



THESIS- TI142307

***Two-Sided Assembly Line Balancing* untuk
Meminimalkan *Number of Workstation*
dengan Pertimbangan Hubungan Tugas dan
Evaluasi *Cost***

DINA RACHMAWATY
NRP 02411650010005

DOSEN PEMBIMBING
Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.
Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.

PROGRAM MAGISTER
BIDANG MINAT MANAJEMEN KUALITAS DAN MANUFAKTUR
DEPARTEMEN TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018

Two-Sided Assembly Line Balancing untuk Meminimalkan Number of Workstation dengan Pertimbangan Hubungan Tugas dan Evaluasi Cost

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Magister Teknik (MT)
di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

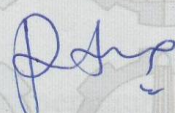
Oleh :

DINA RACHMAWATY
NRP. 02411650010005

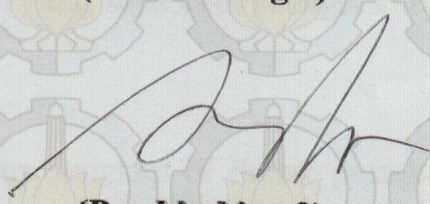
Tanggal Ujian : 20 Juli 2018
Periode Wisuda : September 2018

Disetujui oleh :

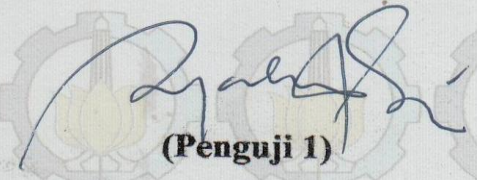
1. **Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.**
NIP: 19740508 199903 2001


(Pembimbing 1)

2. **Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.**
NIP: 19690512 199402 1001


(Pembimbing 2)

3. **Dyah Santhi Dewi, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D.**
NIP: 19720825 199802 2001


(Penguji 1)

4. **Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D.**
NIP: 19750408 199802 2001


(Penguji 2)

Dekan Fakultas Teknologi Industri,



Dr. Bambang Lelono Widjiantoro, S.T., M.T.

NIP: 19690507 7199512 1001

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dina Rachmawaty

NRP : 02411650010005

Program Studi : Magister Teknik Industri – ITS

Menyatakan bahwa tesis dengan judul:

“Two-Sided Assembly Line Balancing untuk Meminimalkan Number of Workstation dengan Pertimbangan Hubungan dan Evaluasi Cost”

adalah benar- benar hasil karya intelektual mandiri, diselesaikan tanpa menggunakan bahan- bahan yang tidak diijinkan dan bukan merupakan karya pihak lain yang saya akui sebagai karya sendiri.

Seluruh referensi yang dikutip dan dirujuk telah saya tulis secara lengkap di daftar pustaka. Apabila dikemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan peraturan yang berlaku.

Surabaya, Juli 2018
Yang membuat pernyataan,

Dina Rachmawaty
02411650010005

***Two-Sided Assembly Line Balancing* untuk Meminimalkan
Number of Workstation dengan Pertimbangan Hubungan Tugas
dan Evaluasi *Cost***

Nama : Dina Rachmawaty
NRP : 02411650010005
Jurusan : Teknik Industri, FTI, ITS Surabaya
Dosen Pembimbing : Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D
Co-Pembimbing : Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.

ABSTRAK

Two-sided assembly line merupakan lini perakitan dimana terdapat dua operator yang bekerja pada sisi berlawanan dari *line* dan secara bersamaan melakukan tugas yang berbeda pada produk individu yang sama dengan tugas yang dilakukan sesuai dengan urutan operasi tugas tertentu. *Line balancing problem* pada *two-sided assembly line*, berkaitan dengan mengurangi *idle time*, mempercepat *cycle time*, minimasi jumlah *workstation* hingga pengoptimalan efisiensi lini. Penelitian sebelumnya menyelesaikan *two-sided assembly line balancing problem* dengan pertimbangan hubungan tugas sesuai dengan index yang dikembangkan. Faktor hubungan tersebut hanya meliputi faktor jarak pelaksanaan tugas (*distance factor*) dan alat yang digunakan untuk melaksanakan tugas (*tool factors*). Untuk itu penelitian ini melakukan pengembangan dengan menambahkan faktor yang mempengaruhi *Assembly line Tasks Consistency* (ATC). Modifikasi faktor dilakukan agar produktivitas kerja mengalami peningkatan dengan tujuan utama adalah meminimalkan *number of workstation* agar biaya *assembly* menjadi lebih efisien dengan membandingkan biaya *assembly* pengaturan proses *assembly* awal dan pengaturan proses *assembly* perbaikan. Objek yang dilakukan pengamatan merupakan simulasi proses *manual assembly line* pada salah satu proses *assembly* dari keseluruhan proses *assembly* dalam manufaktur skala besar. Pengamatan di-*running* selama beberapa kali untuk mendapatkan data awal, kemudian akan di-*running* kembali sesuai dengan modifikasi model yang dilakukan untuk mengetahui apakah pengembangan dan modifikasi model dapat diterapkan pada kondisi nyata yang diwakili oleh simulator amatan.

Kata Kunci : *two-sided assembly line balancing*, *Assembly line Tasks Consistency* (ATC), *production cost*.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

Two-Sided Assembly Line Balancing to Minimize Number of Workstation with Considering the Relationships Between Task and Cost Evaluation

Name : Dina Rachmawaty
Student ID : 02411650010005
Department : Teknik Industri, FTI, ITS Surabaya
Supervisor : Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D
: Prof. Ir. Budi Santosa, M.Sc., Ph.D.

ABSTRACT

Two-sided assembly line is an assembly line where there are two operators working on opposite sides of the line and simultaneously performing different tasks on individual products similar to tasks performed in accordance with the order of operations of a particular task. Line balancing problem in two-sided assembly line, related to reducing idle time, speeding cycle time, minimizing the number of workstations to optimize line efficiency. Previous research completed a two-sided assembly line balancing problem with consideration of task relation in accordance with developed index. Relationship factors include only the distance factor of the task (distance factor) and tools used to perform the task (tool factors). For this purpose, this research is done by adding factors that influence Assembly line Tasks Consistency (ATC). Factor modification is done to improve work productivity with the main objective is to minimize the number of workstations to make assembly costs more efficient by comparing the cost of assembly setting the initial assembly process and setting the repair assembly process. The object of the observation is a simulation of the assembly line assembly process in one of the assembly processes of the whole assembly process in large-scale manufacturing. The observations are run for several times to get the initial data, then it will be re-run in accordance with the modification of the model performed to determine whether the development and modification of the model can be applied to the real conditions represented by the observation simulator.

Key Word: two-sided assembly line balancing, Assembly line Tasks Consistency (ATC), production cost.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas limpahan rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan laporan Thesis ini dengan baik dan tanpa hambatan yang berarti.

Laporan penelitian ini disusun untuk memenuhi persyaratan agar memperoleh gelar Magister Teknik di Departemen Teknik Industri ITS dengan judul “*Two-Sided Assembly Line Balancing* untuk Meminimalkan *Number of Workstation* dengan Pertimbangan Hubungan Tugas dan Evaluasi *Cost*”. Dalam penulisan laporan, tidak terlepas dari beberapa saran dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, ucapan terima kasih ingin penulis sampaikan kepada :

1. Bapak dan Ibu serta saudara penulis yang selalu memberikan kasih sayang, doa, serta motivasi kepada penulis,
2. Ibu Putu Dana Karningsih, S.T., M.Eng. Sc., Ph.D. dan Bapak Prof. Ir. Budi Santosa, M.sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan laporan ini,
3. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.T., selaku Ketua Departemen Teknik Industri ITS dan Bapak Dr. Eng., Erwin Widodo, S.T., M.Eng selaku Ketua Prodi Magister Teknik Industri ITS dan para staff Departemen Teknik Industri ITS,
4. Bapak Dr. Ir. Suef, M.Sc. (Eng). dan Ibu Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D. sebagai dosen penguji seminar proposal yang telah memberikan saran dan kritik yang membangun demi perbaikan penelitian ini,
5. Ibu Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph.D. dan Ibu Dyah Santi Dewi, S.T., M.Eng.Sc., Ph.D. sebagai dosen penguji sidang akhir yang telah memberikan saran perbaikan bagi penulis,
6. Teman-teman seperjuangan S2 Ganjil TI ITS 2016 yang telah saling memberi semangat dan bantuan dan seluruh teman-teman S2 lainnya, serta para sahabat penulis yang telah memberikan semua dukungannya,
7. Teman-teman Tiyang Alit yang telah memberikan hiburan disaat saya suntuk,
8. Para asisten Lab. Sistem Manufaktur yang telah membantu dalam menyelesaikan laporan ini,
9. Semua pihak yang membantu penulis dalam menyelesaikan laporan thesis yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Diharapkan penulisan laporan ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak. Kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan demi tersusunnya laporan yang lebih baik lagi nantinya.

