

**PERANCANGAN STASIUN KERJA LINI *PACKAGING* YANG  
ERGONOMIS DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
SIMULASI**

**SKRIPSI**

**FERONIKA  
06 06 07 71 44**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2010**

**PERANCANGAN STASIUN KERJA LINI *PACKAGING* YANG  
ERGONOMIS DENGAN MENGGUNAKAN METODE  
SIMULASI**

**SKRIPSI**

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

**FERONIKA  
06 06 07 71 44**



**UNIVERSITAS INDONESIA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
DEPOK  
JUNI 2010**

## 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 : Feronika**

**NPM : 0606077144**

**Tanda tangan :**

**Tanggal : Juni 2010**

## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh

Nama : Feronika  
NPM : 0606077144  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul Skripsi : Perancangan Stasiun Kerja Lini *Packaging* Yang Ergonomis Dengan Menggunakan Metode Simulasi

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

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Erlinda Muslim, MEE

Penguji : Ir. Sri Bintang Pamungkas, MSISE, PhD

Penguji : Ir. Akhmad Hidayatno, MBT

Penguji : Farizal, PhD

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : Juni 2010

## UCAPAN TERIMA KASIH

Puji dan syukur sebesar – besarnya saya panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa karena atas bimbingan, berkat, dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian ini dengan tepat waktu. Penelitian ini disusun dalam rangka melengkapi salah satu persyaratan untuk menyelesaikan Progam Pendidikan Sarjana di Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, penelitian ini tentunya mustahil dapat diselesaikan, oleh karena itu penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

- (1) Ir. Erlinda Muslim, MEE., selaku dosen pembimbing utama yang telah begitu banyak menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk membimbing penulis dari awal hingga akhir penelitian ini. Terimakasih juga atas semangat yang selalu ditanamkan kepada penulis selama melakukan penelitian
- (2) Ir. Boy Nurtjahyo Moch dan MSIE, Arian Dhini,ST.,MT, selaku pembimbing penelitian ergonomi yang membeikan banyak ide, masukan, dan pengarahannya bagi penulis selama melakukan penelitian.
- (3) Ir. Fauzia Dianawati dan Ir. Agung Prehadi yang telah memberikan ide – ide cemerlang dan masukan – masukan tentang pembuatan suatu karya tulis tugas akhir.
- (4) Ir. Sri Bintang P.,MSISE.,PhD, Ir. Akhmad Hidayatno, MBT, Farizal,PhD, selaku dosen penguji atas semua saran dan masukan yang diberikan kepada penulis.
- (5) Pak Zulfakar Ali, Pak Ari, Mba Atih, dan seluruh staff MED PT Unilever, selaku pembimbing penulis ketika melakukan penelitian yang telah banyak meluangkan waktu dan semua ilmu yang diberikan kepada penulis.
- (6) Seluruh pekerja pabrik Walls PT Unilever yang telah bersedia berkerja sama dan banyak membantu penulis dalam pengumpulan data.
- (7) Keluarga besar emak, mami, papi, cici, carolin yang telah mencurahkan segenap perhatian, kasih sayang, dan semangat tiada hentinya kepada penulis.

- (8) Asek dan Rondi yang telah meluangkan waktu dan tenaga mengajarkan penulis dengan sabar dalam membuat simulasi ProModel.
- (9) Venita, Jennifer, Herman teman seperjuangan penelitian PT.Unilever atas semangat yang selalu diberikan kepada penulis.
- (10) Teman – teman seperjuangan ergocen yang selalu memberikan keceriaan selama masa – masa penelitian, “you are the best guys”.
- (11) Rendra Saputra yang tidak pernah lelah mendengarkan keluh kesah dan selalu menjadi pendukung setia penulis di setiap langkah yang penulis ambil.

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

Depok, 21 Juni 2010

Penulis

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

---

---

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

Nama : Feronika  
NPM : 0606077144  
Program Studi : Teknik Industri  
Departemen : Teknik Industri  
Fakultas : Teknik  
Jenis Karya : Skripsi

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

**Perancangan Stasiun Kerja Lini *Packaging* Yang Ergonomis Dengan  
Menggunakan Metode Simulasi**

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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : Juni 2010

Yang Menyatakan

(Feronika)

## ABSTRAK

Nama : Feronika  
Program Studi : Teknik Industri  
Judul : Perancangan Stasiun Kerja Lini *Packaging* Yang Ergonomis  
Dengan Menggunakan Metode Simulasi

Perusahaan manufaktur merupakan jenis perusahaan yang melibatkan banyak pekerja terutama pada lini *packaging*. Keterlibatan banyak pekerja tersebut sering kali tidak didasarkan pada perhitungan jumlah optimal pekerja dan kondisi stasiun kerja yang tidak mendukung kenyamanan kerja yang ergonomis. Padahal kenyamanan kerja merupakan salah satu faktor penunjang performa dan produktivitas kerja. Untuk itu perlu dirancang stasiun kerja yang ergonomis dan penentuan jumlah pekerja yang optimal, sehingga efisiensi dan produktivitas meningkat. Dalam rangka mencapai kedua hal tersebut, maka dilakukan penelitian dengan menggunakan metode simulasi *software* Jack dan ProModel. Simulasi *software* Jack digunakan untuk menganalisis pengaruh perubahan rancangan stasiun kerja terhadap performa pekerja dengan indikator nilai PEI (*Posture Evaluation Index*), dimana tingkat kenyamanan tertinggi diperoleh pada nilai PEI terendah. Simulasi dengan menggunakan ProModel digunakan untuk menganalisis pengaruh jumlah pekerja dan kecepatan konveyor terhadap tingkat utilisasi masing-masing pekerja untuk kemudian menentukan jumlah pekerja dan kecepatan konveyor yang ideal, Sehingga didapat tingkat utilisasi yang tinggi dan seimbang pada stasiun kerja.

Kata Kunci: Lini *Packaging*, Simulasi, Ergonomi, Utilisasi, *Posture Evaluation Index*



## ABSTRACT

Name : Feronika  
Study Program: Industrial Engineering  
Title : Designing Ergonomic Packaging Line Workstation with Simulation Methods

Manufacture company involving lot of worker especially on its packaging line. It is often that the involvement of the workers doesn't be based on the optimal calculation and don't follow with the adjustment between workstation and the need of worker about convenience at work. Infract, convenience is one of the important factor which is supporting worker performance and productivity. So the ergonomic design of workstation and optimal calculation of worker on that ergonomic workstation are very crucial things to do because those things can create working convenience, efficiency, and high working productivity on that workstation. To make those things happen, this research is held with using two simulation methods. Two simulation methods are Jack simulation and ProModel simulation. Simulation with Jack is being used for analyzing the effect of workstation design changing on worker performance which is scored with PEI (Posture Evaluation Index) method. The result from Jack analysis is further use for deciding the workstation design where the highest level of convenience can be achieved at the lowest PEI score. Simulation with ProModel is being used for analyzing the effect of number of worker and conveyor speed to worker utilization and also for deciding the number of worker and conveyor speed which can give the highest and most balance worker utilization level.

Keywords: Packaging Line, Simulation, Ergonomic, Utilization, Posture Evaluation Index

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS .....</b>	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN .....</b>	<b>iv</b>
<b>UCAPAN TERIMA KASIH .....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS .....</b>	<b>vii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xvii</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN .....</b>	<b>xix</b>
<b>1. PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang Masalah .....	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah.....	6
1.3 Perumusan Masalah.....	8
1.4 Tujuan Penelitian.....	8
1.5 Ruang Lingkup Penelitian .....	9
1.6 Metodologi Penelitian.....	10
1.7 Sistematika Penulisan .....	14
<b>2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>16</b>
2.1 Sistem .....	16
2.1.1 Elemen Sistem.....	16
2.1.2 Sistem Kerja.....	17
2.1.3 Ukuran Performa Sistem.....	19
2.2 Ergonomi .....	20
2.2.1 Postur Kerja.....	22
2.2.2 <i>Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSD)</i> .....	23
2.2.3 <i>Low Back Pain</i> .....	25
2.2.4 Antropometri.....	25
2.2.4.1 Penggunaan Presentil Data Antropometri .....	28
2.2.5 Pendekatan Ergonomi Dalam Perancangan Stasiun Kerja.....	29
2.2.6 Stasiun Kerja yang Ergonomis.....	31
2.2.7 Konveyor Kerja yang Ergonomis.....	34
2.3 <i>Stopwatch Time Study</i> .....	36
2.4 <i>Method Time Measurement</i> .....	37
2.5 <i>Virtual Environment</i> .....	44
2.5.1 <i>Software Jack</i> .....	46
2.5.2 Metode <i>Posture Evaluation Index (PEI)</i> .....	49
2.5.2.1 <i>Static Strength Prediction (SSP)</i> .....	53
2.5.2.2 <i>Low Back Analysis (LBA)</i> .....	55
2.5.2.3 <i>Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)</i> .....	56
2.5.2.4 <i>Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)</i> .....	57
2.6 Simulasi .....	60

2.6.1	Prosedur Simulasi .....	63
2.6.1.1	Menentukan Tujuan, Ruang Lingkup, dan Kebutuhan.....	63
2.6.1.2	Mengumpulkan dan Menganalisis Data .....	63
2.6.1.3	Membangun Model.....	64
2.6.1.4	Memvalidasi Model.....	64
2.6.1.5	Mejalankan Percobaan.....	66
2.6.1.6	Menampilkan Hasil Akhir .....	66
2.6.2	Data dalam Simulasi .....	66
2.7	Simulasi ProModel .....	67
2.7.1	Elemen Model Simulasi ProModel .....	68
2.7.1.1	Lokasi .....	68
2.7.1.2	Entitas.....	68
2.7.1.3	<i>Resource</i> atau Sumber Daya.....	68
2.7.1.4	Kedatangan .....	68
2.7.1.5	Variabel .....	69
2.7.1.6	Proses.....	70
2.7.1.7	<i>Routing</i> .....	70
2.7.2	Konsep – Konsep Dasar Model Simulasi ProModel.....	70
2.7.2.1	<i>Temporary Attachment</i> .....	70
2.7.2.2	<i>Decision Statement</i> .....	71
2.7.3	<i>Output</i> Simulasi ProModel.....	71
<b>3.</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>73</b>
3.1	Gambaran Umum Perusahaan .....	73
3.1.1	Sejarah Perusahaan.....	73
3.1.2	Visi, Misi dan Tujuan Perusahaan .....	74
3.1.3	Lokasi.....	75
3.1.4	Produk dan Pemasaran .....	75
3.1.5	Organisasi.....	78
3.1.6	Ketenagakerjaan dan Kesejahteraan Karyawan .....	80
3.1.6.1	Ketenagakerjaan .....	80
3.1.6.2	Fasilitas dan Kesejahteraan Karyawan .....	81
3.2	Pabrik Es Krim Wall's.....	82
3.2.1	Lokasi Pabrik .....	83
3.2.2	Struktur Organisasi Pabrik Es Krim Wall's .....	83
3.2.3	Proses Produksi Es Krim Wall's .....	84
3.2.4	Lini <i>Packaging</i> Es Krim Mini Conetto Wall's .....	86
3.2.5	Data <i>Work Environment</i> .....	87
3.3.	Identifikasi Permasalahan.....	88
3.4	Pengumpulan Data.....	92
3.5	Data Input Model Digital <i>Virtual Simulation Jack</i> .....	94
3.5.1	Data Stasiun Kerja ( <i>Workstation</i> ) .....	94
3.5.1.1	Spesifikasi Rangkaian Konveyor.....	94
3.5.1.2	Ukuran Konveyor Besar .....	96
3.5.1.3	Ukuran Konveyor Kecil.....	97
3.5.1.4	Ukuran Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton .....	97
3.5.1.5	Ukuran Kursi <i>Packer</i> .....	98
3.5.1.6	Ukuran Krat Es Krim.....	99



3.8.3.2 Validasi Model .....	153
<b>4. ANALISIS.....</b>	<b>155</b>
4.1 Analisis Hasil Pengolahan Data <i>Digital Virtual Simulation</i> dengan Menggunakan Jack.....	155
4.1.1 Analisis Kondisi Aktual .....	156
4.1.1.1 Analisis Kondisi Aktual Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton .....	156
4.1.1.2 Analisis Kondisi Aktual Proses Kerja pada Konveyor Besar....	161
4.1.1.3 Analisis Kondisi Aktual Proses Kerja pada Konveyor Kecil....	165
4.1.2 Analisis Kondisi Usulan.....	170
4.1.2.1 Analisis Kondisi Usulan Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton .....	171
4.1.2.2 Analisis Kondisi Usulan Proses Kerja pada Konveyor Besar ...	176
4.1.2.3 Analisis Kondisi Usulan Proses Kerja pada Konveyor Kecil....	181
4.1.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Rekomendasi.....	187
4.1.3.1 Analisis Perbandingan Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual dan Rekomendasi.....	187
4.1.3.2 Analisis Perbandingan Proses Kerja pada Konveyor Besar Aktual dan Rekomendasi .....	189
4.1.3.3 Analisis Perbandingan Proses Kerja pada Konveyor Kecil Aktual dan Rekomendasi.....	192
4.1.4 Analisis Stasiun Kerja Ideal yang Direkomendasikan.....	194
4.2 Analisis Hasil Pengolahan Data <i>Discreet Event Simulation</i> dengan Menggunakan ProModel .....	195
4.2.1 Analisis Model dengan Jumlah Personil Aktual .....	196
4.2.2 Analisis Model dengan Jumlah Personil Usulan.....	199
4.2.3 Analisis Model dengan Jumlah Personil dan Kecepatan Konveyor Usulan.....	203
4.2.4 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan .....	206
<b>5. KESIMPULAN.....</b>	<b>208</b>
5.1 Kesimpulan.....	208
5.2 Saran .....	210
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>212</b>

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b> Diagram Keterkaitan Masalah .....	7
<b>Gambar 1.2</b> Diagram Alir Metodologi Penelitian .....	12
<b>Gambar 2.1</b> Hubungan antar Elemen dalam Sistem.....	16
<b>Gambar 2.2</b> Antropometri Tubuh Manusia .....	27
<b>Gambar 2.3</b> Area Kerja Ideal.....	34
<b>Gambar 2.4</b> Ketinggian Konveyor Kerja Berdasarkan Ketinggian Benda Kerja	35
<b>Gambar 2.5</b> Ketinggian dan Lebar Ideal bagian Bawah Konveyor Kerja.....	35
<b>Gambar 2.6</b> Penggunaan Konveyor pada Kedua Sisi.....	35
<b>Gambar 2.7</b> Diagram Alur Penggunaan Metode PEI .....	50
<b>Gambar 2.8</b> Tampilan SSP pada Software Jack .....	54
<b>Gambar 2.9</b> Kode OWAS untuk Berbagai Bagian Tubuh .....	56
<b>Gambar 2.10</b> Pengelompokan Tubuh Metode RULA .....	58
<b>Gambar 2.11</b> Dialog Box RULA.....	59
<b>Gambar 3.1</b> Produk <i>Home and Personal Care</i> .....	76
<b>Gambar 3.2</b> Produk Unilever <i>Food and IC</i> .....	77
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Pemasaran Produk PT Unilever Indonesia, Tbk .....	77
<b>Gambar 3.4</b> Struktur Organisasi Pabrik Es Krim Wall's.....	84
<b>Gambar 3.5</b> Tata Letak Lini Produksi dan Lini <i>Packaging</i> Mini Cornetto.....	87
<b>Gambar 3.6</b> Tata Letak <i>Packer</i> dalam Lini <i>Packaging</i> Kotak Karton Mini Cornetto.....	87
<b>Gambar 3.7</b> Tampak Depan Partisi Rangkaian Konveyor .....	94
<b>Gambar 3.8</b> Tampak Samping Partisi Rangkaian Konveyor.....	95
<b>Gambar 3.9</b> Tampak Atas Partisi Rangkaian Konveyor .....	95
<b>Gambar 3.10</b> Tiga Dimensi Partisi Rangkaian Konveyor .....	96
<b>Gambar 3.11</b> Tiga Dimensi Konveyor Besar .....	96
<b>Gambar 3.12</b> Tiga Dimensi Konveyor Kecil.....	97
<b>Gambar 3.13</b> Tiga Dimensi Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton dan Pijakan Kaki .....	98
<b>Gambar 3.14</b> Tiga Dimensi Kursi <i>Packer</i> .....	98
<b>Gambar 3.15</b> Krat Es Krim.....	100
<b>Gambar 3.16</b> Lembaran Kotak Karton .....	100
<b>Gambar 3.17</b> Kotak Karton .....	101
<b>Gambar 3.18</b> Cone Es Krim .....	101
<b>Gambar 3.19</b> Layout Work Station Lini <i>Packaging</i> .....	102
<b>Gambar 3.21</b> Hasil Uji Normalitas Berat Tinggi Badan .....	104
<b>Gambar 3.20</b> Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan.....	104
<b>Gambar 3.22</b> Postur Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton.....	115
<b>Gambar 3.23</b> Postur Kerja pada Konveyor Besar .....	116
<b>Gambar 3.24</b> Postur Kerja pada Konveyor Kecil.....	116
<b>Gambar 3.25</b> <i>Lay Out</i> Lini <i>Packaging</i> Mini Cornetto.....	117
<b>Gambar 3.26</b> <i>Lay Out</i> dan Penomoran <i>Packer</i> dalam Lini <i>Packaging</i> Mini Cornetto.....	118
<b>Gambar 3.27</b> Aliran Proses <i>Cone</i> Es Krim.....	120
<b>Gambar 3.28</b> Aliran Kerja <i>Packer</i> dan Pengelompokannya .....	122

<b>Gambar 3.29</b> Hasil Uji Distribusi Data Stat Fit.....	125
<b>Gambar 3.30</b> Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi Jack.....	127
<b>Gambar 3.31</b> Perbandingan Posisi Meja Kerja Lembaran Kotak Karton Aktual dengan Konfigurasi dalam <i>Software Jack</i> .....	131
<b>Gambar 3.32</b> Perbandingan Tinggi Meja Kerja Aktual dengan Konfigurasi dalam <i>Software Jack</i> .....	131
<b>Gambar 3.33</b> Gambar Aktual dan Grafis Stasiun dan Benda Kerja .....	132
<b>Gambar 3.34</b> <i>Virtual Human</i> Ukuran Persentil 50 .....	133
<b>Gambar 3.35</b> Perbandingan Posisi dan Postur Kerja Untuk Tiap-Tiap Kelompok Proses oleh <i>Virtual Human</i> dan Aktual.....	134
<b>Gambar 3.36</b> <i>Animation System</i> pada Konfigurasi Aktual Kelompok Proses pada Konveyor Kecil .....	135
<b>Gambar 3.37</b> Verifikasi Model Simulasi.....	136
<b>Gambar 3.38</b> Penambahan Beban Ektrim .....	138
<b>Gambar 3.39</b> Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ektrim..	138
<b>Gambar 3.40</b> Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ektrim	139
<b>Gambar 3.41</b> Kotak Dialog <i>Loads and Weights</i> .....	141
<b>Gambar 3.42</b> Kotak Dialog <i>Loads and Weights</i> pada Konveyor Kecil Konfigurasi .....	141
<b>Gambar 3.43</b> Persentase Kapabilitas pada Konveyor Kecil Konfigurasi Aktual .....	142
<b>Gambar 3.44</b> Hasil Analisis Nilai LBA Ektrim untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil.....	143
<b>Gambar 3.45</b> Hasil Analisis Nilai OWAS Ektrim untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil.....	143
<b>Gambar 3.46</b> Hasil Analisis Nilai RULA Ektrim untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil.....	144
<b>Gambar 3.47</b> <i>Flowchart</i> Tahapan Kerja Simulasi ProModel .....	145
<b>Gambar 3.48</b> Tahapan Pembuatan Model Simulasi ProModel .....	147
<b>Gambar 3.49</b> Jenis – Jenis Lokasi dalam Model Simulasi .....	148
<b>Gambar 3.50</b> Jenis – Jenis Entitas dalam Model Simulasi .....	148
<b>Gambar 3.51</b> Tampilan Variabel dalam Simulasi .....	150
<b>Gambar 3.52</b> Contoh <i>Logic Model</i> .....	151
<b>Gambar 3.53</b> Tampilan Sebelum Model Simulasi Dijalankan .....	151
<b>Gambar 3.54</b> Tampilan Sesudah Model Simulasi Dijalankan.....	151
<b>Gambar 3.55</b> Tampilan <i>Output</i> Performa Entitas.....	152
<b>Gambar 3.56</b> Tampilan <i>Output</i> Performa <i>Resource</i> .....	152
<b>Gambar 4.1</b> Model Simulasi Kondisi Aktual Pada Meja Peletakkan Kotak Karton .....	157
<b>Gambar 4.2</b> Model Simulasi Kondisi Aktual Konveyor Besar .....	161
<b>Gambar 4.3</b> Model Simulasi Kondisi Aktual Konveyor Kecil.....	166
<b>Gambar 4.4</b> Perbandingan Nilai PEI Kondisi Aktual.....	170
<b>Gambar 4.5</b> Perbandingan Jumlah Meja Peletakkan Lembaran Kotak Katon Aktual dan Usulan.....	172
<b>Gambar 4.6</b> Perbandingan Nilai PEI Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Usulan .....	176
<b>Gambar 4.7</b> Perbandingan Nilai PEI Proses Kerja pada Konveyor Besar Usulan .....	181

<b>Gambar 4.8</b>	Perbandingan Nilai PEI Proses Kerja pada Konveyor Kecil Usulan .....	186
<b>Gambar 4.9</b>	Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton .....	187
<b>Gambar 4.10</b>	Perbandingan Postur Kerja Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton .....	189
<b>Gambar 4.11</b>	Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Besar .....	190
<b>Gambar 4.12</b>	Perbandingan Postur Kerja Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Besar .....	191
<b>Gambar 4.13</b>	Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Kecil .....	192
<b>Gambar 4.14</b>	Perbandingan Postur Kerja Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Kecil .....	194
<b>Gambar 4.15</b>	Rancangan Stasiun Kerja Lini <i>Packaging</i> yang Direkomendasikan dalam Satuan Centimeter .....	195
<b>Gambar 4.16</b>	Tampilan Output ProModel pada Kondisi Entitas Model Aktual	197
<b>Gambar 4.17</b>	Tampilan Output ProModel pada Tingkat Pemanfaatan Resource Model Aktual .....	197
<b>Gambar 4.18</b>	Tingkat Utilisasi Setiap <i>Packer</i> pada Model Aktual .....	198
<b>Gambar 4.19</b>	Perbandingan Output Produksi antara Model dengan Jumlah <i>Packer</i> yang Berbeda .....	201
<b>Gambar 4.20</b>	Tingkat Utilisasi Setiap <i>Packer</i> pada Model 18 <i>Packer</i> .....	202
<b>Gambar 4.21</b>	Tingkat Utilisasi Setiap <i>Packer</i> pada Model 16 <i>Packer</i> .....	202
<b>Gambar 4.22</b>	Perbandingan antara Tingkat Output Produksi Model 16 <i>Packer</i> dengan Kecepatan – Kecepatan yang Diusulkan .....	204
<b>Gambar 4.23</b>	Perbandingan Tingkat Standar Deviasi Utilisasi <i>Packer</i> Rata – Rata pada Model 16 <i>Packer</i> dengan Kecepatan – Kecepatan yang Diusulkan .....	205
<b>Gambar 4.24</b>	Tampilan Output Promodel Tingkat Utilisasi 16 <i>Packer</i> pada Kecepatan Rekomendasi .....	206



## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b> Postur Kerja dan Keluhan Sakit pada Tubuh .....	22
<b>Tabel 2.2</b> Postur Kerja yang Diutamakan pada Beberapa Tipe Pekerjaan.....	23
<b>Tabel 2.3</b> Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Berdiri .....	32
<b>Tabel 2.4</b> Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Duduk.....	33
<b>Tabel 2.5</b> Ketinggian Meja Kerja Ergonomis untuk Posisi Berdiri dan Duduk...	34
<b>Tabel 2.6</b> Eye Travel Time dan Eye Focus – ET dan EF .....	40
<b>Tabel 2.7</b> Reach – R .....	40
<b>Tabel 2.8</b> Move – M.....	41
<b>Tabel 2.9</b> Turn dan Apply Pressure – T dan AP .....	42
<b>Tabel 2.10</b> Grasp – G .....	42
<b>Tabel 2.11</b> Position – P .....	43
<b>Tabel 2.12</b> Release – R.....	43
<b>Tabel 2.13</b> Disengage – D .....	43
<b>Tabel 2.14</b> Gerakan Tubuh, Telapak Kaki, Dan Kaki.....	44
<b>Tabel 2.15</b> Pembobotan nilai pada OWAS .....	57
<b>Tabel 2.16</b> Pembobotan nilai pada RULA .....	60
<b>Tabel 3.1</b> Data Work Environment .....	88
<b>Tabel 3.2</b> Data Fatigue Hasil Anamnesa Ergonomi .....	88
<b>Tabel 3.3</b> Hasil Pembobotan Nilai Keluhan Masing – Masing <i>Packer</i> .....	91
<b>Tabel 3.4</b> Data Tinggi dan Berat Badan Pekerja.....	103
<b>Tabel 3.5</b> Data Tinggi dan Berat Badan berdasarkan Persentil.....	105
<b>Tabel 3.6</b> Data Antropometri Persentil 5, 50, dan 95.....	105
<b>Tabel 3.7</b> Hasil Pilot time study.....	107
<b>Tabel 3.8</b> Peta Operator Proses <i>Packaging</i> Kotak Karton Mini Cornetto .....	110
<b>Tabel 3.9</b> Time Study per Kelompok Kerja .....	113
<b>Tabel 3.10</b> Jarak Ergonomis antar <i>Packer</i> di dalam Lini <i>Packaging</i> Mini Cornetto .....	119
<b>Tabel 3.11</b> Interval Kedatangan Krat Es Krim ke dalam Konveyor .....	123
<b>Tabel 3.12</b> Perhitungan Ketinggian Meja Ideal .....	129
<b>Tabel 3.13</b> Perhitungan Elemen Tempat Kerja Ideal.....	130
<b>Tabel 3.14</b> Ringkasan Ukuran Konfigurasi.....	130
<b>Tabel 3.15</b> Nilai Analisis Ergonomi untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil.....	145
<b>Tabel 3.16</b> Jenis – Jenis Lokasi dalam Model Simulasi.....	147
<b>Tabel 3.17</b> Jenis – Jenis Entitas dalam Model Simulasi .....	148
<b>Tabel 4.1</b> Output Nilai SSP Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual .....	158
<b>Tabel 4.2</b> Rekapitulasi Nilai Ergonomi Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual .....	158
<b>Tabel 4.3</b> Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual .....	159
<b>Tabel 4.4</b> Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual .....	159

<b>Tabel 4.5</b>	Output Nilai SSP Proses Kerja pada Konveyor Besar Aktual .....	162
<b>Tabel 4.6</b>	Rekapitulasi Nilai Ergonomi Proses Kerja pada Konveyor Besar Aktual .....	162
<b>Tabel 4.7</b>	Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Besar Aktual.....	163
<b>Tabel 4.8</b>	Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Besar Aktual.....	164
<b>Tabel 4.9</b>	Output Nilai SSP Proses Kerja pada Konveyor Kecil Aktual.....	166
<b>Tabel 4.10</b>	Rekapitulasi Nilai Ergonomi Proses Kerja pada Konveyor Kecil Aktual .....	167
<b>Tabel 4.11</b>	Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Aktual ...	167
<b>Tabel 4.12</b>	Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Aktual ....	168
<b>Tabel 4.13</b>	Rekapitulasi Ukuran Rancangan Usulan Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton .....	172
<b>Tabel 4.14</b>	Rekapitulasi Nilai Ergonomi Meja Kerja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Usulan.....	173
<b>Tabel 4.15</b>	Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Usulan .....	174
<b>Tabel 4.16</b>	Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Usulan .....	174
<b>Tabel 4.17</b>	Rekapitulasi Ukuran Rancangan Ketinggian Total Konveyor Besar	177
<b>Tabel 4.18</b>	Rekapitulasi Nilai Ergonomi Konveyor Besar Usulan .....	177
<b>Tabel 4.19</b>	Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Besar Usulan ..	178
<b>Tabel 4.20</b>	Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Besar Usulan ...	179
<b>Tabel 4.21</b>	Rekapitulasi Ukuran Rancangan Ketinggian Total Konveyor Kecil	182
<b>Tabel 4.22</b>	Rekapitulasi Nilai Ergonomi Konveyor Kecil Usulan.....	182
<b>Tabel 4.23</b>	Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Usulan...	183
<b>Tabel 4.24</b>	Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Usulan....	184
<b>Tabel 4.25</b>	Perbandingan Nilai – Nilai Ergonomi Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton.....	188
<b>Tabel 4.26</b>	Perbandingan Nilai – Nilai Ergonomi Proses Kerja Pada Konveyor Besar .....	190
<b>Tabel 4.27</b>	Perbandingan Nilai – Nilai Ergonomi Proses Kerja Pada Konveyor Kecil.....	192
<b>Tabel 4.28</b>	Kondisi Entitas Model 18 <i>Packer</i> .....	200
<b>Tabel 4.29</b>	Kondisi Entitas Model 16 <i>Packer</i> .....	200
<b>Tabel 4.30</b>	Kondisi Entitas Model 14 <i>Packer</i> .....	200
<b>Tabel 4.31</b>	Rekapitulasi Tingkat Ouput Produksi Model 16 <i>Packer</i> dengan Kecepatan yang Diusulkan .....	203
<b>Tabel 4.32</b>	Rekapitulasi Tingkat Standar Deviasi Utilisasi <i>Packer</i> Rata – Rata pada Model 16 <i>Packer</i> dengan Kecepatan – Kecepatan yang Diusulkan.....	204
<b>Tabel 4.33</b>	Rekapitulasi Perbandingan antara Kondisi Sistem Aktual dan Rekomendasi .....	207

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Contoh Laporan Jack

Lampiran 2 Contoh Laporan ProModel

Lampiran 3 Kuesioner Anamnesa Ergonomi



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang berisikan latar belakang pemilihan topik penelitian dan penjelasan lainnya yang mendasari penelitian. Penjelasan lainnya yang menjadi dasar dalam penelitian ini antara lain permasalahan, tujuan, dan metodologi yang digunakan dalam penelitian.

### **1.1 LATAR BELAKANG MASALAH**

Krisis ekonomi global yang terjadi pada negara – negara maju di dunia turut pula membawa dampak bagi perkembangan industri – industri di Indonesia. Krisis ekonomi global menyebabkan ekonomi di negara maju melemah sehingga mengakibatkan pasar ekspor menyusut dan sebagian besar industri manufaktur yang berorientasi ekspor mulai dilanda kelesuan. Selain tantangan krisis ekonomi global, industri Indonesia juga di hadapkan kepada tantangan yang besar di pasar domestik yang selama ini menjadi penyelamat bagi sektor industri manufaktur yang kehilangan pasar ekspor yaitu diberlakukannya AFTA. Mulai Januari 2010, pasar bebas Asean Cina ( ASEAN-CHINA Free Trade Area) mulai diberlakukan, dengan membebaskan bea masuk bagi produk Cina yang akan masuk ke pasar ASEAN termasuk Indonesia. Masuknya AFTA merupakan ancaman bagi produk dalam negeri dikarenakan daya saing harga produk China yang sangat berani membuat produk – produk China mudah sekali mengambil pasar produk dalam negeri.

Walaupun terjadi kemerosotan di dalam beberpa sektor industri seperti industri tekstil, migas, dan baja, namun masih ada pula sektor industri Indonesia yang dapat bertahan dan kebal terhadap ancaman – ancaman perekonomian tersebut sehingga membuat tingkat pertumbuhan industri Indonesia masih positif. Pertumbuhan positif sektor industri pengolahan terutama ditopang oleh kenaikan sektoir industri makanan, minuman dan tembakau yang tumbuh masih tinggi yaitu sebesar 13,3% (*Indonesian Commercial Newslatter*, 2009). Pertumbuhan yang tinggi terjadi karena permintaan yang masih tinggi dan harga yang cenderung meningkat. Selain itu Menurut Ketua Gabungan Pengusaha Makanan dan

Minuman Indonesia (Gapmmi) Bidang Kerja Sama dan Advokasi Adhi S Lukman (2010), untuk impor makanan dan minuman sedikit rumit daripada produk lain karena harus melalui serangkaian prosedur izin dari BPOM dan uji kehalalan, bahkan Badan Karantina sehingga dampak AFTA tidak terlalu berpengaruh terhadap industri makanan.

Pertumbuhan positif industri makanan ini disertai dengan peningkatan permintaan terhadap produk - produk makanan yang diperkirakan akan meningkat sebanyak 20% untuk tahun 2010. Peningkatan permintaan ini haruslah disertai dengan peningkatan efisiensi dan produktivitas dari industri makanan itu sendiri agar dapat mempertahankan daya saing industri dalam negeri tersebut sekaligus mengoptimalkan keuntungan. Salah satu komponen yang kritical dalam masalah peningkatan efisiensi dan produktivitas suatu perusahaan adalah sumber daya manusia.

Walaupun saat sekarang ini terjadi pengembangan teknologi produksi yang meningkat cepat, tetapi elemen manusia masih saja merupakan komponen kerja yang signifikan dalam suatu sistem produksi. Kemajuan teknologi secara konkrit membawa perubahan terhadap rancangan kerja (*job design*) dari yang bersifat manual menjadi mekanis (*semi automatic*) ataupun otomatis penuh (*fully - automatic*). Hal ini dilakukan dengan jalan menggantikan fungsi dan peran manusia (*operator*) dengan mesin baik sebagai sumber energi maupun kendali kerja. Sekalipun demikian, baik dalam sektor manufaktur maupun jasa pelayanan (*service*) peran manusia masih juga lebih diandalkan sebagai komponen kerja dalam proses produksi.

Kenyataan yang terjadi saat ini merupakan kontradiksi dari pentingnya peranan manusia, banyak sekali perusahaan manufaktur hanya mengejar produktivitas yang tinggi dengan meningkatkan kapasitas produksi dan kapasitas mesin tanpa memperhatikan faktor manusia dalam sistem kerja. Kerap kali pula perusahaan hanya memperhatikan rancangan kerja mesin agar dapat menghasilkan hasil yang maksimal tanpa memperhatikan rancangan kerja manusia yang terlibat sebagai bagian dari keseluruhan proses kerja tersebut.

Kurangnya perhatian perusahaan pada faktor rancangan kerja manusia ini dapat menyebabkan timbulnya ketidaknyamanan kerja bagi manusia yang

berujung pada timbulnya penyakit dan keluhan kesehatan. Hal ini kedepannya jika tidak dilakukan suatu perbaikan dapat menyebabkan kerugian bagi perusahaan itu sendiri seperti terhambatnya proses produksi akibat kelalaian pekerja yang disebabkan ketidaknyamanan ketika bekerja, tambahan biaya kompensasi bagi pekerja yang sakit, dan kerugian bagi perusahaan akibat munculnya kecelakaan kerja.

Oleh karena itu, untuk memperoleh suatu sistem kerja yang ideal yang memperhatikan aspek produktivitas dan kenyamanan pekerja diperlukan suatu perancangan kerja. Perancangan kerja (*work design*) bertujuan untuk menentukan metode terbaik dalam melaksanakan operasi – operasi kerja yang diperlukan dalam proses produksi. Langkah perancangan kerja pada hakikatnya merupakan tahapan paling kritis pada suatu perancangan sistem produksi. Lebih lanjut, pengembangan teknologi baik itu perangkat keras maupun lunak yang dapat mengurangi biaya produksi, introduksi produk – produk baru, dan kebutuhan untuk bisa mengantisipasi lingkungan industri yang dinamis serta suasana kompetisi yang semakin ketat, membuat perancangan kembali tata cara dan prosedur kerja menjadi suatu upaya yang vital, penting, dan bernilai strategis dalam meraih performa sistem produksi yang lebih baik lagi.

Secara garis besar maksud dilaksanakan suatu perancangan kerja (*work design*) adalah untuk meningkatkan produktivitas dan performa kerja dari seluruh sistem produksi yang dicapai melalui:

- Pengembangan tata cara kerja (*work methods*) lebih efektif dan efisien terutama ditujukan untuk aktivitas operasional yang diperlukan dalam proses produksi. Selain itu juga ditujukan untuk menghindari aktivitas operasional yang tidak bermanfaat, waktu tunggu (*delay*), dan *non productive* ataupun tidak terkait langsung dengan proses pemberian nilai tambah.
- Pengaturan kondisi kerja lingkungan kerja yang lebih ergonomis sehingga mampu memberikan kenyamanan dalam arti fisik maupun sosial psikologis.
- Pemanfaatan dan pendayagunaan secara maksimal semua potensi sumber daya manusia secara terorganisir melalui analisis penugasan secara tepat. Hal ini menuntut diperlukannya suatu kesesuaian antara kemampuan dan pengalaman

seseorang dengan spesifikasi persyaratan tugas yang menjadi landasan keberhasilan pelaksanaan aktivitas – aktivitas operasional.

Selain diperlukannya suatu perancangan kerja, hal yang tidak kalah penting untuk dapat menciptakan lingkungan kerja yang produktif sekaligus memberikan kenyamanan bagi pekerjanya adalah penambahan aspek ergonomi dalam rancangan lingkungan kerja itu sendiri. Ergonomi ialah suatu ilmu yang mempelajari interaksi antara manusia dengan lingkungan dan alat kerja yang dipakai sehingga dapat berperan untuk menyelesaikan masalah ketidakserasian antara manusia dengan peralatan yang digunakan olehnya<sup>38</sup>. Ergonomi juga berfokus pada peningkatan produktivitas dan kualitas sistem kerja dengan memperhatikan kemampuan dan keterbatasan dari manusia pada sistem kerja tersebut.

Industri Es Krim merupakan salah satu industri makanan yang telah dijelaskan sebelumnya merupakan salah satu industri Indonesia yang tingkat permintaannya kian meningkat dan tidak terpengaruh ancaman - ancaman perekonomian global. Karakteristik dari industri Es Krim ini adalah industri padat mesin atau kebanyakan proses produksinya dilakukan oleh mesin. Namun walaupun demikian terdapat beberapa proses di di dalam industri ini yang harus dilakukan oleh manusia dan tidak dapat digantikan dengan mesin yaitu proses kerja pada lini *packaging*. Lini *packaging* merupakan lini yang paling banyak membutuhkan peran manusia pada keseluruhan prosesnya. Jumlah manusia yang banyak pada lini *packaging* dikarenakan belum ditemukannya teknologi yang dapat menggantikan peran manusia dalam proses kerja *packaging*, dan selain itu juga manusia yang banyak dibutuhkan untuk menyeimbangkan *output* dari mesin produksi pada lini produksi sebelum lini *packaging*.

Walaupun manusia merupakan aspek terpenting dalam lini *packaging* ini, namun perhatian perusahaan terhadap nyaman kerja manusia tersebut sering dilupakan. Stasiun kerja lini *packaging* kerap kali kurang dapat memberikan kenyamanan yang disebabkan karena berbagai faktor salah satunya adalah rancangan tempat kerja yang tidak sesuai postur tubuh dan aspek kenyamanna kerja lainnya.

---

<sup>38</sup> Bridger.R.S, *Introduction to Ergonomcs*, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal..1.

Permasalahan lainnya yang ada dalam lini *packaging* ini adalah adanya ketidakseimbangan kemampuan menghasilkan *output* antara mesin dan manusia pada lini *packaging*. Untuk mengatasi hal tersebut, perusahaan kerap kali mengambil keputusan untuk menambah jumlah pekerja sebanyak – banyaknya pada lini *packaging* ini tanpa memperhatikan kelayakan dari stasiun kerja yang ada. Keputusan penambahan jumlah pekerja yang banyak ini memang dapat menyelesaikan masalah ketidakseimbangan *output* mesin dan manusia namun memunculkan masalah – masalah baru antara lain ketidaknyamanan bekerja. Ketidaknyamanan kerja tersebut merupakan dampak dari rancangan tempat kerja yang tidak sesuai dengan kapasitas personal yang ada di dalamnya dan kurang mendukung performa kerja karena menimbulkan postur kerja yang tidak ergonomis.

Tempat kerja yang tidak nyaman secara jangka panjang dapat menimbulkan keluhan muskuloskeletal atau WMSD (*Work-Related Musculoskeletal Disorder*) sering juga dinamakan sebagai RSI (*Repetitive Strain Injuries*), CTD (*Cumulative Trauma Disorders*) dan RMI (*Repetitive Motion Injury*). WMSD merupakan pengelompokan dari suatu penyakit atau kelainan yang disebabkan oleh kegiatan berulang (bergerak, bersikap, dan lain-lain), pekerjaan yang statis, pemuatan yang terus-menerus pada struktur jaringan, kurangnya pemicu waktu penyembuhan, atau proses patologis (yang menimbulkan sakit) yang telah berlangsung lama<sup>39</sup>.

Dampak negatif lainnya akibat ketidaknyamanan tempat kerja antara lain munculnya kesalahan – kesalahan kerja akibat lingkungan kerja yang kurang memberikan keleluasaan bergerak bagi pekerjanya, dan tidak teraturnya sistem kerja dimana pekerja sering kali melakukan pekerjaan tidak sesuai urutan kerja akibat konsentrasi yang menurun karena lingkungan kerja yang tidak nyaman.

Penambahan jumlah pekerja tanpa pertimbangan yang tepat dalam jangka panjang dapat pula menimbulkan kerugian bagi perusahaan yaitu adanya pemborosan. Pemborosan ini terjadi karena penempatan jumlah pekerja yang banyak untuk menjaga keseimbangan *output* tidak berdasarkan perhitungan yang

---

<sup>39</sup> Hagberg. Mats et al, *Work Related Musculoskeletal Disorders (WMSDs); A Reference Book for Prevention*, Taylor & Francis, London, 1997, p.6



optimal sehingga seringkali yang didapat adalah pemborosan karena pekerja yang diperkerjakan menganggur akibat sistem kerja sudah cukup ditangani oleh beberapa orang saja atau kelebihan pekerja.

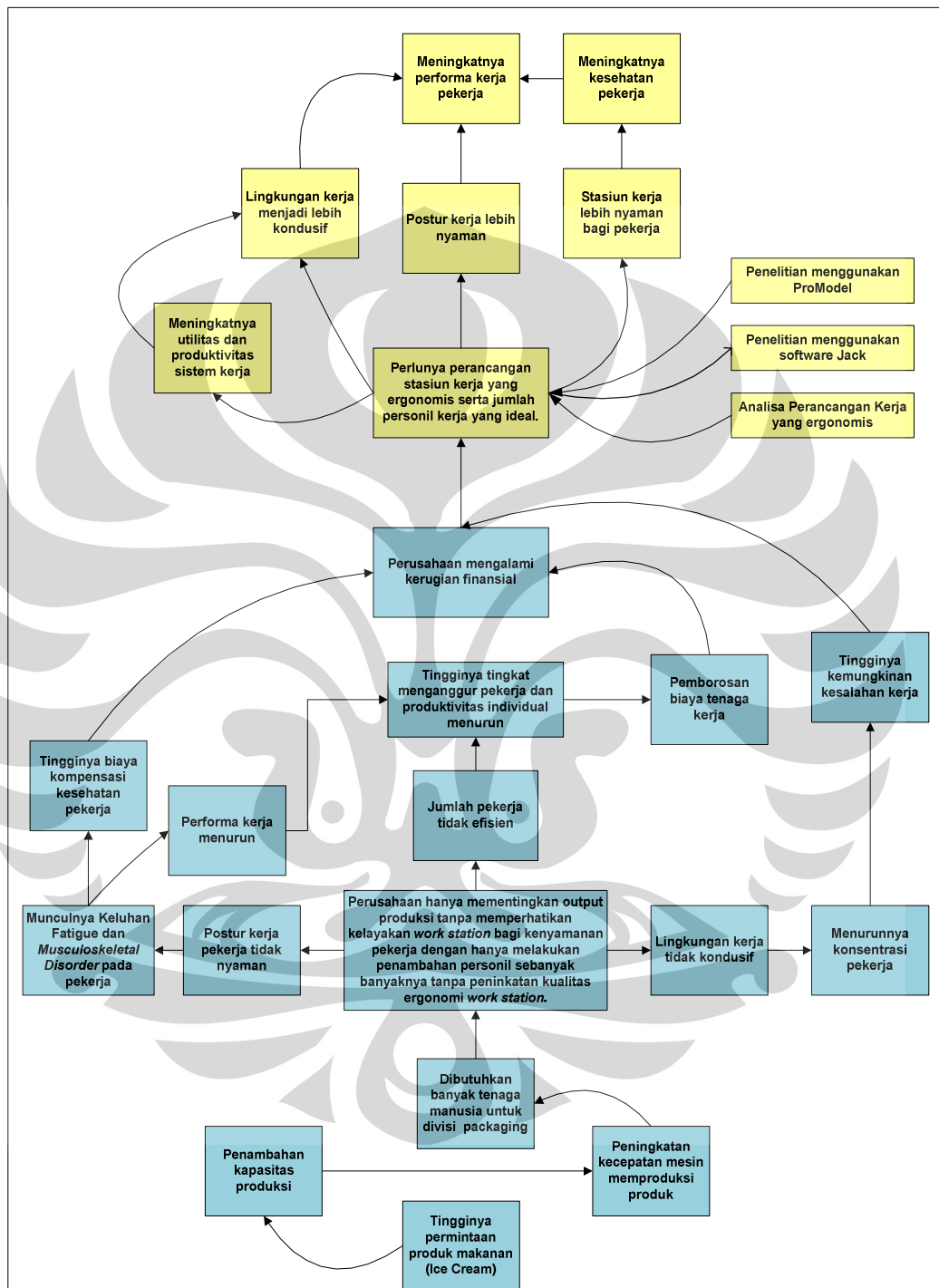
Berdasarkan pertimbangan – pertimbangan tersebut , maka diperlukan suatu perancangan kembali terhadap rancangan sistem kerja lini *packaging* tersebut secara menyeluruh dan komprehensif dimulai yang meliputi perancangan stasiun kerja atau *workstation* yang paling ergonomis bagi pekerja sehingga memberikan performa yang optimal dalam melakukan operasi kerjanya dan penentuan jumlah pekerja yang paling optimal pada lini *packaging* yang dapat mendukung keseimbangan *output* mesin dan manusia berdasarkan pertimbangan ergonomi dan optimasi.

Penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan metode simulasi virtual. Untuk mendapatkan rancangan tempat kerja yang ideal bagi pekerjanya berdasarkan tinjauan nilai postur yang ergonomis maka digunakan metode simulasi virtual menggunakan *software* Jack. Penggunaan metode simulasi virtual merupakan suatu cara dalam membuat suatu rekomendasi penyesuaian pada stasiun kerja lini *packaging* tanpa perlu melakukan penerapan secara langsung kepada subjek dan lingkungan yang aktual. Sedangkan untuk analisis jumlah personil yang optimal untuk ditempatkan pada lini *packaging* ini digunakan ProModel. ProModel membuat suatu sistem dapat divisualisasikan , dievaluasi, dan kemudian dioptimalisasikan berdasarkan hasil tingkat performa sistem yang dapat dihasilkan dengan tingkat sumber daya – sumber daya tertentu dalam hal ini adalah pekerja dari lini *packaging*. Hasil perbaikan dan usulan karakteristik tempat kerja yang ergonomis dan jumlah personil melalui metode simulasi virtual ini diharapkan akan menjadi acuan yang ideal bagi pengembangan rancangan stasiun kerja lini *packaging* Es Krim yang ada di Indonesia.

## 1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH

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

secara utuh dan detail mulai dari penyebab masalah hingga tujuan yang ingin dicapai.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah

### 1.3 PERUMUSAN MASALAH

Diagram keterkaitan masalah yang telah disusun di atas secara jelas menunjukkan bahwa terdapat masalah perancangan sistem kerja yang kurang optimal dalam menentukan rancangan stasiun kerja sehingga memberikan ketidaknyamanan bagi pekerja dan juga kurang optimalnya dalam menentukan jumlah personil yang dibutuhkan pada lini *packaging*. Masalah ini diangkat menjadi topik penelitian dikarenakan pentingnya masalah ini untuk segera diselesaikan dan ditemukan solusinya, sebab untuk jangka panjangnya masalah ini dapat menimbulkan kerugian secara finansial bagi perusahaan itu sendiri. Kerugian finansial tersebut muncul akibat penurunan produktivitas akibat penurunan performa kerja pekerjanya yang disebabkan oleh gangguan kesehatan dan konsentrasi yang muncul dari minimnya perhatian terhadap aspek ergonomi kerja dan juga kerugian karena pemborosan biaya tenaga kerja dikarenakan tidak optimalnya penentuan jumlah personil kerja.

Penelitian akan difokuskan pada lini *packaging* dengan tinjauan aspek spesifikasi stasiun kerja, aktivitas kerja pekerja, waktu baku pekerja, dan target produksi untuk mendapatkan suatu rancangan sistem kerja yang memiliki tingkat utilisasi, efisiensi, ergonomi, dan produktivitas yang tinggi.

### 1.4 TUJUAN PENELITIAN

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Tujuan yang berupa *output* adalah:
  - Model manusia virtual pekerja dan model simulasi kerja yang disertai dengan skor PEI hasil penilaian postur kerja para pekerja di lini *packaging* industri Es Krim. Model simulasi tersebut dihasilkan dengan menggunakan *software* ergonomi JACK.
  - Model simulasi lini *packaging* industri Es Krim secara utuh dengan menggunakan *software* ProModel yang meliputi unsur konveyor, operator, dan aliran material dan juga disertai dengan nilai – nilai statistik yang menunjukkan tingkat performa dari lini *packaging* tersebut.

2. Tujuan yang berupa *outcome* adalah:
  - Rancangan *workstation* yang ergonomis berdasarkan penilaian postur kerja yang dilakukan.
  - Rekomendasi jumlah pekerja lini *packaging* yang ideal dan menghasilkan utilisasi pekerja yang optimal di dalam suatu lini *packaging* yang ergonomis.
  - Peningkatan keuntungan perusahaan karena adanya penghematan biaya insentif kesehatan sebagai dampak dari menurunnya faktor ketidaknyamanan bekerja yang dialami *packer*, dan penghematan biaya tenaga kerja sebagai dampak adanya efisiensi pengalokasian tenaga kerja.
  - Peningkatan produktifitas lini *packaging* sebagai dampak dari peningkatan performa dan utilisasi kerja *packer* serta peningkatan efisiensi sitem kerja.

### 1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN

Agar hasil akhir penelitian dapat lebih terarah dan proses pengerjaan penelitian lebih fokus, maka dibuat suatu ruang lingkup atau batasan yang antara lain:

1. Penelitian dilakukan hanya pada lini *packaging* industri pengolahan Es Krim
2. Industri pengolahan Es Krim yang dipilih untuk penelitian ini adalah PT Unilever Indonesia dengan *brand* Es Krim Walls. Perusahaan ini dipilih karena sebagai industri Es Krim terbesar di Indonesia, perusahaan ini dianggap dapat merepresentasikan industri Es Krim secara keseluruhan yang ada di Indonesia.
3. Lini *packaging* Walls yang dipilih untuk objek penelitian lini *packaging* produk Mini Cornetto yang merupakan bagian dari lini produksi mesin *Big Drum 1*.
4. Pemecahan masalah rancangan *work station* yang ergonomi dilakukan dengan menggunakan *ergonomic tools* yang terdapat pada *Jack Analysis Toolkit*.
5. Analisis masalah optimasi jumlah pekerja dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi optimalisasi ProModel

6. Pemecahan masalah dibatasi hanya sampai memberikan usulan perbaikan yang dapat diimplementasikan oleh PT Unilever Indonesia, tidak sampai tahap mengimplementasi usulan pekerjaan yang diperbaiki.
7. Pemecahan masalah dilakukan dengan tidak mempertimbangkan faktor biaya yang dikeluarkan untuk implementasi usulan ergonomi yang diberikan.

## 1.6 METODOLOGI PENELITIAN

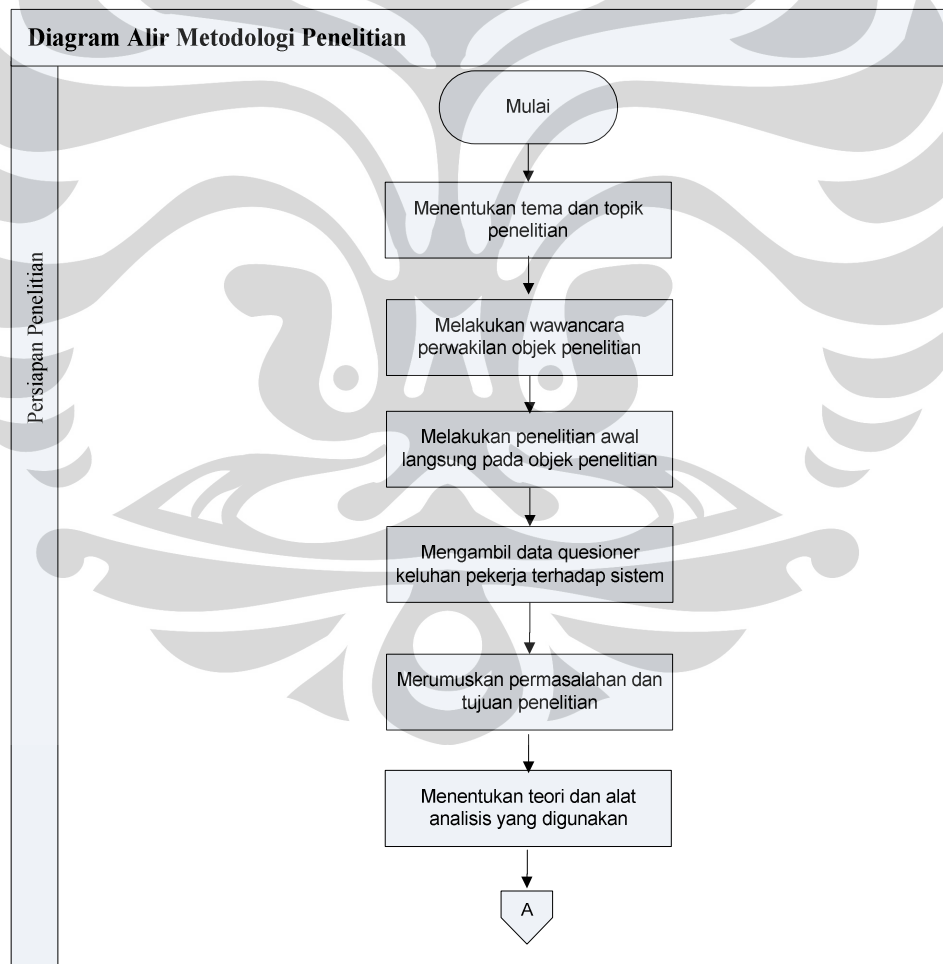
Penelitian ini dilakukan secara sistematis melalui tahapan – tahapan dan metode sebagai berikut:

1. Tahap persiapan penelitian
  - a. Menentukan tema dan topik penelitian.
  - b. Melakukan wawancara untuk memberikan gambaran pentingnya penelitian ini.
  - c. Melakukan penelitian awal ke objek penelitian untuk mendapatkan gambaran masalah secara keseluruhan
  - d. Menyebarkan kuesioner data keluhan pekerja terhadap sistem kerja.
  - e. Merumuskan permasalahan dan tujuan penelitian.
  - f. Menentukan teori – teori dan alat analisis yang akan digunakan.
2. Tahap pengumpulan dan pengolahan data
  - a. Mengumpulkan data *time study* pekerja lini *packaging*.
  - b. Mengumpulkan data *motion study* pekerja lini *packaging*.
  - c. Melakukan pendokumentasian postur pekerja untuk setiap elemen kerja yang dilakukan.
  - d. Mengolah data *time study* pekerja menjadi waktu baku yang dibutuhkan oleh pekerja untuk tiap elemen kerja.
  - e. Mengumpulkan data spesifikasi tempat kerja baik itu dimensi dan bentuk tempat kerja.
  - f. Mengumpulkan data antropometri pekerja.
  - g. Mengambil data keluhan kerja dengan menggunakan kuesioner kesehatan.
  - h. Mengumpulkan data tingkat *output* mesin, kecepatan konveyor kerja, posisi mesin – pekerja, dan jumlah personil kerja.

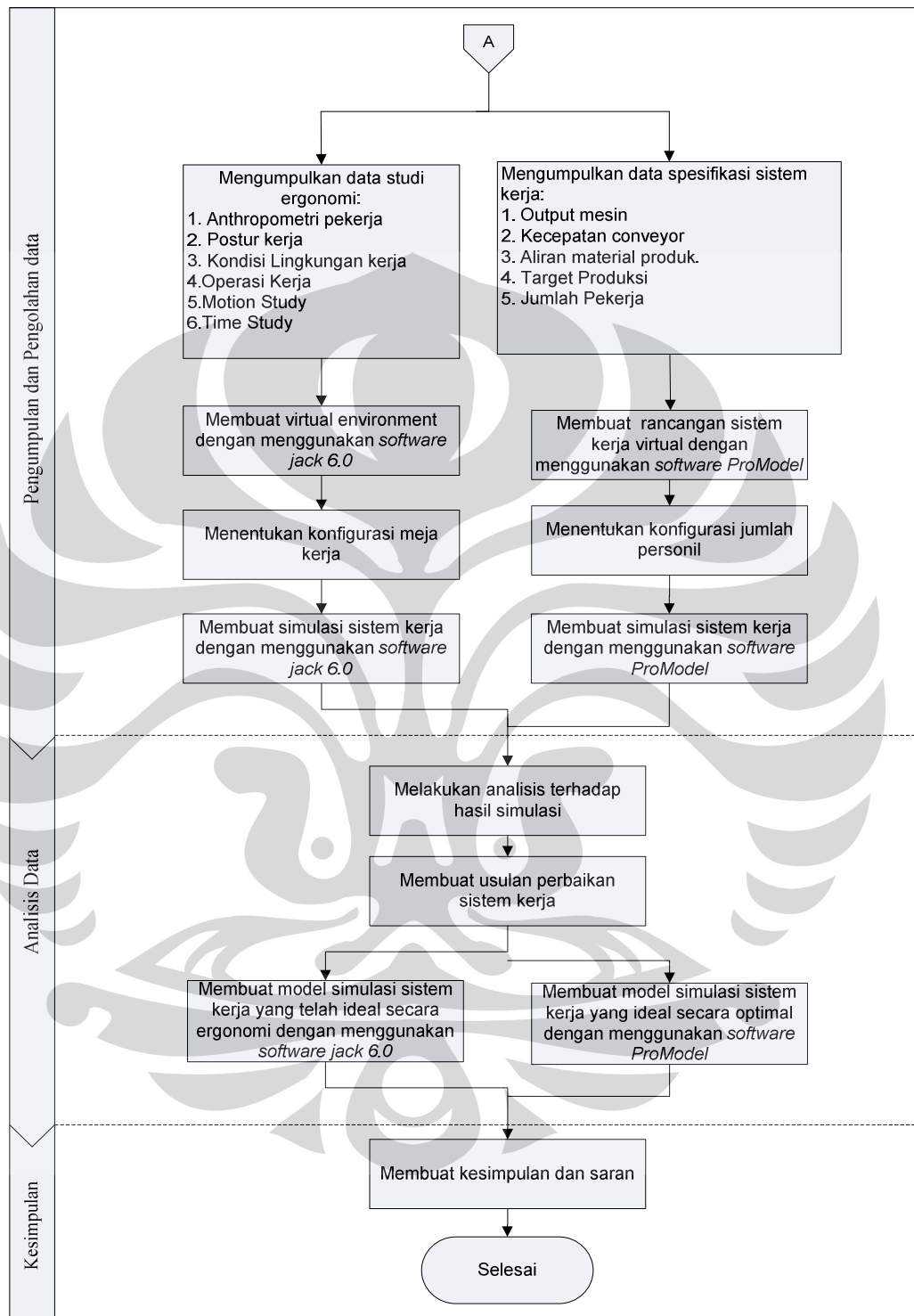
- i. Membuat *virtual environment* lini *packaging* dengan memasukan mesin yang telah dibuat di AutoCAD ke *software* Jack.
  - j. Menentukan konfigurasi meja kerja yang ideal terhadap postur pekerja.
  - k. Membuat simulasi operasi kerja dengan memasukan data antropometri dan postur tubuh pekerja pada *software* Jack.
  - l. Menghitung skor PEI (*Posture Evaluation Index*) untuk kondisi aktual setiap operasi kerja.
  - m. Membuat simulasi lini *packaging* dengan memasukkan data – data spesifikasi sistem kerja aktual seperti waktu baku, kecepatan mesin, target produksi, dan jumlah personil aktual ke dalam *software* ProModel.
  - n. Membuat simulasi lini *packaging* dengan memasukkan data – data spesifikasi sistem kerja aktual seperti waktu baku, kecepatan mesin, target produksi, dan jumlah personil usulan/ konfigurasi ke dalam *software* ProModel.
3. Tahap analisis data
- a. Menganalisis hasil simulasi yang dikeluarkan *software* Jack dan menghitung skor PEI untuk kondisi aktual.
  - b. Menganalisis hasil simulasi yang dikeluarkan *software* Jack dan menghitung skor PEI untuk kondisi setelah konfigurasi.
  - c. Menentukan konfigurasi meja kerja paling baik itu ketinggian maupun posisi yang paling ergonomis untuk pekerja pada elemen kerja yang berbeda- beda.
  - d. Menganalisis hasil statistik performa sistem kerja aktual lini *packaging* hasil output dari ProModel.
  - e. Menganalisis hasil statistik performa sistem kerja konfigurasi lini *packaging* hasil output dari ProModel
  - f. Menentukan jumlah pekerja lini *packaging* yang paling optimal.
  - g. Melakukan analisis perbandingan untuk melihat seberapa jauh perbaikan ergonomi yang dilakukan sebelum dan sesudah konfigurasi.
4. Tahap penarikan kesimpulan

Diagram alur metodologi untuk penelitian ini secara menngambarkan tahapan – tahapan yang dilakukan dari awal hingga akhir penelitian. Di awal

penelitian dilakukan peninjauan awal secara langsung untuk menentukan objek dan topik penelitian. Setelah objek dan topik penelitian ditentukan, maka tahapan selanjutnya yang dijalankan adalah tahapan pengumpulan data yang terdiri dari pengumpulan data tinjauan ergonomi dan tinjauan jalannya sistem kerja pada lini *packaging*. Data yang dikumpulkan kemudian diolah untuk menghasilkan model simulasi dengan menggunakan *software* Jack dan ProModel. Berdasarkan *output* yang didapatkan dari kedua simulasi tersebut dapat dianalisis rancangan – rancangan yang ideal dari stasiun kerja lini *packaging* yang ideal baik secara ergonomi dan optimasi. Tahapan akhir setelah didapatkan hasil analisis adalah pembuatan kesimpulan dan saran yang mengenai seluruh hasil pencapaian dari penelitian ini. Untuk alur lebih detail dapat dilihat pada **Gambar 1.2**.



**Gambar 1.2** Diagram Alur Metodologi Penelitian



**Gambar 1.2** Diagram Alur Metodologi Penelitian (Sambungan)



## 1.7 SISTEMATIKA PENULISAN

Secara garis besar sistematika penulisan pada penelitian ini terbagi ke dalam lima bab, yaitu: Bab 1 Pendahuluan, Bab 2 Tinjauan Pustaka, Bab 3 Metode Penelitian, Bab 4 Analisis, dan Bab 5 Kesimpulan.

Bab 1 merupakan bab pendahuluan yang berisikan latar belakang pemilihan topik penelitian dan penjelasan lainnya yang mendasari penelitian. Penjelasan lainnya seperti diagram keterkaitan masalah yang merupakan kerangka berpikir sistematis mengenai topik penelitian dan pokok permasalahan, serta tujuan-tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini baik yang berupa *output* ataupun *outcome* solusi permasalahan. Selain hal – hal tersebut, terdapat pula keterangan mengenai pokok permasalahan penelitian yang ingin digali serta batasan-batasan ruang lingkup penelitian agar penelitian dapat lebih fokus pada tujuannya. Bagian terakhir dari pendahuluan ini dijelaskan mengenai metodologi penelitian dan sistematika penulisan dengan tujuan agar dapat diperoleh gambaran awal tentang langkah-langkah dan susunan proses penelitian ini.

Bab 2 merupakan tinjauan pustaka yang diantaranya membahas teori mengenai sistem kerja, ergonomi, *workplace ergonomic*, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *virtual environment*, *tools* analisis ergonomi pada *software* Jack, PEI (*Posture Evaluation Index*), simulasi secara umum, serta metode simulasi menggunakan ProModel.

Bab 3 adalah metode penelitian yang berisi pengumpulan dan pengolahan data. Pada bab ini terdapat seluruh data yang berhubungan dan menunjang untuk digunakan dalam proses penelitian, seperti data proses produksi, aktivitas atau operasi kerja pekerja, postur tubuh pekerja, antropometri pekerja, kuesioner kesehatan, *output* mesin, kecepatan mesin, kecepatan konveyor, aliran material. Pada bab ini dijelaskan pula cara pembuatan model simulasi dengan menggunakan *software* Jack dan ProModel.

