemudian mengeluarkan *frame body* tersebut dari kereta *part* dan membawanya menuju mesin *numbering* dengan cara memutar badan hingga mengarah pada posisi mesin *numbering*. Kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian atas ini ditunjukkan oleh rangkaian gerakan yang terlihat pada **Gambar 4.1** berikut.



**Gambar 4.1** Rangkaian Gerakan untuk Dianalisis pada *Station Numbering* Saat Mengangkat *Frame body* dari Bagian Atas Kereta *Part*

Analisis untuk model aktual pada kegiatan membawa *frame body* dari bagian atas kereta *part* dimulai dengan menganalisis nilai *Static Strength Prediction* (SSP). Analisis ini bertujuan untuk melihat dan mengecek nilai kapabilitas pekerja dalam melakukan kegiatan kerja tertentu sepanjang proses kerja berjalan terhadap model manusia yang digunakan. Nilai SSP ini harus lebih besar daripada 90% agar dapat dipastikan bahwa kegiatan atau postur kerja tersebut dapat dilakukan oleh sebagian besar populasi pekerja.

Hasil SSP pada kegiatan pengangkatan *frame body* dari bagian atas kereta *part* menunjukkan bahwa mayoritas populasi operator baik dari persentil 5, 50, maupun 95 pada *station numbering* memiliki *muscle strength* yang cukup untuk melakukan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian atas dengan postur seperti pada **Gambar 4.1** di atas. Hal ini ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh yang menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA. **Tabel 4.1, 4.2, dan 4.3** berikut merupakan output nilai SSP kegiatan pengangkatan manual *frame body* dari kereta *part* bagian atas oleh persentil 5, 50, dan 95 secara berturut-turut.

**Tabel 4.1** *Capability Summary Chart* Model Persentil 5

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-6	FLEXN	67	16	100	-9	FLEXN	72	18	100
	Abduc/Adduc	-19	ABDUCT	59	15	100	-12	ABDUCT	78	19	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-10	FORWARD	88	24	100	-9	FORWARD	91	25	100
	Humeral Rot	-12	LATERAL	27	6	99	-11	LATERAL	39	9	100
Trunk	Flex/Ext	-17	EXTEN	226	71	100					
	Lateral Bending	19	LEFT	169	38	100					
	Rotation	-0	--	100	27	100					
	Hip	-2	EXTEN	196	79	99	-4	EXTEN	196	79	99
	Knee	-2	FLEXN	141	41	100	-4	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-18	EXTEN	151	50	100	-19	EXTEN	151	50	100



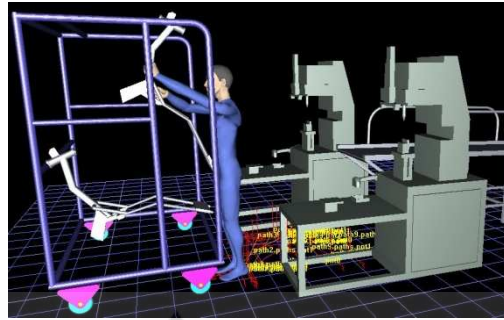
**Tabel 4.2** *Capability Summary Chart Model Persentil 50*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-8	FLEXN	67	16	100	-8	FLEXN	72	18	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-24	ABDUCT	61	15	99	-25	ABDUCT	66	16	99
	Rotation Bk/Fd	-11	FORWARD	89	24	100	-10	FORWARD	97	26	100
	Humeral Rot	-12	LATERAL	30	7	100	-13	LATERAL	35	8	100
Trunk	Flex/Ext	-50	EXTEN	226	71	99					
	Lateral Bending	-7	RIGHT	153	33	100					
	Rotation	0	--	86	23	100					
	Hip	-12	EXTEN	196	79	99	-10	EXTEN	196	79	99
	Knee	-13	FLEXN	141	41	100	-11	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-29	EXTEN	151	50	99	-27	EXTEN	151	50	99

**Tabel 4.3** *Capability Summary Chart Model Persentil 95*

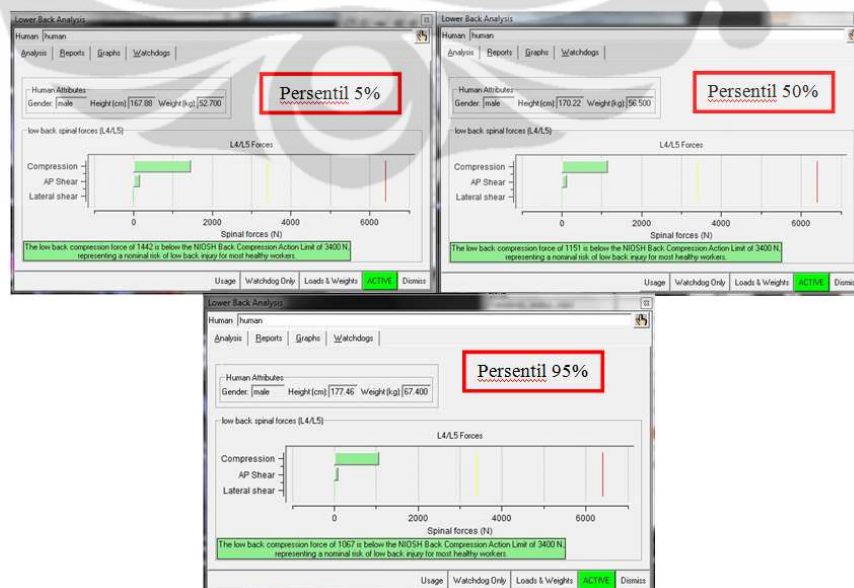
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-13	FLEXN	68	17	100	-15	FLEXN	76	19	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-28	ABDUCT	65	16	99	14	ADDUCT	95	30	100
	Rotation Bk/Fd	-13	FORWARD	93	25	100	-4	FORWARD	101	28	100
	Humeral Rot	-10	LATERAL	37	8	100	-0	--	27	6	100
Trunk	Flex/Ext	-38	EXTEN	226	71	100					
	Lateral Bending	-1	RIGHT	153	33	100					
	Rotation	0	--	86	23	100					
	Hip	-8	EXTEN	196	79	99	-7	EXTEN	196	79	99
	Knee	-9	FLEXN	141	41	100	-8	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-30	EXTEN	151	50	99	-28	EXTEN	151	50	99

Setelah melakukan analisis SSP dan diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi dengan cara menjalankan simulasi proses kerja pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian atas. Nilai ekstrim tersebut menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan manual tersebut memberikan postur yang paling tidak ergonomis diantara postur lainnya. Nilai yang paling besar ditunjukkan saat operator mengangkat *frame body* dengan jangkauan maksimalnya dan dengan posisi lengan yang berada jauh di atas siku seperti yang terlihat pada **Gambar 4.2** berikut.



**Gambar 4.2** Postur Paling Ekstrem pada Proses Pengangkatan *Frame body* dari Bagian Atas Kereta *Part* Kondisi Aktual

Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 adalah 1442 N, pada persentil 50 adalah 1151 N, dan pada persentil 95 adalah 1067 N seperti yang terlihat pada **Gambar 4.3** di bawah. Besar nilai LBA ini berbeda untuk setiap persentil. Hal ini terjadi karena usaha yang dikeluarkan setiap persentil juga berbeda tergantung dari ukuran tubuh masing-masing persentil. Selain itu, juga dipengaruhi oleh postur yang berbeda dari setiap persentil. Jika dilihat, nilai LBA semakin kecil saat persentil semakin besar. Hal ini dikarenakan persentil yang lebih kecil seperti persentil 5 memiliki tubuh yang lebih kecil dan pendek serta jangkauan yang lebih kecil dari persentil 95 sehingga persentil 5 harus menggunakan jangkauan maksimalnya untuk dapat meraih *frame body* yang berada jauh di atas sikunya.



**Gambar 4.3** Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Nilai OWAS menunjukkan tingkat kenyamanan postur kerja yang dirasakan operator selama bekerja. Analisis OWAS menghasilkan nilai total yang sama untuk ketiga persentil yaitu sebesar 1 seperti yang terlihat pada **Tabel 4.4**.

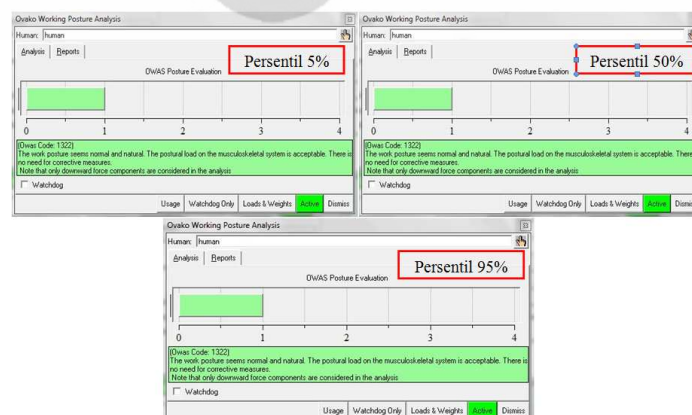
**Tabel 4.4** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	3	2	2	1
Persentil 50%	1	3	2	2	1
Persentil 95%	1	3	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk semua persentil di setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 2 yang berarti bahwa postur punggung operator cenderung membungkuk.
2. Postur lengan operator dalam kategori 3 yang berarti kedua lengan operator berada di atas bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian atas adalah 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja masih normal dan natural untuk ketiga persentil seperti yang terlihat pada **Gambar 4.4** berikut.



**Gambar 4.4** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Setelah mendapatkan nilai LBA dan OWAS, maka selanjutnya adalah mencari nilai RULA. Analisis RULA adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dapat dialami secara khusus tubuh bagian atas. Analisis RULA ini akan menghasilkan analisis yang lebih detail pada tubuh bagian atas manusia *virtual*. Analisis RULA ini terbagi menjadi dua kelompok tubuh yaitu kelompok tubuh bagian A yang terdiri dari lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan dan tubuh bagian B yang terdiri dari leher, dan batang tubuh. **Tabel 4.5** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95.

**Tabel 4.5** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	5	3	3	1	1	1	<b>5</b>
Group Score	<b>10</b>				<b>1</b>		
<b>Persentil 50</b>	5	3	3	2	1	1	<b>5</b>
Group Score	<b>10</b>				<b>1</b>		
<b>Persentil 95</b>	5	3	2	2	1	1	<b>5</b>
Group Score	<b>10</b>				<b>1</b>		

Penjelasan mengenai nilai masing-masing elemen RULA untuk persentil 5 dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Postur lengan atas

Nilai analisis untuk lengan atas operator *station numbering* saat mengambil *frame body* dari bagian atas kereta *part* mempunyai nilai 5 yang berarti bahwa lengan atas manusia *virtual* menyimpang dengan sudut yang melebihi  $90^{\circ}$ .

2. Postur lengan bawah

Nilai analisis untuk lengan bawah operator adalah 3 yang berarti bahwa posisi lengan bawah operator bekerja melewati garis tengah tubuh atau menyimpang ke kanan.

3. Postur pergelangan tangan

Nilai analisis untuk pergelangan tangan operator adalah 3 yang berarti bahwa pergelangan tangan operator melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih dari  $15^{\circ}$ .

4. Postur perputaran pergelangan tangan

Nilai untuk perputaran pergelangan tangan operator adalah 1 yang berarti bahwa perputaran yang terjadi sebagian besar ada pada rentang pertengahan.

5. Postur leher

Nilai analisis untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0 -10°.

6. Postur batang tubuh

Nilai analisis untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti bahwa batang tubuh operator berada pada posisi tegak.

Penambahan nilai RULA dipengaruhi oleh faktor penggunaan otot dan beban yang diangkat. Dengan penjabaran nilai RULA seperti yang terlihat pada **Tabel 4.5** di atas, didapatkan nilai akhir gabungan dari dua grup sebesar 5 baik untuk persentil 5, 50, maupun 95. Secara keseluruhan, *station numbering* kondisi aktual dapat dikatakan belum ergonomis bagi persentil 5, 50, maupun 95 karena operator harus bekerja dengan jangkauan maksimum dan bekerja dengan posisi lengan di atas siku serta penggunaan otot yang berlebihan untuk mengangkat beban secara manual. Nilai RULA yang besar ini menandakan bahwa tempat kerja harus segera diinvestigasi dan membutuhkan perubahan sesegera mungkin

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dan resiko cedera yang mungkin ditimbulkan pada *station numbering* kondisi aktual, maka nilai LBA, OWAS, dan RULA diintegrasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian atas pada *station numbering* untuk ketiga persentil dapat dilihat pada **Tabel 4.6** berikut.

**Tabel 4.6** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Aktual Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* Bagian Atas

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 2	5	1442	1	5	1,69
Konfigurasi 4	50	1151	1	5	1,60
Konfigurasi 6	95	1067	1	5	1,58

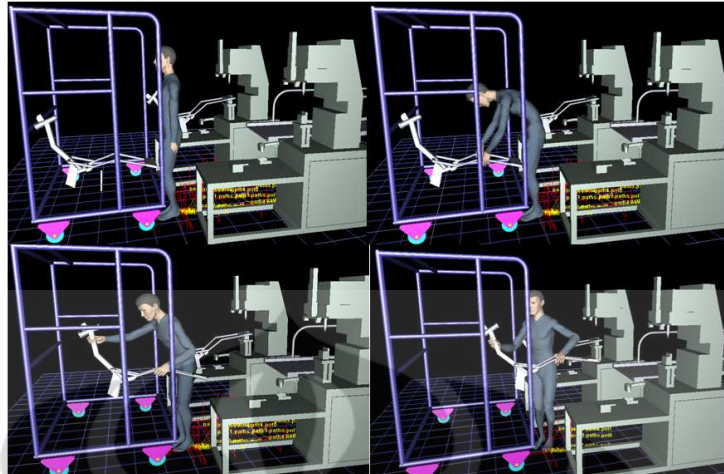
Dari **Tabel 4.6** di atas terlihat bahwa nilai PEI semakin besar untuk persentil yang kecil. Hal ini dikarenakan persentil yang lebih kecil yaitu persentil 5 memiliki tubuh yang lebih kecil dan pendek serta jangkauan yang lebih kecil dibanding persentil 95 sehingga persentil 5 harus menggunakan jangkauan maksimalnya untuk dapat meraih *frame body* yang berada jauh di atas sikunya. Nilai PEI ini juga merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan tempat kerja, dimana tempat kerja perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari nilai pada **Tabel 4.6** di atas agar dapat dihasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

#### 4.1.2 Analisis Kondisi Aktual Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* Bagian Bawah

Pada kegiatan pengangkatan *frame body* kondisi aktual, yang disimulasikan adalah konfigurasi dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 dan hal tersebut dilakukan dengan tujuan yang sama yaitu mengetahui seluruh nilai postur secara detail untuk semua persentil. Kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian bawah dilakukan dengan posisi berdiri namun sedikit membungkuk dan kondisi yang dianalisis adalah posisi pada saat hasil analisis memberikan nilai yang tertinggi saat simulasi dijalankan. Saat mengangkat *frame body* dari bagian bawah kereta, operator bekerja dengan posisi membungkuk agar operator dapat meraih *frame body* yang berada jauh dibawah siku operator dengan beban angkat sebesar 11 kg. Hal ini menyebabkan operator mengalami tekanan yang cukup berat pada bagian punggung karena semua beban bertumpu pada bagian punggung.

Posisi pengangkatan *frame body* dimulai dari posisi punggung operator yang membungkuk disertai tangan yang mengambil *frame body* yang berada dibawah siku operator. Kemudian operator mengangkat *frame body* tersebut ke atas dan membawanya menuju mesin *numbering* sambil memutar badan hingga posisinya tepat berada di depan mesin *numbering*. Kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian bawah ini ditunjukkan oleh rangkaian gerakan yang terlihat pada **Gambar 4.5** berikut.





**Gambar 4.5** Rangkaian Gerakan untuk Dianalisis pada *Station Numbering* Saat Mengangkat *Frame body* dari Bagian Bawah Kereta *Part*

Hasil SSP pada kegiatan pengangkatan *frame body* dari bagian bawah kereta *part* menunjukkan bahwa mayoritas operator baik dari persentil 5, 50, maupun 95 pada *station numbering* memiliki *muscle strength* yang cukup untuk melakukan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian bawah. Hal ini ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh. Hal ini juga menunjukkan bahwa kegiatan ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA. **Tabel 4.7, 4.8, dan 4.9** merupakan output nilai SSP kegiatan pengangkatan manual *frame body* dari kereta *part* bagian bawah oleh persentil 5, 50, dan 95 secara berturut-turut.

**Tabel 4.7** *Capability Summary Chart* Model Persentil 5  
Capability Summary Chart

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-4	FLEXN	67	16	100	-4	FLEXN	72	18	100
	Abduc/Adduc	2	ADDUCT	73	23	100	-0	--	75	18	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	4	BACKWARD	80	23	100	6	BACKWARD	83	24	100
	Humeral Rot	0	--	58	15	100	0	--	57	15	100
	Flex/Ext	-44	EXTEN	270	85	100					
Trunk	Lateral Bending	0	--	410	92	100					
	Rotation	-0	--	94	25	100					
	Hip	-11	EXTEN	197	79	99	-10	EXTEN	197	79	99
	Knee	-11	FLEXN	141	41	100	-10	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-27	EXTEN	151	50	99	-26	EXTEN	151	50	99

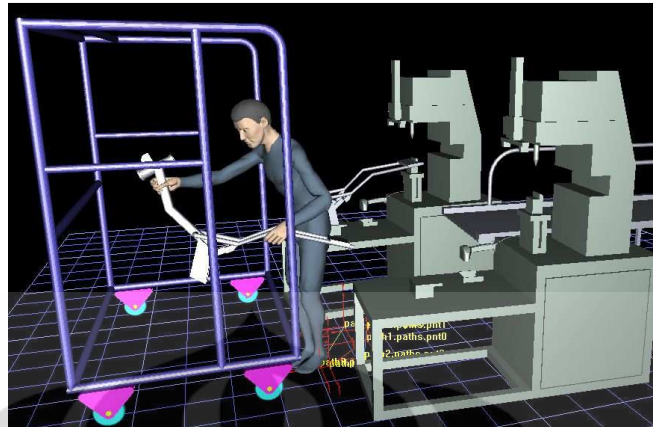
**Tabel 4.8** *Capability Summary Chart Model Persentil 50*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-2	FLEXN	63	15	100	-2	FLEXN	65	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-2	ABDUCT	75	18	100	-3	ABDUCT	82	20	100
	Rotation Bk/Fd	1	--	82	24	100	-1	--	114	31	100
	Humeral Rot	-0	--	33	7	100	-0	--	40	9	100
Trunk	Flex/Ext	-35	EXTEN	257	81	100					
	Lateral Bending	-0	--	286	62	100					
	Rotation	-0	--	94	25	100					
	Hip	-10	EXTEN	196	79	99	-11	EXTEN	196	79	99
	Knee	1	EXTEN	137	48	100	-2	FLEXN	134	40	100
	Ankle	-17	EXTEN	156	51	100	-16	EXTEN	148	49	100

**Tabel 4.9** *Capability Summary Chart Model Persentil 95*

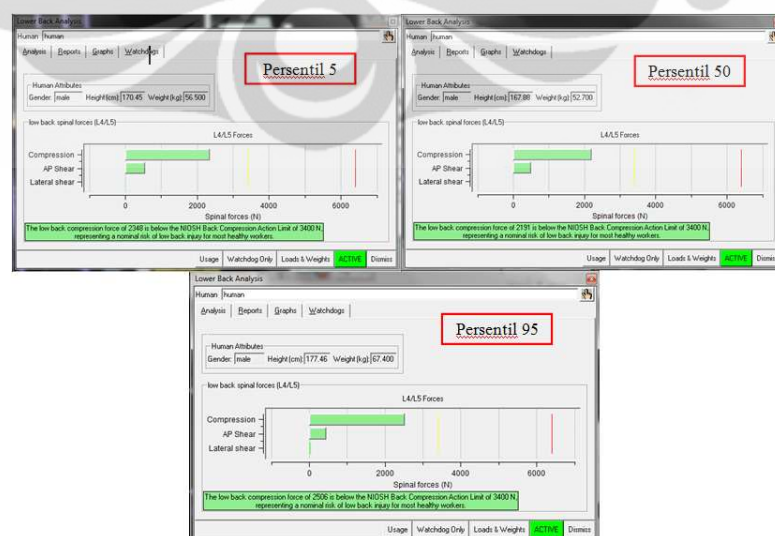
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	FLEXN	60	15	100	-1	FLEXN	65	16	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	ABDUCT	77	19	100	-1	ABDUCT	84	21	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	107	29	100	0	--	89	26	100
	Humeral Rot	-0	--	39	9	100	-0	--	43	10	100
Trunk	Flex/Ext	-46	EXTEN	250	79	100					
	Lateral Bending	0	--	329	74	100					
	Rotation	0	--	96	26	100					
	Hip	-10	EXTEN	196	79	99	-10	EXTEN	196	79	99
	Knee	-11	FLEXN	141	41	100	-11	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-32	EXTEN	151	50	99	-31	EXTEN	151	50	99

Setelah melakukan analisis SSP dan diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi dengan cara menjalankan simulasi proses kerja pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian bawah. Nilai ekstrim tersebut menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan manual tersebut memberikan postur yang paling tidak ergonomis diantara postur lainnya. Nilai yang paling besar yang ditunjukkan oleh ketiga nilai di atas adalah saat operator mengangkat *frame body* dengan posisi punggung membungkuk dan tangan menjangkau maksimum seperti yang terlihat pada **Gambar 4.6** berikut.