Surabaya, Januari 2016

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK.....	i
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	5
1.3 Tujuan	5
1.4 Asumsi.....	5
1.5 Batasan	6
1.6 Manfaat.....	6
1.7 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	9
2.1 Sistem Manufaktur.....	9
2.2 <i>Assembly Lines</i>	9
2.2.1 Tipe <i>Assembly Lines</i>	11
2.2.2 Pertimbangan dalam <i>Assembly Line Design</i>	12
2.2.3 <i>Assembly Line Balancing Problem (ALBP)</i>	12
2.3 Model <i>Two-sided Assembly Line Balancing Problem</i>	16
2.3.1 Definisi Index Hubungan Faktor	16
2.3.2 Definisi <i>Assembly line Tasks Consistency (ATC)</i>	17
2.3.3 Fungsi Objektif.....	18
2.4 Kombinasi Linear.....	19
2.5 Ergonomi	19
2.5.1 Tujuan Ergonomi	20
2.5.2 Pertimbangan Antropometri dalam Desain	20
2.6 <i>Time and Motion Study</i>	22
2.6.1 <i>Performance Rating</i>	24
2.6.2 Waktu Normal	24
2.6.3 Kelonggaran	24
2.6.4 Waktu Baku	25

2.7	Literatur Review	25
2.8	GAP Penelitian dan Posisi Penelitian	31
2.9	Kontribusi Penelitian.....	33
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....		35
3.1	Tahap Identifikasi Permasalahan	37
3.2	Tahap Modifikasi Model	37
3.3	Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data	37
3.3.1	Pengumpulan Data Proses <i>Assembly</i> Awal	37
3.3.2	Pengolahan Data Proses <i>Assembly</i> Awal	38
3.3.3	Pengumpulan Data Proses <i>Assembly</i> Perbaikan	39
3.3.4	Pengolahan Data Proses <i>Assembly</i> Perbaikan	40
3.4	Tahap Evaluasi Biaya <i>Assembly</i>	41
3.5	Tahap Analisis dan Interpretasi Data	41
3.6	Tahap Kesimpulan dan Saran	41
BAB IV MODIFIKASI MODEL		43
4.1	Pengembangan Model.....	43
4.2	Tahap Kombinasi Nilai Faktor dan Bobot <i>Relationship Value</i>	45
4.3	Contoh Perhitungan.....	47
4.4	Hasil Kombinasi	48
BAB V PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....		51
5.1	Gambaran Objek Penelitian.....	51
5.1.1	Komponen Produk	51
5.1.2	<i>Operation Chart Diagram</i> (OPC).....	52
5.1.3	<i>Precedence Diagram</i>	53
5.1.4	Keterangan <i>Work Element</i> pada Masing-masing <i>Station</i>	53
5.1.5	<i>Assembly Line Layout</i>	54
5.2	Pengumpulan Data Proses <i>Assembly</i> Awal	55
5.3	Pengolahan Data Proses <i>Assembly</i> Awal	55
5.3.1	Uji Keseragaman Data	56
5.3.2	Uji Kecukupan Data.....	60
5.3.3	Perhitungan Waktu Normal.....	61
5.3.4	Perhitungan Waktu Standar	62
5.3.5	Perhitungan <i>Idle Time</i>	63
5.3.6	Perhitungan <i>Cycle Time</i>	64

5.3.7	Perhitungan <i>Production Rate</i>	65
5.3.8	Perhitungan <i>Balance Delay</i>	66
5.3.9	Perhitungan <i>Line Efficiency</i>	67
5.4	Pengumpulan Data Proses <i>Assembly Perbaikan</i>	68
5.4.1	<i>Distance Factor</i>	68
5.4.2	<i>Tool Factor</i>	71
5.4.3	<i>Posture Factor</i>	72
5.4.4	<i>Layout Factor</i>	77
5.4.5	<i>Skill Factor</i>	79
5.5	Pengumpulan Data Proses <i>Assembly Perbaikan</i> untuk Semua Faktor	82
5.6	Perbaikan <i>Assembly Line Process</i>	83
5.7	Pengolahan Data Proses <i>Assembly Perbaikan</i>	85
5.7.1	Perhitungan <i>Idle Time</i>	86
5.7.2	Perhitungan <i>Cycle Time</i>	86
5.7.3	Perhitungan <i>Production Rate</i>	87
5.7.4	Perhitungan <i>Balance Delay</i>	88
5.7.5	Perhitungan <i>Line Efficiency</i>	89
5.8	Perhitungan <i>Assembly line Tasks Consistency (ATC)</i>	89
5.8.1	ATC Faktor Awal Tanpa Perbaikan	89
5.8.2	ATC Faktor Awal dengan Perbaikan	90
5.8.3	ATC Faktor Tambahan Tanpa Perbaikan.....	90
5.8.4	ATC Faktor Tambahan dengan Perbaikan	91
5.9	Perhitungan <i>Number of Workstation</i>	91
BAB VI ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA		95
6.1	Analisis Produk <i>Defect</i> pada Pengumpulan Data Waktu Normal dan Waktu Nominal	95
6.2	Analisis <i>Assembly line Tasks Consistency (ATC)</i>	95
6.3	Analisis Perbandingan Proses <i>Assembly</i> Awal dan Proses <i>Assembly Perbaikan</i>	96
BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN		97
7.1	Kesimpulan.....	97
7.2	Saran.....	97
DAFTAR PUSTAKA		xv
LAMPIRAN		xviii

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Literatur Review	28
Tabel 2. 1 Literatur Review (Lanjutan).....	29
Tabel 2. 1 Literatur Review (Lanjutan).....	30
Tabel 2.2 GAP Penelitian <i>Two-Sided Assembly Line Balancing</i>	31
Tabel 2.2 GAP Penelitian <i>Two-Sided Assembly Line Balancing</i> (Lanjutan)	32
Tabel 4.1 Nilai <i>Distance Factor</i>	48
Tabel 4.2 Nilai <i>Tool Factor</i>	48
Tabel 4.3 Nilai <i>Posture Factor</i>	49
Tabel 4.4 Nilai <i>Layout Factor</i>	49
Tabel 4.5 Nilai <i>Skill Factor</i>	49
Tabel 5.1 Kode Operasi OPC Proses <i>Assembly Awal</i>	53
Tabel 5.2 Keterangan <i>Work Element</i> pada Masing-masing <i>Station</i>	53
Tabel 5.2 Keterangan <i>Work Element</i> pada Masing-masing <i>Station</i> (Lanjutan)	53
Tabel 5.3 Data Simulasi Model Awal	55
Tabel 5.4 Hasil Uji Kecukupan Data	60
Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Waktu Normal	61
Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Waktu Standar	62
Tabel 5.7 Hasil Perhitungan <i>Cycle Time</i> Proses <i>Assembly Awal</i>	65
Tabel 5.8 <i>Processing Time</i> (min).....	66
Tabel 5.8 <i>Processing Time</i> (min) (Lanjutan).....	67
Tabel 5.9 Data Pebaikan <i>Distance Factor</i> dengan Nilai 0,1	68
Tabel 5.9 Data Pebaikan <i>Distance Factor</i> dengan Nilai 0,1 (Lanjutan).....	69
Tabel 5.10 Data Pebaikan <i>Distance Factor</i> dengan Nilai 0,5	70
Tabel 5.11 Data Pebaikan <i>Distance Factor</i> dengan Nilai 1,0	71
Tabel 5.12 Persiapan dan Waktu Persiapan pada Masing-masing <i>Station</i>	72
Tabel 5.13 Data Pebaikan <i>Posture Factor</i> dengan Nilai 0,1	74
Tabel 5.14 Data Pebaikan <i>Posture Factor</i> dengan Nilai 0,5	75
Tabel 5.15 Data Pebaikan <i>Posture Factor</i> dengan Nilai 1,0	76
Tabel 5.15 Data Pebaikan <i>Posture Factor</i> dengan Nilai 1,0 (Lanjutan).....	77
Tabel 5.16 Data Pebaikan <i>Layout Factor</i> dengan Nilai 0,5	78
Tabel 5.16 Data Pebaikan <i>Layout Factor</i> dengan Nilai 0,5 (Lanjutan)	79
Tabel 5.17 Data Pebaikan <i>Skill Factor</i> dengan Nilai 0,1	80