Bab 4 merupakan analisis hasil yang diperoleh. Hasil pengumpulan data yang diperoleh akan diolah dan dianalisis menggunakan Jack *Task Analysis* dan ProModel. Dari hasil analisis, akan didapatkan rancangan stasiun kerja atau *workstation* yang ergonomis beserta rekomendasi jumlah personil atau *packer* yang optimal ditempatkan pada lini *packaging* industri Es Krim.

Bab 5 merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan, serta saran berdasarkan hasil penelitian yang telah dicapai.



## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA

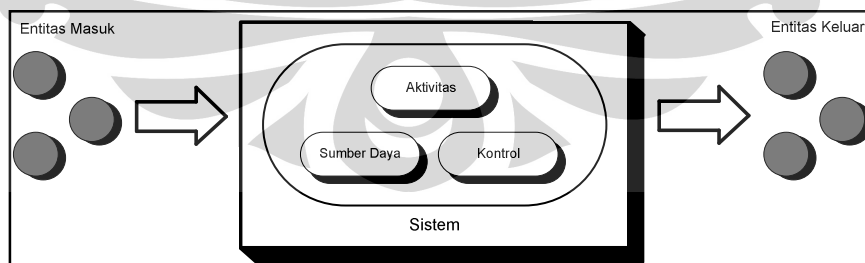
Bab 2 merupakan landasan teori yang diantaranya membahas mengenai sistem kerja, ergonomi, *workplace ergonomic*, antropometri, *musculoskeletal disorders*, *virtual environment*, *tools* analisis ergonomi pada *software* Jack, PEI (*Posture Evaluation Index*), simulasi secara umum, serta metode simulasi menggunakan ProModel.

#### 2.1 Sistem

Secara umum, sistem merupakan kumpulan elemen yang bekerja bersama untuk mencapai tujuan tertentu. Secara lebih detail, sistem didefinisikan sebagai kumpulan objek yang bekerjasama dalam beberapa interaksi atau saling ketergantungan yang teratur untuk mencapai suatu tujuan. Hal lainnya yang berkaitan dengan sistem adalah adanya suatu mekanisme dan transformasi yang terjadi di dalam sistem yang dipengaruhi oleh lingkungan yang dimiliki sistem.

##### 2.1.1 Elemen Sistem

Elemen – elemen dasar yang dimiliki oleh sistem adalah entitas, aktivitas, sumber daya, dan kontrol. Elemen-elemen tersebut mendefinisikan siapa, apa, dimana, kapan, dan bagaimana entitas diproses<sup>40</sup>. Hubungan antara keempat elemen tersebut seperti tampak pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** Hubungan antar Elemen dalam Sistem

<sup>40</sup> C. Harrell., B. K. Ghosh, dan R. Bowden, *Simulation Using ProModel*, ed. ke-2, McGraw-Hill, Boston, 2004, hal. 25.

- Entitas

Entitas merupakan item-item yang diproses didalam suatu sistem seperti produk, pelanggan, dan dokumen. Jenis – jenis entitas beranekaragam namun umumnya bersifat diskrit seperti contohnya terdapat entitas berupa manusia atau makhluk hidup, benda-benda tak hidup, benda-benda tidak berwujud.

- Aktivitas

Aktivitas adalah kegiatan-kegiatan yang dilakukan di dalam sistem yang baik secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam pemrosesan entitas. Aktivitas tersebut dilakukan untuk mencapai tujuan sistem. Aktivitas biasanya memakan waktu dan seringkali melibatkan penggunaan sumber daya. Aktivitas dapat diklasifikasikan menjadi proses, perpindahan entitas dan sumber daya, pengaturan sumber daya, pemeliharaan, dan perbaikan

- Sumber Daya

Sumber daya adalah sesuatu yang digunakan untuk memproses aktivitas. Sumber daya dapat berupa fasilitas, peralatan, dan operator pendukung untuk melakukan aktivitas. Ketika sumber daya memfasilitasi pemrosesan entitas, sumber daya yang tidak mencukupi dapat menghambat pemrosesan tersebut dengan membatasi kecepatan proses yang berlangsung. Sumber daya memiliki berbagai karakteristik seperti kapasitas, kecepatan, *cycle time*, dan konsistensi. Sumber daya dalam penggunaannya dapat dikelompokkan menjadi permanen atau habis pakai, digunakan untuk banyak aktivitas atau digunakan untuk satu aktivitas saja, dan berpindah-pindah atau statis.

- Kontrol

Kontrol merupakan batasan – batasan bagaimana, kapan, dan dimana aktivitas dilakukan. Kontrol menentukan urutan-urutan dalam sistem. Pada level tertinggi, kontrol terdiri dari jadwal, rencana, dan kebijakan. Pada level terendah, kontrol menyediakan informasi dan logika keputusan mengenai bagaimana sistem harus beroperasi. Contoh kontrol diantaranya urutan rute, rencana produksi, dan jadwal.

### 2.1.2 Sistem Kerja

Suatu sistem kerja terdiri dari elemen manusia, material, mesin, metode kerja dan lingkungan. Elemen-elemen tersebut saling berinteraksi sehingga dapat

mempengaruhi performansi sistem tersebut. Sistem kerja merupakan suatu sistem yang *purposeful* yaitu suatu sistem dengan arah segala aktivitasnya ditentukan oleh sebuah *goal* dan menghasilkan *output* akhir yang teridentifikasi dengan jelas<sup>41</sup>.

Tingkat kompleksitas suatu sistem kerja akan meningkat dengan adanya penambahan komponen manusia dan mesin atau dengan memperluas lingkungan lokal dari sistem tersebut. Setiap komponen dalam sistem kerja akan berinteraksi baik itu secara langsung maupun tidak langsung dengan komponen lainnya. Sebagai contoh komponen mesin akan mempengaruhi kondisi lingkungan sistem seperti menghasilkan tingkat kebisingan dan sebagainya. Tingkat *output* dari suatu sistem kerja akan meningkat atau menurun secara langsung berhubungan dengan tingkat penggunaan mesin dan manusia di dalamnya.

Berdasarkan teori – teori di atas, dijelaskan bahwa performa dari suatu sistem kerja tidak hanya dipengaruhi oleh performa manusia yang terlibat di dalamnya tetapi juga oleh faktor – faktor berikut: <sup>42</sup>

- Rancangan dari komponen sistem, terutama hubungan mesin – manusia
- Kondisi sistem (stabilitas dan kesibukan)
- Mental operator dan beban kerja fisik
- Organisasi kerja ( sistem *shift* dan rancangan kelompok kerja)
- Faktor eksternal (cuaca, dll)

Kondisi faktor – faktor sistem yang tersebut diatas harus dirancang secara optimal dengan semaksimal mungkin disesuaikan dengan karakteristik dan limitasi manusia yang terlibat dalam sistem. Hal tersebut bertujuan untuk mencegah timbulnya *human error* yang sekaligus menimbulkan penurunan performa sistem kerja. Salah satu bidang studi untuk mengoptimalkan faktor – faktor dari sistem kerja yang berhubungan dengan manusia adalah ergonomi.

Salah satu fungsi ergonomi yang berhubungan dengan sistem kerja adalah untuk memungkinkan sistem kerja berfungsi lebih baik dengan meningkatkan kualitas interaksi antara komponen manusia dan komponen sistem yang lainnya.

<sup>41</sup> R. S. Bridger, Ph.D, Introduction to Ergonomi, McGraw-Hill, Singapore, 1995, hal 2

<sup>42</sup> *Ibid*, hal 4

Dengan peningkatan kualitas tersebut maka akan terjadi peningkatan performa manusia di dalam sistem yang mendorong peningkatan performa sistem kerja itu sendiri.

### 2.1.3 Ukuran Performa Sistem

Performa atau kinerja dari suatu sistem dapat diukur dengan berbagai ukuran. Ukuran – ukuran performa tersebut antara lain produktivitas, efisiensi, dan utilisasi.

Produktivitas merupakan perbandingan atau rasio antara keluaran dan masukan. Suatu sistem dikatakan produktif jika dapat menghasilkan *output* yang diinginkan dan tepat sasaran dengan penggunaan input seoptimal mungkin. Dalam suatu sistem kerja, terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat produktivitas, antara lain:

- Faktor teknis: yaitu faktor yang berhubungan dengan pemakaian dan penerapan fasilitas sumber daya secara lebih baik dan efisien, penerapan metode kerja yang lebih efektif dan efisien.
- Faktor manusia: yaitu faktor yang mempunyai pengaruh terhadap usaha yang dilakukan manusia di dalam menyelesaikan pekerjaannya.

Dalam rangka peningkatan produktivitas, terdapat berbagai upaya yang berhubungan dengan faktor manusia yang dapat dilakukan antara lain:

1. Studi kerja atau penelitian kerja atau telaah kerja (*work study*) yang intinya terbagi atas: penelitian metode (*methods study*), pengukuran kerja (*work measurement*), sample kegiatan atau percontoh kegiatan (*work sampling, activity sampling*).
2. Keselamatan kerja (*occupational safety*) berupaya meneliti situasi kerja, kemudian menemukan cara untuk menghindarkan, menghilangkan hal-hal yang dapat mengakibatkan kecelakaan.
3. Kesehatan kerja (*occupational health*) berupaya meneliti tentang kondisi kerja, kemudian menemukan cara untuk menghilangkan hal-hal yang bisa mengakibatkan gangguan kesehatan atau sakit pada karyawan.

4. Keamanan lingkungan kerja (*security*) berupaya meneliti dan memperbaiki segenap saran untuk menjaga jangan sampai terjadi musibah berupa kebakaran, banjir, dsb.
5. Ergonomi melakukan studi ilmiah mengenai perkaitan antara orang dengan lingkungan kerja. Yang dimaksud dengan lingkungan kerja disini adalah keseluruhan alat perkakas dan bahan yang dia hadapi, lingkungan sekitar tempat dia bekerja, metode kerja serta pengaturan kerjanya baik sebagai perorangan maupun kelompok.

Produktifitas yang merupakan nilai perbandingan antara *output* dan *input* juga dapat dihitung dengan mengalikan nilai efisiensi dengan utilisasi. Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara waktu kerja standar dibandingkan dengan waktu kerja aktual yang dibutuhkan. Nilai efisiensi digunakan untuk mengukur performansi aktual dari pusat kerja relatif terhadap standar yang diterapkan. Efisiensi suatu sistem kerja dapat dihitung dengan formula berikut:

$$\text{Efisiensi} = \frac{\text{Waktu kerja standar di dalam sistem}}{\text{Waktu kerja aktual efektif yang digunakan di dalam sistem}}$$

Utilisasi adalah presentase dari waktu kerja sistem, sumber daya, dan pesonil yang dimanfaatkan secara efektif di dalam suatu sistem. Utilisasi memberikan gambaran nilai perbandingan antara waktu dan jumlah sumber daya yang tersedia di dalam sistem dengan waktu dan jumlah sumber daya yang digunakan secara efektif di dalam sistem. Utilisasi dapat ditentukan untuk mesin atau tenaga kerja, atau keduanya, tergantung pada penggunaan sumber daya mana yang akan dianalisis lebih lanjut. Utilisasi suatu sistem kerja dapat dihitung dengan formula berikut:

$$\text{Utilisasi} = \frac{\text{Waktu kerja aktual efektif yang digunakan di dalam sistem}}{\text{Waktu kerja yang tersedia di dalam sistem}}$$

## 2.2 Ergonomi

Ergonomi berasal dari bahasa Yunani yaitu *ergon* yang berarti kerja, dan *nomos* yang berarti hukum. Berdasarkan definisi tersebut, secara umum ergonomi dipandang sebagai disiplin keilmuan yang mempelajari manusia dalam kaitannya dengan pekerjaan. Secara khusus ergonomi mempelajari keterbatasan dan kemampuan manusia dalam berinteraksi dengan lingkungan kerja beserta

peralatan, produk, dan fasilitas yang mereka gunakan sehari-hari, dalam rangka menyesuaikan lingkungan kerja dan peralatan tersebut agar lebih sesuai dengan kebutuhan dan batas kemampuan mereka<sup>43</sup>. Disiplin ergonomi berangkat dari kenyataan bahwa manusia memiliki batas-batas kemampuan baik jangka pendek maupun jangka panjang pada saat berhadapan dengan keadaan lingkungan sistem kerjanya tersebut sehingga perlu dilakukan studi lebih lanjut dalam hal ini studi ergonomi untuk menjamin kebutuhan akan keselamatan dan kerja yang efisien terpenuhi dari sistem kerjanya tersebut.

Berdasarkan pengertian tersebut, maka secara umum terdapat dua tujuan utama dari studi ergonomi yaitu:

- Meningkatkan reabilitas, efisiensi, dan produktivitas manusia dalam melakukan pekerjaannya dengan meningkatkan kualitas interaksi antara manusia dan komponen lingkungan kerja lainnya sekaligus meminimumkan tingkat *human error*.
- Meningkatkan keselamatan kerja, mengurangi kelelahan dan ketegangan mental, serta meningkatkan kenyamanan kerja.

Disiplin ilmu ergonomi di pengaplikasiannya dikelompokkan atas empat bidang penyelidikan<sup>44</sup>, yang antara lain:

1. Penyelidikan tentang tampilan ( *display* ).

Tampilan (*display*) adalah suatu perangkat antara (*interface*) yang menyajikan informasi tentang keadaan lingkungan, dan mengkomunikasikannya pada manusia dalam bentuk tanda-tanda, angka, lambang dan sebagainya.

2. Penyelidikan tentang kekuatan fisik manusia

Penyelidikan ditujukan pada aktivitas-aktivitas manusia ketika bekerja, dan kemudian dipelajari cara mengukur aktivitas-aktivitas tersebut.

3. Penyelidikan tentang ukuran tempat kerja.

Penyelidikan ini bertujuan untuk mendapatkan rancangan tempat kerja yang sesuai dengan ukuran (dimensi) tubuh manusia, agar diperoleh tempat kerja yang baik, yang sesuai dengan kemampuan dan keterbatasan manusia sekaligus memberikan kenyamanan yang optimal.

<sup>43</sup> Mark Sanders dan Ernest McCormick, *Human Factors in Engineering and Design 7<sup>th</sup> Edition*, McGraw-Hill, Inc, New York, 1993.

<sup>44</sup> Satalaksana. Teknik Tata Cara Kerja. Bandung: KMTI ITB. 1982



#### 4. Penyelidikan tentang lingkungan kerja.

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

Berdasarkan bidang – bidang penyelidikan tersebut, maka penelitian ergonomi membutuhkan pengetahuan – pengetahuan lainnya seperti:

- a. Anatomi dan fisiologi manusia, yaitu ilmu yang mempelajari struktur dan fungsi tubuh manusia.
- b. Antropometri, yaitu ilmu mengenai ukuran/dimensi tubuh manusia.
- c. Fisiologi psikologi, yaitu ilmu yang mempelajari sistem saraf dan otak manusia.
- d. Psikologi eksperimen, yaitu ilmu mempelajari tingkah laku manusia.

#### 2.2.1 Postur Kerja

Dalam perancangan suatu sistem kerja atau stasiun kerja yang didasarkan pada ergonomi, salah satu faktor pertimbangan penting adalah postur kerja yang baik dan paling memberikan kenyamanan bagi manusia yang bekerja di dalam rancangan tersebut. Rancangan sistem kerja yang ergonomis harus dapat menunjang adanya postur kerja yang nyaman, dengan nyaman dalam bekerja maka performa yang dihasilkan akan meningkat pula.

Postur kerja penting untuk diperhatikan karena postur kerja sering kali menjadi penyebab utama timbulnya sakit atau keluhan pada beberapa bagian tubuh manusia, seperti yang diperlihatkan oleh **Tabel 2.1**.

**Tabel 2.1** Postur Kerja dan Keluhan Sakit pada Tubuh

Tipe Postur	Lokasi Keluhan
Berdiri	kaki, punggung bagian bawah
Duduk tanpa penyangga punggung bagian bawah	punggung bagian bawah
Duduk tanpa penyangga punggung	punggung bagian tengah
Duduk tanpa penyangga kaki	lutut, kaki, punggung bagian bawah
Duduk dengan siku di atas permukaan kerja	punggung bagian bawah dan atas

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

**Tabel 2.1** Postur Kerja dan Keluhan Sakit pada Tubuh (Sambungan)

Lengan yang tidak ditopang atau meraih ke atas	bahu, lengan bagian atas
Kepala tertekuk ke belakang	leher
Batang tubuh menekuk ke depan	punggung bagian bawah dan tengah
Posisi <i>Cramped</i>	otot - otot tubuh
Posisi ekstrim pada bagian <i>joint</i> tubuh	bagian <i>joint</i> tubuh

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

Penentuan postur kerja yang paling baik adalah didasarkan pada pertimbangan jenis pekerjaan yang dilakukan, secara umum terdapat tiga jenis postur dasar yaitu duduk, berdiri dan duduk berdiri. Dari ketiga postur dasar tersebut, postur kerja yang diusulkan untuk beberapa tipe pekerjaan ditampilkan pada **Tabel 2.2**.

**Tabel 2.2** Postur Kerja yang Diutamakan pada Beberapa Tipe Pekerjaan

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

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

### 2.2.2 *Work Related Musculoskeletal Disorders* (WMSD)

Kondisi kerja dan postur kerja yang tidak ergonomis dapat memicu terjadinya *Work related Musculoskeletal Disorders* (WMSD). WMSD kerap kali terjadi pada pekerja yang melakukan pekerjaan berulang dengan beban yang

terus-menerus. Secara garis besar, keluhan otot muskuloskeletal dikelompokkan menjadi dua<sup>45</sup>:

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

WMSD atau cedera muskuloskeletal yang terkait dengan pekerjaan, terjadi karena kontraksi otot yang berlebihan akibat pemberian beban kerja yang terlalu berat dengan durasi pembebanan yang panjang. Keluhan otot terjadi apabila kontraksi otot melebihi 20 % dari kekuatan otot maksimum. Hal tersebut menyebabkan peredaran darah ke otot akan berkurang dengan meningkatnya kontraksi otot yang dipengaruhi oleh besarnya tenaga yang diperlukan. Suplai oksigen yang menurun menyebabkan proses metabolisme karbohidrat terhambat dan sebagai akibatnya terjadi penimbunan asam laktat yang akan menyebabkan timbulnya rasa nyeri pada otot<sup>46</sup>.

Berdasarkan hasil studi literatur, faktor penyebab WMSD dibagi menjadi dua kelompok besar yaitu faktor primer dan faktor sekunder.

Faktor primer penyebab terjadinya WMSD adalah:

- peregangan otot yang berlebihan
- aktivitas kerja yang sangat repetitif
- postur kerja yang ekstrim dan tidak alamiah

Faktor sekunder penyebab terjadinya WMSD adalah:

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

<sup>45</sup> Tarwaka. Bakri, Solichul, HA. Sudiajeng, Lilik, *Ergonomi Untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*, UNIBA Press, 2004, hal.117.

<sup>46</sup> P.K. Suma'mur, *Ergonomi Untuk Produktivitas Kerja*. Yayasan Swabhawa Karya, Jakarta, 1982

### 2.2.3 *Low Back Pain*

*Low Back Pain* (LBP) atau rasa nyeri pinggang muskuloskeletal adalah sindrom klinik yang ditandai adanya rasa nyeri di daerah tubuh bagian belakang dari rusuk terakhir vetebra torakal 12 sampai bagian bawah bokong atau anus dan dapat menjalar ke kaki terutama bagian belakang dan samping luar.

Tulang belakang manusia terdiri dari 33 ruas tulang. Satu sama lain dihubungkan oleh sistem yang unik, terdiri atas tulang rawan dan otot serta jaringan ikat. Sistem tersebut bekerja sama untuk mempertahankan tubuh pada posisi tegak. Gangguan pinggang biasanya berhubungan dengan tiga ruas tulang pinggang atau organ di sekitarnya seperti ginjal dan indung telur. Nyeri pada pinggang yang biasanya diakibatkan oleh bergesernya bantalan tulang belakang, lebih dikenal dengan *Herniated Nucleus Pulposus*.

Pada dasarnya timbulnya rasa sakit pinggang terjadi karena ada penekanan pada susunan saraf tepi daerah pinggang (syaraf terjepit). Jepitan pada syaraf ini dapat terjadi karena gangguan pada otot pada jaringan sekitarnya, gangguan pada syaraf sendiri, kelainan tulang belakang maupun kelainan di tempat lain. Timbulnya nyeri pinggang erat kaitannya dengan cara kerja, sikap kerja, dan posisi kerja, desain alat kerja, fasilitas kerja, tata letak, sarana kerja dan sebagainya. Dengan memperhatikan dan menata faktor-faktor penyebab timbulnya keluhan tersebut, maka nyeri pinggang akibat aktivitas kerja dapat dihindari. Menurut Kumar, tekanan yang dialami pada ruas tulang belakang akibat pengangkatan beban merupakan faktor dominan timbulnya nyeri pinggang<sup>47</sup>.

### 2.2.4 Antropometri

Menurut Sritomo Wignjosoebroto dalam bukunya istilah antropometri berasal dari " anthro " yang berarti manusia dan " metri " yang berarti ukuran. Secara umum definisi antropometri dapat dinyatakan sebagai satu studi yang berkaitan dengan pengukuran dimensi tubuh manusia. Antropometri secara luas akan digunakan sebagai pertimbangan-pertimbangan ergonomis dalam proses perancangan (*desain*) produk maupun sistem kerja yang akan memerlukan interaksi manusia. Fungsi utama penggunaan data antropometri adalah untuk

---

<sup>47</sup> R. S. Bridger, Ph.D, *Op Cit*, hal 56

mengoptimalkan dimensi dari benda – benda kerja yang digunakan oleh manusia yang memiliki karakteristik yang berbeda – beda<sup>48</sup>.

Pengaplikasian data antropometri antara lain untuk::

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

Data antropometri akan menentukan bentuk, ukuran dan dimensi yang tepat yang berkaitan dengan produk yang dirancang dan manusia yang akan mengoperasikan / menggunakan produk tersebut. Suatu perancangan produk harus mampu mengakomodasikan dimensi tubuh dari populasi terbesar yang akan menggunakan produk hasil rancangannya tersebut. Secara umum sekurang-kurangnya 90 % - 95 % dari populasi yang menjadi target dalam kelompok pemakai suatu produk haruslah mampu menggunakannya dengan selayaknya.

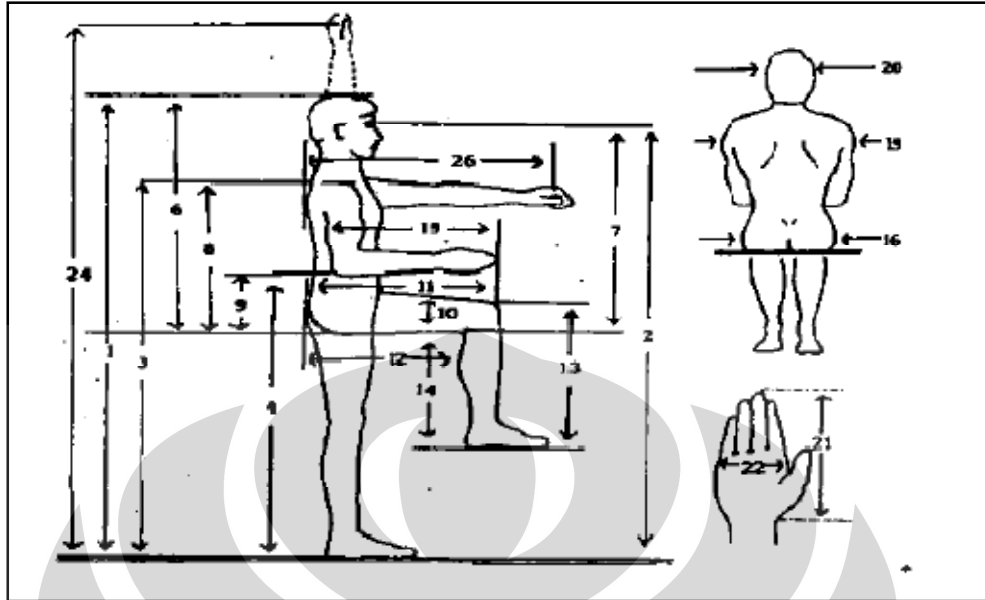
Data antropometri yang digunakan sebagai landasan dalam perancangan suatu sistem kerja umumnya dikelompokkan menjadi dua tipe yaitu:

- Data struktural  
Merupakan suatu ukuran dimensi tubuh dari subjek yang sedang berada dalam posisi statis. Pengukuran dibuat dari satu poin yang jelas ke poin yang lain, misalnya pengukuran tinggi badan dari lantai hingga ujung kepala.
- Data Fungsional  
Merupakan data antropometri yang dikumpulkan untuk menjelaskan pergerakan dari bagian tubuh dari suatu titik yang telah ditetapkan. Data jangkauan maksimum tangan ke depan dari posisi berdiri subjek yang diukur merupakan salah satu contoh data antropometri fungsional.

Beberapa detail data antropometri manusia yang dibutuhkan dalam perancangan suatu sistem kerja antara lain seperti yang ditunjukkan **Gambar 4.2**.

---

<sup>48</sup> *Ibid*, hal 71



**Gambar 2.2** Antropometri Tubuh Manusia

Keterangan :

1. Dimensi tinggi tubuh dalam posisi tegak (dari lantai hingga ujung kepala )
2. Tinggi mata dalam posisi berdiri tegak
3. Tinggi bahu dalam posisi berdiri tegak
4. Tinggi siku dalam posisi berdiri tegak (siku tegak lurus)
5. Tinggi kepalan tangan yang terjulur lepas dalam posisi berdiri tegak (dalam gambar tidak ditunjukkan ).
6. Tinggi tubuh dalam posisi duduk (diukur dari alas tempat duduk/pantat sampai dengan kepala ).
7. Tinggi mata dalam posisi duduk.
8. Tinggi bahu dalam posisi duduk
9. Tinggi siku dalam posisi duduk ( siku tegak lurus )
10. Tebal atau lebar paha.
11. Panjang paha yang diukur dari pantat hingga ujung lutut.
12. Panjang paha yang diukur dari pantat hingga bagian belakang dari lutut/betis.
13. Tinggi lutut yang bisa diukur baik dalam posisi berdiri ataupun duduk.
14. Tinggi tubuh dalam posisi duduk yang diukur dari lantai sampai dengan paha.
15. Lebar dari bahu (bisa diukur dalam posisi berdiri ataupun duduk )

16. Lebar pinggul/pantat
17. Lebar dari dada dalam keadaan membusung
18. Lebar perut
19. Panjang siku yang diukur dari siku sampai dengan ujung jari-jari dalam posisi siku tegak lurus.
20. Lebar kepala.
21. Panjang tangan diukur dari pergelangan sampai dengan ujung jari.
22. Lebar telapak tangan.
23. Lebar tangan dalam posisi tangan terbentang lebar-lebar kesamping kiri-kanan (Tinggi jangkauan tangan dalam posisi berdiri tegak, diukur dari lantai sampai dengan telapak tangan yang terjangkau lurus keatas / vertikal).

#### 2.2.4.1 Penggunaan Persentil Data Antropometri

Dalam penggunaannya, data antropometri tidak langsung digunakan dalam perancangan suatu sistem kerja namun dibutuhkan tahapan – tahapan yang antara lain:

- Analisis data antropometri bagian tubuh yang berhubungan langsung atau dipengaruhi secara langsung oleh ancangan.
- Memilih persentil data antropometri yang cocok dalam pembuatan dimensi rancangan tersebut apakah persentil minimum atau maksimum.

Salah satu faktor yang paling menentukan dalam pemilihan persentil data adalah jenis rancangan yang akan dibuat. Misalnya dalam pembuatan rancangan dimensi minimum dan dimensi maksimum. Dalam pembuatan dimensi minimum seperti ketinggian pintu, lebar alas duduk, panjang sikat gigi, dan sebagainya harus digunakan data antropometri persentil tertinggi yaitu 90% , 95 %, dan 99%. Tujuan penggunaan data antropometri persentil tinggi tersebut agar benda – benda kerja tersebut tidak hanya dapat digunakan oleh manusia dengan persentil antropometri rendah namun juga yang memiliki persentil antropometri tinggi. Sedangkan dalam pembuatan dimensi maksimum seperti ketinggian kunci pintu, kedalaman kursi , ketinggian kursi dan sebagainya harus digunakan data antropometri dari persentil rendah yaitu 1%, 5%, dan 10%. Hal tersebut bertujuan

agar manusia dengan ukuran antropometri dan dimensi tubuh yang rendah dapat pula dengan nyaman dan mudah menggunakan benda – benda kerja tersebut.

#### 2.2.5 Pendekatan Ergonomi Dalam Perancangan Stasiun Kerja

Berdasarkan prinsip ergonomi, perancangan stasiun kerja haruslah disesuaikan peranan dan fungsi pokok dari komponen-komponen sistem kerja yang terlibat yaitu manusia, mesin/peralatan, dan lingkungan fisik kerja. Peranan manusia dalam hal ini akan didasarkan pada kemampuan dan keterbatasannya terutama yang berkaitan dengan aspek pengamatan, kognitif, fisik ataupun psikologisnya. Demikian juga peranan atau fungsi mesin/peralatan seharusnya ikut menunjang manusia dalam melaksanakan tugasnya. Mesin/peralatan berfungsi menambah kemampuan manusia, tidak menimbulkan stress tambahan akibat beban kerja dan membantu melaksanakan kerja tertentu yang dibutuhkan tetapi berada diatas kapasitas manusia. Selanjutnya mengenai peranan dan fungsi dari lingkungan fisik kerja akan berkaitan dengan usaha untuk menciptakan kondisi kerja yang akan menjamin manusia dan mesin agar dapat berfungsi pada kapasitas maksimalnya.

Berkaitan dengan perancangan areal/stasiun kerja dalam industri, maka terdapat beberapa aspek ergonomi yang harus dipertimbangkan sebagai berikut :

##### 1. Sikap dan posisi kerja

Untuk menghindari sikap dan posisi kerja yang kurang nyaman, hal – hal yang perlu diperhatikan dalam perancangan stasiun kerja adalah sebagai berikut:

- Meminimalisir kemungkinan operator untuk bekerja dalam sikap posisi membungkuk dengan frekuensi kegiatan sering atau jangka waktu lama. Untuk mengatasi problem ini maka stasiun kerja harus dirancang terutama sekali dengan memperhatikan fasilitas kerja seperti meja kerja, kursi, dll yang sesuai dengan data Antropometri agar operator dapat menjaga sikap dan posisi kerjanya tetap tegak dan normal. Ketentuan ini terutama sekali ditekankan bilamana pekerjaan harus dilaksanakan pada posisi berdiri.
- Operator tidak seharusnya menggunakan jarak jangkauan maksimum yang bisa dilakukan.



- Operator tidak seharusnya duduk atau berdiri pada saat bekerja untuk waktu yang lama dengan kepala, leher, dada, atau kaki berada pada posisi miring.
- Operator tidak seharusnya bekerja dalam frekuensi dan periode waktu yang lama dengan tangan berada dalam posisi diatas level siku yang normal.

## 2. Antropometri dan dimensi ruang

Antropometri pada dasarnya akan menyangkut ukuran fisik atau fungsi dari tubuh manusia termasuk disini ukuran linier, berat volume, ruang gerak, dan lainnya. Data Antropometri ini akan sangat bermanfaat didalam perencanaan peralatan kerja atau fasilitas kerja. Persyaratan ergonomi mensyaratkan agar peralatan dan fasilitas kerja disesuaikan dengan penggunaanya khususnya yang menyangkut dimensi ukuran tubuh. Dalam menentukan ukuran maksimum atau minimum biasanya digunakan data Antropometri antara persentil 5% dan 95%. Untuk perencanaan stasiun kerja data Antropometri akan bermanfaat baik didalam memilih fasilitas-fasilitas kerja yang sesuai dimensinya dengan ukuran tubuh operator atau didalam merencanakan dimensi ruang kerja itu sendiri.

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

## 3. Kondisi lingkungan kerja

Meskipun operator yang sehat telah diseleksi secara ketat dan diharapkan dapat beradaptasi dengan situasi dan lingkungan fisik kerja yang bervariasi dalam hal temperatur, kelembaban, getaran, kebisingan dan lainnya, akan tetapi stress akibat kondisi lingkungan kerja akan terus berakumulasi dan secara tiba-tiba bisa menyebabkan hal yang fatal. Adanya lingkungan fisik kerja yang bising, panas, atau atmosfer yang tercemar menyebabkan performa kerja operator menurun. Adalah satu hal yang sangat penting untuk

mempertimbangkan seluruh aspek lingkungan fisik kerja yang memiliki potensi bahaya pada saat proses perancangan stasiun kerja dan sistem pengendaliannya. Dengan demikian kondisi-kondisi bahaya tersebut bisa diantisipasi dan diberi tindakan-tindakan preventif sebelumnya.

4. Efisiensi ekonomi gerakan dan pengaturan fasilitas kerja

Perancangan sistem kerja haruslah memperhatikan prosedur-prosedur untuk tercapainya prinsip ekonomis pada gerakan kerja sehingga dapat memperbaiki efisiensi dan mengurangi kelelahan kerja. Pertimbangan mengenai prinsip-prinsip ekonomi gerakan diberikan selama tahap perancangan sistem kerja dari suatu industri.

5. Energi kerja yang dikonsumsi

Energi kerja yang dikonsumsi pada saat seseorang melaksanakan kegiatan merupakan faktor yang kurang begitu diperhatikan karena dianggap tidak penting bilamana dikaitkan dengan performa kerja yang ditunjukkan. Meskipun energi dalam jumlah besar harus dikeluarkan untuk periode yang lama bisa menimbulkan kelelahan fisik, akan tetapi bahaya yang lebih besar justru jika kelelahan menimpa mental manusia. Kelelahan mental merupakan musuh terbesar manusia karena hal ini akan memberikan kontribusi pada kesalahan-kesalahan kerja yang serius. Tujuan pokok dari perancangan kerja seharusnya bisa menghemat energi yang harus dikonsumsi untuk penyelesaian 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 itu sendiri.

2.2.6 Stasiun Kerja yang Ergonomis

Rancangan suatu stasiun kerja mempunyai kaitan yang erat dengan kesehatan, kenyamanan dan performa kerja pada suatu industri manufaktur. Stasiun kerja yang ergonomis (*workplace ergonomic*) harus dapat mengakomodasi karakteristik dari pekerja dan sesuai dengan jenis pekerjaan yang dilakukan oleh pekerja tersebut.

Postur yang baik merupakan kebutuhan utama yang harus dipenuhi oleh suatu rancangan stasiun kerja yang ergonomis. Secara umum terdapat dua jenis postur kerja yang umum ditemui dalam suatu industri manufaktur, yaitu pekerjaan dalam posisi duduk (*sitting work*) dan posisi berdiri (*standing work*). Untuk mendapatkan postur kerja yang baik, ketinggian meja kerja baik itu untuk pekerjaan dengan posisi duduk maupun berdiri haruslah disesuaikan dengan antropometri pekerja. Ketinggian permukaan meja kerja haruslah disesuaikan dengan antropometri penggunanya. Apabila ketinggian permukaan meja kerja terlalu tinggi maka mengakibatkan bahu dan lengan atas akan terangkat ke dalam posisi tidak nyaman yang dapat menyebabkan kelelahan dan nyeri otot. Sedangkan apabila ketinggian permukaan meja kerja terlalu rendah, leher dan kepala akan tertunduk sehingga dapat mengakibatkan tulang belakang dan otot menegang.

Beberapa rekomendasi ketinggian meja kerja yang ideal sesuai jenis pekerjaan untuk *standing workstation* adalah<sup>49</sup>:

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

Dengan menggunakan satuan dalam cm, maka ketinggian meja kerja ergonomis yang disarankan ditunjukkan oleh **Tabel 2.3**

**Tabel 2.3** Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Berdiri

Task Requirement	Male	Female
Precision Work	109 - 119	103 - 113
Light Assembly work	99 - 109	87 - 98
Heavy Work	85 - 101	78 - 94

Sumber: Bridger, Introduction to Ergonomis, hal. 104

<sup>49</sup> *Standing Workstation Guidelines*, 2009, < <http://www.scif.com/safety/ergomatters/StandingGuidelines.html>>

Untuk pekerjaan yang dilakukan dalam posisi duduk maka selain tinggi meja perlu diperhatikan juga tinggi kursi kerja. Ketinggian kursi kerja biasanya disesuaikan dengan ketinggian meja kerja. Perhitungan kursi kerja yang ideal dengan tinggi meja kerja biasanya dilakukan dengan mengurangi tinggi meja kerja yang didapat dengan *sitting elbow height*<sup>50</sup>.

Prinsip utama dalam perancangan ketinggian meja kerja untuk posisi duduk dan berdiri pada umumnya adalah sama yaitu ketinggian meja kerja semaksimal mungkin disesuaikan dengan ketinggian siku pekerja pada saat melakukan kerja tersebut. Untuk perancangan meja kerja dalam posisi duduk, ketinggian meja kerja disesuaikan dengan ketinggian siku pekerja dalam posisi duduknya. Dalam ukuran cm, rekomendasi ketinggian meja kerja untuk posisi duduk ditunjukkan oleh **Tabel 2.4**.

**Tabel 2.4** Rekomendasi Tinggi Meja Kerja Untuk Pekerja dengan Posisi Duduk

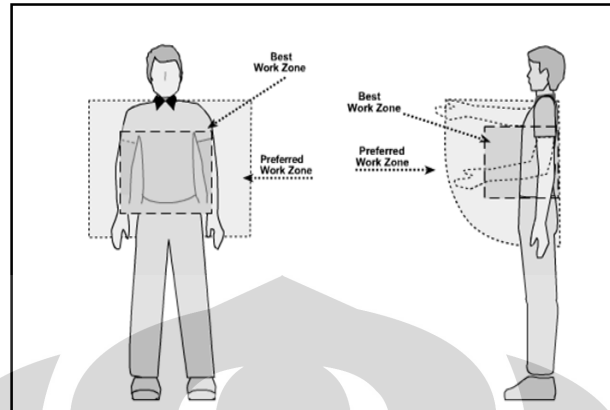
Task Requirement	Male	Female
Fine Work	99 - 105	89 - 95
Precision Work	89 - 94	82 - 87
Writing	74 - 78	70 - 75
Coarse or Medium Work	69 - 72	66 - 70

Sumber: Bridger, Introduction to Ergonomis, hal. 107

Dalam perancangan stasiun kerja area, area kerja yang paling ideal bagi pekerja untuk dapat memberikan produktifitas dan kenyamanan yang tinggi merupakan faktor lain selain ketinggian meja kerja yang perlu diperhatikan. Pedoman area kerja yang ideal ditunjukkan oleh **Gambar 2.3**<sup>51</sup>, yaitu area tubuh dari siku hingga bahu merupakan batasan area kerja yang ideal untuk pekerja dalam melakukan setiap aktivitas kerjanya. Penerapan area kerja terutama ditunjukkan untuk jenis pekerjaan mengangkat dan menggapai. Bekerja di luar area kerja ini dapat menyebabkan resiko cedera.

<sup>50</sup>Stephen Pheasant, *Bodyspace: Anthropometry, Ergonomis and the Design of Work 2<sup>nd</sup> Edition*, Taylor & Francise, USA, 2003, hal.94-96.

<sup>51</sup>OSHA (Occupational Safety and Health Administration), *Guidelines for Reail Grocery Stores*, 2004.



**Gambar 2.3** Area Kerja Ideal

Sumber: OSHA (Occupational Safety and Health Administration), *Guidelines for Retail Grocery Stores*, 2004

### 2.2.7 Konveyor Kerja yang Ergonomis

Di dalam suatu sistem kerja *packaging*, konveyor merupakan perlengkapan utama yang menunjang jalannya aktivitas kerja. Oleh karena hal tersebut seperti halnya perlengkapan kerja lainnya, konveyor kerja juga harus dirancang sedemikian sehingga memberikan kenyamanan yang optimal sekaligus menunjang keselamatan dan keamanan kerja. Beberapa prinsip ergonomi yang digunakan dalam perancangan konveyor kerja antara lain<sup>52</sup>:

- Ketinggian konveyor kerja harus disesuaikan dengan standar ketinggian ergonomi untuk permukaan kerja pada posisi berdiri atau duduk seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.5**.

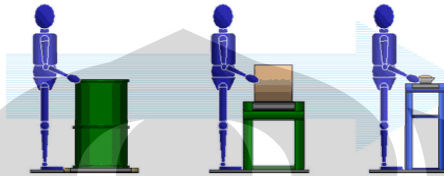
**Tabel 2.5** Ketinggian Meja Kerja Ergonomis untuk Posisi Berdiri dan Duduk

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

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

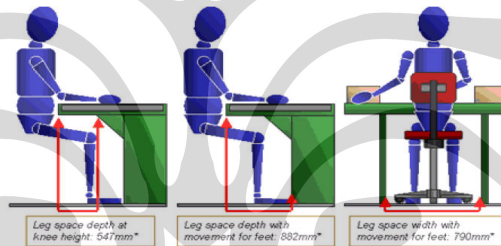
<sup>52</sup>Health and Safety Executive, *Ergonomi Considerations for Designing and Selecting Conveyor Belt Systems*: Further information, HSE Books, London.

- Selain dengan antropometri dan posisi kerja, ketinggian konveyor harus disesuaikan dengan ketinggian dari benda kerja. Ketinggian konveyor harus dikurangi jika benda kerja semakin tinggi untuk memudahkan dan memberikan kenyamanan dalam proses *loading* dan *unloading* pada benda kerja tersebut.



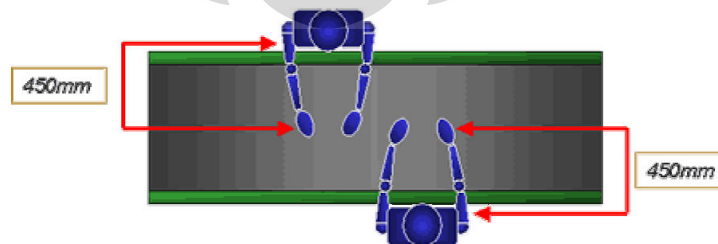
**Gambar 2.4** Ketinggian Konveyor Kerja Berdasarkan Ketinggian Benda Kerja

- Pada bagian bawah konveyor harus terdapat ruangan yang cukup untuk meletakkan lutut dan kaki secara nyaman.



**Gambar 2.5** Ketinggian dan Lebar Ideal bagian Bawah Konveyor Kerja

- Konveyor harus dibuat setipis mungkin untuk memberikan kenyamanan pada paha dan lengan bawah.
- Penggunaan konveyor pada kedua sisi sangat disarankan untuk mencegah timbulnya *jams* atau kemacetan pada sistem konveyor dan memperkecil jangkauan masing – masing pekerja. Sedangkauan jangkauan maksimum tangan pekerja berdasarkan standar ergonomi adalah 45 cm.



**Gambar 2.6** Penggunaan Konveyor pada Kedua Sisi

- Kecepatan konveyor yang ideal adalah di bawah 10 m/ menit. Hal tersebut didasarkan pada penelitian yang dilakukan oleh T.G. dan R.L pada tahun 1975 yang menyatakan bahwa pekerja yang bekerja pada konveyor yang bergerak dengan kecepatan lebih dari 10 m/menit dapat mengalami sindrom *conveyor sickness*. *Conveyor Sickness* merupakan sindrom dengan gejala timbulnya pusing pada kepala atau *nausea* dan *dizziness*.

### 2.3 *Stopwatch Time Study*

Pengukuran waktu (*time study*) pada dasarnya merupakan suatu usaha untuk menentukan lamanya waktu kerja yang dibutuhkan oleh seorang operator yang terlatih untuk menyelesaikan suatu pekerjaan yang spesifik, pada tingkat kecepatan kerja yang normal, dan dalam lingkungan kerja yang terbaik saat itu. Pengukuran waktu tersebut merupakan suatu upaya proses kuantitatif yang diarahkan untuk mendapatkan suatu kriteria objektif.

Secara umum, proses pengukuran waktu dapat dikelompokkan atas dua kelompok besar, yaitu :

- Pengukuran waktu secara langsung
- Pengukuran waktu secara tidak langsung

*Stopwatch Time Study* merupakan salah satu jenis pengukuran waktu secara langsung karena pengamat berada ditempat objek pengukuran yang sedang diamati secara langsung untuk melakukan perhitungan atas waktu kerja yang dibutuhkan oleh seorang operator dalam menyelesaikan pekerjaan.

Di dalam *stop watch time study*, terdapat tiga elemen waktu kerja yang harus dicari yaitu:

- *Observed Time*  
Merupakan waktu aktual hasil penelitian waktu kerja dengan menggunakan *stopwatch*
- *Normal Time*  
Merupakan hasil pengalihan nilai *Observed Time* dengan rating performa operator. Rating performa operator adalah tingkat kualifikasi operator dalam melaksanakan tugasnya.

$$NT = OT \times R/100 \dots\dots\dots (2.1)$$

NT= *Normal Time*

OT= *Observed Time*

R= *Rating*

- *Standard Time*

Merupakan waktu yang dibutuhkan oleh operator yang berkualifikasi untuk mengerjakan suatu pekerjaan dengan tingkatan *effort* rata – rata dan kecepatan standar<sup>53</sup>. *Standard time* didapatkan dari hasil pengalihan *normal time* dengan *allowance* atau kelonggaran yang diberikan pada operator dalam melaksanakan pekerjaannya. Kelonggaran adalah waktu yang diberikan untuk menangani interupsi atau delay yang hadir dalam operasi kerja operator.

$$ST = NT / (1 - Allowance) \dots\dots\dots (2.2)$$

ST = *Standard Time*

NT= *Normal Time*

#### 2.4 *Method Time Measurement*

*Method Time Measurement* merupakan salah satu jenis pengukuran tidak langsung. Pengukuran waktu secara tidak langsung digunakan untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan dari suatu pekerjaan sebelum pekerjaan tersebut diaplikasikan ke dunia nyata. Dapat digunakan pada pekerjaan yang bersifat *repetitive manual work*, dimana detail dari tiap pekerjaan dapat ditentukan.<sup>54</sup>

Pengukuran waktu berdasarkan *Method Time Measurement* dilakukan dengan menguraikan gerakan kerja berdasarkan beberapa elemen, yaitu: menjangkau, mengangkat, memutar, memegang, menempatkan pada posisi, melepas, lepas rakit, gerakan mata dan beberapa gerakan anggota badan lain. Waktu penyelesaian kerja pada setiap elemen gerak ditentukan menjadi beberapa kondisi yang dibedakan dalam klasifikasi kelas. Kelas tersebut dapat menyangkut pada kondisi perhentian, keadaan yang disentuh, dibawa, tingkat kesulitan menangani obyek, atau kondisi lain yang dijelaskan berikut.

<sup>53</sup>Benjamin Niebel and Andris Freivalds, *Method standard and Work Design*, McGraw- Hill, New York, 2003, hal. 395.

<sup>54</sup>Barnes, Ralph M. *Motion and Time Study Design: Measurement of Work*. USA: John Wiley & Sons. 1980: 552.



Beberapa gerakan dasar pada pengukuran *Method Time Measurement* antara lain:

A. Menjangkau (*Reach-R*)

Menjangkau adalah gerakan dasar yang digunakan pada awal untuk memindahkan tangan atau jari ke suatu tempat tujuan dengan tangan kosong. Waktu yang dibutuhkan sangat tergantung pada keadaan tujuan, panjang gerakan dan jenis menjangkau.

Menjangkau dibedakan menjadi lima kelas, yaitu:

1. menjangkau kelas A :  
adalah gerakan menjangkau ke arah suatu tempat yang pasti atau ke suatu obyek di tangan lain.
2. menjangkau kelas B :  
adalah gerakan menjangkau ke arah suatu sasaran yang tempatnya berada pada jarak “kira-kira” tetapi tertentu dan diketahui.
3. menjangkau kelas C :  
adalah gerakan menjangkau ke arah suatu obyek yang tercampur aduk dengan obyek lain.
4. menjangkau kelas D :  
adalah gerakan menjangkau ke arah suatu obyek yang sangat kecil sehingga diperlukan suatu pegangan yang teliti.
5. menjangkau kelas E :  
adalah gerakan menjangkau ke arah suatu sasaran yang tempatnya tidak pasti.

B. Mengangkut (*Move-M*)

Mengangkut adalah gerakan dasar yang dikerjakan untuk membawa suatu obyek ke suatu sasaran. Waktu yang dibutuhkan oleh gerak angkut dipengaruhi oleh keadaan sasaran jarak tempuh, jenis angkut, dan berat obyek yang dipindahkan.

Mengangkut dibedakan menjadi 3 kelas, yaitu:

1. mengangkut kelas A :  
adalah gerakan memindahkan obyek dari satu tangan ke tangan lain, atau berhenti ke suatu penahanan.

2. mengangkut kelas B :  
adalah gerakan memindahkan obyek ke suatu sasaran yang letaknya tidak pasti.
3. mengangkut kelas C :  
adalah gerakan memindahkan obyek ke suatu sasaran yang letaknya pasti.

C. Memutar (*Turn-T*)

Memutar adalah gerakan yang dikerjakan untuk memutar tangan baik dalam keadaan kosong maupun berbeban. Waktu yang dibutuhkan oleh gerakan memutar pada dasarnya dipengaruhi oleh sudut putaran dan berat suatu obyek.

D. Memegang (*Grasp-G*)

Memegang adalah gerakan yang dikerjakan untuk menguasai sebuah atau beberapa obyek melalui jari ataupun dengan tangan untuk memungkinkan melakukan gerakan dasar selanjutnya. Keadaan yang mempengaruhi waktu gerak adalah kesulitan untuk memegang obyek, obyek tercampur dengan obyek lain, dan bentuk obyek yang berbeda.

E. Menempatkan pada posisi (*Position-P*)

Menempatkan pada posisi adalah gerakan yang dikerjakan untuk menempatkan posisi suatu obyek dengan keadaan tanpa tekanan, dengan tekanan rendah, dan dengan tekanan berat. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan dipengaruhi oleh kemudahan gerak untuk menangani dan kesulitan gerak untuk menangani suatu obyek.

F. Melepas (*Release-RL*)

Melepas adalah gerakan yang dikerjakan untuk melepas penguasaan atas suatu obyek dengan jari atau tangan. Waktu yang dibutuhkan oleh gerakan melepas biasanya tidak membutuhkan waktu, kecuali gerakannya terpisah dari gerakan lain.

G. Melepas Rakitan (*Disengage-D*)

Melepas rakitan adalah gerakan yang dikerjakan untuk memisahkan suatu obyek dari obyek lainnya. Waktu yang dibutuhkan oleh gerak melepas rakit biasanya dipengaruhi oleh kesulitan memegang obyek dan kesulitan untuk memisahkan obyek.

#### H. Gerakan mata (*Eye travel and Eye Focus-E*)

Gerakan mata umumnya tidak mempengaruhi waktu gerakan, kecuali gerakan mata perlu pengarahannya dan pemfokusan terhadap suatu obyek.

#### I. Gerakan badan lainnya

Gerakan badan lainnya umumnya kaki, telapak kaki, lutut, pinggang, dan lain-lain.

Penentuan waktu pada setiap gerakan hasil penelitian dengan MTM menggunakan dasar notasi. Notasi umum pada setiap gerakan pengukuran waktu tidak langsung *Method Time Measurement* yang digunakan adalah: **a b c**

a: elemen gerak yang bekerja

b: jarak yang ditempuh

c: kelas dari gerakan yang bersangkutan

Waktu gerak MTM secara keseluruhan ditunjukkan pada tabel 2.6 samapai dengan tabel 2.14. Pengukuran waktu baku tidak langsung MTM memiliki satuan TMU atau *Time Measurement Unit* yang berarti 1 TMU = 0,0006 menit = 0.036 detik.

**Tabel 2.6** menunjukkan konversi dari gerakan mata dan kefokusannya.

**Tabel 2.6** *Eye Travel Time* dan *Eye Focus* – ET dan EF

Eye Travel Time = $15.2 \times T/D$ TMU, with a maximum value of 20 TMU where T = the distance between from and to which the eye travel D = the perpendicular distance from the eye to the line of travel Eye Focus Time = 7.3 TMU
---

Sumber: Niebel and Freivalds, *Methods Standards and Work Design*, 2003, hal 489

**Tabel 2.7** menunjukkan konversi gerakan menjangkau dengan kategori gerakan dibedakan berdasarkan jarak tempuh, dan jenis beban gerakan yang dilaksanakan.

**Tabel 2.7** *Reach* – R

Distance Moved Inches	Time TMU				Hand In Motion		CASE AND DESCRIPTION
	A	B	C or D	E	A	B	
1/4 or less	2.0	2.0	2.0	2.0	1.6	1.6	A. Reach to object in fixed location, or to object in other hand or on which other hand rests.
1	2.5	2.5	3.6	2.4	2.3	2.3	
2	4.0	4.0	5.9	3.9	3.5	2.7	

Sumber: Niebel and Freivalds, *Methods Standards and Work Design*, 2003, hal 487

**Tabel 2.7 Reach – R (Sambungan)**

3	5.3	5.3	7.3	5.3	4.5	3.6	B. Reach to single object in location which may vary slightly from cycle to cycle
4	6.1	6.4	8.4	6.8	4.9	4.3	
5	6.5	7.8	9.4	7.4	5.3	5.0	
6	7.0	8.6	10.1	8.0	5.7	5.7	C. Reach to object jumbled with other objects in a group so that search and select occur
7	7.4	9.3	10.8	8.7	6.1	6.5	
8	7.9	10.1	11.5	9.3	6.5	7.2	
9	8.3	10.8	12.2	9.9	6.9	7.9	D. Reach to a very small object or where accurate grasp is required
10	8.7	11.5	12.9	10.5	7.3	8.6	
12	9.6	12.9	14.2	11.8	8.1	10.1	
14	10.5	14.4	15.6	13.0	8.9	11.5	E. Reach to indefinite location to get hand in position for body balance or next motion or out of way
16	11.4	15.8	17.0	14.2	9.7	12.9	
18	12.3	17.2	18.4	15.5	10.5	14.4	
20	13.1	18.6	19.8	16.7	11.3	15.8	TMU per inch over 30 inches
22	14.0	20.1	21.2	18.0	12.1	17.3	
24	14.9	21.5	22.5	19.2	12.9	18.8	
26	15.8	22.9	23.9	20.4	13.7	20.2	
28	16.7	24.4	25.3	21.7	14.5	21.7	
30	17.5	25.8	26.7	22.9	15.3	23.2	
Additional	0.4	0.7	0.7	0.6			

Sumber: Niebel and Freivalds, Methods Standards and Work Design, 2003, hal 487

**Tabel 2.8** menunjukkan konversi gerakan mengangkat dengan kategori gerakan dibedakan berdasarkan jarak tempuh, jenis beban gerakan, serta berat beban yang dibawa pada saat melakukan gerakan tersebut.

**Tabel 2.8 Move – M**

Distance Moved Inches	Time TMU				Wt. Allowance			CASE AND DESCRIPTION
	A	B	C	Hand In Motion B	Wt. (lb.) Up to	Factor	Constant TMU	
1/4 or less	2.0	2.0	2.0	1.7	2.50	0	0	A. Move object to other hand or against stop
1	2.5	2.9	3.4	2.3				
2	3.6	4.6	5.2	2.9	7.50	1.06	2.2	
3	4.9	5.7	6.7	3.6				
4	6.1	6.9	8.0	4.3	12.50	1.11	3.9	
5	7.3	8.0	9.2	5.0				
6	8.1	8.9	10.3	5.7	17.50	1.17	5.6	
7	8.9	9.7	11.1	6.5				
8	9.7	10.6	11.8	7.2	22.50	1.22	7.4	
9	10.5	11.5	12.7	7.9				
10	11.3	12.2	13.5	8.6	27.50	1.28	9.1	
12	12.9	13.4	15.2	10.0				
14	14.4	14.6	16.9	11.4	32.50	1.33	10.8	
16	16.0	15.8	18.7	12.8				
18	17.6	17.0	20.4	14.2	37.50	1.39	12.5	
20	19.2	18.2	22.1	15.6				
22	20.8	19.4	23.8	17.0	42.50	1.44	14.3	
24	22.4	20.6	25.5	18.4				
26	24.0	21.8	27.3	19.8	47.50	1.5	16	
28	25.5	23.1	29.0	21.2				
30	27.1	24.3	30.7	22.7				
Additional	0.8	0.6	0.9					TMU per inch over 30 inches

Sumber: Niebel and Freivalds, Methods Standards and Work Design, 2003, hal 488

**Tabel 2.9** menunjukkan konversi gerakan memutar dengan kategori perbedaan gerakan berdasarkan sudut putaran serta berat benda yang diputar.

**Tabel 2.9** *Turn dan Apply Pressure – T dan AP*

Weight	Time TMU for Degree Turned										
	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
Small-0 to 2 Pounds	2.8	3.5	4.1	4.8	5.4	6.1	6.8	7.4	8.1	8.7	9.4
Medium-3.1 to 10 Pounds	4.4	5.5	6.5	7.5	8.5	9.6	10.6	11.6	12.7	13.7	14.8
Large-10.1 to 35 Pounds	8.4	10.5	12.3	14.4	16.2	18.3	20.4	22.2	24.3	26.1	28.2
APPLY PRESSURE CASE 1 - 16.2 TMU						APPLY PRESSURE CASE 2 - 10.6 TMU					

Sumber: Niebel and Freivalds, Methods Standards and Work Design, 2003, hal 488

**Tabel 2.10** menunjukkan konversi gerakan menggenggam dengan perbedaan kategori gerakan berdasarkan tipe genggam, ukuran benda yang digenggam, dan bagaimana gerakan genggam tersebut dilaksanakan.

**Tabel 2.10** *Grasp – G*

Type of Grasp	Case	Time TMU	Description	
Pick up	1A	2	Any size object by itself, easily grasp	
	1B	3.8	Object very small or lying close against a flat surface	
	1C1	7.3	Diameter larger than 1/2"	Interference with Grasp on bottom and one side of nearly cylindrical object
	1C2	8.7	Diameter 1/4" to 1/2"	
	1C3	10.8	Diameter less than 1/4"	
Regrasp	2	5.6	Change grasp without relinquishing control	
Transfer	3	5.6	Control transferred from one hand to other	
Select	4A	7.3	Larger than 1" x 1" x 1"	Object jumbled with other objects so that search and select occur
	4B	9.1	1/2" x 1/4" x 1/8" to 1" x 1" x 1"	
	4C	12.9	Smaller than 1/4" x 1/4" x 1/8"	
Contact	5	0	Contact, Sliding, or Hook Grasp	

Sumber: Niebel and Freivalds, Methods Standards and Work Design, 2003, hal 488

**Tabel 2.11** menunjukkan konversi gerakan memosisikan obyek dengan kategori gerakan mudah atau sulit dilaksanakan serta keperluan adanya tekanan pada gerakan memosisikan obyek tersebut.

**Tabel 2.11** *Position – P*

Class of Fit		Symmetry	Easy to Handle	Difficult to Handle
1-Loose	No pressure required	S	5.6	11.2
		SS	9.1	14.7
		NS	10.4	16
2-Close	Light pressure required	S	16.2	21.8
		SS	19.7	25.3
		NS	21	26.3
3-Exact	Heavy pressure required	S	43	48.6
		SS	46.5	52.1
		NS	47.8	53.4
Supplementary Ruls for Surface Alignment				
PISE per alignment : $> 1/16" \leq 1/4"$		P2SE per alignment : $\leq 1/16"$		

Sumber: Niebel and Freivalds, Methods Standards and Work Design, 2003, hal 9

**Tabel 2.12** menunjukkan konversi gerakan melepaskan dengan kategori gerakan dibedakan berdasarkan kontak gerakan.

**Tabel 2.12** *Release – R*

Case	Time TMU	DESCRIPTION
1	2	Normal release performed by opening fingers as independent motion
2	0	Contact release

Sumber: Niebel and Freivalds, Methods Standards and Work Design, 2003, hal 489

**Tabel 2.13** menunjukkan konversi gerakan melepas rakitan dengan kategori gerakan dibedakan atas kemudahan melakukan gerakan dan jenis gerakan lepas rakit tersebut.

**Tabel 2.13** *Disengage – D*

CLASS OF FIT	Height of Recoil	Easy to Handle	Difficult to Handle
1. Loose-Very slightly effort, blends with subsequent mov	Up to 1*	4	5.7
2. Close- Normal effort, slight recoil	Over 1* to 5*	7.5	11.8
3. Tight- Considerable effort, hand recoil markedly	Over 1* to 12*	22.9	34.7

Sumber: Niebel and Freivalds, Methods Standards and Work Design, 2003, hal 489

**Tabel 2.14** menunjukkan konversi berbagai gerakan tubuh, telapak kaki, dan kaki dengan kategori gerakan dibedakan atas jarak yang ditempuh oleh gerakan tersebut.

**Tabel 2.14** Gerakan Tubuh, Telapak Kaki, Dan Kaki

DESCRIPTION		SYMBOL	DISTANCE	TIME TMU	
Foot Motion	Hinged at ankle	FM	Up to 4"	6.5	
	With heavy pressure	FMP		19.1	
Leg or foreleg motion		LM	Up to 6"	7.1	
			Each add'l. inch	1.2	
Sidestep	Case 1	Complete when leading leg contact floor	SS-C1	Less than 12"	Use REACH or MOVE time
				12"	17
	Case 2	Lagging must contact floor before next motion can be made	SS-C2	12"	34.1
				Each add'l. inch	1.1
Bend, Sloop, or Kneel on One Knee		B,S,KOK		29	
Arise		AB,AS,AKOK		31.9	
Kneel on Floor-Both Knees		KBK		69.4	
Arise		AKBK		76.7	
Sit		SIT		34.7	
Stand from Sitting Position		STD		43.4	
Turn body 45 to 50 degree				18.6	
	Case 1	Complete when leading leg contact floor	TBC1		
	Case 2	Lagging must contact floor before next motion can be made		TBC2	37.2
Walk		W-FT	Per Foot	5.3	
Walk		W-P	Per Pace	15	

Sumber: Niebel and Freivalds, *Methods Standards and Work Design*, 2003, hal 490

## 2.5 Virtual Environment

*Virtual environment (VE)* merupakan suatu representasi dari sistem fisik yang dihasilkan oleh komputer yang memungkinkan penggunaanya untuk berinteraksi dengan lingkungan sintesis yang memiliki kemiripan dengan lingkungan nyata<sup>55</sup>. 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<sup>56</sup>.

<sup>55</sup> Kalawsky, R. *The Science of Virtual Reality and Virtual Environments*. Gambridge: Addison-Wesley Publishing Company, 1993. 396 p.

<sup>56</sup> Wilson, J.R. "Virtual environments and applied ergonomis." *Applied Ergonomis* 30:1 Feb (1999): 3-9.

*Virtual Environment* juga dapat didefinisikan sebagai suatu lingkungan artifisial yang diciptakan oleh komputer dan digunakan secara *real-time*. Lingkungan artifisial ini dapat berupa sebuah model tiga dimensi yang berisi kumpulan data yang kompleks. Pengguna dapat memanipulasi *Virtual Human* yang berada di dalam VE untuk berinteraksi dengan lingkungan dan objek yang ada pada lingkungan *virtual* tersebut. *Virtual human* adalah model biomekanis yang akurat dari sosok manusia. Model ini, sepenuhnya meniru gerakan manusia sehingga memungkinkan bagi para peneliti untuk melakukan simulasi aliran proses kerja, dan melihat bagaimana beban kerja yang dirasakan pekerja ketika melakukan suatu rangkaian pekerjaan tertentu.

Berikut ini adalah contoh penggunaan *Virtual Environment* yang bernilai positif bagi kesehatan dan keselamatan kerja<sup>57</sup> :

- Penilaian ergonomis tempat kerja, pembagian tugas, seperti dalam perancangan untuk perakitan dan tata letak ruang kerja.
- Pelatihan teknisi pemeliharaan, misalnya untuk bekerja di lingkungan yang berbahaya.
- Perbaikan perencanaan dan pengawasan operasi.
- Pelatihan umum untuk industri, termasuk prosedur untuk pergerakan material dan penggunaan mesin pelindung.
- Diagnosis kesalahan (*error*) yang terjadi dan perbaikan dalam proses yang berlangsung di pabrik. Analisis dengan menggunakan VE dapat berlangsung dengan dua cara, yaitu:
- Membuat simulasi *Virtual Human* yang berinteraksi pada lingkungan *virtual*.
- Interaksi antara pengguna dengan lingkungan *virtual* dengan menggunakan teknologi *Virtual Reality (VR) interface* sebagai contoh adalah penggunaan kacamata *display*, sarung tangan khusus, *headphone*, dan *tactile feedback device* untuk tubuh<sup>58</sup>. Teknologi tersebut memungkinkan pengguna untuk pindah ke lingkungan *virtual* tanpa harus melakukan perpindahan secara fisik.