**Gambar 4.6** Postur Paling Ekstrem pada Proses Pengangkatan *Frame body* dari Bagian Bawah Kereta *Part* Kondisi Aktual

Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 adalah 2191 N, pada persentil 50 adalah 2348 N, dan pada persentil 95 adalah 2506 N seperti yang terlihat pada **Gambar 4.7** di bawah. Besar nilai LBA ini berbeda untuk setiap persentil karena usaha yang dikeluarkan setiap persentil juga berbeda. Selain itu, juga dipengaruhi oleh postur yang berbeda dari setiap persentil. Jika dilihat, nilai LBA semakin besar saat persentil semakin besar seperti yang terlihat pada **Gambar 4.7** dibawah. Hal ini dikarenakan persentil yang lebih besar yaitu persentil 95 memiliki tubuh yang lebih tinggi dibandingkan persentil 5 sehingga persentil 95 harus membungkuk jauh lebih rendah agar dapat meraih *frame body* yang berada jauh di bawah sikunya.



**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Nilai OWAS menunjukkan tingkat kenyamanan postur kerja yang dirasakan oleh operator selama mereka bekerja. Analisis total OWAS menghasilkan nilai yang sama antara persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 dengan nilai total sebesar 2 seperti yang terlihat pada **Tabel 4.10** dibawah.

**Tabel 4.10** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

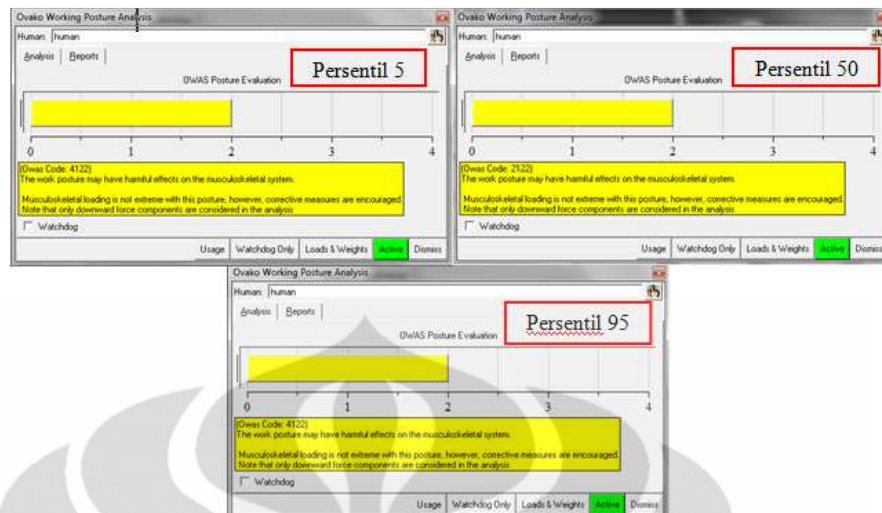
Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	4	1	2	2	2
Persentil 50%	2	1	2	2	2
Persentil 95%	4	1	2	2	2

Keempat nilai di atas untuk persentil 5 dan 95 pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 4 yang berarti bahwa postur punggung operator membungkuk dan memutar.
2. Postur lengan operator dalam kategori 1 yang berarti kedua lengan operator berada di bawah bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian bawah adalah bernilai 2 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja dapat membahayakan sistem muskuloskeletal dan diperlukan tindakan perbaikan untuk ketiga persentil tersebut seperti yang terlihat pada **Gambar 4.8** dibawah ini.





**Gambar 4.8** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Setelah mendapatkan nilai LBA dan OWAS, maka selanjutnya adalah mencari nilai RULA. Analisis RULA adalah suatu nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dapat dialami secara khusus oleh tubuh bagian atas dan RULA ini menghasilkan analisis yang lebih detail pada tubuh bagian atas. Analisis RULA terbagi menjadi dua kelompok tubuh yaitu kelompok tubuh bagian A yang terdiri dari lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan dan tubuh bagian B yang terdiri dari leher, dan batang tubuh.

**Tabel 4.11** adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95.

**Tabel 4.11** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	4	3	3	1	1	5	7
Group Score	8				6		
<b>Persentil 50</b>	4	3	2	1	1	4	7
Group Score	7				5		
<b>Persentil 95</b>	4	3	1	1	1	4	7
Group Score	7				5		

Penjelasan mengenai detail nilai elemen RULA untuk persentil 5 saat *frame body* diambil dari bagian bawah kereta, dapat dianalisis sebagai berikut:

#### 1. Postur lengan atas

Nilai analisis untuk lengan atas operator *station numbering* saat mengambil *frame body* dari bagian bawah kereta *part* mempunyai nilai 4 yang berarti

bahwa lengan atas manusia *virtual* menyimpang membentuk sudut yang mencapai lebih dari  $90^{\circ}$ .

2. Postur lengan bawah

Nilai analisis untuk lengan bawah operator bernilai 3 yang berarti bahwa posisi lengan bawah operator bekerja melewati garis tengah tubuh atau menyimpang ke kanan melewati diameter tubuh.

3. Postur pergelangan tangan

Nilai analisis untuk pergelangan tangan operator adalah 3 yang berarti bahwa pergelangan tangan operator melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih dari  $15^{\circ}$ .

4. Postur perputaran pergelangan tangan

Nilai analisis untuk perputaran pergelangan tangan operator adalah 1 yang berarti bahwa perputaran yang terjadi sebagian besar ada pada rentang pertengahan.

5. Postur leher

Nilai analisis untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar  $0 - 10^{\circ}$ .

6. Postur batang tubuh

Nilai analisis untuk batang tubuh adalah 5 yang berarti bahwa batang tubuh operator berada dalam posisi berdiri dan membungkuk lebih dari  $60^{\circ}$ .

Penambahan nilai analisis RULA dipengaruhi oleh faktor penggunaan otot dan beban yang diangkat. Dengan penjabaran nilai RULA seperti yang terlihat pada **Tabel 4.11** di atas, didapatkan nilai paling akhir gabungan dari dua grup sebesar 7 untuk ketiga persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95. Secara keseluruhan, kondisi *station numbering* kondisi aktual dapat dikatakan tidak ergonomis bagi persentil 5, 50, maupun 95 saat harus mengambil *frame body* dari bawah kereta *part* karena operator harus bekerja dengan punggung yang membungkuk dan memutar disertai penggunaan otot yang berlebihan untuk mengangkat beban secara manual. Nilai RULA yang besar ini menandakan bahwa tempat kerja harus segera diinvestigasi dan membutuhkan perubahan sesegera mungkin.



Untuk mendapatkan gambaran menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dan resiko cedera yang mungkin terjadi pada *station numbering* kondisi aktual, maka nilai LBA, OWAS, dan RULA diintegrasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* bagian bawah pada *station numbering* untuk ketiga persentil dapat dilihat dari **Tabel 4.12** berikut.

**Tabel 4.12** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Aktual Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* Bagian Bawah

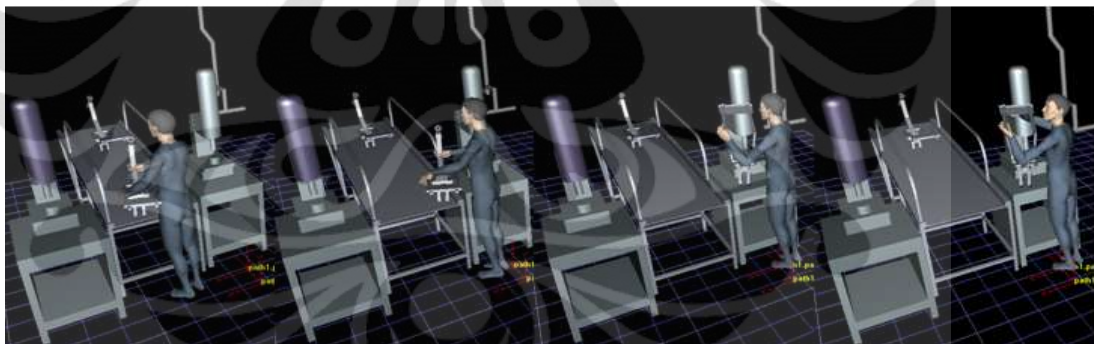
Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 1	5	2191	2	7	2,56
Konfigurasi 3	50	2348	2	7	2,61
Konfigurasi 5	95	2506	2	7	2,66

Dari **Tabel 4.12** di atas terlihat bahwa nilai PEI semakin besar untuk persentil yang besar. Hal ini dikarenakan persentil yang lebih besar yaitu persentil 95 memiliki tubuh yang tinggi dibanding persentil 5 sehingga persentil 95 harus membungkuk jauh lebih rendah agar dapat meraih *frame body* yang berada jauh di bawah sikunya. Persentil 95 ini melakukan posisi yang membungkuk agar dapat menyesuaikan ketinggian *frame body* yang berada dibawah siku pada kereta *part*, sebaliknya, persentil 5 menunjukkan postur yang lebih nyaman karena ukuran tubuhnya lebih mendekati ketinggian permukaan kerja. Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan ketinggian tiang kereta *part* untuk memperbaiki postur pekerja pada kondisi aktual sehingga perbaikan itu dapat dirasakan cukup adil bagi seluruh persentil pekerja.

#### 4.1.3 Analisis Kondisi Aktual Pengecekan Kode Produksi pada *Frame body*

Untuk mengetahui titik kritis pada *station press*, dilakukan dengan cara menjalankan animasi. Setelah dijalankan, didapatkan 2 titik yang nilainya lebih tinggi dari yang lain, yaitu saat operator mengecek kode produksi dan saat operator memindahkan *frame body* ke *jig* berjalan. Yang dianalisis terlebih dahulu adalah kondisi saat operator mengecek kode produksi pada *frame body*.

Pada kegiatan ini untuk kondisi aktual, yang dianalisis adalah konfigurasi dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat. Kegiatan pengecekan kode produksi dilakukan dengan posisi berdiri dan kondisi yang dianalisis adalah posisi pada saat hasil analisis memberikan nilai yang tertinggi saat simulasi dijalankan. Setelah *frame body* diambil dan selama race steering ditekan bersama dengan *frame body*, kemudian operator melakukan pengecekan kode produksi bersamaan dengan mesin *press* yang sedang bekerja. Hal tersebut dilakukan dengan cara memegang badan *frame body* oleh tangan kiri dan mengangkat tangan kanan setinggi ujung *frame body* untuk melakukan pengecekan karena di bagian ujung *frame body* terletak kode produksi yang harus dicek. Dengan melakukan hal tersebut, operator harus bekerja dengan posisi lengan yang berada di atas siku sambil posisi kepala menoleh ke arah kiri atas. Kegiatan pengecekan kode produksi yang terdapat pada *frame body* ini ditunjukkan oleh rangkaian gerakan yang terlihat pada **Gambar 4.9** berikut.



**Gambar 4.9** Rangkaian Gerakan untuk Dianalisis pada *Station press* Saat Mengecek Kode Produksi pada *Frame body*

Hasil SSP pada kegiatan pengecekan kode produksi pada *frame body* menunjukkan bahwa mayoritas populasi operator baik dari pesentil 5, 50, maupun 95 pada *station press* memiliki *muscle strength* yang cukup untuk melakukan kegiatan tersebut dengan postur seperti pada **Gambar 4.9** di atas. Hal ini ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh yang menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* dapat

dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA. **Tabel 4.13, 4.14, dan 4.15** merupakan output nilai SSP kegiatan pengecekan kode produksi oleh persentil 5, 50, dan 95 secara berturut-turut.

**Tabel 4.13** *Capability Summary Chart Model Persentil 5*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-15	FLEXN	69	17	100	1	--	31	6	100
	Abduc/Adduc	-23	ABDUCT	66	16	100	-28	ABDUCT	67	17	99
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-13	FORWARD	95	26	100	1	BACKWARD	71	21	100
	Humeral Rot	-6	LATERAL	35	8	100	-12	LATERAL	47	11	100
	Flex/Ext	-38	EXTEN	226	71	100					
Trunk	Lateral Bending	-31	RIGHT	153	33	100					
	Rotation	1	--	86	23	100					
	Hip	-11	EXTEN	196	79	99	-6	EXTEN	196	79	99
	Knee	-11	FLEXN	141	41	100	-7	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-27	EXTEN	151	50	99	-22	EXTEN	151	50	100

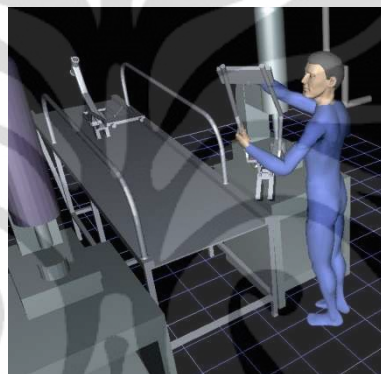
**Tabel 4.14** *Capability Summary Chart Model Persentil 50*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-0	--	67	16	100	0	--	32	6	100
	Abduc/Adduc	-5	ABDUCT	66	16	100	-6	ABDUCT	64	16	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-1	--	90	24	100	-0	--	89	24	100
	Humeral Rot	0	--	54	14	100	-1	--	46	10	100
	Flex/Ext	-1	--	226	71	100					
Trunk	Lateral Bending	-8	RIGHT	153	33	100					
	Rotation	0	--	95	25	100					
	Hip	1	--	219	60	100	1	FLEXN	219	60	100
	Knee	0	--	118	41	100	1	--	118	41	100
	Ankle	-15	EXTEN	151	50	100	-13	EXTEN	151	50	100

**Tabel 4.15** *Capability Summary Chart Model Persentil 95*

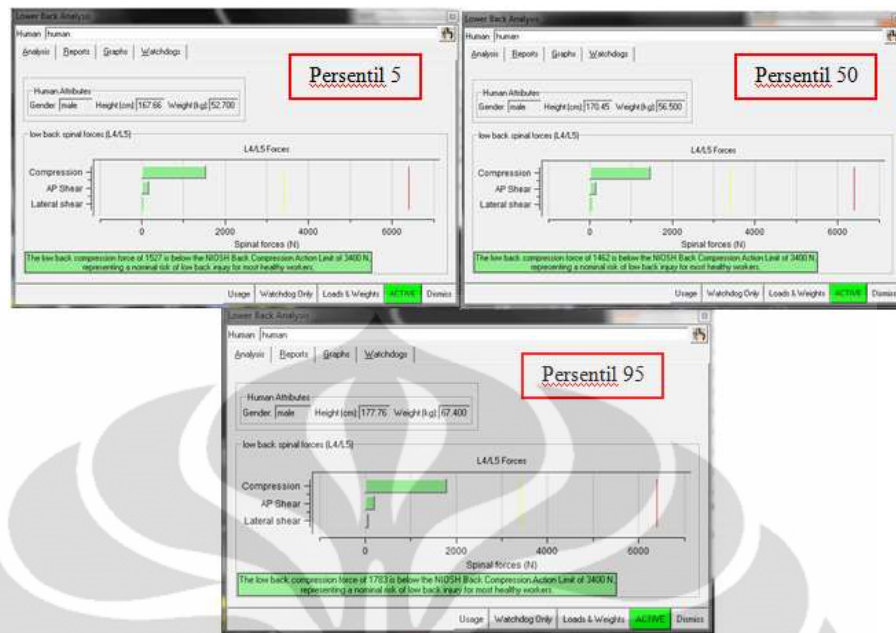
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-8	FLEXN	67	16	100	-8	FLEXN	72	18	100
	Abduc/Adduc	-24	ABDUCT	61	15	99	-30	ABDUCT	70	17	99
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-11	FORWARD	88	24	100	-6	FORWARD	101	27	100
	Humeral Rot	-12	LATERAL	30	7	100	-2	LATERAL	60	14	100
	Flex/Ext	-31	EXTEN	222	70	100					
Trunk	Lateral Bending	-47	RIGHT	169	37	100					
	Rotation	-1	--	66	18	100					
	Hip	-10	EXTEN	196	79	99	-2	EXTEN	196	79	99
	Knee	-11	FLEXN	141	41	100	-3	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-33	EXTEN	151	50	99	-22	EXTEN	151	50	100

Setelah melakukan analisis SSP dan diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi dengan cara menjalankan simulasi proses pengecekan kode produksi pada *frame body*. Nilai ekstrim tersebut menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan manual tersebut memberikan postur yang paling tidak ergonomis diantara postur lainnya. Nilai yang paling besar yang ditunjukkan saat operator mengangkat *frame body* dengan jangkauan maksimalnya dan dengan posisi lengan yang berada jauh di atas siku seperti yang terlihat pada **Gambar 4.10** berikut.



**Gambar 4.10** Postur Paling Ekstrim Proses Pengecekan Kode Produksi pada *Frame body*

Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 adalah 1527 N, pada persentil 50 adalah 1462 N, dan pada persentil 95 adalah 1783 N seperti yang terlihat pada **Gambar 4.11** di bawah. Besar nilai LBA ini berbeda untuk setiap persentil. Hal ini terjadi karena usaha yang dikeluarkan setiap persentil juga berbeda tergantung dari ukuran tubuh masing-masing persentil serta tergantung pada postur yang berbeda. Nilai LBA kecil untuk persentil 5 dan besar untuk persentil 95, sedangkan nilai LBA terkecil didapatkan dari persentil 50 sehingga hal ini dapat disimpulkan bahwa *station press* optimal bagi persentil 50 untuk kondisi aktual. **Gambar 4.11** berikut adalah nilai LBA untuk ketiga persentil tersebut.



**Gambar 4.11** Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Nilai OWAS menunjukkan tingkat kenyamanan postur kerja yang dirasakan oleh operator selama mereka bekerja. Analisis OWAS menghasilkan nilai yang sama antara ketiga persentil yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 dengan nilai total sebesar 1 seperti yang terlihat pada **Tabel 4.16** dibawah.