Tabel 5.18 Data Pebaikan <i>Skill Factor</i> dengan Nilai 0,5	80
Tabel 5.18 Data Pebaikan <i>Skill Factor</i> dengan Nilai 0,5 (Lanjutan).....	81
Tabel 5.19 Data Pebaikan <i>Skill Factor</i> dengan Nilai 1,0	81
Tabel 5.19 Data Pebaikan <i>Skill Factor</i> dengan Nilai 1,0 (Lanjutan).....	82
Tabel 5.20 Data Pebaikan untuk Semua Faktor	82
Tabel 5.20 Data Pebaikan untuk Semua Faktor (Lanjutan)	83
Tabel 5.21 Kode Operasi OPC Proses <i>Assembly</i> Pebaikan.....	84
Tabel 5.22 Hasil Perhitungan <i>Cycle Time</i> Proses <i>Assembly</i> Pebaikan	86
Tabel 5.22 Hasil Perhitungan <i>Cycle Time</i> Proses <i>Assembly</i> Pebaikan (Lanjutan)	87
Tabel 5.23 <i>Processing Time</i> (min).....	88
Tabel 5.24 Perhitungan ATC Faktor Awal Tanpa Pebaikan.....	89
Tabel 5.25 Perhitungan ATC Faktor Awal dengan Pebaikan	90
Tabel 5.26 Perhitungan ATC Faktor Tambahan Tanpa Pebaikan.....	90
Tabel 5.27 Perhitungan ATC Faktor Tambahan dengan Pebaikan	91
Tabel 5.28 Total Waktu Proses dan <i>Cycle Time</i> per <i>Station</i>	92
Tabel 6.1 Perbandingan ATC	95
Tabel 6.2 Perbandingan Proses <i>Assembly</i> Awal dan Proses <i>Assembly</i> Pebaikan.....	96

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 <i>Two-sided Assembly Line</i>	3
Gambar 2.1 Konfigurasi <i>Manual Assembly Line</i>	10
Gambar 2.2 Tipe <i>Automated Assembly Systems</i> (a) in-line (b) dial type (c) carousel (d) single station	10
Gambar 2.3 <i>Two-Sided Assembly Line</i>	12
Gambar 2.4 Permasalahan dalam <i>Production Lines</i>	13
Gambar 2.5 Tipe Operasi Produksi (a) <i>Job Shop</i> (b) <i>Sequential Batch</i> (c) <i>Simultaneous Batch</i> (d) <i>Quantity Mass</i> (e) <i>Flow-Line Mass</i>	14
Gambar 2.6 <i>Precedence Graph</i>	16
Gambar 2.7 Area Kerja Normal dan Maksimum pada Horisontal dan Vertikal <i>Planes</i> untuk Pria	21
Gambar 2.8 Area Kerja Normal dan Maksimum pada Horisontal dan Vertikal <i>Planes</i> untuk Wanita	22
Gambar 2.9 Skema Kontribusi Penelitian	33
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian	35
Gambar 3.1 Metodologi Penelitian (Lanjutan)	36
Gambar 4.1 Alur Kombinasi Nilai Faktor dan <i>Relationship value</i>	46
Gambar 5.1 Komponen Piston.....	51
Gambar 5.2 OPC Perakitan Proses <i>Assembly</i> Awal.....	52
Gambar 5.3 <i>Precedence Diagram</i> Awal Simulasi Amatan.....	53
Gambar 5.4 <i>Assembly Line Layout</i> Eksisting	54
Gambar 5.5 Hasil Uji Keseramana <i>Station 1</i>	56
Gambar 5.6 Hasil Uji Keseramana <i>Station 2</i>	51
Gambar 5.7 Hasil Uji Keseramana <i>Station 3</i>	58
Gambar 5.8 Hasil Uji Keseramana <i>Station 4</i>	59
Gambar 5.9 Histogram Total <i>Idle</i> pada <i>Assembly Line</i> Awal	63
Gambar 5.10 Grafik <i>Bottleneck</i> Masing-masing <i>Station</i>	64
Gambar 5.11 Ilustrasi Pebaikan <i>Distance Factor</i> dengan Nilai 0,1	68
Gambar 5.12 Ilustrasi Pebaikan <i>Distance Factor</i> dengan Nilai 0,5	69
Gambar 5.13 Ilustrasi Pebaikan <i>Distance Factor</i> dengan Nilai 1,0	70
Gambar 5.14 Ilustrasi Tempat Kerja Awal <i>Station 1</i>	73
Gambar 5.15 Ilustrasi Pebaikan <i>Posture Factor</i> dengan Nilai 0,1	73

Gambar 5.16 Ilustrasi Pebaikan <i>Posture Factor</i> dengan Nilai 0,5	75
Gambar 5.17 Ilustrasi Pebaikan <i>Posture Factor</i> dengan Nilai 1,0	76
Gambar 5.18 <i>Layout Awal Assembly Line</i> dengan Nilai 0,1	77
Gambar 5.19 Ilustrasi Pebaikan <i>Layout Factor</i> dengan Nilai 0,5	78
Gambar 5.20 Ilustrasi Pebaikan <i>Layout Factor</i> dengan Nilai 1,0	79
Gambar 5.21 OPC Perakitan Proses <i>Assembly</i> Perbaikan.....	84
Gambar 5.22 <i>Precedence Diagram</i> Proses <i>Assembly</i> Perbaikan.....	85
Gambar 5.23 <i>Assembly Line Layout</i> Perbaikan	85
Gambar 5.24 Histogram Total <i>Idle</i> pada <i>Assembly Line</i> Perbaikan	86
Gambar 5.25 Histogram Total <i>Idle</i> pada <i>Assembly Line</i> Perbaikan <i>Workstation</i>	93

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab pendahuluan ini akan dijelaskan tentang latar belakang dari penelitian yang akan dilakukan dan tujuan dari penelitian yang akan dilakukan.

1.1 Latar Belakang

Desain *assembly line* mulai diperkenalkan oleh Henry Ford, seorang *american automotive industrialist* pada tahun awal tahun 1900-an. Ini bermula saat Henry mengamati proses *packaging* daging yang kemudian mendiskusikannya dengan rekan *engineering* lainnya untuk merancang sebuah desain *assembly line* di Highland, Park, Michigan untuk memproduksi *magneto flywheels*. Menurut Grzechca (2013) perancangan ini bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dalam produksi skala besar pada manufaktur tertentu. Ternyata penerapan *assembly line* tersebut memberikan dampak peningkatan produktivitas sebesar empat kali lipat dan juga mampu mengurangi harga dari *Model T Ford* yang merupakan produk utama dari *Ford Motor Company* pada saat itu. *Terracotta Army* merupakan salah satu awal penemuan dari *assembly lines* yang terjadi di China pada tahun 200 SM. Pada tahun 1974, koleksi patung-patung yang menggambarkan tentara kaisar China pertama ditemukan oleh sekelompok petani. Sejarawan menyatakan bahwa *army figures* ini diproduksi dibengkel oleh buruh dan pengrajin dibawah kendali pemerintahan. *Parts* dari *figures* dibuat terpisah dan kemudian dirakit (Groover, 2014).

Dasar *assembly line* sendiri didefinisikan oleh Grzechca (2013) yaitu satu set *workstation* yang diatur secara linier dengan masing-masing *station* dihubungkan dengan *material handling*. Dasar pergerakan dari *material handling* dalam *assembly line* dimulai dengan bagian yang dimasukkan ke *station* pertama pada urutan proses produksi yang telah ditentukan. *Station* mempertimbangkan poin apapun pada *assembly line* yang memiliki tugas pada *part* yang dikerjakan. Tugas tersebut dapat dilakukan oleh mesin, robot, dan/atau operator manusia. Ketika *part* memasuki *station*, maka tugas akan dikerjakan pada *part* tersebut, dan *part* akan masuk pada tahap operasi selanjutnya.