<sup>57</sup> Wilson, J.R., et al., ed. "Manufacturing operations in *virtual environments*." *Presence, Teleoperators and Virtual Environments* 4 (1995): 306–317.

<sup>58</sup> Timo Määttä, *Virtual Environments in Machinery Safety Analysis*, VTT Technical Research Centre of Finland, Finland, 2003, hal 45.



Pembuatan lingkungan *virtual* membutuhkan penggunaan *software* dan *hardware* sehingga dalam perkembangannya, perkembangan lingkungan *virtual* bergantung pada perkembangan teknologi informasi. *Software Jack*, merupakan salah satu *software* yang dapat digunakan dalam pembuatan lingkungan *virtual* (*virtual environment*).

### 2.5.1 *Software Jack*

*Software Jack 6.0*, merupakan suatu *software* ergonomi yang dapat mensimulasikan bagaimana model manusia (*virtual human*) yang berada pada lingkungan *virtual* (*virtual environment*) dapat berinteraksi dengan objek dan lingkungan tersebut, serta mendapatkan respon balik yang tepat dari objek yang dimanipulasi. Pengembangan *software Jack* ini terutama sangat memperhatikan penciptaan model tubuh manusia yang paling akurat dibandingkan dengan model manusia digital lain yang pernah ada. Dimensi tubuh dan antropometri manusia *virtual* yang ada pada *software Jack* dapat disesuaikan hingga menyerupai kondisi manusia aktual yang menjadi model dari simulasi tersebut. Selain itu *Virtual Human* dalam *software Jack* memiliki karakteristik dan limitasi seperti halnya manusia biasa antara lain dapat mengerti keseimbangan, kemiripan cara berjalan, dan mengangkat

*Software Jack* memiliki keunggulan dibanding *software* ergonomi lainnya dalam hal menciptakan simulasi manusia dengan karakteristik ergonomi, biomekanik, dan antropometri yang kemudian dapat dioperasikan dan bertindak layaknya manusia di dunia nyata. Beberapa kemampuan lain yang dimiliki oleh *software Jack* dalam penggunaannya sebagai alat simulasi *virtual environment* antara lain:

- Mengimpor gambar CAD sehingga pengguna dapat mendesain *virtual environment* sesuai dengan *lay out* dan komponen lokasi yang diinginkan.
- Membuat model pria dan wanita digital dengan berbagai ukuran antropometri.
- Memposisikan manusia digital dan membuat postur tubuh sesuai dengan aktivitas dan stasiun kerja yang terlibat.

- Mengevaluasi apa saja yang dapat dilihat seorang manusia dari sudut pandang mereka dengan memanfaatkan tampilan dari *feature view cone*.
- Mengevaluasi kemampuan menjangkau dan mengangkat maksimum dari manusia digital.
- Menganalisis pengaruh postur kerja pada bagian – bagian tubuh manusia digital.

*Software Jack* dilengkapi dengan modul *Task Analysis Toolkits (TAT)* yang dapat membantu dalam proses analisis performa model manusia yang telah dibuat. *Task Analysis Toolkit (TAT)* membantu pengguna untuk menganalisis aspek ergonomi dan faktor manusia dalam rancangan kerja di dunia industri. Setelah model animasi simulasi kerja *virtual human* pada *virtual environment* dijalankan, TAT akan menaksir resiko cedera yang dapat terjadi berdasarkan postur, penggunaan otot, beban yang diterima, durasi kerja, dan frekuensi. Modul TAT juga dapat menunjukkan batasan maksimal kemampuan pekerja dalam mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik, dan membengkokkan ketika melakukan pekerjaan. Pada TAT terdapat 9 *tools* analisis ergonomi yang dapat digunakan, yaitu:

1. *Low Back Spinal Force Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi gaya yang diterima oleh tulang belakang manusia pada postur dan kondisi tertentu.

2. *Static Strength Prediction*

Digunakan untuk mengevaluasi persentase dari suatu populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melakukan pekerjaan yang diberikan pada *virtual human* berdasarkan postur tubuh, jumlah energi yang dibutuhkan dan antropometri.

3. *NIOSH Lifting Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi pekerjaan yang melibatkan proses pengangkatan suatu benda, dan penilaian dilakukan berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh NIOSH.

4. *Predetermined Time Analysis*

Digunakan untuk memprediksi waktu yang dibutuhkan seseorang ketika mengerjakan suatu pekerjaan berdasarkan metode *time measurement (MTM-1) system*.

### 5. *Rapid Upper Limb Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi kemungkinan pekerja mengalami kelainan/ cidera pada tubuh bagian atas.

### 6. *Metabolic Energy Expenditure*

Digunakan untuk menyajikan metode sederhana yang dapat memeriksa tingkat kenyamanan suatu operasi kerja.

### 7. *Manual Handling Limit*

Digunakan untuk memperkirakan kecukupan waktu pemulihan yang tersedia untuk suatu pekerjaan sehingga dapat menghindari kelelahan pekerja.

### 8. *Fatigue/ Recovery Time Analysis*

Digunakan untuk mengevaluasi dan merancang pekerjaan-pekerjaan yang dilaksanakan secara manual seperti mengangkat, menurunkan, mendorong, menarik dan membawa dengan tujuan untuk mengurangi risiko penyakit tulang belakang.

### 9. *Ovako Working Posture Analysis System*

Digunakan untuk memprediksi kebutuhan energi yang dibutuhkan seseorang untuk melaksanakan suatu pekerjaan berdasarkan karakteristik pekerja dan sub-pekerjaan dari sebuah pekerjaan.

Dalam menggunakan *software* Jack ini terdapat beberapa tahapan yang harus ditempuh oleh peneliti, yaitu<sup>59</sup>:

#### 1. Membangun sebuah *virtual environment*.

Membangun *virtual environment* dilakukan dengan cara mengimpor komponen – komponen benda kerja yang membangun *virtual environment* dari *Auto Cad* ke dalam layar simulasi Jack dan kemudian memposisikan sesuai kondisi aktual.

#### 2. Menciptakan *virtual human*.

Dengan memanfaatkan fasilitas *Advanced Human Scaling* pada *software* Jack, maka pengguna dapat membuat *virtual human* dengan ukuran antropometri yang diinginkan.

<sup>59</sup> [http://www.ugs.com/products/tecnomatix/docs/fs\\_tecnomatix\\_jack.pdf](http://www.ugs.com/products/tecnomatix/docs/fs_tecnomatix_jack.pdf).

3. Memposisikan manusia *virtual* di dalam *virtual environment* tersebut.  
Jack memungkinkan pengguna untuk membuat postur dengan menggunakan model empiris, kinematika, atau manipulasi persendian secara langsung.
4. Memberikan tugas kepada manusia *virtual* tersebut.  
Animasi yang disediakan oleh Jack sangat memungkinkan penggunaannya membuat suatu mekanisme gerakan sehingga manusia digital dapat melakukan suatu operasi pekerjaan. Animasi Jack juga dapat diputar ulang sehingga peninjauan dan analisis terhadap gerakan menjadi lebih mudah. Hasil animasi juga dapat diekspor dalam bentuk video.
5. Menganalisa performa *virtual human* secara *real time* ketika melakukan tugas yang diberikan dengan menggunakan TAT.  
Tugas yang dikerjakan oleh *virtual human* secara *real time* memberikan dampak atau reaksi terhadap tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh bagian tubuh *virtual human* tersebut. Oleh karena hal tersebut selama animasi dijalankan, TAT secara bersamaan diaktifkan untuk membantu dalam mengevaluasi performa dari *virtual human* tersebut.

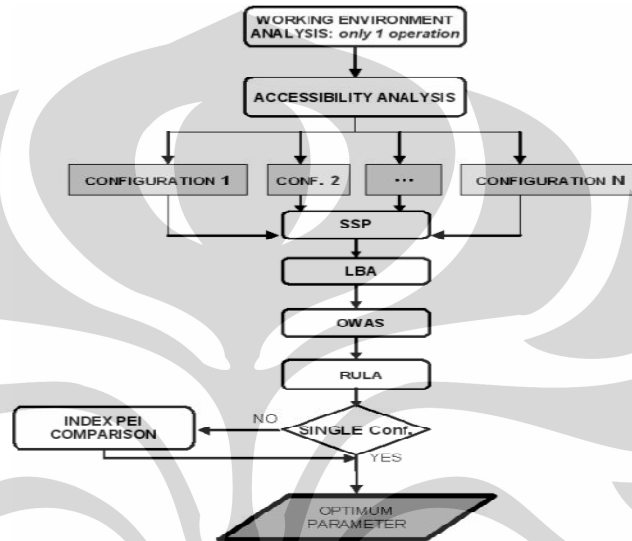
### 2.5.2 Metode *Posture Evaluation Index* (PEI)

Untuk dapat menganalisis tingkat performa dan optimalisasi kenyamanan secara ergonomi pada *virtual human* dalam melakukan tugas yang diberikan, maka dibutuhkan suatu metode yang dapat memberikan analisis yang menyeluruh dan didasarkan dari hasil integrasi dari berbagai penilaian ergonomi. Oleh karena itulah dikembangkan suatu metode yang didasari oleh alat ukur penilaian kerja (*Task Analysis Toolkit*) dari sebuah aplikasi bernama *JACK software* yang disebut dengan metode *Posture Evaluation Index* (PEI)<sup>60</sup>. Tujuan dari metode PEI adalah untuk menetapkan optimasi secara ergonomi pada sebuah operasi yang berada di sebuah area kerja. **Gambar 2.7** ini menunjukkan diagram alur dari pendekatan yang menggunakan metode PEI.

Untuk mendapatkan suatu tingkat nyaman yang optimal maka harus diminimalisir terbentuknya *critical posture* selama operasi kerja berlangsung. *Critical posture* dari setiap rangkaian operasi kerja merupakan postur kerja yang

<sup>60</sup> F. Caputo, G. Di Gironimo, A. Marzano, *Ergonomi Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment*, University of Naples, Italy, 2006.

paling berpotensi menimbulkan WMSD. Sering kali *critical posture* sulit untuk dideteksi dengan tepat. Dengan menggunakan TAT yang dimiliki oleh *software* Jack dan metode PEI, kualitas dari suatu postur tunggal dapat dinilai sehingga *critical posture* juga dapat dideteksi<sup>61</sup>. **Gambar 2.7** menunjukkan alur penggunaan metode PEI.



**Gambar 2.7** Diagram Alur Penggunaan Metode PEI

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

Secara garis besar berdasarkan **Gambar 2.7**, terdapat 7 tahapan atau fase yang harus dilalui antara lain:

- Fase Satu : Analisis Lingkungan Kerja

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

<sup>61</sup>Giuseppe Di Gironimo, G Monacellia and S.Patalano, *A Design Methodology For Maintainability of Utomotive Components in Virtual Environment*, International Design Conference-Design 2004, Dubrovnik, 2004.

- 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. Konfigurasi tata letak yang di luar kemampuan kerja dan jangkauan operator pada fase ini tidak akan dilanjutkan ke fase berikutnya. Jika analisis lingkungan kerja, serta keterjangkauan dan aksesibilitas konfigurasi telah menunjukkan kondisi – kondisi yang sesuai dengan kondisi dan limitasi manusia, maka fase berikutnya dari tahapan PEI baru dapat dilanjutkan.
- Fase Tiga : *Static Strength Prediction (SSP)*  
*Static Strength Prediction* adalah *tools* yang dapat memprediksi persentase populasi pekerja yang dapat melakukan rangkaian kegiatan yang disimulasikan. Operasi pekerjaan yang memiliki nilai skor SSP di bawah 90% tidak akan dianalisa lebih lanjut (hasil wawancara dengan Adelaide Marzano salah satu anggota dari tim pengembang PEI, 11 Mei 2009).
- Fase Empat : *Low Back Analysis (LBA)*  
*Low Back Analysis (LBA)* merupakan *tools* yang digunakan untuk mengevaluasi gaya dan tekanan yang terjadi pada tulang belakang manusia berdasarkan postur dan beban yang dikenakan saat melakukan suatu operasi kerja. Nilai tekanan yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan batasan tekanan yang ada pada standard NIOSH yaitu 3400 N.
- Fase Lima : *Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)*  
*Ovako Working Posture Analysis System (OWAS)* merupakan metode sederhana untuk mengetahui tingkat kenyamanan dari suatu postur kerja serta untuk memberikan informasi mengenai tingkat kepentingan perlunya dilakukan kegiatan perbaikan. Tingkat penilaian ini berdasarkan pada postur dan observasi rangkaian kerja operator yang disimulasikan. Nilai OWAS yang dihasilkan kemudian dibandingkan dengan indeks kenyamanan maksimum yang ada pada OWAS yaitu 4.

- Fase Enam : *Rapid Upper Limb Assessment (RULA)*

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

- Fase Tujuh : *PEI Evaluation*

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

$$I_1 = \frac{LBA}{3400N} \quad I_2 = \frac{OWAS}{4} \quad I_3 = \frac{RULA}{7} \quad mr = 1,42 \quad (2.1)$$

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* dapat ditinjau dengan prinsip bahwa semakin kecil nilai PEI, semakin tinggi tingkat kenyamanan dan semakin rendah resiko keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia yang melakukan postur tersebut. Sebaliknya semakin tinggi nilai PEI, semakin rendah tingkat kenyamanan dan semakin tinggi resiko

keluhan kesehatan yang dapat diderita oleh manusia. Sehingga suatu postur kerja dikatakan optimal jika memiliki nilai PEI paling rendah.

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

SSP merupakan salah satu tools analisis ergonomi yang digunakan untuk mengevaluasi persentase dari populasi pekerja yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan suatu operasi kerja. Analisis kapabilitas yang dilakukan SSP didasarkan pada pertimbangan postur, tenaga yang dibutuhkan dan antropometri. Prinsip dasar SSP adalah<sup>62</sup>:

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

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

- Menganalisis pekerjaan yang berhubungan dengan pengoperasian material yang meliputi: pengangkatan barang, penurunan barang, mendorong, dan menarik, yang membutuhkan pergerakan pada pinggang, serta gerakan tangan dan gaya yang kompleks
- Memprediksi persentase pekerja wanita dan pria yang memiliki kekuatan untuk melaksanakan pekerjaan yang telah ditentukan
- Mengidentifikasi postur-postur kerja tertentu yang membutuhkan karakteristik kekuatan yang melebihi batas beban ideal, maupun melebihi batas kemampuan pekerja

Perhitungan nilai SSP menggunakan suatu konsep yang disebut dengan konsep biomekanika. Cara kerja konsep biomekanika tersebut adalah dengan melihat sistem muskuloskeletal yang memungkinkan tubuh untuk mengungkit (fungsi tulang) dan bergerak (fungsi otot). Pergerakan otot akan membuat tulang untuk cenderung berotasi pada setiap persendian yang ada. Besarnya kecenderungan berotasi ini disebut dengan momen rotasi pada suatu sendi. Selama terjadi pergerakan, maka akan terjadi usaha saling menyeimbangkan antara gaya yang dihasilkan oleh kontraksi otot dengan gaya yang dihasilkan oleh

<sup>62</sup> Don B. Chaffin, G Lawton, and Louise G. Johnson, *Some Biomechanical Perspectives on Musculoskeletal Disorders: Causation and Prevention*, University of Michigan, 2003.



beban pada segmen tubuh dan faktor eksternal lainnya. Secara matematis hal ini dituliskan dalam persamaan:

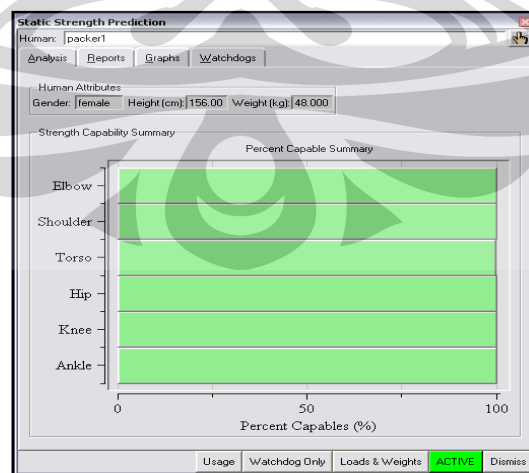
$$M_j = S_j \dots\dots\dots(2.4)$$

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

- beban yang dialami tangan (contohnya: beban mengangkat, gaya dorong, dan lain-lain)
- postur kerja ketika seseorang mengeluarkan usaha terbesarnya
- antropometri seseorang

Output SSP yang dikeluarkan oleh *software* Jack seperti yang ditampilkan oleh **Gambar 2.8** menampilkan beberapa informasi yang antara lain:

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



**Gambar 2. 8** Tampilan SSP pada *Software* Jack

Sumber: Jack *Training Manual*, 2008, hal.12

### 2.5.2.2 Low Back Analysis (LBA)

*Low Back Analysis* (LBA) merupakan metode untuk mengevaluasi gaya-gaya yang bekerja di tulang belakang manusia pada kondisi beban dan postur tertentu<sup>63</sup>. Metode LBA bertujuan untuk:

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

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

$$RWL = LC \times HM \times VM \times DM \times FM \times AM \times CM \dots \dots \dots (2.5)$$





dimana:

- RWL = *recommended weight limit* (batas beban yang direkomendasikan)
- LC = beban konstan
- HM = faktor "*Horizontal Multiplier*",
- VM = faktor "*Vertical Multiplier*",
- DM = faktor "*Distance Multiplier*" atau faktor pengali jarak,
- FM = faktor "*Frequency Multiplier*" atau faktor pengali frekuensi,
- AM = faktor "*Asymmetric Multiplier*"
- CM = faktor "*Coupling Multiplier*"

<sup>63</sup> Siemens PLM *Software*, Op.Cit, hal. 2-3.

### 2.5.2.3 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 suatu operasi kerja. Hasil penilaian OWAS akan menentukan tingkat kepentingan atau urgensi untuk dilakukannya perbaikan terhadap rancangan stasiun kerja. Selain itu berdasarkan nilai OWAS dapat ditentukan tindakan perbaikan dari postur kerja yang ada<sup>64</sup>. Penggunaan metode OWAS dalam menganalisis kenyamanan hanya ditekankan pada evaluasi beberapa faktor antara lain postur kerja yang dialami punggung, lengan, kaki, dan besarnya beban yang harus ditopang oleh tubuh seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.9**.

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

**Gambar 2. 1** 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. Nilai dari keempat faktor tersebut kemudian diintegrasikan menjadi nilai tunggal yang menunjukkan tingkat kenyamanan total yang ditimbulkan

<sup>64</sup> Ibid, hal 35-36

oleh postur kerja yang dilakukan. Nilai tunggal yang dihasilkan memiliki jangkauan nilai1 hingga 4 seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.15**.

**Tabel 2. 15** Pembobotan nilai pada OWAS

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

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

Masing – masing nilai tunggal tersebut memiliki hasil analisis tersendiri yang didasarkan pertimbangan kemungkinan timbulnya risiko kesehatan dari satu postur kerja atau kombinasi postur kerja dan hubungannya dengan sistem *muskuloskeletal*<sup>65</sup>. Sebagai contoh adalah hasil penilaian postur kerja yang pada bagian punggung mengalami pembungkukan dan kaki menekuk selama lebih dari 70% dari waktu kerja memiliki nilai OWAS 4 yang menunjukkan bahwa postur kerja tersebut sangat tidak nyaman dan sangat beresiko terhadap timbulnya cedera kesehatan sehingga diperlukan tindakan perbaikan secepat mungkin.

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

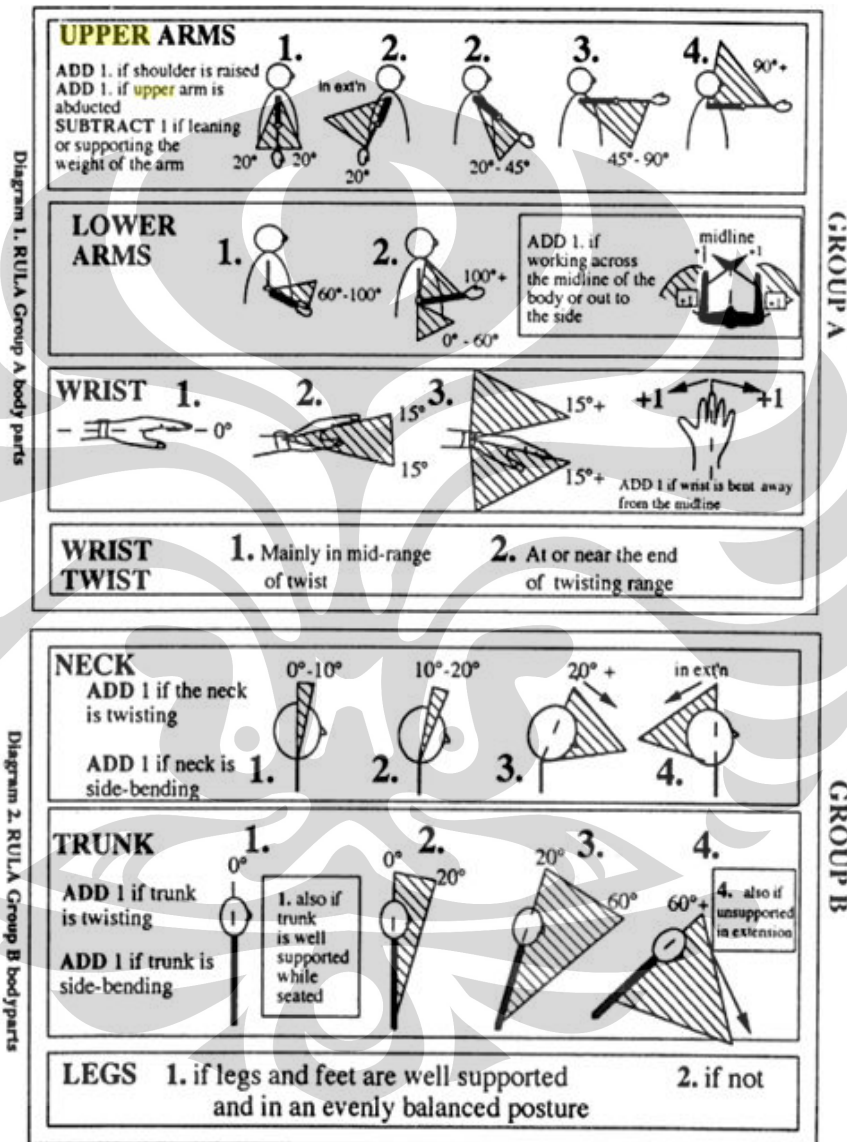
- Mengevaluasi ketidaknyamanan relatif dari postur kerja terhadap posisi tulang punggung, kedua tangan dan kaki, dan juga beban kerja yang dijalankan.
- Memberikan suatu skor penilaian yang menunjukkan tingkat prioritas dari perlunya pengambilan suatu tindakan perbaikan yang dapat mengurangi potensi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

#### 2.5.2.4 *Rapid Upper Limb Assessment Analysis (RULA)*

RULA merupakan metode untuk mengevaluasi tekanan beban kerja terhadap risiko cedera pada tubuh bagian atas (*upper limb*) pekerja. Pada metode RULA, tinjauan objek analisis tubuh bagian atas yang menjadi dibagi menjadi dua kelompok yaitu seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.10**:

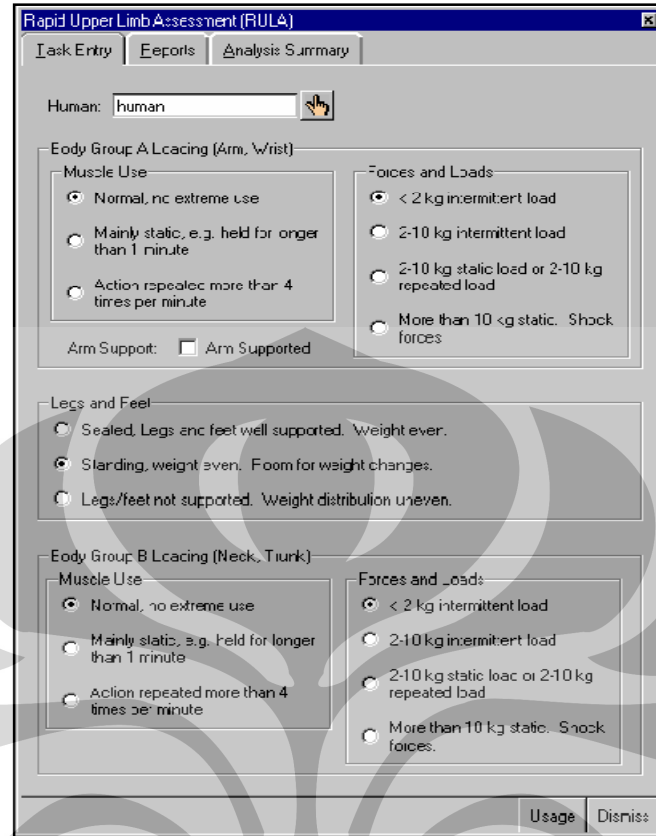
<sup>65</sup> Waldemar Karwowski, *International Encyclopedia of Ergonomis and Human Factor*, Taylor and Francis, New York, 2001, hal.3299.

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



**Gambar 2. 10** Pengelompokan Tubuh Metode RULA

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



**Gambar 2.11** Dialog Box RULA

Sumber: Task Analysis Tools Software Jack

Dengan menggunakan metode RULA, masing – masing postur yang dialami oleh tubuh bagian atas yang menjadi objek tinjauan menghasilkan nilai evaluasi yang berbeda – beda berdasarkan kondisi posturnya masing – masing. Setiap nilai yang dihasilkan kemudian diintegrasikan dengan faktor pembebanan dan jenis tugas yang dimasukkan sebelum analisis RULA dijalankan seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.11** untuk menghasilkan suatu nilai tunggal yang menunjukkan bobot resiko yang akan diterima oleh tubuh bagian atas secara keseluruhan akibat operasi kerja yang dilakukan. Semakin tinggi nilai yang diberikan menjelaskan resiko akan pekerjaan yang semakin besar terhadap kesehatan<sup>66</sup>. Nilai ini mampu mengindikasikan derajat intervensi yang disyaratkan untuk mengurangi resiko cedera seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 2.16**.

<sup>66</sup> R. Lueder, *A Proposed RULA for Computer Users in Occupational and Environmental Health*, UC Berkeley Center, San Fransisco, 1996.

**Tabel 2. 16** Pembobotan nilai pada RULA

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

Sumber: *Siemens PLM Software Inc., 2008*

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 skor penilaian yang mengindikasikan derajat intervensi yang dibutuhkan untuk mengurangi risiko terjadinya cedera pada tubuh bagian atas.

## 2.6 Simulasi

Simulasi secara sederhana dapat didefinisikan sebagai suatu imitasi dari sistem dinamik dengan menggunakan model komputer dan bertujuan untuk melakukan evaluasi dan perbaikan terhadap sistem yang disimulasikan<sup>67</sup>. Literatur lain mendefinisikan simulasi sebagai imitasi dari operasi suatu proses atau sistem dunia nyata sepanjang waktu, baik yang dilakukan secara manual maupun dengan menggunakan komputer. Simulasi mencakup pembuatan sejarah buatan dari sistem dan observasi sejarah buatan tersebut untuk mengambil kesimpulan yang berkaitan dengan karakteristik operasi dari sistem sesungguhnya.<sup>68</sup> *Oxford American Dictionary* mendefinisikan simulasi sebagai satu cara mereproduksi kondisi-kondisi dari suatu situasi dengan menggunakan model, untuk melakukan studi, uji coba, pelatihan, dan lain-lain. Menurut Schriber, simulasi dijelaskan sebagai pembuatan model dari suatu proses atau sistem dengan suatu cara yang mengimitasi respon dari sistem aktual terhadap kejadian-kejadian yang terjadi

<sup>67</sup> C. Harrell., *Op.Cit.*, hal. 5

<sup>68</sup> Banks, Jerry., dkk, *Discrete-Event System Simulation*, ed. ke-4, Prentice Hall, New Jersey, 2005, hal.3

menurut waktu.<sup>69</sup> Sedangkan menurut Shannon, simulasi adalah proses mendesain model dari sistem nyata dan melakukan eksperimen dengan model tersebut baik untuk tujuan memahami perilaku sistem maupun mengevaluasi berbagai strategi untuk operasi sistem tersebut.

Perilaku dari suatu sistem sesuai perkembangannya sepanjang waktu dipelajari dengan mengembangkan model simulasi. Model tersebut berasal dari sejumlah asumsi yang berkaitan dengan operasi sistem. Asumsi – asumsi kemudian diekspresikan dalam hubungan matematis, logis, dan simbolis antara elemen-elemen dalam sistem. Berdasarkan model tersebut, dapat diabstraksikan beberapa sistem nyata yang dapat digunakan untuk memperoleh prediksi dan memformulasikan strategi pengendalian sistem.<sup>70</sup>

Kelebihan dari penggunaan simulasi dari suatu pengkajian dan evaluasi suatu sistem antara lain adalah sebagai berikut:

- Memiliki metode analisis yang tidak hanya bersifat formal dan prediktif tapi juga akurat dalam mengevaluasi performa sistem yang kompleks.
- Penggunaan model komputer menghindarkan dari berbagai kegagalan dalam pengenalan sistem baru yang akhirnya menimbulkan biaya dan mengganggu performa aktual sistem yang sedang berjalan.
- Memberikan tampilan visual dan grafis mengenai alur dan proses kerja di dalam sistem.
- Menghemat penggunaan waktu dan biaya dalam melakukan analisis dan uji coba terhadap sistem baru.
- Menyediakan informasi dalam berbagai ukuran performa.
- Memberikan hasil yang mudah dimengerti dan mudah dikomunikasikan.
- Dapat dijalankan dalam waktu yang dipersingkat atau pun diperlambat
- Memberikan perhatian pada detil dalam desain.

Berdasarkan kelebihan – kelebihan tersebut, metode simulasi kerap kali digunakan untuk:

- Mempelajari dan melakukan eksperimen dengan interaksi dalam sebuah sistem atau subsistem yang rumit.

<sup>69</sup> C. Harrell., *Op.Cit.*, hal. 5.

<sup>70</sup> Rubinstein, R.Y. dan Kroese, D.P., *Simulation and The Monte Carlo Method*, ed. ke-2, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008, hal. 82.



- Mensimulasikan perubahan informasi, organisasi, dan lingkungan dan mempelajari perubahan perilaku yang terjadi.
- Memperoleh pengetahuan untuk memberikan saran pengembangan sistem yang disimulasikan.
- Mengetahui variabel-variabel yang paling penting dan bagaimana variabel-variabel saling berinteraksi.
- Melatih untuk memperkuat metodologi dalam menganalisis solusi.
- Melakukan eksperimen dengan kebijakan atau desain baru sebelum mengimplementasikannya.
- Melakukan pelatihan tanpa harus mengganggu pekerjaan sebenarnya.
- Sistem modern yang cukup rumit sehingga interaksi didalamnya hanya bisa ditangani dengan simulasi.

Metode simulasi memberikan pandangan lebih simulasi memberikan pemahaman mendalam terhadap dinamika sistem yang kompleks yang tidak bisa diperoleh menggunakan teknik-teknik analisis yang lain. Simulasi memberikan para perencana sistem kebebasan untuk mencoba ide-ide yang berbeda untuk perbaikan, tanpa risiko, tanpa biaya, tidak menghabiskan waktu dan tidak mengganggu sistem yang telah ada<sup>71</sup>. Simulasi secara umum merupakan suatu metodologi untuk menganalisis masalah dan membangun solusi. Seiring dengan perkembangan teknologi komputer dan kemampuan *software* yang *user friendly*, penggunaan simulasi untuk mengatasi masalah manajemen semakin meningkat.<sup>72</sup>. Aspek – aspek lainnya yang meningkatkan popularitas dalam penggunaan simulasi antara lain:

- Peningkatan kapabilitas, ketersediaan, dan kemudahan penggunaan *software* simulasi.
- Peningkatan performa komputer seperti *memory* dan kecepatan proses.
- Pengurangan biaya yang dikeluarkan untuk penggunaan *hardware* dan *software*.

<sup>71</sup> C. Harrell, *Op.Cit.*, hal. 8.

<sup>72</sup> Asllani, Arben., *Dileepan, Parthasarati., dan Etkin, Lawrence. A Mvthodology for Using Simulation to Optimize Emergency Mass Vaccination Parameters.* 2007

### 2.6.1 Prosedur Simulasi

Dalam pengaplikasiannya, membuat suatu simulasi membutuhkan tahapan yang lebih kompleks dibandingkan dengan hanya membangun dan menjalankan suatu model. Suatu simulasi dapat sukses memberikan hasil akhir seperti yang diinginkan jika direncanakan dan dikoordinasikan secara baik. Secara garis besar terdapat 6 prosedur utama dalam membuat suatu simulasi, yaitu<sup>73</sup> .:

1. Menentukan tujuan, ruang lingkup, dan kebutuhan
2. Mengumpulkan dan menganalisis data
3. Membangun model
4. Memvalidasi model
5. Mejalankan percobaan
6. Menampilkan hasil akhir

#### 2.6.1.1 Menentukan Tujuan, Ruang Lingkup, dan Kebutuhan

Jika masalah utama dari suatu sistem yang akan dimodelkan telah jelas dipahami, maka tahapan yang paling penting adalah menentukan tujuan akhir yang ingin dicapai dari simulasi tersebut. Tujuan yang dibuat haruslah realistis dan dapat dicapai dengan segala *resource* dan waktu yang disediakan.

Ruang lingkup merupakan elemen sistem mana saja yang akan direpresentasikan dari model simulasi yang dibuat. Penentuan ruang lingkup harus didasarkan pada seberapa besar pengaruh dari elemen tersebut terhadap pencapaian tujuan simulasi.

Untuk mencapai tujuan di dalam ruang lingkup yang telah ditentukan tersebut, kebutuhan – kebutuhan yang dibutuhkan harus pula diteliti lebih lanjut apakah sudah tersedia atau belum. Kebutuhan – kebutuhan tersebut antara lain sumber daya, waktu, dan anggaran.

#### 2.6.1.2 Mengumpulkan dan Menganalisis Data

Pengumpulan data dilakukan secara bertahap yaitu dengan melakukan identifikasi, pengumpulan, dan analisis tipe data yang nantinya menjadi input dari model simulasi. Tahapan pengumpulan data ini menghasilkan satu konsep dari

---

<sup>73</sup> C. Harrell, *Op.Cit.*, hal. 107.

model simulasi bagaimana konfigurasi suatu sistem dan bagaimana sistem tersebut beroperasi. Konsep tersebut dapat berupa deskripsi tertulis, diagram alur, atau sketsa model.

Pengumpulan data merupakan tahapan yang paling menantang dan memakan waktu. Untuk sistem yang baru informasi sering kali tidak teratur dan hanya berupa estimasi kasar. Sedangkan untuk sistem lama sering kali data yang terkumpul dari tahun ke tahun tidak terorganisir dengan baik. Oleh sebab itu dalam pengumpulan data sebelumnya harus dibuat identifikasi yang jelas dan dilakukan dengan tahapan yang paling efektif agar tidak memakan waktu lama.

#### 2.6.1.3 Membangun Model

Dalam membangun sebuah model sebelumnya harus didalami dengan jelas konsep dari model tersebut. Kemampuan mengkonsepkan model sangat dipengaruhi oleh kemampuan untuk menarik komponen-komponen dasar masalah untuk memilih dan memodifikasi asumsi-asumsi dasar yang menjadi karakteristik sistem, kemudian memperluas dan memperinci model sampai menghasilkan pendekatan sistem yang tepat.

Setelah konsep model benar – benar dimengerti, maka konsep tersebut diterjemahkan ke dalam model simulasi komputer. Dalam menerjemahkan model perlu dipertimbangkan jenis aplikasi yang digunakan. Karena jenis aplikasi mempengaruhi bahasa pemrograman yang digunakan. Menerjemahkan model membutuhkan waktu dan usaha yang lebih banyak namun perkembangan *software* simulasi yang ada saat ini memberikan fitur-fitur yang membuatnya lebih fleksibel.

#### 2.6.1.4 Memvalidasi Model

Tujuan dari tahapan ini adalah memastikan model yang dibuat memiliki kredibilitas untuk merepresentasikan sistem aktual. Secara umum tahapan ini terbagi menjadi dua yaitu verifikasi model dan validasi model.

Verifikasi model merupakan proses untuk menentukan apakah model simulasi merefleksikan model konseptual dengan tepat. Pada tahapan ini model tersebut diperiksa apakah telah dibuat dengan benar atau tidak. Verifikasi model

berkaitan dengan pengecekan struktur dan *syntax* yang digunakan dalam model. Oleh karena itu, dalam verifikasi lebih melibatkan pembuat model daripada pengguna model. Beberapa cara yang dapat dilakukan dalam verifikasi adalah:

- Melakukan pengecekan pada kode model.
- Memeriksa *output* model.
- Mengamati tingkah laku sistem dalam animasi.
- Menggunakan fungsi *trace* dan *debug* pada *software* untuk mendapatkan keadaan model yang tidak dapat terlihat melalui animasi.

Validasi model merupakan proses untuk menentukan apakah model telah merepresentasikan sistem yang sebenarnya. Model bisa berjalan dengan benar (lulus verifikasi) namun belum tentu model tersebut bisa merepresentasikan sistem. Oleh karena itu diperlukan pengecekan model dengan melibatkan pengguna atau orang yang mengetahui sistem tersebut. Beberapa cara yang dilakukan dalam validasi model adalah:

- Melakukan pengamatan pada animasi untuk dibandingkan dengan pengetahuan seseorang mengenai keadaan sebenarnya.
- Membandingkan dengan sistem aktual.
- Membandingkan dengan model lain yang telah tervalidasi.
- Melakukan uji degenerasi untuk melihat apakah sifat *output* dari model akan berubah ketika salah satu variabelnya mencapai titik tertentu.
- Menggunakan uji kondisi ekstrim seperti dengan menghalau kedatangan pada suatu sistem untuk melihat apakah sistem masih akan berjalan
- Melakukan pemeriksaan dengan *face validity*, yaitu dengan menayakan seseorang yang memiliki pengetahuan mengenai sistem mengenai masuk akal nya model yang dibuat.
- Melakukan pengujian terhadap data historis.
- Melakukan analisis sensitivitas.
- Melakukan penelitian terhadap kejadian-kejadian yang terjadi pada model untuk dibandingkan dengan tingkah laku sistem aktual.
- Melakukan *turing test* yaitu sebuah uji untuk melihat apakah orang-orang yang berpengetahuan mengenai sistem aktual dapat membedakan *output* dari sistem dan *output* dari model.

#### 2.6.1.5 Mejalankan Percobaan

Setelah model simulasi terbukti valid, maka tahapan berikutnya adalah merancang percobaan-percobaan yang akan dilakukan terhadap model tersebut. Alternatif-alternatif yang berkaitan dengan pengambilan keputusan harus ditentukan, termasuk lamanya simulasi, jumlah percobaan, perubahan variabel dalam sistem dan sebagainya. Model kemudian dijalankan sesuai alternatif yang telah dibuat untuk mengetahui akibat yang terjadi untuk setiap alternatif tersebut. Data hasil percobaan tersebut kemudian dianalisis untuk mencari solusi yang paling sesuai terhadap masalah yang ada.

#### 2.6.1.6 Menampilkan Hasil Akhir

*Output* akhir dari semua percobaan adalah tingkat performa sistem yang dapat ditampilkan dalam bentuk statistik dan grafik. Dari keseluruhan *output* tersebut kemudian dibandingkan untuk mencari model sistem mana yang menghasilkan *output* yang paling optimal. Konfigurasi model yang paling optimal tersebutlah yang kemudian dapat direkomendasikan untuk memperbaiki sistem aktual.

#### 2.6.2 Data dalam Simulasi

Dalam pembuatan model simulasi, data yang dibutuhkan dikelompokkan menjadi tiga yaitu:

##### 1. Data Struktural

Data struktural berkaitan dengan struktur dan konfigurasi dari sebuah sistem seperti layout, lokasi, dan entitas yang diproses. Semua informasi mengenai keberadaan elemen yang mempengaruhi kelakuan dari sistem merupakan bagian dari data struktural.

##### 2. Data Operasional

Data operasional menjelaskan kapan, dimana, dan bagaimana sistem beroperasi. Data operasional mengandung informasi logis dan kerja suatu sistem seperti rute, jadwal, dan perilaku-perilaku sistem lainnya. Jika proses kerja dalam suatu sistem terstruktur dan terkontrol dengan baik, maka data operasional dapat dengan mudah didefinisikan.

### 3. Data Numerik

Data numerik menyediakan informasi kuantitatif dari suatu sistem seperti kapasitas, tingkat kedatangan entitas, dan waktu proses. Beberapa data numerik dapat dengan mudah ditentukan seperti kapasitas sumber daya dan waktu kerja. Namun ada beberapa nilai yang sulit untuk dilacak nilainya seperti waktu antara kegagalan proses dan probabilitas rute hal tersebut terjadi karena sistem yang dianalisis merupakan sistem yang baru. Oleh sebab itu diperlukan identifikasi yang jelas sebelum melakukan pengumpulan data numerik.

#### 2.7 Simulasi ProModel

ProModel merupakan alat simulasi dan animasi yang dirancang untuk secara khusus memodelkan sistem manufaktur namun dapat juga digunakan untuk memodelkan sistem jasa. Beberapa sistem manufaktur yang dapat dimodelkan oleh ProModel antara lain *job shops*, konveyor, kanban, *just in time*, dan sebagainya. Sedangkan sistem jasa antara lain rumah sakit, transportasi, pelayanan pelanggan, *supply chain*, logistik, dan sebagainya.

ProModel merupakan alat simulasi yang memiliki kemampuan untuk melakukan pengujian terhadap berbagai alternatif rancangan, ide, dan peta proses sebelum secara aktual diimplementasikan<sup>74</sup>. Perbaikan terhadap sistem aktual atau rancangan sistem baru dapat dimodelkan dan diuji tanpa membutuhkan biaya, waktu, dan sumber daya yang dalam kondisi sebenarnya dibutuhkan. Berbagai strategi operasi dan alternatif kontrol dapat dibandingkan dan dianalisis.

ProModel merupakan *discrete event simulator* dan digunakan untuk memodelkan sistem diskret. Sistem diskret adalah sistem yang mengalami perubahan pada titik-titik diskrit dalam suatu waktu yang didorong oleh kejadian-kejadian tertentu. Ukuran performa sistem yang menjadi konsentrasi utama ProModel adalah utilisasi sumber daya, kapasitas produksi, produktivitas, tingkat persediaan, *bottlenecks*, dan *throughput times*.

---

<sup>74</sup> C. Harrell, *Op.Cit.*, hal. 377.

### 2.7.1 Elemen Model Simulasi ProModel

ProModel memiliki elemen – elemen yang berfungsi untuk menggambarkan apa, kapan, dimana, dan bagaimana proses kerja terjadi di dalam sistem. Elemen – elemen tersebut antara lain lokasi, entitas, *resource*, kedatangan, variabel, proses, dan *routing*.

#### 2.7.1.1 Lokasi

Lokasi merepresentasikan tempat yang tetap di dalam sistem dimana barang atau entities yang ada dalam sistem mengalami pemrosesan, penyimpanan, proses tunggu, dan aktivitas lainnya. Jenis lokasi yang paling banyak digunakan pada penelitian ini adalah antrian atau konveyor. Kedua lokasi tersebut merupakan tempat terjadinya pergerakan dan transfer entitas dari satu tempat ke tempat lainnya dengan panjang jarak yang ditentukan berdasarkan panjangnya antrian atau panjangnya konveyor itu sendiri.

#### 2.7.1.2 Entitas

Entitas merupakan segala bentuk barang yang diproses di dalam model. Sebagai contoh entitas di dalam masing – masing sistem antara lain pasien di dalam sistem rumah sakit, *part* produk di dalam pabrik, dan nasabah di dalam sistem Bank. Entitas di dalam sistem mengalami pemrosesan yang dapat berupa transfer atau pergerakan, perbuahan bentuk, dan proses tunggu.

#### 2.7.1.3 *Resource* atau Sumber Daya

*Resource* merupakan operator, perlengkapan, atau peralatan lainnya yang digunakan untuk menjalankan satu atau lebih fungsi yang ada di dalam sistem. Fungsi – fungsi yang dijalankan *resource* antara lain memindahkan entitas, melakukan operasi pemeliharaan pada lokasi, melakukan operasi – operasi kerja yang membuat entitas menunggu dalam sistem, dan sebagainya.

#### 2.7.1.4 Kedatangan

Kedatangan merupakan mekanisme yang menjelaskan bagaimana entitas masuk ke dalam sistem. Entitas dapat masuk ke dalam sistem secara satu persatu

ataupun dalam *batch*. Jumlah entitas yang masuk setiap kedatangan disebut kuantitas *batch* atau ukuran *batch*, sedangkan waktu antara kedatangan *batch* entitas tersebut disebut *interarrival time* atau frekuensi kedatangan. Jumlah setiap kedatangan dan waktu antar kedatangan dapat konstan dan berubah – ubah berdasarkan penggunaan distribusi data.

#### 2.7.1.5 Variabel

Variabel merupakan tempat meletakkan nilai – nilai *real* maupun *integer* yang berubah–ubah selama simulasi berlangsung. Variabel biasanya digunakan untuk pengambilan keputusan atau untuk pengumpulan data. Variabel juga digunakan untuk melacak nilai – nilai statistik memonitor aktivitas sistem selama simulasi berlangsung.

Berbagai contoh fungsi variabel yang berguna untuk mengetahui nilai – nilai suatu elemen sistem pada suatu waktu tertentu dalam simulasi, antara lain digunakan pada sistem:

- Jumlah nasabah yang menunggu pada antrian
- Lama waktu tunggu pada periode tertentu
- Jumlah persediaan *Work in Process*
- Kuantitas Produksi

Variabel dalam simulasi ProModel dibedakan menjadi dua jenis:

##### 1. Global Variabel

Merupakan variabel yang dapat digunakan kapanpun pada semua bagian dari model simulasi. Nilai pada variabel global akan tampak sangat dinamis selama simulasi berlangsung dan dapat juga mengalami perubahan secara interaktif.

##### 2. Lokal Variabel

Merupakan variabel yang digunakan untuk kebutuhan sesaat dan hanya digunakan pada operasi – operasi tertentu di dalam model. Sebagai contoh adalah penggunaan variabel lokal pada operasi tertentu di tabel proses, *move logic* yang terdapat pada tabel *Routing*, *logic* pada tabel kedatangan, *initialization* atau *termination logic*, dan sebagainya.



#### 2.7.1.6 Proses

Proses menggambarkan karakteristik operasi yang terjadi pada lokasi – lokasi yang ada di dalam sistem. Contoh komponen proses antara lain waktu yang diperlukan entitas berada dalam suatu lokasi, sumber daya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan operasi, dan hal lainnya yang terjadi pada lokasi seperti pemilihan entitas ke lokasi tujuan dan sebagainya.

#### 2.7.1.7 Routing

*Routing* menggambarkan alur tahapan proses yang akan dilalui oleh entitas setelah melalui proses sebelumnya. Alur tersebut dapat berupa perpindahan lokasi, perubahan jenis entitas, dan perubahan kuantitas entitas. Dalam *routing* terdapat aturan yang digunakan untuk melakukan pemilihan lokasi proses selanjutnya oleh entitas yang dinamakan *routing rules*. Penggunaan aturan tersebut secara garis besar bertujuan untuk memilih lokasi mana yang menjadi tujuan selanjutnya dari entitas dengan mempertimbangkan kondisi dan posisi dari lokasi serta perintah kerja yang diberikan pada entitas.

### 2.7.2 Konsep – Konsep Dasar Model Simulasi ProModel

Di dalam simulasi ProModel khususnya simulasi untuk lini *packaging* di dalam suatu manufaktur, terdapat dua konsep utama yang membentuk proses kerja yaitu konsep penggabungan dan pemisahan benda kerja untuk sementara yang berupa proses *loading* dan *unloading* serta proses pengambilan keputusan jalannya proses kerja yang dipengaruhi pada kondisi proses sebelumnya yang terjadi pada lokasi atau pada entitas.

#### 2.7.2.1 Temporary Attachment

Konsep penggabungan entitas untuk sementara pada ProModel ditunjukkan oleh *statement* LOAD dan UNLOAD. Kedua *statement* tersebut untuk menggambarkan kondisi entitas yang secara temporer digabungkan dengan entitas lainnya diproses dan dipindahkan secara bersama kemudian dipisahkan kembali.

### 2.7.2.2 Decision Statement

Di dalam ProModel dapat dibuat *statement – statement* kerja berfungsi sebagai pengontrol dalam pengambilan keputusan. Salah satu contoh *statement* tersebut adalah *statement* IF – THEN – ELSE. *Statement* ini digunakan dengan format sebagai berikut:

```
IF condition THEN action1 ELSE action2
```

*Statement* tersebut menunjukkan bahwa jika kondisi terpenuhi atau benar, maka sistem harus menjalankan perintah *action1*. Sebaliknya jika kondisi tidak terpenuhi atau salah, maka sistem harus menjalankan perintah *action2*.

### 2.7.3 Output Simulasi ProModel

Setelah simulasi selesai dijalankan, ProModel dapat memberikan laporan kondisi dari masing – masing nilai performa sistem dalam berbagai bentuk yang antara lain bagan, grafik, dan peta kondisi. Salah satu fitur untuk menampilkan output simulasi yang dimiliki oleh ProModel adalah *State Chart*. Terdapat tujuh tipe laporan kondisi yang ditampilkan dalam *output* ProModel antara lain:

1. Utilisasi Lokasi (*Location Utilization*)  
Menunjukkan presentase antara waktu suatu lokasi digunakan dan waktu simulasi.
2. Kondisi Lokasi (*Location State*)  
Menunjukkan presentase lokasi mengalami kondisi *idle*, dalam operasi, menunggu kedatangan entitas, *blocked* atau *down*.
3. Waktu *Downtime* Multikapasitas Lokasi (*Multiple Capacity Location Downtime*)  
Menunjukkan persentase dari waktu setiap lokasi yang memiliki multi kapasitas dalam keadaan *down*.
4. Sumber Daya yang Tertahan dalam Perpindahan (*Resource Blocked in Travel*)  
Menunjukkan presentase waktu suatu sumber daya dalam keadaan *blocked* atau tidak dapat berpindah ke lokasi tujuan karena terjadinya *bloking*.
5. Utilisasi Sumber (*Daya Resource Utilization*)  
Menunjukkan presentase waktu yang dimiliki oleh sumber daya dalam sistem pada kondisi terutilisasi. Kondisi tersebut adalah pada saat sumber daya

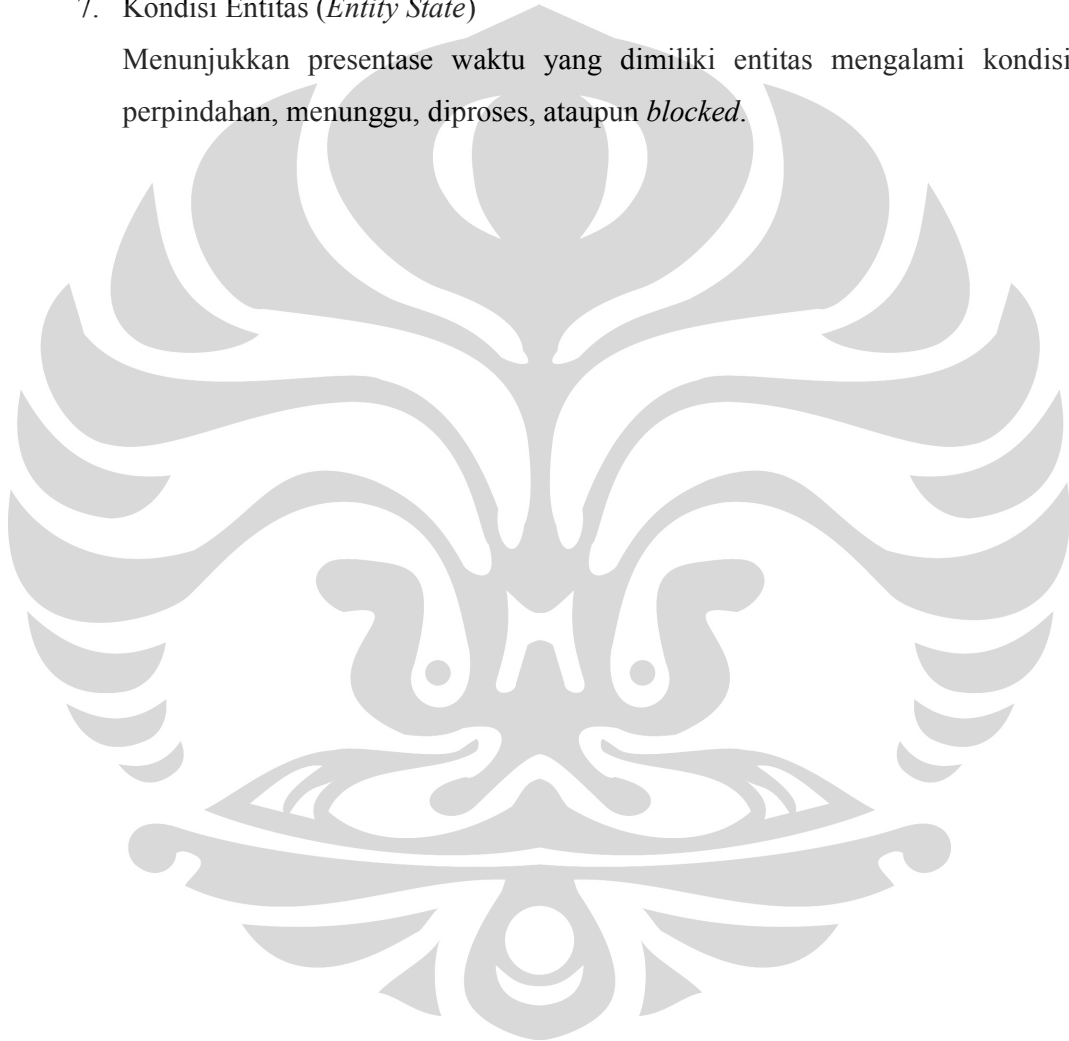
melakukan proses terhadap entitas, memindahkan entitas, atau melakukan operasi – operasi kerja pada lokasi.

6. Kondisi Sumber (*Daya Resource State*)

Menunjukkan presentase waktu yang dimiliki sumber daya mengalami kondisi terutilisasi atau digunakan, *idle*, *down*, perpindahan untuk digunakan atau disimpan.

7. Kondisi Entitas (*Entity State*)

Menunjukkan presentase waktu yang dimiliki entitas mengalami kondisi perpindahan, menunggu, diproses, ataupun *blocked*.



## **BAB 3**

### **METODE PENELITIAN**

Bab 3 adalah metode penelitian yang berisi pengumpulan dan pengolahan data. Pada bab ini terdapat seluruh data yang berhubungan dan menunjang untuk digunakan dalam proses penelitian dan cara pembuatan model simulasi dengan menggunakan *software* Jack dan ProModel.

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

Sub bab ini memberikan informasi mengenai sejarah perusahaan, visi misi, bisnis dan organisasi yang ada pada perusahaan yang menjadi objek dalam penelitian ini.

##### **3.1.1 Sejarah Perusahaan**

Unilever merupakan salah satu perusahaan terbesar di dunia yang beroperasi di sekitar 75 negara. Perusahaan yang berlogo “U” ini bergerak di bidang kebutuhan dasar dengan pasaran utama adalah deterjen, pangan dan barang kosmetika. Unilever secara resmi berdiri tanggal 1 Januari 1930 dengan kantor pusat di London (Inggris) dan Rotterdam (Belanda).

Sejarah Unilever sebenarnya berawal dari peleburan dua perusahaan yaitu “Margarine UNIon” dari Belanda dan “LEVER Brothers” dari Inggris. Lever Brothers yang didirikan pada tahun 1885 oleh William Hesketh Lever (1851-1925) mempunyai usaha utama di bidang sabun tetapi juga memproduksi margarin. Persamaan dari Lever Brothers dan Margarine Union adalah sama-sama memproduksi *consumer goods*, berkecimpung dalam bidang yang menggunakan bahan baku yang sama, dan mempunyai jalur distribusi yang luas.

Cikal bakal PT Unilever Indonesia, Tbk. dimulai ketika sebuah pabrik sabun dengan nama Lever Zeep Fabrieken N.V. dibangun pada tanggal 5 Desember 1933 di daerah Angke, Jakarta Kota. Dua tahun kemudian, berdirilah Van den Berg’s Fabrieken N.V. di lokasi yang sama yang menghasilkan margarin Blue Band. Kedua pabrik inilah yang menjadi cikal bakal Unilever Indonesia yang kemudian berkembang pesat.

### 3.1.2 Visi, Misi dan Tujuan Perusahaan

PT Unilever Indonesia, Tbk. mempunyai visi yaitu menjadi pilihan pertama bagi langganan dan konsumen, sedangkan misi yang dipegang adalah:

1. Menjadi yang pertama dan terbaik dikelasnya dalam menemukan kebutuhan dan aspirasi dari konsumen.
2. Menjadi dekat dalam pasar untuk langganan dan pemasok.
3. Memindahkan aktivitas tambahan yang tidak bernilai dari semua proses.
4. Mencapai kepuasan kerja untuk semua.
5. Menuju target usaha, penambahan keuntungan, dan kepastian mengenai upah untuk pekerja dan para pemegang saham.
6. Patut mendapat kehormatan dan kesempurnaan, perhatian terhadap komunitas dan lingkungan.

PT Unilever Indonesia, Tbk. adalah perusahaan yang bergerak di bidang industri penyediaan kebutuhan sehari-hari (*Consumer Goods*). Untuk itu perusahaan ini menetapkan tujuan pendirian sebagai berikut:

1. Memenuhi kebutuhan sehari-hari setiap anggota masyarakat dimanapun mereka berada, mengantisipasi aspirasi konsumen dan pelanggan, serta menanggapi secara kreatif dan kompetitif dengan produk-produk bermerk dan layanan yang meningkatkan kualitas kehidupan.
2. Akar yang kokoh dalam budaya dan pasar lokal di dunia merupakan warisan yang tidak ternilai dan menjadi dasar bagi pertumbuhan perusahaan di masa yang akan datang. Perusahaan akan menyertakan kekayaan pengetahuan dan kemahiran Internasional untuk melayani konsumen lokal sehingga menjadi perusahaan yang benar multilokal.
3. Keberhasilan jangka panjang perusahaan menuntut komitmen yang menyeluruh terhadap standar kinerja dan produktivitas yang sangat tinggi terhadap kerjasama yang sangat efektif, dan kesediaan untuk menyerap gagasan-gagasan baru serta keinginan untuk belajar terus-menerus.
4. Perusahaan percaya bahwa keberhasilan memerlukan perilaku bersama yang berstandar tinggi terhadap karyawan, konsumen dan masyarakat, serta dunia tempat kita tinggal.

Sebagai perwujudan dari komitmen perusahaan untuk menjamin standar mutu produk bertaraf internasional, seluruh pabrik PT Unilever Indonesia, Tbk. telah mendapat sertifikat ISO 9001. Perolehan sertifikat tersebut diawali oleh pabrik sabun dan kosmetika di Rungkut, Surabaya, pada tahun 1997 dan disusul oleh pabrik-pabrik lainnya pada 1998. Sebelumnya pabrik-pabrik Unilever juga sudah mendapatkan sertifikat *Total Productive Maintenance* (TPM) dari *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM) Jepang, serta penghargaan nihil kecelakaan dari Unilever Global maupun pemerintah RI. Untuk menjamin keselamatan dan kesehatan kerja karyawan, PT Unilever Indonesia, Tbk. juga mulai menerapkan sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja (SMK3).

### 3.1.3 Lokasi

PT Unilever Indonesia, Tbk. berkantor pusat di Gedung Graha Unilever di Jl. Gatot Subroto Kavling 15, Jakarta Selatan, dan mempunyai pabrik berteknologi modern di dua kawasan industri, yaitu di Kawasan *Surabaya Industrial Estate Rungkut* (SIER) dan di Kawasan Industri Jababeka Cikarang.

Pabrik makanan (Divisi *Foods*) terletak di Jalan Jababeka IX Blok D No.1-29, Cikarang, Bekasi. Sedangkan pabrik HPC *Liquid* terletak di Jalan Jababeka Raya Blok O, Cikarang, Bekasi 17520. Lokasi perusahaan berada dalam kawasan industri yang strategis dan memang telah disediakan oleh pemerintah beserta fasilitas-fasilitas yang memadai seperti penyediaan air bersih dan penyediaan *electricity*.

Luas keseluruhan pabrik Cikarang sekitar 20 Ha yang terdiri atas bangunan kantor utama, ruang produksi, gudang, kantin, pos keamanan, tempat parkir, lapangan, dan ruang penunjang kegiatan produksi seperti ruang boiler, ruang mesin pendingin, dan pengolahan limbah.

### 3.1.4 Produk dan Pemasaran

Unilever secara global (termasuk PT Unilever Indonesia, Tbk.) memproduksi barang-barang konsumen atau *consumer goods* dan mempunyai dua divisi produksi yaitu:

1. *Unilever Home and Personal Care (UHPC) Division*

Divisi ini terbagi lagi menjadi tiga bagian yaitu:

- a. *Laundry* yang memproduksi deterjen bubuk (Rinso, Surf), pelembut pakaian (Molto, Comfort), pemutih pakaian (Sunclin).
- b. *House Hold Care* yang memproduksi pembersih lantai (Superpell, Domestos), sabun cair pencuci piring (Sunlight).
- c. *Personal Care* yang memproduksi produk perawatan rambut (Clear, Sunsilk, Brisk, Organics), perawatan kulit (Citra, Vaseline, Pond's dan Hazeline), deodorant (Rexona, Axe), sabun mandi (Lux, Lifebuoy, Dove), pasta gigi (Pepsodent, Close-up).



**Gambar 3.1** Produk *Home and Personal Care*

2. *Unilever Food and IC Division*

Divisi ini terbagi lagi menjadi empat bagian yaitu:

- a. *Frozen Foods* yang memproduksi es krim (Wall's). Berbagai jenis es krim Wall's diproduksi di sini seperti es krim Magnum, Paddle Pop, Feast, Cornello, dan sebagainya.
- b. *Tea* yang memproduksi teh (Sariwangi, Lipton, Gibson, LYL, Lanchoo, Choysa, Bushells, PG Tips, Ice Tea).
- c. *Culinary* yang memproduksi bumbu masak (Royco, Aromat dan Knorr).

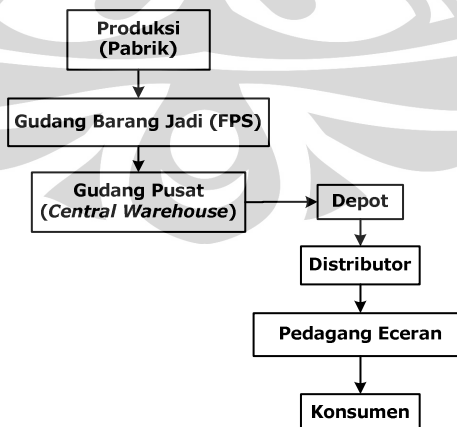
d. *Spread Cooking Category (Margarine & Bakery Fat)* yang memproduksi margarin (Blue Band), selai (Skippy).

Beberapa contoh produk yang dihasilkan oleh *Unilever Food & IC* dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



**Gambar 3.2** Produk *Unilever Food and IC*

Produk-produk yang diproduksi tersebut akan dipasarkan oleh PT Unilever Indonesia, Tbk. ke seluruh konsumen yang tersebar di Indonesia maupun yang ada di luar negeri. PT Unilever Indonesia, Tbk. sebagai perusahaan yang berstatus Penanaman Modal Asing (PMA) tidak menjual produknya secara langsung ke konsumen atau pengecer tetapi menjual melalui distributor dan pedagang-pedagang besar yang berjumlah 300 distributor yang tersebar di seluruh Indonesia. **Gambar 3.3** memperlihatkan diagram alir pemasaran produk PT Unilever Indonesia, Tbk.



**Gambar 3.3** Diagram Alir Pemasaran Produk PT Unilever Indonesia, Tbk



PT Unilever Indonesia, Tbk. memiliki kantor-kantor depot yang tersebar di beberapa kota besar di Indonesia antara lain Jakarta, Surabaya, Medan, Padang, Bandung, Yogyakarta, Semarang, dan sebagainya. Masing-masing depot ini dikelola oleh seorang manajer, yang bertugas membantu para distributor dalam hal mempromosikan hasil produksi dari perusahaan untuk dipasarkan kepada konsumen.