**Tabel 4.16** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	2	2	2	1
Persentil 50%	3	3	2	2	1
Persentil 95%	3	2	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk persentil 5 pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

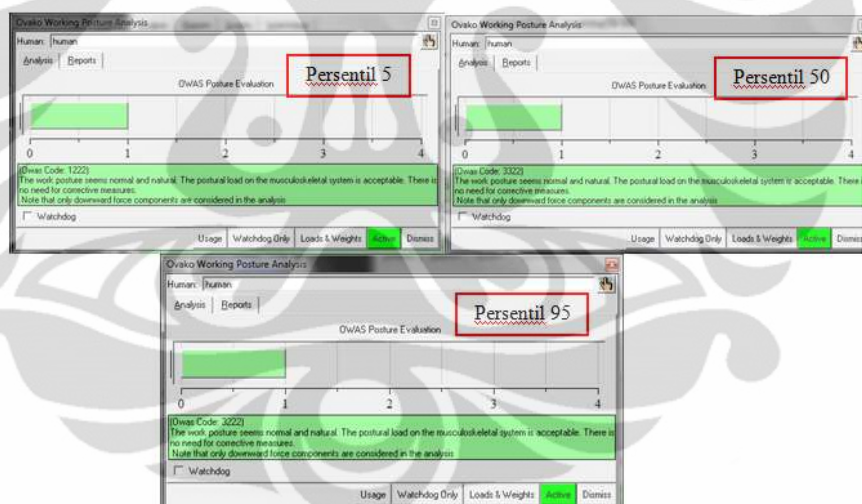
1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa postur punggung operator lurus netral.
2. Postur lengan operator dalam kategori 2 yang berarti satu lengan operator berada di atas bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.



4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Dua elemen nilai sama untuk ketiga persentil yaitu elemen kaki dan beban dimana semua persentil operator bekerja dalam posisi berdiri dengan kaki lurus dengan beban yang ditanggung operator sebesar 11 kg. Namun untuk posisi punggung, persentil 50 dan 95 bernilai 3 yang berarti posisi punggung memutar dan cenderung ke samping. Untuk posisi tangan, persentil 95 sama dengan persentil 5 yang berarti satu tangan berada di atas bahu sedangkan pada persentil 50 bernilai 3 yang berarti kedua lengan berada di atas bahu.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian atas adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja masih normal dan natural untuk ketiga persentil seperti yang terlihat pada **Gambar 4.12** berikut.



**Gambar 4.12** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan 95

Setelah mendapatkan nilai LBA dan OWAS, maka selanjutnya adalah mencari nilai RULA. Analisis RULA ini terbagi menjadi dua kelompok tubuh yaitu kelompok tubuh bagian A yang terdiri dari lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan dan tubuh bagian B yang terdiri dari leher dan batang tubuh. **Tabel 4.17** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95.



**Tabel 4.17** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	4	2	1	1	5	1	<b>7</b>
Group Score	7				7		
<b>Persentil 50</b>	4	2	3	2	6	2	<b>7</b>
Group Score	8				8		
<b>Persentil 95</b>	4	3	3	1	3	2	<b>6</b>
Group Score	8				3		

Penjelasan mengenai detail nilai masing-masing elemen RULA untuk persentil 5 dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Postur lengan atas

Nilai analisis untuk lengan atas operator *station press* saat mengecek kode produksi mempunyai nilai 4 yang berarti bahwa menyimpang membentuk sudut yang mencapai lebih dari  $90^\circ$ , lengan tidak membengkok atau berputar, juga tidak ada yang menahan atau menyokong.

2. Postur lengan bawah

Nilai analisis untuk lengan bawah operator bernilai 2 yang berarti bahwa posisi lengan bawah operator hampir lurus sehingga sudut termasuk  $< 60^\circ$ .

3. Postur pergelangan tangan

Nilai analisis untuk pergelangan tangan operator adalah 1 yang berarti bahwa pergelangan tangan operator melakukan gerakan lurus dengan sudut  $0^\circ$ .

4. Postur perputaran pergelangan tangan

Nilai analisis untuk perputaran pergelangan tangan operator adalah 1 yang berarti bahwa perputaran yang terjadi sebagian besar ada pada rentang pertengahan.

5. Postur leher

Nilai analisis untuk leher adalah 5 yang berarti bahwa leher memutar dan menekuk dengan jauh.

6. Postur batang tubuh

Nilai analisis untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti bahwa batang tubuh operator berada pada posisi tegak.

Penambahan nilai RULA dipengaruhi oleh faktor penggunaan otot dan beban yang diangkat. Dengan penjabaran nilai RULA seperti yang terlihat pada **Tabel 4.17** di atas, didapatkan nilai akhir gabungan dari dua grup sebesar 7 persentil 5 dan 50 sedangkan persentil 95 sebesar 6. Secara keseluruhan, *station press* kondisi aktual dapat dikatakan belum ergonomis bagi persentil 5, 50, dan 95 karena operator harus bekerja dengan dengan posisi lengan di atas siku, penggunaan otot yang berlebihan untuk mengangkat beban secara manual, serta menekuk pada bagian kepala. Nilai RULA yang besar menandakan bahwa tempat kerja harus segera diinvestigasi dan membutuhkan perubahan sesegera mungkin.

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dan resiko cedera yang mungkin ditimbulkan pada *station numbering* kondisi aktual, maka nilai LBA, OWAS, dan RULA diintegrasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk pengecekan kode produksi *frame body* pada *station press* untuk ketiga persentil dapat dilihat pada **Tabel 4.18** berikut.

**Tabel 4.18** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Aktual Proses Pengecekan Kode Produksi pada *Frame body*

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 7	5	1527	1	7	2,12
Konfigurasi 9	50	1462	1	7	2,10
Konfigurasi 11	95	1783	1	6	1,99

Dari **Tabel 4.18** di atas terlihat bahwa nilai PEI semakin besar untuk persentil yang kecil. Hal ini dikarenakan persentil yang lebih kecil yaitu persentil 5 memiliki tubuh yang lebih kecil dan pendek serta jangkauan yang lebih kecil dibanding persentil 95 sehingga persentil 5 harus menggunakan jangkauan maksimalnya untuk dapat mengecek kode produksi yang ada pada *frame body* yang berada jauh di atas sikunya. Disini terlihat bahwa persentil 95 menunjukkan postur yang lebih nyaman karena ukuran tubuhnya lebih mendekati ketinggian benda kerja. Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan ketinggian tempat kerja untuk memperbaiki postur pekerja pada kondisi aktual sehingga perbaikan itu dapat dirasakan cukup adil bagi seluruh persentil pekerja. Nilai PEI ini juga

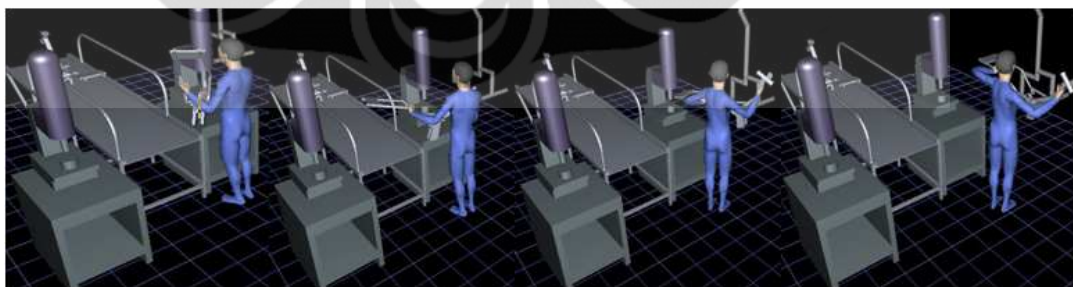
merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan tempat kerja, dimana tempat kerja perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari nilai pada **Tabel 4.18** di atas agar dapat dihasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

#### 4.1.4 Analisis Kondisi Aktual Pemindahan *Frame body* Ke *Jig*

Seperti tahap sebelumnya pada *station press*, titik kritis dicari dengan cara menjalankan animasi. Setelah simulasi dijalankan, didapatkan salah satu titik tertinggi lainnya yaitu saat operator memindahkan *frame body* ke *jig* berjalan.

Pada kegiatan ini untuk kondisi aktual, yang dianalisis adalah konfigurasi dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat. Kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* dilakukan dengan posisi berdiri dan kondisi yang dianalisis adalah posisi pada saat hasil analisis memberikan nilai yang tertinggi saat simulasi dijalankan. Setelah selesai melakukan kegiatan *press*, kemudian *frame body* diambil dan dipindahkan ke *jig*. Hal tersebut dilakukan dengan cara mengangkat *frame body* dari mesin *press* untuk dipindahkan ke *jig*.

Dengan melakukan kegiatan tersebut, operator harus bekerja dengan posisi lengan yang berada di atas siku serta punggung yang sedikit memutar. Kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* ditunjukkan oleh rangkaian gerakan yang terlihat pada **Gambar 4.13** berikut.



**Gambar 4.13** Rangkaian Gerakan untuk Dianalisis pada *Station press* Saat Memindahkan *Frame body* Ke *Jig*

Hasil SSP pada kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* menunjukkan bahwa mayoritas populasi operator baik dari persentil 5, 50, maupun 95 pada *station press* memiliki *muscle strength* yang cukup untuk melakukan kegiatan tersebut dengan postur seperti pada **Gambar 4.13** di atas. Hal ini ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh yang menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA. **Tabel 4.19**, **4.20**, dan **4.21** berikut merupakan output nilai SSP kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* oleh persentil 5, 50, dan 95 secara berturut-turut.

**Tabel 4.19** *Capability Summary Chart* Model Persentil 5

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-12	FLEXN	67	16	100	-9	FLEXN	73	18	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-8	ABDUCT	71	17	100	-23	ABDUCT	69	17	100
	Rotation Bk/Fd	-10	FORWARD	84	23	100	-11	FORWARD	98	27	100
	Humeral Rot	-12	LATERAL	37	8	100	-7	LATERAL	38	9	100
Trunk	Flex/Ext	-25	EXTEN	226	71	100					
	Lateral Bending	8	LEFT	180	41	100					
	Rotation	-0	--	105	28	100					
	Hip	-5	EXTEN	196	79	99	-5	EXTEN	196	79	99
	Knee	-5	FLEXN	141	41	100	-6	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-20	EXTEN	151	50	100	-21	EXTEN	151	50	100

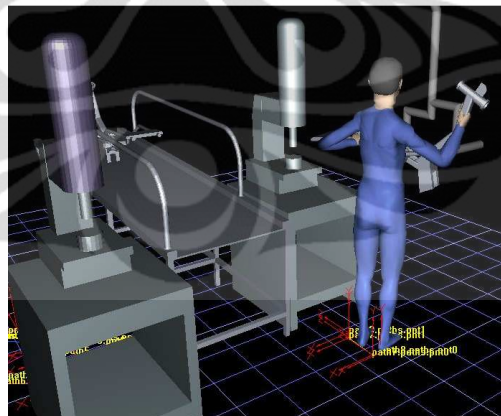
**Tabel 4.20** *Capability Summary Chart* Model Persentil 50

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	64	16	100	-5	FLEXN	71	17	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-18	ABDUCT	71	18	100	-17	ABDUCT	79	19	100
	Rotation Bk/Fd	-4	FORWARD	79	22	100	-8	FORWARD	89	24	100
	Humeral Rot	-16	LATERAL	47	11	100	-15	LATERAL	51	12	100
Trunk	Flex/Ext	-20	EXTEN	226	71	100					
	Lateral Bending	-5	RIGHT	153	33	100					
	Rotation	0	--	95	25	100					
	Hip	-4	EXTEN	196	79	99	-3	EXTEN	196	79	99
	Knee	-5	FLEXN	141	41	100	-4	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-21	EXTEN	151	50	100	-20	EXTEN	151	50	100

**Tabel 4.21** *Capability Summary Chart Model Persentil 95*

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-8	FLEXN	67	16	100	-5	FLEXN	71	17	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-20	ABDUCT	60	15	100	-21	ABDUCT	67	16	100
	Rotation Bk/Fd	-12	FORWARD	89	24	100	-11	FORWARD	102	28	100
	Humeral Rot	-11	LATERAL	27	6	100	-9	LATERAL	20	5	99
Trunk	Flex/Ext	-38	EXTEN	222	70	100					
	Lateral Bending	-20	RIGHT	167	36	100					
	Rotation	-0	--	67	18	100					
	Hip	-8	EXTEN	196	79	99	-7	EXTEN	196	79	99
	Knee	-9	FLEXN	141	41	100	-8	FLEXN	141	41	100
	Ankle	-30	EXTEN	151	50	99	-30	EXTEN	151	50	99

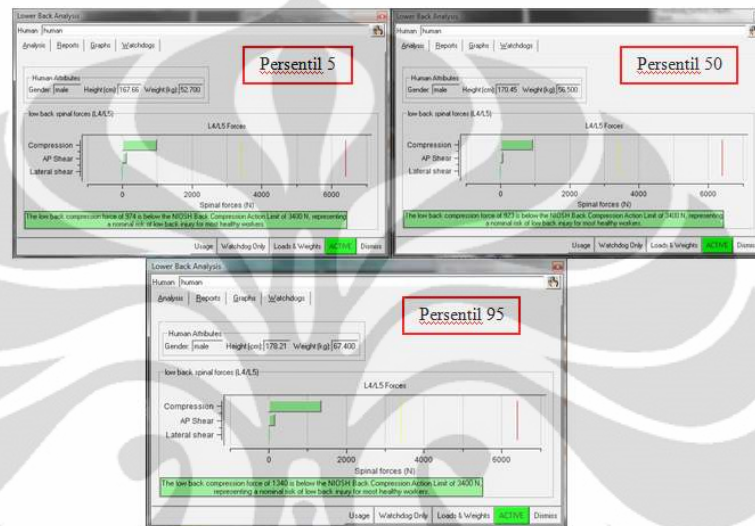
Setelah melakukan analisis SSP dan diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi dengan cara menjalankan simulasi proses pemindahan *frame body* ke *jig*. Nilai ekstrim tersebut menunjukkan bahwa kegiatan tersebut memberikan postur yang paling tidak ergonomis diantara postur lainnya. Nilai yang paling besar yang ditunjukkan oleh ketiga nilai di atas adalah saat operator memindahkan *frame body* ke *jig* dengan posisi lengan yang berada di atas siku serta memutar punggung seperti yang terlihat pada **Gambar 4.14** berikut.

**Gambar 4.14** Postur Paling Ekstrim Proses Pemindahan *Frame body* ke *Jig*

Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 adalah 974 N, pada persentil 50 adalah 923 N, dan pada persentil 95 adalah 1340 N seperti yang terlihat pada **Gambar 4.15** di bawah. Besar nilai LBA ini berbeda untuk setiap persentil. Hal ini terjadi karena usaha



yang dikeluarkan setiap persentil juga berbeda tergantung dari ukuran tubuh masing-masing persentil serta tergantung pada postur yang berbeda. Nilai LBA kecil untuk persentil 5 dan besar untuk persentil 95, sedangkan nilai LBA terkecil didapatkan dari persentil 50 sehingga dapat disimpulkan bahwa *station press* optimal bagi persentil 50 untuk kondisi aktual. **Gambar 4.15** adalah nilai LBA untuk ketiga persentil.



**Gambar 4.15** Perbandingan Nilai LBA Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Nilai OWAS menunjukkan tingkat kenyamanan postur kerja yang dirasakan oleh operator selama mereka bekerja. Analisis OWAS menghasilkan nilai yang sama antara ketiga persentil yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 dengan nilai total sebesar 1 seperti yang terlihat pada **Tabel 4.22** dibawah.

**Tabel 4.22** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	3	2	2	2	1
Persentil 50%	3	1	2	2	1
Persentil 95%	3	1	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk persentil 5 pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 3 yang berarti bahwa postur punggung operator memutar dan cenderung ke samping.



2. Postur lengan operator dalam kategori 2 yang berarti bahwa satu lengan operator berada di atas bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Tiga elemen nilai sama untuk ketiga persentil yaitu elemen postur, kaki, dan beban dimana semua persentil operator bekerja dengan punggung memutar dalam posisi berdiri dengan kaki lurus dengan beban yang ditanggung operator sebesar 11 kg. Namun untuk posisi tangan, persentil 50 dan 95 bernilai 1 yang berarti posisi kedua tangan operator berada dibawah siku. Untuk posisi tangan, persentil 5 sama dengan 2 yang berarti satu tangan berada di atas siku.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian atas adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja masih normal dan natural untuk ketiga persentil tersebut.

Setelah mendapatkan nilai LBA dan OWAS, maka selanjutnya adalah mencari nilai RULA. Analisis RULA ini terbagi menjadi dua kelompok tubuh yaitu kelompok tubuh bagian A yang terdiri dari lengan atas, lengan bawah, dan pergelangan tangan dan tubuh bagian B yang terdiri dari leher dan batang tubuh. **Tabel 4.23** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig*.

**Tabel 4.23** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	3	3	3	2	2	2	<b>5</b>
Group Score	8				2		
<b>Persentil 50</b>	2	3	1	2	1	2	<b>5</b>
Group Score	7				2		
<b>Persentil 95</b>	3	3	3	2	1	2	<b>5</b>
Group Score	7				2		

Penjelasan mengenai detail nilai masing-masing elemen RULA untuk persentil 5 dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Postur lengan atas

Nilai analisis untuk lengan atas operator *station press* saat memindahkan *frame body* ke *jig* mempunyai nilai 3 yang berarti bahwa lengan atas menyimpang membentuk sudut yang mencapai lebih dari 45-90°.

2. Postur lengan bawah

Nilai analisis untuk lengan bawah operator bernilai 3 yang berarti bahwa posisi lengan bawah operator bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan kearah kiri melewati diameter tubuh.

3. Postur pergelangan tangan

Nilai analisis untuk pergelangan tangan operator adalah 3 yang berarti bahwa pergelangan tangan operator melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih dari 15 °.

4. Postur perputaran pergelangan tangan

Nilai analisis untuk perputaran pergelangan tangan operator adalah 2 yang berarti bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan *packer*.

5. Postur leher

Nilai analisis untuk leher adalah 2 yang berarti bahwa leher operator memutar dan menekuk dengan sudut antara 10-20°.

6. Postur batang tubuh

Nilai analisis untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh operator berada pada posisi tidak tegak karena punggung membungkuk dengan kemiringan antara 0-20°.

Penambahan nilai RULA dipengaruhi oleh faktor penggunaan otot dan beban yang diangkat. Dengan penjabaran nilai RULA seperti yang terlihat pada **Tabel 4.23** di atas, didapatkan nilai akhir gabungan dari dua grup sebesar 5 persentil 5 dan 50 sedangkan persentil 95 sebesar 6. Secara keseluruhan, *station press* kondisi aktual dapat dikatakan belum ergonomis bagi persentil 5, 50, maupun 95 karena operator harus bekerja dengan dengan posisi lengan di atas siku, penggunaan otot yang berlebihan untuk mengangkat beban secara manual,

serta memutar punggung. Nilai RULA yang besar ini menandakan bahwa tempat kerja harus segera diinvestigasi dan membutuhkan perubahan sesegera mungkin

Untuk memberikan gambaran menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dan resiko cedera yang mungkin ditimbulkan pada *station numbering* kondisi aktual, maka nilai LBA, OWAS, dan RULA diintegrasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk pemindahan *frame body* ke *jig* pada *station press* untuk ketiga persentil dapat dilihat pada **Tabel 4.24** berikut.