Toklu (2013) menyatakan bahwa *assembly line* menjadi salah satu cara yang sering diterapkan pada produksi massal untuk memungkinkan memberikan biaya produksi yang efisien. Sistem produksi yang bersifat *flow oriented*, *assembly lines* memiliki dampak yang besar di berbagai industri seperti elektronik, otomotif, dan industri konsumen yang lain. Satu set *tasks* pada *assembly lines* di bagi dan diproses pada satu set *workstation*. Setiap *workstation* mengoperasikan *tasks* yang dialokasikan dalam waktu yang telah ditentukan dan ditetapkan (Li,

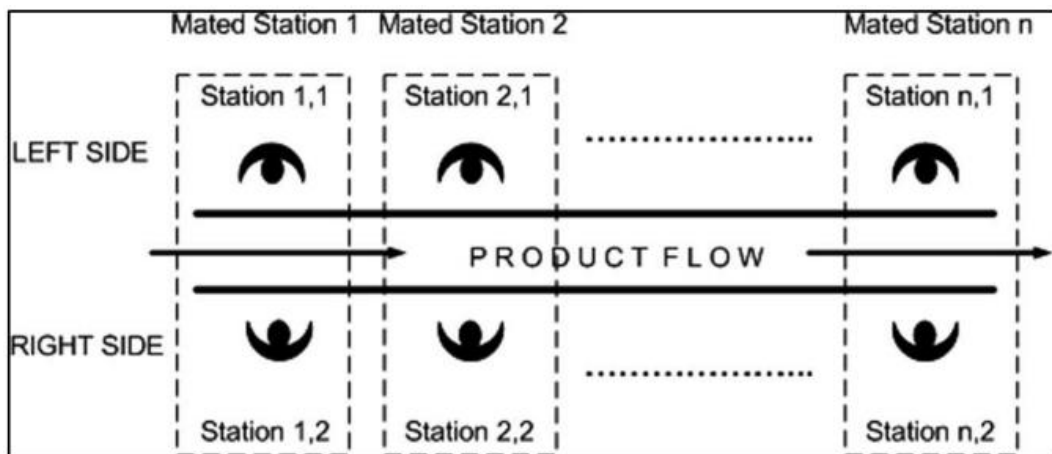
Kucukkoc, & Nilakantan, 2017).

Assembly line balancing merupakan permasalahan dalam menugaskan berbagai tugas ke *stations*, termasuk mengoptimalkan satu atau lebih tujuan tanpa melanggar batasan yang diberlakukan pada lini produksi (Ok, Kim, & Keun, 2001). *Assembly line balancing problem* umumnya terbagi dalam dua kategori yaitu *simple assembly line balancing problem* (SALBP) dan *general assembly line balancing problem* (GALBP) (Forms, Germs, Smooth, & Belitskii, 2016). *Assembly line* dapat dikategorikan dalam *one-sided lines* dan *two-sided lines*. *One-sided line* adalah lini yang hanya menggunakan satu sisi pada *line*, sedangkan *two-sided line* menggunakan kedua (kanan dan kiri) sisi *line* secara paralel (Ok et al. 2001). Menurut Sepahi (2016) *assembly lines* dapat dikategorikan menjadi beberapa jenis seperti *traditional straight lines*, *U-shaped one-sided lines*, *multi-level lines*, dan *two-sided lines*. Hindriyanto (2013), menyebutkan terdapat dua jenis *assembly line balancing problem* (ALBPs) yaitu ALBP I dan ALBP II. ALBP I memiliki tujuan untuk meminimalkan jumlah *workstation* untuk siklus tertentu sedangkan ALBP II memiliki tujuan untuk meminimalkan *cycle time* untuk sejumlah *workstation* tertentu.

Assembly line balancing juga berkaitan dengan *line balancing* yang merupakan penyeimbangan penugasan elemen-elemen tugas dari suatu *assembly line* ke *workstation* untuk meminimumkan banyaknya *workstation* dan meminimumkan total *idle time* pada semua *station* untuk tingkat *output* tertentu (Gaspersz, 1998). Tujuan utama dalam penyusunan *line balancing* adalah untuk membentuk dan menyeimbangkan beban kerja yang di alokasikan pada tiap-tiap *workstation*. Dalam lingkungan perusahaan bertipe *repetitive manufacturing* dengan produksi massal, peranan perencanaan produksi sangat penting, terutama dalam penugasan kerja pada *assembly line*. Pengaturan dan perencanaan yang tidak tepat dapat mengakibatkan setiap *wrokstation* pada *assembly lines* mempunyai kecepatan produksi yang berbeda yang selanjutnya dapat mengakibatkan terjadi penumpukan material di antara *workstation* yang tidak berimbang kecepatan produksinya (Purnomo, 2004)

Zixiang, Ibrahim, dan Mukund (2017) menjelaskan bahwa *two-sided assembly lines* berbeda dari *one-sided assembly lines* seperti pada Gambar 1.1. *Two-sided assembly lines balancing* (TALBPs) dapat dinyatakan sebagai satu set *tasks* yang harus dibagi dan diproses pada satu set *mated-station*, masing-masing berisi dua *workstation* yang menghadap dan berlawanan. Dua pekerja saling membantu menjalankan tugas secara paralel di kedua sisi kiri dan kanan. Pemanfaatan tugas kedua sisi ini dibagi menjadi tiga tipe yaitu *L-type tasks*, *R-types tasks*, dan *E-type tasks*. *L-type tasks* dialokasikan pada sisi kiri, *R-types tasks* harus dialokasi pada sisi kanan sedangkan *E-type tasks* dialokasikan pada sisi kiri dan kanan. Kriteria

pengoptimalan pada TALBP dibagi menjadi tiga kategori yaitu TALBP-I untuk meminimasi jumlah *workstation*, TALBP-II untuk meminimasi *cycle time*, dan TALBP-E untuk memaksimalkan efisiensi lini. *Two-sided assembly line* dapat memberikan beberapa keunggulan seperti yang dijelaskan Bartholdi (1993) yaitu waktu tugas dapat diperpendek dengan mengurangi reposisi operator, penanganan *material handling*, dan *costs* juga dapat dikurangi karena panjang garis mungkin lebih pendek, selain itu biaya *tools and fixtures* juga dapat dikurangi dengan membaginya pada operator di kedua sisi setiap *station*.



Gambar 1.1 *Two-sided Assembly Line* (Sumber : Tuncel & Aydin, 2014)

Grzechca (2013) melakukan pengembangan penelitian *two-sided assembly line* dengan pertimbangan *idle time* menggunakan beberapa ukuran sebagai solusi yaitu *balance delay* (BD), *line efficiency* (LE), *line time* (LT), dan *smoothness index* (SI). Hindriyanto (2013) mengusulkan model matematis untuk jalur TALBP tipe II dengan pembatasan *assignment* yang bertujuan untuk meminimalkan *cycle time* dengan penyelesaian *genetic algorithm* dan aturan *first-fit* iteratif. Sepahi dan Naini (2016) mempertimbangkan pendekatan baru dengan kemungkinan kinerja tugas secara paralel dengan penyelesaian menggunakan algoritma heuristik. Tang, Li, dan Zhang (2016) mengusulkan algoritma *Discrete Artificial Bee Colony* (DABC) untuk mereduksi *idle time*. Tapkan, Ozbakir, dan Baykasoglu (2016) yang belum dilakukan pada penelitian sebelumnya yaitu memasukkan *walking distance* dalam TALBP, tujuan utamanya adalah untuk memperkenalkan TALBP dengan *walking time* dan mengusulkan *bees algorithm* dan *artificial bee colony algorithm*.

Dari beberapa penelitian yang dilakukan sebelumnya, konsep *line balancing* pada *two-sided assembly line* memiliki tujuan utama yaitu untuk mengurangi *idle time* dan mempercepat *cycle time*, yang membedakan hanya teknik dalam mengurangi *idle time* itu sendiri dan pengembangan algoritma yang digunakan. Sejauh ini terdapat beberapa tujuan pengurangan *idle*

time dengan pembatasan tugas, *improve* kinerja tugas secara paralel dan pertimbangan menghubungkan kerja tugas. Sedangkan pada pengembangan algoritma, beberapa peneliti sebelumnya menggunakan *genetic algorithm*, *artificial ant colony* dan *artificial bee colony*.

Khorasanian, Hejazi, dan Moslehi (2013) menyelesaikan *two-sides assembly line balancing problem* dengan pertimbangan hubungan tugas sesuai dengan index yang dikembangkannya. Faktor hubungan tersebut masih meliputi faktor jarak pelaksanaan tugas (*distance factor*) dan alat yang digunakan untuk melaksanakan tugas (*tool factors*). Khorasanian et.al. (2013) menyaran bahwa pada kondisi nyata semakin banyak hubungan yang ada diantara tugas-tugas yang ditugaskan pada setiap *station*, akan membuat *assembly line* semakin efektif. Lee, Kim, dan Kim (2001) menilai perbaikan *line balancing* ini masih merupakan kriteria tradisional namun relevan untuk dilakukan karena perbaikan yang mudah dilakukan pada objek nyata.

Penelitian ini melakukan modifikasi pada faktor yang mempengaruhi index hubungan tugas dengan mengacu pada index hubungan tugas yang telah dikembangkan sebelumnya oleh Khorasanian, et al. (2013). Modifikasi faktor tersebut mengacu pada tujuan untuk meningkatkan produktivitas kerja. Produktivitas pada dasarnya akan berkaitan dengan sistem produksi, yaitu sistem dimana faktor-faktor semacam tenaga kerja, mesin, peralatan kerja, bahan baku, tata letak pabrik dan lain sebagainya dikelola dalam suatu cara yang terorganisir untuk mewujudkan barang atau jasa secara efektif dan efisien (Wignjosuebrotto, 1995). Modifikasi melakukan penambahan beberapa faktor yaitu *posture factor*, *layout factor* dan *skill factor*. Dengan penambahan faktor-faktor tersebut akan memperbaiki cara kerja pada lini proses *assembly* sehingga *idle time* dapat berkurang dan pekerjaan menjadi efektif.