### 3.1.5 Organisasi

Struktur organisasi yang diterapkan di PT Unilever Indonesia, Tbk. adalah organisasi lini dan staf, yang berarti tanggung jawab tertentu dibagi antara spesialis dan staf, tetapi mereka memberikan laporan kepada pimpinan yang memikul tanggung jawab keseluruhan atas operasi tersebut. Pimpinan tertinggi berada di tangan Presiden Direktur. Presiden Direktur ini menerima laporan dari tujuh orang direktur yaitu *Food Director*, *Es Krim Director*, *Home & Personal Care Director*, *Supply Chain Director*, *Human Resources & Customer Relation Director*, *Sales Director*, dan *Finance Director*.

Tugas dan tanggung jawab yang ada di struktur organisasi Pabrik Makanan PT Unilever Indonesia, Tbk. adalah sebagai berikut :

- *Supply Chain Director*
  - Bertugas untuk mengkoordinasi aktivitas-aktivitas teknik dari kegiatan perusahaan.
  - Bertanggung jawab dalam memastikan efektivitas dan efisiensi pelaksanaan dari seluruh sistem manajemen mutu perusahaan.
- *Technical Manager*
  - Bertanggung jawab terhadap efektivitas dan efisiensi manajemen dari seluruh aspek operasi dan memastikan persediaan produk dengan mutu yang baik, biaya terendah, dan tepat waktu.
  - Bertugas melaporkan pelaksanaan tanggung jawabnya secara langsung kepada *Supply Chain Director*.
- *Production Manager*
  - Bertanggung jawab terhadap pengelolaan mutu produk menurut spesifikasi dan kondisi proses.

- Bertugas untuk memastikan agar bahan mentah, *Packaging material*, dan produk akhir disimpan dalam kondisi yang sesuai, mudah digunakan, dan dipindahkan.
- *Plant Engineer*
  - Bertugas untuk merencanakan dan mengorganisasikan pemeliharaan yang diperlukan dari seluruh peralatan dan fasilitas pendukung lainnya serta memastikan seluruh peralatan produksi yang baru terinstalasi dengan benar.
- *Senior Product Development Manager*
  - Bertugas untuk merancang produk baru, memantapkan produk yang telah ada dengan kebutuhan konsumen, mengembangkan proses dan memastikan produk yang dikembangkan dapat diproduksi pada lini yang telah ada atau pada peralatan produksi yang diusulkan.
- *Senior Packaging Development Manager*
  - Bertanggung jawab dalam pengembangan kemasan baru dan peningkatan kemasan yang telah ada agar memuaskan dan sesuai dengan kebutuhan konsumen.
- *Quality Manager*
  - Bertugas untuk mengelola seluruh pengujian spesifik yang sesuai dan memeriksa mutu dari bahan mentah, material pengemas, dan produk akhir.
- *Human Resources Manager*
  - Bertanggung jawab dalam perekrutan dan pemberian pelatihan kepada karyawan non-staf pada lokasi pabrik bersangkutan,
  - Bertugas untuk menciptakan lingkungan kerja yang aman dan sehat.

Adapun bentuk departementasi yang digunakan di PT Unilever Indonesia, Tbk. adalah gabungan dari departementasi berdasarkan produk dan departementasi berdasarkan fungsi. Terdapat dua divisi berdasarkan produk yaitu *Unilever Home and Personal Care (UHPC) Division* dan *Unilever Food and IC Division*. Berdasarkan fungsinya terdapat tujuh bagian fungsional yaitu Bagian Pemasaran, Riset Pemasaran, Penjualan, Keuangan, Teknik, Pengembangan Produk dan Kemasan, dan Sumber Daya Manusia.

### 3.1.6 Ketenagakerjaan dan Kesejahteraan Karyawan

#### 3.1.6.1 Ketenagakerjaan

Tenaga kerja PT Unilever Indonesia, Tbk. Cikarang terbagi menjadi dua golongan yaitu staf dan non-staf. Yang dimaksud dengan karyawan staf adalah orang-orang yang menjalankan manajemen perusahaan dan mempunyai wewenang untuk mengambil keputusan, seperti kepala pabrik hingga kepala bagian. Adapun karyawan non-staf terdiri dari karyawan tetap dan karyawan kontrak. Berdasarkan atas tanggung jawabnya (*job class*) karyawan tetap terdiri dari tiga golongan, yaitu golongan A, B dan C.

Tenaga kerja bagian staf dan administrasi (dinas normal) mempunyai jam kerja yang dimulai pukul 07.30 sampai 15.00 untuk hari Senin sampai Jumat dan pukul 07.30 sampai 13.00 untuk hari Sabtu dengan waktu istirahat dari pukul 11.30 sampai 12.30. Tenaga kerja dinas *shift* (regu) bekerja selama 8 jam kerja dari hari Senin sampai Sabtu dengan waktu istirahat selama 0,5 jam. Adapun pembagian *shift* per hari yang diterapkan adalah sebagai berikut:

- *Shift* pagi bekerja dari pukul 06.00 sampai 14.00 dengan waktu istirahat dari pukul 09.30 sampai 10.00.
- *Shift* siang bekerja dari pukul 14.00 sampai 22.00 dengan waktu istirahat dari pukul 17.30 sampai 18.00.
- *Shift* malam bekerja dari pukul 22.00 sampai 06.00 dengan waktu istirahat dari pukul 02.00 sampai 02.30.

Pengisian daftar hadir karyawan menggunakan kartu *prick clock* yang diisi pada saat masuk dan pulang kerja. Kerja lembur akan dilaksanakan bila ada pekerjaan yang tidak bisa ditangguhkan atau dilaksanakan pada jam kerja normal. Sistem pengupahan karyawan PT Unilever Indonesia, Tbk. berdasarkan atas tanggung jawab pekerjaan atau prestasi karyawan tersebut. Dalam pelaksanaannya akan mengacu pada faktor-faktor seperti indeks harga konsumen, tingkat pengupahan, tingkat perkembangan ekonomi, dan kemampuan perusahaan.

### 3.1.6.2 Fasilitas dan Kesejahteraan Karyawan

Sesuai dengan Kesepakatan Kerja Bersama (KKB) yang disetujui oleh serikat pekerja (menjadi anggota Serikat Pekerja Seluruh Indonesia sejak 1982) dan perusahaan maka PT Unilever Indonesia, Tbk. memberikan fasilitas, tunjangan, dan jaminan sosial kepada tenaga kerja sebagai berikut:

- a. Makan di kantin pada jam istirahat untuk semua karyawan. Setiap karyawan berhak atas istirahat dan makan setelah melalui empat jam kerja termasuk jika lembur. Pada bulan Ramadhan diberikan uang makan sebesar 90% dari biaya makan untuk karyawan dinas pagi.
- b. Sarana pengobatan gratis untuk karyawan dan keluarganya (tiga orang anak) meliputi perawatan di rumah sakit yang telah ditentukan, pembayaran gaji selama sakit, pengobatan dan perawatan gigi, penggantianacamata dan bingkai, penggantian biaya bersalin untuk pegawai wanita, dan bantuan Rp 500.000,- untuk istri karyawan.
- c. Koperasi karyawan.
- d. Program kepemilikan rumah.
- e. Tunjangan perumahan berupa uang yang diberikan setahun sekali.
- f. Program kepemilikan kendaraan bermotor.
- g. Klub olah raga, kesenian, rekreasi, dan pembinaan rohani.
- h. Program asuransi tenaga kerja.
- i. Pembinaan keluarga berencana lestari dan balita.
- j. Santunan kematian.
- k. Tunjangan pensiun berupa uang pesangon saat karyawan memasuki usia pensiun (55 tahun).
- l. Tunjangan belajar anak karyawan yang berprestasi.
- m. Beasiswa bagi anak karyawan yang diterima di perguruan tinggi negeri.
- n. Program tabungan pendidikan.
- o. Penghargaan kerja diberikan kepada karyawan yang telah bekerja selama 15 tahun berupa arloji dan yang telah bekerja selama 25 tahun berupa uang sejumlah satu bulan gaji.
- p. Tunjangan cuti satu tahun sekali dalam bentuk gaji ke-13.

- q. Cuti besar untuk tiap 6 tahun masa kerja berupa 74 hari cuti di luar cuti tahunan dengan biaya pulang kampung ditanggung perusahaan atau dalam bentuk dua bulan gaji ditambah 14 hari cuti di luar cuti tahunan. Cuti tahunan diberikan selama 12 hari untuk karyawan masa kerja <10 tahun, 15 hari untuk karyawan masa kerja 10 tahun, 18 hari untuk karyawan masa kerja 20 tahun, dan 21 hari untuk karyawan masa kerja 30 tahun.
- r. Kesempatan naik haji dengan pembayaran gaji penuh.
- s. Tunjangan hari raya sebesar 1,5 bulan gaji kotor.

Selain tersebut di atas, pada akhir bulan tiap karyawan tetap mendapatkan paket berupa produk kebutuhan rumah tangga yang diproduksi oleh PT ULI Tbk., yaitu margarin sebanyak 6 kg, tiga batang sabun cuci, 7 buah sabun mandi 100 g, 4 kg detergen bubuk, 6 bungkus pasta gigi, tiga botol sampo 100 ml, dan satu *canister* bahan pembersih.

### 3.2 Pabrik Es Krim Wall's

Pabrik Es Krim Wall's diresmikan dan dioperasikan pada tahun 1992 di Cikarang, Bekasi. Pada tahun 1993, kapaistas produksi pabrik Wall's mengalami peningkatan. Dalam perkembangan selanjutnya, pabrik Es Krim Wall's telah mengalami beberapa kali perluasan area produksi dan penyimpanannya yang disebut *Cold Storage* untuk mengimbangi peningkatan pasar yang semakin tinggi akan produk mereka.

Pada tahun 1995, pabrik Es Krim Wall's mencangkan program *Total Productive Maintenance* (TPM) yang dibina oleh *Japan Institute of Plant Maintenance* (JIPM). Tujuan dari program TPM ini adalah untuk mewujudkan *zero fault* (tanpa kesalahan), *zero accident* (tanpa kecelakaan), dan *zero defect* (tanpa cacat) selama pabrik beroperasi.

Dalam upanyanya meningkatkan kualitas produksi dan produknya, pabrik Es Krim Wall's telah meraih tiga sertifikat ISO yang diberikan oleh KEMA N.V Belanda, yaitu ISO 9001 Certification pada tahun 1998, ISO 14001 Certification pada tahun 1999, dan ISO 18000 Certification. Ketiga spesifikasi tersebut di atas diberikan sebagai penghargaan atas keberhasilan pabrik Es Krim Wall's dalam menerapkan sistem manajemen produksi (ISO 9001). Lingkungan hidup (ISO

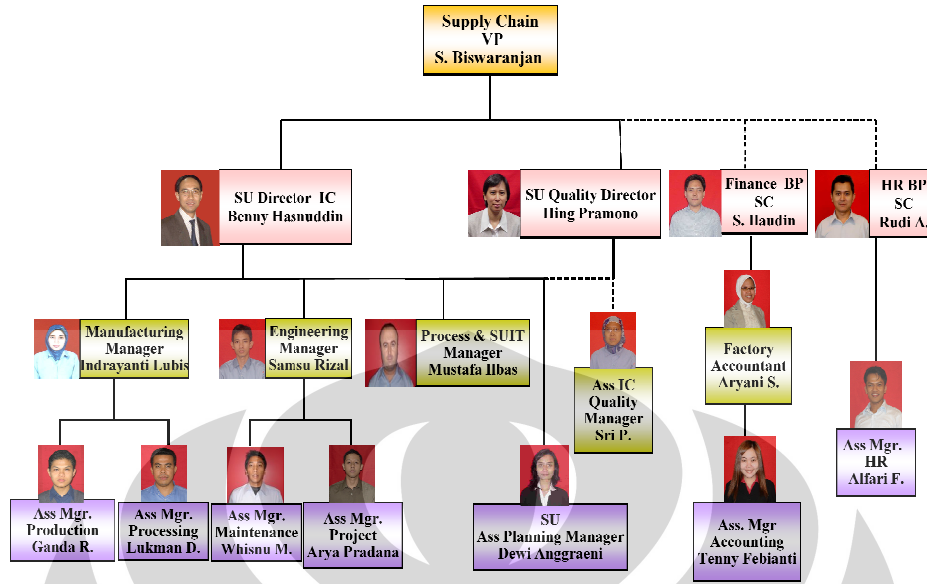
14001), dan manajemen kesehatan dan keselamatan (ISO 18000). Selain sertifikat ISO, pabrik Es Krim Walls juga meraih beberapa sertifikat dan penghargaan lainnya, yaitu Bronze Excellence Trophy, TPM Excellence Award, TPM Consistence Award pada tahun 2002, HACCP Certification pada tahun 2004, dan TPM Special award pada tahun 2005.

### 3.2.1 Lokasi Pabrik

PT Unilever Indonesia, Tbk. Divisi Es Krim Wall's terletak di kawasan industri Jababeka, beralamat di Jl. Jababeka IX Blok D Kav 1 – 29, Cikarang, Bekasi 17520. Kawasan industri Jababeka sebagai lokasi pabrik Wall's memiliki letak yang strategis karena dekat dengan akses jalan tol sehingga mempermudah dalam penyediaan bahan baku dan pemasaran produk. Selain itu untuk kebutuhan energi, pabrik Es Krim Wall's mendapatkan pasokan listrik dari PLN dan PT Cikarang Listrikindo sedangkan untuk pasokan air bersih diperoleh dari PT Jababeka Infrastruktur.

### 3.2.2 Struktur Organisasi Pabrik Es Krim Wall's

Struktur organisasi pabrik Wall's merupakan gabungan dari struktur organisasi garis dan struktur organisasi fungsional. Pada struktur organisasi garis, wewenang diberikan oleh pimpinan kepada struktur di bawahnya secara langsung sedangkan pertanggungjawaban diberikan oleh bawahan kepada atasannya. Keuntungan struktur organisasi ini adalah adanya spesialisasi dan adanya pengawasan secara langsung. Bagan struktur organisasi pabrik Wall's ditunjukkan oleh **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.4** Struktur Organisasi Pabrik Es Krim Wall's

### 3.2.3 Proses Produksi Es Krim Wall's

Secara garis besar, proses produksi Es Krim Wall's dibagi menjadi beberapa area produksi yaitu:

#### 1. *Choco Melting Area*

Bagian ini merupakan bagian pembuatan adonan coklat dimana coklat dicairkan dan disimpan pada suatu tabung dengan suhu tertentu untuk kemudian dilanjutkan ke proses area melalui suatu saluran pipa.

#### 2. *Hot Water Product Plan*

Bagian ini merupakan bagian pabrik yang khusus dibangun sebagai bangunan untuk menyiapkan air panas yang akan menjadi salah satu bahan utama pembuatan Es Krim. Air panas dialirkan ke stem dan ditampung dalam sebuah tabung yang terus menerus dipanaskan melalui suatu saluran pipa. Sama seperti coklat dari *choco melting area*, air panas ini dipompa melalui pipa ke proses area.

#### 3. *Liquid Ingredient Storage*

Bagian ini merupakan bagian penyiapan bahan – bahan cair seperti glukosa dan *vegetable oil*.

#### 4. *Cone Boiling Area*

Untuk beberapa jenis Es Krim yang diproduksi oleh pabrik Wall's dibutuhkan *wafer cone* seperti salah satunya adalah Es Krim *Conello*. Wall's tidak memproduksi *wafer cone* tetapi bekerja sama dengan pihak ketiga untuk memproduksi *wafer cone*.

#### 5. *Processing Area*

Pada area proses ini dilakukan banyak kegiatan produksi, dimulai dari proses mixing antara air panas dan bahan baku cair seperti glukosa dan *vegetable oil*. Proses ini dilakukan di mesin mixer, dengan ditambahkan bahan baku lain secara manual. Proses mixing ini memakan waktu cukup lama, karena harus dilakukan sampai semua bahan tercampur dengan baik. Setelah proses mixing selesai, maka adonan dipompa untuk dilanjutkan ke proses *pasteurisasi* untuk mematikan bakteri – bakteri yang mungkin terkandung dalam bahan yang digunakan. Sebelumnya adonan disalurkan melalui *balance tank* untuk didinginkan dengan glikol dan setelah itu dipanaskan. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengetahui apakah adonan sudah siap dilanjutkan ke proses sebelumnya atau belum karena jika adonan kurang baik maka adonan tersebut tidak dapat mengeras menjadi Es Krim, proses ini dinamakan *homogenisasi*. Setelah melalui proses *homogenisasi* dan *pasteurisasi*, maka adonan kemudian disalurkan ke *Ageing Tank* untuk dicampurkan sesuai dengan rasa yang diinginkan, misalnya rasa vanilla atau rasa coklat. Setelah diberi campuran rasa, maka adonan dimasukkan ke dalam tangki penyimpanan pada suhu kurang dari 10 °C dan kemudian disalurkan ke mesin – mesin sesuai dengan jenis Es Krim dan bentuk kemasannya. Pada mesin – mesin tersebut dilakukan proses pembentukan dan pengepakan.

#### 6. *Tunnel Penyimpanan*

Setelah Es Krim dan dikemas satu persatu dalam kemasan baik itu plastik maupun *cup*, Es Krim – Es Krim tersebut disalurkan melalui Konveyor ke ruangan pendingin atau tunnel pendingin untuk mengerasakan Es krim sebelum dilakukan proses *packaging*. Suhu di dalam *tunnel* Es Krim tersebut adalah -40°C dan lama Es Krim tersebut berada di dalam *tunnel* adalah 20 menit.



### 7. *Packaging Area*

Setelah Es Krim berada di dalam tunnel selama 20 menit, Es krim jadi tersebut kemudian akan dikemas atau dimasukkan ke dalam kotak karton dimana satu kotak terdiri dari beberapa bungkus Es Krim. Dan setelah dikemas dalam kotak, kotak – kotak tersebut akan dimasukkan ke dalam kotak *fibrite* yang lebih besar dimana satu kotak *fibrite* terdiri dari beberapa kotak karton. Kotak – kotak *fibrite* tersebut kemudian akan disalurkan kembali melalui konveyor ke ruangan *cold store*.

### 8. *Cold store*

Es dalam *fibrite* disimpan di dalam *cold store* yang merupakan tempat penyimpanan barang jadi. Suhu di *cold store* ini dijaga dengan sensor yaitu  $-24^{\circ}\text{C}$ . Jika suhu di atas  $-24^{\circ}\text{C}$  maka petugas akan mengetahuinya melalui alarm yang menyala. Hal ini dilakukan untuk menjaga Es tetap dingin dan beku. Selain tempat penyimpanan, *cold store* juga merupakan ruangan *unloading* untuk barang – barang jadi yang akan dikirim ke luar dari pabrik.

#### 3.2.4 Lini *Packaging* Es Krim Mini *Cornetto* Wall's

Penelitian ini berlangsung pada lini *Packaging* kotak karton Es Krim Mini *Cornetto* 240 gram berisi 12 unit Es Krim Mini *Cornetto* dengan 2 rasa yang berbeda. Terdapat 2 jenis kotak karton Es Krim Mini *Cornetto* yaitu:

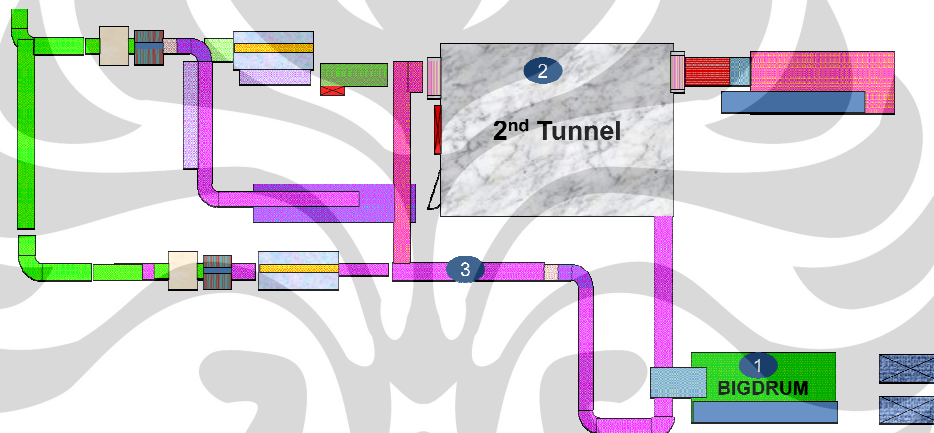
1. Kotak karton berwarna Merah terdiri dari 6 buah Es Krim Mini *Cornetto* rasa *Cookies & Cream* dan 6 buah Es Krim Mini *Cornetto* rasa *Black Forest*
2. Kotak karton berwarna Cream terdiri dari 6 buah Es Krim Mini *Cornetto* rasa *Chocolate* dan 6 buah Es Krim Mini *Cornetto* rasa *Vanilla*.

Lini ini menggunakan satu konveyor sepanjang 1045 cm dengan kecepatan 11 meter per menit. Sepanjang Konveyor tersebut terdapat 20 orang *packer* yang posisinya saling berhadapan dua – dua dan bertugas melakukan pengepakan terhadap Es Krim Mini *Cornetto* ke dalam kotak karton tersebut. *Packer* tersebutlah yang akan menjadi objek pada studi ergonomi dan optimalisasi dalam penelitian ini. *Packer* tersebut berasal dari pihak ketiga atau dapat disebut juga *packer* kontrak. Total jumlah *packer* pihak ketiga dari tiga *shift* adalah 60 orang.

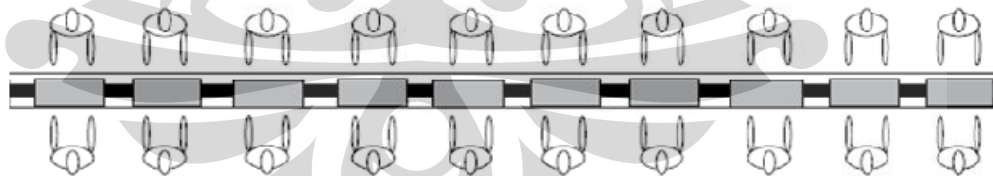
Selain *packer* yang bekerja langsung menangani pengepakan, terdapat 2 orang operator untuk menyiapkan lembaran kotak karton pada masing – masing meja kerja *packer* sebagai perlengkapan utama untuk *packer* dalam melakukan pengepakan. Dibawah ini merupakan tata lini produksi hingga lini *packaging* Mini Cornetto.

**Keterangan gambar:**

1. Mesin Produksi
2. Tunnel Peendingin dan Penyimpanan Sementara
3. Lini *Packaging* Karton Kotak



**Gambar 3.5** Tata Letak Lini Produksi dan Lini *Packaging* Mini Cornetto



**Gambar 3.6** Tata Letak *Packer* dalam Lini *Packaging* Kotak Karton Mini Cornetto

### 3.2.5 Data *Work Environment*

Data *work environment* ini merupakan data sekunder yang didapatkan dari divisi *safety & yard* pabrik *food* PT Unilever Indonesia. Data ini merupakan data

*work environment* yang diambil pada periode Februari 2010. Data *work environment* untuk lini *packaging* produk Mini Cornetto adalah sebagai berikut:

**Tabel 3.1** Data *Work Environment*

Faktor Lingkungan Kerja	Hasil Pengukuran	
Cahaya	134	(Lux)
Kebisingan	86	(dBA)
Temperatur	19.2	( <sup>o</sup> C)
Kelembapan	58.4	(%)

### 3.3 Identifikasi Permasalahan

Untuk mendapatkan informasi mengenai permasalahan ergonomi yang terjadi pada lini *Packaging* secara akurat maka dilakukan pengambilan data anamnesa ergonomi pada lini *packaging* Mini Cornetto tersebut. Tujuan dilakukannya pengambilan data ini adalah untuk memastikan bahwa pemilihan objek penelitian dapat mendukung tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini. Dengan anamnesa ergonomi dapat dipastikan bahwa stasiun kerja lini *packaging* Mini Cornetto belum memberikan kenyamanan bagi pekerja nya sehingga menimbulkan berbagai keluhan fisik. Pengambilan data keluhan fisik dilakukan lewat penyebaran kuesioner anamnesa ergonomi terhadap 60 orang *packer* . Data hasil anamnesa ergonomi ini memberikan informasi bagian tubuh mana dari *packer* yang sering kali mengalami keluhan sakit atau nyeri akibat dari pekerjaan yang mereka lakukan. Berikut ini merupakan data banyaknya keluhan sakit *packer* yang berada pada lini *Packaging* Mini Cornetto serta bagian-bagian tubuh yang mengalami sakit. Hasil observasi lebih lengkap terdapat pada lampiran. Berikut adalah rekapitulasi dari hasil observasi tersebut:

**Tabel 3.2** Data *Fatigue* Hasil Anamnesa Ergonomi

Bagian Tubuh	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
Tangan Kanan	19	32	8	1	35	21	4
	Keparahan				Frekuensi		
Tangan Kiri	1	2	3	4	A	B	C
	28	26	4	2	44	11	5

Tabel 3.2 Data *Fatigue* Hasil Anamnesa Ergonomi (Sambungan)

Pergelangan Tangan Kanan	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	23	33	3	1	39	20	1
Pergelangan Tangan Kiri	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	29	30	1	0	40	20	0
Siku Kanan	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	42	17	0	1	58	2	0
Siku Kiri	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	46	13	0	1	55	5	0
Bahu Kanan	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	9	17	33	1	21	35	4
Bahu Kiri	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	22	15	22	1	29	24	7
Leher Kanan	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	26	23	9	2	34	24	2
Leher Kiri	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	29	20	9	2	36	22	2
Punggung	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	9	22	22	7	24	32	4
Kaki	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	22	25	8	5	39	14	7
Kepala	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	27	30	2	1	50	9	1
Mata	Keparahan				Frekuensi		
	1	2	3	4	A	B	C
	44	16	0	0	57	3	0

Dengan ketentuan sebagai berikut:

- Tingkat keparahan

1 = Ringan

Kategori Ringan disini didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan sedikit peregangan, tidak menimbulkan gangguan pekerjaan.

2 = Sedang

Kategori Sedang disini didefinisikan sebagai keluhan yang dapat diatasi dengan beristirahat sejenak, akan tetapi masih dapat melaksanakan pekerjaan dengan baik.

3 = Berat

Kategori Berat ditandai dengan rasa keram pada bagian tubuh yang dikeluhkan dan membutuhkan istirahat lebih panjang dan menghentikan pekerjaan sejenak.

4 = Sangat berat

Kategori Sangat berat membutuhkan penanganan khusus dari OHS serta tidak dapat melanjutkan pekerjaan kembali.

- Frekuensi kejadian

A = Jarang

Kategori Jarang didefinisikan sebagai keluhan yang terjadi lebih hanya sesekali saja.

B = Sering

Kategori Sering didefinisikan sebagai keluhan yang terjadi beberapa kali dalam 1 hari pekerjaan.

C = Selalu

Kategori Selalu didefinisikan sebagai keluhan yang terjadi sepanjang melakukan pekerjaan.

Hasil pengisian data anamnesa ergonomi untuk masing – masing *packer* kemudian diolah dengan menggunakan sistem pembobotan, dimana untuk tiap bagian tubuh akan dilakukan pengalihan antara nilai tingkat keparahan dan frekuensi ( nilai frekuensi dijadikan numerik dimana A=1, B=2, dan C=3). Hasil pengalihan ini akan didapatkan bobot keluhan yang dirasakan oleh masing – masing *packer* terhadap bagian tubuh mereka.

Hasil pengalihan nilai keluhan tiap – tiap bagian tubuh untuk masing – masing *packer* ditampilkan melalui **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Hasil Pembobotan Nilai Keluhan Masing – Masing *Packer*

Bagian Tubuh	Tangan Kanan	Tangan Kiri	Pergelangan Kanan	Pergelangan Kiri	Siku Kanan	Siku Kiri	Bahu Kanan	Bahu Kiri	Leher Kanan	Leher Kiri	Punggung	Kaki	kepala	Mata
1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	4	9	1	1
2	12	12	1	1	1	1	3	4	9	9	12	12	1	1
3	1	1	9	1	1	1	9	9	1	1	8	6	1	1
4	4	4	6	6	2	2	4	4	8	8	6	12	4	1
5	2	2	2	2	2	2	9	9	9	9	8	6	2	2
6	2	2	2	2	1	1	6	9	2	2	9	2	4	4
7	2	2	2	2	1	1	6	9	1	1	8	6	2	2
8	2	2	2	2	2	2	4	4	3	3	12	12	1	1
9	1	1	9	9	4	4	4	4	4	4	6	9	2	2
10	2	2	1	2	1	1	2	2	4	4	4	1	1	1
11	2	1	4	4	1	1	4	4	1	1	2	2	2	2
12	2	2	3	4	2	1	6	4	1	1	12	3	2	2
13	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	6	1	1
14	4	1	1	1	2	1	3	2	2	2	3	1	1	1
15	6	4	8	4	2	4	4	6	6	6	6	8	2	2
16	2	2	4	4	1	1	4	4	1	1	6	2	1	1
17	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	4	1	1	1
18	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	4	1	1
19	4	1	1	1	1	1	6	6	6	6	4	2	1	1
20	2	1	4	4	1	2	4	4	1	1	4	4	4	4
21	6	1	6	1	2	1	6	2	6	6	2	2	2	2
22	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1
23	4	4	1	1	1	1	4	4	1	1	4	4	4	1
24	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
26	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1
27	1	1	2	2	2	2	3	3	1	1	3	1	2	2
28	4	2	4	2	2	1	3	1	3	2	6	2	6	2
29	1	1	2	2	1	1	4	4	1	1	2	1	2	1
30	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1

**Tabel 3.3** Hasil Pembobotan Nilai Keluhan Masing – Masing *Packer*  
(Sambungan)

31	1	1	4	4	1	1	1	1	1	1	4	9	2	1
32	2	2	4	4	1	1	6	6	1	1	4	2	4	1
33	4	1	2	1	1	1	4	2	2	2	2	1	4	2
34	4	2	2	2	1	4	6	6	4	6	6	2	1	1
35	9	12	2	2	1	1	6	9	4	6	2	1	12	1
36	1	1	4	4	1	1	2	2	1	1	8	4	1	1
37	2	2	2	2	2	2	6	6	2	2	2	2	1	1
38	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
39	6	6	2	2	2	2	6	6	8	8	6	12	6	1
40	2	1	2	1	1	1	3	2	4	2	3	2	1	1
41	6	4	4	2	2	1	6	2	4	4	6	6	2	1
42	1	1	1	1	1	1	2	6	1	1	1	1	1	1
43	2	6	1	1	1	1	6	6	4	4	6	2	1	1
44	2	1	2	1	1	1	3	2	4	4	6	4	1	1
45	2	6	2	1	1	1	6	6	2	1	1	1	2	1
46	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1
47	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
48	1	2	2	1	1	2	4	1	2	1	1	1	2	1
49	4	4	4	4	2	2	6	6	6	6	2	2	1	1
50	4	4	4	4	2	2	6	6	2	2	6	4	1	1
51	4	4	1	1	1	1	6	6	6	6	6	1	1	1
52	4	4	4	4	1	1	6	6	1	1	2	2	2	2
53	9	9	2	2	2	2	9	9	1	1	4	2	2	2
54	6	9	2	4	4	4	9	9	4	4	2	2	2	2
55	4	2	2	4	1	1	6	1	4	4	6	2	2	1
56	4	2	2	4	1	1	6	1	4	4	6	1	2	1
57	4	2	2	4	1	1	6	1	4	4	6	1	2	1
58	4	2	2	4	1	1	6	1	4	4	6	1	2	1
59	9	6	1	1	2	1	6	1	4	4	6	1	2	1
60	4	2	2	4	1	1	6	1	4	4	6	1	2	1
<b>Total</b>	185	159	156	138	83	83	262	224	173	170	266	200	123	80
<b>Rata - Rata</b>	3.1	2.65	2.6	2.3	1.4	1.4	4.4	3.7	2.9	2.8	4.43	3.3	2.05	1.33

### 3.4 Pengumpulan Data

Di dalam penelitian ini, dibutuhkan data – data studi ergonomi pekerja dan spesifikasi sistem kerja untuk membuat model *digital virtual simulation* dengan *software* Jack dan model aliran material proses kerja dengan *software* ProModel.

Data yang dibutuhkan sebagai input untuk membuat model *digital virtual simulation* dengan *software* Jack adalah data – data hasil pengukuran dan

pengamatan langsung elemen – elemen kerja dan proses kerja pada lini *Packaging* ini. Data – data yang dibutuhkan antara lain:

- Data dimensi tempat kerja
- Data antropometri pekerja
- Data proses dan postur kerja
- Data waktu kerja

Data dimensi tempat kerja dibutuhkan untuk membuat *virtual environment* dari model simulasi Jack dimana dibutuhkan suatu rancangan lokasi seperti lokasi aktual yang dihadapi oleh para pekerja pada kondisi nyata. Sedangkan data antropometri pekerja, data proses dan postur kerja, dan data waktu kerja adalah data yang digunakan untuk menciptakan model manusia *virtual*. Pembuatan model manusia *virtual* tersebut membutuhkan ukuran antropometri, data gerakan-gerakan kerja dan postur kerja agar dapat melakukan simulasi kerja yang sesuai dengan gerakan dan postur yang dilakukan pekerja di dunia nyata.

Data yang dibutuhkan untuk membuat model simulasi aliran material serta proses kerja dengan menggunakan *software* ProModel secara garis besar dibagi menjadi tiga bagian yaitu:

- Data Struktural  
Merupakan data – data yang berupa konfigurasi secara detail mengenai lini *packaging* yang akan ditinjau, mencakup di dalamnya *lay out* lini *packaging*, jumlah pekerja, dan posisi antar pekerja di dalam *lay out* lini *packaging*.
- Data Operasional  
Merupakan data – data yang berisi informasi aliran proses yang dilakukan pekerja dan aliran material dalam sistem baik itu material bahan pengepakan dan barang jadi hasil pengepakan.
- Data Numerik  
Merupakan data berupa angka yang berisi atribut dari sistem seperti jumlah es krim yang masuk ke dalam sistem, interval masuknya es krim ke dalam sistem, panjang konveyor.



### 3.5 Data Input Model *Digital Virtual Simulation Jack*

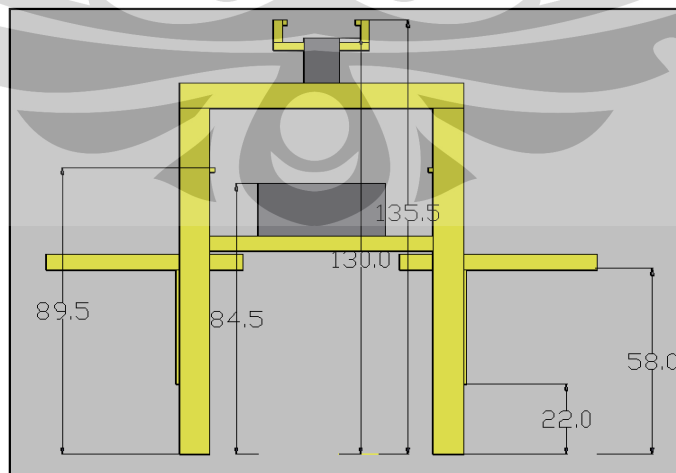
#### 3.5.1 Data Stasiun Kerja (*Workstation*)

Data stasiun kerja ini berupa ukuran dari stasiun kerja dan perlengkapan *packaging*. Pengumpulan data stasiun kerja menggunakan alat pengukur yang biasa digunakan oleh para tukang kayu. Stasiun kerja berupa 4 rangkaian konveyor dengan akumulasi panjang 1045 cm yang terpartisi oleh tiang – tiang selebar 9 cm setiap 250 cm. Secara garis besar, rangkaian Konveyor ini terbagi menjadi 3 elemen utama yaitu:

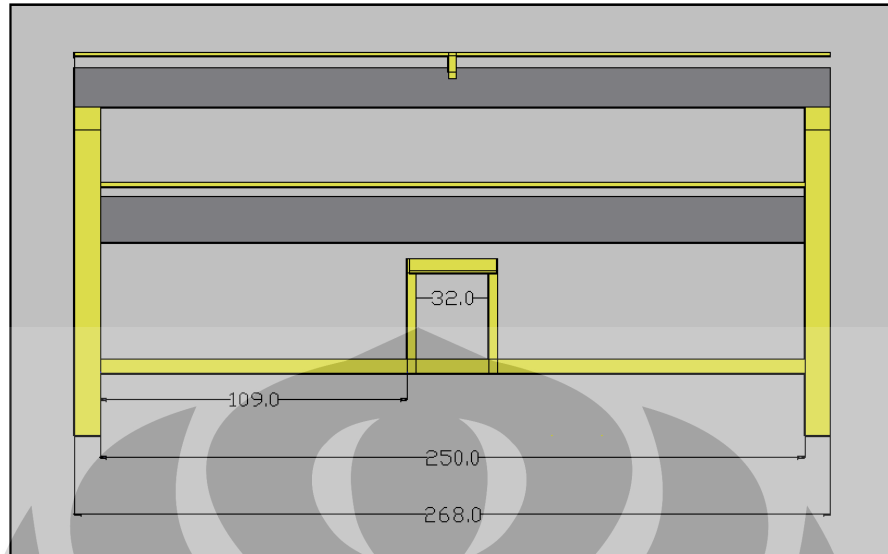
1. Konveyor besar sebagai tempat mengalirkan Es Krim Mini Cornetto yang akan dikemas dalam Kotak Karton.
2. Konveyor kecil sebagai tempat meletakkan dan mengalirkan kotak karton berisi es krim ke lini pengepakan kotak fibrite.
3. Meja peletakkan lembaran karton kotak yang belum dibentuk menjadi kotak sebagai perlengkapan dasar untuk proses pengepakan.

##### 3.5.1.1 Spesifikasi Rangkaian Konveyor

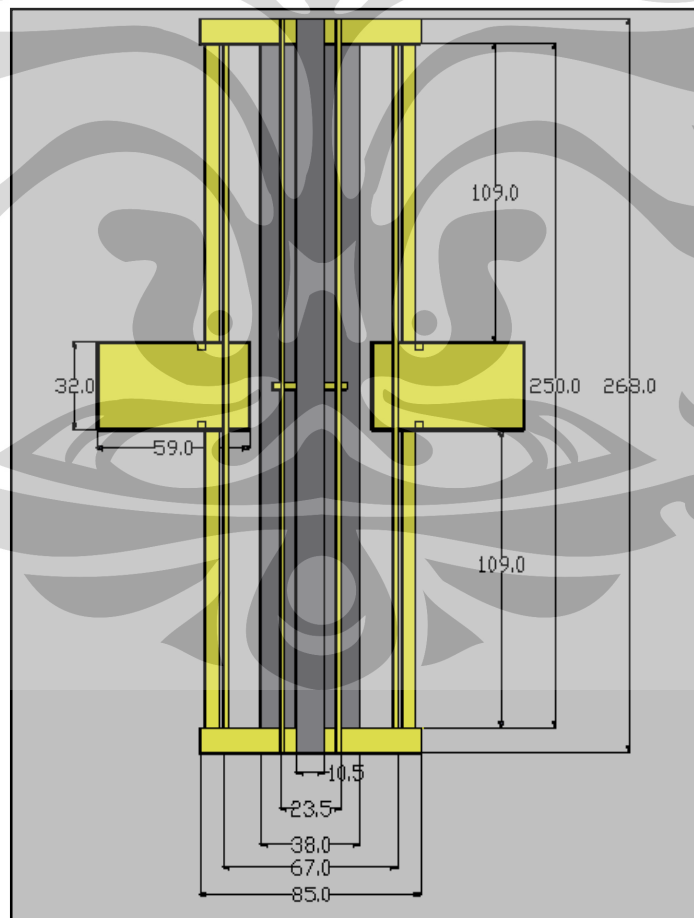
Secara utuh, rangkaian partisi konveyor yang menjadi stasiun kerja *packer* ditunjukkan oleh **Gambar 3.7, 3.8, 3.9, dan 3.10** rangkaian konveyor tersebut merupakan tempat kerja *packer* dalam melakukan keseluruhan proses *packaging*.



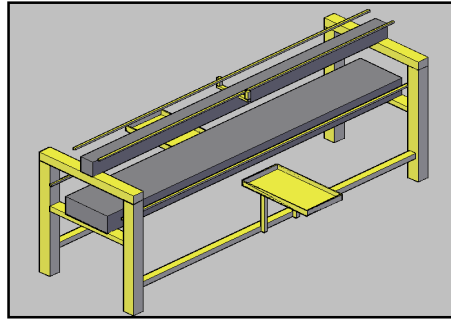
**Gambar 3.7** Tampak Depan Partisi Rangkaian Konveyor



**Gambar 3.8** Tampak Samping Partisi Rangkaian Konveyor



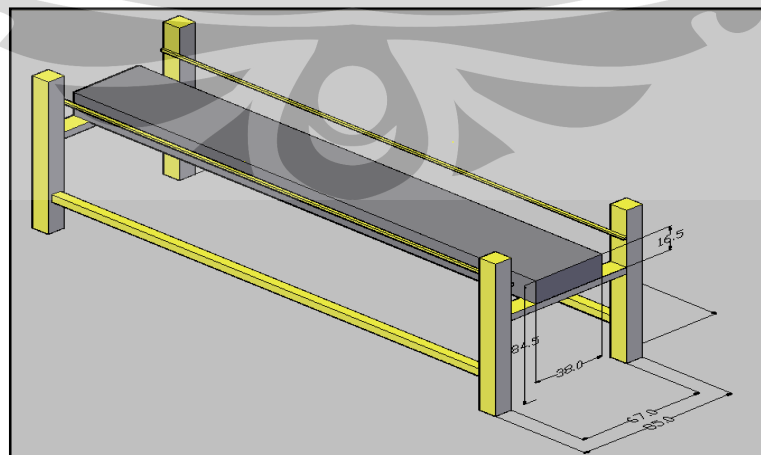
**Gambar 3.9** Tampak Atas Partisi Rangkaian Konveyor



**Gambar 3.10** Tiga Dimensi Partisi Rangkaian Konveyor

### 3.5.1.2 Ukuran Konveyor Besar

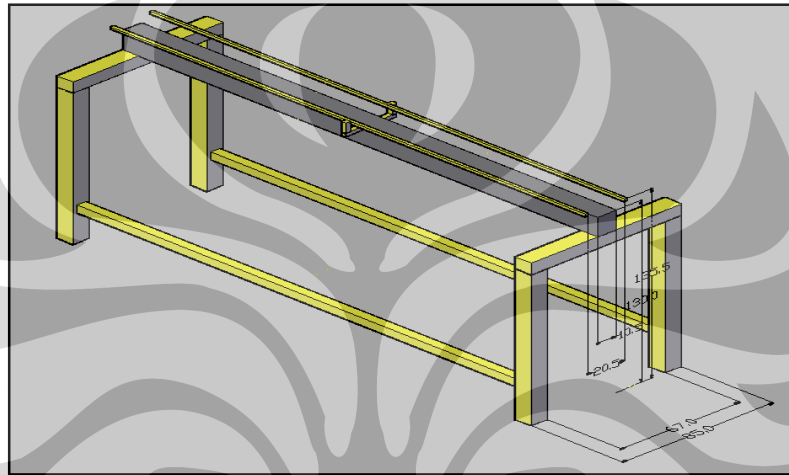
Seperti telah dijelaskan pada bahasan sebelumnya bahwa pada setiap partisi rangkaian konveyor tersebut terdapat 3 elemen bangunan konveyor utama. Pada subbab ini akan diterangkan secara rinci mengenai elemen yang pertama yaitu konveyor besar. **Gambar 3.11** menunjukkan dimensi konveyor besar yang merupakan elemen terbesar dalam partisi rangkaian konveyor. Fungsi dari konveyor ini adalah untuk mengalirkan krat berisi 96 *cone* es krim yang nantinya harus dimasukkan ke dalam kotak karton oleh masing – masing *packer* sebanyak 12 *cone* pada setiap kotak dengan 2 rasa yang berbeda. Krat eskrim yang mengalir di atas konveyor besar berisi 2 jenis rasa es krim tiap kratnya yang masing – masing terdiri dari 48 rasa Cookies & Cream dan 48 rasa Black Forest untuk pengemasan kotak karton berwarna merah atau 48 rasa Chocolate dan 48 rasa Vanilla untuk pengemasan kotak karton berwarna krem.



**Gambar 3.11** Tiga Dimensi Konveyor Besar

### 3.5.1.3 Ukuran Konveyor Kecil

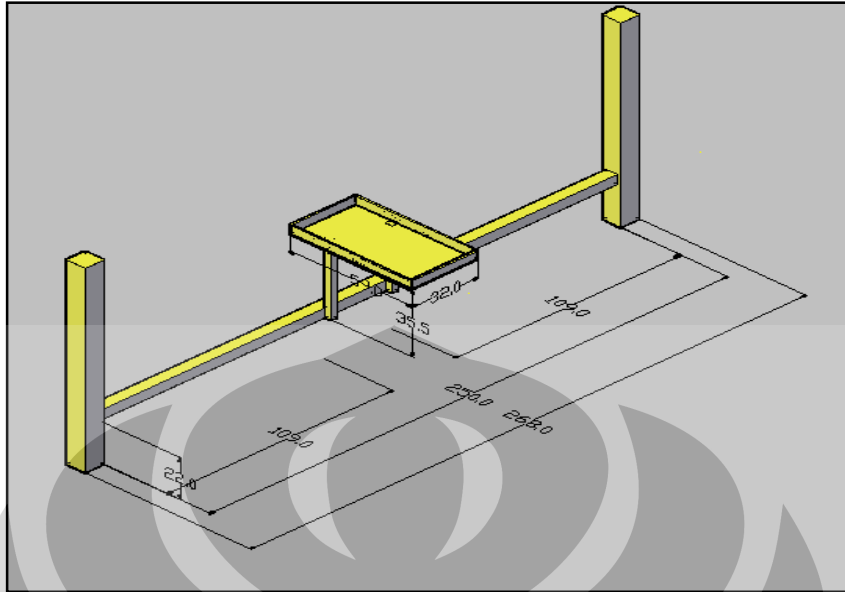
Elemen kedua dalam partisi rangkaian konveyor ini adalah konveyor kecil. Konveyor kecil merupakan tempat mengalirkan kotak karton yang merupakan hasil pengepakan dari para *packer*. Di dalam kotak karton yang mengalir pada konveyor kecil ini terdapat 12 *cone* es krim dengan 2 rasa yang berbeda terdiri 6 rasa Cookies & Cream dan 6 rasa Black Forest pada kotak karton berwarna merah atau 6 rasa Chocolate dan 6 rasa Vanilla pada kotak karton berwarna krem.



**Gambar 3.12** Tiga Dimensi Konveyor Kecil

### 3.5.1.4 Ukuran Meja Peletakkan Lembaran Karton

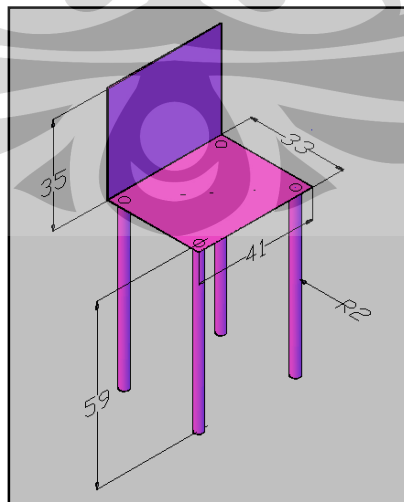
Elemen ketiga dari partisi rangkaian konveyor merupakan meja kecil yang terletak tepat di tengah partisi rangkaian konveyor dan pada tiap – tiap partisi rangkaian konveyor terdapat 2 buah meja kecil tempat peletakkan lembaran kotak karton. Fungsi 2 meja tersebut adalah tempat meletakkan lembaran kotak karton yang akan digunakan oleh para *packer* yang bekerja pada sisi kanan dan sisi kiri rangkaian partisi konveyor. **Gambar 3.13** menunjukkan detail spesifikasi meja peletakkan konveyor lembaran kotak karton beserta pijakan kaki yang terletak pada bagian bawah partisi rangkaian konveyor dalam satuan cm.



**Gambar 3.13** Tiga Dimensi Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton dan Pijakan Kaki

#### 3.5.1.5 Ukuran Kursi *Packer*

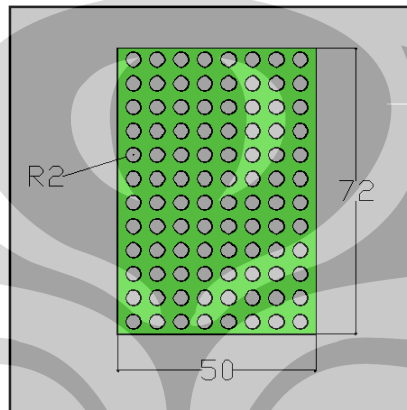
Kursi *packer* ini terbuat dari bahan plastik, tanpa busa penyangga pada bagian dudukannya. Desain kursi *packer* pada lini *packaging* ini dibuat lebih tinggi dari kursi pada umumnya. Karena rancangan kursi tersebut, maka pada rangkaian konveyor ditambahkan pijakan kaki sebagai tempat meletakkan *packer* meletakkan pijakan kakinya sehingga kaki *packer* tidak menggantung. Spesifikasi detail ditunjukkan pada **Gambar 3.14** dibawah ini dalam satuan cm.



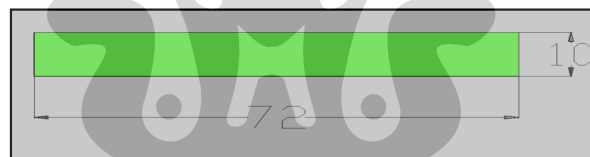
**Gambar 3.14** Tiga Dimensi Kursi *Packer*

### 3.5.1.6 Ukuran Krat Es Krim

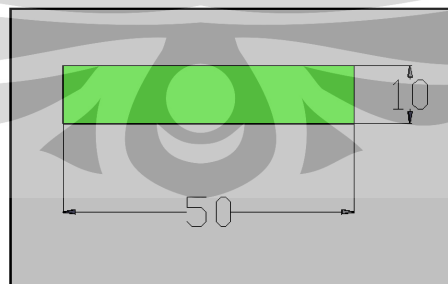
Krat es krim berfungsi sebagai tempat atau wadah *cone* es krim mengalir di atas konveyor besar. Krat es krim dirancang untuk menampung 96 *cone* es krim dengan 2 rasa yang berbeda dimana masing – masing rasa terdapat 48 buah *cone* es krim. Spesifikasi krat es krim dalam satuan cm dapat dilihat pada **Gambar 3.15** dibawah ini.



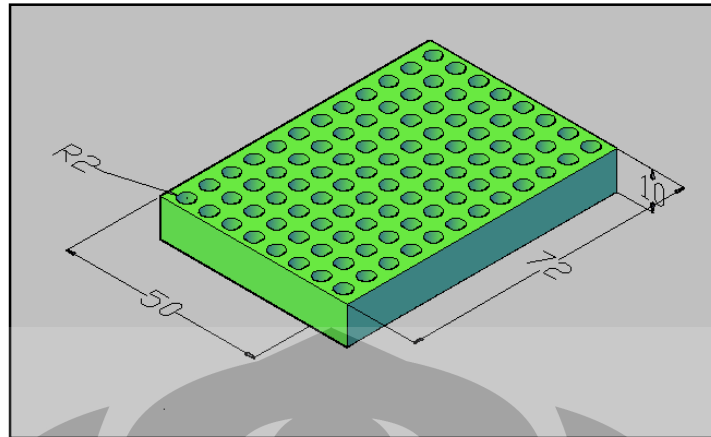
a)Tampak Atas



b)Tampak Samping



c)Tampak Depan

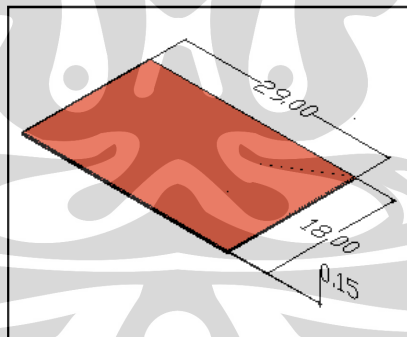


d)Tampak Tiga Dimensi

**Gambar 3.15** Krat Es Krim

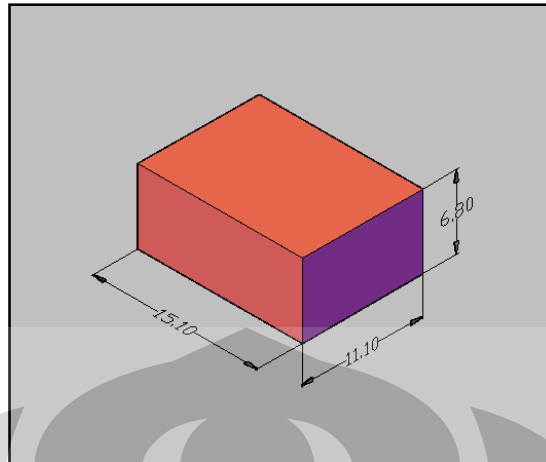
### 3.5.1.7 Ukuran Lembaran Kotak Karton

Perlengkapan utama yang dibutuhkan dalam proses *packaging* adalah lembaran kotak karton yang nantinya akan dibentuk kotak untuk tempat menampung 12 unit *cone* es krim. Lembaran kotak karton ini diletakkan pada meja peletakkan lembaran kotak karton yang merupakan elemen dari partisi rangkaian konveyor.

**Gambar 3.16** Lembaran Kotak Karton

### 3.5.1.8 Ukuran Kotak Karton Es Krim

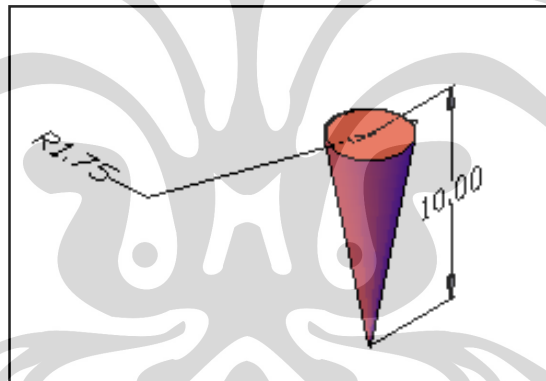
Lembaran kotak karton dalam proses *packaging* akan dibentuk menjadi bentuk kotak seperti terlihat pada **Gambar 3.17** berikut ini.



**Gambar 3.17** Kotak Karton

#### 3.5.1.9 Ukuran *Cone* Es Krim

Di dalam lini *packaging* ini, yang menjadi objek utama pengepakan adalah *cone* es krim. Spesifikasi *cone* es krim ditunjukkan oleh **Gambar 3.18**.



**Gambar 3.18** *Cone* Es Krim

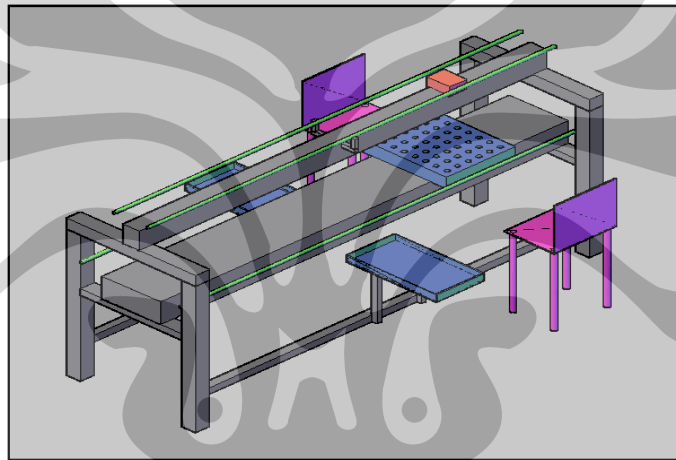
#### 3.5.1.10 Layout Stasiun Kerja (*Workstation*)

Tata letak elemen – elemen partisi rangkaian konveyor dan perlengkapan kerja dalam satu stasiun kerja lini *packaging* dapat terlihat pada **Gambar 3.19**.





a) Gambar Asli

b) Gambar *AutoCad***Gambar 3.19** Layout *Work Station* Lini *Packaging*

### 3.5.2 Data Antropometri

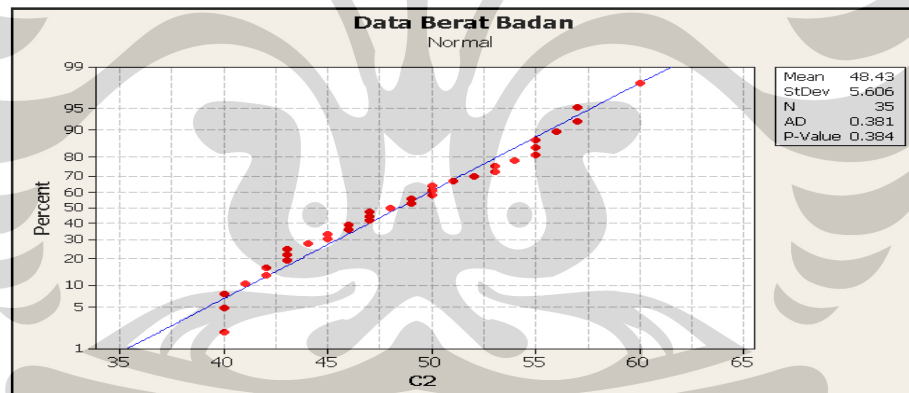
Data antropometri merupakan elemen data yang dibutuhkan sebagai input pembuatan model manusia virtual. Di dalam *software* Jack dapat dihasilkan model manusia dengan karakteristik detail ukuran tubuh yang seimbang dengan postur tubuh manusia pada umumnya, dengan hanya melakukan input tinggi dan berat badan. Berdasarkan hal tersebut maka dilakukan pengumpulan data berat dan tinggi badan pada pekerja lini *packaging* Mini Cornetto sebanyak 35 orang. Pengambilan data dilakukan secara langsung dengan timbangan badan dan meteran tinggi pada beberapa pekerja *shift* 1 dan *shift* 2. Tujuan digunakannya

data antropometri dari kondisi aktual pekerja lini *packaging* Mini Cornetto adalah agar model manusia virtual yang dibuat pada simulasi dapat akurat mencitrakan model manusia yang bekerja pada lini *Packaging* tersebut. Hasil pengumpulan data dan tinggi badan 35 orang pekerja ditunjukkan oleh **Tabel 3.4**.

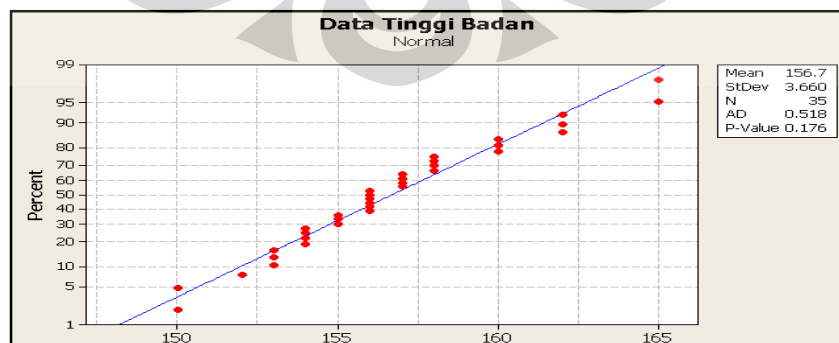
**Tabel 3.4** Data Tinggi dan Berat Badan Pekerja

No. Observasi	Tinggi Badan	Berat Badan
1	152	40
2	153	40
3	155	40
4	156	41
5	162	42
6	165	42
7	157	43
8	158	43
9	158	43
10	153	44
11	154	45
12	156	45
13	158	46
14	155	46
15	157	47
16	158	47
17	160	47
18	154	48
19	156	49
20	157	49
21	150	50
22	155	50
23	150	50
24	156	51
25	154	52
26	157	53
27	160	53
28	162	54
29	165	55
30	156	55
31	156	55
32	154	56
33	153	57
34	162	57
35	160	60

Data tinggi dan berat badan yang telah dikumpulkan tidaklah cukup dalam menunjang pembuatan konfigurasi rancangan tempat kerja yang ergonomis, untuk itu diperlukan detail ukuran antropometri yang spesifik berdasarkan tinggi dan berat badan wanita yang diukur. Dari data tinggi dan berat badan yang dikumpulkan, hanya tinggi dan berat badan persentil 5%, 50%, dan 95% saja yang dicari detail ukuran antropometri spesifiknya karena persentil – persentil tersebut diasumsikan dapat mewakili keseluruhan populasi yang diukur. Data – data tinggi dan berat badan persentil 5%, 50%, dan 95% hanya dapat diperoleh jika keseluruhan data telah terdistribusi normal, oleh sebab itu harus ada pengujian sebelumnya untuk membuktikan normalitas kumpulan data tersebut. Untuk mengetahui apakah data antropometri yang telah dikumpulkan adalah data yang terdistribusi normal, maka dilakukan uji normalitas data dengan *software* Minitab 14. Jika hasil uji normalitas menghasilkan *p-value* lebih dari 5%, maka data tersebut terdistribusi secara normal. **Gambar 3.20. dan 3.21.** di bawah.



**Gambar 3.20** Hasil Uji Normalitas Data Tinggi Badan



**Gambar 3.21** Hasil Uji Normalitas Berat Tinggi Badan

Berdasarkan hasil uji normalitas, *p-value* dari data tinggi badan adalah 38.4%. Sedangkan *p-value* dari data berat badan adalah 17.6%. Dari sini, dapat dilihat bahwa data tinggi dan berat badan terdistribusi secara normal sehingga dapat dicari nilai – nilai untuk persentil 5%, 50%, dan 95% seperti yang terlihat pada **Tabel 3.5** di bawah ini.

**Tabel 3.5** Data Tinggi dan Berat Badan berdasarkan Persentil

Persentil	Tinggi Badan	Berat Badan
5%	151.4	40
50%	156	48
95%	162.9	57

Data antropometri berdasarkan persentil ini kemudian dimasukkan ke dalam *software* Jack untuk kemudian memberikan variabel data antropometri lainnya (selain tinggi dan berat badan) yang lebih detail dan spesifik. Data antropometri yang dihasilkan dari *software* Jack dapat dilihat pada **Tabel 3.6** di bawah.

**Tabel 3.6.** Data Antropometri Persentil 5, 50, dan 95

Detail Antropometri (cm)				
Precentile		5%	50%	95%
<i>Strature</i>		151.4	156	162.9
<i>Weight</i>		40	48	57
1	<i>Abdomnal Breadth</i>	15.6	16.7	17.8
2	<i>Ankle Height</i>	5.7	5.9	6.1
3	<i>Acromion Height</i>	122.9	127	133.1
4	<i>Arm Length</i>	67	69.2	72.4
5	<i>Biacromial Breadth</i>	33.6	34.4	35.6
6	<i>Bideltoid Breadth</i>	39.2	40.5	42
7	<i>Buttock - Knee</i>	50.5	52.7	55.6
8	<i>Elbow Rest Height</i>	20.7	21	21.6
9	<i>Elbow - Fingertip</i>	40.3	41.5	43.4
10	<i>Foot Breadth</i>	8.6	8.7	9
11	<i>Foot Length</i>	22.4	23	23.9
12	<i>Hand Breadth</i>	7.8	8	8.2
13	<i>Hand length</i>	16.5	17	17.7

Sumber: *Software* Jack)

**Tabel 3.6.** Data Antropometri Persentil 5, 50, dan 95 (Sambungan)

14	<i>Head Breadth</i>	14.4	14.4	14.5
15	<i>Head Height</i>	21.3	21.5	21.8
16	<i>Head Length</i>	18.3	18.5	18.7
17	<i>Hip Breadth</i>	30	31.4	33
18	<i>Interpupil Dist</i>	6.2	6.2	6.2
19	<i>Shoulder - Elbow</i>	31.6	32.8	34.4
20	<i>Sitting Acromial</i>	52.3	53.8	55.9
21	<i>Sitting Eye</i>	69.7	71.6	74.4
22	<i>Sitting Height</i>	80.8	82.8	85.8
23	<i>Sit Knee Height</i>	46.9	48.8	51.5
24	<i>Thigh Clearance</i>	13.8	14.9	16
25	<i>Thumtip Reach</i>	72.7	75.3	79

(Sumber: Software Jack)

### 3.5.3 Data Metode Kerja

Untuk mengetahui metode kerja dalam proses *packaging* ini dilakukan *motion study*. Selain untuk mengetahui metode kerjanya, *motion study* ini berguna untuk mengetahui setiap elemen kerja dari proses *packaging* ini. Dalam *motion study* dilakukan perekaman kegiatan *packer* selama beberapa siklus. Sebelum dilakukan perekaman gerakan kerja, dilakukan pemilihan *packer* terlebih dahulu dengan cara melakukan *pilot time study*. *Pilot time study* berguna untuk mencari *packer* yang bekerja dengan performa yang mewakili keseluruhan *packer*, yaitu yang sesuai dengan rata-rata standar waktu dari keseluruhan *packer*<sup>75</sup>. Dalam *pilot time study*, tiap *packer* diukur waktunya dalam melakukan satu siklus *packaging*.