**Tabel 4.24** Rekapitulasi Nilai PEI Aktual Proses Pemindahan *Frame body*

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 8	5	974	1	5	1,55
Konfigurasi 10	50	923	1	5	1,54
Konfigurasi 12	95	1340	1	5	1,66

Dari **Tabel 4.24** di atas terlihat bahwa nilai PEI semakin besar untuk persentil yang besar. Hal ini dikarenakan persentil yang lebih kecil yaitu persentil 5 memiliki tubuh yang lebih kecil dan pendek serta jangkauan yang lebih kecil dibanding persentil 95 sehingga persentil 5 harus bekerja dengan lengan di atas siku. Disini terlihat bahwa persentil 95 menunjukkan postur yang lebih nyaman karena ukuran tubuhnya lebih mendekati ketinggian benda kerja. Oleh karena itu, perlu dilakukan perubahan ketinggian tempat kerja untuk memperbaiki postur pekerja pada kondisi aktual sehingga perbaikan itu dapat dirasakan cukup adil bagi seluruh persentil pekerja. Nilai PEI ini juga merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan tempat kerja, dimana tempat kerja perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari nilai pada **Tabel 4.24** agar dapat dihasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

#### 4.2 Analisis Kondisi Usulan

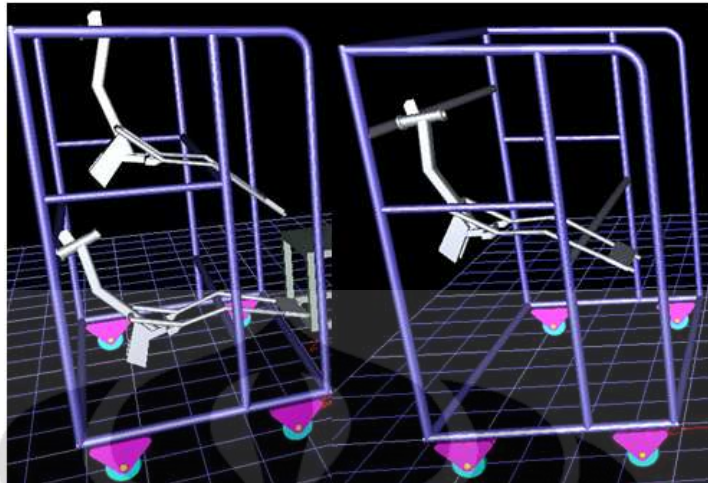
Konfigurasi usulan dirancang sebagai kondisi perbaikan dari kondisi aktual. Analisis pada kondisi ini ditujukan untuk melihat kondisi hasil perubahan variabel perbaikan yang diusulkan dalam mengurangi risiko kelukan fisik. Dalam analisis konfigurasi ini, akan dibandingkan hasil PEI antar konfigurasi sehingga

dapat ditentukan konfigurasi paling optimal dan ergonomis untuk kedua jenis kerja.

#### 4.2.1 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan *Frame body* dari Rancangan Kereta *Part* Baru dengan Tinggi Tiang 10 cm di Bawah Siku

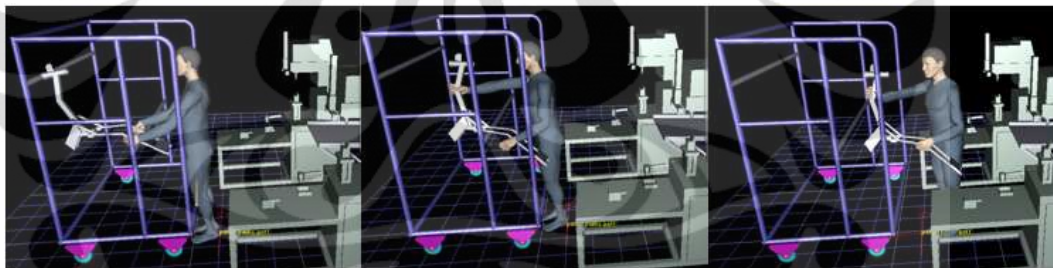
Dari kondisi aktual yang telah dianalisis, dapat terlihat bahwa masalah kurang ergonomisnya postur kerja yang dilakukan oleh operator disebabkan oleh faktor ketinggian tiang kereta *part* yang kurang optimal yaitu terlalu tinggi dan terlalu rendah. Berdasarkan literatur, ketinggian angkat yang ideal untuk kegiatan pengangkatan manual dengan beban di atas 10 kg adalah setinggi 10 cm dibawah siku. Untuk itu, dilakukan perubahan rancangan desain kereta *part* yang baru dengan tinggi tiang kereta *part* yang baru yaitu 10 cm dibawah siku antropometri orang Indonesia persentil 50 dan desain kereta *part* yang baru pun hanya terdiri dari satu baris yang dapat menampung 5 *frame body*. Untuk menganalisis kondisi usulan ini, simulasi dilakukan dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat sehingga dapat ditentukan konfigurasi dan persentil mana yang paling tepat untuk dipilih. Yang akan dianalisis pun sama yaitu postur yang memberikan nilai tertinggi sehingga dapat dibandingkan nilai ekstrim kondisi awal dan nilai ekstrim kondisi usulan.

Dengan menggunakan kereta *part* yang baru ini, operator hanya perlu mengangkat *frame body* dari ketinggian 10 cm dibawah siku tanpa harus membungkuk. Kereta *part* yang baru ini juga diharapkan dapat mengurangi resiko kecelakaan kerja berupa terbenturnya kepala dengan *frame body* karena tiang kereta *part* ini ketinggiannya tidak akan berada di atas kepala operator. **Gambar 4.16** berikut adalah perbandingan desain kondisi aktual dengan kondisi usulan dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku.



**Gambar 4.16** Perbandingan Desain Kondisi Awal dan Usulan

Kegiatan pengangkatan *frame body* pun masih sama seperti kondisi aktual. Kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* yang baru dengan ketinggian tiang kereta *part* 10 cm dibawah siku, ditunjukkan oleh rangkaian gerakan yang terlihat pada **Gambar 4.17** berikut.



**Gambar 4.17** Rangkaian Gerakan pada *Station Numbering* Saat Mengangkat *Frame body* Baru dengan Tinggi Tiang 10 cm di Bawah Siku

Jika dilihat dari **Gambar 4.17** di atas, postur kerja operator mengalami perbaikan karena operator tidak perlu membungkuk atau bekerja dengan lengan di atas siku. Tahap untuk menganalisis kondisi usulan, sama dengan tahap untuk menganalisis kondisi aktual. Analisis untuk model usulan dimulai dengan melihat nilai *Static Strength Prediction* (SSP). Hasil SSP pada kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* yang baru ini menunjukkan bahwa mayoritas populasi operator baik dari pesentil 5, 50, maupun 95 pada *station numbering* memiliki *muscle strength* yang cukup yang ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas

yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh yang menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Setelah diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi dengan cara menjalankan simulasi proses kerja pengangkatan *frame body* dari kereta *part* baru. Nilai tertinggi tersebut akan dibandingkan dengan nilai tertinggi yang dihasilkan pada kondisi aktual agar dapat diketahui berapa besar penurunan nilai ergonomisnya.

Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* dengan tiang 10 cm dibawah siku adalah 1213 N, pada persentil 50 adalah 1420 N, dan pada persentil 95 adalah 2097 N. Nilai LBA yang dihasilkan menurun namun tidak terlalu jauh karena beban angkat yang dilakukan operator beratnya tetap. Namun, pada kondisi usulan ini, terjadi penurunan *flexion* pada bagian punggung dan resiko kecelakaan diharapkan dapat berkurang.

Analisis nilai OWAS untuk ketiga persentil yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 memiliki nilai total sebesar 1 dengan rincian pada **Tabel 4.25** dibawah.

**Tabel 4.25** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	2	2	2	1
Persentil 50%	1	2	2	2	1
Persentil 95%	1	1	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk setiap persentil pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa postur punggung operator tidak membungkuk dan netral.
2. Postur lengan operator dalam kategori 2 untuk persentil 5 dan 50 yang berarti satu lengan operator berada di atas bahu dan memiliki nilai 1 untuk persentil 95 yang berarti kedua lengan berada di bawah bahu.



3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian atas adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja masih normal dan natural untuk ketiga persentil.

Nilai RULA pada kondisi usulan adalah 5 untuk semua persentil. Walaupun telah mengalami penurunan dari kondisi aktual yang sebesar 7, namun nilai ini masih tergolong tinggi. Hal ini disebabkan oleh faktor beban yang diangkat cukup berat serta kegiatan yang dilakukan merupakan kegiatan *repetitive* tinggi. **Tabel 4.26** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pengangkatan *frame body* dengan tinggi tiang kereta *part* 10 cm dibawah siku.

**Tabel 4.26** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	5	3	3	1	1	1	<b>5</b>
Group Score	10				1		
<b>Persentil 50</b>	4	3	1	1	1	1	<b>5</b>
Group Score	7				1		
<b>Persentil 95</b>	5	3	3	1	1	1	<b>5</b>
Group Score	10				1		

Jika dilihat detail dari nilai RULA pada **Tabel 4.26**, dapat dilihat bahwa sebagian besar nilai pada setiap bagian tubuh memiliki nilai yang sama. Perbedaan hanya terletak pada bagian lengan bagian atas dan pergelangan tangan dimana persentil 5 dan 95 memiliki nilai 5 untuk lengan bagian atasnya, sedangkan persentil 50 memiliki nilai 4 serta persentil 5 dan 95 memiliki nilai 3, sedangkan persentil 50 memiliki nilai 1. Nilai 5 pada persentil 5 dan 95 untuk lengan bagian atas berarti lengan atas manusia *virtual* menyimpang dengan sudut yang melebihi  $90^0$  sedangkan nilai 3 untuk persentil 50 berarti posisi lengan atas

menyimpang membentuk sudut yang mencapai lebih dari 45-90°. Nilai 3 pada pergelangan tangan persentil 5 dan 95 berarti bahwa pergelangan tangan operator melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih dari 15 ° dan nilai 1 untuk persentil 50 berarti bahwa pergelangan tangan operator melakukan gerakan lurus dengan sudut 0°.

**Tabel 4.27** berikut merupakan rekapitulasi nilai PEI pada kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* baru dengan tinggi tiang 10 cm dibawah siku untuk ketiga persentil.

**Tabel 4.27** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* tanpa Alat Bantu Saat 10 cm di Bawah Siku

<b>Nama Konfigurasi</b>	<b>Persentil</b>	<b>LBA</b>	<b>OWAS</b>	<b>RULA</b>	<b>PEI</b>
Konfigurasi 13	5	1213	1	5	1,62
Konfigurasi 17	50	1420	1	5	1,68
Konfigurasi 21	95	2097	1	5	1,88

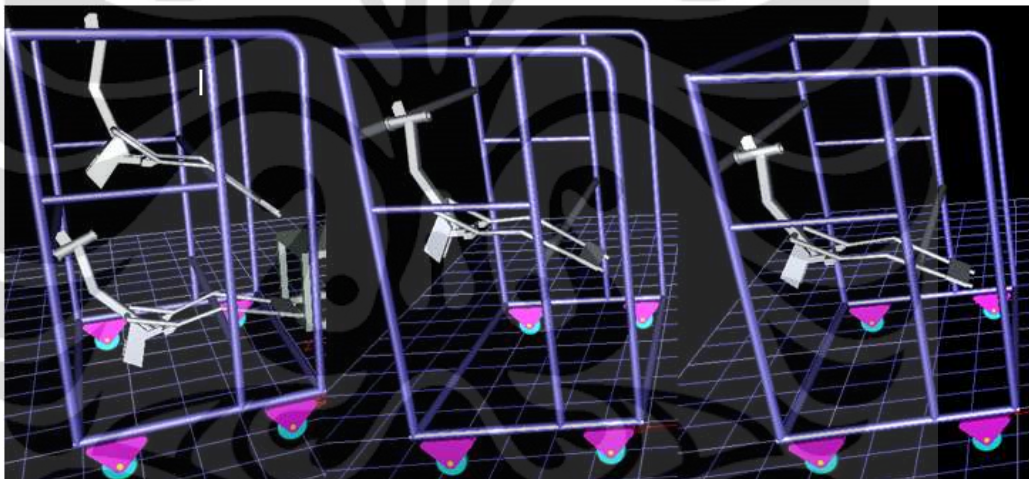
Dari **Tabel 4.27** di atas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah PEI dari persentil 5 yang berarti bahwa persentil 5 yang paling baik untuk dipilih pada kegiatan pengangkatan *frame body* manual kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku.

#### 4.2.2 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan *Frame body* dari Rancangan Kereta *Part* Baru dengan Tinggi Tiang 15 cm di Bawah Siku

Selain menganalisis kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku, analisis juga dilakukan untuk kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 15 cm di bawah siku karena ketinggian ini juga termasuk ketinggian yang direkomendasikan untuk kegiatan *manual handling*. Hal ini dilakukan untuk membandingkan nilai ergonomis yang dihasilkan oleh kereta *part* dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku dan kereta *part* dengan ketinggian tiang 15 cm dibawah siku agar dapat ditentukan, ketinggian mana yang paling optimal untuk kegiatan pengangkatan *frame body* ini. Analisis ini juga dilakukan untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 agar dapat diketahui semua nilai

postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat sehingga dapat ditentukan konfigurasi dan persentil mana yang paling tepat untuk dipilih.

Desain kereta *part* yang ini pun hanya terdiri dari satu baris yang dapat menampung 5 buah *frame body*. Analisis juga akan dilakukan bagi postur yang memberikan nilai tertinggi sehingga dapat dibandingkan nilai ekstrim kondisi awal dan nilai ekstrim kondisi usulan. **Gambar 4.18** berikut adalah perbandingan desain kondisi aktual dengan kondisi usulan dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku dan 15 cm dibawah siku secara berturut-turut. Kegiatan pengangkatan *frame body* pun sama persis dengan kondisi usulan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku, perbedaannya hanya terletak pada ketinggian tiangnya.



**Gambar 4.18** Perbandingan Desain Kondisi Awal dan Usulan dengan Ketinggian Tiang 10 cm dan 15 cm di Bawah Siku

Hasil SSP pada kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 15 cm dibawah siku ini juga menunjukkan bahwa mayoritas populasi operator baik dari persentil 5, 50, maupun 95 pada *station numbering* memiliki *muscle strength* yang cukup yang ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh yang menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Setelah diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi pada kondisi

ini. Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* dengan tiang 15 cm dibawah siku adalah 1575 N, pada persentil 50 adalah 1633 N, dan pada persentil 95 adalah 2105 N. Nilai LBA yang dihasilkan menurun jika dibandingkan dengan kondisi aktual saat operator membungkuk tetapi meningkat jika dibandingkan dengan kondisi aktual saat mengambil *frame body* dari bagian atas kereta *part*. Nilai ini pun lebih tinggi jika dibandingkan dengan nilai kondisi usulan tiang kereta *part* 10 cm dibawah siku. Hal ini dikarenakan operator pun perlu sedikit membungkuk untuk meraih *frame body* pada kondisi ini sehingga menyebabkan nilai LBA menjadi cukup tinggi.

Analisis nilai OWAS untuk ketiga persentil yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 memiliki nilai total sebesar 1 dengan rincian seperti yang terlihat pada Tabel 4.28 dibawah.

**Tabel 4.28** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	2	2	2	1
Persentil 50%	1	1	2	2	1
Persentil 95%	1	1	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk setiap persentil pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa postur punggung operator tidak membungkuk dan netral.
2. Postur lengan operator dalam kategori 2 untuk persentil 5 yang berarti bahwa satu lengan operator berada di atas bahu dan memiliki nilai 1 untuk persentil 50 dan 95 yang berarti kedua lengan berada di bawah bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian atas adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja masih normal dan natural untuk ketiga persentil.

Nilai RULA pada kondisi usulan ini adalah 5 untuk semua persentil. Walaupun telah mengalami penurunan dari kondisi aktual yang sebesar 7, namun nilai ini masih tergolong tinggi dan nilai ini sama untuk konfigurasi ketinggian tiang kereta *part* 10 cm dibawah siku. Hal ini disebabkan oleh faktor beban yang diangkat cukup berat serta kegiatan yang dilakukan merupakan kegiatan *repetitive* tinggi. **Tabel 4.29** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pengangkatan *frame body* dengan tinggi tiang kereta *part* 15 cm dibawah siku.

**Tabel 4.29** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	5	3	2	1	1	1	<b>5</b>
Group Score	9				1		
<b>Persentil 50</b>	4	3	2	1	1	1	<b>5</b>
Group Score	7				1		
<b>Persentil 95</b>	3	3	2	1	1	1	<b>5</b>
Group Score	7				1		

**Tabel 4.30** berikut merupakan rekapitulasi nilai PEI pada kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* baru dengan tinggi tiang 15 cm dibawah siku untuk ketiga persentil.

**Tabel 4.30** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* tanpa Alat Bantu Saat 15 cm di Bawah Siku

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 14	5	1575	1	5	1,73
Konfigurasi 18	50	1633	1	5	1,74
Konfigurasi 22	95	2105	1	5	1,88

Dari **Tabel 4.30** di atas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah PEI dari persentil 5 yang berarti bahwa persentil 5 yang paling baik untuk dipilih

pada kegiatan pengangkatan *frame body* manual kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 15 cm dibawah siku.

#### 4.2.3 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan *Frame body* dengan Alat Bantu dari Rancangan Kereta *Part* Baru pada Ketinggian Tiang 10 cm di Bawah Siku

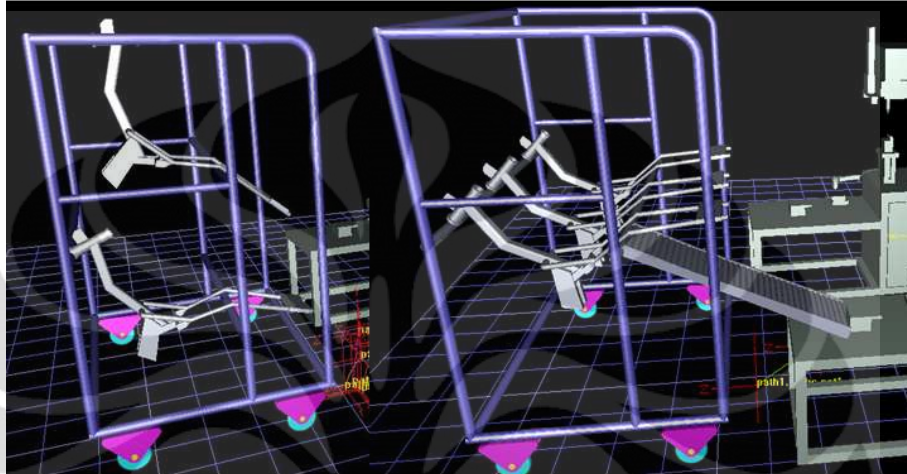
Dari kondisi usulan kereta *part* dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku, diketahui bahwa terjadi penurunan nilai PEI yang berarti terjadi perubahan postur yang lebih baik. Namun, peningkatan tersebut belum terlalu optimal karena operator tetap harus mengangkat *frame body* seberat 11 kg secara manual. Oleh karena itu, diputuskan untuk menganalisis kondisi usulan dengan memberikan alat bantu pada ketinggian tiang kereta *part* yang sama. Hal ini dilakukan untuk membandingkan nilai ergonomis yang dihasilkan oleh kereta *part* dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku tanpa alat bantu dengan kereta *part* yang diberikan alat bantu.

Desain kereta *part* dengan tambahan alat bantu, perlu sedikit dimodifikasi lebarnya dengan menambahnya sebesar 50 cm menjadi 2050 cm. Hal ini dilakukan agar kereta *part* dapat mencapai sisi kedua mesin sehingga dapat diberikan alat bantu pada kedua mesin. Penambahan ini juga berfungsi agar *frame body* mempunyai jarak ke *frame body* yang lain sehingga operator dapat berdiri di antara *frame body* tersebut. Selain itu, desain roda kereta ini juga diganti dengan yang mempunyai *lock* dan ditambahkan pengait antara kereta *part* dengan alat bantu. Tujuannya diberikan pengunci pada roda dan pengait pada alat bantu dan kereta *part* adalah agar alat bantu tersebut dapat dikaitkan sehingga posisinya tidak berubah dan operator dapat dengan aman memindahkan *frame body* ke mesin tanpa perlu merasa takut *roller* atau *frame body* akan tergelincir. Daya tampung kereta ini tetap 5 *frame body* dalam 1 kereta.