Pengembangan ini dilakukan dengan tiga kriteria performansi yaitu *number of station*, *number of mated-station*, dan *Assembly line Tasks Consistency (ATC)*. Dimana nilai pada faktor pengaruh index hubungan tugas dan *releationship value* yang mempengaruhi ATC tidak dibuat *fix* untuk mendapatkan hasil modifikasi yang dianggap paling baik. Tujuan utama yang ingin didapatkan dari penelitian ini adalah untuk meminimalkan *number of workstation* agar biaya *assembly* menjadi lebih efisien dengan membandingkan biaya *assembly* pengaturan proses *assembly* awal dan pengaturan proses *assembly* perbaikan. Sehingga penelitian ini juga untuk mengetahui biaya *assembly* pada proses *assembly* awal objek amatan dan proses *assembly* perbaikan pada penelitian yang dilakukan untuk mengetahui efisiensi perbaikan dari segi *cost*. *Balance Delay (BD)* dan *Line Efficiency (LE)* juga digunakan untuk menghitung efisiensi lini yang telah diperbaiki untuk mengetahui keefektifan perbaikan yang dilakukan.

Dewasa ini masih banyak *assembly process* yang mengalami masalah utama dalam lini

produksinya yaitu kendala sistem yang berhubungan dengan *maintenance* dan penyeimbangan beban kerja pada beberapa *workstation* berupa efisiensi dan pemenuhan rencana produksi yang telah dibuat. Sedangkan hal-hal yang mengakibatkan ketidakseimbangan pada lini produksi adalah rancangan lintasan yang salah, peralatan atau mesin yang sudah tua sehingga seringkali *breakdown* dan perlu di-*setup* ulang, dan metode kerja yang kurang baik (pustaka nasional, 2015). Objek yang dilakukan pengamatan merupakan *simulasi* proses *manual assembly line* pada salah satu proses *assembly* dari keseluruhan proses *assembly* dalam manufaktur skala besar. Pengamatan di-*running* selama beberapa kali untuk mendapatkan data awal, kemudian akan di-*running* kembali sesuai dengan modifikasi model yang dilakukan untuk mengetahui apakah pengembangan dan modifikasi model dapat diterapkan pada kondisi nyata yang diwakili oleh simulator amatan.

1.2 Rumusan Masalah

Pada penelitian ini, permasalahan yang akan dibahas adalah tentang bagaimana meminimalkan *number of workstation* pada *two-sided assembly line process* dengan modifikasi model yang berfokus pada pertimbangan hubungan antara *tasks* di kedua sisi sepanjang *assembly line* dengan kriteria performansi ATC dan bagaimana modifikasi tersebut memberikan dampak dari segi *cost*.

1.3 Tujuan

Tujuan dari penelitian yang akan dilakukan ini adalah :

1. Mengetahui rancangan modifikasi model pada *two-sided assembly line balancing* untuk meminimalkan *number of workstation* dengan kriteria performansi ATC,
2. Memaksimalkan hubungan antara *tasks* di kedua sisi *assembly line*,
3. Mengevaluasi hasil dengan membandingkan biaya *assembly* proses *assembly* awal dan proses *assembly* perbaikan.

1.4 Asumsi

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah :

1. *Production line* amatan mampu mempresentasikan *two-sided assembly line*,
2. Setiap kelompok *tasks* dalam masing-masing *workstation* bersifat tetap dan tidak dapat dipindah tugaskan pada *workstation* lainnya,
3. Permintaan jumlah produk adalah stabil,

1.5 Batasan

Batasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pengamatan dilakukan hanya pada sebuah *assembly production line*,
2. Pekerjaan yang dilakukan operator dilakukan secara berpasangan.

1.6 Manfaat

Manfaat yang ingin diberikan dari penelitian ini adalah dapat mengetahui model *two-sided assembly line balancing* untuk memaksimalkan hubungan antara *tasks* agar jumlah dalam *workstation* dapat diefisienkan sesuai dengan performansi ATC dan mendapatkan evaluasi serta perbaikan dari biaya *assembly* setelah modifikasi model.

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan ini diuraikan dalam beberapa bab yang ditulis secara sistematis sesuai dengan urutan pengerjaan penelitian. Sistematika penulisan secara rinci akan dijelaskan berikut ini

1. BAB I PENDAHULUAN

Penulisan ini diawali dengan penulisan bab pendahuluan yaitu bab yang menjelaskan alasan atau latar belakang penelitian ini dilakukan, perumusan masalah yang didapatkan dari latar belakang penulisan, tujuan pelaksanaan penelitian, ruang lingkup penelitian terdiri dari batasan dan asumsi yang digunakan pada penelitian, manfaat yang diharapkan dari pelaksanaan penelitian ini, serta uraian sistematika penulisan laporan pada penelitian ini.

2. BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka merupakan bab yang membahas seluruh teori, temuan, dan berbagai referensi yang digunakan pada penelitian ini untuk memudahkan dalam pengerjaan penelitian.

3. BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini akan menjelaskan secara detail alur dari pelaksanaan. Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kerangka berfikir peneliti serta metode apa saja yang digunakan sehingga didapatkan hasil penelitian sesuai dengan tujuan yang telah ditentukan sebelumnya.

4. BAB IV MODIFIKASI MODEL

Bab ini berisikan modifikasi model dari beberapa penelitian yang telah dilakukan dengan beberapa pertimbangan lain dan saran dari penelitian sebelumnya sehingga didapatkan model baru yang lebih baik dan sesuai dengan keadaan eksisting.

5. BAB V PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab ini merupakan bab yang menyajikan data hasil dari pengamatan yang dilakukan yang selanjutnya akan menjadi acuan dalam modifikasi model yang akan dilakukan.

6. BAB VI ANALISA DAN INTERPRETASI DATA

Bab ini membahas tentang analisa yang diperoleh dari bab sebelumnya yaitu hasil dari modifikasi model dan evaluasi biaya *assembly*.

7. BAB VII KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merupakan bab akhir yang besikan kesimpulan yang diperoleh dari penelitian yang dilakukan. Pada bab ini juga diberikan saran untuk pengembangan model di masa mendatang.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini dibahas mengenai landasan teori yang digunakan dalam menyelesaikan masalah penelitian. Bab ini berisi teori-teori yang mendukung penelitian, sehingga memiliki dasar teori yang cukup kuat untuk menyelesaikan masalah dalam penelitian.

2.1 Sistem Manufaktur

Groover (2014) mendefinisikan sistem manufaktur sebagai kumpulan peralatan terintegritas dan sumber daya manusia yang memiliki fungsi untuk melakukan satu atau lebih *processing* dan/atau operasi *assembly* pada *raw material*, *part*, atau set dari *parts*. Integrasi peralatan termasuk mesin dan peralatan produksi, *material handling*, dan perangkat penentuan posisi kerja serta sistem komputer. Sumber daya manusia diperlukan baik dalam waktu penuh atau berkala untuk menjaga sistem tetap berkala. Dimana sistem manufaktur adalah tempat kerja yang memberikan nilai tambah untuk *parts* atau produk (Groover, 2014).

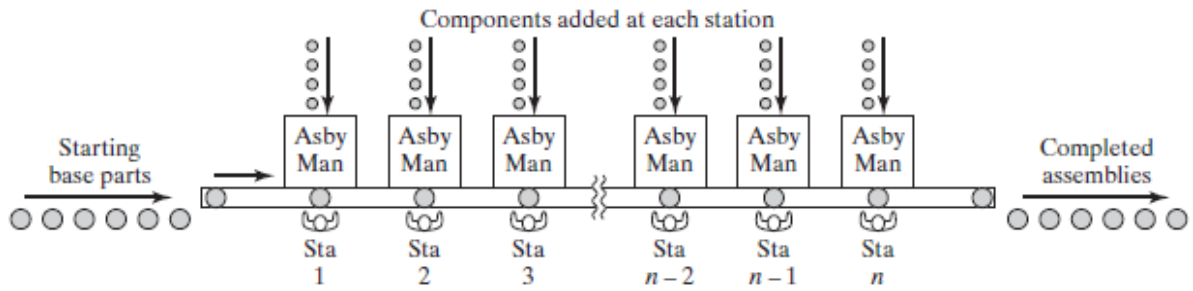
Dari paparan diatas, dapat dilihat bahwa sistem manufaktur adalah integrasi untuk memberikan nilai tambah pada objek tertentu. Fungsi utama sistem manufaktur untuk memproduksi permintaan pelanggan. Ada dua aspek dari permintaan pelanggan yang harus dapat dipenuhi oleh sistem manufaktur yaitu aspek jumlah dan aspek rancangan. Aspek rancangan meliputi bentuk, warna, kemampuan, ketahanan, dan lain-lain, sedangkan aspek jumlah berhubungan dengan kuantitas. Untuk memenuhi kedua aspek permintaan tersebut maka sistem manufaktur harus dirancang seoptimal mungkin. Perancangan tersebut meliputi pemilihan material, pemilihan peralatan, alur produksi, tata letak lantai produksi, rancangan kualitas, perancangan peralatan *material handling* hingga biaya yang dibutuhkan untuk melaksanakan rancangan tersebut.