Setelah melakukan *pilot time study* ini, didapatkan rata-rata *standard time* dari seluruh *packer*. *Standard Time* rata-rata adalah 10.12, jika kita melihat dari ke enam *packer* yang melalui *time study*, maka *packer 2* memiliki standar waktu kerja yang paling mendekati standar waktu rata-rata, oleh karena itu *packer* inilah yang dipilih untuk direkam pekerjaannya dalam *motion study*. *Allowance* yang digunakan sebesar 5% yang merupakan kelonggaran terhadap *basic fatigue*. Hasil *time study* pada 12 *packer* dapat dilihat pada **Tabel 3.7**.

<sup>75</sup> Niebel, Benjamin W. *Methods, Standard and Work Design*. USA: McGraw-Hill.1999: 383.

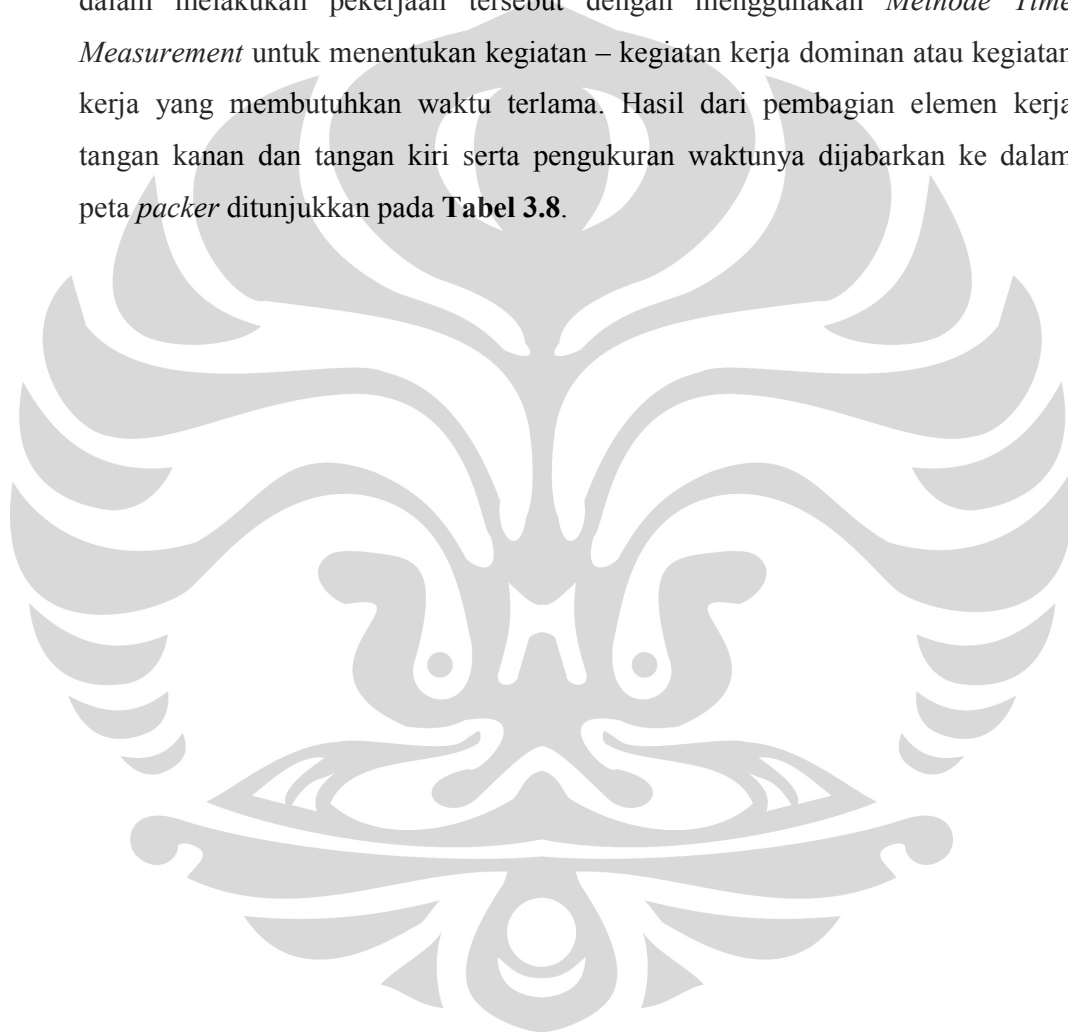
Tabel 3.7 Hasil *Pilot time study*

Siklus	Operator											
	Operator 1	Operator 2	Operator 3	Operator 4	Operator 5	Operator 6	Operator 7	Operator 8	Operator 9	Operator 10	Operator 11	Operator 12
Siklus 1	7.59	7.95	8.64	8.27	8.77	9.25	8.46	7.05	10.26	9.19	9.58	9.51
Siklus 2	7.19	8.71	8.28	7.93	9.69	9.77	9.84	11.64	9.23	8.52	8.08	10.52
Siklus 3	7.55	8.76	8.82	8.31	9.08	7.91	9.45	8.79	10.12	7.5	9.95	7.19
Siklus 4	8.15	8.08	8.72	7.68	9.9	8.95	10.5	9.32	10.84	8.93	10.02	8.02
Siklus 5	8.2	9.83	8.67	11.02	8.97	9.37	8.26	9	8.87	9.08	9.08	9.65
Siklus 6	8.69	9.46	9.59	9.54	7.78	7.97	10.13	9.98	8.98	10.23	10.96	7.35
Siklus 7	8.1	7.14	9.12	11.45	10	7.4	9.48	8.01	8.53	8.33	9.71	11.69
Siklus 8	8.8	8.78	9.86	8.82	9.17	9.26	9.63	7.55	8.78	9.78	10.25	8.77
Siklus 9	7.22	7.33	8.74	11.48	11.16	9.59	10.79	11.87	9.44	11.02	7.4	10.09
Siklus 10	7.75	9	8.46	7.98	8.34	9.57	11.08	10.55	8.5	10.88	9.41	9.91
Siklus 11	8.27	8.26	7.96	10.7	8.68	10.84	8.63	9.16	8.17	7.88	11.94	8.18
Siklus 12	8.93	9.93	9.23	8.36	8.87	8.25	11.46	10.16	9.21	9.59	8.68	9.12
Siklus 13	7.51	7.31	8.91	10.8	8.98	7.26	10.05	10.16	8.82	9.99	9.49	8.58
Siklus 14	7.12	8.41	9.39	8.57	8.55	8.43	10.95	8.44	8.72	9.81	10.58	8.15
Siklus 15	8.16	9.92	9.61	9.63	7.6	8.41	9.28	7.2	7.99	10.98	11.59	9.52
Siklus 16	8.35	9.07	8.61	8	9.26	8.56	11.17	11.52	9.53	9.48	9.31	8
Siklus 17	9.32	8.88	7.64	9.63	9.12	8.48	9.91	9.47	10.27	9.49	8.47	8.03
Siklus 18	8.06	10.11	8.38	8	9.54	8.73	10.71	9.06	11.13	10.64	7.79	8.98
Siklus 19	7.36	10.29	7.98	7.56	9.29	10.45	7.77	8.25	10.04	10.43	9.12	8.1
Siklus 20	7.73	11.42	8.34	7.95	7.61	9.41	11.16	7.57	9.41	9.09	9.48	7.89

Tabel 3.7 Hasil *Pilot time study* (Sambungan)

Siklus 21	7.6	8.88	9.24	9.01	8.56	9.38	10.67	10.6	8.96	9.23	8.41	8.37
Siklus 22	8.19	9.42	9.88	9.81	9.79	8.72	9.27	9.333	10.7	9.23	8.74	9.01
Siklus 23	8.94	7.86	10.75	10.88	8.76	8.51	10.11	7.62	9.87	9.47	8.44	7.81
Siklus 24	8.63	8.68	10.89	8.56	8.86	7.87	9.55	7.8	7.91	9.02	8.41	9.1
Siklus 25	8.47	9.43	10.29	9.3	8.46	10.53	8.19	8.93	9.28	9.39	8.29	7.16
Siklus 26	7.59	8.22	8.34	9.57	8.33	10.07	8.97	9.22	9.15	9.55	7.51	8.72
Siklus 27	9.01	9.19	9.24	8.88	8.08	9.4	9.49	9.98	10.42	10.37	8.56	9.43
Siklus 28	8.47	10.81	9.88	9.21	8.88	8.54	8.1	10.45	9.23	9.84	9.96	8.35
Siklus 29	8.77	10.42	10.75	7.96	9.27	10.17	9.4	8.4	8.66	9.23	8.36	9.87
Siklus 30	7.37	10.53	10.89	9.1	8.33	8.4	10.17	9.78	8.22	8.53	9.52	8.82
<b>Total OT</b>	<b>243.09</b>	<b>272.08</b>	<b>275.1</b>	<b>273.96</b>	<b>267.68</b>	<b>269.45</b>	<b>292.63</b>	<b>276.863</b>	<b>279.24</b>	<b>284.7</b>	<b>277.09</b>	<b>263.89</b>
<b>Ratting</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>	<b>106%</b>
<b>Total NT</b>	<b>257.6754</b>	<b>288.4048</b>	<b>291.606</b>	<b>290.3976</b>	<b>283.741</b>	<b>285.617</b>	<b>310.188</b>	<b>293.475</b>	<b>295.994</b>	<b>301.782</b>	<b>293.715</b>	<b>279.7234</b>
<b>Rata - Rata</b>	<b>8.58918</b>	<b>9.613493</b>	<b>9.7202</b>	<b>9.67992</b>	<b>9.45803</b>	<b>9.52057</b>	<b>10.3396</b>	<b>9.78249</b>	<b>9.86648</b>	<b>10.0594</b>	<b>9.79051</b>	<b>9.324113</b>
<b>Allowance</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>	<b>0.05</b>
<b>Standard Time</b>	<b>9.018639</b>	<b>10.09417</b>	<b>10.2062</b>	<b>10.16392</b>	<b>9.93093</b>	<b>9.9966</b>	<b>10.8566</b>	<b>10.2716</b>	<b>10.3598</b>	<b>10.5624</b>	<b>10.28</b>	<b>9.790319</b>
<b>ST Rata - Rata</b>	<b>10.12759819</b>											
<b>Selish ST</b>	<b>1.108959</b>	<b>0.03343</b>	<b>-0.0786</b>	<b>-0.03632</b>	<b>0.19667</b>	<b>0.131</b>	<b>-0.729</b>	<b>-0.14402</b>	<b>-0.2322</b>	<b>-0.43477</b>	<b>-0.1524</b>	<b>0.337279</b>

Setelah mendapatkan *packer* yang akan direkam dalam *motion study*, maka perekaman terhadap *packer* pada saat melakukan kegiatan *packaging* dapat dimulai. Berdasarkan hasil perekaman, kemudian dilakukan pembagian kegiatan selama satu siklus menjadi beberapa elemen kerja yang dilakukan oleh tangan kanan dan tangan kiri, dengan mencantumkan gerakan dasar *Therblig* yang terdapat didalamnya. Setelah itu dilakukan penentuan waktu yang dibutuhkan dalam melakukan pekerjaan tersebut dengan menggunakan *Methode Time Measurement* untuk menentukan kegiatan – kegiatan kerja dominan atau kegiatan kerja yang membutuhkan waktu terlama. Hasil dari pembagian elemen kerja tangan kanan dan tangan kiri serta pengukuran waktunya dijabarkan ke dalam peta *packer* ditunjukkan pada **Tabel 3.8**.





Tabel 3.8 Peta Operator Proses *Packaging* Kotak Karton Mini Cornetto

No Urutan	Description Left Hand	LH	Time	RH	Description Right Hand	Element Time
Mengambil Lembaran Kotak Karton						
1	Mencapai kotak karton	R20A	13.1		Idle	34.8
	Menggenggam karton kotak	G1A	2.5			
	Membawa kotak	M20A	19.2			
Melipat tutup kotak bagian bawah						
2	Memposisikan kotak	P1S	5.6		Memegang bagian atas kotak	24
	Memegang tutup kotak bagian kanan	G1A	4	G1B		
	Menggerakkan ke arah menutup	M1A	2.5			
	Memegang tutup kotak bagian kiri	G1A	4			
	Menggerakkan ke arah menutup	M1A	2.5			
	Memutar kotak	T90	5.4			
Menunggu Es krim Rasa I datang pada konveyor						
3	Memegang kotak karton	G1B	3.8		Idle	3.8
Mengambil Es Krim Rasa 1						
4	Memegang Karton	Idle	10.5	R10C	Mencapai posisi Es Krim Produk 1	77.4
			2	G1A	Menggenggam 2 unit Es Krim Produk 1	
			11.3	M10A	Membawa 2 unit Es Krim Produk 1 ke atas kotak karton	
			2	R1	Melepaskan 2 unit Es Krim Produk 1 ke dalam karton	
			10.5	R10C	Mencapai posisi Es Krim Produk 1	
			2	G1A	Menggenggam 2 unit Es Krim Produk 1	
			11.3	M10A	Membawa 2 unit Es Krim Produk 1 ke atas kotak karton	
			2	R1	Melepaskan 2 unit Es Krim Produk 1 ke dalam karton	
			10.5	R10C	Mencapai posisi Es Krim Produk 1	
			2	G1A	Menggenggam 2 unit Es Krim Produk 1	
			11.3	M10A	Membawa 2 unit Es Krim Produk 1 ke atas kotak karton	
			2	R1	Melepaskan 2 unit Es Krim Produk 1 ke dalam karton	

**Tabel 3.8** Peta Operator Proses *Packaging* Kotak Karton Mini Cornetto (Sambungan)

5	Memperbaiki posisi 6 unit Es Krim Rasa 1 yang ada di dalam karton					9.4
	Memegang kotak karton	G1B	3.8		Idle	
	Menggoyangkan karton untuk memperbaiki posisi Es Krim	P1S	5.6			
6	Mengambil Es Krim Rasa 2					77.4
	Memegang Karton Kotak	Idle	10.5	R10C	Mencapai posisi Es Krim Produk 2	
			2	G1A	Menggenggam 2 unit Es Krim Produk 2	
			11.3	M10A	Membawa 2 unit Es Krim Produk 2 ke atas kotak karton	
			2	R1	Melepaskan 2 unit Es Krim Produk 2 ke dalam karton	
			10.5	R10C	Mencapai posisi Es Krim Produk 2	
			2	G1A	Menggenggam 2 unit Es Krim Produk 2	
			11.3	M10A	Membawa 2 unit Es Krim Produk 2 ke atas kotak karton	
			2	R1	Melepaskan 2 unit Es Krim Produk 2 ke dalam karton	
			10.5	R10C	Mencapai posisi Es Krim Produk 2	
			2	G1A	Menggenggam 2 unit Es Krim Produk 2	
			11.3	M10A	Membawa 2 unit Es Krim Produk 2 ke atas kotak karton	
2			R1	Melepaskan 2 unit Es Krim Produk 2 ke dalam karton		
7	Memperbaiki posisi 12 unit Es Krim yang ada di dalam karton					14.8
	Memegang karton bagian bawah	G1B	3.8	G1B	Memegang karton bagian atas	
	Menggoyangkan karton untuk memperbaiki posisi Es Krim	P1S	5.6	P1S	Menggoyangkan karton untuk memperbaiki posisi Es Krim	
	Memutar kotak	T90	5.4		Idle	

**Tabel 3.8** Peta Operator Proses *Packaging* Kotak Karton Mini Cornetto (Sambungan)

Melipat tutup kotak bagian atas						
8	Memegang bagian bawah kotak	G1B	3.8	G1A	Memegang tutup kotak	6.3
			2.5	M1A	Menggerakkan ke arah menutup	
Meletakkan kotak ke atas konveyor kecil						
9	Idle		3.8	G1B	Memegang kotak	31.8
			25.5	M28A	Membawa kotak menuju konveyor kecil	
			2.5	R1	Melepaskan kotak	
					<b>Total (TMU)</b>	<b>279.7</b>
					<b>Total (detik)</b>	<b>10.0692</b>

Peninjauan metode kerja yang dilakukan pada *packer* selanjutnya didasarkan pada kegiatan kerja yang dominan (membutuhkan waktu kerja yang besar) dan tempat kerja yang terlibat, secara garis besar terdapat 3 kelompok kerja utama yaitu:

1. Kelompok kerja mengambil lembaran kotak karton hingga menunggu es krim datang pada konveyor dengan kegiatan dominan mengambil lembaran kotak karton dari meja lembaran kotak karton. Tempat kerja yang dilibatkan adalah meja lembaran kotak karton.
2. Kelompok kerja mengambil es krim rasa 1 hingga mengambil es krim rasa 2 dengan kegiatan dominan mengambil es krim rasa 1 dan 2. Tempat kerja yang dilibatkan adalah konveyor besar.
3. Kelompok kerja memperbaiki posisi 12 unit es krim yang ada di dalam kotak hingga meletakkan kotak karton ke atas konveyor dengan kegiatan dominan meletakkan kotak karton ke atas konveyor. Tempat kerja yang dilibatkan adalah konveyor kecil.

Tujuan membagi metode kerja menjadi kelompok – kelompok kerja adalah untuk memperjelas tinjauan elemen *workstation* yang akan dianalisis berdasarkan kegiatan dominan yang terjadi pada elemen *workstation* tersebut.

Berdasarkan penentuan kelompok – kelompok kerja yang ada di dalam keseluruhan metode atau proses kerja yang terjadi pada lini *packaging* Mini Cornetto ini, maka selanjutnya dilakukan *time study* lebih lanjut terhadap masing – masing kelompok kerja dengan *stopwatch*. Hasil perhitungan *time study* Hasil *time study* menunjukkan bahwa kelompok kerja 1 memiliki waktu baku sebesar 2.2 detik, kelompok kerja 2 memiliki waktu baku sebesar 5.7 detik, dan kelompok kerja 3 memiliki waktu baku sebesar 2.1 detik seperti ditunjukkan oleh **Tabel 3.9**.

**Tabel 3.9** *Time Study* per Kelompok Kerja

No Observasi	Kelompok Kerja 1	Kelompok Kerja 2	Kelompok Kerja 3	Waktu Kerja Total
1	2.11	6.03	1.88	10.02
2	1.98	5.98	1.12	9.08
3	2.91	5.83	2.22	10.96
4	1.96	5.23	2.52	9.71
5	2.72	4.83	2.7	10.25
6	1.86	4.01	1.53	7.4
7	1.85	5.05	2.51	9.41
8	2.49	5.73	1.72	9.94
9	2.04	4.48	2.16	8.68
10	2.02	5.74	1.73	9.49
11	2.47	6.61	1.5	10.58
12	2.7	7.45	1.44	11.59
13	1.9	5.66	1.75	9.31
14	1.58	5.54	1.35	8.47
15	1.68	4.15	1.96	7.79
16	1.79	4.91	2.42	9.12
17	1.83	5.28	2.37	9.48
18	1.75	5.01	1.65	8.41
19	1.93	4.39	2.42	8.74
20	2.25	4.51	1.68	8.44
21	1.88	5.07	1.46	8.41
22	1.42	4.85	2.02	8.29
23	1.56	3.85	2.1	7.51
24	1.95	4.43	2.18	8.56
25	2.52	4.98	2.46	9.96

**Tabel 3.9** *Time Study* per Kelompok Kerja (Sambungan)

26	1.49	4.51	2.36	8.36
27	1.52	4.74	1.84	8.1
28	1.76	3.77	2.36	7.89
29	2.06	4.95	1.36	8.37
30	2.11	5.56	1.34	9.01
Total OT	60.09	153.13	58.11	271.33
Ratting	106%	106%	106%	106%
Total NT	63.6954	162.3178	61.5966	287.6098
Rata - Rata	2.12318	5.4105933	2.05322	9.5869933
Allowance	5%	5%	5%	5%
Standard Time	2.229339	5.681123	2.155881	10.066343

#### 3.5.4 Data Postur Kerja Secara Umum

Postur dan gerakan pekerja berguna sebagai input dalam membuat simulasi gerakan *virtual* pada *software* Jack. Pendokumentasian gerakan dan postur kerja ini dilakukan dengan menggunakan rekaman video. Pembuatan animasi gerakan pada model manusia *virtual* nantinya akan dilakukan dengan mengikuti rekaman video tersebut, sehingga hasil dari analisis gerakan akan memperlihatkan kondisi aktual. Postur dan gerakan kerja yang diambil adalah postur pekerja ketika melakukan kelompok kerja yang mengandung kegiatan dominan (kegiatan yang membutuhkan waktu kerja terbesar) untuk masing – masing kelompok kerja yaitu yang menggunakan meja peletakkan lembaran kotak karton, konveyor besar, dan konveyor kecil.

##### 3.5.4.1 Postur Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

Kegiatan kerja pada meja peletakkan lembaran kotak karton dilakukan dalam posisi duduk oleh seorang *packer* wanita. *Packer* wanita tersebut melakukan kegiatan mengambil lembaran kotak karton yang terdapat di atas meja peletakkan lembaran kotak karton. Dalam menjalankan kegiatan tersebut, batang tubuh *packer* wanita membengkok ke arah samping bawah dengan tangan kiri lurus ke arah samping kiri untuk menjangkau lembaran kotak karton yang terletak di sebelah kiri posisi duduk *packer*. Postur kerja yang dibentuk oleh *packer* dari kegiatan ini adalah kegiatan menjangkau ke arah samping kiri bawah dalam posisi duduk.



**Gambar 3.22** Postur Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

#### 3.5.4.2 Postur Kerja pada Konveyor Besar

Kegiatan kerja yang dominan terjadi pada konveyor besar adalah kegiatan mengambil *cone* es krim dari krat es krim yang mengalir pada konveyor besar dan kemudian memasukkannya ke dalam kotak. Kegiatan tersebut dalam satu siklus kerja *packer* dilakukan berulang – ulang sebanyak enam kali. Hal ini dikarenakan dalam sekali pengambilan, *packer* hanya dapat mengambil 2 buah *cone* es krim sedangkan *cone* es krim yang harus diambil adalah 12 *cone* es krim.

Kegiatan kerja yang melibatkan konveyor besar tersebut dilakukan dalam posisi *packer* yang sedang duduk dengan tangan kiri yang memegang kotak karton dan tangan kanan yang berulang kali melakukan kegiatan menjangkau ke arah depan sebanyak enam kali untuk mengambil dan memasukkan es krim ke dalam kotak dari krat es krim yang mengalir di atas konveyor besar. Kondisi batang tubuh *packer* dalam kegiatan ini cenderung membungkuk ke arah depan untuk memudahkan jangkauan tangan ke krat es krim yang berada di depannya,



**Gambar 3.23** Postur Kerja pada Konveyor Besar

#### 3.5.4.3 Postur Kerja pada Konveyor Kecil

Kegiatan kerja yang dilakukan pada konveyor kecil adalah meletakkan kotak berisi 12 es krim ke atas konveyor kecil yang terletak di atas bahu *packer* dalam posisi duduk. Dalam melakukan kegiatan ini, bahu kanan *packer* cenderung mengalami kontraksi yang besar karena *packer* harus melakukan kegiatan menjangkau ke arah atas yang cukup sulit karena memiliki ketinggian lebih tinggi jauh dari bahu *packer*. Ketinggian ini menyebabkan jangkauan peletakkan yang harus dicapai *packer* melewati batas jarak jangkauan normal *packer*. Batang tubuh *packer* dalam kegiatan ini cenderung pula membungkuk ke arah depan untuk mendekati konveyor kecil.



**Gambar 3.24** Postur Kerja pada Konveyor Kecil

### 3.6 Data Input Simulasi ProModel

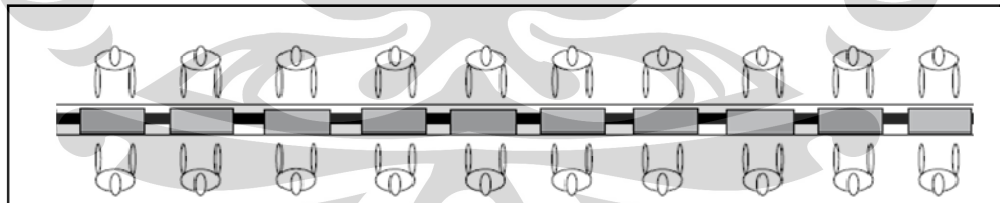
Dalam pembuatan simulasi ProModel yang menggambarkan aliran proses yang terjadi pada entitas dan *resource* maka diperlukan data – data yang diperoleh dari pengamatan langsung karakteristik sistem dan perhitungan hasil analisis ergonomi. Tujuan digunakannya data hasil perhitungan ergonomis adalah agar model simulasi ProModel yang dihasilkan dapat menggambarkan aliran proses yang terjadi pada entitas dan *resource* di dalam stasiun kerja yang ergonomis. Data – data input model simulasi ProModel ini dikelompokkan menjadi tiga yaitu data struktural, data operasional, dan data numerik.

#### 3.6.1 Data Struktural

Data struktural yang digunakan dalam pembuatan model simulasi aliran barang dan aliran kerja dengan menggunakan *software* ProModel adalah *lay out* lini *packaging* dan struktur personil di dalam lini *Packaging* yang meliputi jumlah dan posisi personil.

##### 3.6.1.1 Lay Out dan Lini *Packaging* Mini Cornetto

Secara umum *lay out* lini *packaging* Mini Cornetto berbentuk garis lurus panjang yang dapat dilihat pada **Gambar 3.25** di bawah ini.



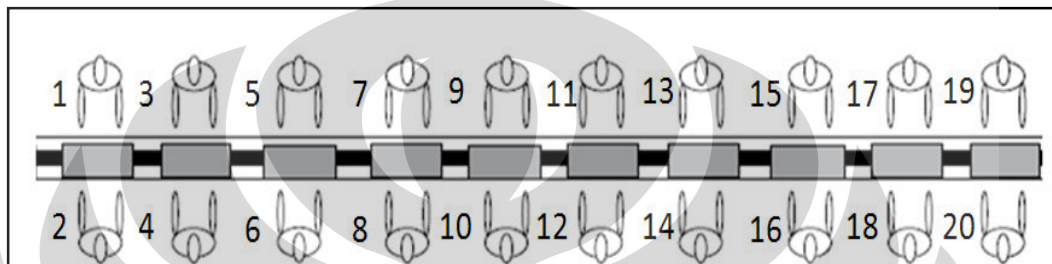
**Gambar 3.25** Lay Out Lini *Packaging* Mini Cornetto

Di sepanjang garis yang merupakan suatu konveyor panjang terdapat *packer* yang terletak pada kedua sisi konveyor dan saling berhadapan. Jumlah *packer* pada masing – masing sisi adalah 10 orang sehingga total *packer* yang bertugas pada lini ini adalah 20 orang. Ujung kiri garis konveyor merupakan lokasi masuknya entitas ke dalam aliran konveyor, sedangkan ujung kanan konveyor merupakan tempat berakhirnya aliran entitas dalam konveyor.



### 3.6.1.2 Struktur Personil dalam Lini *Packaging* Mini Cornetto

Para *packer* dalam lini *packaging* Mini Cornetto ini jika dinomorkan atau dinotasikan dengan kode numerik, maka akan terlihat seperti **Gambar 3.26** di bawah ini. Dalam gambar tampak bahwa *packer* 1 dan 2 adalah *packer* yang terletak pada posisi paling depan sedangkan *packer* 19 dan 20 adalah *packer* yang terletak pada posisi paling belakang dari konveyor.



**Gambar 3.26** Lay Out dan Penomoran *Packer* dalam Lini *Packaging* Mini Cornetto

Posisi antar *packer* di dalam lini *packaging* ini ditentukan berdasarkan pertimbangan ergonomis dimana ruang gerak pekerja yang ideal adalah dua kali dari panjang *Bideltoid Breadth* tubuh pekerja. Di dalam penentuan ruang gerak tersebut digunakan ukuran antropometri pekerja dengan persentil 95 %, hal ini didasarkan prinsip bahwa untuk penentuan dimensi tempat kerja dalam hal ini adalah ruang gerak pekerja harus menggunakan ukuran antropometri dari persentil terbesar sehingga rancangan lingkungan kerja ergonomis ini akan dapat memberikan kenyamanan yang sama untuk manusia dengan ukuran antropometri yang terkecil hingga yang terbesar.

Berdasarkan data antropometri yang dikumpulkan sebelumnya, nilai *Bideltoid Breadth* untuk persentil 95 adalah 42 cm, sehingga ruang gerak pekerja adalah minimum 84 cm. Oleh karena hal tersebut maka jarak antar *packer* dalam lini *packaging* ini harus lebih besar dari 84 cm. Hal – hal lain yang menentukan jarak antar *packer* adalah keberadaan benda – benda pendukung kerja yang ada di sekitar *packer* seperti meja peletakkan lembaran kotak karton dan tiang pembatas partisi konveyor. Hasil penjumlahan antara lebar benda – benda pendukung dan ruang gerak ideal *packer* maka didapatkan jarak antara *packer* seperti terlihat

dalam **Tabel 3.10** di bawah ini. Jarak yang dijelaskan pada **Tabel 3.10** adalah jarak *packer* yang bersebelahan, sedangkan jarak antar *packer* yang bersebrangan adalah sebesar lebar konveyor kerja yaitu 67 cm.

**Tabel 3.10** Jarak Ergonomis antar *Packer* di dalam Lini *Packaging* Mini Cornetto

Tinjauan Posisi	Jarak (cm)
Ujung <i>Conveyor</i> - P1 P2	95
P1-P2 ke P3-P4	125
P3 - P4 ke P5 P6	134
P5-P6 ke P7-P8	125
P7 - P8 ke P9 P10	134
P9 P10 ke P11 - P12	125
P11-P12 ke P13-P14	134
P13 P14 ke P15 P16	125
P15 P16 ke P17 - P18	134
P17 P18 ke P19 P20	125

### 3.6.1.3 Panjang Lini *Packaging*

Hasil penjumlahan nilai – nilai jarak antar *packer* jika dijumlahkan lagi dengan ruang gerak untuk *packer* terakhir sebesar 84 cm dapat menghasilkan nilai panjang keseluruhan dari lini *packaging* Mini Cornetto yaitu sebesar 1340 cm atau 13.4 meter. Nilai panjang konveyor ini berbeda dengan panjang aktual karena yang akan dimodelkan dalam simulasi ProModel ini adalah suatu sistem dari stasiun kerja yang telah ergonomis, oleh karena itu nilai panjang sistem digunakan hasil perhitungan ergonomis bukan nilai aktual.

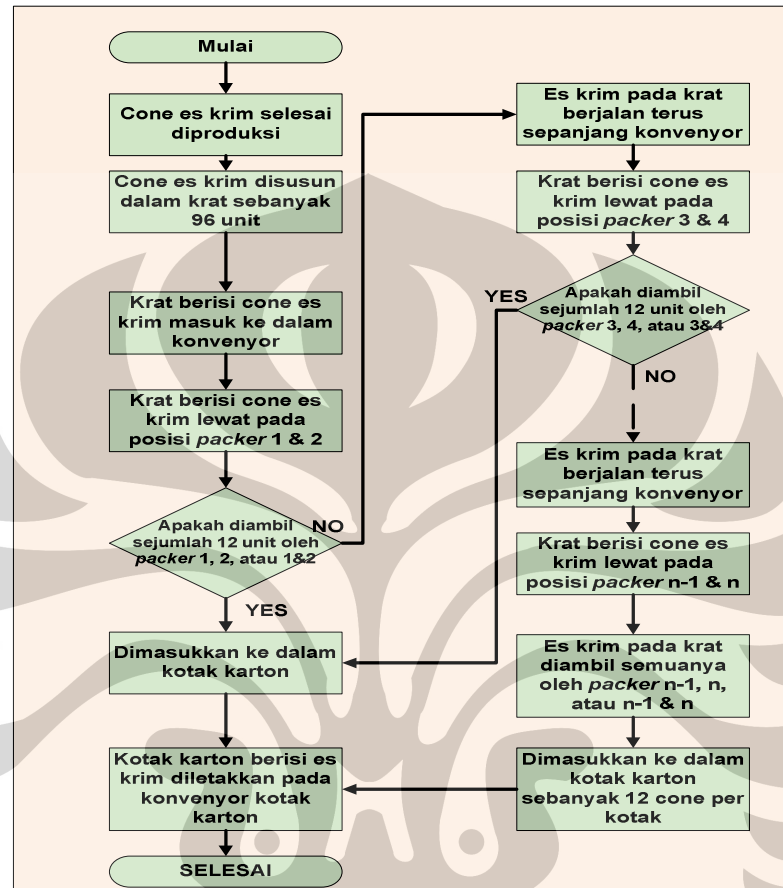
### 3.6.2 Data Operasional

Data operasional yang diperlukan untuk pembuatan model simulasi ProModel dalam penelitian ini adalah aliran proses yang dialami oleh entitas utama dalam model simulasi ini yaitu *cone* es krim dan aliran proses kerja yang harus dijalani oleh *resource* yaitu para *packer*

#### 3.6.2.1 Aliran Proses *Cone* Es Krim

**Gambar 3.27** di bawah ini menunjukkan aliran proses yang terjadi pada *cone* es krim di dalam sistem kerja yang akan peneliti tinjau, yaitu pada lini

*packaging* Mini Cornetto mulai dari masuk ke dalam sistem hingga keluar dari sistem sebagai barang jadi.



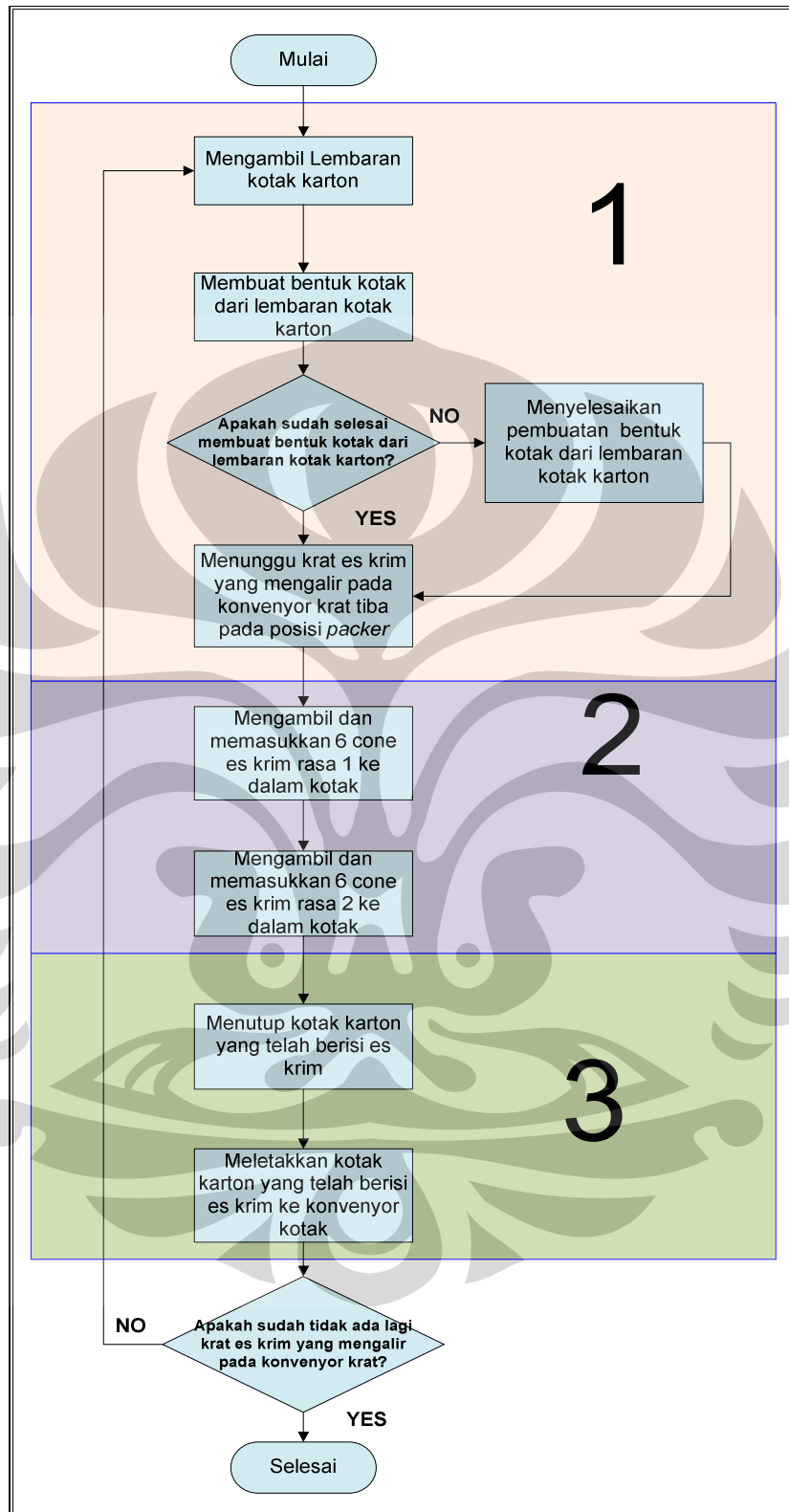
**Gambar 3.27** Aliran Proses *Cone* Es Krim

*Cone – cone* es krim yang selesai diproduksi kemudian disusun atau mengalami proses *loading* ke dalam suatu krat sebanyak 96 unit yang terdiri dari masing – masing 48 unit dari dua rasa yang berbeda. Krat yang telah berisi 96 unit es krim ini kemudian diletakkan ke atas konveyor dan mengalir pada konveyor kerja. Setiap kali melewati posisi *packer* yang sedang *available* atau tidak melakukan apapun, maka dari krat tersebut akan diambil 12 unit es krim yang terdiri dari masing – masing 6 unit dari dua rasa yang berbeda yang kemudian akan dimasukkan ke dalam kotak karton. Kotak karton yang telah berisi 12 unit *cone* es krim yang merupakan *output* dalam sistem ini kemudian diletakkan ke konveyor kotak karton dan meninggalkan sistem.

Krat yang berisi es krim akan terus mengalir pada konveyor melewati *packer* 3 dan 4, *packer* 5 dan 6 dan seterusnya hingga akhirnya menuju posisi *packer* yang terletak pada ujung kanan konveyor yaitu *packer* 19 dan 20. Setiap kali melewati *packer* yang *available*, *cone* es krim pada krat akan diambil oleh *packer* sebanyak 12 *cone* dan dimasukkan pada kotak karton seperti yang telah dijelaskan sebelumnya. Jika sampai pada posisi *packer* 19 dan 20 masih terdapat *cone* es krim, maka *packer* 19 atau *packer* 20 akan mengambil seluruh *cone* es krim dan kemudian memasukkan masing – masing 12 unit *cone* es krim ke dalam kotak karton hingga tidak ada lagi *cone* es krim yang tersisa dimana semuanya telah dikemas dalam kotak karton dan dialirkan ke konveyor kotak karton.

#### 3.6.2.2 Aliran Proses Packer

Sama halnya dengan tinjauan postur kerja yang disesuaikan dengan tinjauan elemen stasiun kerja (*workstation*) yang digunakan, proses kerja yang dilakukan oleh *packer* juga dibagi menjadi tiga kelompok besar. Proses utama yang dilakukan *packer* dalam sistem *packaging* ini adalah mengambil dan memasukkan 12 unit es krim ke dalam kotak karton, namun sebelum melakukan proses utama *packer* melakukan proses persiapan yaitu mengambil dan membentuk lembaran kotak karton menjadi kotak karton kemudian menunggu krat es krim mencapai posisi *packer*. Dan setelah melakukan proses utama, *packer* menutup kotak karton untuk kemudian diletakkan pada konveyor kotak karton. Keseluruhan kelompok proses *packer* ini dilakukan berulang – ulang hingga tidak ada lagi krat es krim yang melewati posisi *packer*. Diagram alur kerja *packer* ditunjukkan oleh **Gambar 3.28**.



Gambar 3.28 Aliran Kerja Packer dan Pengelompokannya

### 3.6.3 Data Numerik

#### 3.6.3.1 Jumlah dan Interval Kedatangan Es Krim Dalam Lini Packaging

Jumlah kedatangan *cone* es krim ke dalam sistem lini *packaging* Mini Cornetto didasarkan pada target maksimal pada satu *shift* kerja. Hal ini dikarenakan simulasi akan dijalankan hanya selama 8 jam yaitu lama satu *shift* kerja yang dijalankan oleh para *packer* tiap harinya.

Dalam satu menit sebuah mesin produksi es krim Mini Cornetto dapat menghasilkan 600 *cone* es krim, sehingga selama 8 jam dapat menghasilkan 288.000 *cone* es krim. Jika dimuat dalam satuan krat yang berisi 96 *cone* es krim tiap kratnya maka dalam 8 jam dihasilkan 3000 krat es krim.

*Cone – cone* es krim tersebut masuk ke dalam sistem *packaging* Mini Cornetto setelah dimuat dalam krat es krim. Interval kedatangan atau masuknya krat es krim ke dalam sistem konveyor *packaging* Mini Cornetto terdistribusi secara uniform berdasarkan hasil perhitungan dari observasi langsung dengan menggunakan *stopwatch*. Hasil observasi waktu kedatangan krat es krim ditunjukkan oleh **Tabel 3.11**.

**Tabel 3.11** Interval Kedatangan Krat Es Krim ke dalam Konveyor

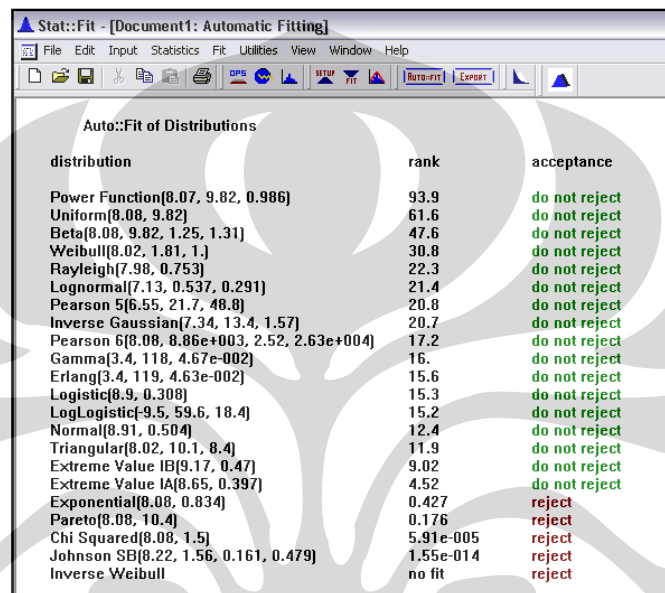
No Observasi	Interval
1	9.64
2	9.76
3	9.28
4	9.46
5	9.76
6	9
7	9.32
8	9.42
9	9.62
10	9.36
11	8.92
12	9.1
13	9.14
14	9.54
15	9.2

**Tabel 3.11** Interval Kedatangan Krat Es Krim ke dalam Konveyor (Sambungan)

16	9.22
17	9.82
18	9.38
19	9.44
20	8.36
21	9.2
22	9.48
23	9.7
24	8.8
25	8.96
26	8.44
27	8.22
28	8.76
29	8.56
30	8.3
31	8.5
32	8.4
33	8.26
34	8.64
35	8.46
36	8.4
37	8.74
38	9.38
39	8.56
40	8.28
41	8.62
42	8.5
43	8.5
44	8.48
45	8.2
46	8.08
47	8.28
48	9.04
49	8.5
50	8.7

Kumpulan data interval kedatangan krat es krim tersebut kemudian diuji secara statistik dengan menggunakan modul Stat Fit yang ada dalam *software*

ProModel untuk dilihat jenis distribusi yang terjadi. Hasil pengujian statistik terhadap interval masuknya krat es krim seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 3.29** menyatakan bahwa interval masuknya krat es krim ke dalam sistem konveyor *packaging* adalah terdistribusi uniform dengan nilai maksimum 8.08 detik dan nilai minimum 9.82 detik



distribution	rank	acceptance
Power Function(8.07, 9.82, 0.986)	93.9	do not reject
Uniform(8.08, 9.82)	61.6	do not reject
Beta(8.08, 9.82, 1.25, 1.31)	47.6	do not reject
Weibull(8.02, 1.81, 1.)	30.8	do not reject
Rayleigh(7.98, 0.753)	22.3	do not reject
Lognormal(7.13, 0.537, 0.291)	21.4	do not reject
Pearson 5(6.55, 21.7, 48.8)	20.8	do not reject
Inverse Gaussian(7.34, 13.4, 1.57)	20.7	do not reject
Pearson 6(8.08, 8.86e+003, 2.52, 2.63e+004)	17.2	do not reject
Gamma(3.4, 118, 4.67e-002)	16.	do not reject
Erlang(3.4, 119, 4.63e-002)	15.6	do not reject
Logistic(8.9, 0.308)	15.3	do not reject
LogLogistic(9.5, 59.6, 18.4)	15.2	do not reject
Normal(8.91, 0.504)	12.4	do not reject
Triangular(8.02, 10.1, 8.4)	11.9	do not reject
Extreme Value IB(9.17, 0.47)	9.02	do not reject
Extreme Value IA(8.65, 0.397)	4.52	do not reject
Exponential(8.08, 0.834)	0.427	reject
Pareto(8.08, 10.4)	0.176	reject
Chi Squared(8.08, 1.5)	5.91e-005	reject
Johnson SB(8.22, 1.56, 0.161, 0.479)	1.55e-014	reject
Inverse Weibull	no fit	reject

**Gambar 3.29** Hasil Uji Distribusi Data Stat Fit

### 3.6.3.2 Kecepatan Konveyor kerja Lini *Packaging*

Sistem *packaging* yang menjadi tinjauan dalam pembuatan model simulasi ProModel dalam penelitian ini adalah suatu sistem kerja yang didasarkan pada aliran barang pada konveyor kerja. Salah satu atribut penting yang merupakan bagian dari sistem kerja konveyor adalah kecepatan. Kecepatan dari konveyor kerja lini *packaging* Mini Cornetto saat observasi dilakukan adalah 11 meter per menit.

### 3.6.3.3 Waktu Proses Kerja

Di dalam penelitian ini, seperti yang telah di bahas dalam sub bab sebelumnya bahwa proses – proses kerja yang dilakukan oleh *packer*



dikelompokkan menjadi tiga kelompok proses. Ketiga kelompok proses tersebut adalah:

- Kelompok proses 1 yaitu mengambil dan membentuk lembaran kotak karton menjadi kotak karton kemudian menunggu krat es krim mencapai posisi *packer*.
- Kelompok proses 2 yaitu mengambil dan memasukkan 12 unit es krim ke dalam kotak karton.
- Kelompok proses 3 yaitu menutup kotak karton untuk kemudian diletakkan pada konveyor kotak karton.

Waktu kerja untuk masing – masing proses didasarkan hasil perhitungan *time study* dengan allowance 5% yaitu untuk basic allowance dan *rating* 106%. Hasil perhitungan *time study* Hasil *time study* menunjukkan bahwa kelompok proses 1 memiliki waktu baku sebesar 2.2 detik, kelompok proses 2 memiliki waktu baku sebesar 5.7 detik, dan kelompok proses 3 memiliki waktu baku sebesar 2.1 detik.

### 3.7 Pengolahan Data

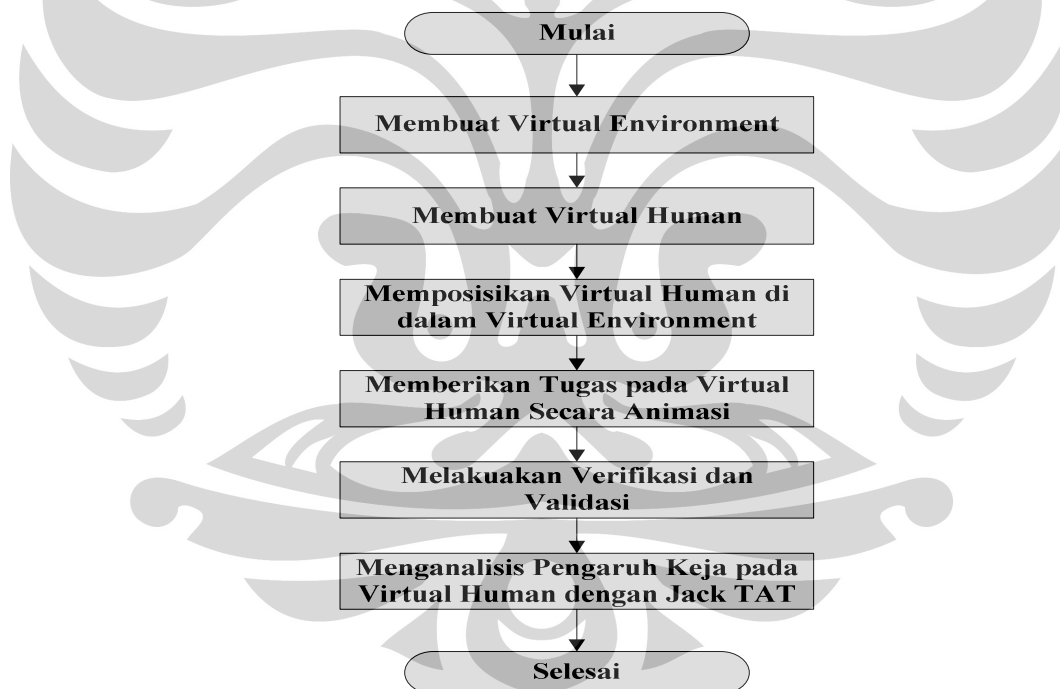
Di dalam penelitian ini digunakan dua metode simulasi yang berbeda untuk mencapai tujuan akhir dari penelitian yaitu stasiun kerja lini *packaging* es krim yang ergonomis dan efisien. Untuk mencapai tujuan tersebut, maka digunakan metode *virtual environment simulation* dengan menggunakan *software* Jack dan *discreet event simulation* dengan menggunakan *software* ProModel. Model simulasi yang dihasilkan oleh *software* jack akan memberikan usulan rancangan tempat kerja yang ergonomis yang dapat mendukung performa kerja *packer* dalam lini *packaging* ini. Sedangkan model simulasi ProModel akan memberikan usulan jumlah personil yang paling efisien dan optimal ditempatkan pada lini *packaging* yang ergonomis tersebut.

#### 3.7.1 Pengolahan Data Pembuatan Model Digital Virtual Simulation Jack

Alur pembuatan model simulasi Jack mengikuti suatu tahapan yang sistematis seperti yang terlihat pada diagram alir **Gambar 3.30**. Berdasarkan

diagram alur tersebut, langkah pembuatan model simulasi pada *software* Jack dibagi ke dalam beberapa tahapan kerja sebagai berikut:

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



**Gambar 3.30** Diagram Alir Pembuatan Model Simulasi Jack

Sebelum memasuki ke enam tahapan pembuatan model tersebut, tahapan awal yang harus dilakukan adalah pembuatan konfigurasi usulan rancangan tempat kerja. Tahapan awal ini nantinya akan menentukan banyaknya model simulasi *virtual* Jack yang dibuat. Pada masing – masing konfigurasi yang tercipta, akan dibuat model simulasi Jack dan dilakukan analisis kenyamanan dan ergonomi

kerja pada masing – masing konfigurasi menggunakan Jack TAT. Hasil analisis tersebut akan memberikan gambaran mengenai konfigurasi mana yang terbaik dan seharusnya dipilih untuk rancangan tempat kerja yang dianalisis berdasarkan kemampuannya untuk memberikan kenyamanan dan memiliki nilai ergonomis tertinggi bagi pekerja.

### 3.7.1.1 Penentuan Konfigurasi

Salah satu variabel dari tempat kerja yang dibuat konfigurasi untuk penelitian ini adalah ketinggian dan letak meja kerja berdasarkan penyesuaian ketinggian kursi dan prinsip ergonomi. Tidak dilakukannya pengkonfigurasi ketinggian kursi dikarenakan, ketinggian kursi sudah cukup ideal dan nyaman digunakan oleh para *packer*. Di dalam lini *packaging* Mini Cornetto yang menjadi objek tinjauan dalam penelitian ini, terdapat tiga meja kerja yang berhubungan langsung dengan proses kerja yang dilakukan oleh para *packer*. Ketiga meja kerja tersebut adalah:

- Meja peletakkan lembaran kotak karton
- Konveyor besar
- Konveyor kecil

Berdasarkan hal tersebut, maka akan dibuat konfigurasi ketinggian dan posisi masing – masing meja kerja sesuai dengan prinsip ergonomi, untuk kemudian mendapatkan rekomendasi optimum rancangan tempat kerja yang ergonomis pada lini *packaging* Mini Cornetto.

Perubahan ketinggian meja peletakkan lembaran kotak karton dan konveyor besar didasarkan pada referensi ergonomi bahwa ketinggian ideal untuk meja kerja yang digunakan dalam posisi duduk untuk pekerjaan ringan adalah setinggi siku dalam posisi duduk. Sedangkan perubahan ketinggian konveyor kecil didasarkan pada referensi ergonomi bahwa batas ketinggian ideal untuk meja kerja yang melibatkan proses kerja menjangkau ke atas dalam posisi duduk untuk pekerjaan ringan adalah setinggi bahu dalam posisi duduk. Perubahan posisi meja kerja hanya dilakukan pada meja kerja peletakkan lembaran kotak karton saja dimana meja kerja hasil konfigurasi ditempatkan tidak di tengah – tengah partisi

konveyor tetapi pada setiap jarak 84 cm dari ujung partisi konveyor dan berjumlah dua.

Untuk mendapatkan ketinggian meja kerja yang setinggi siku duduk maka dilakukan penjumlahan antara tinggi siku saat duduk dan *popliteal height* yang dalam penelitian ini disamakan dengan ketinggian kursi. Sedangkan untuk mendapatkan ketinggian meja kerja yang setinggi bahu duduk maka dilakukan penjumlahan antara tinggi siku saat duduk, jarak antara bahu ke siku, dan *popliteal height*.

Tinggi siku dan tinggi bahu yang digunakan dalam penentuan konfigurasi ini adalah data antropometri pekerja persentil 50 dengan detail ukuran yang didapatkan dari *software* Jack. Hal ini didasarkan pada pertimbangan bahwa ukuran antropometri percentile 50 memiliki standar deviasi yang paling kecil dengan dua persentil yang lain yaitu persentil 5% dan 95%. Pada **Tabel 3.12** di bawah ini akan ditampilkan secara detail perhitungan konfigurasi ideal ketinggian meja untuk mendapatkan ketinggian ideal berdasarkan referensi ergonomi pada masing – masing meja kerja dengan persentil ukuran yang digunakan.

**Tabel 3.12** Perhitungan Ketinggian Meja Ideal

Area Tinjauan	Persentil	Perhitungan Ideal
Ketinggian Meja Kerja Peletakkan Lembaran Kotak Karton	50%	Tinggi siku saat duduk + Popliteal Height
Ketinggian Meja Kerja Konveyor Besar		Tinggi siku saat duduk + Popliteal Height
Ketinggian Meja Kerja Konveyor Kecil		Tinggi siku saat duduk + Jarak Siku ke Bahu + Popliteal Height

Selain ketiga meja kerja tersebut, pada masing – masing konfigurasi akan dilakukan perbaikan pada dua elemen dari tempat kerja yaitu lebar area kerja *packer* dan ketinggian pijakan kaki *packer*. Walaupun kedua elemen tersebut tidak akan diuji dalam simulasi dengan *software* Jack, namun perubahan ini harus disertakan untuk menyempurnakan nilai ergonomis dari tempat kerja dengan melakukan perbaikan nilai elemen kerja yang kurang ergonomis. Perhitungan nilai kedua elemen kerja dan persentil ukuran antropometri berdasarkan referensi ergonomi ditunjukkan oleh **Tabel 3.13**

**Tabel 3.13** Perhitungan Elemen Tempat Kerja Ideal

Area Tinjauan	Persentil	Perhitungan Ideal
Lebar Area Kerja <i>Packer</i>	95%	2x Lebar Bideltoid
Ketinggian Pijakan Kaki Untuk Posisi Duduk <i>Packer</i>	5%	Ketinggian Kursi - Ketinggian Lutut Saat Duduk - 1/2 Lebar Paha

Jumlah konfigurasi yang dibuat dalam penelitian ini adalah sebanyak tiga konfigurasi untuk masing – masing meja kerja sehingga total ada 9 konfigurasi, yaitu:

- Konfigurasi pertama adalah hasil perhitungan berdasarkan referensi ergonomi yang ideal yaitu setinggi siku dan bahu saat duduk
- Konfigurasi kedua adalah hasil perhitungan berdasarkan referensi ergonomi yang ideal yaitu setinggi siku dan bahu saat duduk ditambahkan toleransi 5% dari hasil perhitungan tersebut.
- Konfigurasi ketiga adalah hasil perhitungan berdasarkan referensi ergonomi yang ideal yaitu setinggi siku dan bahu saat duduk ditambahkan toleransi 10% dari hasil perhitungan tersebut.

Di bawah ini adalah seluruh konfigurasi dari ketinggian meja kerja yang berada pada lini *packaging* dan persentil yang digunakan sebagai data perhitungan tersebut.

**Tabel 3.14** Ringkasan Ukuran Konfigurasi

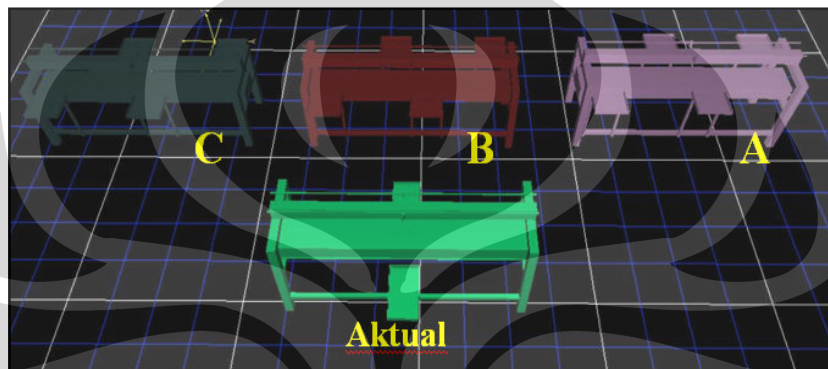
No.	Area Tinjauan	Aktual (cm)	KONFIGURASI (cm)			Persentil
			A	B	C	
			Perhitungan Ideal	Perhitungan Ideal + 5%	Perhitungan Ideal +10%	
1	Ketinggian Meja Kerja Peletakkan Lembaran Kotak Karton	35.5	80	84	88	50%

**Tabel 3.14** Ringkasan Ukuran Konfigurasi (Sambungan)

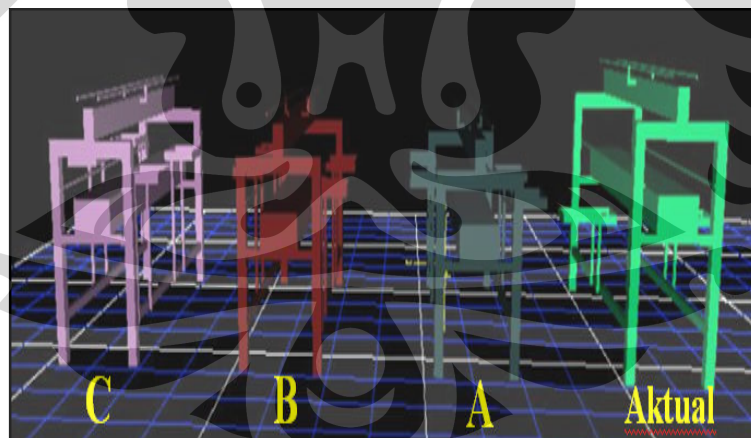
2	Ketinggian Meja Kerja Konveyor Besar	94.5	80	84	88	50%
3	Ketinggian Meja Kerja Konveyor Kecil	135.5	112.8	118.44	124.08	

Lebar Area Kerja <i>Packer</i>	54.5	84	84	84	95%
Ketinggian Pijakan Kaki Untuk Posisi Duduk <i>Packer</i>	22	19	19	19	5%

Pada **Gambar 3.31 dan 3.32** di bawah ini dapat dilihat gambaran lebih jelas mengenai perubahan yang terjadi dalam konfigurasi – konfigurasi yang diusulkan dengan kondisi aktual dari tempat kerja.



**Gambar 3.31** Perbandingan Posisi Meja Kerja Lembaran Kotak Karton Aktual dengan Konfigurasi dalam *Software Jack*



**Gambar 3.32** Perbandingan Tinggi Meja Kerja Aktual dengan Konfigurasi dalam *Software Jack*

### 3.7.1.2 Pembuatan *Virtual Environment*

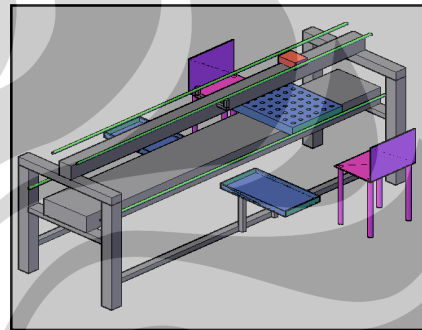
Pembuatan *virtual environment* dilakukan untuk menciptakan lingkungan aktual dalam bentuk *virtual*. Proses ini dilakukan dengan membuat stasiun dan benda – benda kerja secara grafis dengan *software Autocad* dan kemudian diimpor ke dalam lingkungan simulasi *software Jack*. Hasil dari impor stasiun dan benda –

benda kerja tersebut akan membentuk sebuah lingkungan *virtual* pada *software* Jack yang memiliki dimensi dan ukuran yang sesuai dengan lingkungan aktual yang terdapat pada lini *Packaging* Mini Cornetto.

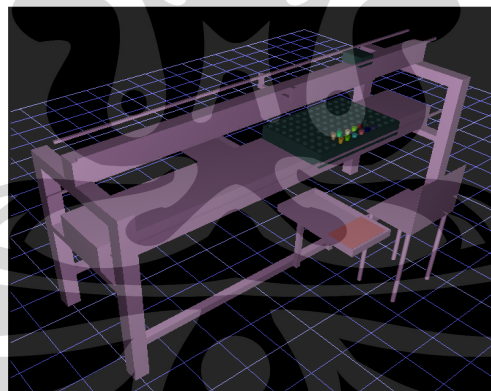
a) Gambar Aktual



b) Gambar AutoCad



c) Gambar Grafis  
**Gambar 3.33**  
 Grafis Stasiun



tata letak stasiun

benda pada lingkungan kerja tersebut dapat disesuaikan dengan posisi aktual dalam penggunaannya oleh para *packer*. Berikut pada **Gambar 3.33** ditampilkan gambar aktual dan grafis stasiun dan benda – benda kerja sebelum dan sesudah diimpor ke *software* Jack.

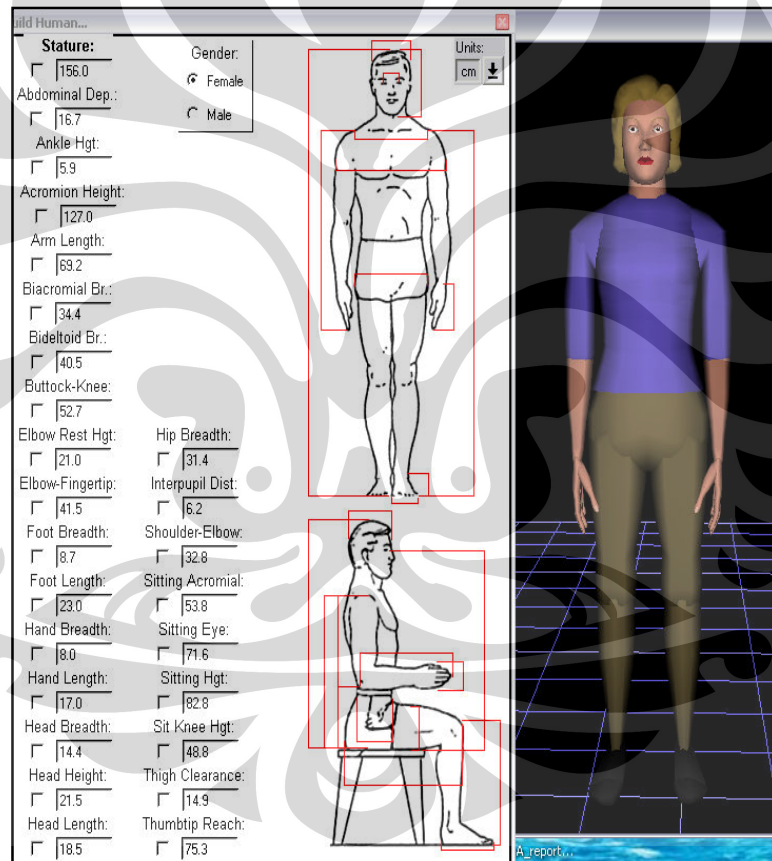
### 3.7.1.3 Pembuatan *Virtual Human*

Model Simulasi Jack yang dibuat dalam penelitian ini bertujuan untuk menganalisa pengaruh rancangan stasiun kerja pada performa dan resiko bahaya

dalam Jack  
 Gambar Aktual dan  
 dan Benda Kerja

Selanjutnya  
 kerja dan benda-

pada fisiologis pekerja lini *packaging* Mini Cornetto. Oleh karena itu dibutuhkan model manusia yang dapat mencitrakan para pekerja lini *packaging* Mini Cornetto tersebut. Untuk dapat mencapai hal tersebut, maka dibuat model manusia wanita karena semua *packer* adalah wanita dengan karakteristik tinggi dan berat badan ukuran antropometri persentil 50 dari data pengumpulan tinggi dan berat badan yang sebelumnya telah dilakukan pada 35 pekerja lini *packaging* Mini Cornetto tersebut. Pembuatan model manusia dengan karakteristik tinggi dan berat badan tersebut menggunakan fitur *advance scalling* dalam menu pembuatan model manusia di dalam *software* Jack.