Untuk menganalisis kondisi usulan ini, simulasi dilakukan dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat sehingga dapat ditentukan konfigurasi dan persentil mana yang paling tepat untuk



dipilih. Yang akan dianalisis pun sama yaitu postur yang memberikan nilai tertinggi untuk dibandingkan nilai ekstrim kondisi awal dan nilai ekstrim kondisi usulan. **Gambar 4.19** berikut adalah perbandingan desain kondisi aktual dengan kondisi usulan kereta *part* dengan alat bantu untuk ketinggian tiang 10 cm dibawah siku.



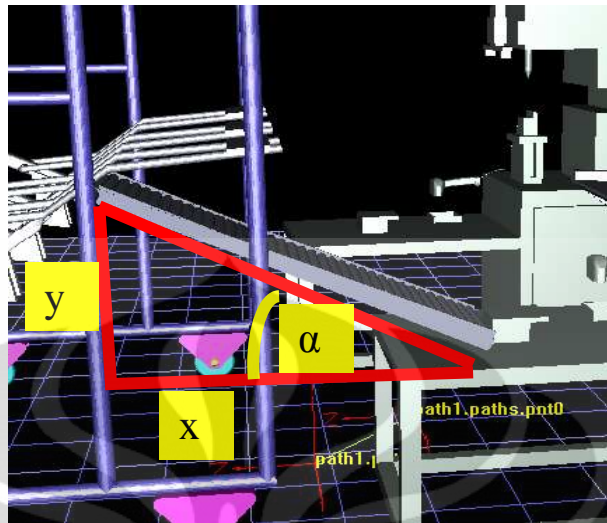
**Gambar 4.19** Perbandingan Desain Kondisi Awal dan Usulan dengan Alat Bantu pada Ketinggian Tiang 10 cm di Bawah Siku

Hasil SSP pada kegiatan pengangkatan *frame body* dengan alat bantu dari kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku ini juga menunjukkan bahwa mayoritas populasi operator baik dari pesentil 5, 50, maupun 95 pada *station numbering* memiliki *muscle strength* yang cukup yang ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh yang menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Setelah itu, dicari terlebih dahulu beban yang dirasakan oleh operator dengan alat bantu, sebagai *input load and weight* yang dirasakan operator. Hal ini dapat dilakukan dengan perhitungan fisika sederhana. Alat bantu berupa *roller* ini berbentuk meluncur turun, oleh karena itu, perlu dicari dahulu sudut kemiringan dari *roller* ini. Caranya adalah dengan menggunakan rumus tangen sebagai berikut:

$$\text{Tangen } \alpha = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi samping}} \dots\dots\dots (4.1)$$

Penjelasan rumus di atas secara jelas, dapat dilihat pada **Gambar 4.20**.



**Gambar 4.20** Mencari Nilai Sudut  $\alpha$  Melalui Rumus Tangen

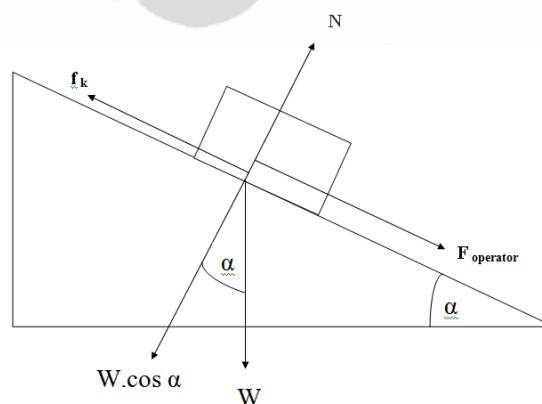
Nilai  $x$  dan  $y$  dapat diketahui melalui pencarian titik pada *software* Jack. Kemudian didapatkan nilai  $x$  sebesar 101 cm dan  $y$  sebesar 47 cm, sehingga untuk menghitung nilai sudut  $\alpha$  didapatkan dengan cara:

$$\text{Tangen } \alpha = \frac{\text{sisi depan}}{\text{sisi samping}}$$

$$\text{Tangen } \alpha = 0,465$$

Didapatkan nilai  $\alpha$  sebesar 24,955 atau sekitar  $25^{\circ}$ .

Lalu dicari berapa beban yang dirasakan oleh operator melalui perhitungan fisika seperti yang terlihat pada **Gambar 4.21**. Diasumsikan  $g = 10 \text{ m/s}^2$  dan koefisien gesek kinetis antara karet dengan logam mulia = 0,3



**Gambar 4.21** Perhitungan Manual Beban yang Dirasakan Operator

dimana  $m'$  adalah beban yang dirasakan oleh tangan operator

$\mu$  adalah koefisien gesek

$f_k$  adalah gaya gesek kinetis

$N$  = gaya normal

$W$  = berat benda

$F_{operator}$  = gaya yang dikeluarkan oleh operator

Nilai  $m$  yang didapatkan dari perhitungan, dijadikan *input* untuk *load and weight* yang dirasakan operator. Setelah dilakukan perhitungan, didapatkan besar sudut sekitar  $25^0$  dan  $F_{operator}$  sebesar 29,29 N, maka didapatkan  $m'$  sebesar 3 kg. Oleh karena itu, beban yang akan dirasakan adalah 1,5 kg masing-masing untuk tangan kanan dan kiri.

Setelah simulasi dijalankan, diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi pada kondisi ini. Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* dengan tiang 10 cm dibawah siku dengan bantuan alat bantu adalah 926 N, pada persentil 50 adalah 1161 N, dan pada persentil 95 adalah 1922 N. Nilai LBA yang dihasilkan menurun jika dibandingkan dengan kondisi aktual saat operator membungkuk dan kondisi usulan tiang kereta *part* 10 cm dibawah siku tanpa alat bantu. Beban yang dirasakan oleh operator pun berkurang menjadi 3 kg dari beban awal yaitu 11 kg.

Analisis nilai OWAS untuk ketiga persentil yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 memiliki nilai total sebesar 2 dengan rincian seperti yang terlihat pada **Tabel 4.31** dibawah.

**Tabel 4.31** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	4	1	2	1	2
Persentil 50%	4	1	2	1	2
Persentil 95%	4	1	2	1	2

Keempat nilai di atas untuk setiap persentil pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 4 yang berarti bahwa postur punggung operator membungkuk dan memutar.
2. Postur lengan operator dalam kategori 1 yang berarti kedua lengan berada di bawah bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 1 yang berarti operator menerima beban yang beratnya kurang dari 10 kg dimana berat *frame body* sendiri telah berkurang menjadi 3 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* bagian atas adalah bernilai 2 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja masih membahayakan dan masih ada celah untuk *improvement*.

Nilai RULA pada kondisi usulan ini adalah 4 untuk persentil 50 dan 95 dan 6 untuk persentil 5. Walaupun telah mengalami penurunan dari kondisi aktual yang sebesar 7, namun nilai ini masih tergolong tinggi. Hal ini disebabkan oleh faktor kegiatan yang dilakukan merupakan kegiatan *repetitive* tinggi dan postur sedikit membungkuk dan memutar untuk meraih *frame body*. **Tabel 4.32** adalah tabel perbandingan nilai RULA persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pengangkatan *frame body* dengan tinggi tiang kereta *part* 10 cm dibawah siku dengan alat bantu.

**Tabel 4.32** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	4	3	1	1	1	4	<b>6</b>
Group Score	5				5		
<b>Persentil 50</b>	4	3	1	1	1	3	<b>4</b>
Group Score	5				3		
<b>Persentil 95</b>	4	3	2	1	1	3	<b>4</b>
Group Score	5				3		

**Tabel 4.33** berikut merupakan rekapitulasi nilai PEI pada kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* baru dengan tinggi tiang 15 cm dibawah siku untuk ketiga persentil.

**Tabel 4.33** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* dengan Alat Bantu Saat 10 cm di Bawah Siku

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 15	5	926	2	6	1,99
Konfigurasi 19	50	1161	2	4	1,65
Konfigurasi 23	95	1922	2	4	1,88

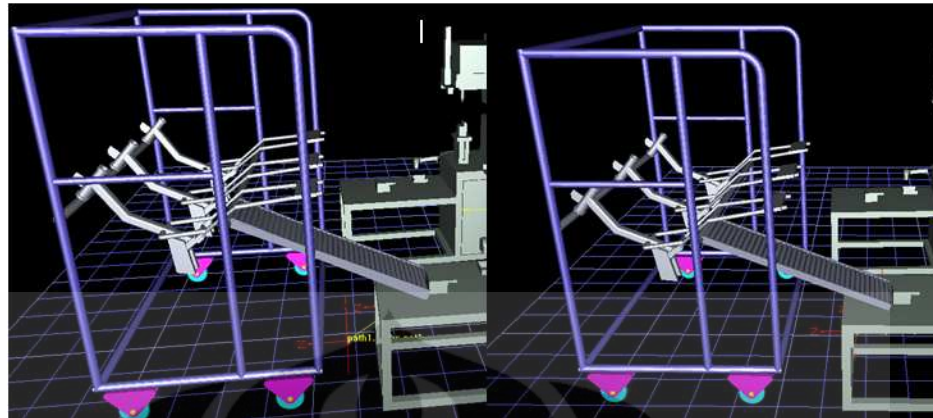
Dari **Tabel 4.33** di atas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah PEI dari persentil 50 yang berarti bahwa persentil 50 yang paling baik untuk dipilih pada kegiatan pengangkatan *frame body* manual kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku dengan bantuan alat bantu.

#### 4.2.4 Analisis Kondisi Usulan Pengangkatan *Frame body* dengan Alat Bantu dari Rancangan Kereta *Part* Baru pada Ketinggian Tiang 15 cm di Bawah Siku

Semua analisis yang dilakukan pada kegiatan pengangkatan *frame body* dengan alat bantu dari kereta *part* baru pada ketinggian tiang 15 cm dibawah siku, sama dengan yang dilakukan sebelumnya yaitu dengan alat bantu pada ketinggian tiang 10 cm dibawah siku. Yang berbeda hanya ketinggian tiangnya saja. Modifikasi yang dilakukan pada kereta *part* ini juga sama seperti kereta *part* dengan alat bantu untuk ketinggian tiang 10 cm dibawah siku.

Dalam menganalisis kondisi usulan, simulasi dilakukan oleh manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95. Hal ini dilakukan agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat sehingga dapat ditentukan konfigurasi dan persentil mana yang paling tepat untuk dipilih. **Gambar 4.22** berikut adalah perbandingan desain kondisi usulan kereta *part* dengan alat bantu untuk ketinggian tiang 10 cm dibawah siku dengan 15 cm dibawah siku.





**Gambar 4.22** Perbandingan Desain Kondisi Usulan dengan Alat Bantu pada Ketinggian Tiang 10 cm dan 15 di Bawah Siku

Hasil SSP pada kegiatan pengangkatan *frame body* dengan alat bantu dari kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 10 cm dibawah siku ini juga menunjukkan bahwa mayoritas populasi operator baik dari pesentil 5, 50, maupun 95 pada *station numbering* memiliki *muscle strength* yang cukup yang ditunjukkan dari hasil persentase kapabilitas yang lebih dari 90% untuk setiap bagian tubuh yang menunjukkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* ini dapat dianalisis lebih lanjut untuk mendapatkan nilai LBA, OWAS, dan RULA.

Dengan menggunakan cara yang sama maka didapatkan besar sudut  $21,04^{\circ}$ . Dengan asumsi percepatan gravitasi yang sama dan koefisien gesek yang sama, maka didapatkan F operator sebesar 30,801 N sehingga didapatkan berat beban yang diterima oleh operator sebesar 3,08 kg.

Nilai m yang didapatkan tersebut, dijadikan *input* untuk *load and weight* yang dirasakan operator, sehingga 3,08 kg akan dirasakan 1,54 kg masing-masing untuk tangan kanan dan kiri. Setelah itu, jalankan simulasi seperti biasa.

Setelah simulasi dijalankan, diketahui bahwa nilai SSP lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi pada kondisi ini. Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* dengan tiang 10 cm dibawah siku dengan bantuan alat bantu adalah 973 N, pada persentil 50 adalah 1392 N, dan pada persentil 95 adalah 1667 N. Nilai LBA yang dihasilkan menurun jika dibandingkan dengan



kondisi aktual saat operator membungkuk dan dibandingkan dengan kondisi usulan tiang kereta *part* 15 cm dibawah siku tanpa alat bantu. Beban yang dirasakan oleh operator pun berkurang menjadi 3,08 kg dari beban awal 11 kg.

Analisis nilai OWAS untuk ketiga persentil yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 memiliki nilai total sebesar 2 dengan rincian seperti yang ada pada **Tabel 4.34** dibawah.

**Tabel 4.34** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	4	2	2	1	2
Persentil 50%	4	1	2	1	2
Persentil 95%	4	1	2	1	2

Keempat nilai di atas untuk setiap persentil pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 4 yang berarti bahwa postur punggung operator membungkuk dan memutar.
2. Postur lengan operator dalam kategori 2 yang berarti satu tangan di atas bahu untuk persentil 5 dan nilai 1 yang berarti kedua lengan berada di bawah bahu untuk persentil 50 dan 95.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 1 yang berarti operator menerima beban yang beratnya kurang dari 10 kg dimana berat *frame body* sendiri telah berkurang menjadi 3,08 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengangkat *frame body* dari kereta *part* dengan alat bantu pada ketinggian 15 cm dibawah siku adalah 2 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja masih cukup membahayakan dan masih ada celah untuk *improvement*.

Nilai RULA pada kondisi ini adalah 6 untuk persentil 5 dan 95 serta 4 untuk persentil 50. Walaupun telah mengalami penurunan dari kondisi actual,

namun nilai ini masih tergolong tinggi. Hal ini disebabkan oleh faktor kegiatan yang dilakukan merupakan kegiatan *repetitive* dan postur yang masih sedikit membungkuk dan memutar untuk meraih *frame body*. **Tabel 4.35** adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 kegiatan pengangkatan *frame body* saat tinggi tiang kereta *part* 15 cm dibawah siku dengan alat bantu.

**Tabel 4.35** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	4	3	2	1	1	4	<b>6</b>
Group Score	5				5		
<b>Persentil 50</b>	4	3	2	1	1	3	<b>4</b>
Group Score	5				3		
<b>Persentil 95</b>	4	3	1	1	1	4	<b>6</b>
Group Score	5				5		

**Tabel 4.36** merupakan rekapitulasi nilai PEI kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* dengan tinggi tiang 15 cm dibawah siku setiap persentil.

**Tabel 4.36** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* dengan Alat Bantu Saat 15 cm di Bawah Siku

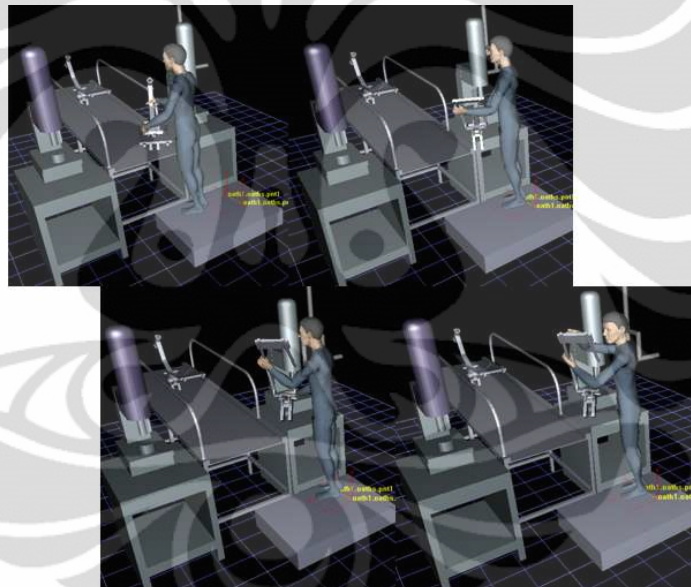
Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 16	5	973	2	6	2,00
Konfigurasi 20	50	1392	2	4	1,72
Konfigurasi 24	95	1667	2	6	2,21

Dari **Tabel 4.36** di atas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah PEI dari persentil 50 yang berarti bahwa persentil 50 yang paling baik untuk dipilih pada kegiatan pengangkatan *frame body* manual kereta *part* baru dengan ketinggian tiang 15 cm dibawah siku dengan alat bantu.

4.2.5 Analisis Kondisi Usulan Pengecekan Kode Produksi pada *Frame body* dengan Tambahan Ketinggian 16 cm dan 21 cm.

Setelah dianalisis kondisi aktual, maka dapat diketahui bagian mana yang harus diperbaiki. Pada kegiatan pengecekan kode produksi untuk kondisi usulan,

dilakukan dengan perubahan ketinggian baik ketinggian 16 cm dan ketinggian 21 cm dengan cara memberikan papan tambahan dibagian kaki. Dengan menambah ketinggian, diharapkan dapat dikurangi resiko bekerja dengan posisi lengan di atas bahu. Pada penelitian ini pun, yang dianalisis adalah konfigurasi dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat. Kegiatan pengecekan kode produksi dilakukan dengan posisi berdiri dan kondisi yang dianalisis adalah posisi pada saat hasil analisis memberikan nilai yang tertinggi saat simulasi dijalankan. Kegiatan pengecekan kode produksi yang terdapat pada *frame body* yang telah diberikan tambahan pijakan kaki sebesar 16 cm dan 21 cm ditunjukkan oleh rangkaian gerakan yang terlihat pada **Gambar 4.23** berikut.



**Gambar 4.23** Rangkaian Gerakan pada *Station press* Saat Mengecek Kode Produksi pada *Frame body* Setelah Diberikan Tambahan Pijakan Kaki

#### 4.2.5.1 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 16 cm

Setelah simulasi dijalankan, diketahui bahwa nilai SSP untuk kegiatan pengecekan kode produksi dengan penambahan papan setinggi 16 cm lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi pada kondisi ini. Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan

pengecekan kode produksi setelah ditambah papan setinggi 16 cm adalah 1456 N, pada persentil 50 adalah 1649 N, dan pada persentil 95 adalah 2085 N. Nilai LBA yang dihasilkan ternyata meningkat karena penambahan papan membuat operator justru menjadi menunduk untuk persentil 50 dan 95. Namun, pada persentil 5 terjadi penurunan karena persentil 5 ini, ketinggian tempat kerja telah sesuai dengan tinggi badan persentil 5 sehingga persentil 5 tidak melakukan postur yang tidak ideal.

Analisis nilai OWAS untuk kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah tinggi pijakan kaki setinggi 16 cm pada ketiga persentil yaitu persentil 5, persentil 50, dan persentil 95 memiliki nilai total sebesar 1 dengan rincian seperti yang terlihat pada **Tabel 4.37** dibawah.

**Tabel 4.37** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 9

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	2	2	2	1
Persentil 50%	1	2	2	2	1
Persentil 95%	1	2	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk persentil 5 pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa postur punggung operator lurus netral.
2. Postur lengan operator dalam kategori 2 yang berarti satu lengan operator berada di atas bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengecek kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja normal dan natural.

Nilai RULA pada kondisi usulan ini adalah 5 untuk semua persentil. Walaupun telah mengalami penurunan dari kondisi aktual yang sebesar 7, namun nilai ini masih tergolong tinggi. Hal ini disebabkan oleh faktor kegiatan yang dilakukan merupakan kegiatan *repetitive* tinggi dan beban yang ditangani masih cukup berat. **Tabel 4.38** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan setinggi 16 cm.