2.2 Assembly Lines

Sebagian besar produk konsumen dibuat dengan dirakit atau *assembly*. Setiap produk terdiri dari beberapa komponen yang disatukan oleh berbagai proses *assembly*. *Assembly lines* dibagi menjadi dua kategori yaitu manual dan terotomasi (Groover, 2014).

1. Manual Assembly Lines

Manual assembly line adalah *production line* yang terdiri dari rangkaian *workstation* dimana tugas perakitan dilakukan oleh pekerja manusia seperti pada Gambar 2.1.

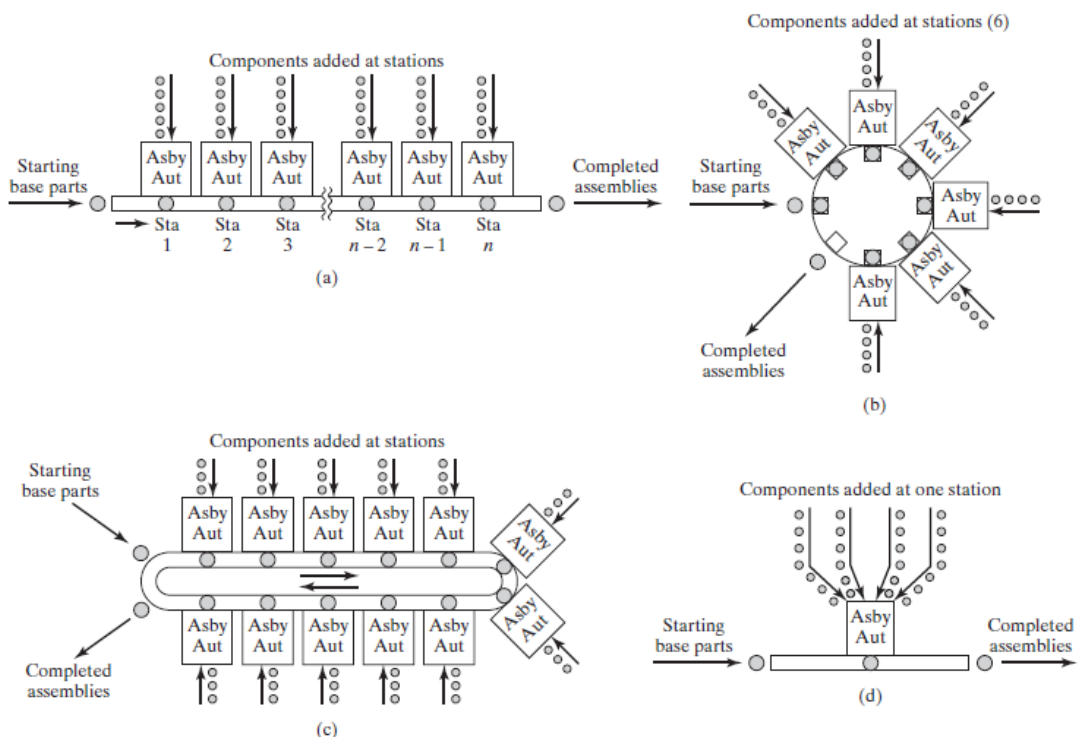


Gambar 2.1 Konfigurasi *Manual Assembly Line* (Sumber : Groover, 2014)

Terdapat beberapa faktor yang mendukung untuk penggunaan *manual assembly lines*, yaitu :

1. Permintaan produk tinggi atau menengah,
2. Secara teknis tidak mungkin atau secara ekonomi tidak layak untuk menerapkan operasi *assembly* secara otomatis.

2. Automated Assembly System



Gambar 2.2 Tipe *Automated Assembly Systems* (a) in-line (b) dial type (c) carousel (d) single station (Sumber : Groover, 2014)

Automated assembly system melakukan serangkaian operasi *assembly* secara otomatis untuk menggabungkan beberapa komponen menjadi satu kesatuan. Beberapa tipe dari *automated assembly system* digambarkan pada Gambar 2.2. Entitas tunggal bisa menjadi

produk akhir atau subassembly dalam produk yang lebih besar. Dalam banyak kasus, entitas yang dirakit terdiri dari bagian dasar yang komponen lainnya dilekatkan. Komponennya biasanya digabungkan satu per satu, sehingga perakitan selesai secara progresif.

2.2.1 Tipe Assembly Lines

Dari pemanfaatan sisi pada *assembly line*, dapat dibedakan menjadi *one-sided assembly line* dan *two-sided assembly line*, seperti berikut :

1. *One-sided Assembly Line*

Pemanfaatan lini pada *one-sided assembly line* hanya menggunakan satu sisi lini saja. *One-sided assembly line* telah menjadi dasar dan bentuk sederhana dari *line balancing problem* dan mungkin yang paling banyak dipelajari (Ok et al. 2001)

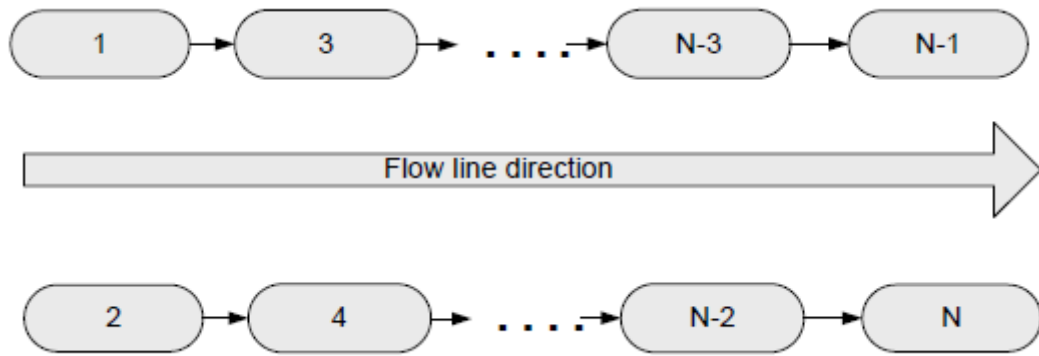
2. *Two-sided Assembly Line*

Two-sided assembly line dijelaskan dengan sebuah gambar sederhana pada Gambar 2.3 oleh Grzechca (2013). Pada *two-sided assembly line*, produk menunggu selama *cycle time* di setiap *mated-station* dimana ada dua operator bekerja di sisi berlawanan dari *line* bersamaan melakukan tugas yang berbeda pada produk individu yang sama. Tugas dilakukan sesuai dengan urutan operasi tugas tertentu dan mungkin memiliki batasan pada arah operasi. Beberapa operasi *assembly* harus dilakukan pada salah satu dari dua sisi, sementara yang lain dapat dilakukan di kedua sisi *line* (Taha, El-kharbotly, Sadek, & Afia, 2011).

Tugas-tugas dalam *two sided assembly line* diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu *Left* (L), *Right* (R), dan *Either* (E). Untuk setiap tugas, waktu operasi dan arah operasi apakah R, L, atau E ditunjukkan pada *precedence diagram* (Taha et al. 2011).

Dalam prakteknya *Two-sided assembly line* dapat memberikan beberapa keuntungan yang lebih dibandingkan dengan *one sided assembly line*. Antara lain keuntungan yang dapat diberikan oleh *Two-sided assembly line* adalah sebagai berikut:

1. Memperpendek panjang garis, dengan demikian jumlah pekerja juga semakin dikit,
2. Mengurangi jumlah *throughput* waktu,
3. Penurunan biaya pada alat dan perlengkapan karena dapat dikelompokkan menjadi lebih kecil,
4. Mengurangi *material handling*, pergerakan pekerja, dan waktu *set-up*.