**Gambar 3.34** *Virtual human* Ukuran Persentil 50

Sumber: Software Jack

#### 3.7.1.4 Penempatan *Virtual human* pada *Virtual environment*

Langkah selanjutnya setelah *virtual environment* dan *virtual human* terbentuk di dalam model simulasi ini adalah memposisikan letak dan postur *virtual human* ke *virtual environment* yang ada berdasarkan kondisi aktual yang



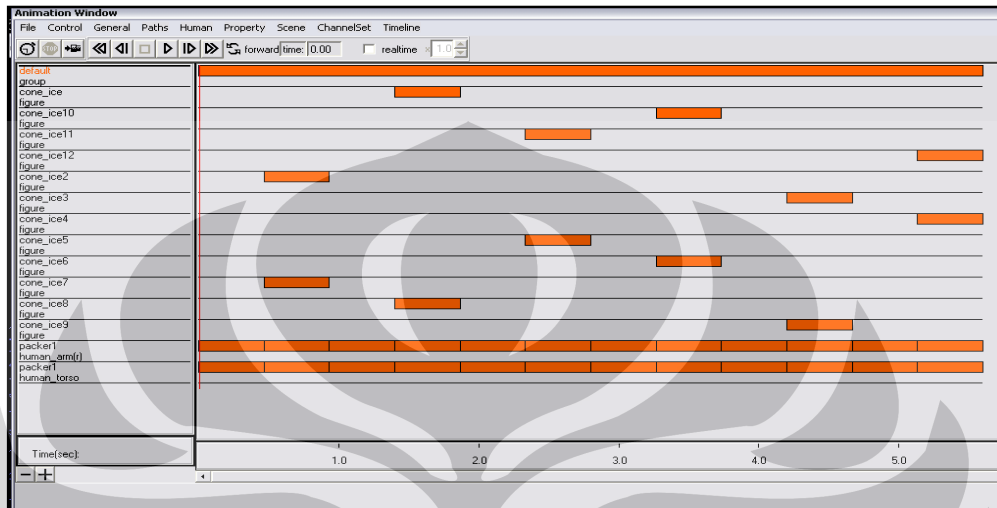
terjadi selama proses kerja *packaging* berlangsung. Di dalam penelitian ini, terdapat tiga kelompok proses yang akan dianalisis yang melibatkan tiga meja kerja yaitu meja peletakkan lembaran kotak karton, konveyor besar, dan konveyor kecil. Penyesuaian postur kerja ini dilakukan secara manual dengan memanipulasi persendian (*joint*) dan segmen yang terdapat pada model. Kegiatan memanipulasi gerakan ini dapat dilakukan dengan menggunakan fitur *human control* pada *software* Jack. **Gambar 3.35** akan menunjukkan masing – masing posisi dan postur *virtual human* dalam *virtual environment* berdasarkan kelompok proses dan meja kerja yang digunakan.



**Gambar 3.35** Perbandingan Posisi dan Postur Kerja Untuk Tiap-Tiap Kelompok Proses oleh *Virtual human* dan Aktual  
3.7.1.5 Pembuatan Tugas Kerja pada *Virtual human*

Setelah model *virtual human* menempati posisi yang tepat pada stasiun kerjanya, model tersebut diberikan tugas untuk mengerjakan urutan – urutan proses atau gerakan kerja dalam setiap kelompok proses. Pemberian tugas itu dilakukan menggunakan modul *animation system* seperti yang terlihat dalam

**Gambar 3.36.** pada *software* Jack. Selama pembuatan animasi, gerakan yang dibuat harus terus disesuaikan dengan gerakan nyata pada rekaman. Hal ini dilakukan untuk menjamin validitas dari animasi gerakan yang dibuat.



**Gambar 3.36** Animation System pada Konfigurasi Aktual Kelompok Proses pada Konveyor Kecil

### 3.7.1.6 Verifikasi dan Validasi Model

Suatu model dikatakan telah lolos verifikasi jika model tersebut telah dijalankan dengan cara yang independen. Verifikasi model mengindikasikan bahwa model tersebut telah dipercaya konsepsinya, namun dengan tidak mempedulikan validitas dari konsepsi tersebut. Dalam sistem dinamik, pengujian model melalui proses verifikasi mempunyai dua cara, yaitu<sup>39</sup>:

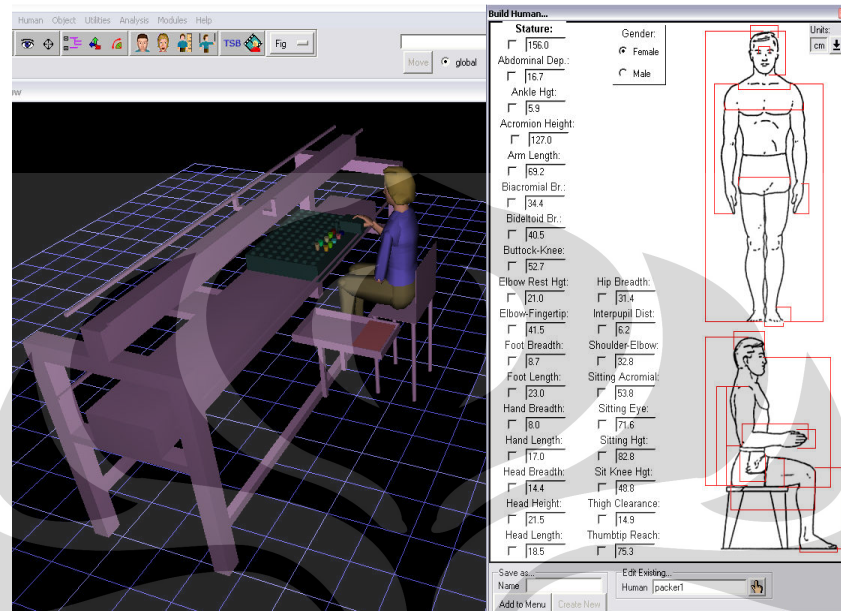
- Uji analisis unit

Untuk mengetahui bahwa proses verifikasi dengan cara uji analisis unit sudah benar atau belum dapat dilihat dari dua hal, yaitu seluruh variabel mempunyai unit yang benar, dan seluruh unit sesuai dengan realita yang ada dan tidak terdapat unit korektif yang dimasukkan.

- Uji numerikal

<sup>39</sup> Setiawan, Andri D dan Sukriana, Yugi, *Urban Decay in Kente – Dealing with Capacity and Distribution of Opportunity*

Dalam uji numerikal ini juga terdapat dua bagian. Pertama, dimensi waktu yang dipilih sesuai dengan *timestep* berjalannya model. Kedua, menggunakan metode integrasi numerikal.



**Gambar 3.37** Verifikasi Model Simulasi

Pada Uji verifikasi seperti yang terlihat pada **Gambar 3.37** di atas menunjukkan bahwa dimensi yang digunakan pada input antropometri model manusia telah mengikuti dimensi standar untuk tinggi badan manusia, yaitu centimeter. Oleh karena itu model simulasi yang dibuat pada penelitian kali ini dapat dipercaya karena menggambarkan keadaan riil dari pekerja.

Setelah melewati proses verifikasi model, maka tahapan selanjutnya dalam pengujian model adalah proses validasi model. Terdapat tiga cara dalam memvalidasi model, yaitu<sup>40</sup>:

1. Historikal fit

Salah satu uji model yang umum adalah dengan memasukkan input ke dalam suatu model dengan nilai historis dan melihat apakah *output*nya sesuai dengan data historis yang ada.

2. Uji kondisi ekstrim

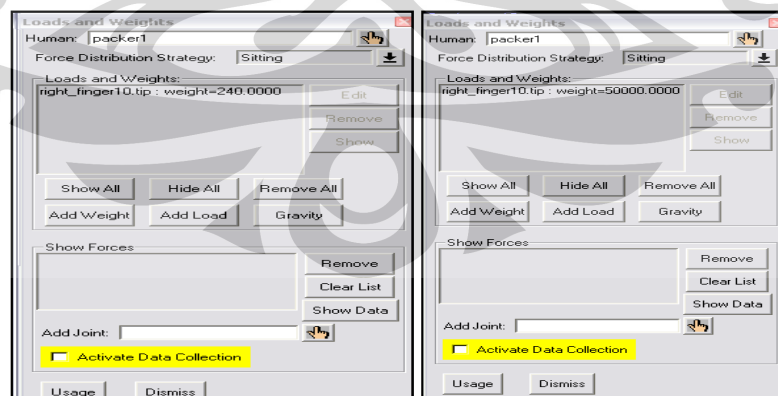
<sup>40</sup> Ibid

Uji kondisi ekstrim dilakukan untuk memastikan bahwa suatu model tidak mengeluarkan perilaku yang irasional. Terdapat dua tipe uji kondisi ekstrim. Pertama, uji ekstrim nol, yaitu memasukkan nilai nol pada variabel tertentu. Jika seluruh variabel berhubungan secara rasional maka, variabel yang berhubungan juga akan turun menjadi nol atau tidak terpengaruh sama sekali. Kedua, uji ekstrim yang sangat besar, nilai yang diharapkan pada uji kali ini adalah kenaikan yang sangat besar untuk seluruh variabel yang berhubungan. Uji nilai ekstrim menunjukkan bahwa model sesuai dengan hubungan logikal antar variabel dan tidak ada mekanisme yang tidak diharapkan dan irasional dalam model.

### 3. Uji analisis sensitivitas

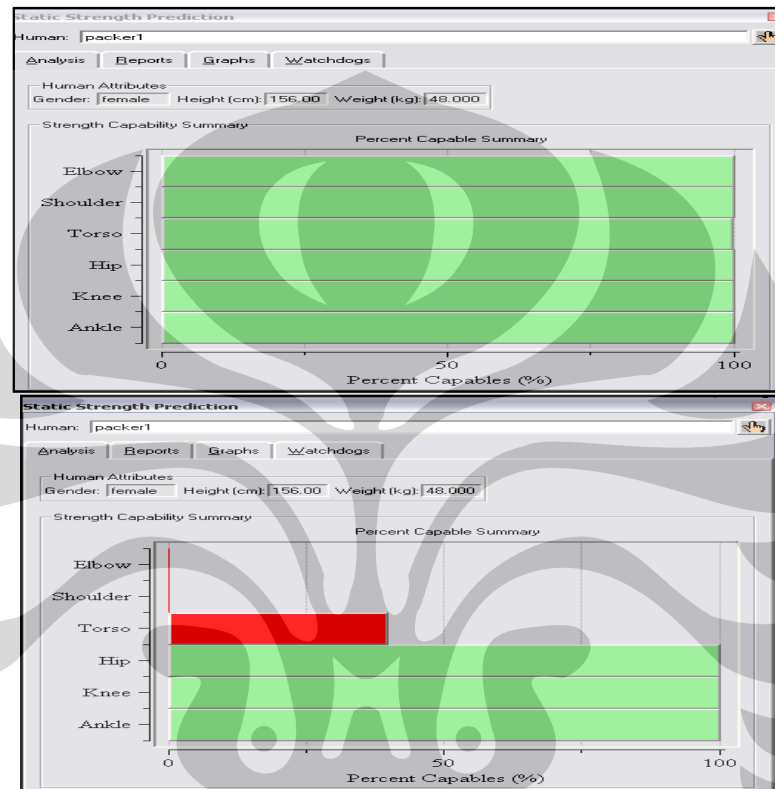
Uji analisis sensitivitas perlu dikerjakan untuk mengidentifikasi parameter mana saja yang dikategorikan sebagai parameter sensitif. Perubahan kecil pada variabel sensitif tersebut akan berpengaruh pada perilaku seluruh sistem.

Pada simulasi menggunakan *software* Jack, hanya akan dilakukan uji validitas dengan menggunakan uji kondisi ekstrim. Uji validitas yang dilakukan dalam penelitian ini adalah dengan memberikan beban yang bersifat ekstrim. Sebagai contoh uji validitas pada kegiatan kerja di konveyor kecil aktual yaitu meletakkan kotak karton di atas konveyor kecil, dilakukan penambahan beban yang bersisat ekstrim pada jari tangan kanan dari sebesar 240 gram menjadi 50 kg. Berikut hasil uji validitas dengan uji kondisi ekstrim.



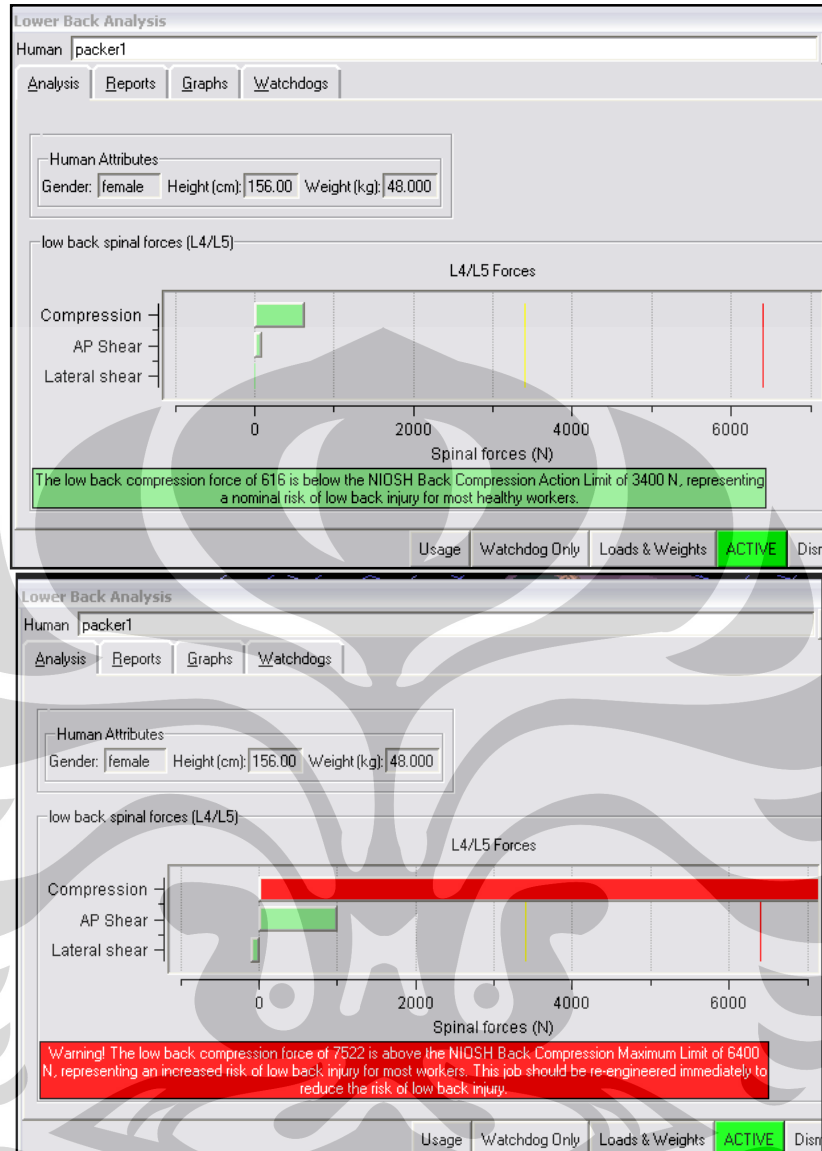
**Gambar 3.38** Penambahan Beban Ekstrim

Berdasarkan perubahan beban yang dialami oleh *virtual human* tersebut maka dianalisis perubahan nilai – nilai ergonomis yang dialami oleh *virtual human* seperti nilai *Static Strength Prediction* dan *Low Back Analysis*. Hasil Perubahan nilai SSP dan LBA ditunjukkan oleh **Gambar 3.39**.



**Gambar 3.39** Perbandingan Nilai SSP Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim

**Gambar 3.39** menunjukkan bahwa penambahan beban yang sangat ekstrim pada jari tangan pekerja menyebabkan persen kapabilitas pekerjaan berkurang sangat signifikan. Pada kondisi sebelum diberikan beban ekstrim, kapabilitas menunjukkan hampir 100 % pada semua bagian tubuh. Namun setelah dilakukan penambahan beban ekstrim, kapabilitas menjadi berkurang sangat signifikan bahkan pada siku dan bahu sudah tidak dapat menerima beban tersebut atau memiliki kapabilitas hampir 0%.



**Gambar 3.40** Perbandingan Nilai LBA Kondisi Normal dan Kondisi Ekstrim

Pada **Gambar 3.40** terlihat bahwa hasil analisis kapabilitas LBA pada model menunjukkan lonjakan kompresi pada bagian tulang belakang model dari 616 N menjadi 7522 N, perubahan yang sangat signifikan tersebut terjadi karena adanya penambahan beban yang mencapai 20 kali lipat dari kondisi normal.

Berdasarkan perubahan nilai yang terjadi pada nilai – nilai analisis ergonomi tersebut, dapat dilihat bahwa perubahan beban kerja dari beban normal ke beban ekstrim menyebabkan perubahan yang signifikan pada performa *virtual*

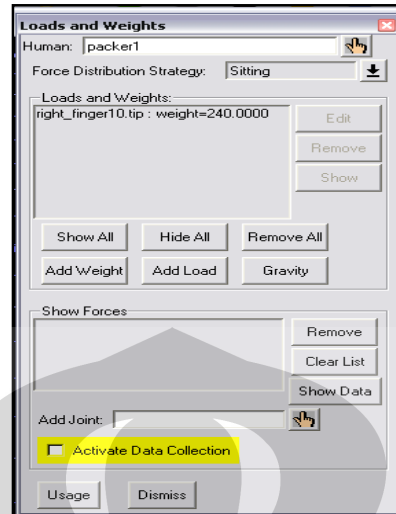
*human*. Perubahan - perubahan tersebut logis sehingga dapat dikatakan bahwa model telah valid.

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

Setelah model simulasi telah terverifikasi dan tervalidasai, model simulasi ini dapat digunakan untuk melakukan analisis faktor ergonomi yang ditimbulkan oleh masing – masing postur dan kinerja dari *virtual human*. Untuk melakukan analisis ergonomi berdasarkan postur dan kinerja digunakan modul Jack *Analysis Tools Kit*.

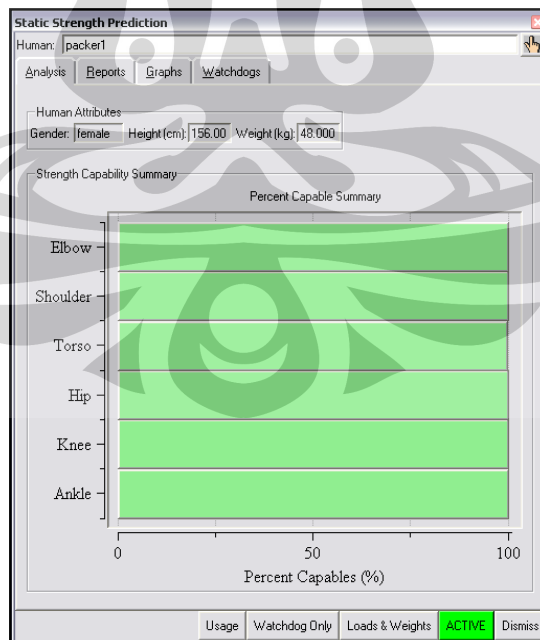
Dalam penelitian ini terdapat empat *tools* yang digunakan untuk menganalisis kinerja model manusia *virtual*, yaitu: *Static Strength Prediction*, *Low Back Analysis*, *Ovako Working Posture Analysis System*, dan *Rapid Upper Limb Assessment*. Keempat metode tersebut akan menghasilkan *output* penilaian secara *real-time* ketika simulasi dijalankan, sehingga akan terlihat bobot kelelahan dan resiko pada tubuh bagian atas dan bawah yang dirasakan oleh model *virtual* akibat postur dan kerja yang dilakukan.

Sebelum analisis dilakukan, pada model *virtual human* diberikan beban sesuai dengan kondisi aktual. Pemberian beban ini dilakukan melalui modul *load and weight* yang terdapat dalam software Jack. Tujuan pemberian beban ini adalah agar model simulasi kinerja *virtual human* dalam *virtual environment* semakin merepresentasikan kondisi aktual yang melibatkan adanya beban dalam proses kerja. Sebagai contoh **Gambar 3.41** menunjukkan pemberian beban pada konfigurasi aktual proses kerja di konveyor kecil, tepatnya pada bagian *finger tip* tangan kanan *virtual human* seberat 240 gram sebagai representasi dari keberadaan kotak karton berisi es krim.



**Gambar 3.41** Kotak Dialog *Loads and Weights*

Analisis pertama yang dilakukan adalah analisis *Static Strength Prediction* (SSP). SSP digunakan untuk memastikan apakah kegiatan kerja dapat dilakukan oleh seluruh populasi pekerja. Persentase minimal yang dapat diterima adalah 90% dari keseluruhan jumlah pekerja. Hasil analisis SSP dapat terlihat pada **Gambar 3.42** dan **Gambar 3.43**.



**Gambar 3.42** Kotak Dialog *Loads and Weights* pada Konveyor Kecil Konfigurasi

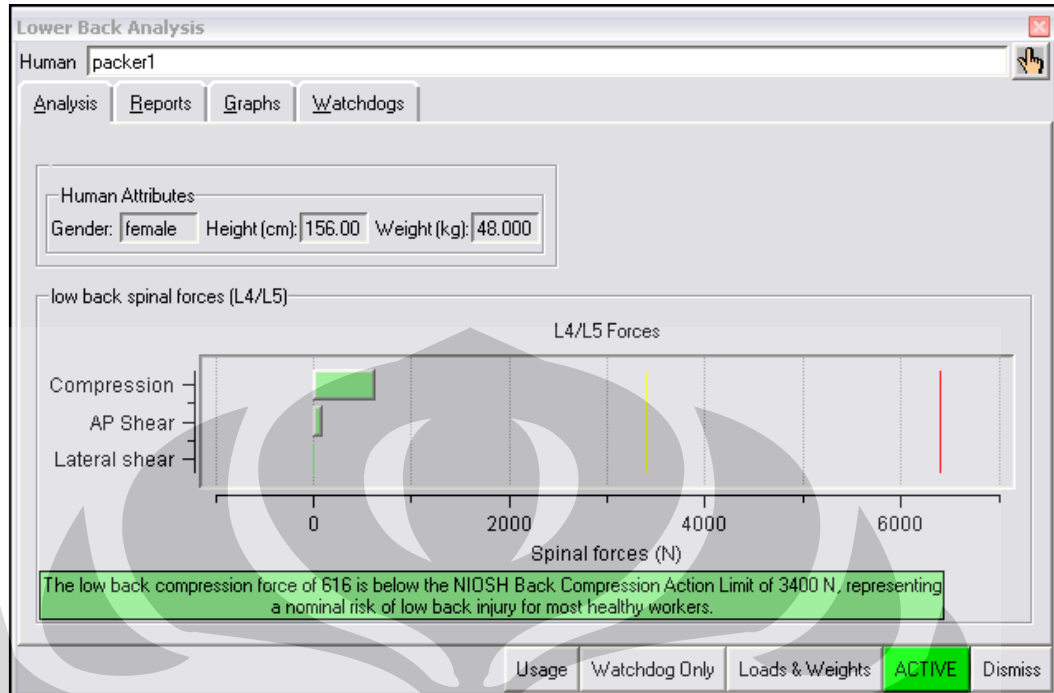


Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	37	10	100	-1	FLEXN	29	8	100
	Abduc/Adduc	-0	--	33	9	100	-5	ABDUCT	42	11	100
Shoulder	Rotation Bk/Fd	-0	--	46	16	100	-0	--	39	13	100
	Humeral Rot	-0	--	14	4	100	-0	--	30	8	100
	Flex/Ext	-22	EXTEN	286	99	100					
Trunk	Lateral Bending	4	LEFT	142	35	100					
	Rotation	0	--	54	16	100					
	Hip	0	--	101	34	100	0	--	101	34	100
	Knee	0	--	107	37	100	0	--	107	37	100
	Ankle	0	--	83	23	100	0	--	83	23	100

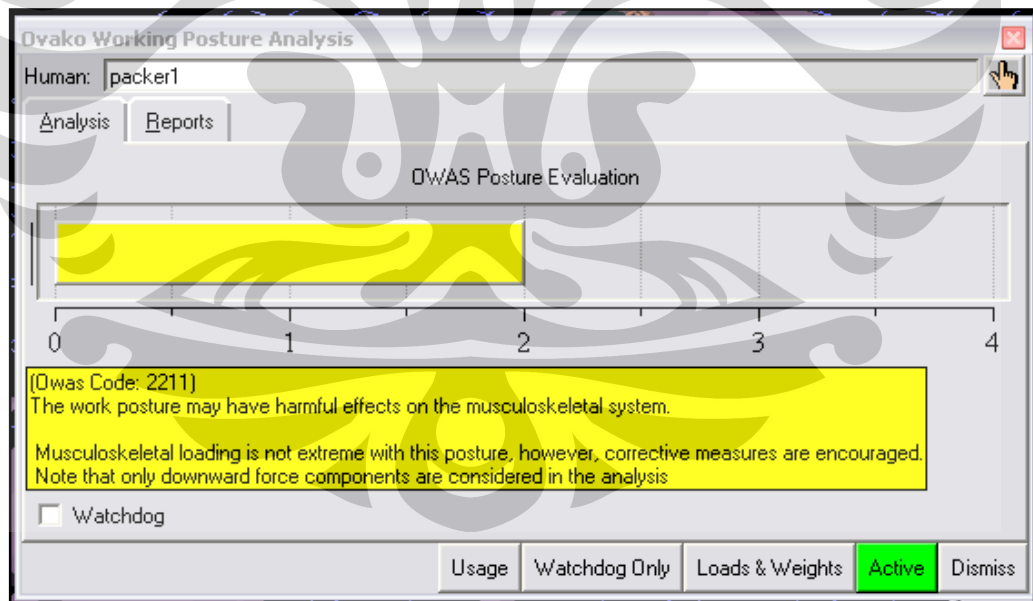
**Gambar 3.43** Persentase Kapabilitas pada Konveyor Kecil Konfigurasi Aktual

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

Kemudian, animasi dijalankan secara *real time* untuk mencari titik ekstrim postur kerja yang memberikan skor paling tinggi untuk tiap jenis analisis. Skor yang tinggi menandakan kondisi yang semakin tidak ergonomis. Pada saat animasi dijalankan, kecepatan simulasi diperlambat agar proses pencarian titik ekstrim menjadi lebih mudah dilakukan. Hasil penilaian untuk LBA, OWAS, dan RULA yang tertinggi kemudian didokumentasikan untuk bahan analisis selanjutnya dalam menentukan rancangan mana yang dapat memberikan postur kerja dengan nilai ekstrim LBA, OWAS, dan RULA yang terendah. Hasil analisis TAT LBA, OWAS, dan RULA untuk Konfigurasi Aktual pada proses kerja konveyor kecil terlihat pada **Gambar 3.44** hingga **Gambar 3.46**.



**Gambar 3.44** Hasil Analisis Nilai LBA Ekstrim untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil



**Gambar 3.45** Hasil Analisis Nilai OWAS Ekstrim untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil

**Gambar 3.46** Hasil Analisis Nilai RULA Ekstrim untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil

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

Untuk mendapatkan nilai yang utuh dari analisis ergonomi postur dan kinerja *virtual* human di dalam suatu rancangan stasiun kerja digunakan perhitungan *Posture Evaluation Index* (PEI). PEI didapatkan dari nilai – nilai analisis ergonomis yang sebelumnya telah dilakukan yaitu LBA, OWAS, dan RULA. Formula perhitungan nilai PEI ditunjukkan oleh persamaan 3.1.

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

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

Sebelum dapat melakukan perhitungan PEI peneliti sebelumnya harus melakukan pengecekan terhadap nilai SSP untuk konfigurasi atau rancangan yang dimodelkan. Bila nilai SSP menunjukkan kapabilitas yang lebih besar atau sama dengan 90% maka proses kerja dalam model tersebut dapat dinyatakan valid karena dapat dilakukan bukan hanya oleh *virtual* human namun oleh manusia sesungguhnya. Setelah model dinyatakan valid berdasarkan nilai SSP tersebut, maka perhitungan PEI baru dapat dilakukan.

Sebagai contoh, pada **Tabel 3.15** ditunjukkan perhitungan PEI untuk proses meletakkan kotak karton berisi es krim pada konveyor kecil aktual. Evaluasi nilai SSP pada proses ini menunjukkan nilai 100% sehingga operasi kerja terbukti

dapat dilakukan dan perhitungan PEI bernilai valid. Hasil perhitungan nilai PEI untuk proses kerja ini adalah 1.89 yang didapatkan dari formulasi nilai – nilai pada **Tabel 3.15**.

**Tabel 3.15** Nilai Analisis Ergonomi untuk Konfigurasi Aktual pada Proses Kerja Konveyor Kecil

Nilai LBA	Nilai OWAS	Nilai RULA
616	2	6

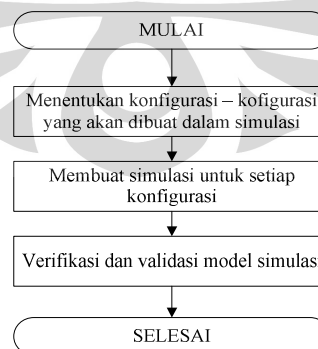
Nilai PEI tersebut didapatkan berdasarkan perhitungan:

$$PEI = 616/3400 + 2/4 + (1,42 \times 6/7) = 1.89$$

### 3.8 Pengolahan Data Pembuatan Model aliran Barang dan Aliran Proses dengan Software ProModel

Model simulasi aliran barang dan aliran proses sistem kerja lini *packaging* Mini Cornetto untuk mendapatkan rumusan jumlah personil dan rancangan atribut sistem yang ideal dibuat dengan menggunakan *software* ProModel. Tahapan – tahapan dalam melakukan simulasi sistem kerja lini *packaging* Mini Cornetto dengan menggunakan *software* ProModel seperti terlihat pada **Gambar 3.47** adalah sebagai berikut:

- Menentukan konfigurasi dalam pembuatan model simulasi sistem.
- Membuat model simulasi dengan berbagai konfigurasi sistem.
- Melakukan verifikasi dan validasi.



**Gambar 3.47** Flowchart Tahapan Kerja Simulasi ProModel

### 3.8.1 Penentuan Konfigurasi Model Simulasi ProModel

Langkah kerja Simulasi ProModel diawali dengan penentuan konfigurasi dari sistem yang akan disimulasikan. Di dalam peneliiian ini atribut sistem yang akan disimulasikan adalah jumlah *resource* yang digunakan dan kecepatan konveyor.

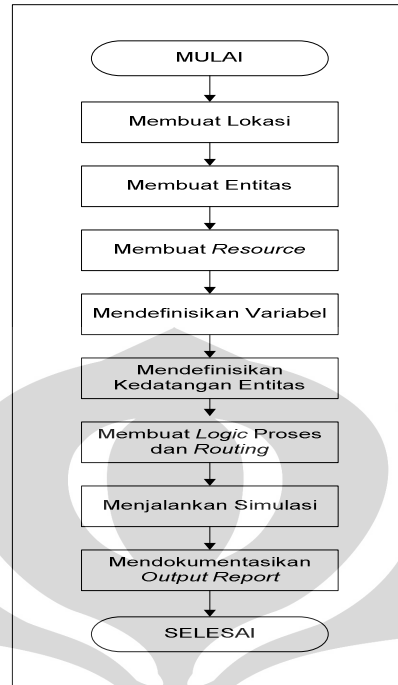
Simulasi akan dibuat dengan menggunakan 20 *resource*, 18 *resource*, 16 *resource*, dan 14 *resource*. Penentuan konfigurasi tersebut didasarkan bahwa kondisi aktual dari *resource* yang digunakan dalam sistem adalah sebanyak 20 orang. Jumlah 20 ini merupakan jumlah terlalu berlebihan karena berdasarkan fakta di lapangan bahwa sering kali terdapat *idle* pekerja dengan *resource* sebanyak itu.

Dari *output* simulasi dengan variasi jumlah *resource*, dapat dipilih sistem dengan jumlah *resource* yang memiliki nilai utilisasi terbesar. Simulasi kemudian kembali dilakukan dengan mengkonfigurasikan kecepatan konveyor untuk sistem dengan *resource* yang dipilih yaitu 11 meter/ menit yang merupakan kecepatan aktual dan setiap pengurangan 0.5 meter/menit dari kecepatan aktual tersebut.

### 3.8.2 Pembuatan Model Simulasi ProModel

Secara umum tahapan pembuatan model simulasi promodel ditunjukkan oleh **Gambar 3.48** yaitu :

- Membuat Lokasi.
- Membuat *Entites* (barang).
- Menentukan *Resource* (pekerja) aktual & konfigurasi.
- Membuat dan mendefinisikan Variabel.
- Mendefinisikan tingkat kedatangan barang.
- Membuat *Logic* untuk Proses & *Routing*.
- Menjalankan model simulasi.
- Mendokumentasikan hasil statistik simulasi.










**Gambar 3.48** Tahapan Pembuatan Model Simulasi ProModel

### 3.8.2.1 Lokasi

Lokasi pada model simulasi menunjukkan area-area dimana entitas diproses atau menunggu diproses. Pada simulasi lini *packaging* Mini Cornetto ini, terdapat 7 jenis lokasi yang fungsi serta notasinya ditunjukkan oleh **Tabel 3.16** di bawah ini. Masing – masing jenis lokasi memiliki fungsi untuk melayani berbagai entitas yang berbeda dengan proses yang berbeda – beda pula.

**Tabel 3.16** Jenis – Jenis Lokasi dalam Model Simulasi

No.	Notasi	Fungsi
1	<i>loc_cone</i>	Tempat kedatangan <i>Cone</i> Es Krim
2	<i>loc_krat</i>	Tempat kedatangan Krat Es Krim
3	<i>loc_krat isi</i>	Tempatkeluaran kat yang telah diisikan 96 <i>Cone</i> Es Krim
4	<i>cnv</i>	Konveyor
5	<i>ex(n)</i>	Tempat <i>packer</i> (n) mengambil 12 unit <i>Cone</i> Es Krim dari Krat yang melewatinya
6	<i>box(n)</i>	Tempat masuknya kotak karton yang digunakna <i>resource/packer</i> (n)
7	<i>op(n)</i>	Tempat dilangsungkannya proses kerja <i>packer</i> (n)

Icon	Name	Cap.	Units	DTs...	Stats	Rules...
	loc_cone	inf	1	None	Time Series	Oldest
	loc_krat	inf	1	None	Time Series	Oldest
	loc_krat_isi	inf	1	None	Time Series	Oldest
	ex_1	inf	1	None	Time Series	Oldest
	cnv_1	INFINITE	1	None	Time Series	Oldest, FIFO
	op_1	1	1	None	Time Series	Oldest
	op_2	1	1	None	Time Series	Oldest

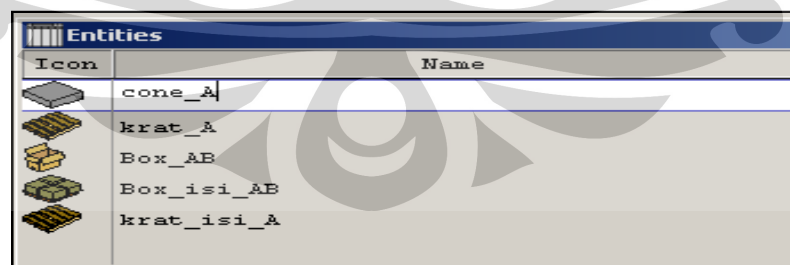
**Gambar 3.49** Jenis – Jenis Lokasi dalam Model Simulasi






### 3.8.2.2 Entitas (Barang)

Entitas adalah barang atau obyek proses dalam suatu model simulasi. Entitas mengalami proses menunggu, proses penyatuan, proses pemisahan, atau mengalir dari suatu lokasi ke lokasi lainnya. Di dalam penelitian ini terdapat 5 jenis entitas yang digunakan dengan notasi dan keterangan jenis entitas seperti **Tabel 3.17** di bawah ini.

**Tabel 3.17** Jenis – Jenis Entitas dalam Model Simulasi

No.	Notasi	Jenis Entitas/Barang
1	<i>cone_A</i>	<i>Cone</i> es krim yang terdiri dari dua rasa
2	krat_A	Krat es krim kosong
3	Box_AB	Box es krim kosong
4	Box isi AB	Box es krim yang telah berisi 12 <i>cone</i> Es krim terdiri dari dua rasa
5	Krat isi A	Krat yang berisi 96 <i>cone</i> es krim yang terdiri dari dua rasa



Icon	Name
	cone_A
	krat_A
	Box_AB
	Box isi_AB
	krat isi_A

**Gambar 3.50** Jenis – Jenis Entitas dalam Model Simulasi

### 3.8.2.3 Resource (Pekerja)

*Resource* merupakan bagian dari sistem yang melakukan proses – proses yang dialami oleh entitas pada suatu lokasi tertentu. Pada suatu sistem yang

automatis atau dilakukan oleh mesin *resource* tidak digunakan dalam pembuatan simulasi, namun dalam simulasi lini *packaging* Mini Cornetto yang proses – proses utama dalam pengepakan dilakukan oleh para *packer* maka dibutuhkan penggunaan *resource*.

Jumlah *resource* yang digunakan dalam simulasi ini dikonfigurasi yaitu sebanyak 20 orang yang merupakan konfigurasi aktual, 18 orang, 16 orang, dan 14 orang yang merupakan konfigurasi – konfigurasi usulan. Masing – masing konfigurasi *resource* akan disimulasikan dan kemudian dibandingkan nilai tingkat utilisasi *resourcenya*.

#### 3.8.2.4 Variabel

Dalam simulasi lini *packaging* ini digunakan satu variabel global. Variabel global adalah suatu tempat untuk meletakkan nilai yang dapat berubah selama simulasi berlangsung. Terdapat satu variabel global yang dinotasikan dengan notasi *pack(n)\_use*. Nilai variabel ini akan meningkat dari 0 menjadi 1 jika *resource* dalam simulasi ini yaitu *packer* sedang digunakan, dan sebaliknya jika tidak digunakan nilai variabel ini akan menjadi 0 kembali. Tampilan variabel dalam simulasi ini ditunjukkan oleh **Gambar 3.51**.

Fungsi pendefinisian variabel ini adalah untuk menentukan saat kapan es krim dalam krat boleh dipisahkan dari krat sebanyak 12 unit *cone* untuk selanjutnya digunakan oleh *packer* sebagai bahan pengepakan. Dimana jika nilai variabel sama dengan 0 maka proses pengambilan 12 unit *cone* baru dapat dilakukan yang menandakan keadaan *packer* sedang tidak sibuk atau tidak melakukan proses pengepakan. Selain itu juga untuk menentukan kapan alur proses pengepakan yang dilakukan oleh *packer* dapat dimulai. Jika nilai variabel menunjukkan 1 tandanya *packer* sedang sibuk dan tidak dapat melakukan alur proses, jika nilai variabel 0 maka alur proses baru dapat dilakukan.

Variables (global)		
Icon	ID	Type
No	pack1_use	Integer
No	pack2_use	Integer
No	pack3_use	Integer
No	pack4_use	Integer
No	pack5_use	Integer
No	pack6_use	Integer



### Gambar 3.51 Tampilan Variabel dalam Simulasi

#### 3.8.2.5 Tingkat Kedatangan Barang

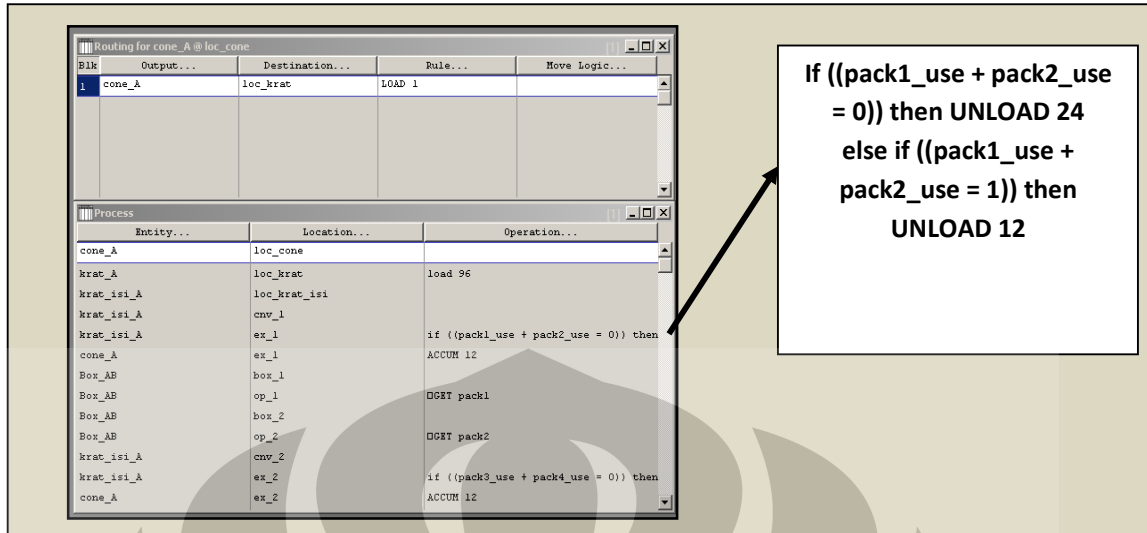
Kedatangan entitas atau barang dalam model simulasi ini sesuai dengan data yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Untuk kedatangan *cone* es krim adalah 288.000 *cone* pada simulasi berjalan, dan untuk kedatangan krat es krim sebesar 3000 unit krat dengan interval kedatangan tiap satu buah krat yang terdistribusi uniform dengan nilai batas bawah dan atas (8.08, 9.82) detik.

#### 3.8.2.6 *Logic* untuk Proses & *Routing*

*Logic* adalah suatu perintah – perintah kerja yang ditujukan kepada entitas ataupun *resource* dalam suatu model simulasi. Perintah – perintah kerja tersebut dalam simulasi promodel dinotasikan dengan bahasa – bahasa komputer atau *syntax* – *syntax* kerja. Penyusunan *logic* model ini dibuat berdasarkan *flowchart* setiap entitas yang telah dibahas pada bab sebelumnya.

Secara umum, *logic* utama yang digunakan untuk model simulasi ini adalah perintah *load* dan *unload* yang merupakan perintah untuk menyatukan dan memisahkan kumpulan unit barang untuk sementara waktu. *Logic* ini digunakan untuk merepresentasikan terjadinya proses penyatuan 96 unit *cone* es krim ke dalam krat es krim dan pengambilan 12 unit *cone* es krim oleh masing – masing *packer* dari krat es krim untuk kemudian dimasukkan ke dalam kotak es krim.

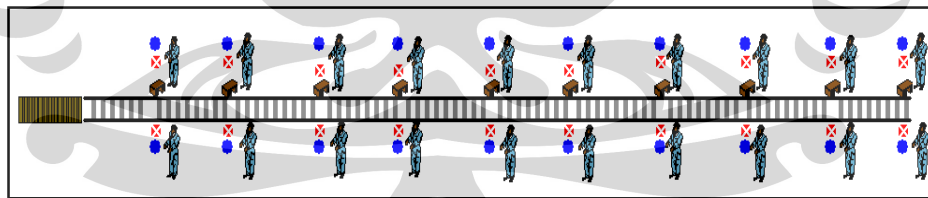
**Gambar 3.52** menunjukkan sebagian *logic* model yang dibuat.



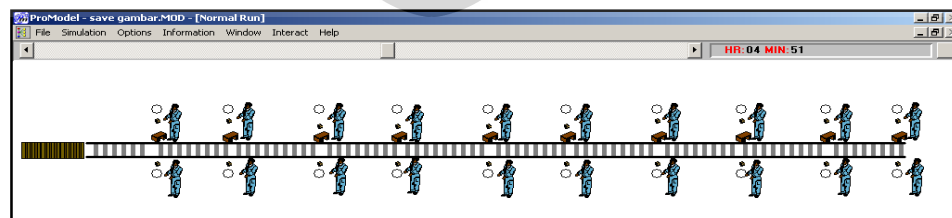
Gambar 3.52 Contoh Logic Model

### 3.8.2.7 Running Model Smulasi

Setelah seluruh elemen – elemen dari model simulasi dibuat maka langkah selanjutnya yang dilakukan adalah menjalankan simulasi atau melakukan *running* terhadap model yang telah dibuat. Lamanya simulasi dijalankan adalah selama 8 jam yang merupakan lamanya satu *shift* kerja berjalan. Selama dijalkannya simulasi, akan terbentuk suatu tampilan animasi aliran barang dalam sistem seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 3.53 dan 3.54 di bawah ini.



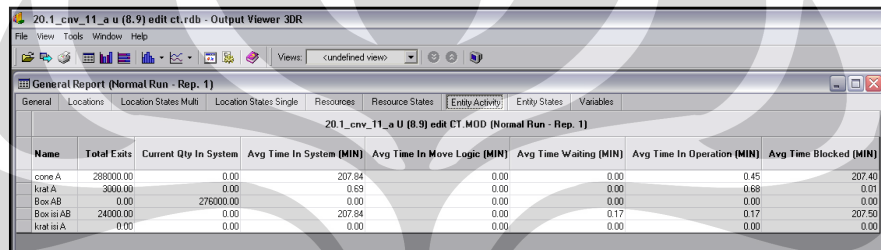
Gambar 3.53 Tampilan Sebelum Model Simulasi Dijalankan



Gambar 3.54 Tampilan Sesudah Model Simulasi Dijalankan

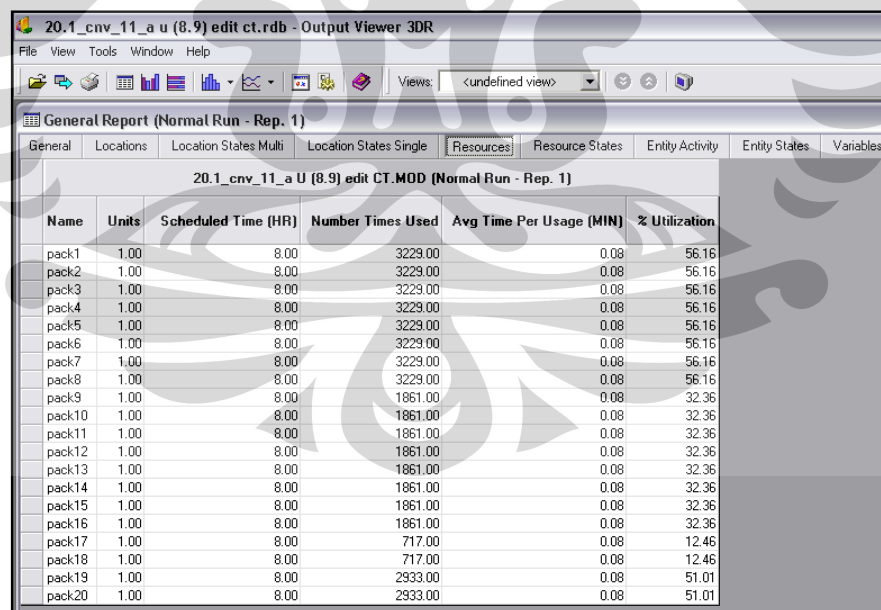
### 3.8.2.8 Hasil Statistik Simulasi

Setelah simulasi selesai dijalankan yaitu selama 8 jam, peneliti dapat melihat *output* dari simulasi untuk mengetahui performa dari elemen – elemen model yang disimulasikan. Elemen – elemen model yang performanya ditampilkan dalam bentuk laporan adalah lokasi, entitas, variabel, dan *resource*. *Output* tersebut dapat disajikan dalam bentuk tabel, grafik, histogram, *pie chart*, dan sebagainya. Dalam penelitian ini hanya digunakan nilai *output* statistik dalam bentuk tabel dari elemen entitas dan *resource* seperti yang ditampilkan **Gambar 3.55** dan **3.56** di bawah ini.



Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
cone A	288000.00	0.00	207.84	0.00	0.00	0.45	207.40
kraf A	3000.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.68	0.01
Box AB	0.00	278000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Box isi AB	24000.00	0.00	207.84	0.00	0.17	0.17	207.56
krafti A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Gambar 3.55** Tampilan *Output* Performa Entitas



Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
pack1	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack2	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack3	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack4	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack5	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack6	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack7	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack8	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack9	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack10	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack11	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack12	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack13	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack14	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack15	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack16	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack17	1.00	8.00	717.00	0.08	12.46
pack18	1.00	8.00	717.00	0.08	12.46
pack19	1.00	8.00	2933.00	0.08	51.01
pack20	1.00	8.00	2933.00	0.08	51.01

**Gambar 3.56** Tampilan *Output* Performa *Resource*

### 3.8.3 Verifikasi dan Validasi Model

#### 3.8.3.1 Verifikasi Model

Setelah model berhasil dibuat, langkah selanjutnya adalah proses verifikasi dan validasi model. Verifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah model telah dibuat dengan benar, berkaitan dengan penulisan dan struktur dari *syntax* model. Hal-hal yang dilakukan untuk verifikasi model simulasi lini *packaging* ini adalah:

- Pengecekan kembali *syntax* model

Untuk memastikan bahwa model telah dibuat dengan benar, maka dilakukan pengecekan kembali terhadap penulisan semua elemen dalam model dan memastikan tidak ada kesalahan dalam menuliskan semua proses.

- Menggunakan fungsi *trace* dan *debug*

Fungsi *trace* dan *debug* pada ProModel dapat digunakan untuk melihat setiap proses selama simulasi dan memastikan model tidak mengalami *error*. Selama model disimulasikan, tidak terjadi error pada model dan dengan mengaktifkan fungsi *trace*, setiap aktivitas dalam simulasi dapat dibaca dan hasilnya telah sesuai dengan konsep model.

- Mengamati perilaku sistem dalam animasi

Selama model dijalankan terlihat bahwa semua entitas (*cone* es krim, krat es krim, dan kotak es krim) telah bergerak pada jalurnya, aliran proses kerja *packer* sesuai dengan nilai perintah simulasi dan variabel yang telah didefinisikan sebelumnya.

- Memeriksa *output* model

Pada output model terutama untuk laporan performa pada lokasi dilakukan pemeriksaan jumlah entitas yang masuk ke dalam lokasi. Jika jumlah entitas yang masuk ke dalam lokasi tidak melebihi kapasitas lokasi, maka dapat dikatakan model yang dibuat telah berfungsi dengan baik sesuai dengan yang diinginkan.

#### 3.8.3.2 Validasi Model

Untuk membuktikan bahwa model yang dibuat telah valid, output model dibandingkan dengan data target *output* aktual. *Output* simulasi berupa kotak

karton berisi 12 unit *cone* es krim harus sama dengan data historis yaitu 24.000 kotak. Jika telah sama maka model simulasi dianggap sudah mencitrakan kondisi aktual pada sistem atau dapat dikatakan valid. Model simulasi yang telah terbukti valid tersebut baru dapat digunakan untuk analisis performa sistem sedangkan model yang tidak terbukti valid tidak dapat digunakan.



- **BAB 4**
- **ANALISIS**

Pada bagian ini akan dibahas hasil dari keseluruhan pengolahan data yang dilakukan di dalam penelitian yaitu pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack dan pengolahan data dengan menggunakan *software* ProModel. Dari kedua metode pengolahan data tersebut akan dianalisis *output* yang dihasilkan untuk kemudian mendapatkan usulan rancangan stasiun kerja yang ergonomis berdasarkan *output software* Jack dan usulan penempatan jumlah personil dan kecepatan konveyor yang efisien berdasarkan *output software* ProModel.

#### **4.1 Analisis Hasil Pengolahan Data *Digital Virtual Simulation* dengan Menggunakan Jack**

Terdapat 4 jenis *output* yang digunakan sebagai bahan analisis dari pengolahan data menggunakan *software* Jack, yaitu SSP, LBA, OWAS, dan RULA. Dari nilai keempat jenis *output* tersebut, kemudian akan dikalkulasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI ini yang kemudian menjadi bahan analisis selanjutnya untuk menentukan usulan rancangan tempat kerja yang paling ergonomis bagi pekerja lini *packaging* Mini Cornetto.

Analisis hasil pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack terdiri dari 3 bagian yaitu analisis pada kondisi aktual tempat kerja, analisis pada kondisi usulan tempat kerja, dan perbandingan kondisi pada tempat kerja aktual dan tempat kerja usulan. Pada masing – masing bagian akan dianalisis tiga proses kerja berdasarkan 3 proses kerja yang dimodelkan di dalam *software* Jack. Pembagian proses kerja ini menjadi 3 bagian didasarkan pada tempat kerja yang terlibat, yaitu:

- Proses kerja pengambilan lembaran kotak karton yang melibatkan meja peletakkan lembaran kotak karton.
- Proses kerja pengambilan *cone* es krim yang melibatkan konveyor besar.
- Proses kerja peletakkan kotak karton berisi es krim yang melibatkan konveyor kecil.

Keseluruhan proses kerja dimodelkan dengan posisi operator atau *packer* duduk. Di dalam simulasi ini digunakan model manusia digital dengan persentil 50% dari kumpulan data antropometri sampel populasi *packer* yang dikumpulkan.

Pada bagian analisis kondisi usulan, terdapat masing – masing tiga usulan rancangan pada setiap tempat kerja yang dimodelkan. Usulan yang pertama pada masing – masing tempat kerja adalah pembuatan rancangan berdasarkan standar ideal ergonomi, usulan kedua adalah pembuatan rancangan berdasarkan standar ideal ergonomi ditambahkan toleransi 5%, dan usulan yang ketiga adalah pembuatan rancangan berdasarkan standar ideal ergonomi ditambahkan toleransi 10%. Untuk masing – masing usulan akan dibandingkan nilai PEI yang dihasilkan, usulan dengan nilai PEI terendah menunjukkan bahwa usulan tersebut paling memberikan tingkat kenyamanan tertinggi dan resiko kesehatan terendah bagi model manusia persentil 50% yang merupakan subjek penelitian dan mewakili populasi aktual *packer*. Sehingga usulan dengan nilai PEI terendah itulah yang nantinya akan dipilih sebagai rekomendasi ideal.

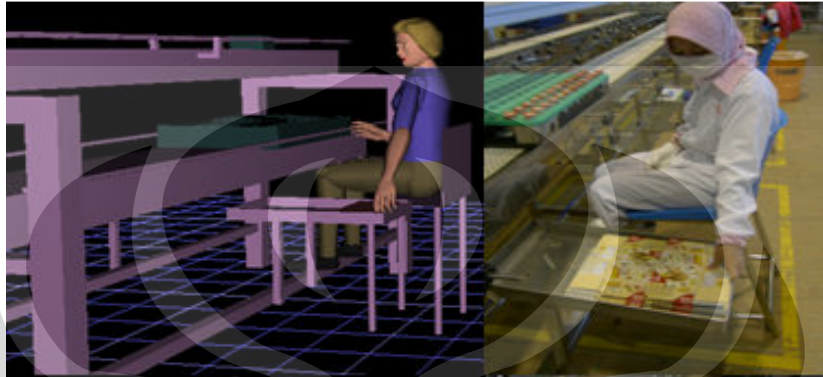
#### 4.1.1 Analisis Kondisi Aktual

Analisis kondisi aktual bertujuan untuk memberikan referensi nilai – nilai ergonomi aktual dari stasiun kerja yang diteliti. Berdasarkan nilai – nilai ergonomi tersebut dapat dianalisis tingkat kenyamanan aktual yang diberikan oleh masing – masing stasiun kerja kepada para *packer* yang menggunakan stasiun tersebut. Selain hal tersebut, resiko gangguan kesehatan yang mungkin dialami *packer* akibat melakukan proses pada stasiun kerja dapat pula dideteksi dan dilakukan analisis terhadap postur kerja yang berkaitan. Dari hasil- hasil analisis kondisi aktual tersebut kemudian dapat dilihat sejauh mana kondisi usulan memberikan perbaikan terhadap tingkat kenyamanan dan pengurangan resiko kesehatan yang dialami oleh *packer*.

##### 4.1.1.1 Analisis Kondisi Aktual Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

Model simulasi kondisi aktual pada proses kerja pengambilan lembaran kotak karton dari meja peletakkan lembaran kotak karton diilustrasikan oleh

model manusia virtual yang dalam posisi duduk melakukan kegiatan menggapai ke bawah oleh tangan kirinya dengan posisi batang tubuh yang sedikit membungkuk dan membengkok ke arah kiri seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.1**.



**Gambar 4.1** Model Simulasi Kondisi Aktual Pada Meja Peletakkan Kotak Karton

Analisis untuk model aktual proses kerja pada meja peletakkan kotak karton ini dimulai dengan menganalisis nilai SSP atau *Static Strength Prediction*. Analisis dilakukan dengan melakukan pengecekan terhadap nilai kapabilitas yang ditimbulkan oleh postur kerja terhadap model manusia yang digunakan. Nilai SSP dalam model simulasi harus lebih besar dari 90%, untuk menunjukkan bahwa kegiatan dan postur kerja yang ditimbulkan dapat dilakukan oleh sebagian besar populasi pekerja yang dalam simulasi ini digunakan model manusia dengan persentil 50%.

Hasil SSP untuk model manusia digital yang bekerja pada tempat kerja meja peletakkan kotak karton aktual yang dikeluarkan oleh *software* Jack menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi *packer* memiliki *muscle strength* yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan dengan postur seperti yang terlihat pada **Gambar 4.1** di atas. Hal ini dapat disimpulkan karena nilai persen kapabilitas untuk semua bagian tubuh adalah 100%. Persen kapabilitas yang lebih dari 90 persen ini menandakan bahwa operasi kerja pada meja peletakkan kotak karton *visible* untuk dilakukuan sehingga analisis selanjutnya mengenai nilai LBA, OWAS, dan RULA dapat dianalisis memberikan nilai yang valid dan dapat digunakan.



**Tabel 4.1** *Output* Nilai SSP Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Karton Aktual

**Capability Summary Chart**

		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-1	--	37	10	100	-1	FLEXN	41	11	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	ABDUCT	39	10	100	-1	ABDUCT	38	10	100
	Rotation Ek/Fd	-0	--	46	16	100	-0	--	50	17	100
	Humeral Rot	-0	--	20	5	100	-0	--	22	6	100
Trunk	Flex/Ext	-3	EXTEN	268	93	100					
	Lateral Bending	-9	RIGHT	86	20	100					
	Rotation	0	--	57	17	100					
Hip		0	--	117	39	100	0	--	118	40	100
Knee		0	--	107	37	100	0	--	108	37	100
Ankle		0	--	83	23	100	0	--	83	23	100

**Tabel 4.2** Rekapitulasi Nilai Ergonomi Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Karton Karton Aktual

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA
Meja Lembaran Karton Karton Aktual	437	2	5

Analisis selanjutnya seperti yang telah dibahas sebelumnya adalah analisis nilai – nilai ergonomi lain yang merupakan *output* dari *software* Jack yaitu nilai LBA, OWAS, dan RULA pada nilai–nilai postur ekstrim seperti yang terlihat pada **Tabel 4.2**. Berdasarkan nilai tersebut dapat dianalisis pada postur ekstrim yang dihasilkan oleh *packer* pada meja peletakkan kotak karton aktual, kompresi yang diterima oleh tulang belakang *packer* adalah sebesar 437 N. Hal ini dikarenakan batang tubuh *packer* melakukan perputaran (*twisted*) ke arah kiri yang disertai dengan sikap bungkuk (*bending*) untuk meraih lembaran kotak karton yang terletak di sisi sebelah kiri posisi *packer* dan lebih rendah dari tinggi siku *packer* saat duduk. Nilai LBA sebesar 437 N tersebut berdasarkan standar NIOSH merupakan nilai yang masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*. Dengan nilai tersebut maka resiko gangguan pada tulang belakang masih cukup rendah, hal tersebut dikarenakan tidak dilibatkannya beban yang sangat berat dalam proses ini yang mengakibatkan tingginya resiko cedera pada tulang belakang. Beban yang digunakan dalam proses pengambilan lembaran kotak karton ini hanya 10 gram atau setara dengan berat lembaran kotak karton.

**Tabel 4.3** Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
	4	1	1	1	2

Nilai OWAS yang memberikan referensi kenyamanan postur kerja bagi *packer* dalam simulasi ini menunjukkan nilai 2 yang berarti postur kerja tergolong *slightly harmful* sehingga tindakan perbaikan pada masa datang cukup diperlukan. Nilai 2 ini merupakan nilai total dari komponen – komponen nilai OWAS seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.3** yaitu sebesar 4-1-1-1. Detail nilai dari masing – masing elemen nilai OWAS menunjukkan bahwa:

1. Bagian batang tubuh *packer* dalam kategori 4 yaitu melakukan kegiatan membungkuk dan memutar secara bersamaan.
2. Bagian tangan model *packer* dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model *packer* tidak berada di atas tinggi bahu bahkan terletak di bawah tinggi siku untuk menghasilkan posisi menggapai ke bawah.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model *packer* termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki bertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh model *packer* tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 10 gram.

**Tabel 4.4** Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	2	3	3	2	1	3	5
	Group Score						
	5				4		

Nilai RULA yang merupakan *output software* Jack terakhir yang digunakan dalam analisis penelitian ini merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kenyamanan dan resiko *fatigue* yang dapat dialami oleh secara khusus tubuh bagian atas. Dalam *output* RULA tubuh bagian atas dibagi menjadi dua kelompok yaitu kelompok A merupakan bagian tangan dan lengan sedangkan

kelompok B yang merupakan bagian leher dan batang tubuh. Nilai RULA total yang dihasilkan oleh postur ekstrim dari proses kerja pada meja peletakkan lembaran kotak karton aktual menunjukkan nilai 5 yang berarti postur cukup beresiko bagi tubuh sehingga investigasi dan perubahan harus segera dilakukan. Nilai 5 tersebut merupakan nilai akhir dari formulasi nilai – nilai elemen RULA seperti yang ditunjukkan oleh tabel 4.4. Detail nilai masing – masing elemen RULA dapat dianalisis sebagai berikut:

1. lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model *packer* sebesar 2, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 20-45°.

2. lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan ke arah kiri melewati diameter tubuh.

3. pergelangan tangan

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

4. perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model *packer* adalah 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan *packer*.

5. leher

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

6. batang tubuh

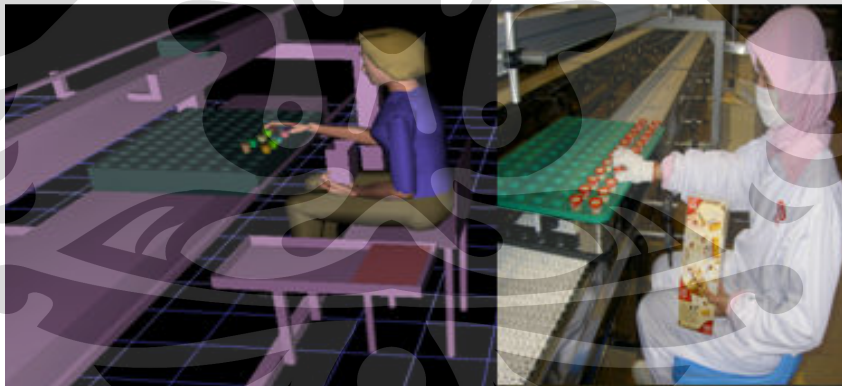
Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 3 yang berarti bahwa batang tubuh postur ekstrim *packer* pada meja peletakkan lembaran kotak karton aktual membungkuk dalam jangkauan 20 hingga 60°.

Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tempat kerja meja peletakkan lembaran kotak karton aktual dan juga resiko cedera yang mungkin ditimbulkan, maka nilai – nilai ergonomi LBA,

OWAS, dan RULA ditransformasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI untuk proses kerja pada meja peletakkan lembaran kotak karton aktual menunjukkan nilai sebesar 1.6428. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tempat kerja ini, dimana tempat kerja perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1.6428 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

#### 4.1.1.2 Analisis Kondisi Aktual Proses Kerja pada Konveyor Besar

Proses kerja pada konveyor besar aktual merupakan proses pengambilan *cone – cone* es krim yang terdapat pada krat es krim yang mengalir di atas konveyor. Proses kerja ini dilakukan sebanyak 6 kali dalam satu kali siklus kerja, dimana setiap pengambilan *packer* hanya dapat mengambil 2 unit *cone* es krim. Dalam proses ini *packer* berada dalam posisi duduk dengan tangan kiri memegang kotak es krim sebagai wadah *cone – cone* es krim dan tangan kanan melakukan kegiatan menggapai lurus kearah depan untuk mengambil *cone – cone* es krim. Postur kerja pada proses ini digambarkan oleh **Gambar 4.2**.