**Tabel 4.38** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
<b>Persentil 5</b>	5	2	3	2	2	1	<b>5</b>
Group Score	10				2		
<b>Persentil 50</b>	5	3	2	2	2	1	<b>5</b>
Group Score	10				2		
<b>Persentil 95</b>	3	2	3	1	2	1	<b>5</b>
Group Score	7				2		

**Tabel 4.39** merupakan rekapitulasi nilai PEI kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm untuk ketiga persentil.

**Tabel 4.39** Rekapitulasi Nilai Kondisi Usulan Proses Pengecekan Kode Produksi pada *Frame body*

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 25	5	1456	1	5	1,69
Konfigurasi 29	50	1649	1	5	1,75
Konfigurasi 33	95	2085	1	5	1,88

Dari **Tabel 4.39** di atas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah PEI dari persentil 5 yang berarti bahwa persentil 5 yang paling baik dipilih pada kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm.

#### 4.2.5.2 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 21 cm

Setelah simulasi dijalankan, diketahui bahwa nilai SSP untuk kegiatan pengecekan kode produksi dengan penambahan papan setinggi 21 cm lebih dari

90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi pada kondisi ini. Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah papan setinggi 21 cm adalah 1498 N, pada persentil 50 adalah 1672 N, dan pada persentil 95 adalah 1854 N. Nilai LBA yang dihasilkan ternyata meningkat pada persentil 50 dan 95 jika dibandingkan dengan kondisi aktual karena penambahan papan membuat operator justru menjadi menunduk untuk persentil 50 dan 95. Namun, pada persentil 5 terjadi penurunan karena ketinggian tempat kerja telah sesuai dengan tinggi badan persentil 5 sehingga persentil 5 tidak melakukan postur membungkuk. Hasil analisis ini ternyata tidak jauh berbeda dengan penambahan papan setinggi 16 cm namun hasil analisis LBA untuk pijakan kaki setinggi 21 cm lebih tinggi sedikit untuk persentil 5 dan 50 tetapi lebih rendah untuk persentil 95.

Analisis nilai OWAS untuk kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah tinggi pijakan kaki setinggi 21 cm pada ketiga persentil, memiliki nilai total sebesar 1 dengan rincian seperti yang terlihat pada **Tabel 4.40** dibawah.

**Tabel 4.40** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 9

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	3	2	2	1
Persentil 50%	1	2	2	2	1
Persentil 95%	1	2	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk semua persentil pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa postur punggung operator lurus netral.
2. Postur lengan operator dalam kategori 3 pada persentil 5 yang berarti kedua lengan operator berada di atas bahu, serta bernilai 2 untuk persentil 50 dan 95 yang berarti bahwa satu lengan operator berada di atas bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.



4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan mengecek kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja normal dan natural.

Nilai RULA pada kondisi usulan ini adalah 5 untuk persentil 5 dan 50 namun bernilai 6 untuk persentil 95. Walaupun telah mengalami penurunan dari kondisi aktual yang sebesar 7, namun nilai ini masih tergolong tinggi. Hal ini disebabkan oleh kegiatan *repetitive* tinggi yang dilakukan operator dan beban yang ditangani masih cukup berat. **Tabel 4.41** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi 21 cm.

**Tabel 4.41** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
Persentil 5	5	2	2	2	2	1	5
Group Score	9				2		
Persentil 50	5	2	2	2	2	1	5
Group Score	9				2		
Persentil 95	4	2	3	1	3	1	6
Group Score	7				3		

**Tabel 4.42** merupakan rekapitulasi nilai PEI pada kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan setinggi 21 cm untuk ketiga persentil.

**Tabel 4.42** Rekapitulasi Nilai PEI Kondisi Usulan Proses Pengecekan Kode Produksi pada *Frame body*

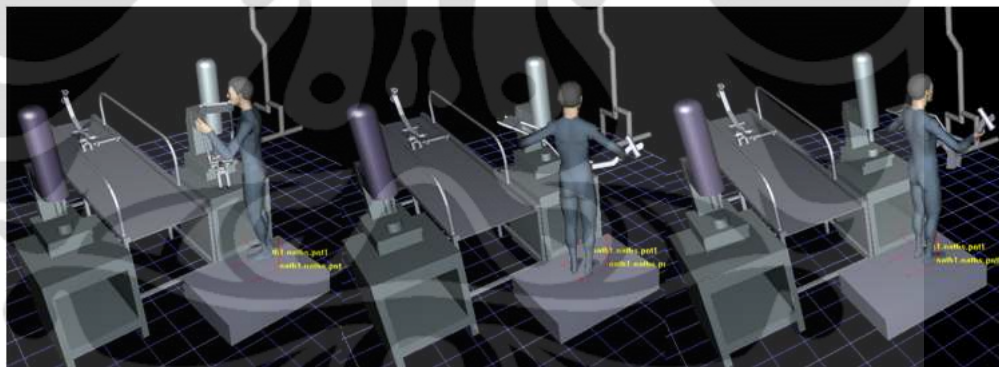
Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 26	5	1498	1	5	1,70
Konfigurasi 30	50	1672	1	5	1,76
Konfigurasi 34	95	1854	1	6	2,01

Dari **Tabel 4.42** terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah PEI persentil 5 yang berarti bahwa persentil 5 paling baik untuk dipilih pada kegiatan

pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm maupun 21 cm. Namun nilai PEI terendah adalah untuk pijakan kaki 16 cm.

#### 4.2.6 Analisis Kondisi Usulan Pemindahan *Frame body* ke *Jig* Berjalan dengan Tambahan Ketinggian 16 cm dan 21 cm.

Pada kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* untuk kondisi usulan, dilakukan dengan perubahan ketinggian baik ketinggian 16 cm dan ketinggian 21 cm dengan cara memberikan papan pijakan dibagian kaki. Dengan menambah ketinggian, diharapkan dapat dikurangi resiko bekerja dengan posisi lengan di atas bahu. Pada penelitian ini, yang dianalisis adalah konfigurasi dari manusia *virtual* untuk semua persentil yaitu persentil 5, 50, dan 95 agar dapat diketahui semua nilai postur pada setiap persentil secara tepat dan akurat. Kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* yang diberikan tambahan pijakan kaki sebesar 16 cm dan 21 cm ditunjukkan oleh rangkaian gerakan yang terlihat pada **Gambar 4.24** berikut.



**Gambar 4.24** Rangkaian Gerakan pada *Station press* Saat Mengecek Kode Produksi pada *Frame body* Setelah Diberikan Tambahan Pijakan Kaki

##### 4.2.6.1 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 16 cm

Setelah simulasi dijalankan, diketahui bahwa nilai SSP untuk kegiatan pengecekan kode produksi dengan penambahan papan setinggi 16 cm lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi pada kondisi ini. Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* setelah ditambah papan setinggi 16 cm adalah 645

N, pada persentil 50 adalah 948 N, dan pada persentil 95 adalah 970 N. Nilai LBA yang dihasilkan menurun dari kondisi aktual.

Analisis nilai OWAS untuk kegiatan pemindahan *frame body* setelah ditambah tinggi pijakan kaki setinggi 16 cm pada ketiga persentil memiliki nilai total sebesar 1 dengan rincian seperti yang terlihat pada **Tabel 4.43** dibawah.

**Tabel 4.43** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 9

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	1	2	2	1
Persentil 50%	1	1	2	2	1
Persentil 95%	1	1	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk semua persentil pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa postur punggung operator lurus netral.
2. Postur lengan operator dalam kategori 1 yang berarti kedua lengan operator berada di bawah bahu.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan memindahkan *frame body* ke *jig* setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja normal dan natural.

Nilai RULA pada kondisi usulan ini adalah 5 untuk persentil 5 dan bernilai 4 untuk persentil 50 dan 95. Nilai ini sudah turun umayan jauh dari kondisi sebelumnya saat kondisi aktual namun masih sedikit membahayakan. Hal ini disebabkan oleh faktor kegiatan yang dilakukan merupakan kegiatan *repetitive* tinggi dan beban yang ditangani masih cukup berat. **Tabel 4.44** berikut adalah

tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm.

**Tabel 4.44** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
Persentil 5	2	3	2	2	1	1	5
Group Score	7				1		
Persentil 50	2	2	2	2	1	1	4
Group Score	6				1		
Persentil 95	2	2	2	2	1	1	4
Group Score	6				1		

**Tabel 4.45** merupakan rekapitulasi nilai PEI pada kegiatan pemindahan *frame body* setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm untuk ketiga persentil.

**Tabel 4.45** Rekapitulasi Nilai PEI Usulan Pemindahan *Frame body* ke *Jig*

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 27	5	645	1	5	1,45
Konfigurasi 31	50	948	1	4	1,34
Konfigurasi 35	95	970	1	4	1,35

Dari **Tabel 4.45** di atas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah pada persentil 50 yang berarti bahwa persentil 50 paling baik untuk dipilih pada kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi 16 cm.

#### 4.2.6.2 Tambahan Ketinggian Papan Setinggi 21 cm

Setelah simulasi dijalankan, diketahui bahwa nilai SSP untuk kegiatan pengecekan kode produksi dengan penambahan papan setinggi 21 cm lebih dari 90%, selanjutnya yang perlu dilakukan adalah mencari nilai LBA, OWAS, dan RULA tertinggi pada kondisi ini. Besarnya nilai LBA atau tekanan pada bagian tulang belakang yang dialami oleh persentil 5 saat melakukan kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* setelah ditambah papan setinggi 21 cm adalah 851 N, pada persentil 50 adalah 823 N, dan pada persentil 95 adalah 720 N. Nilai LBA yang dihasilkan menurun dari kondisi sebelumnya pemindahan *frame body* ke *jig*

untuk persentil 50 dan 95. Hal ini disebabkan karena dengan ditambahkannya ketinggian sebesar 21 cm, postur tangan menjadi lebih rileks dan jauh berada di bawah siku dibanding dengan penambahan pijakan sebesar 16 cm.

Analisis nilai OWAS untuk kegiatan pemindahan *frame body* setelah ditambah tinggi pijakan kaki setinggi 21 cm pada ketiga persentil memiliki nilai total sebesar 1 dengan rincian seperti yang terlihat pada **Tabel 4.46** dibawah.

**Tabel 4.46** Perbandingan Nilai OWAS Persentil 5, 50, dan Persentil 9

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
Persentil 5%	1	1	2	2	1
Persentil 50%	1	1	2	2	1
Persentil 95%	1	1	2	2	1

Keempat nilai di atas untuk semua persentil pada setiap bagian tubuh menunjukkan bahwa:

1. Postur batang tubuh atau punggung operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa postur punggung operator lurus netral.
2. Postur lengan operator dalam kategori 1 yang berarti bahwa kedua lengan operator berada dibawah siku.
3. Postur kaki dalam kategori 2 yang berarti operator melakukan pekerjaan dengan posisi berdiri dan kedua kaki lurus.
4. Beban yang ditangani dalam kategori 2 yang berarti operator menerima beban yang beratnya antara 10 – 20 kg dimana berat *frame body* sendiri adalah 11 kg.

Total nilai OWAS untuk kegiatan pemindahan *frame body* setelah ditambah pijakan kaki setinggi 21 cm adalah bernilai 1 untuk ketiga persentil yang berarti postur kerja normal dan natural.

Nilai RULA pada kondisi usulan ini adalah 4 untuk persentil 5, 7 untuk persentil 50 dan 5 untuk persentil 95. Nilai RULA ini ada yang mengalami penurunan yaitu yang bernilai 4 dan ada yang mengalami peningkatan yang bernilai 7 dan ada yang tetap yaitu 5 jika dibandingkan dengan kondisi aktual. Hal ini disebabkan karena persentil 5 jika ditambah pijakan kaki setinggi 21 cm dapat mencapai kenyamanan yang tertinggi karena posisi tubuh mendekati permukaan

kerja, sedangkan persentil 50 dan 95 menjadi sedikit membungkuk. **Tabel 4.47** berikut adalah tabel perbandingan nilai RULA untuk persentil 5, 50, dan 95 untuk kegiatan pemindahan *frame body* setelah ditambah pijakan kaki setinggi 21 cm.

**Tabel 4.47** Perbandingan Nilai RULA Persentil 5, Persentil 50, dan Persentil 95

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
Persentil 5	2	2	1	2	1	1	4
Group Score	6				1		
Persentil 50	2	2	3	2	5	1	7
Group Score	7				7		
Persentil 95	3	2	3	2	2	1	5
Group Score	7				2		

**Tabel 4.48** merupakan rekapitulasi nilai PEI pada kegiatan pemindahan *frame body* setelah ditambah pijakan kaki setinggi 21 cm untuk ketiga persentil.

**Tabel 4.48** Rekapitulasi Nilai Kondisi Usulan Proses Pengecekan Kode Produksi pada *Frame body*

Nama Konfigurasi	Persentil	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konfigurasi 28	5	851	1	4	1,31
Konfigurasi 32	50	823	1	7	1,91
Konfigurasi 36	95	720	1	5	1,48

Dari **Tabel 4.48** di atas terlihat bahwa nilai PEI yang paling kecil adalah PEI dari persentil 5 yang berarti bahwa persentil 5 yang paling baik untuk dipilih pada kegiatan pengecekan kode produksi setelah ditambah pijakan kaki setinggi setinggi 16 cm.

Setelah semua nilai PEI semua konfigurasi dihitung, maka semua nilai tersebut direkap kembali pada **Tabel 4.49** berikut



Tabel 4.49 Rekapitulasi Nilai PEI Semua Konfigurasi

No.	Nama Konfigurasi	Kondisi	Station	Persentil	Jenis Pekerjaan	Konfigurasi Ketinggian Rekomendasi	LBA	OWAS	RULA	PEI
1	Konfigurasi 1	Aktual	Numbering	5%	Mengambil FB dari bawah	-	2191	2	7	2,56
2	Konfigurasi 2				Mengambil FB dari atas	-	1442	1	5	1,69
3	Konfigurasi 3			50%	Mengambil FB dari bawah	-	2348	2	7	2,61
4	Konfigurasi 4				Mengambil FB dari atas	-	1151	1	5	1,6
5	Konfigurasi 5			95%	Mengambil FB dari bawah	-	2506	2	7	2,66
6	Konfigurasi 6				Mengambil FB dari atas	-	1067	1	5	1,58
7	Konfigurasi 7		Press	5%	Cek hasil numbering	-	1527	1	7	2,12
8	Konfigurasi 8				Peletakkan ke jig	-	974	1	5	1,55
9	Konfigurasi 9			50%	Cek hasil numbering	-	1462	1	7	2,1
10	Konfigurasi 10				Peletakkan ke jig	-	923	1	5	1,54
11	Konfigurasi 11			95%	Cek hasil numbering	-	1783	1	6	1,99
12	Konfigurasi 12				Peletakkan ke jig	-	1340	1	5	1,66
13	Konfigurasi 13	Rekomendasi	Numbering	5%	Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku	1213	1	5	1,62
14	Konfigurasi 14				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku	1575	1	5	1,73
15	Konfigurasi 15				Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku dengan alat bantu	926	2	6	1,99
16	Konfigurasi 16				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku dengan alat bantu	973	2	6	2,00
17	Konfigurasi 17			50%	Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku	1420	1	5	1,68
18	Konfigurasi 18				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku	1633	1	5	1,74
19	Konfigurasi 19				Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku dengan alat bantu	1161	2	4	1,65
20	Konfigurasi 20				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku dengan alat bantu	1392	2	4	1,72
21	Konfigurasi 21			95%	Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku	2097	1	5	1,88
22	Konfigurasi 22				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku	2105	1	5	1,88
23	Konfigurasi 23				Mengambil FB dari kereta	10 cm dari bawah siku dengan alat bantu	1922	2	4	1,88
24	Konfigurasi 24				Mengambil FB dari kereta	15 cm dari bawah siku dengan alat bantu	1667	2	6	2,21

**Tabel 4.49** Rekapitulasi Nilai PEI Semua Konfigurasi (Sambungan)

25	Konfigurasi 25	Rekomendasi	Press	5%	Cek hasil numbering	Tambahan papan 16 cm	1456	1	5	1,69
26	Konfigurasi 26					Tambahan papan 21 cm	1498	1	5	1,7
27	Konfigurasi 27				Peletakkan ke jig	Tambahan papan 16 cm	645	1	5	1,45
28	Konfigurasi 28					Tambahan papan 21 cm	851	1	4	1,31
29	Konfigurasi 29			50%	Cek hasil numbering	Tambahan papan 16 cm	1649	1	5	1,75
30	Konfigurasi 30					Tambahan papan 21 cm	1672	1	5	1,76
31	Konfigurasi 31				Peletakkan ke jig	Tambahan papan 16 cm	948	1	4	1,34
32	Konfigurasi 32					Tambahan papan 21 cm	823	1	7	1,91
33	Konfigurasi 33			95%	Cek hasil numbering	Tambahan papan 16 cm	2085	1	5	1,88
34	Konfigurasi 34					Tambahan papan 21 cm	1854	1	6	2,01
35	Konfigurasi 35				Peletakkan ke jig	Tambahan papan 16 cm	970	1	4	1,35
36	Konfigurasi 36					Tambahan papan 21 cm	720	1	5	1,48

#### 4.3 Analisis Perbandingan PEI kondisi aktual dan usulan

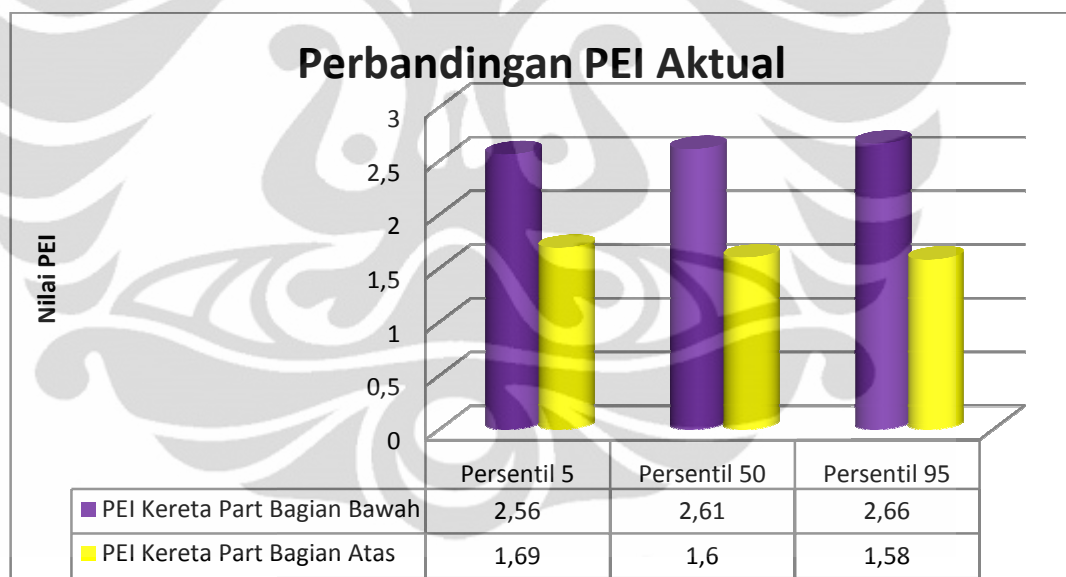
Analisis perbandingan dilakukan untuk melihat besar perbedaan nilai PEI pada kondisi aktual dengan kondisi konfigurasi usulan sehingga dapat dilihat pula seberapa besar perbaikan yang telah berhasil dilakukan. Setelah diketahui rancangan tempat kerja yang memiliki nilai PEI terkecil, maka rancangan tersebut dapat ditetapkan sebagai rancangan tempat kerja yang paling ergonomis. Analisis juga dilakukan untuk mencari persentil atau antropometri tubuh yang menghasilkan nilai PEI terendah sehingga antropometri tersebut yang akan dipilih untuk direkomendasikan menjadi acuan antropometri untuk *station* kerja tersebut. Berikut akan dijabarkan perbandingan nilai PEI yang dihasilkan untuk menentukan konfigurasi dan antropometri yang paling tepat.