Gambar 2.3 *Two-Sided Assembly Line* (Sumber : Grzechca, 2013)

Kriteria pengoptimalan pada *two-sided assembly line balancing problem* dikategorikan menjadi tiga tipe, yaitu :

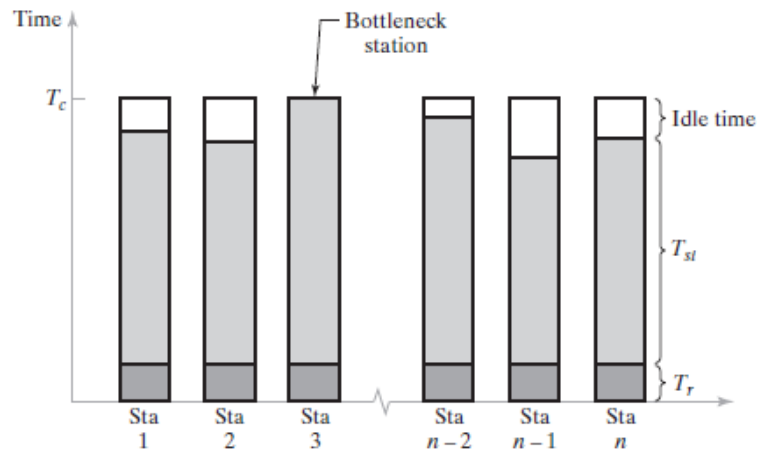
1. TALBP-I untuk meminimasi jumlah *workstation*,
2. TALBP-II untuk meminimasi *cycle time*, dan
3. TALBP-E untuk memaksimalkan efisiensi lini.

2.2.2 Pertimbangan dalam *Assembly Line Design*

Desain *manual assembly line* tidak boleh mengabaikan beberapa faktor lain, beberapa di antaranya dapat memperbaiki kinerja lini melebihi apa yang dapat diberikan oleh algoritma penyeimbang. Beberapa pertimbangan yaitu efisiensi lini, metode analisis, berbagi elemen kerja dengan dua *station* yang berdekatan, mengganti kecepatan *work head* pada *mechanized station*, *preassembly* komponen, menyediakan *storage buffers* diantara *station*, membatasi zona, dan memparalel *workstation*.

2.2.3 *Assembly Line Balancing Problem (ALBP)*

Pengerjaan inti produk terdiri dari beberapa *station*. *Assembly line balancing problem* berfokus pada individu *station* dalam urutan penugasan pengerjaan yang kurang optimal atau yang dapat menyebabkan *bottleneck* seperti pada Gambar 2.4 sehingga menimbulkan gap dengan individu *station* lainnya. Apabila kondisi ini dibiarkan, maka hasil produksi dalam periode yang telah ditentukan juga kurang maksimal (Groover, 2014).



Gambar 2.4 Permasalahan dalam *Production Lines* (Sumber : Groover, 2014)

Assembly Line Balancing Problem (ALBP) adalah penugasan untuk masing-masing *workstation* dengan pertimbangan untuk mengoptimalkan satu atau lebih tujuan tanpa melanggar tugas yang mendahulukan kendala atau apapun (Ok et al. 2001). Metode yang tepat untuk menggambarkan adalah heuristik yang telah dikembangkan. *Assembly line balancing problem* umumnya terbagi dalam dua kategori yaitu *simple assembly line balancing problem* (SALBP) dan *general assembly line balancing problem* (GALBP) (Forms et al. 2016). *Simple Assembly Line Balancing Problem* (SALBP), diklasifikasikan sesuai tujuannya (Dwi, Wee, & Rau, 2013) :

1. Tipe I, dimana untuk meminimalkan jumlah stasiun untuk waktu siklus tertentu.
2. Tipe 2, dimana permasalahannya adalah untuk meminimalkan waktu siklus untuk jumlah *workstation* tertentu.

a. Cycle Time

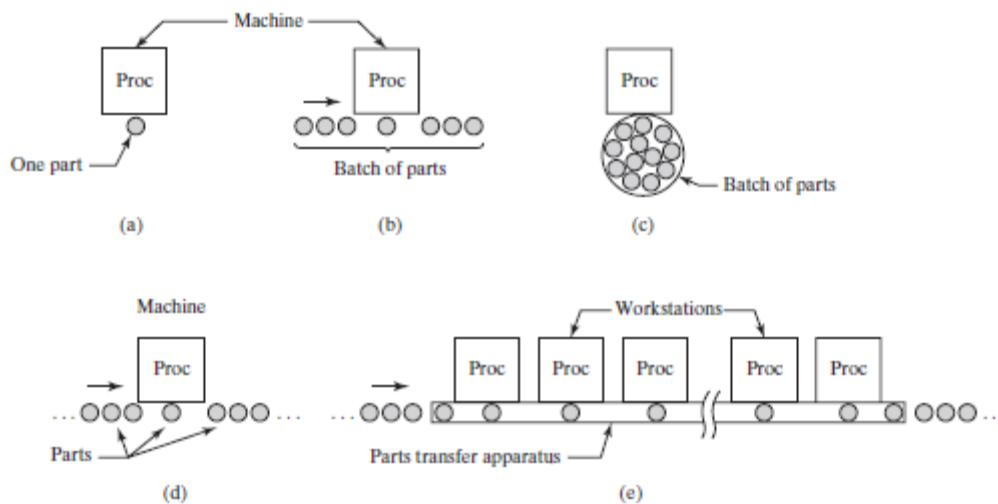
Cycle time adalah waktu yang digunakan oleh satu unit kerja untuk diproses atau dirakit. Merupakan interval waktu antara satu unit kerja yang memulai untuk diproses atau dirakit dan kapan unit berikutnya memulai proses. *Cycle time* dihitung sebagai waktu yang dihabiskan dalam individu mesin, tetapi tidak semua adalah waktu proses. Waktu tersebut terdiri dari waktu proses yang sesungguhnya, waktu *handling* bagian kerja, dan waktu *tool handling* per benda kerja (Groover, 2014).

$$T_c = T_o + T_h + T_t \tag{2.1}$$

dimana T_c adalah *cycle time*, T_o adalah waktu proses atau *assembly* sebenarnya, T_h adalah *handling time*, dan T_t adalah rata-rata waktu *tool handling*.

b. Production Rate

Production rate digunakan untuk operasi unit produksi yang biasanya dinyatakan sebagai satuan per jam yaitu unit kerja yang mampu terselesaikan per jam (*pc/hr*). Pertimbangan bagaimana tingkat produksi ditentukan berdasarkan operasi *cycle time* untuk tiga jenis produksi yaitu *job shop production*, *batch production* dan *mass production* (Groover, 2014).



Gambar 2.5 Tipe Operasi Produksi (a) *Job Shop* (b) *Sequential Batch* (c) *Simultaneous Batch* (d) *Quantity Mass* (e) *Flow-Line Mass* (Sumber : Groover, 2014)

Pada produksi *job shop*, kuantitas rendah ($1 \leq Q \leq 100$). Ketika kuantitas $Q = 1$, *production rate* per unit kerja adalah jumlah *setup* dan *cycle time* :

$$T_p = T_{su} + T_c \quad (2.2)$$

dimana T_p adalah rata-rata waktu produksi (*min/pc*), T_{su} adalah *setup time* (*min/pc*), dan T_c adalah *cycle time*, sehingga *production rate* adalah

$$R_p = \frac{60}{T_p} \quad (2.3)$$

Pada *sequential batch processing*, waktu untuk memproses satu *batch* terdiri dari unit kerja Q dimana adalah jumlah *setup time* dan *processing time*, dimana *processing time* adalah kuantitas *batch* dikalikan dengan *cycle time*

$$T_b = T_{su} + QT_c \quad (2.4)$$

dimana T_b adalah *batch processing time* (*min/batch*) dan Q adalah *batch quantity* (*pc/batch*). Dalam *simultaneous batch processing*, waktu untuk memproses *batch* yang terdiri dari unit kerja Q adalah jumlah *setup time* dan *processing time*, dimana *processing time* adalah waktu bersamaan untuk memproses semua bagian dalam *batch*

$$T_b = T_{su} + T_c \quad (2.5)$$

maka untuk mendapatkan waktu produksi rata-rata per unit kerja T_p untuk operasi unit adalah

$$T_p = \frac{T_b}{Q} \quad (2.6)$$

Untuk tipe *mass production*, *production rate* sama dengan *cycle rate* pada mesin

$$R_p \rightarrow R_c = \frac{60}{T_c} \quad (2.7)$$

dimana R_c adalah *operation cycle rate* pada mesin.

c. *Idle Time*

Idle time atau waktu menganggur adalah selisih antara waktu siklus dengan waktu stasiun. Perbedaan antara waktu siklus dengan waktu stasiun disebut juga *idle time* (Grzechca, 2013).