**Gambar 4.2** Model Simulasi Kondisi Aktual Konveyor Besar

Simulasi proses kerja pada konveyor besar aktual ini menggunakan model manusia digital wanita dengan ukuran antropometri persentil 50% dari populasi seluruh *packer* lini *packaging* Mini Cornetto. Analisis yang dilakukan untuk pertama kali adalah pengecekan nilai SSP. Hasil analisis SSP menunjukkan bahwa proses kerja pada konveyor besar aktual yang dilakukan oleh model manusia digital persentil 50% memiliki nilai kapabilitas pada semua bagian tubuh

model manusia digital sebesar 100% seperti yang terlihat pada **Tabel 4.5**. Hal ini menunjukkan bahwa mayoritas dari populasi *packer* yang diwakili oleh model manusia persentil 50% memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang dibutuhkan untuk melakukan pekerjaan pada konveyor besar.

**Tabel 4.5** Output Nilai SSP Proses Kerja pada Konveyor Besar Aktual

Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	FLEXN	37	10	100	-1	--	39	10	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	--	31	8	100	-1	ABDUCT	36	9	100
	Rotation Bk/Fd	-1	--	44	15	100	-1	--	49	17	100
	Humeral Rot	-0	--	8	2	100	-0	--	28	7	100
Trunk	Flex/Ext	-7	EXTEN	272	94	100					
	Lateral Bending	-2	RIGHT	91	21	100					
	Rotation	-0	--	51	15	100					
	Hip	-0	--	120	45	100	0	--	114	38	100
	Knee	0	--	107	37	100	0	--	108	37	100
	Ankle	0	--	83	23	100	0	--	83	23	100

Setelah postur kerja pada konveyor besar aktual terbukti *visible* untuk dilakukan dengan didasarkan oleh kapabilitas yang lebih besar dari 90%, maka analisis selanjutnya terhadap nilai LBA, OWAS, dan RULA valid untuk dilakukan. Rekapitulasi nilai LBA, OWAS, dan RULA untuk postur ekstrim yang ditimbulkan dari kegiatan pada konveyor besar aktual ditunjukkan oleh **Tabel 4.6** di bawah ini.

**Tabel 4.6** Rekapitulasi Nilai Ergonomi Proses Kerja pada Konveyor Besar Aktual

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA
Konveyor Besar Aktual	469	1	4

Hasil evaluasi nilai LBA pada proses kerja pengambilan *cone* es krim yang melibatkan konveyor besar aktual menghasilkan nilai pada postur ekstrim sebesar 469 Newton. Nilai tekanan pada tulang belakang tersebut ditimbulkan karena adanya gerakan menggapai lengan bagian atas yang menarik tubuh bagian atas untuk membungkuk ke arah depan dan *bending* ke belakang setiap kali melakukan pengambilan *cone* es krim. Hal ini dikarenakan tinggi konveyor besar yang lebih

tinggi dari siku saat duduk *packer*. Selain itu juga dikarenakan *packer* harus melihat ke atas krat produk sebelum melakukan pengambilan *cone* es krim untuk memastikan jenis *cone* es krim yang diambil telah benar. Postur ekstrim tersebut menyebabkan terjadinya momen pada L4-L5 dan ruas – ruas spinal tulang belakang. Berdasarkan standar NIOSH, nilai sebesar 469 N masih dapat diterima karena berada di bawah 3400 N yang merupakan standar *NIOSH Back Compression Action Limit*.

**Tabel 4.7** Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Besar Aktual

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
	1	1	1	1	1

Hasil evaluasi tingkat kenyamanan postur dengan nilai OWAS secara keseluruhan menghasilkan nilai total sebesar 1 yang menunjukkan bahwa secara keseluruhan postur kerja masih netral dan dapat diterima sistem *muskuloskeletal* manusia. Nilai 1 tersebut diperoleh dari formulasi nilai – nilai elemen OWAS seperti yang terlihat oleh **Tabel 4.7**. Detail nilai masing – masing elemen OWAS tersebut dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh *packer* dalam kategori 1 yaitu masih dalam kondisi normal. Walaupun terjadi momen di L4-L5 spinal tulang belakang, namun translasi yang terjadi belum termasuk ekstrim atau masih netral untuk kategori penilaian OWAS.
2. Bagian tangan model *packer* dalam kategori 1 atau posisi netral karena kedua tangan model *packer* tidak berada di atas tinggi bahu namun diantara tinggi siku dan bahu untuk menggapai *cone* es krim di depan posisi duduknya.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model *packer* termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki bertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh model *packer* tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 40 gram untuk tangan kanan dan 240 gram untuk tangan kiri. Tangan kanan mengangkat beban sebesar 40 gram yang merupakan dua buah *cone* es krim

seberat 20 gram masing – masingnya, sedangkan tangan kiri menopang kotak karton berisi es krim seberat 240 gram.

**Tabel 4.8** Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Besar Aktual

Elemen Nilai RULA	Body Group A				Body Group B		Total
	Upper Arm	Lower Arm	Wrist	Wrist Twist	Neck	Trunk	
	3	3	3	2	1	1	4
	Group Score						
	6				2		

Hasil evaluasi nilai RULA yang merupakan nilai yang merefrensikan tingkat kenyamanan dan resiko cedera yang dapat ditimbulkan oleh proses kerja pada konveyor besar aktual manunjukkan nilai total sebesar 4. Nilai tersebut menunjukkan bahwa investigasi terhadap tempat kerja perlu dilanjutkan dan perubahan mungkin diperlukan namun secara keseluruhan postur kerja yang ditimbulkan tidak terlalu menimbulkan resiko *musculoskeletal disorder*. Nilai 4 yang diperoleh didapatkan dari formulasi nilai – nilai elemen RULA seperti yang diperlihatkan oleh **Tabel 4.8**. Detail nilai – nilai untuk masing – masing elemen RULA dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model *packer* sebesar 3, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90°.

2. lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan kearah kiri melewati diameter tubuh.

3. pergelangan tangan

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

4. perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan model *packer* adalah 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan *packer*.

5. leher

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

6. batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 1 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur ekstrim berada pada posisi lurus.

Setelah melakukan pengecekan dan analisis terhadap nilai LBA, OWAS, dan RULA maka dilakukan perhitungan nilai PEI. Untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tempat kerja konveyor besar dan juga resiko cedera yang mungkin ditimbulkan. Nilai PEI untuk proses kerja pada konveyor besar aktual menunjukkan nilai sebesar 1.1993. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tempat kerja ini, dimana tempat kerja perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1.1993 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

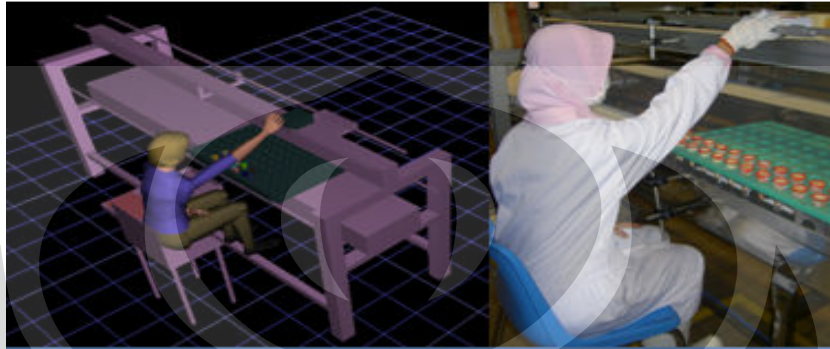
Secara umum, berdasarkan nilai PEI dan nilai – nilai analisis ergonomi lainnya yang didapatkan, postur kerja yang ditimbulkan oleh proses kerja pada konveyor besar aktual cukup ergonomis dan menimbulkan resiko cedera yang rendah. Hal ini dapat dilihat dari skor OWAS dan RULA yang rendah. Perbaikan pada tempat kerja untuk konveyor besar ini hanya perlu untuk difokuskan pada bagaimana mengurangi gaya kompresi pada tulang belakang *packer* yang bekerja di stasiun kerja ini atau mengurangi nilai LBA.

#### 4.1.1.3 Analisis Kondisi Aktual Proses Kerja pada Konveyor Kecil

Proses kerja yang terjadi pada konveyor kecil adalah proses meletakkan kotak karton yang telah berisi 12 unit *cone* es krim ke atas konveyor kecil. Pada konveyor kecil aktual, ketinggian konveyor kecil jauh lebih tinggi daripada bahu *packer* dalam posisi duduk. Hal tersebut mengakibatkan tangan kanan *packer* melakukan *stretching* ke atas untuk dapat menggapai posisi konveyor kecil ketika



meletakkan kotak karton. Posisi ini disertai dengan *bending* atau membungkuk ke depan dikarenakan letak konveyor kecil yang disisi depan posisi *packer*. Secara visual postur kerja yang ditimbulkan oleh *packer* pada konveyor kecil aktual ditunjukkan oleh **Gambar 4.3** di bawah ini.



**Gambar 4.3** Model Simulasi Kondisi Aktual Konveyor Kecil

**Tabel 4.9** Output Nilai SSP Proses Kerja pada Konveyor Kecil Aktual

		Capability Summary Chart									
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
	Elbow	-1	--	37	10	100	-1	FLEXN	28	7	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-0	--	33	9	100	-5	ABDUCT	42	11	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	46	16	100	-0	--	39	13	100
	Humeral Rot	-0	--	14	4	100	-0	--	30	8	100
Trunk	Flex/Ext	-22	EXTEN	286	99	100					
	Lateral Bending	4	LEFT	142	35	100					
	Rotation	0	--	54	16	100					
	Hip	0	--	101	34	100	0	--	101	34	100
	Knee	0	--	107	37	100	0	--	107	37	100
	Ankle	0	--	83	23	100	0	--	83	23	100

Setelah melakukan analisis terhadap postur kerja pada konveyor kecil aktual, maka dilakukan pengecekan terhadap nilai SSP untuk memulai melakukan analisis terhadap nilai – nilai ergonomi yang ditimbulkan oleh proses kerja tersebut. Hasil nilai SSP dari postur kerja pada konveyor kecil aktual menunjukkan nilai kapabilitas 100% pada semua bagian tubuh seperti yang terlihat pada **Tabel 4.9**. Hal ini menunjukkan bahwa *packer* wanita dengan ukuran antropometri persentil 50% dari populasi *packer* wanita lini *packaging* Mini Cornetto memiliki kekuatan (*muscle strength*) yang dibutuhkan untuk melakukan

pekerjaan pada konveyor kecil tersebut. Hasil nilai SSP yang lebih besar dari 90% tersebut menunjukkan pula bahwa gerakan kerja *visible* untuk dilakukan oleh *packer* sehingga analisis nilai LBA, OWAS, dan RULA pada **Tabel 4.10** yang dihasilkan dari gerakan – gerakan kerja pada konveyor kecil aktual tersebut valid untuk digunakan.

**Tabel 4.10** Rekapitulasi Nilai Ergonomi Proses Kerja pada Konveyor Kecil Aktual

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA
Konveyor Kecil Aktual	616	2	6

Hasil nilai evaluasi LBA pada postur ekstrim yang ditimbulkan oleh gerakan kerja pada konveyor kecil aktual menunjukkan nilai 616. Nilai ini merupakan nilai tekanan pada tulang belakang yang paling tinggi dirasakan oleh *packer* dibandingkan pada stasiun kerja lainnya (meja peletakkan lembaran kotak karton dan konveyor besar). Besarnya nilai LBA ini diakibatkan karena tulang belakang tubuh *packer* mengalami gaya tarikan atau *stretching* yang sangat besar akibat postur menggapai konveyor kecil yang letaknya di atas bahu *packer*. Selain itu juga terjadi membungkuk ke depan (*flexion*) karena konveyor kecil yang ingin digapai terletak di sisi depan atas posisi duduk *packer*. Besarnya nilai LBA ini mengakibatkan tekanan yang cukup besar pada bagian punggung, terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang. Walaupun demikian nilai LBA sebesar 616 masih sesuai dengan standar NIOSH yang menetapkan batas nilai 3400 N sebagai *Back Compression Action Limit*.

**Tabel 4.11** Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Aktual

Elemen Nilai OWAS	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	Total
	2	2	1	1	2

Setelah melakukan analisis nilai LBA, analisis ergonomi dilanjutkan dengan pengecekan nilai OWAS. OWAS yang merupakan representasi tingkat kenyamanan yang ditimbulkan oleh postur kerja, di dalam postur kerja pada

konveyor kecil aktual menunjukkan nilai 2. Nilai 2 ini menunjukkan bahwa postur kerja yang ditimbulkan dari tempat kerja konveyor kecil aktual tergolong postur yang *slightly harmful* sehingga diperlukan tindakan perbaikan di masa datang. Nilai 2 sebagai nilai total dari OWAS merupakan formulasi dari elemen – elemen nilai OWAS seperti yang terlihat pada **Tabel 4.11**. Detail analisis untuk masing – masing nilai elemen OWAS adalah sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh *packer* atau punggung dalam kategori 2 yaitu cenderung bungkuk ke arah depan untuk meletakkan kotak karton pada konveyor kecil yang terletak di sisi atas depan posisi duduk *packer*.
2. Bagian tangan model *packer* dalam kategori 2 yaitu satu tangan berada di atas bahu untuk meletakkan kotak karton ke atas konveyor kecil yang terletak di atas.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model *packer* termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. *Beban* yang diterima oleh model *packer* tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 240 gram atau seberat kotak karton berisi 12 *cone* es krim.

**Tabel 4.12** Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Aktual

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

Hasil evaluasi nilai ergonomi yang terakhir untuk proses kerja pada konveyor kecil aktual adalah analisis tingkat kenyamanan dan resiko cedera pada tubuh bagian atas. Secara keseluruhan nilai RULA pada postur ekstrim yang ditimbulkan oleh proses kerja pada konveyor kecil aktual menunjukkan nilai total 6. Nilai 6 ini mengindikasikan postur kerja yang ditimbulkan sangat beresiko tinggi menimbulkan gangguan dan cedera pada anggota tubuh bagian atas sehingga investigasi dan perubahan perlu dilakukan secepat mungkin. Nilai total RULA sebesar 6 merupakan formulasi dari nilai – nilai elemen RULA seperti

yang terlihat pada **Tabel 4.12**. Analisis untuk nilai setiap elemen RULA adalah sebagai berikut:

1. lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model *packer* sebesar 5, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut lebih dari 90°.

2. lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan kearah kiri melewati diameter tubuh.

3. pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model *packer* sebesar 2, hal ini menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah tidak lebih lebih dari 15 °.

4. perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan model *packer* adalah 2, hal ini menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan *packer*.

5. leher

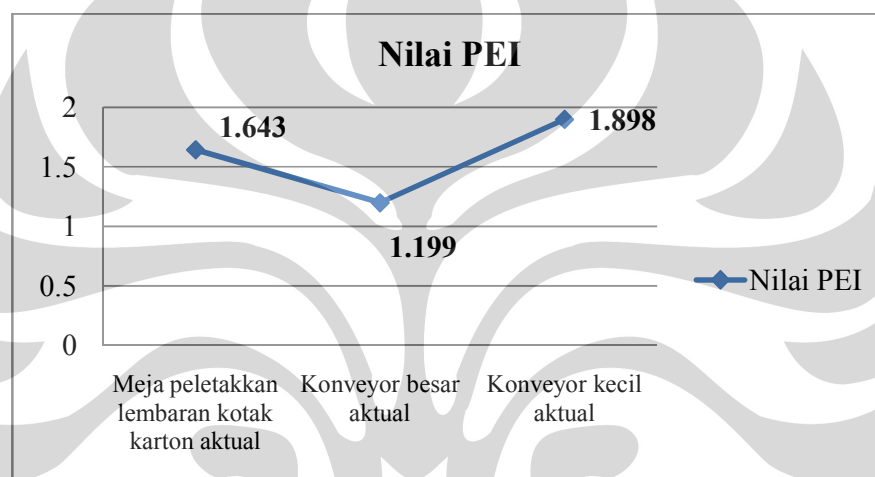
Nilai evaluasi RULA untuk leher adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0 -10°.

6. batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh adalah 2 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur membungkuk membentuk sudut antara 0-20°.

Setelah melakukan pemeriksaan dan analisis terhadap nilai LBA, OWAS, dan RULA maka dilakukan perhitungan nilai PEI. Perhitungan PEI bertujuan untuk memberikan gambaran secara lebih menyeluruh mengenai tingkat kenyamanan dari tempat kerja konveyor kecil dan juga resiko cedera yang mungkin ditimbulkan. Nilai PEI untuk proses kerja pada konveyor kecil aktual menunjukkan nilai sebesar 1.898. Nilai ini merupakan batas atas jika akan dilakukan perbaikan pada tempat kerja ini, dimana tempat kerja perbaikan harus menghasilkan nilai PEI yang lebih rendah dari 1.898 untuk menghasilkan tingkat kenyamanan yang lebih tinggi dan resiko cedera lebih rendah.

Dengan melakukan pengecekan terhadap nilai – nilai ergonomi, secara keseluruhan dapat dianalisis bahwa konveyor kecil aktual menimbulkan postur kerja yang paling tidak ergonomis. Hal ini didasarkan nilai – nilai evaluasi ergonomi seperti LBA dan RULA yang paling tinggi dibandingkan postur kerja lainnya yang ditimbulkan oleh tempat kerja yang berbeda. Hal tersebut juga diperkuat oleh nilai PEI yang paling tinggi dibandingkan dengan nilai PEI pada kondisi aktual postur ekstrim pada meja peletakkan lembaran kotak karton dan konveyor besar seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.4**.



**Gambar 4.4** Perbandingan Nilai PEI Kondisi Aktual

#### 4.1.2 Analisis Kondisi Usulan

Berdasarkan hasil analisis postur – postur ekstrim yang terjadi pada stasiun – stasiun kerja lini *packaging* Mini Cornetto, dapat disimpulkan bahwa tingkat ergonomi pada masing – masing stasiun kerja belum optimal. Oleh karena itu dibuatlah usulan perbaikan pada masing – masing stasiun kerja untuk mendapatkan nilai – nilai ergonomi yang lebih baik sehingga nantinya dapat meningkatkan kenyamanan kerja.

Pada masing – masing stasiun kerja yang diteliti yaitu meja peletakkan lembaran kotak karton, konveyor besar, dan konveyor kecil diusulkan tiga buah rancangan baru yang disesuaikan dengan standar ergonomi. Pada setiap usulan rancangan tersebut kemudian dibuat model simulasi untuk proses kerja yang terjadi pada masing – masing stasiun kerja. Pembuatan model simulasi tersebut

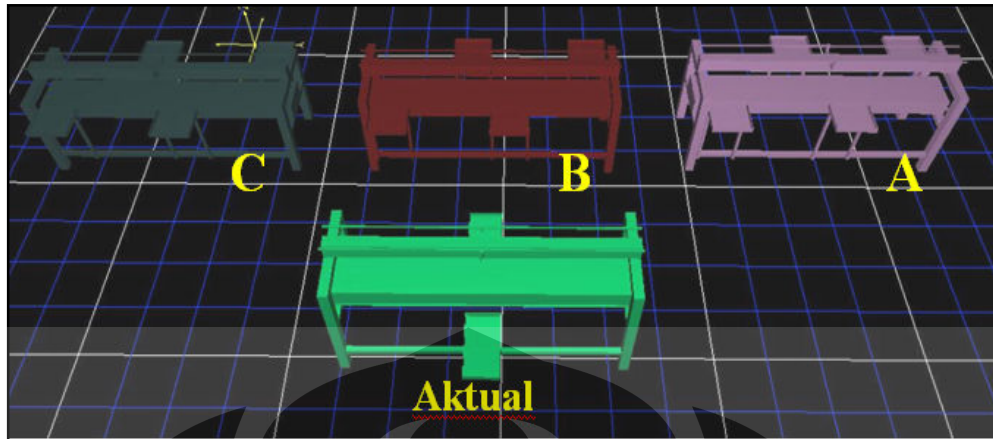
mengikuti langkah yang sama dengan pembuatan model simulasi kondisi aktual namun dengan penyesuaian postur sesuai dengan tempat kerja yang diusulkan.

Berdasarkan hasil simulasi model usulan, akan didapatkan nilai – nilai ergonomi seperti LBA, OWAS, dan SSP yang kemudian akan diformulasikan lebih lanjut menjadi nilai PEI. Hasil nilai – nilai ergonomi PEI untuk masing – masing usulan dibandingkan dan kemudian usulan dengan nilai ergonomi paling optimal yang akan dipilih sebagai rekomendasi pengganti rancangan stasiun kerja aktual.

#### 4.1.2.1 Analisis Kondisi Usulan Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

Pada stasiun kerja yang pertama yaitu meja peletakkan lembaran kotak karton, rancangan baru yang diusulkan adalah perubahan ketinggian, jumlah meja, dan posisi dalam rangkaian konveyor. Perubahan ketinggian ini disesuaikan dengan standar ergonomi suatu stasiun kerja yaitu untuk pekerjaan ringan meja kerja seharusnya mempunyai ketinggian setinggi siku. Dalam hal ini dikarenakan posisi *packer* adalah duduk, maka meja peletakkan lembaran kotak karton disesuaikan dengan tinggi siku *packer* saat duduk. Ukuran ketinggian siku yang digunakan adalah tinggi siku *packer* wanita persentil 50% yang dapat mewakili seluruh populasi *packer*.

Jumlah meja peletakkan lembaran kotak karton yang dalam kondisi aktual hanya satu pada masing- masing sisi rangkaian konveyor di dalam rancangan usulan ini diubah menjadi 2. Hal tersebut bertujuan agar masing – masing *packer* yang bekerja dalam rangkaian konveyor memiliki meja peletakkan lembaran kotak karton sendiri dan tidak berbagi dengan *packer* lainnya, selain itu juga untuk menstandarkan penggunaan tangan kiri dalam proses kerja pengambilan lembaran kotak karton. Tampilan visual rancangan jumlah meja peletakkan lembaran kotak karton aktual dan usulan diperlihatkan oleh **Gambar 4.5**.



**Gambar 4.5** Perbandingan Jumlah Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual dan Usulan

Di dalam penelitian ini dibuat tiga buah rancangan usulan seperti yang terlihat dalam **Tabel 4.13** yaitu rancangan usulan berdasarkan perhitungan standar ideal ergonomi, rancangan usulan berdasarkan perhitungan standar ideal ergonomi ditambahkan toleransi 5%, dan perhitungan ideal berdasarkan standar ideal ergonomi ditambahkan 10%.

**Tabel 4.13** Rekapitulasi Ukuran Rancangan Usulan Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

Tempat Kerja	AKT UAL (cm)	USULAN (cm)			Persentil
		1 Perhitungan Ideal	2 Perhitungan Ideal + 5%	3 Perhitungan Ideal +10%	
Ketinggian Total Meja Kerja Peletakkan Lembaran Kotak Karton	58	80	84	88	50%

Tahapan analisis nilai – nilai ergonomi untuk masing – masing usulan sama dengan tahapan analisis untuk kondisi aktual. Setelah dilakukan pengecekan nilai SSP terbukti bahwa nilai SSP untuk semua model usulan lebih besar dari 90%, maka analisis nilai – nilai ergonomi lainnya seperti LBA, OWAS, dan RULA baru dapat dilakukan dan dinyatakan valid. Hasil pengecekan SSP menunjukkan nilai kapabilitas untuk semua bagian tubuh pada simulasi semua model usulan menyatakan nilai 100, dengan hal tersebut maka dapat diyakini bahwa kegiatan kerja atau postur kerja yang dilakukan pada semua meja kerja peletakkan lembaran kotak karton *visible* untuk dilakukan oleh model manusia

digital ukuran antropometri 50% dari populasi *packer* yang digunakan sebagai model.

**Tabel 4.14** Rekapitulasi Nilai Ergonomi Meja Kerja Peletakkan Lembaran Karton Karton Usulan

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Meja Kotak Karton Usulan 1	326	1	3	<b>0.95445378</b>
Meja Kotak Karton Usulan 2	341	1	3	<b>0.95886555</b>
Meja Kotak Karton Usulan 3	344	1	3	<b>0.9597479</b>

Seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.14**, nilai LBA pada postur untuk masing – masing rancangan usulan mengalami penurunan dari kondisi aktual yaitu sebesar 437 N. Nilai LBA untuk kondisi usulan berkisar antara 326 N - 344 N. Berdasarkan perbedaan nilai LBA tersebut dapat dianalisis bahwa semakin tinggi meja peletakkan lembaran kotak karton maka semakin tinggi tekanan yang diberikan pada tulang belakang *packer*. Nilia LBA tersebut ditimbulkan oleh karena ketinggian meja peletakkan lembaran kotak karton yang lebih tinggi dari ketinggian siku saat duduk *packer* sehingga menyebabkan adanya *bending* pada punggung saat berupaya mencapai lembaran kotak karton. Nilai LBA yang dihasilkan dari ketiga kondisi usulan masih dalam standar ergonomi yaitu bawah 3400N yang merupakan nilai standar dari NIOSH *Back Compression Action Limit*.

Hasil Evaluasi nilai kenyamanan kerja yang dihasilkan oleh semua rancangan usulan meja kerja peletakkan lembaran kotak karton menunjukkan nilai 1 yang berarti bahwa semua tempat kerja usulan memberikan postur normal pada *packer*. Detail nilai elemen OWAS untuk semua usulan juga menunjukkan nilai 1 seperti yang ditampilkan oleh **Tabel 4.15**. Nilai 1-1-1-1 dapat dianalisis sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh *packer* atau punggung pada semua kondisi usulan dalam kategori 1 yaitu melakukan postur lurus dan netral.
2. Bagian tangan model *packer* pada semua kondisi usulan dalam kategori 1 yaitu kedua tangan berada di bawah bahu.



3. Bagian tubuh bawah atau kaki model *packer* pada semua kondisi usulan termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. *Beban* yang diterima oleh model *packer* pada semua kondisi usulan tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 10 gram atau seberat lembaran kotak karton.

**Tabel 4.15** Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Usulan

Tempat Kerja	Elemen Nilai OWAS				Total
	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
Meja Kotak Karton Usulan 1	1	1	1	1	1
Meja Kotak Karton Usulan 2	1	1	1	1	1
Meja Kotak Karton Usulan 3	1	1	1	1	1

**Tabel 4.16** Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Usulan

Elemen Nilai Rula	Meja Kotak Karton Usulan 1	Meja Kotak Karton Usulan 2	Meja Kotak Karton Usulan 3
Upper Arm	2	2	2
Lower Arm	2	2	2
Wrist	2	2	2
Wrist Twist	1	2	1
Body Group A Score	4	4	4
Neck	1	1	1
Trunk	1	1	1
Body Group B Score	2	2	1
<b>Total</b>	<b>3</b>	<b>3</b>	<b>3</b>

Seperti halnya dengan hasil evaluasi nilai OWAS, pada hasil evaluasi nilai RULA juga tidak terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai RULA pada masing – masing usulan. Nilai RULA pada semua usulan menunjukkan nilai 3 yang berarti rancangan tempat kerja sudah cukup ergonomis. Walaupun cukup

ergonomis, namun perubahan dan investigasi lebih lanjut tetap perlu dilakukan di masa yang akan datang terutama apabila pekerjaan tersebut dilakukan secara repetitif dalam jangka waktu yang lama sehingga tingkat resiko cedera semakin besar. Perbedaan yang terjadi pada komponen nilai RULA hanya terjadi pada elemen *wrist twist* atau perputaran pergelangan tangan seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.16**. Berdasarkan detail nilai masing – masing elemen RULA dapat dianalisis sebagai berikut:

1. lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model *packer* pada semua kondisi usulan sebesar 2, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 20-45°.

2. lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 2 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah mengalami flexi sebesar lebih dari 100°.

3. pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pegelangan tangan model *packer* pada semua kondisi usulan sebesar 2. Hal tersebut menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah anatar 0-15 °.

4. perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan model *packer* adalah bernilai 1 untuk kondisi usulan 1 dan 3, dan bernilai 2 pada kondisi usulan 1. Nilai 1 menunjukkan bahwa bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran, sedangkan nilai 2 menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan *packer*.

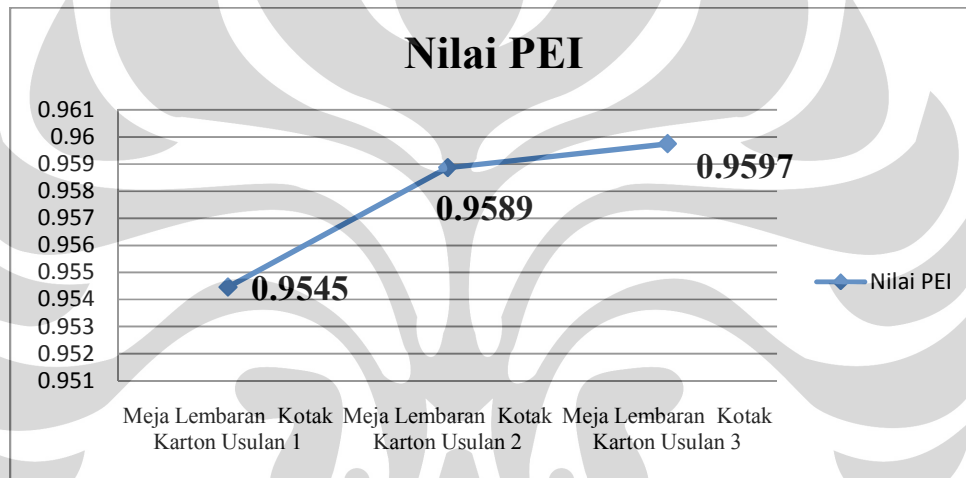
5. leher

Nilai evaluasi RULA untuk leher pada semua kondisi usulan adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0 -10°.

6. batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh pada semua kondisi usulan adalah 1 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur ekstrim berada pada posisi lurus.

Dari keseluruhan nilai – nilai ergonomi pada masing – masing kondisi tempat kerja usulan, diformulasikan nilai PEI untuk mendapatkan gambaran secara umum yang diberikan setiap kondisi usulan. Hasil perhitungan PEI memperlihatkan nilai – nilai yang berbeda seperti yang terlihat pada **Gambar 4.6**. Masing – masing nilai PEI kemudian dibandingkan dan didapatkan hasil nilai PEI minimum sebesar 0.954 yang didapatkan dari kondisi usulan 1 yaitu membuat ketinggian meja kerja setinggi siku posisi duduk *packer*. Dengan hasil tersebut maka dapat ditarik kesimpulan bahwa kondisi usulan 1 memberikan tingkat kenyamanan kerja paling optimum pada para *packer*.



**Gambar 4.6** Perbandingan Nilai PEI Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Karton Usulan

#### 4.1.2.2 Analisis Kondisi Usulan Proses Kerja pada Konveyor Besar

Stasiun kerja yang kedua digunakan dalam proses kerja lini *packaging* Mini Cornetto adalah konveyor besar. Fungsi konveyor besar adalah sebagai landasan mengalirnya krat produk berisi *cone – cone* es krim yang nantinya harus diambil oleh *packer* untuk kemudian dikemas ke dalam kotak karton. Di dalam pembuatan usulan stasiun kerja konveyor besar ini perhitungan ketinggian dilakukan dengan menambahkan ketinggian krat produk yaitu sebesar 10 cm untuk menghasilkan ketinggian total konveyor besar. Penambahan tersebut disebabkan *cone – cone* es krim yang harus diambil tidak mengalir begitu saja di

atas konveyor besar namun diatas krat produk sehingga tinggi krat produk harus pula diperhitungkan.

Sama halnya dengan pembuatan usulan ketinggian meja peletakkan lembaran kotak karton, pembuatan usulan ketinggian total konveyor besar didasarkan pada standar ergonomi yang menyatakan bahwa untuk pekerjaan ringan meja kerja harus disesuaikan dengan ketinggian siku pekerjaanya. Dalam hal ini ketinggian siku yang digunakan adalah ketinggian siku *packer* dalam kondisi duduk dan memiliki ukuran antropometri persentil 50% dari keseluruhan populasi *packer*. Terdapat tiga usulan yang dibuat namun memiliki dasar yang sama, yang membedakan antara masing – masing usulan tersebut adalah penambahan toleransi ketinggian sebesar 5% dan 10% pada usulan ke 2 dan ke 3. Detail ukuran pada masing – masing usulan dapat dilihat oleh **Tabel 4.17**

**Tabel 4.17** Rekapitulasi Ukuran Rancangan Ketinggian Total Konveyor Besar

Tempat Kerja	AKTUAL (cm)	Usulan			Persentil
		1	2	3	
		Perhitungan Ideal (cm)	Perhitungan Ideal + 5% (cm)	Perhitungan Ideal +10% (cm)	
Ketinggian Total Konveyor Besar	94.5	80	84	88	50%

Hasil pengecekan nilai kapabilitas yang dialami oleh model *packer* ukuran persentil 50% dari populasi menunjukkan nilai 100% untuk semua kondisi usulan, hal tersebut menunjukkan bahwa model simulasi kegiatan yang dibuat pada rancangan tempat kerja – tempat kerja usulan tersebut *visible* untuk dilakukan. Selain hal itu dengan terbuktinya nilai SSP lebih besar dari 90% maka nilai - nilai ergonomi yang dihasilkan juga secara tidak langsung terbukti valid. Dari pengecekan nilai SSP, analisis dilanjutkan pada analisis perbandingan nilai – nilai ergonomi antar kondisi usulan seperti yang ditampilkan oleh **Tabel 4.18**.

**Tabel 4.18** Rekapitulasi Nilai Ergonomi Konveyor Besar Usulan

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konveyor Besar Usulan 1	441	1	4	1.191134

**Tabel 4.18** Rekapitulasi Nilai Ergonomi Konveyor Besar Usulan (Sambungan)

<b>Konveyor Besar Usulan 2</b>	420	1	4	<b>1.184958</b>
<b>Konveyor Besar Usulan 3</b>	422	1	4	<b>1.185546</b>

Hasil evaluasi nilai ergonomi untuk LBA menunjukkan nilai yang berfluktuasi antar kondisi usulan, dimana nilai tertinggi didapatkan pada kondisi usulan 1 dan nilai tersendah pada kondisi usulan 2. Nilai LBA dari usulan 1 menurun pada usulan 2, namun meningkat kembali pada usulan yang ke – 3. Berdasarkan hal tersebut dapat dianalisis bahwa rancangan tempat kerja yang paling optimum memberikan kenyamanan pada tulang belakang khususnya lumbar L4 dan L5 adalah usulan 2 yaitu setinggi siku duduk ditambahkan toleransi 5%. Walaupun berbeda – beda namun jika dianalisis secara standar ergonomi, ketiga nilai masih berada dalam standar NIOSH yang menetapkan 3400 N sebagai *Back Compression Action Limit*.

**Tabel 4.19** Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Besar Usulan

Tempat Kerja	Elemen Nilai OWAS				Total
	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
<b>Konveyor Besar Usulan 1</b>	1	1	1	1	<b>1</b>
<b>Konveyor Besar Usulan 2</b>	1	1	1	1	<b>1</b>
<b>Konveyor Besar Usulan 3</b>	1	1	1	1	<b>1</b>

Hasil evaluasi nilai OWAS menunjukkan nilai total 1 untuk semua kondisi usulan. Nilai 1 ini menunjukkan keseluruhan tempat kerja yang diusulkan menimbulkan terjadinya postur kerja normal bagi pekerjaanya atau *packer*. Kesamaan nilai total untuk OWAS juga dimiliki oleh nilai masing – masing elemen OWAS pada ketiga usulan. Detail nilai masing – masing elemen OWAS dapat dilihat oleh **Tabel 4.19**. Hasil Analisis dari masing – masing nilai elemen OWAS adalah sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh *packer* atau punggung pada semua kondisi usulan dalam kategori 1 yaitu melakukan postur lurus dan netral.

2. Bagian tangan model *packer* pada semua kondisi usulan dalam kategori 1 yaitu kedua tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model *packer* pada semua kondisi usulan termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. *Beban* yang diterima oleh model *packer* pada semua kondisi usulan tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu sebesar 40 gram pada tangan kanan dan 240 gram pada tangan kiri.

**Tabel 4.20** Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Besar Usulan

Elemen Nilai Rula	Konveyor Besar Usulan 1	Konveyor Besar Usulan 2	Konveyor Besar Usulan 3
Upper Arm	3	3	3
Lower Arm	3	3	3
Wrist	3	2	2
Wrist Twist	1	2	2
Body Group A Score	5	5	5
Neck	1	1	1
Trunk	1	1	1
Body Group B Score	2	2	2
Total	4	4	4

Hasil evaluasi nilai RULA yang merupakan nilai tingkatan kenyamanan pada tubuh bagian atas untuk semua postur ekstrim yang ditimbulkan oleh kondisi usulan menunjukkan nilai 4. Nilai ini menunjukkan bahwa postur kerja yang ditimbulkan sudah cukup ergonomis dengan resiko cedera yang rendah, namun investigasi dan perubahan tetap mungkin diperlukan terlebih lagi jika kegiatan dilakukan secara repetitif dan terdapat penambahan beban.

Walaupun nilai total RULA untuk semua kondisi usulan sama, namun terdapat perbedaan pada nilai detail elemen RULA yaitu pada elemen pergelangan tangan dan putaran pergelangan tangan. Detail nilai masing – masing elemen RULA untuk semua kondisi usulan dapat dilihat padat **Tabel 4.20**. Dari detail nilai – masing – masing elemen RULA, dapat dianalisis sebagai berikut:

1. lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model *packer* sebesar 3 pada semua kondisi usulan 3, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut 45-90°.

2. lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah operator sebesar 3 pada semua kondisi usulan sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan kearah kiri melewati diameter tubuh.

3. pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model *packer* adalah sebesar 2 untuk kondisi usulan 2 dan 3, sedangkan 3 untuk kondisi usulan 1. Nilai 2 menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih sebesar 0-15°, sedangkan nilai 3 menunjukkan gerakan menekuk lebih dari 15°.

4. perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan model *packer* adalah sebesar 1 untuk kondisi usulan 1 dan 2 untuk kondisi usulan 2 dan 3. Nilai 1 menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi masih berada di tengah-tengah rentang perputaran, sedangkan nilai 2 menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan *packer*.

5. leher

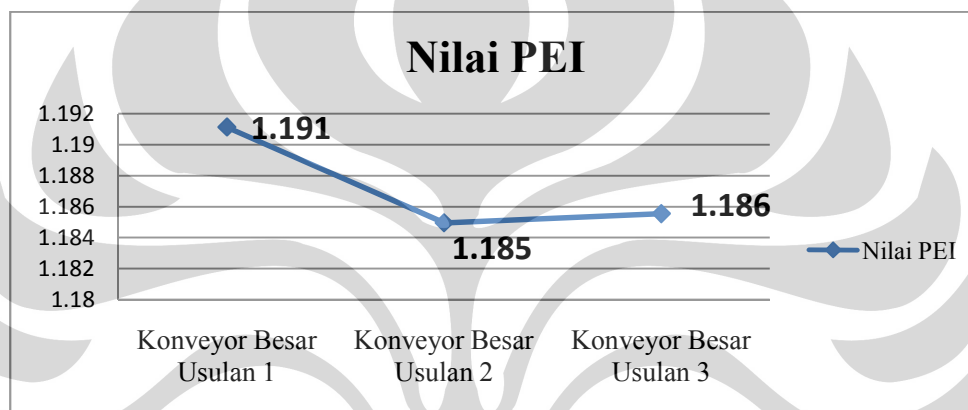
Nilai evaluasi RULA untuk leher pada semua kondisi usulan adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar 0 -10°.

6. batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh pada semua kondisi usulan adalah 1 yang berarti bahwa batang tubuh pada postur ekstrim berada pada posisi lurus.

Setelah dilakukan analisis terhadap semua nilai – nilai ergonomi hasil *output* Jack pada semua kondisi usulan, maka dilakukan analisis terhadap nilai PEI untuk masing – masing kondisi usulan. Berdasarkan masing – masing nilai PEI seperti yang ditampilkan pada **Gambar 4.7**, dapat dilihat bahwa kondisi

usulan 1 memiliki nilai PEI tertinggi dibandingkan kondisi usulan 2 dan 3 yang tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Nilai PEI yang tinggi tersebut menunjukkan rancangan konveyor besar yang diusulkan pada usulan 1 kurang ergonomis dibandingkan usulan 2 dan 3. Nilai PEI terkecil didapatkan oleh kondisi usulan 2 adalah sebesar 1.185, hal tersebut menunjukkan bahwa kondisi usulan 2 yang mengubah ketinggian total konveyor besar setinggi siku duduk ditambah toleransi 5% memberikan tingkat kenyamanan paling optimum dan tingkat ergonomi paling maksimal dibandingkan kedua usulan lainnya.



**Gambar 4.7** Perbandingan Nilai PEI Proses Kerja pada Konveyor Besar Usulan

#### 4.1.2.3 Analisis Kondisi Usulan Proses Kerja pada Konveyor Kecil

Konveyor kecil yang merupakan stasiun kerja ketiga dalam penelitian ini merupakan tempat diletakkannya kotak karton yang telah berisi 12 unit *cone* es krim. Posisi konveyor kecil ini terletak di atas konveyor besar. Karena posisi tersebut maka para *packer* yang dalam posisi duduk melakukan kegiatan pengemasan harus melakukan kegiatan menjangkau ke arah atas untuk mencapai posisi konveyor kecil tersebut. Kondisi aktual konveyor kecil yang memiliki ketinggian jauh di atas bahu para *packer* membuat *packer* harus menarik tangan kanannya lurus ke arah atas depan dengan gaya tarik atau *stretching* yang sangat besar untuk mencapai konveyor tersebut.

Didasarkan hal itulah, maka diusulkan rancangan ketinggian konveyor kecil dengan melakukan pengurangan ketinggian berdasarkan standar ergonomi yang menetapkan jarak jangkauan maksimal ideal yang harus dicapai oleh *packer*



adalah setinggi bahu. Oleh karena itu dibuatlah tiga buah rancangan usulan seperti yang terlihat pada **Tabel 4.21** yaitu konveyor kecil setinggi bahu *packer* ukuran antropometri 50% dalam posisi duduk sebagai usulan atas dasar standar ideal sebagai usulan pertama, dan usulan kedua serta ketiga dengan menambahkan toleransi 5% dan 10% dari ketinggian usulan pertama.

**Tabel 4.21** Rekapitulasi Ukuran Rancangan Ketinggian Total Konveyor Kecil

Tempat Kerja	AKTUAL (cm)	KONFIGURASI			Persentil
		A	B	C	
		Perhitungan Ideal (cm)	Perhitungan Ideal + 5% (cm)	Perhitungan Ideal +10% (cm)	
Ketinggian Total Konveyor Kecil	135.5	112.8	118.44	124.08	50%

Sama dengan prosedur – prosedur analisis sebelumnya, analisis untuk nilai – nilai ergonomi pada semua kondisi usulan dilakukan dengan pertama – tama melakukan pengecekan terhadap nilai SSP. Hasil pengecekan terhadap nilai SSP semua usulan menunjukkan nilai kapabilitas 100% pada semua bagian tubuh. Berdasarkan hasil tersebut maka dapat dianalisis bahwa kegiatan dan postur kerja yang terjadi pada semua usulan rancangan konveyor kecil dapat dan *visible* untuk dilakukan oleh model *packer* yang merupakan representasi persentil 50% dari populasi *packer*.

**Tabel 4.22** Rekapitulasi Nilai Ergonomi Konveyor Kecil Usulan

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konveyor Kecil Usulan 1	505	1	4	1.209957983
Konveyor Kecil Usulan 2	511	1	4	1.211722689
Konveyor Kecil Usulan 3	532	2	5	1.670756303

Setelah dapat dipastikan bahwa kegiatan kerja *visible* untuk dilakukan berdasarkan nilai SSP, maka nilai – nilai ergonomi untuk semua kondisi usulan proses kerja pada konveyor kecil seperti yang terlihat pada **Tabel 4.22** valid untuk digunakan sebagai bahan analisis selanjutnya. Dari tabel dapat dilihat bahwa nilai

LBA untuk masing – msing usulan berbeda – beda dan membentuk suatu pola dimana semakin tinggi ketinggian konveyor kecil yang diusulkan maka semakin besar nilai LBA. Hal ini dapat dianalisis jika semakin tinggi maka tempat kerja semakin tidak ergonomis karena memberikan tekanan yang semakin tinggi pula pada tulang belakang yang dikarenakan timbulnya postur kerja *stretching* yang semakin besar untuk mencapai ketinggian tersebut. Jika dianalisis berdasarkan standar NIOSH, maka walaupun nilainya berbeda-beda ketiga usulan memiliki kriteria nilai LBA yang masih dalam *Back Compression Action Limit* sebesar 3400 N sehingga masih dapat digolongkan cukup ergonomi.

**Tabel 4.23** Elemen Nilai OWAS Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Usulan

Elemen Nilai OWAS					Total
Tempat Kerja	Punggung	Tangan	Kaki	Beban	
Konveyor Kecil Usulan 1	1	2	1	1	1
Konveyor Kecil Usulan 2	1	2	1	1	1
Konveyor Kecil Usulan 3	2	2	1	1	2

Hasil evaluasi nilai OWAS menunjukkan 2 buah nilai yang berbeda yaitu nilai total 1 untuk usulan 1 dan 2 sedangkan untuk usulan 3 nilai total OWAS yang didapatkan sebesar 2. Berdasarkan hal tersebut maka dapat dianalisis bahwa tingkat kenyamanan yang diberikan oleh kondisi usulan 1 dan 2 jauh lebih tinggi dibandingkan pada usulan 3. Selain hal tersebut, nilai – nilai ini juga membuktikan bahwa rancangan usulan 1 dan 2 untuk ketinggian konveyor kecil menghasilkan postur kerja yang cenderung normal sedangkan pada usulan 3 postur kerja yang ditimbulkan tergolong *Slightly Harmful* dan memerlukan perbaikan di masa yang akan datang. Perbedaan nilai total untuk OWAS tersebut dikarenakan terdapat perbedaan nilai untuk elemen punggung yang merupakan salah satu elemen penyusun nilai OWAS seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.23**. Secara lebih detail penjelasan untuk masing – masing nilai elemen OWAS pada semua kondisi usulan ketinggian konveyor kecil dijelaskan sebagai berikut:

1. Bagian batang tubuh *packer* atau punggung pada semua kondisi usulan 1 dan 2 dalam kategori 1 sedangkan pada usulan 3 berada pada kategori 2. Kategori 1 menunjukkan bahwa punggung membuat postur lurus dan netral sedangkan

kategori 2 menunjukkan bahwa punggung cenderung membungkuk diakibatkan adanya gaya tarik yang besar pada tangan ke depan untuk mencapai konveyor yang tinggi yang secara tidak langsung menarik batang tubuh untuk lebih membungkuk.

2. Bagian tangan model *packer* pada semua kondisi usulan dalam kategori 1 yaitu kedua tangan berada di bawah bahu.
3. Bagian tubuh bawah atau kaki model *packer* pada semua kondisi usulan termasuk dalam kategori 1 yaitu dalam posisi duduk dengan kedua kaki tertopang pada suatu pijakan.
4. Beban yang diterima oleh model *packer* pada semua kondisi usulan tergolong ke dalam kategori 1 yang berarti bahwa beban tersebut masih di bawah 10 kg yaitu 240 gram atau seberat kotak karton berisi 12 unit *cone* es krim pada tangan kanan.

**Tabel 4.24** Elemen Nilai RULA Proses Kerja Pada Konveyor Kecil Usulan

Elemen Nilai Rula	Konveyor Kecil Usulan 1	Konveyor Kecil Usulan 2	Konveyor Kecil Usulan 3
Upper Arm	4	4	4
Lower Arm	3	3	3
Wrist	2	2	2
Wrist Twist	2	2	2
Body Group A Score	6	5	6
Neck	1	1	1
Trunk	1	1	2
Body Group B Score	2	2	3
Total	4	4	5

Seperti halnya dengan nilai OWAS, nilai RULA total untuk proses kerja yang dilakukan pada semua kondisi ketinggian konveyor kecil usulan menunjukkan dua nilai yang berbeda yaitu nilai 4 dan 5. Nilai 4 didapatkan pada kondisi usulan 1 dan 2 sedangkan nilai 5 didapatkan pada kondisi usulan 3. Nilai 4 menunjukkan bahwa postur kerja yang ditimbulkan sudah cukup ergonomis namun tempat kerja yang diusulkan masih memerlukan investigasi dan perubahan lebih lanjut di masa datang, sedangkan nilai 5 menunjukkan bahwa postur kerja yang diusulkan masih memiliki resiko cedera atau *fatigue* yang tinggi sehingga inestigasi dan perubahan perlu dilakukan segera pada tempat kerja tersebut.

Berdasarkan hal tersebut dapat dianalisis bahwa usulan ke-3 rancangan ketinggian konveyor kecil masih kurang ergonomis.

Perbedaan nilai total RULA antar kondisi atau rancangan usulan tersebut dikarenakan terdapat perbedaan pada elemen RULA yang cukup dominan dalam penentuan nilai total yaitu batang tubuh (*trunk*). Perbedaan tersebut dapat dilihat dalam detail nilai elemen RULA seperti pada **Tabel 4.24**. Masing – masing nilai elemen RULA pada postur ekstrim semua kondisi usulan ketinggian konveyor kecil dapat dianalisis lebih lanjut sebagai berikut:

1. lengan atas

Nilai evaluasi untuk lengan bagian atas model *packer* sebesar 4 pada semua kondisi usulan, hal ini berarti lengan atas menyimpang membentuk sudut lebih dari  $90^\circ$  ke atas sebagai upaya untuk mencapai posisi konveyor kecil yang terletak di atas.

2. lengan bawah

Nilai evaluasi untuk lengan bawah *packer* sebesar pada semua kondisi usulan sebesar 3 yang menyatakan bahwa lengan bagian bawah bekerja melewati garis tengah tubuh dalam hal ini melakukan penyimpangan ke arah kiri melewati diameter tubuh.

3. pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan tangan model *packer* pada semua kondisi usulan adalah sebesar 2 yang menunjukkan bahwa pergelangan tangan melakukan gerakan menekuk ke atas atau ke bawah lebih sebesar  $0-15^\circ$ .

4. perputaran pergelangan tangan

Nilai evaluasi untuk pergelangan model *packer* pada semua kondisi usulan adalah 2. Nilai 2 menunjukkan bahwa perputaran yang terjadi sudah berada atau dekat dengan rentang perputaran yang dapat dilakukan oleh pergelangan tangan *packer*.

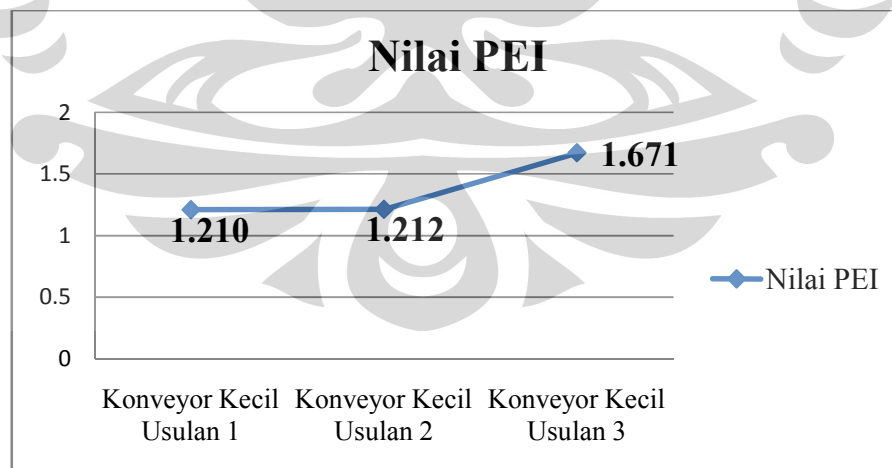
5. leher

Nilai evaluasi RULA untuk leher pada semua kondisi usulan adalah 1 yang berarti bahwa leher menunduk ke bawah sebesar  $0-10^\circ$ .

## 6. batang tubuh

Nilai evaluasi RULA untuk batang tubuh pada kondisi usulan adalah 1 dan 2 adalah sebesar 1 sedangkan pada kondisi usulan 3 adalah sebesar 2. Nilai 1 menunjukkan bahwa batang tubuh pada postur ekstrim berada pada posisi lurus. Sedangkan nilai 2 menunjukkan adanya *bending* ke arah depan pada batang tubuh sebesar 0-20°.

Untuk dapat melakukan analisis secara keseluruhan terhadap tingkat kenyamanan dari usulan – usulan ketinggian konveyor kecil, maka nilai – nilai ergonomi yang sebelumnya telah dianalisis diformulasikan menjadi nilai PEI. Nilai PEI postur kerja pada masing – masing kondisi usulan ketinggian konveyor kecil ditampilkan oleh **Gambar 4.8**. Dari hasil perhitungan PEI, nilai PEI yang diperoleh oleh kondisi usulan 1 dan 2 tampak tidak memiliki perbedaan yang signifikan yaitu sebesar 1.21 dan 1.212. Sedangkan nilai PEI pada kondisi usulan 3 berbeda cukup jauh dari kondisi usulan lainnya dan merupakan nilai PEI tertinggi yaitu sebesar 1.671. Berdasarkan hal tersebut maka dapat dianalisis bahwa kondisi usulan 1 yaitu tempat kerja konveyor kecil setinggi bahu saat duduk merupakan kondisi paling ergonomis dan memberikan kenyamanan optimum karena memiliki nilai PEI terkecil yaitu 1.21. Sedangkan kondisi usulan 3 memberikan postur kerja yang jauh kurang ergonomis dibandingkan dua usulan lainnya.



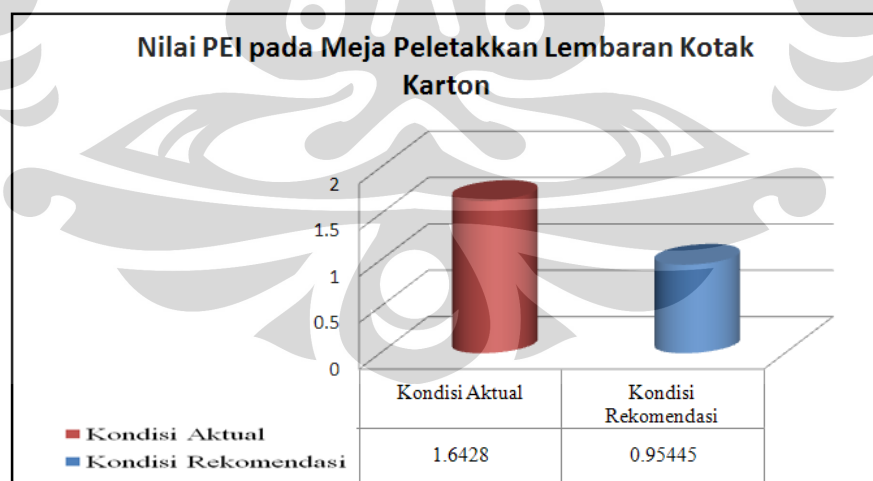
**Gambar 4.8** Perbandingan Nilai PEI Proses Kerja pada Konveyor Kecil Usulan

#### 4.1.3 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Rekomendasi

Analisis perbandingan kondisi aktual dan rekomendasi yang dilakukan setelah menetapkan usulan mana yang memiliki tingkat ergonomi paling optimum bertujuan untuk melihat sejauh mana perubahan nilai PEI antara kondisi aktual dan kondisi tempat kerja yang direkomendasikan. Selain itu dalam analisis ini juga dapat dilihat perubahan pada nilai – nilai ergonomi (LBA, OWAS, dan RULA) dari kondisi aktual menjadi kondisi yang direkomendasikan.

##### 4.1.3.1 Analisis Perbandingan Proses Kerja pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual dan Rekomendasi

Nilai *Posture Evaluation Index* (PEI) pada proses kerja pengambilan lembaran kotak karton mengalami penurunan yang cukup besar dari 1.6428 menjadi 0.95445 setelah ketinggian meja kerja peletakkan lembaran kotak karton diubah menjadi setinggi siku *packer* dalam posisi duduk. Dengan menurunnya nilai PEI, maka dapat dianalisis bahwa tingkat kenyamanan yang dirasakan oleh para *packer* ketika melakukan proses kerja pada meja peletakkan lembaran kotak karton meningkat dan resiko gangguan WMSD menurun. Besarnya penurunan nilai PEI tersebut dapat dilihat pada **Gambar 4.9**.



**Gambar 4.9** Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

Penurunan nilai PEI yang cukup besar tersebut dikarenakan adanya perubahan pada masing – masing nilai ergonomi (LBA, OWAS, dan RULA) yang antara kondisi aktual dan kondisi rekomendasi mengalami penurunan seperti yang terlihat pada **Tabel 4.25**. Nilai LBA menurun dari 437 Newton menjadi 326 Newton, hal tersebut dikarenakan adanya perubahan letak dan ketinggian meja kerja peletakkan lembaran kotak karton yang semakin sejajar dengan siku *packer* saat duduk. Oleh karena hal tersebut, maka *packer* tidak harus memutar dan membungkukkan tubuh ke arah kiri bawah sewaktu melakukan pengambilan lembaran kotak karton.

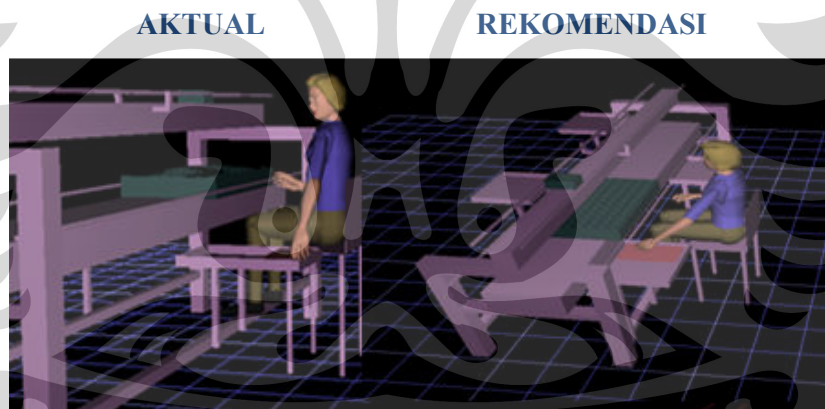
**Tabel 4.25** Perbandingan Nilai – Nilai Ergonomi Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Meja Lembaran Kotak Karton Aktual	437	2	5	1.6428151
Meja Lembaran Kotak Karton Rekomendasi	326	1	3	0.9544538

Perubahan postur kerja yang disebabkan karena penggunaan meja kerja peletakkan lembaran kotak karton dengan spesifikasi yang direkomendasikan selain menyebabkan penurunan nilai LBA juga mengakibatkan penurunan nilai evaluasi OWAS dan RULA. Nilai OWAS menurun dari 2 menjadi 1 penurunan ini dapat dianalisis sebagai perbaikan postur dari golongan *slightly harmful* yang cukup beresiko menyebabkan gangguan WMSD menjadi golongan postur normal. Sedangkan nilai RULA dari nilai 5 menjadi nilai 3 yang dapat dianalisis sebagai perbaikan kondisi postur tubuh menjadi lebih ergonomis dari nilai 5 yang merupakan kondisi postur tubuh yang harus segera mendapat investigasi dan perubahan karena sangat beresiko menimbulkan gangguan pada bagian tubuh pekerja menjadi nilai 3 yang merupakan golongan untuk postur kerja yang cukup ergonomis. Perubahan nilai RULA yang signifikan tersebut terutama disebabkan karena adanya perubahan sikap kerja pada bagian punggung dimana dengan rancangan tempat kerja usulan, tidak ada gerakan membungkuk yang disertai

dengan memutar yang dilakukan oleh *packer* sehingga menyebabkan tekanan pada lumbar L4 dan L5 tulang belakang.

Dengan rancangan meja kerja peletakkan lembaran kotak karton rekomendasi maka terjadi perubahan postur kerja seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 4.10**. Pada gambar tampak jelas bahwa *packer* pada penggunaan meja kerja aktual melakukan gerakan membungkuk dan memutar badannya ke arah kiri karena letak meja yang jauh di bawah tinggi siku dan diletakkan memanjang hingga sisi kiri tubuh *packer*, sedangkan pada meja rekomendasi postur tubuh *packer* untuk mengambil lembaran kotak karton hanya perlu memanjangkan tangan ke depan tubuh tanpa harus membungkuk. Postur tubuh yang terjadi akibat penggunaan meja rekomendasi tersebut disebabkan karena meja kerja dinaikkan hingga setinggi siku dan letaknya tidak memanjang tapi melebar sepanjang sisi depan konveyor sehingga tubuh tidak perlu melakukan putaran ke kiri.



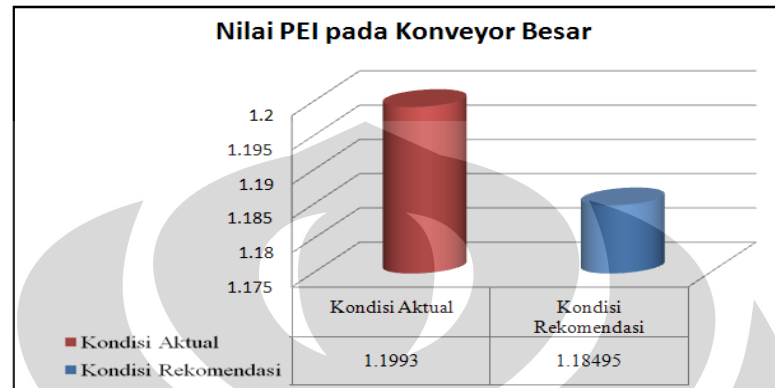
**Gambar 4.10** Perbandingan Postur Kerja Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton

#### 4.1.3.2 Analisis Perbandingan Proses Kerja pada Konveyor Besar Aktual dan Rekomendasi

Nilai PEI *packer* untuk proses kerja pengambilan *cone* es krim pada konveyor besar mengalami penurunan setelah dilakukan pada konveyor rekomendasai. Penurunan tersebut tidak terlalu signifikan yaitu seperti yang dapat dilihat pada **Gambar 4.11** dari 1.1993 menjadi 1.18495. Walaupun tidak terlalu signifikan, dengan adanya penurunan nilai PEI dapat dianalisis bahwa perubahan



ketinggian total konveyor besar menjadi setinggi siku saat posisi duduk *packer* ditambahkan toleransi 5% menghasilkan postur kerja yang lebih ergonomis. Perbaikan postur kerja yang terjadi pada konveyor rekomendasi terutama dialami oleh bagian tubuh tulang belakang dan lengan bagian bawah.



**Gambar 4.11** Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Besar

Penurunan PEI untuk perbaikan postur kerja yang terjadi dari pengaplikasian tempat kerja rekomendasi ketinggian konveyor besar terutama ditunjang oleh adanya perbaikan pada nilai ergonomi LBA. Seperti yang dapat dilihat pada **Tabel 4.26**, nilai LBA menurun dari 468 menjadi 420. Hal tersebut dikarenakan adanya penyesuaian pada ketinggian meja kerja konveyor besar sehingga lebih memberikan kenyamanan pada *packer* ketika melakukan gerakan repetitif pengambilan *cone* es krim. Dengan penggunaan konveyor rekomendasi, tekanan pada bagian punggung, terutama pada L4-L5 (*lumbar disk*) dari ruas-ruas spinal tulang belakang menurun.

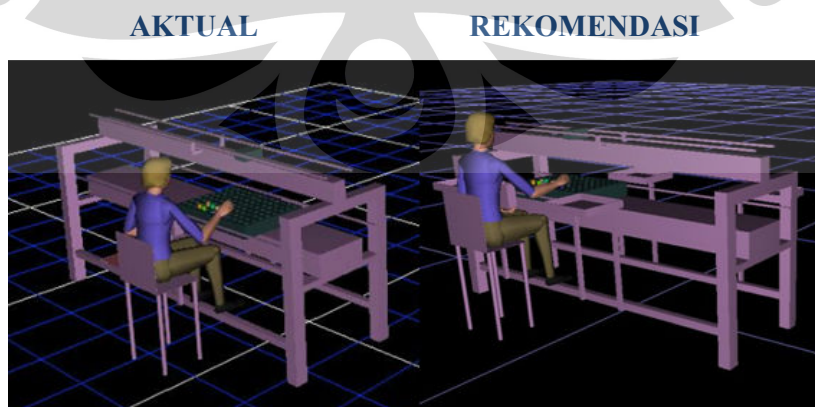
**Tabel 4.26** Perbandingan Nilai – Nilai Ergonomi Proses Kerja Pada Konveyor Besar

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konveyor Besar Aktual	469	1	4	1.1993697
Konveyor Besar Rekomendasi	420	1	4	1.184958

Perubahan nilai – nilai ergonomi lainnya penyusun PEI dari kondisi aktual ke kondisi rekomendasi tidak terjadi pada nilai OWAS dan RULA. Nilai OWAS yang merupakan nilai hasil evaluasi kenyamanan kerja yang diberikan oleh

stasiun tempat proses kerja dilakukan pada kedua kondisi baik aktual dan rekomendasi telah menunjukkan nilai optimal yaitu 1 yang mengindikasikan bahwa telah terbentuk postur kerja normal. Sedangkan nilai RULA yang merepresentasikan tingkat ergonomi dan resiko cedera pada tubuh bagian atas untuk kedua kondisi juga tidak mengalami perubahan yaitu bernilai 4. Nilai 4 tersebut dapat dianalisis bahwa postur kerja cukup ergonomis bagi tubuh bagian atas, namun perubahan dan investigasi lebih lanjut pada masa yang akan datang tetap dibutuhkan karena belum sepenuhnya optimal jika ada penambahan beban dan durasi kerja. Walaupun terjadi penurunan nilai LBA, nilai RULA khususnya pada elemen batang tubuh tidak mengalami penurunan, hal tersebut dapat dianalisis bahwa tingkat penurunan berdasarkan kriteria penilaian OWAS tidak signifikan.