#### 4.3.1 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* Bagian Atas dengan Bagian Bawah Untuk Kondisi Aktual

Setelah dilakukan pengolahan data pada kegiatan pengangkatan *frame body* kondisi aktual, dapat dilihat bahwa nilai PEI tertinggi didapatkan dari kegiatan mengangkat *frame body* dari bagian bawah kereta *part*, dimana perbandingan nilai PEI untuk kereta *part* bagian atas dan kereta *part* bagian bawah terlihat pada **Tabel 4.50** dan **Gambar 4.25** berikut.

**Tabel 4.50** Perbandingan PEI Kondisi Aktual

Persentil	PEI Kereta Part Bawah	PEI Kereta Part Atas
Persentil 5	2,56	1,69
Persentil 50	2,61	1,6
Persentil 95	2,66	1,58



**Gambar 4.25** Perbandingan PEI Kondisi Aktual *Station Numbering*

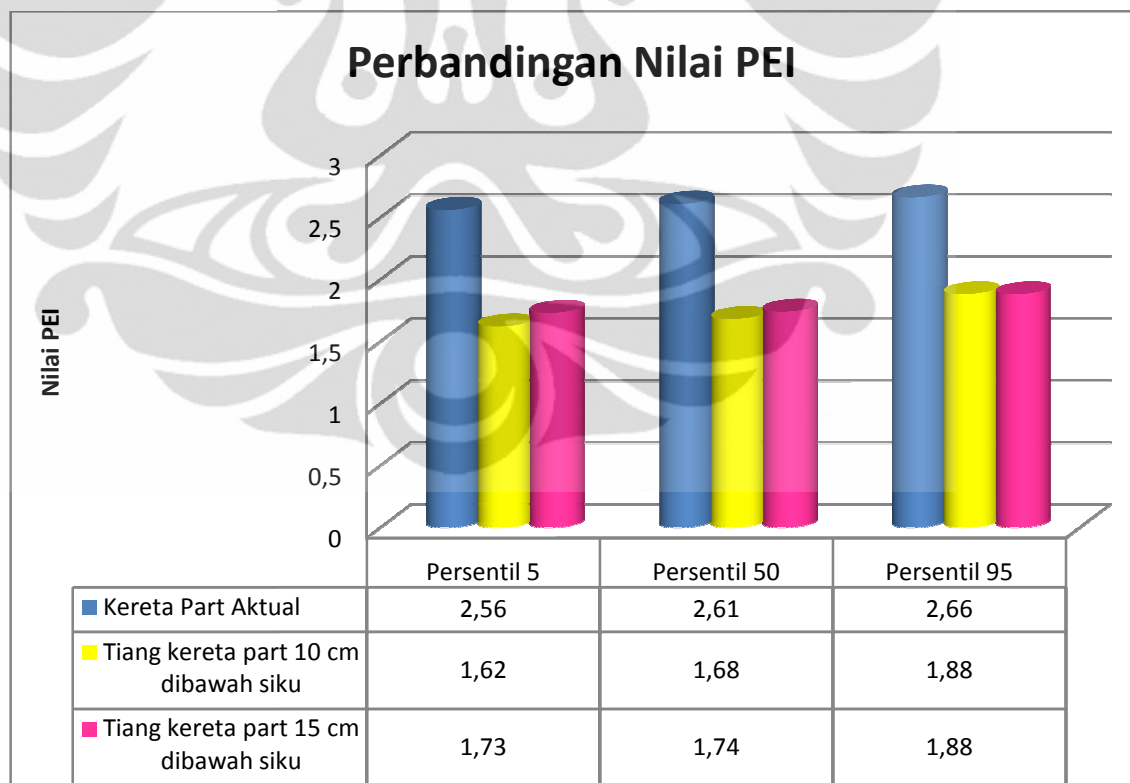
Nilai PEI tertinggi untuk kondisi aktual terjadi pada kegiatan pengangkatan manual dari kereta *part* bagian bawah, sehingga nilai PEI ini yang akan dijadikan acuan untuk membandingkan kondisi aktual dengan kondisi usulan agar dapat diketahui berapa besar perbaikan yang telah dilakukan dan dapat dipilih konfigurasi yang memberikan hasil paling ergonomis.

#### 4.3.2 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan *Frame body* dari Kereta *Part* Kondisi Aktual dengan Kereta *Part* Usulan Tanpa Alat Bantu

Nilai PEI yang dihasilkan pada kondisi aktual akan dibandingkan dengan nilai PEI kondisi usulan yaitu kereta *part* tanpa alat bantu yang telah dirancang ulang desainnya, dimana ketinggian tiang kereta *part* diganti menjadi 10 cm dan 15 cm dibawah siku. **Tabel 4.51** dan **Gambar 4.26** berikut, akan menampilkan perbandingan nilai PEI kondisi aktual dengan kondisi usulan pada setiap persentil.

**Tabel 4.51** Perbandingan PEI Kondisi Aktual Dengan Kondisi Usulan

Konfigurasi	Persentil 5	Persentil 50	Persentil 95
Kereta Part Aktual	2,56	2,61	2,66
Tiang kereta part 10 cm dibawah siku	1,62	1,68	1,88
Tiang kereta part 15 cm dibawah siku	1,73	1,74	1,88



**Gambar 4.26** Perbandingan PEI Kondisi Aktual Dengan Kondisi Usulan

Dari **Gambar 4.26**, terlihat bahwa kereta *part* kondisi usulan dapat menurunkan nilai PEI dengan cukup signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi usulan memberikan rancangan tempat kerja yang lebih baik dan ergonomis. Jika dibandingkan nilai PEI kereta *part* usulan, tinggi tiang 10 cm dibawah siku dengan tinggi tiang 15 cm dibawah siku, dapat dilihat bahwa kereta *part* dengan tinggi tiang 10 cm dibawah siku mempunyai nilai PEI yang lebih rendah daripada tinggi tiang kereta *part* 15 cm dibawah siku. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kereta *part* dengan tiang 10 cm dibawah siku atau dengan tinggi tiang bagian bawah sebesar 104 cm dari tanah, memberikan kenyamanan dari segi ergonomis yang lebih baik dari tinggi tiang 15 cm atau sebesar 99 cm dari tanah, sehingga jika ingin dilakukan perubahan kereta *part* tanpa memberikan alat bantu maka kereta *part* ketinggian 10 cm dibawah siku atau sebesar 104 cm dari tanah yang paling tepat untuk dipilih.

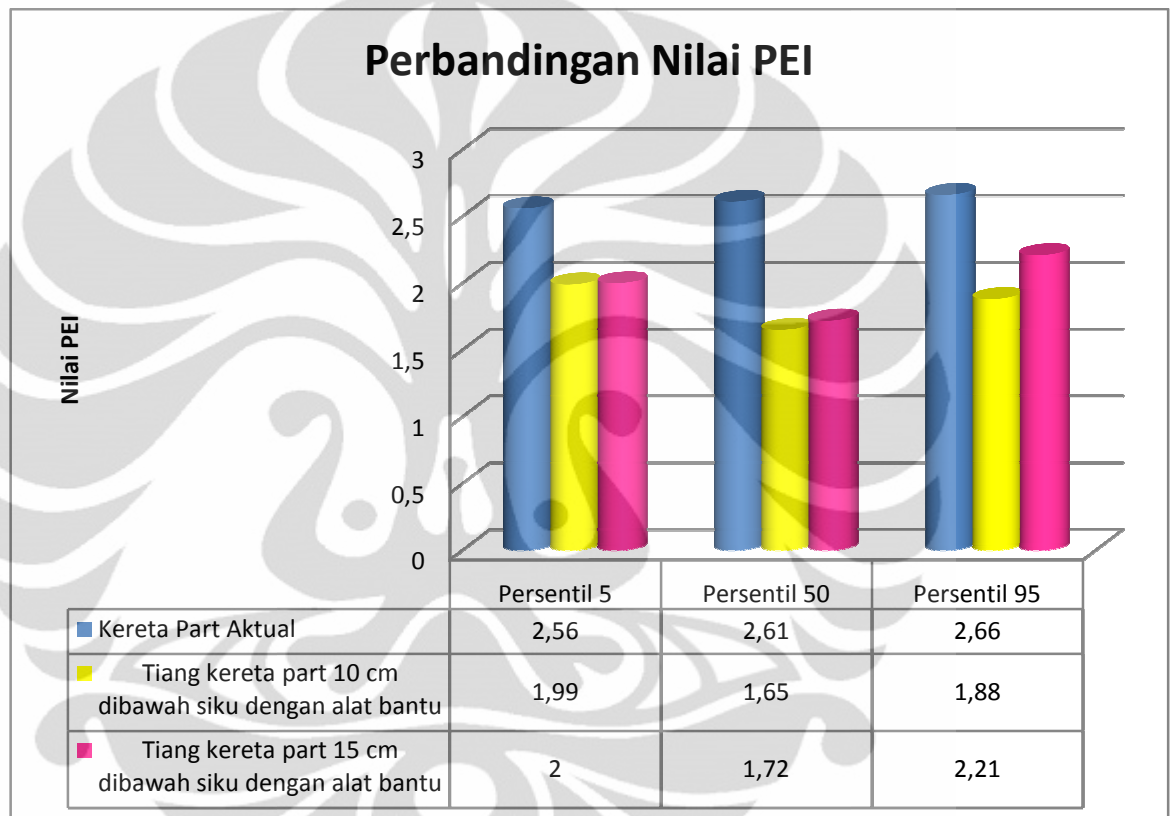
Jika dibandingkan nilai PEI antar persentil dari kereta *part* dengan tinggi 10 cm dibawah siku, persentil 5 yang mempunyai nilai PEI yang paling rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa persentil 5 yang paling aman dan ergonomis dibanding semua persentil untuk mengerjakan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* dari ketinggian tiang 10 cm dibawah siku. Jadi, untuk kereta *part* dengan tinggi tiang 10 cm dibawah siku tanpa alat bantu, persentil 5 dengan tinggi 162 cm dan berat badan 50 kg, yang sebaiknya dipilih.

#### 4.3.3 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan *Frame Body* dari Kereta *Part* Kondisi Aktual dengan Kereta *Part* Konfigurasi Dengan Alat Bantu

Nilai PEI yang dihasilkan pada kondisi aktual akan dibandingkan dengan nilai PEI kondisi usulan kereta *part* dengan alat bantu yang telah dirancang ulang desainnya, dimana ketinggian tiang kereta *part* tersebut diganti menjadi 10 cm dan 15 cm dibawah siku dan lebarnya ditambah 50 cm ke samping serta diberi *lock* pada roda. **Tabel 4.52** dan **Gambar 4.27** berikut, akan menampilkan perbandingan nilai PEI kondisi aktual dengan kondisi usulan pada setiap persentil.

**Tabel 4.52** Perbandingan PEI Kondisi Aktual dengan Kondisi Usulan

Konfigurasi	Persentil 5	Persentil 50	Persentil 95
Kereta Part Aktual	2,56	2,61	2,66
Tiang kereta part 10 cm dibawah siku dengan alat bantu	1,99	1,65	1,88
Tiang kereta part 15 cm dibawah siku dengan alat bantu	2	1,72	2,21

**Gambar 4.27** Perbandingan PEI Kondisi Aktual dengan Kondisi Usulan

Dari **Gambar 4.27** di atas terlihat bahwa kereta *part* kondisi usulan dengan alat bantu juga dapat menurunkan nilai PEI dengan cukup signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi usulan memberikan rancangan tempat kerja yang lebih baik dan ergonomis. Jika dibandingkan nilai PEI kereta *part* usulan dengan alat bantu dengan tinggi tiang 10 cm dibawah siku dan tinggi tiang 15 cm dibawah siku, dapat dilihat bahwa kereta *part* dengan tinggi tiang 10 cm dibawah siku dengan alat bantu mempunyai nilai PEI yang lebih rendah daripada



tinggi tiang kereta *part* 15 cm dibawah siku dengan alat bantu. Hal ini dapat disimpulkan bahwa kereta *part* dengan tiang 10 cm dibawah siku atau sebesar 104 cm dari tanah dengan alat bantu memberikan kenyamanan dari segi ergonomis yang lebih baik dari tinggi tiang 15 cm dibawah siku atau sebesar 99 cm dari tanah dengan alat bantu, sehingga jika ingin dilakukan perubahan kereta *part* dengan memberikan alat bantu maka kereta *part* ketinggian 10 cm dibawah siku atau sebesar 104 cm dari tanah yang paling tepat untuk dipilih.

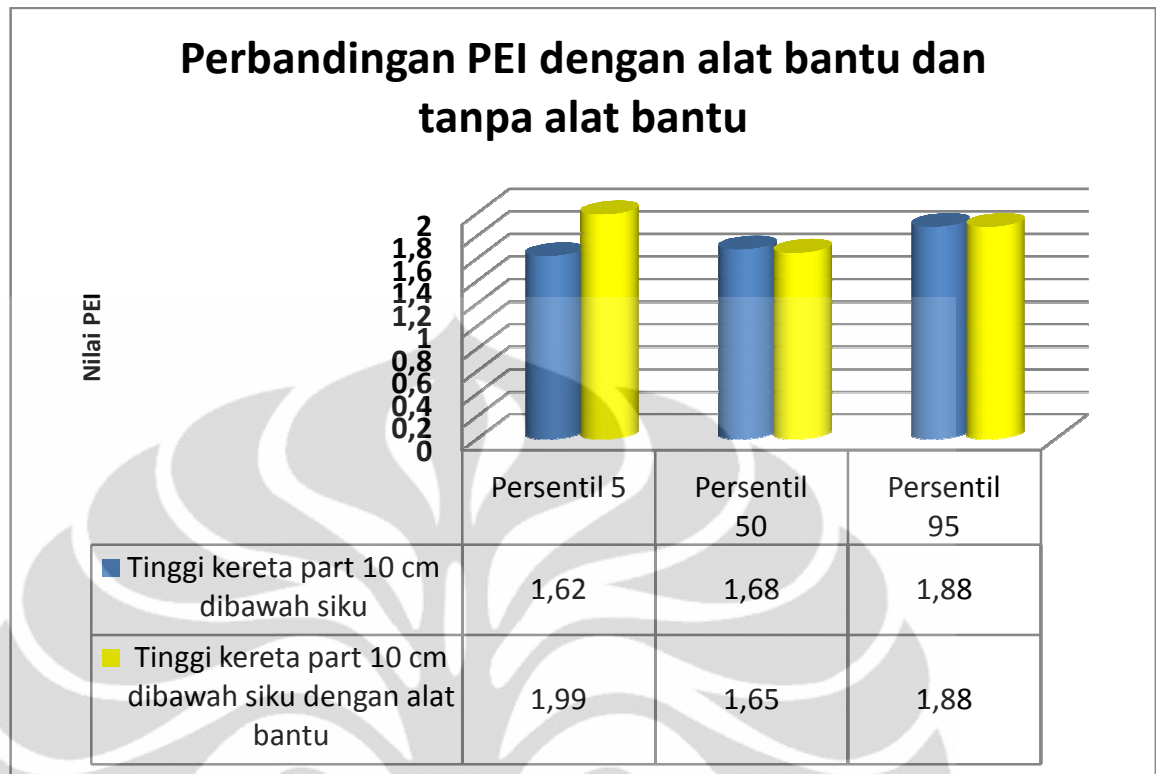
Jika dibandingkan juga nilai PEI antar persentil kereta *part* dengan alat bantu pada tinggi 10 cm dibawah siku, persentil 50 mempunyai nilai PEI paling rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa persentil 50 yang paling aman dan ergonomis dibanding semua persentil untuk mengerjakan kegiatan pengangkatan *frame body* dari kereta *part* dari ketinggian tiang 10 cm dibawah siku dengan alat bantu. Jadi, untuk kereta *part* dengan tinggi tiang 10 cm dibawah siku dengan alat bantu, persentil 50 dengan tinggi 172 cm dan berat badan 63 kg, yang sebaiknya dipilih.

#### 4.3.4 Analisis Perbandingan Proses Pengangkatan *Frame Body* dari Kereta *Part* Tanpa Alat Bantu dan Dengan Alat Bantu

Semua nilai PEI kondisi usulan yang telah dihasilkan pada *station numbering*, akan dibandingkan dengan nilai PEI kondisi usulan lainnya, yaitu kereta *part* tanpa alat bantu dan kereta *part* dengan alat bantu dimana keduanya mempunyai nilai PEI terkecil. **Tabel 4.53** dan **Gambar 4.28** berikut, akan menampilkan perbandingan nilai PEI kondisi usulan tanpa alat bantu dengan kondisi usulan menggunakan alat bantu untuk setiap persentil.

**Tabel 4.53** Perbandingan PEI Kondisi Usulan Tanpa Alat Bantu dan Kondisi Usulan Dengan Alat Bantu *Station Numbering*

Kriteria	Persentil 5	Persentil 50	Persentil 95
Tinggi kereta part 10 cm dibawah siku tanpa alat bantu	1,62	1,68	1,88
Tinggi kereta part 10 cm dibawah siku dengan alat bantu	1,99	1,65	1,88



**Gambar 4.28** Perbandingan PEI Kondisi Usulan Tanpa Alat Bantu dan Kondisi Usulan Dengan Alat Bantu

Dari **Gambar 4.28** di atas terlihat bahwa kereta *part* kondisi usulan tanpa alat bantu dan kereta *part* dengan alat bantu mempunyai perbedaan nilai PEI yang tidak terlalu berbeda jauh. Untuk persentil 5, nilai PEI yang lebih rendah adalah yang tidak menggunakan alat bantu, sedangkan untuk persentil 50 nilai PEI yang lebih rendah adalah kereta *part* yang menggunakan alat bantu.

Untuk persentil 95, tidak ada perbedaan nilai PEI antara kereta *part* yang menggunakan alat bantu dengan kereta *part* yang tidak menggunakan alat bantu. Untuk kereta *part* yang tidak menggunakan alat bantu, persentil 5 dengan tinggi badan 162 cm dan berat badan 50 kg yang sebaiknya dipilih, sedangkan untuk yang menggunakan alat bantu, persentil 50 tinggi badan 172 cm dan berat badan 63 kg yang sebaiknya dipilih.

Jika dibandingkan lagi, nilai PEI yang paling kecil diantara kereta *part* yang tidak menggunakan alat bantu dengan kereta *part* yang menggunakan alat bantu, nilai PEI terendah ada pada kondisi kereta *part* tanpa alat bantu dengan

tinggi tiang 10 cm dibawah siku operator atau setinggi 104 cm dari tanah yang dikerjakan oleh persentil 5 dengan tinggi badan 162 cm dan berat badan 50 kg yang sebaiknya dipilih. Nilai PEI terendah kedua, ada pada kondisi kereta *part* dengan alat bantu dengan tinggi tiang 10 cm dibawah siku operator atau setinggi 104 cm dari tanah yang dikerjakan oleh persentil 50 dengan tinggi badan 172 cm dan berat badan 63 kg yang sebaiknya dipilih. Untuk memilih diantara kedua pilihan tersebut, dapat disesuaikan dengan kebijakan perusahaan karena pada dasarnya kedua tempat kerja yang baru tersebut sudah lebih ergonomis daripada tempat kerja yang sebelumnya, namun terdapat *trade off* yang harus dipikirkan oleh perusahaan.