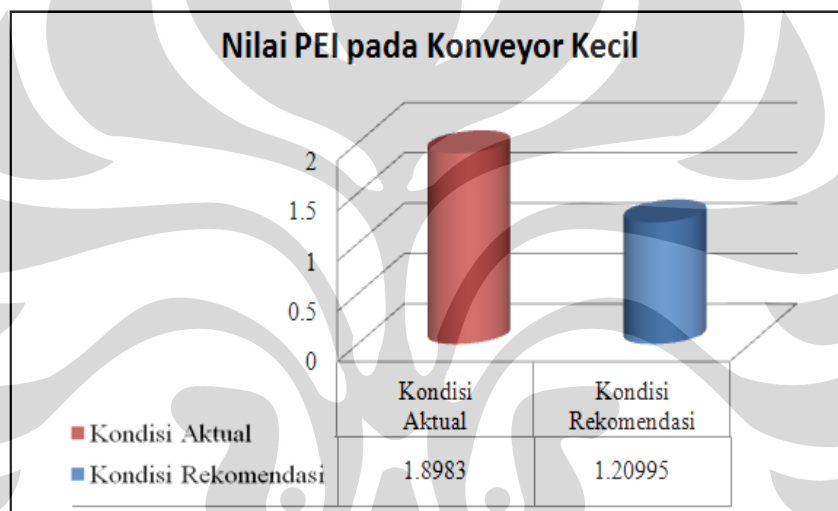
Dengan pengaplikasian rancangan rekomendasi ketinggian konveyor besar maka perubahan postur ekstrim seperti yang terlihat pada **Gambar 4.12** terjadi pada kondisi batang tubuh dan lengan bagian bawah. Pada kondisi aktual ketegangan pada batang tubuh cenderung tinggi karena ketinggian konveyor besar yang kurang memberikan kenyamanan, begitu pula pada lengan bagian bawah yang sedikit tertekuk ke atas karena ketinggian konveyor besar sedikit lebih tinggi dari siku *packer*. Pada postur kerja di konveyor rekomendasi kondisi batang tubuh cenderung lebih rileks dan lengan bawah tidak tertekuk, hal tersebut karena ketinggian total konveyor besar telah disesuaikan dengan menurunkan ketinggian menjadi setinggi siku posisi duduk *packer* ditambahkan toleransi 5%.



**Gambar 4.12** Perbandingan Postur Kerja Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Besar

#### 4.1.3.3 Analisis Perbandingan Proses Kerja pada Konveyor Kecil Aktual dan Rekomendasi

Perbandingan antara nilai PEI postur kerja ekstrim pada kondisi aktual konveyor kecil dengan kondisi yang direkomendasikan yaitu setinggi bahu *packer* dalam posisi duduk mengalami penurunan yang cukup besar. Seperti yang terlihat pada **Gambar 4.13**, terjadi penurunan nilai PEI dari 1.8983 menjadi 1.20995. Penurunan nilai PEI mengindikasikan adanya perbaikan pada postur kerja yang dihasilkan oleh penggunaan konveyor rekomendasi.



**Gambar 4.13** Perbandingan Nilai PEI Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Kecil

**Tabel 4.27** Perbandingan Nilai – Nilai Ergonomi Proses Kerja Pada Konveyor Kecil

Tempat Kerja	LBA	OWAS	RULA	PEI
Konveyor Kecil Aktual	616	2	6	1.8983193
Konveyor Kecil Rekomendasi	505	1	4	1.209958

Penurunan nilai PEI yang cukup besar tersebut dikarenakan terjadi penurunan pada semua nilai - nilai evaluasi ergonomi yaitu LBA, OWAS, dan RULA seperti yang diperlihatkan pada **Tabel 4.27**. Pada LBA terjadi penurunan dari 616 N menjadi 505 N, penurunan tersebut dapat dianalisis bahwa dengan

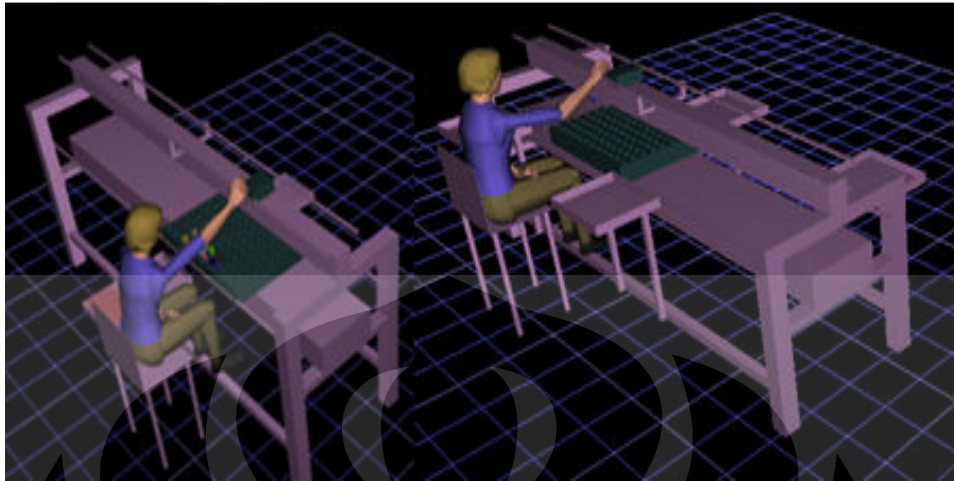
menurunkan ketinggian konveyor kecil maka jarak ke atas yang harus digapai oleh tangan *packer* menjadi berkurang sehingga gaya tarikan dan tekanan yang bekerja pada ruas – ruas tulang belakang ikut berkurang. Selain itu dengan menurunnya jarak jangkauan ke atas, maka *packer* tidak harus terlalu membungkuk untuk dapat mencapai posisi konveyor kecil.

Seperti halnya dengan nilai LBA, penurunan nilai ergonomi juga terjadi pada nilai OWAS dan RULA. Dengan adanya perbaikan postur tulang belakang *packer* maka kenyamanan *packer* juga meningkat sehingga nilai OWAS menurun dari 2 yang merupakan golongan postur yang cukup membahayakan bagi kondisi tubuh (*slightly harmful*) menjadi 1 yaitu postur normal. Nilai RULA pada hasil uji nilai ergonomi pada konveyor kecil yang direkomendasikan menurun sangat signifikan yaitu dari 6 menjadi 4. Penurunan tersebut terutama dikarenakan adanya penurunan pula pada nilai elemen batang tubuh dari 2 menjadi 1 dan lengan bagian atas dari 5 menjadi 4. Oleh karena nilai – nilai tersebut memiliki bobot besar dalam perhitungan nilai total RULA, maka terjadi penurunan yang cukup signifikan pada nilai RULA. Kedua elemen nilai RULA yang telah dijelaskan di atas terjadi terutama karena batang tubuh dan lengan bagian atas tidak perlu ditarik hingga maksimal untuk dapat mencapai konveyor kecil pada rancangan konveyor kecil yang direkomendasikan. Dengan penggunaan konveyor kecil rekomendasi, maka *packer* tidak perlu menggunakan *muscle strength* tangan hingga maksimal seperti yang dilakukannya pada saat melakukan proses kerja peletakkan kotak karton pada konveyor kecil aktual.

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, perbaikan postur kerja yang diberikan dari penggunaan rancangan konveyor kecil rekomendasi terutama dialami oleh bagian tubuh tulang belakang dan lengan bagian atas seperti yang terlihat pada **Gambar 4.14**. Tegangan pada tulang belakang menurun dan *packer* cenderung lebih rileks dalam melakukan peletakkan kotak karton di konveyor kecil rekomendasi. Selain itu tarikan pada otot – otot lengan bagian atas juga berkurang drastis ketika proses kerja yang sama dilakukan pada konveyor kecil dengan ukuran yang direkomendasikan.

## AKTUAL

## REKOMENDASI



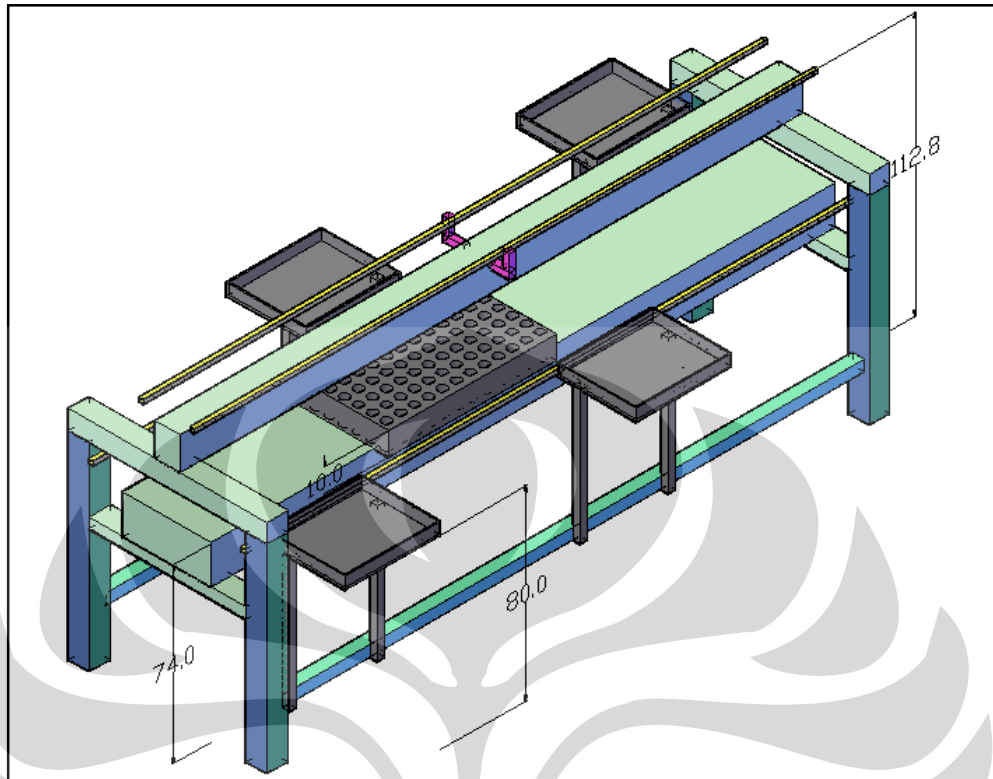
**Gambar 4.14** Perbandingan Postur Kerja Aktual dan Rekomendasi Proses Kerja Pada Konveyor Kecil

#### 4.1.4 Analisis Stasiun Kerja Ideal yang Direkomendasikan

Berdasarkan analisis terhadap nilai PEI optimum yang dihasilkan pada setiap perubahan rancangan stasiun kerja lini *packaging* yang antara lain rancangan stasiun kerja meja peletakkan lembaran kotak karton, konveyor besar, dan konveyor kecil maka dapat dinyatakan bahwa untuk mendapatkan tingkat kenyamanan optimum, ketiga stasiun kerja tersebut harus mengalami perubahan sebagai berikut:

- Ketinggian meja peletakkan lembaran kotak karton diubah menjadi 80 cm dari dasar.
- Ketinggian total konveyor besar (landasan konveyor besar ditambah ketinggian krat *cone* es krim) diturunkan menjadi 84 cm, dimana ketinggian landasan konveyor besar dari dasar menjadi 74 cm dan tinggi krat *cone* es krim tetap 10 cm.
- Ketinggian total konveyor kecil diubah menjadi 112.8 cm dari dasar, total ketinggian tersebut mencakup ketinggian penyangga atas konveyor kecil.

Secara visual rancangan stasiun kerja lini *packaging* yang direkomendasikan ditunjukkan oleh **Gambar 4.15**.



**Gambar 4.15** Rancangan Stasiun Kerja Lini *Packaging* yang Direkomendasikan dalam Satuan Centimeter

- **4.2 Analisis Hasil Pengolahan Data *Discreet Event Simulation* dengan Menggunakan *ProModel***

Hasil pengolahan data dengan menggunakan *software* Jack hanya memberikan *output* akhir suatu rancangan tempat kerja lini *packaging* yang dapat meningkatkan kenyamanan dan performa fisik pekerjaannya, sedangkan untuk dapat meningkatkan efisiensi sistem dari stasiun kerja lini *packaging* yang telah ergonomis tersebut maka dibutuhkan pengolahan data dengan menggunakan metode *discreet event simulation* ProModel. Berdasarkan hal tersebut maka dibuatlah simulasi sistem kerja yang mencakup aliran material dan aliran proses kerja *packer* dari lini *packaging* yang telah memiliki aspek – aspek ergonomis seperti yang telah dibahas dalam Bab 3. Hal yang menjadi tolak ukur efisiensi dalam sistem kerja lini *packaging* Mini Cornetto ini adalah tingkat utilisasi atau pemanfaatan *packer* yang berkerja. Semakin seimbang dan semakin tinggi rata – rata tingkat ulitilisasi *packer*, maka semakin ideal sistem kerja lini *packaging* tersebut.

Di dalam penelitian ini terdapat dua variabel sistem yang dianalisis mempengaruhi tingkat utilisasi *packer* tersebut yaitu jumlah *packer* yang berada dalam sistem dan kecepatan konveyor kerja. Untuk itu dilakukan simulasi dengan dua tahapan. Pada tahapan pertama menggunakan variasi jumlah *packer* dalam sistem yaitu sebanyak 20 yang merupakan jumlah aktual, 18, 16, dan 14 *packer*. Masing – masing simulasi dijalankan selama 8 jam yang merepresentasikan lamanya satu *shift* kerja dalam lini *packaging* tersebut.

Setelah simulasi dijalankan selama 8 jam, maka akan dihasilkan *output* nilai – nilai performa dari atribut sistem. Di dalam penelitian ini hanya digunakan 2 buah jenis *output* simulasi yang berhubungan dengan tujuan dari penelitian ini yaitu *Entity activity* dan *Resource States*. Berdasarkan hasil analisis dari kedua *output* tersebut maka dapat dibandingkan tingkat utilisasi *packer* dari sistem kerja dengan jumlah *packer* yang berbeda. Hasil perbandingan dapat memberikan usulan jumlah *packer* yang ideal yang dapat memberikan tingkat utilisasi yang optimal.

Pada tahap kedua, berdasarkan jumlah *packer* ideal yang telah ditentukan sebelumnya dilakukan simulasi lagi dengan menggunakan variasi kecepatan konveyor kerja yang berbeda – beda. Tujuan dilakukannya simulasi dengan menggunakan variasi kecepatan konveyor adalah untuk dapat menentukan kecepatan konveyor ideal yang harus diaplikasikan pada sistem kerja untuk mendapatkan sistem kerja pada stasiun kerja lini *packaging* yang memiliki keseimbangan tingkat utilisasi *packer* dalam sistem. Didasarkan atas hal – hal yang telah dijelaskan sebelumnya, maka hasil analisis akhir dari *output* ProModel adalah sistem kerja usulan dengan jumlah *packer* dan kecepatan yang lebih ideal dari sistem kerja aktual.

- 4.2.1 Analisis Model dengan Jumlah Personil Aktual

Analisis model sistem kerja dengan jumlah personil aktual dan atribut – atribut sistem kerja aktual seperti kecepatan konveyor dan tingkat kedatangan entitas dilakukan untuk memperoleh gambaran performa yang diberikan oleh sistem kerja lini *packaging* Mini Cornetto yang diterapkan saat ini. Dalam setiap

analisis yang dilakukan pada bagian analisis *output* ProModel terdapat dua tahapan yang dilalui yaitu:

- Analisis validitas dari model simulasi melalui pengecekan jumlah *output* dari sistem kerja yang ditampilkan pada *entity activity report* yang merupakan salah satu *output* simulasi ProModel seperti yang terlihat pada **Gambar 4.16**. Dimana suatu model simulasi dapat dikatakan valid dan hasil –hasil simulasi lainnya pada model tersebut dapat digunakan jika hasil *output* akhir entitas kotak karton berisi 12 unit es krim yang dinotasikan dengan Box isi AB setelah disimulasikan selama 8 jam sama dengan pada kondisi sebenarnya sebesar 24.000 kotak karton.

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
cone A	288000.00	0.00	207.84	0.00	0.00	0.45	207.40
kral A	3000.00	0.00	0.63	0.00	0.00	0.68	0.01
Box AB	0.00	276000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Box isi AB	24000.00	0.00	207.84	0.00	0.17	0.17	207.50
kral isi A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

**Gambar 4.16** Tampilan *Output* ProModel pada Kondisi Entitas Model Aktual

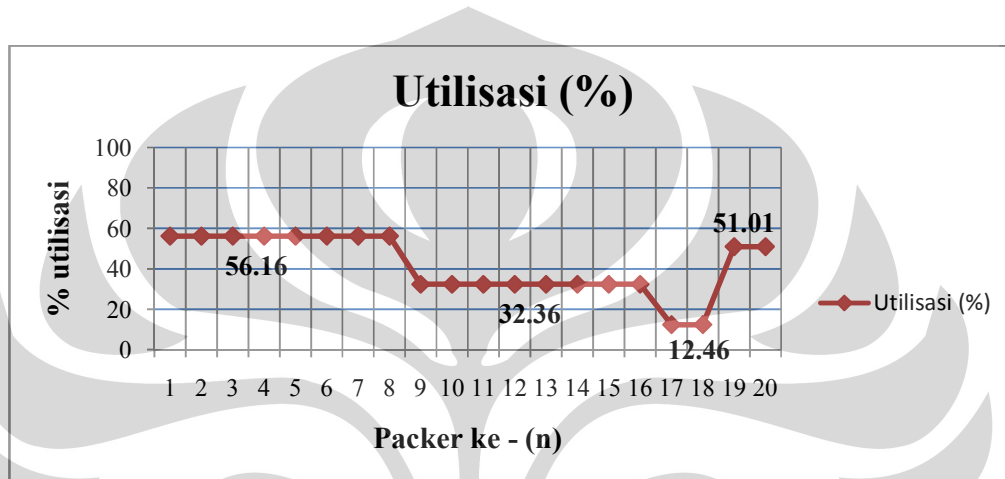
- Analisis tingkat utilisasi masing – masing *packer*, tingkat utilisasi rata – rata *packer*, dan keseimbangan utilisasi antar *packer* dalam sistem kerja berdasarkan *output* simulasi ProModel pada bagian *Resource* seperti yang terlihat pada **Gambar 4.17**.

Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
pack1	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack2	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack3	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack4	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack5	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack6	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack7	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack8	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16
pack9	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack10	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack11	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack12	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack13	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack14	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack15	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack16	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36
pack17	1.00	8.00	717.00	0.08	12.46
pack18	1.00	8.00	717.00	0.08	12.46
pack19	1.00	8.00	2933.00	0.08	51.01
pack20	1.00	8.00	2933.00	0.08	51.01

**Gambar 4.17** Tampilan *Output* ProModel pada Tingkat Pemanfaatan *Resource* Model Aktual



Pada model simulasi kondisi aktual ini didapatkan hasil *output* produksi total yang didapatkan setelah simulasi dijalankan selama 8 jam adalah 24.000 kotak karton berisi es krim. Dengan hasil tersebut maka dapat dianalisis bahwa model simulasi telah valid karena telah sesuai dengan kondisi sistem sebenarnya sehingga *output – output* lainnya dalam simulasi ini dapat dijadikan bahan analisis selanjutnya.



**Gambar 4.18** Tingkat Utilisasi Setiap *Packer* pada Model Aktual

Seperti yang terlihat pada **Gambar 4.18**, tingkat utilisasi atau pemanfaatan *packer* selama 8 jam waktu kerja bervariasi antar satu *packer* dan *packer* lainnya. Tingkat utilisasi tertinggi adalah sebesar 56.16% dan yang terendah sebesar 12.46%. Dengan variasi tersebut didapatkan nilai rata – rata tingkat penggunaan 20 *packer* dalam sistem *packaging* tersebut sebesar 41.76% yang artinya dari 8 jam kerja hanya 41.76% dari jam kerja tersebut *packer* benar – benar dalam kondisi bekerja atau sibuk karena melakukan tahapan proses *packaging*. Sisa waktu dimana *packer* tidak melakukan apapun terjadi karena adanya proses menunggu kedatangan entitas berupa es krim yang mengalir di atas konveyor kerja melewati posisi *packer*. Berdasarkan **Gambar 4.18** juga dapat dilihat bahwa tingkat variasi utilisasi antar *packer* cukup besar yang jika diolah dalam nilai standar deviasi menghasilkan nilai 14.96%. Nilai tersebut terjadi pula karena adanya perbedaan waktu menunggu kedatangan entitas antar satu *packer* dengan *packer* yang lainnya.

Nilai tingkat utilisasi rata – rata *packer* sebesar 41.76% untuk selanjutnya merupakan batasan dalam menentukan jumlah *packer* yang menghasilkan tingkat efisiensi sitem yang lebih baik. Suatu sistem dikatakan memiliki kondisi yang lebih baik dan ideal jika tingkat utilisasi rata - rata *packernya* lebih besar dari tingkat utilisasi rata – rata pada *packer* aktual.

- 4.2.2 Analisis Model dengan Jumlah Personil Usulan

Untuk dapat menentukan jumlah *packer* yang direkomendasikan menggantikan jumlah *packer* aktual sehingga didapatkan sistem yang memiliki efisiensi yang lebih baik maka dilakukan simulasi dengan menggunakan jumlah *packer* yang berbeda – beda. Di dalam penelitian ini jumlah *packer* yang diusulkan adalah 18 , 16, dan 14 *packer*. Jumlah tersebut diusulkan berdasarkan pertimbangan:

- Nila rata – rata utilisasi *packer* dalam sistem dengan jumlah *packer* aktual sebesar 20 *packer* belum mencapai 100% sehingga hanya dengan melakukan pengurangan jumlah *packer* yang memungkinkan untuk mencapai peningkatan utilisasi rata – rata.
- Pengurangan jumlah *packer* sebanyak kelipatan 2 dikarenakan lini *packaging* Mini Cornetto merupakan lini dua sisi sehingga pengurangan jumlah *packer* haruslah genap.

Seperti halnya pada analisis kondisi aktual, analisis pada sistem kerja dengan jumlah *packer* usulan juga dilakukan 2 tahapan dengan hasil analisis pada masing – masing tahapan adalah sebagai berikut:

- Hasil analisis validitas model usulan yang didasarkan pada *output* tabel *entity activity* seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.28**, **4.29**, dan **4.30** menunjukkan bahawa hanya model sistem kerja dengan jumlah *packer* 18 dan 16 orang *packer* yang valid. Hal tersebut dikarenakan hanya pada model simulasi dengan 18 *packer* dan 16 *packer* jumlah *output* produksi yang berupa kotak karton berisi es krim mencapai 24 000. Sedangkan pada model simulasi dengan 14 *packer* jumlah *output* kotak karton berisi es krim yang merupakan syarat validitas suatu model hanya mencapai nilai 22.364. Model 14 *packer* dapat dianalisis tidak sanggup untuk mencapai tingkat hasil produksi yang

diinginkan, dengan hasil tersebut maka hanya model 18 dan 16 *packer* saja yang dapat diperhitungkan sebagai usulan.

**Tabel 4.28** Kondisi Entitas Model 18 *Packer*

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
<i>cone A</i>	288000	0	207.93031	0	0	0.43672	207.49359
krat A	3000	0	0.6259897	0	0	0.616	0.0099897
Box AB	0	246000	0	0	0	0	0
Box isi AB	<b>24000</b>	0	207.93031	0	0.1403343	0.167	207.62297
krat isi A	0	0	0	0	0	0	0

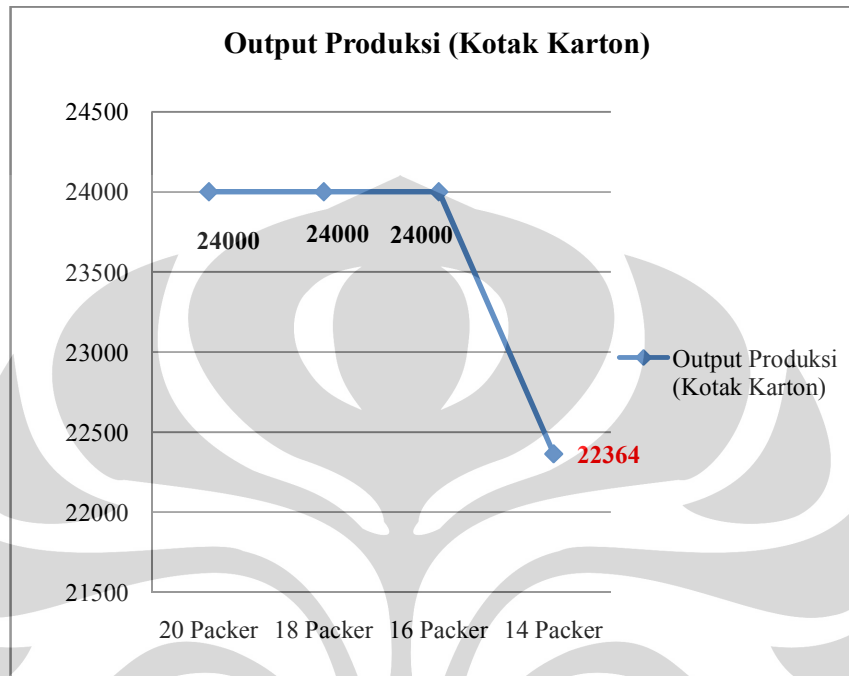
**Tabel 4.29** Kondisi Entitas Model 16 *Packer*

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
<i>cone A</i>	288000	0	212.79221	0	0	0.43	212.37
krat A	3000	0	0.5499897	0	0	0.54	0.0099897
Box AB	0	226000	0	0	0	0	0
Box isi AB	<b>24000</b>	0	212.79221	0	0.1107025	0.17	212.51
krat isi A	0	0	0	0	0	0	0

**Tabel 4.30** Kondisi Entitas Model 14 *Packer*

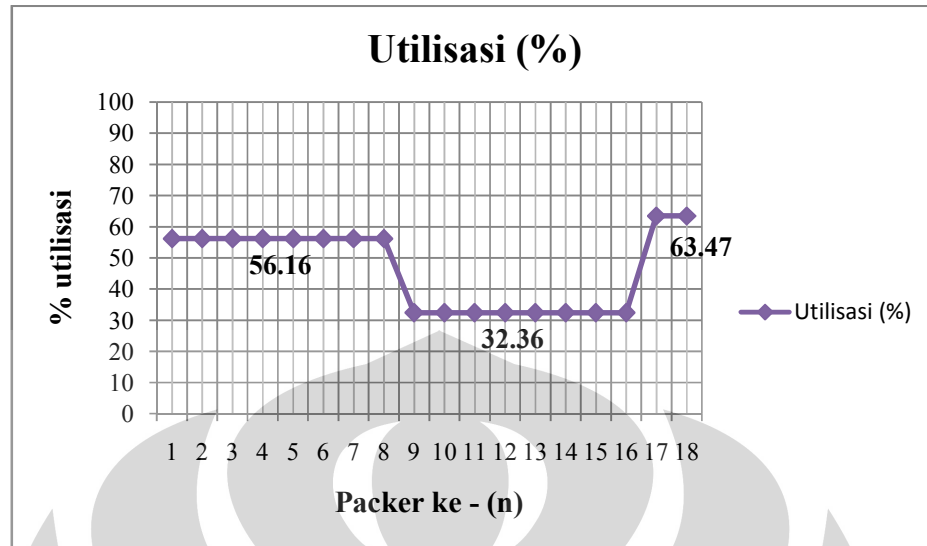
Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
<i>cone A</i>	268368	19632	214.81989	0	0	0.40	214.42
krat A	3000	0	0.4819897	0	0	0.47	0.01
Box AB	0	197636	0	0	0	0	0
Box isi AB	<b>22364</b>	0	214.81989	0	0.10	0.17	214.56
krat isi A	0	0	0	0	0	0	0

Secara grafik perbandingan antara tingkat *output* produksi antar sistem kerja dengan jumlah *packer* yang berbeda diperlihatkan pada **Gambar 4.19**.

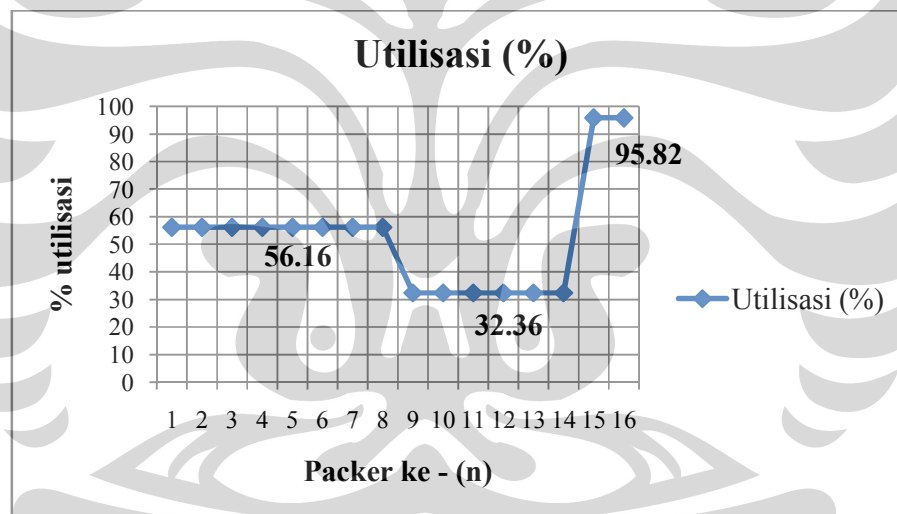


**Gambar 4.19** Perbandingan *Output* Produksi antara Model dengan Jumlah *Packer* yang Berbeda

Setelah ditentukan model usulan yang valid, maka analisis dilanjutkan dengan mencari model dengan jumlah *packer* usulan yang paling ideal untuk direkomendasikan menggantikan sistem kerja aktual. Penentuan jumlah *packer* ideal didasarkan pada tingkat utilisasi rata – rata yang dihasilkan oleh *packer* dalam sistem kerja lini *packaging* tersebut. Hasil simulasi selama 8 jam untuk model dengan jumlah *packer* 18 orang menunjukkan tingkat utilisasi masing – masing *packer* seperti pada **Gambar 4.20** dengan tingkat utilisasi rata – rata 46.40%. Sedangkan tingkat utilisasi masing – masing *packer* dalam sistem dengan jumlah *packer* 16 orang ditunjukkan oleh **Gambar 4.21** dengan tingkat utilisasi rata – rata *packer* sebesar 52.20%



**Gambar 4.20** Tingkat Utilisasi Setiap *Packer* pada Model 18 *Packer*



**Gambar 4.21** Tingkat Utilisasi Setiap *Packer* pada Model 16 *Packer*

Berdasarkan nilai *output* simulasi kedua model usulan jumlah *packer* dapat dianalisis bahwa sistem kerja dengan jumlah *packer* 16 orang memiliki tingkat utilisasi rata – rata *packer* yang lebih tinggi dibanding pada sistem dengan jumlah *packer* 18 orang. Berdasarkan hal tersebut maka jumlah *packer* 16 orang merupakan jumlah yang paling optimal untuk ditempatkan pada lini *packaging* Mini Cornetto sehingga menghasilkan perbaikan efisiensi sistem kerja.

#### 4.2.3 Analisis Model dengan Jumlah Personil dan Kecepatan Konveyor Usulan

Setelah mendapatkan jumlah personil ideal yang menghasilkan peningkatan efisiensi sistem sebagai akibat dari peningkatan utilisasi pekerja, analisis dilanjutkan untuk menentukan nilai perubahan kecepatan konveyor untuk menghasilkan sistem kerja dengan keseimbangan utilisasi *packer* yang lebih baik. Hal tersebut dilakukan agar perbaikan pada sistem merupakan suatu perbaikan yang menyeluruh bukan hanya menghasilkan peningkatan utilisasi tetapi juga menghasilkan keseimbangan kerja antar *packer* dalam sistem.

Usulan kecepatan yang akan disimulasikan dalam sistem ini adalah pengurangan 0.5 m/menit dari kecepatan aktual sebesar 11 m/menit. Di dalam usulan kecepatan konveyor diturunkan dan bukan ditingkatkan karena didasarkan pada standar ergonomi yang menyatakan bahwa kecepatan ideal konveyor secara ergonomi adalah di bawah 10 m/ menit. Sehingga untuk analisis di dalam sistem kerja pada stasiun kerja lini *packaging* yang pertimbangan dasar pembentukannya adalah ergonomi, maka dilakukan pengurangan kecepatan. Pada **Tabel 4.31** ditunjukkan hasil pengecekan validitas model usulan dengan melihat tingkat *output* produksi, nilai kecepatan 11.5 m/menit dan 12 m/menit disertakan hanya sebagai perbandingan untuk melihat pola *output* yang dihasilkan dan tidak dijadikan pertimbangan dalam pemilihan kecepatan ideal.

**Tabel 4.31** Rekapitulasi Tingkat Ouput Produksi Model 16 *Packer* dengan Kecepatan yang Diusulkan

Kecepatan (m/menit)	Output Produksi (Kotak Karton)	Kecepatan (m/menit)	Output Produksi (Kotak Karton)
3 m/ menit	23010	8 m/ menit	24000
3.5 m/menit	24000	8.5 m/menit	24000
4 m/ menit	24000	9 m/ menit	24000
4.5 m/menit	24000	9.5 m/menit	24000
5 m/ menit	24000	10 m/ menit	24000
5.5 m/menit	24000	10.5 m/menit	24000
6 m/ menit	24000	11 m/ menit	24000
6.5 m/menit	24000	11.5 m/menit	24000
7 m/ menit	24000	12 m/ menit	24000
7.5 m/menit	24000		

Berdasarkan rekapitulasi nilai *output* produksi dari model sistem kerja lini *packaging* dengan variasi kecepatan konveyor, maka dapat dianalisis bahwa

hanya model dengan kecepatan usulan hingga 3.5 m/menit merupakan model yang valid karena memiliki tingkat *output* produksi yang sama dengan kondisi aktual. Sedangkan model dengan kecepatan konveyor 3m/menit yang hanya memiliki tingkat produksi sebesar 23.010 mengindikasikan model tersebut tidak valid dan tidak dapat digunakan sebagai pertimbangan dalam penelitian ini. Perbandingan dalam grafik antara tingkat *output* produksi ditunjukkan oleh **Gambar 4.22**.



**Gambar 4.22** Perbandingan antara Tingkat Output Produksi Model 16 *Packer* dengan Kecepatan – Kecepatan yang Diusulkan

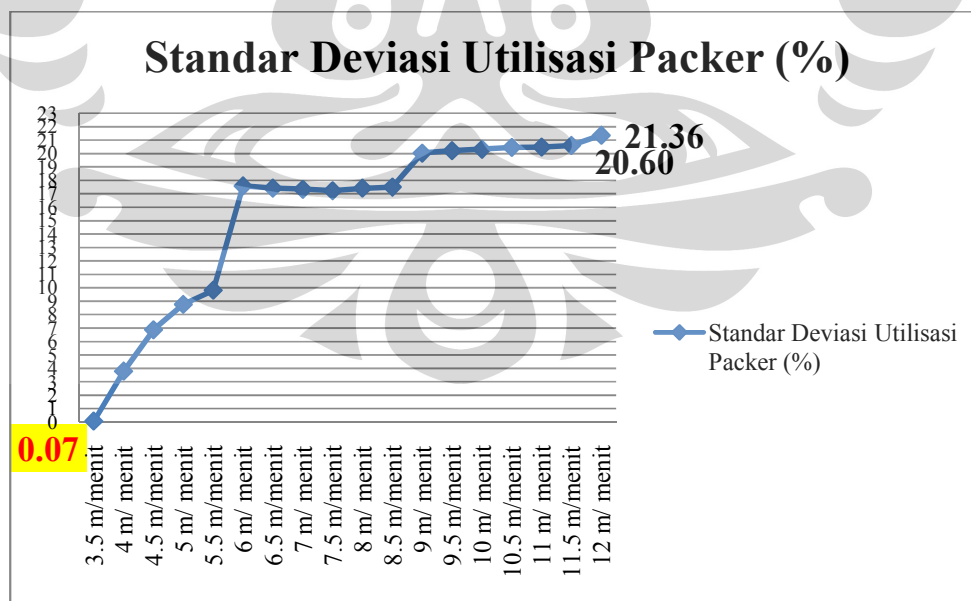
**Tabel 4.32** Rekapitulasi Tingkat Standar Deviasi Utilisasi *Packer* Rata – Rata pada Model 16 *Packer* dengan Kecepatan – Kecepatan yang Diusulkan

Kecepatan (m/menit)	Standar Deviasi Utilisasi <i>Packer</i> (%)	Kecepatan (m/menit)	Standar Deviasi Utilisasi <i>Packer</i> (%)
3.5 m/menit	0.07	8 m/ menit	17.42
4 m/ menit	3.79	8.5 m/menit	17.51
4.5 m/menit	6.88	9 m/ menit	20.03
5 m/ menit	8.77	9.5 m/menit	20.21
5.5 m/menit	9.82	10 m/ menit	20.32
6 m/ menit	17.59	10.5 m/menit	20.46
6.5 m/menit	17.43	11 m/ menit	20.48
7 m/ menit	17.34	11.5 m/menit	20.60
7.5 m/menit	17.23	12 m/ menit	21.36

Setelah model sistem kerja usulan terbukti valid, maka analisis pada model yang diusulkan dapat dilanjutkan. Untuk menentukan perubahan kecepatan

sehingga menghasilkan perbaikan tingkat utilisasi *packer*, maka dilakukan perbandingan antara standar deviasi utilisasi *packer* di dalam sistem seperti yang ditunjukkan oleh **Tabel 4.32**. Sistem kerja dengan standar deviasi terkecil dapat dianalisis merupakan sistem kerja yang memiliki tingkat keseimbangan utilisasi antar *packer* tertinggi. Berdasarkan perbandingan nilai tersebut maka kecepatan 3.5 m/menit memiliki standar deviasi yang terkecil sehingga dapat dianalisis bahwa kecepatan 3.5 m/menit merupakan kecepatan konveyor yang dapat menghasilkan keseimbangan utilisasi yang paling optimal untuk sistem kerja yang terdapat pada stasiun kerja lini *packaging* Mini Cornetto.

**Gambar 4.23** menunjukkan pola nilai standar deviasi utilisasi *packer* yang terbentuk dengan adanya perubahan pada kecepatan konveyor. Standar deviasi utilisasi *packer* akan menurun jika kecepatan konveyor diturunkan, sebaliknya cenderung meningkat dengan adanya peningkatan pada kecepatan konveyor. Dengan hal tersebut maka dapat dianalisis bahwa semakin kecil kecepatan konveyor maka semakin seimbang beban kerja yang diterima antar *packer* sehingga tingkat pemanfaatan antara satu *packer* dengan yang lainnya semakin seimbang. Dalam penelitian ini batasan minimum kecepatan konveyor yang valid adalah 3.5 m/menit. Sehingga kecepatan 3.5 m/menit merupakan nilai kecepatan konveyor yang ideal.

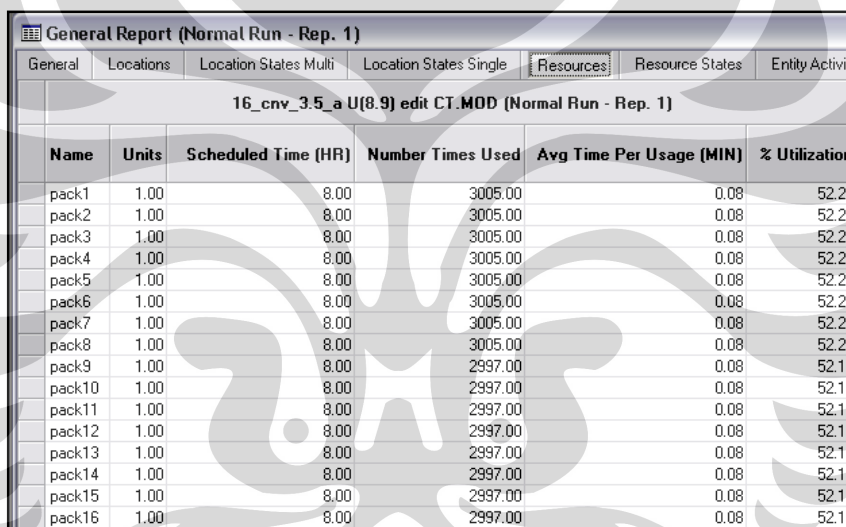


**Gambar 4.23** Perbandingan Tingkat Standar Deviasi Utilisasi *Packer* Rata – Rata pada Model 16 *Packer* dengan Kecepatan – Kecepatan yang Diusulkan



#### 4.2.4 Analisis Perbandingan Kondisi Aktual dan Usulan

Hasil analisis sebelumnya menunjukkan sistem kerja pada stasiun kerja lini *packaging* yang direkomendasikan adalah sistem kerja dengan 16 *packer* dan kecepatan konveyor 3.5 m/menit. Sistem kerja yang direkomendasikan ini menghasilkan tingkat utilisasi antar *packer* yang paling seimbang dibandingkan dengan sistem kerja usulan lainnya. Keseimbangan utilisasi antar *packer* yang hampir sempurna yaitu sebesar 0.07% tersebut dikarenakan variasi tingkat pemanfaatan atau utilisasi di dalam sistem kerja yang sangat kecil yaitu antara 52.13% dan 52.26% seperti yang ditunjukkan pada tampilan *output* simulasi promodel pada **Gambar 4.24**.



Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
pack1	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack2	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack3	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack4	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack5	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack6	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack7	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack8	1.00	8.00	3005.00	0.08	52.26
pack9	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13
pack10	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13
pack11	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13
pack12	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13
pack13	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13
pack14	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13
pack15	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13
pack16	1.00	8.00	2997.00	0.08	52.13

**Gambar 4.24** Tampilan *Output* Promodel Tingkat Utilisasi 16 *Packer* pada Kecepatan Rekomendasi

Jika dibandingkan dengan performa yang dihasilkan oleh sistem kerja aktual, maka sistem kerja rekomendasi yang mengalami perubahan jumlah *packer* dan kecepatan konveyor menghasilkan perbaikan yang cukup signifikan terhadap tingkat utilisasi dan keseimbangan utilisasi *packer* seperti yang terlihat pada **Tabel 4.33**. Tingkat utilisasi sistem kerja dengan pengaplikasian sistem kerja rekomendasi meningkat sebesar 10.44% dari 41.76% menjadi 52.20%. Sedangkan keseimbangan tingkat utilisasi antar *packer* yang diukur melalui standar deviasi

mengalami peningkatan sangat tinggi dikarenakan standar deviasi utilisasi antar *packer* menurun dari 14.96% menjadi 0.07% atau sebesar 14.89%.

**Tabel 4.33** Rekapitulasi Perbandingan antara Kondisi Sistem Aktual dan Rekomendasi

Atribut Sistem	Aktual	Rekomendasi	Satuan
Jumlah <i>Packer</i>	20	16	Orang
Kecepatan Konveyor	11	3.5	m/menit
<i>Output</i> Produksi	24000	24000	Kotak Karton
Rata - Rata Utilisasi <i>Packer</i>	41.76	52.2	%
Standar Deviasi Utilisasi <i>Packer</i>	14.96	0.07	%
Panjang Konveyor	1340	1081	cm

Perubahan terhadap jumlah *packer* dan kecepatan konveyor pada sistem kerja yang terdapat pada stasiun kerja lini *packaging* Mini Cornetto ini bukan hanya memberikan perbaikan terhadap tingkatan utilisasi *packer* saja, tetapi secara efisiensi biaya dapat dianalisis perubahan tersebut memberikan beberapa keuntungan bagi perusahaan yaitu adanya penghematan biaya penggunaan tenaga kerja sebanyak 4 orang *packer* tiap *shift*nya yaitu dari 20 *packer* menjadi 16 *packer*. Selain hal tersebut juga terjadi efisiensi dari penggunaan panjang konveyor yang secara ergonomi untuk 20 *packer* dibutuhkan 1340 cm, tetapi karena adanya pengurangan *packer* menjadi 16 orang maka hanya dibutuhkan panjang konveyor sebesar 1081 cm.

- **BAB 5**
- **KESIMPULAN**

Bab 5 merupakan bab penutup yang berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan manfaat dari hasil penelitian. Selain kesimpulan, pada bab ini juga berisi saran yang berguna baik itu bagi pengimplementasian hasil penelitian dan penelitian selanjutnya.

- **5.1 Kesimpulan**

Dari penelitian yang telah dilakukan dengan objek lini *packaging* Mini Cornetto maka dapat disimpulkan:

1. Telah dibuat suatu model simulasi virtual yang menggambarkan proses – proses kerja *virtual human* yang mewakili di dalam suatu *virtual environment* yang merupakan representasi stasiun kerja lini *packaging* Mini Cornetto dengan menggunakan *software* Jack. Simulasi yang telah dibuat tersebut merupakan dasar analisis terhadap kondisi ergonomi stasiun kerja yang digunakan. Proses kerja yang disimulasikan dibagi menjadi tiga kelompok berdasarkan stasiun kerja yang terlibat di dalam proses tersebut yaitu:
  - Proses kerja pengambilan lembaran kotak karton yang melibatkan meja peletakkan lembaran kotak karton.
  - Proses kerja pengambilan *cone* es krim yang melibatkan konveyor besar.
  - Proses kerja peletakkan kotak karton berisi es krim yang melibatkan konveyor kecil.
2. Simulasi proses – proses kerja pada lini *packaging* Mini Cornetto dibuat dengan menggunakan konfigurasi stasiun kerja aktual dan juga konfigurasi stasiun kerja usulan yang dibuat sebanyak tiga untuk masing – masing stasiun kerja. Telah dilakukan perbandingan *Posture Evaluation Index* (PEI) hasil simulasi untuk masing – masing *critical posture* yang terjadi pada proses kerja yang dilakukan oleh pekerja.
3. Untuk proses kerja pengambilan lembaran kotak karton dengan menggunakan stasiun kerja meja pengambilan lembaran kotak karton

aktual didapatkan nilai PEI sebesar 1.6428. Jika stasiun kerja meja pengambilan lembaran kotak karton diubah sesuai dengan usulan pertama yang diajukan maka nilai PEI yang dihasil adalah sebesar 0.9545. Usulan pertama yang diajukan adalah mengubah ketinggian meja peletakkan lembaran menjadi setinggi siku pekerja dalam posisi duduk atau dari 58 cm menjadi 80 cm yang diukur dari dasar. Penurunan nilai PEI tersebut menunjukkan bahwa perubahan ketinggian meja kerja peletakkan lembaran kotak karton sesuai dengan yang diusulkan dapat meningkatkan kenyamanan pekerja karena mengurangi gerakan membungkuk dan memutar yang beresiko bagi kesehatan pekerja.

4. Untuk proses kerja pengambilan *cone* es krim dengan menggunakan stasiun kerja konveyor besar aktual didapatkan nilai PEI sebesar 1.1993. Jika stasiun kerja konveyor besar diubah sesuai dengan usulan kedua yang diajukan maka nilai PEI yang dihasil adalah sebesar 1.18495. Usulan kedua yang diajukan adalah mengubah ketinggian total meja kerja konveyor besar menjadi setinggi siku pekerja dalam posisi duduk ditambah toleransi 5% atau dari 94 cm menjadi 84 cm dari dasar. Penurunan nilai PEI tersebut menunjukkan bahwa perubahan ketinggian meja kerja peletakkan lembaran kotak karton sesuai dengan yang diusulkan dapat meningkatkan kenyamanan pekerja karena mengurangi postur menekuk pada lengan.
5. Untuk proses kerja peletakkan kotak karton berisi es krim dengan menggunakan stasiun kerja konveyor kecil aktual didapatkan nilai PEI sebesar 1.8983. Jika stasiun kerja konveyor kecil diubah sesuai dengan usulan pertama yang diajukan maka nilai PEI yang dihasil adalah sebesar 1.20995. Usulan pertama yang diajukan adalah mengubah ketinggian total meja kerja konveyor kecil menjadi setinggi siku pekerja dalam posisi atau dari 135.5 cm menjadi 112.8 cm dari dasar. Penurunan nilai PEI tersebut menunjukkan bahwa perubahan ketinggian meja kerja peletakkan lembaran kotak karton sesuai dengan yang diusulkan dapat meningkatkan kenyamanan pekerja karena mengurangi tegangan dan gaya tarik yang dialami oleh lengan bagian atas.

6. Selain telah dibuat simulasi dengan menggunakan *software* Jack, pada penelitian ini juga telah dibuat simulasi aliran material dan aliran proses dengan menggunakan ProModel pada lini *packaging* Mini Cornetto yang rancangan lokasi dan waktu prosesnya telah mengalami intervensi ergonomi. Berdasarkan hasil simulasi ProModel didapatkan hasil analisis akhir bahwa perubahan jumlah pekerja dari kondisi aktual sebanyak 20 orang menjadi 16 orang *packer* dapat menghasilkan perubahan tingkat utilisasi dari 41.76% menjadi 52.20%. Dengan penggunaan 16 pekerja saja target produksi aktual tetap dapat tercapai dan terjadi peningkatan optimalisasi penggunaan pekerja yang ditandai dengan peningkatan utilisasi.
7. Perubahan jumlah pekerja disertai dengan perubahan kecepatan konveyor kerja dari 10 m/menit menjadi 3.5 m/menit menghasilkan keseimbangan utilisasi antar pekerja yang lebih baik dari tingkat keseimbangan aktual. Hal tersebut ditandai dengan penurunan standar deviasi antar *packer* dari 14.96% menjadi 0.07%. Selain meningkatkan keseimbangan kerja, perubahan kecepatan konveyor tersebut juga dapat mengurangi resiko terjadinya *motion sickness* pada pekerja akibat pelaksanaan proses kerja di sekitar konveyor berjalan.
8. Dengan perubahan rancangan stasiun kerja menjadi lebih ergonomis maka terjadi peningkatan kualitas postur kerja serta kenyamanan kerja. Peningkatan kualitas postur dan kenyamanan kerja tersebut mencegah timbulnya keluhan fisik yang dapat dialami pekerja seperti keluhan *Low Back Pain* dan sebagainya. Bagi perusahaan sendiri, dengan adanya kondisi ini maka perusahaan diuntungkan dengan menurunnya pengeluaran biaya insentif kesehatan yang harus diberikan kepada pekerja yang mengalami keluhan – keluhan fisik akibat menurunnya resiko timbulnya keluhan fisik pada pekerja.
9. Perubahan rancangan stasiun kerja yang lebih ergonomis dan pengurangan jumlah pekerja menjadi lebih efisien memberikan peningkatan produktifitas bagi lini *packaging* ini. Dengan peningkatan produktifitas maka perusahaan akan diuntungkan dengan adanya peningkatan

keuntungan. Peningkatan produktifitas tersebut diperoleh karena adanya peningkatan performa kerja, peningkatan pemanfaatan waktu kerja efektif pekerja akibat peningkatan utilisasi, serta peningkatan efisiensi dari penggunaan sumber daya pekerja.

10. Keuntungan lainnya yang didapat oleh perusahaan dengan mengimplementasikan hasil penelitian ini khususnya dalam hal penelitian jumlah pekerja adalah penghematan biaya tenaga kerja akibat pengurangan biaya tenaga kerja yang tidak efektif.

## • 5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan – kesimpulan yang didapat sebagai hasil akhir dari penelitian ini, peneliti juga mengajukan beberapa saran antara lain:

1. Membuat titik – titik penempatan pekerja yang tetap di dalam lini *packaging* Mini Cornetto, hal ini bertujuan agar terdapat suatu standar jarak antar pekerja.
2. Menstandarkan penggunaan kursi atau posisi duduk pada pekerja lini *packaging* Mini Cornetto.
3. Memprioritaskan pada perbaikan rancangan ketinggian konveyor kecil dikarenakan dari ketiga stasiun kerja yang dianalisis, stasiun kerja konveyor kecil aktual memiliki tingkat resiko cedera tubuh tertinggi akibat rendahnya kenyamanan yang diberikan dan buruknya postur kerja yang ditimbulkan.
4. Menstabilkan tingkat kedatangan krat berisi *cone* es krim ke dalam aliran konveyor kerja karena jika tingkat kedatangan tidak stabil maka resiko terjadinya *bloking* pada jalannya proses kerja *packer* semakin tinggi.
5. Memberikan pelatihan secara intensif kepada *packer* – *packer* baru agar dapat melakukan proses – proses kerja sesuai dengan waktu baku yang telah ditentukan untuk masing – masing proses kerja. Hal tersebut bertujuan untuk menjaga keseimbangan kecepatan kerja antar *packer* di dalam lini *packaging* Mini Cornetto ini.

## DAFTAR REFERENSI

- Asllani, A., Dileepan, P., & Etkin, L. (2007). A Methodology for using simulation to optimize emergency mass vaccination parameters. *Journal of Medical System*, 31, 453-459.
- Banks, J., Carson, J., & Nelson, B. (2005). *Discrete-event system simulation* (4<sup>th</sup> ed). New Jersey: Prentice Hall.
- Barnes, R.M. (1980). *Motion and time study design and measurement of work* (7<sup>th</sup> ed). Singapore: John Wiley & Sons.
- Bridger, R.S. (2003). *Introduction to Ergonomics* (2<sup>nd</sup> ed.). New York: Taylor & Francis.
- Caputo, F., Giuseppe Di Gironimo, and Adelaide Marzano. (2006). *A Structured Approach to Simulate Manufacturing Systems in Virtual Environment*. Italia: University of Naples Federico.
- Caputo, F., Di Gironimo, G., Marzano, A. (2006). Ergonomic Optimization of a Manufacturing System Work Cell in a Virtual Environment. *Acta Polytechnica Vol. 46 No. 5/2006*.
- Di Gironimo, G., Martorelli, M., Monacelli, & G., Vaudo, G. (2001). *Using of Virtual Mock-Up for Ergonomic Design*. In: *Proceed of The 7<sup>th</sup> International Conference on "The Role of Experimentation in the Automotive Product Development Process" – ATA 2001, Florence*.
- Harrell, C., Ghosh, B. K., & Bowden, R. (2004). *Simulation using promodel* (2<sup>nd</sup> ed). New York: McGraw-Hill.
- Helander, Martin. (2006). *A Guide to Human Factors & Ergonomics*. New York: CRC Oress Taylor & Francis Group.
- Health and Safety Executive. (2002). *Ergonomic Considerations for Designing and Selecting Conveyor Belt Systems*. London: HSE Books.

Rubinstein, R.Y. & Kroese, D.P. (2008). *Simulation and the monte carlo method* (2<sup>nd</sup> ed). New Jersey : John Wiley & Sons.

Sanders. S, Mark and Ernest J McCormick. (1993). *Human Factor in Engineering and Desain*. Singapore: McGraw-Hill Inc.

Sutalaksana, Iftikar, Z. (1982) , *Teknik Tata Cara Kerja*, Bandung: KMTI ITB.

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

Tarwaka, Bakri, Solichul, HA. Sudiajeng, Lilik. (2004). *Ergonomi Untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja dan Produktivitas*. UNIBA Press.

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

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



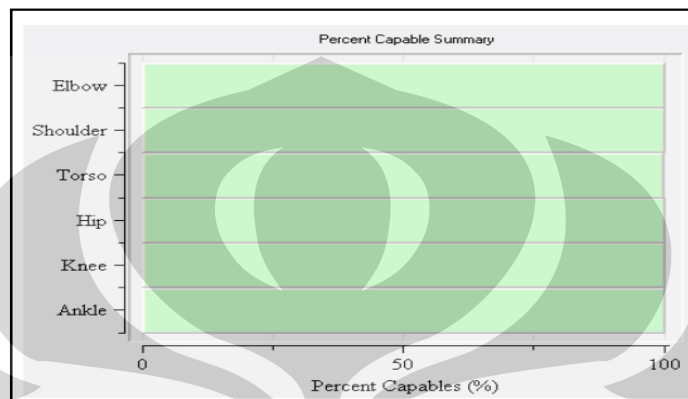
LAMPIRAN 1

## CONTOH LAPORAN JACK

### A. Static Strength Prediction Report (SSP)

Operasi: Mengambil Lembaran Kotak Karton

Lokasi: Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual



Capability Summary Chart											
		Left					Right				
		Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)	Moment (Nm)	Muscle Effect	Mean (Nm)	SD (Nm)	Cap (%)
Elbow		-1	--	37	10	100	-1	FLEXN	41	11	100
Shoulder	Abduc/Adduc	-1	ABDUCT	39	10	100	-1	ABDUCT	38	10	100
	Rotation Bk/Fd	-0	--	46	16	100	-0	--	50	17	100
	Humeral Rot	-0	--	20	5	100	-0	--	22	6	100
Trunk	Flex/Ext	-3	EXTEN	268	93	100					
	Lateral Bending	-9	RIGHT	86	20	100					
	Rotation	0	--	57	17	100					
Hip		0	--	117	39	100	0	--	118	40	100
Knee		0	--	107	37	100	0	--	108	37	100
Ankle		0	--	83	23	100	0	--	83	23	100

Joint Angle Summary				
Calculated Limb Angles		Calculated Trunk Angles		
	Left	Right		
Elbow included	117	87	Trunk Flexion	91
Shoulder Vertical	11	4	Trunk Lateral Bend	-9
Shoulder Horizontal	26	53	Trunk Rotation	17
Humeral Rotation	12	37		
Hip Included	90	91		
Knee Included	90	91		
Ankle Included	90	91		

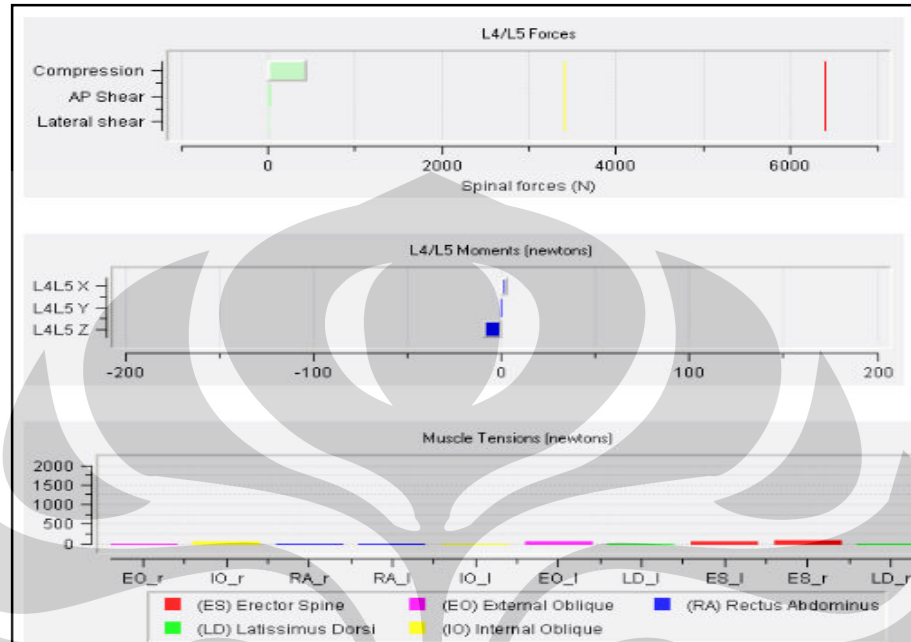
  

Loads And Weights		
left_finger00.tip	Weight	10.0 gr
Strategy: "Sitting"		
Gravity: (0.00, -980.66, 0.00) cm/sec <sup>2</sup>		

## B. Jack Low Back Analysis Report (LBA)

Operasi: Mengambil Lembaran Kotak Karton

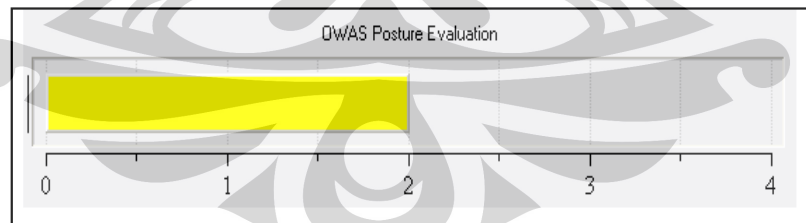
Lokasi: Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual



### Analysis Recommendations

The low back compression force of 437.00 is below the NIOSH Back Compression Action Limit of 3400 N, representing a nominal risk of low back injury for most healthy workers.

## C. Jack Ovako Working Posture Analysis Report (OWAS)



(Owas Code: 4111)

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

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

D. Jack Rapid Upper Limb Assessment Report (RULA)

Operasi: Mengambil Lembaran Kotak Karton

Lokasi: Meja Peletakkan Lembaran Kotak Karton Aktual

**Body Group A Posture Rating**

Upper arm: 2

Lower arm: 3

Wrist: 3

Wrist Twist: 2

Total: 5

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

Arms: Not supported

**Body Group B Posture Rating**

Neck: 1

Trunk: 3

Total: 4

Muscle Use: Action repeated more than 4 times per minute

Force/Load: < 2 kg intermittent load

**Legs and Feet Rating**

Seated, Legs and feet well supported. Weight even.

**Grand Score: 5**

Action: Investigation and changes are required soon.

LAMPIRAN 2

## CONTOH LAPORAN PROMODEL

### Tampilan Hasil Simulasi Sistem 20 *Packer*, Kecepatan Konveyor 11 m/menit

#### A. Tampilan Aktivitas Entitas

General Report (Normal Run - Rep. 1)								
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Resources	Resource States	Entity Activity	Entity States	Variables
20.1_cnv_11_a U (8.9) edit CT.MOD (Normal Run - Rep. 1)								
Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)	
cone A	288000.00	0.00	207.84	0.00	0.00	0.45	207.40	
krat A	3000.00	0.00	0.69	0.00	0.00	0.68	0.01	
Box AB	0.00	276000.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	
Box isi AB	24000.00	0.00	207.84	0.00	0.17	0.17	207.50	
krat isi A	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	

#### B. Tampilan Utilisasi *Resource*

General Report (Normal Run - Rep. 1)						
General	Locations	Location States Multi	Location States Single	Resources	Resource States	Entity Activity
20.1_cnv_11_a U (8.9) edit CT.MOD (Normal Run - Rep. 1)						
Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization	
pack1	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack2	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack3	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack4	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack5	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack6	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack7	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack8	1.00	8.00	3229.00	0.08	56.16	
pack9	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack10	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack11	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack12	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack13	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack14	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack15	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack16	1.00	8.00	1861.00	0.08	32.36	
pack17	1.00	8.00	717.00	0.08	12.46	
pack18	1.00	8.00	717.00	0.08	12.46	
pack19	1.00	8.00	2933.00	0.08	51.01	
pack20	1.00	8.00	2933.00	0.08	51.01	

### Tabel Laporan Simulasi Sistem 20 Packer, Kecepatan Konveyor 11 m/menit

#### A. Laporan Aktivitas Entitas

Name	Total Exits	Current Qty In System	Avg Time In System (MIN)	Avg Time In Move Logic (MIN)	Avg Time Waiting (MIN)	Avg Time In Operation (MIN)	Avg Time Blocked (MIN)
cone A	288000	0	207.8400673	0	0	0.445027333	207.3950399
krat A	3000	0	0.693989667	0	0	0.684	0.009989667
Box AB	0	276000	0	0	0	0	0
Box isi AB	24000	0	207.8400673	0	0.174387917	0.167	207.4986793
krat isi A	0	0	0	0	0	0	0

#### B. Laporan Utilisasi Resource

Name	Units	Scheduled Time (HR)	Number Times Used	Avg Time Per Usage (MIN)	% Utilization
pack1	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack2	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack3	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack4	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack5	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack6	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack7	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack8	1	8	3229	0.083485599	56.16145833
pack9	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack10	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack11	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack12	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack13	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack14	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack15	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack16	1	8	1861	0.083475013	32.36395833
pack17	1	8	717	0.083435146	12.463125
pack18	1	8	717	0.083435146	12.463125
pack19	1	8	2933	0.083484146	51.01229167
pack20	1	8	2933	0.083484146	51.01229167