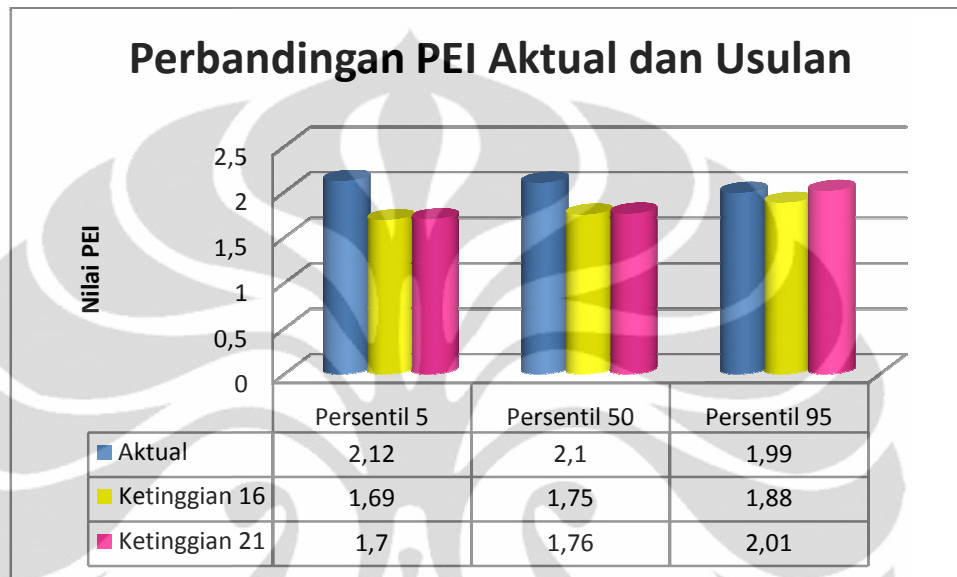
Jika yang dipilih adalah kereta *part* tanpa alat bantu, beban yang dirasakan operator tetap seberat 11 kg, namun perusahaan tidak perlu mengeluarkan banyak biaya karena perusahaan hanya perlu melakukan sedikit perubahan pada bagian ketinggian tiang kereta *part*. Jika yang dipilih adalah kereta *part* dengan alat bantu, beban yang dirasakan operator jauh berkurang hingga 3 kg karena operator tidak perlu mengangkat secara manual dan operator hanya perlu mendorong *frame body*, sehingga diharapkan masalah kesehatan juga berkurang. Namun perusahaan perlu mengeluarkan biaya cukup banyak karena perusahaan perlu melakukan modifikasi pada bagian roda serta ketinggian tiang dan lebar kereta *part*.

#### 4.3.5 Analisis Perbandingan Proses Pengecekan Kode Produksi Untuk Kondisi Aktual dan Kondisi Usulan

Proses kerja pada *station press* yang mempunyai nilai PEI tinggi pada kondisi aktual dibagi menjadi dua kegiatan yaitu kegiatan pengecekan kode produksi serta pemindahan *frame body* ke *jig*. Setelah dianalisis, dapat terlihat bahwa ketinggian permukaan kerja pada *station* tersebut masih kurang tepat sehingga perlu dilakukan perubahan ketinggian. Untuk kegiatan pengecekan kode produksi diberikan tambahan berupa penambahan pijakan kaki setinggi 16 cm dan 21 cm. Hasil nilai PEI untuk perbandingan kondisi aktual, penambahan ketinggian 16 cm, dan penambahan ketinggian 21 cm dapat dilihat pada **Tabel 4.54** dan **Gambar 4.29** berikut.

**Tabel 4.54** Perbandingan PEI Kondisi Aktual dan Usulan *Station Press*

Kondisi	Persentil 5	Persentil 5	Persentil 5
Aktual	2,12	2,1	1,99
Ketinggian 16	1,69	1,75	1,88
Ketinggian 21	1,7	1,76	2,01

**Gambar 4.29** Perbandingan PEI Kondisi Aktual dan Usulan *Station Press*

Dari **Gambar 4.29** di atas terlihat bahwa kondisi usulan dengan tambahan ketinggian 16 cm dan 21 cm dapat menurunkan nilai PEI dengan cukup signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi usulan memberikan rancangan tempat kerja yang lebih baik dan ergonomis. Jika dibandingkan nilai PEI tambahan ketinggian 16 cm dengan tambahan ketinggian 21 cm, dapat dilihat bahwa tambahan ketinggian 16 cm mempunyai nilai PEI yang lebih rendah daripada tambahan ketinggian 21 cm. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan ketinggian 16 cm memberikan kenyamanan dari segi ergonomis yang lebih baik dari tambahan ketinggian 21 cm, sehingga jika ingin dilakukan perubahan maka tambahan ketinggian 16 cm yang paling tepat untuk dipilih.

Jika dibandingkan juga nilai PEI antar persentil, persentil 5 mempunyai nilai PEI paling rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa persentil 5 yang paling aman dan ergonomis dibanding semua persentil untuk mengerjakan kegiatan

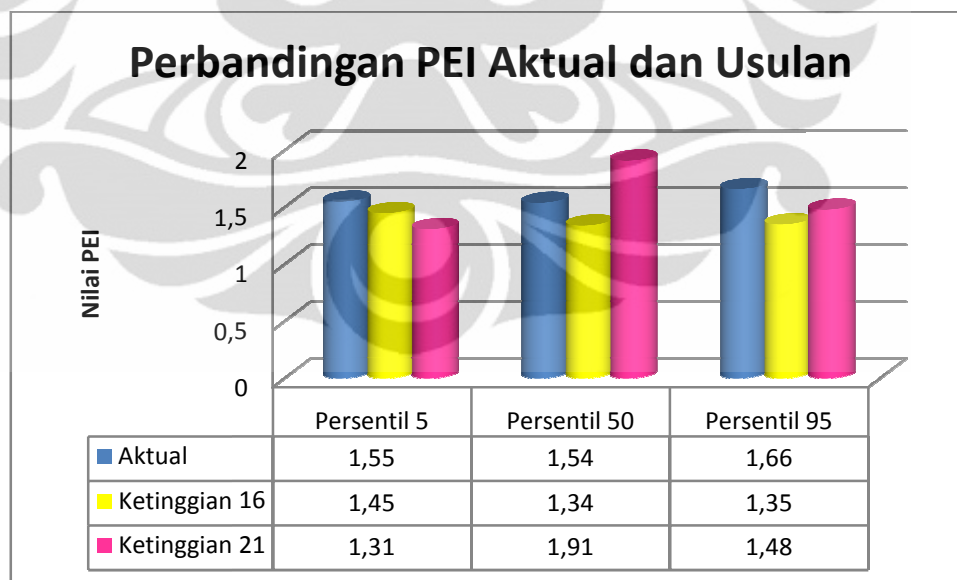
pengecekan kode produksi dengan tambahan ketinggian 16 cm dari tanah. Jadi, untuk tambahan 16 cm dibawah siku, persentil 5 dengan tinggi 162 cm dan berat badan 50 kg, yang sebaiknya dipilih.

#### 4.3.6 Analisis Perbandingan Proses Pemindahan *Frame body* ke *Jig* Untuk Kondisi Aktual dan Kondisi Usulan

Pada kegiatan pemindahan *frame body*, dilakukan perubahan ketinggian yang sama juga yaitu sebesar 16 cm dan 21 cm dari tanah seperti pada kegiatan pengecekan kode produksi. Hasil nilai PEI untuk perbandingan kondisi aktual, penambahan ketinggian 16 cm, dan penambahan ketinggian 21 cm dapat dilihat pada **Tabel 4.55** dan **Gambar 4.30** berikut.

**Tabel 4.55** Perbandingan PEI kondisi aktual dan usulan

Kondisi	Persentil 5	Persentil 50	Persentil 95
Aktual	1,55	1,54	1,66
Ketinggian 16	1,45	1,34	1,35
Ketinggian 21	1,31	1,91	1,48



**Gambar 4.30** Perbandingan PEI kondisi aktual

Dari **Gambar 4.30** di atas terlihat bahwa kondisi usulan dengan tambahan ketinggian 16 cm dan 21 cm untuk kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* dapat

menurunkan nilai PEI dengan cukup signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa kondisi usulan memberikan rancangan tempat kerja yang lebih baik dan ergonomis. Jika dibandingkan nilai PEI tambahan ketinggian 16 cm dengan tambahan ketinggian 21 cm, dapat dilihat bahwa tambahan ketinggian 16 cm secara keseluruhan mempunyai nilai PEI yang lebih rendah daripada tambahan ketinggian 21 cm. Hal ini dapat disimpulkan bahwa tambahan ketinggian 16 cm memberikan kenyamanan dari segi ergonomis yang lebih baik dari tambahan ketinggian 21 cm, sehingga jika ingin dilakukan perubahan maka tambahan ketinggian 16 cm yang paling tepat untuk dipilih.

Jika dibandingkan juga nilai PEI antar persentil, persentil 50 mempunyai nilai PEI paling rendah sehingga dapat disimpulkan bahwa persentil 50 yang paling aman dan ergonomis dibanding semua persentil untuk mengerjakan kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig* dengan tambahan ketinggian 16 cm dari tanah. Jadi, untuk tambahan 16 cm dibawah siku, persentil 50 dengan tinggi 172 cm dan berat badan 63 kg, yang sebaiknya dipilih.

Namun, nilai PEI tersebut harus dibandingkan kembali dengan nilai PEI untuk kegiatan pengecekan kode produksi karena pada dasarnya kedua kegiatan ini berada pada *station* yang sama sehingga penambahan ketinggian tersebut harus sama besar serta antropometri operator juga harus sama. Setelah dilihat nilai PEI dari dua kegiatan tersebut, tambahan ketinggian 16 cm dari tanah yang mempunyai nilai PEI yang kecil dibanding tambahan ketinggian 21 cm sehingga tambahan 16 cm yang sebaiknya dipilih. Untuk nilai persentil, persentil yang paling kecil nilai PEI-nya adalah persentil 5 dengan tinggi badan 162 cm dan berat badan 50 kg serta persentil 50 dengan tinggi badan 172 cm dan berat badan 63 kg. Namun, akan lebih baik dipilih persentil 5 dengan tinggi badan 162 cm dan berat badan 50 kg karena dengan tinggi badan tersebut, operator tidak perlu menunduk dalam bekerja walaupun telah diberi tambahan ketinggian pada kaki.



## BAB 5

### KESIMPULAN

#### 5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian serta hasil analisis yang telah dilakukan pada *station numbering* dan *press*, dapat disimpulkan bahwa kegiatan pengangkatan *frame body* secara manual dengan beban 11 kg secara *repetitive* yang dilakukan oleh operator belum memberikan kenyamanan menurut ergonomi dan memiliki resiko terjadinya keluhan *musculoskeletal* dimana keluhan tersebut paling banyak menyerang bagian punggung dan tangan operator. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya keluhan yang dirasakan oleh operator selama mereka bekerja. Berdasarkan hasil analisis *Posture Evaluation Index* (PEI) yang disimulasikan pada *software* Jack, terlihat bahwa nilai beban angkat yang diterima oleh operator cukup berat ditambah dengan tempat kerja yang kurang ergonomis sehingga membuat postur kerja operator menjadi tidak ideal. Oleh karena itu, perubahan tempat kerja pada kedua *station* tersebut perlu dilakukan.

Setiap persentil disimulasikan dalam penelitian ini agar dapat diketahui nilai postur dari setiap persentil secara aktual. Setelah dilakukan perhitungan pada *station numbering* kondisi aktual pengangkatan *frame body* dari bagian bawah kereta *part*, diketahui bahwa postur buruk dimiliki oleh operator dengan persentil 95. Hal ini dikarenakan operator dengan persentil 95, harus membungkuk lebih agar dapat menjangkau *frame body* yang berada jauh dibawah, sedangkan untuk kondisi aktual pengangkatan *frame body* dari bagian atas kereta *part*, diketahui bahwa postur buruk dimiliki oleh operator dengan persentil 5 karena persentil tersebut harus menggunakan jangkauan maksimalnya.

Untuk *station press*, didapatkan bahwa untuk kegiatan pengecekan kode produksi, postur buruk dimiliki oleh persentil 5 karena persentil tersebut harus menggunakan jangkauan maksimalnya, sedangkan untuk kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig*, postur buruk dimiliki oleh persentil 95.

Setelah semua simulasi pada *station numbering* dan *press* dijalankan, didapatkan kesimpulan bahwa tempat kerja kurang ergonomis dari segi ketinggian permukaan kerja. Oleh karena itu, perlu dirancang ulang tempat kerja tersebut

berdasarkan desain tempat kerja yang ideal untuk kegiatan yang melibatkan pengangkatan komponen berat yaitu dengan mengubah ketinggian landasan kerja menjadi 10 cm dan 15 cm dibawah siku persentil 50 antropometri Indonesia dengan tinggi badan sebesar 172 cm, kemudian kondisi usulan tersebut dicoba disimulasikan kembali dalam *software* Jack.

Setelah dilakukan perubahan pada *station* kerja yang baru dengan mengubah ketinggian yang ada pada *station numbering* dan *press*, hasil analisis PEI memberikan nilai yang lebih baik daripada tempat kerja awal. Hal ini disebabkan karena operator tidak perlu lagi melakukan postur kerja yang tidak ideal seperti membungkuk berlebih atau bekerja dengan jangkauan maksimalnya.

Untuk *station numbering* kondisi usulan tanpa alat bantu yang diubah ketinggian tiang kereta *partnya*, terlihat bahwa dengan perubahan ketinggian sebesar 10 cm dibawah siku persentil 50 atau setinggi 104 cm dari tanah, memiliki nilai PEI yang lebih rendah daripada ketinggian tiang sebesar 99 cm dari tanah. Persentil yang paling baik untuk mengerjakan kegiatan pengangkatan *frame body* pada *station numbering* tanpa alat bantu dengan ketinggian tiang kereta part sebesar 104 cm dari tanah adalah persentil 5 dengan tinggi badan sebesar 162 cm dan berat badan sebesar 50 kg.

Untuk *station numbering* kondisi usulan dengan alat bantu yang diubah ketinggian tiang kereta *partnya*, terlihat bahwa dengan perubahan ketinggian sebesar 10 cm dibawah siku persentil 50 atau setinggi 104 cm dari tanah dengan alat bantu, memiliki nilai PEI yang lebih rendah daripada ketinggian tiang sebesar 99 cm dari tanah dengan alat bantu. Persentil yang paling baik untuk mengerjakan kegiatan pengangkatan *frame body* pada *station numbering* dengan alat bantu dengan ketinggian tiang kereta part sebesar 104 cm dari tanah adalah persentil 50 dengan tinggi badan sebesar 172 cm dan berat badan sebesar 63 kg.

Untuk *station press* kondisi usulan kegiatan pengecekan kode produksi dan kegiatan pemindahan *frame body* ke *jig*, terlihat bahwa dengan merubah ketinggian melalui penambahan pijakan kaki sebesar 16 cm, memiliki nilai PEI yang lebih rendah daripada penambahan ketinggian sebesar 21 cm. Persentil yang

paling baik untuk mengerjakan kedua kegiatan tersebut adalah persentil 5 dengan tinggi badan sebesar 162 cm dan berat badan sebesar 50 kg.

## 5.2 Saran

Untuk *station numbering* kondisi usulan tanpa alat bantu, ketinggian kereta *part* setinggi 104 cm dari tanah yang paling baik untuk dipilih, sedangkan untuk antropometri operator yang paling tepat pada *station numbering* dengan ketinggian tersebut adalah persentil 5 dengan tinggi badan 162 cm dan berat badan 50 kg. Untuk *station numbering* kondisi usulan dengan alat bantu, ketinggian kereta *part* setinggi 104 cm dari tanah dengan tambahan alat bantu yang paling baik untuk dipilih, sedangkan untuk antropometri operator yang paling tepat pada *station numbering* untuk kondisi tersebut adalah persentil 50 dengan tinggi badan 172 cm dan berat badan 63 kg. Untuk *station press* kondisi usulan, penambahan ketinggian pijakan kaki sebesar 16 cm dari tanah yang paling baik untuk dipilih, sedangkan untuk antropometri operator yang paling tepat pada *station press* untuk kondisi tersebut adalah persentil 5 dengan tinggi badan 162 cm dan berat badan 50 kg.

## DAFTAR REFERENSI

- Adams, K.J., DeBeliso, M., Patricia, G., Adams, Sevene., & Berning, J.M. (2010). *Physiological and Psychophysical Comparison Between A Lifting Task with Identical Weight but Different Coupling Factor*. February 3, 2011. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20072069>
- Banks, Jerry, et al., ed. (2005). *Discrete-Event System Simulation* (4<sup>th</sup> ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., & Marzano, A. (2006). *Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment*. March 28, 2011. Chalmers University of Naples. <http://ctn.cvut.cz/ap/download.php?id=132>
- Choffin, Don, B., Johnson, Louise G., & Lawton, G. (2003). *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*. University of Michigan.
- Chuan, T.K., Hartono, M., & Kumar, N. (2010). Anthropometry of the Singaporean and Indonesian Populations. *Journal of Industrial Ergonomics*, 40, 757 – 766.
- Falck, Annki, & Roland, Ortegren. (n.d). *The Influence of Assembly Ergonomics on Product Quality and Productivity in Car Manufacturing – A Cost Benefit Approach*. February 13, 2011. Chalmers University of Technology. [http://www.his.se/PageFiles/2413/The\\_influence\\_of\\_assembly\\_ergonomics\\_on\\_product\\_quality\\_and\\_productivity\\_in\\_car\\_manufacturing.pdf](http://www.his.se/PageFiles/2413/The_influence_of_assembly_ergonomics_on_product_quality_and_productivity_in_car_manufacturing.pdf)
- Gironimo, G.D., Monacellia, G., & Patalano, A. (2004). *A Design Methodology For Maintainability of Automotive Components in Virtual Environment*. Paper Presented at the International Design Conference-Design 2004, Dubrovnik, Croatia.

- Grandjean, E., Nishiyama, K., Hunting, W., 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* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Taylor & Francis.
- Jack User Manual Version 6.1 (2010). *Jack Manual Base Version 6.0*. California: Siemens Product Lifecycle Management Software Inc.
- Kalawski, R. (2003). *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Cambridge: Addison-Wesley Publishing Company.
- Karwowski, Waldemar. (2003). *International Encyclopedia of Ergonomics and Human Factors* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: CRC Press.
- Liberty Mutual Insurance Group (2004, April). *Standing Workstation*. March, 28 2011. <http://www.purdue.edu/rem/injury/CumulativeTrauma/LP187-StandingWorkstations.pdf>
- Nelson, G.S., Wickes, H., & English, J.T. (1994). *Manual Lifting: The Revised NIOSH Lifting Equation For Evaluating Acceptable Weights for Manual Lifting*. February 3, 2011. <http://www.hazardcontrol.com/factsheets/pdfs/NIOSH-1994.pdf>
- Niebel, B & Frievalds, A. (2003). *Methods, Standard, and Work Design* (11<sup>st</sup> ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.
- Nurmianto, Eko. (2003). *Ergonomi, Konsep Dasar, dan Aplikasinya* (1<sup>st</sup> ed.). Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh November.
- Occhipinti, E., Colombini, D., & Caputo, F. (1999). *Assessment of Exposure to Repetitive Upper Limb Movement: an IEA Consensus Document*. TU TB Newsletter, 11-12
- Pheasant, Stephen. (2003). *Bodyspace, Anthropometry, Ergonomics, and Design of Work* (2<sup>nd</sup> ed.). London: Taylor & Francis.
- Sanders, Mark & McCormick, Ernest. (1993). *Human Factors in Engineering and Design* (7<sup>th</sup> ed.). New York: McGraw-Hill, Inc.

Stanton, Neville, et al., ed. (2004). *Handbook of Human Factors and Ergonomics Methods*. New York: CRC Press

Sutalaksana. (1982). *Teknik Tata Cara Kerja*. Bandung: KMTI ITB.

Wilson, J.R. (1999). Virtual Environments and Applied Ergonomics. *Journal of Applied Ergonomics*, 30, 3 – 9.

Wilson, J.R., et al., ed. (1995). Manufacturing Operations in Virtual Environments. *Journal of Presence Teleoperators and Virtual Environments*, 4, 306 – 317.