Idle time

$$= Wd - Wi \quad (2.8)$$

Total *idle time*

$$= n \cdot Wd - \sum_{i=1}^n Wi \quad (2.9)$$

dimana

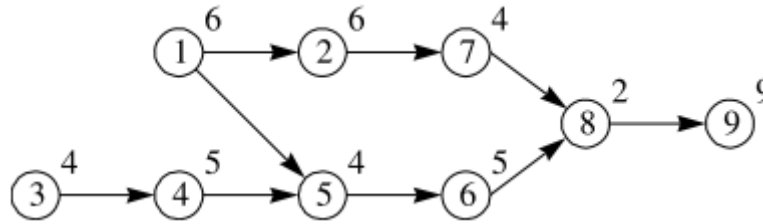
Wd = waktu stasiun kerja terbesar

Wi = waktu sebenarnya pada setiap stasiun

n = jumlah stasiun kerja

d. *Precedence Graph*

Precedence graph terdiri dari *node* yang mewakili *tasks* proses produksi dan satu set *arcs* yang mewakili hubungan utama antara *tasks* seperti pada Gambar 2.6. Selain itu, bobot *node* dan *arc* dapat dipertimbangkan yang mencerminkan atribut penting, seperti waktu *tasks* dan alternatif proses, persyaratan *resource* dan pembatasan zona (Boysen, Flidner, & Scholl, 2007)



Gambar 2.6 *Precedence Graph* (Sumber : Boysen et al. 2007)

e. Balance Delay

Balance delay (BD) menunjukkan jumlah waktu yang hilang karena ketidaksempurnaan keseimbangan sebagai ratio terhadap total waktu yang tersedia.

$$d = \frac{(wT_s - T_{wc})}{wT_s} \tag{2.10}$$

dimana w adalah *number of worker*, T_s adalah maksimum *available service time* pada lini produksi, dan T_{wc} adalah *work content time* per produk.

f. Line Efficiency

Line efficiency (LE) menunjukkan persentase utilisasi dari lini produksi. LE dinyatakan sebagai ratio total waktu *station* terhadap *cycle time* dikalikan dengan jumlah *workstation*.

$$LE = \frac{\sum_{i=1}^k ST_i}{c.K} . 100\% \tag{2.11}$$

dimana K adalah *total number of workstation*, dan c adalah *cycle time*.

2.3 Model Two-sided Assembly Line Balancing Problem

Model yang digunakan untuk menyelesaikan *two-sided assembly line balancing problem* pada penelitian ini mengacu pada referensi jurnal penelitian sebelumnya yaitu jurnal oleh Khorasanian et al. (2013). Terdapat beberapa definisi yang digunakan dalam model ini, yaitu sebagai berikut.

2.3.1 Definisi Index Hubungan Faktor

Khorasanian et al. (2013) membagi dua faktor umum yaitu faktor jarak (*distance*) dan faktor alat (*tool*) yang digunakan dalam mempertimbangkan untuk menilai hubungan antara masing-masing dua tugas. Apabila dua tugas tidak dapat ditugaskan ke *station* umum maka hubungan mereka tidak perlu dinilai. Misalnya, hubungan antara dua tugas yang salah satunya memiliki kode R dan yang lainnya memiliki kode L tidak perlu dinilai.

1. *Distance factor*

Kedekatan tempat pelaksanaan tugas yang ditugaskan ke masing-masing *station*

mengarah pada peningkatan efisiensi. Ini karena reposisi operator dan kelelahan mereka dapat dikurangi. Selain itu, posisi tetap dapat dibangun untuk operator sehingga meningkatkan presisi mereka atau untuk mengurangi kesalahan mereka. Nilai faktor jarak, lebih dari kisaran $[0,1]$, dari tugas i dan j yang ditunjukkan oleh DF_{ij} menyatakan nilai dari penugasan tugas. Nilai *distance faktor* pada masing-masing dua tugas dapat diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$DF_{ij} = \begin{cases} 1,0; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "good"} \\ 0,5; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "not good not bad"} \\ 0,1; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "bad"} \end{cases} \quad (2.12)$$

2. *Tool factor*

Tingkat efisiensi yang lebih tinggi akan tercapai apabila upaya maksimum dilakukan untuk menetapkan dua tugas yang membutuhkan alat umum untuk implementasi ke stasiun umum. Ini karena kebutuhan peralatan dan *setup time* untuk menggunakannya dapat dikurangi. Selain itu, keseragaman diperoleh di antara tugas-tugas yang ditugaskan pada masing-masing stasiun. Nilai faktor ini dianggap sebagai nilai biner. Ketika dua tugas membutuhkan seperangkat alat yang sama, nilai faktor alat mereka akan sama dengan satu, apabila tidak akan menjadi nol. Juga, nilai faktor alat dari dua tugas yang tidak memerlukan alat apa pun akan sama dengan satu. Mempertimbangkan faktor-faktor yang disebutkan diatas, index didefinisikan sebagai dalam persamaan berikut untuk menghitung *relationship value* antara tugas i dan j bernama TR_{ij} .

$$TR_{ij} = a_1 DF_{ij} + a_2 TF_{ij}; \quad a_1 + a_2 = 1 \quad (2.13)$$

dimana a_1 dan a_2 adalah bobot *relationship value* pada *distance factor* dan *tool factor*. TR_{ij} memiliki kisaran nilai $[0,1]$ dan semakin besar nilainya, semakin banyak hubungan antara tugas i dan j untuk penugasan pada *station* umum.

2.3.2 Definisi *Assembly line Tasks Consistency* (ATC)

Dimisalkan solusi dengan n sebagai *task* pada NS *station*. Ns_k didefinisikan sebagai *number of task* yang ditugaskan pada S_k ($k=1, \dots, NS$). Pertimbangan $\pi_{S_k}(i)$ sebagai elemen dengan urutan *task* yang ditugaskan untuk S_k . Nilai *ATC* untuk memperoleh solusi dijelaskan sebagai persamaan berikut:

$$ATC = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{NS} \left(\left(\sum_{i=1}^{N_{sk}} \sum_{j=i+1}^{N_{sk}} TR_{\pi_{sk}(i), \pi_{sk}(j)} \right) / \binom{N_{sk}}{2} \right)}{NS} \quad (2.14)$$

dimana $\binom{N_{sk}}{2}$ menunjukkan jumlah 2 kombinasi n elemen dan hasil untuk $N_{sk} (N_{sk} - 1)/2$. Pada persamaan diatas merupakan hubungan rata-rata antara *task* yang ditugaskan ke setiap *station* awalnya digabungkan untuk menentukan nilai *ATC* untuk setiap solusi. Selanjutnya rata-rata nilai-nilai tersebut dihitung atas semua *station*. Kemudian nilai yang dihasilkan dikurangi dari satu untuk mendefinisikan kriteria kinerja ini sebagai kriteria minimalisasi. Jadi, nilai *ATC* berada dalam kisaran [0, 1], dan nilainya yang lebih kecil untuk solusi menunjukkan hubungan rata-rata yang lebih antara tugas yang ditugaskan ke *station* dari solusi ini.

2.3.3 Fungsi Objektif

Fungsi objektif berikut bertujuan untuk meminimalan *number of station*, meminimalkan *number of mated-station*, dan meminimalkan *ATC*.

$$S_R = [RT_{total}/ct] \quad (2.15)$$

$$S_L = [LT_{total}/ct] \quad (2.16)$$

$$S_E = \left[\max \left(\left(ET_{total} - ((S_L + S_R) \times ct - (LT_{total} + RT_{total})) \right), 0 \right) / ct \right] \quad (2.17)$$

$$LB_{NS} = S_R + S_L + S_E \quad (2.18)$$

$$LB_{NM} = \max(S_L, S_R) + \left[\max((S_E - |S_L - S_R|), 0) / 2 \right] \quad (2.19)$$

Dimana :

- S_R adalah *station right*,
- RT_{total} adalah waktu total *processing* pada *R type tasks*,
- S_L adalah *station left*,
- LT_{total} adalah waktu total *processing* pada *L type tasks*,
- S_E adalah *station either*, dan

- ET_{total} adalah waktu total *processing* pada *E type tasks*.
- ct merepresentasikan *cycle time*, dan
- LB_{NS} adalah notasi *lower bounds* dari *number of station*, dan
- LB_{NM} dan *number of mated-station*.

Dengan menggunakan *lower bounds* dari *number of station* dan *number of mated-station* kriteria berubah menjadi $\left(NS - \frac{LB_{NS}}{NS}\right)$ dan $\left(NM - \frac{LB_{NM}}{NM}\right)$. Sehingga *objective function* didefinisikan sebagai berikut :

$$obj = w_1 \left(NS - \frac{LB_{NS}}{NS}\right) + w_2 \left(NM - \frac{LB_{NM}}{NM}\right) + w_3 ATC \quad (2.20)$$

Dimana w_i , $i = 1, 2, 3$, adalah bobot yang telah ditentukan dari faktor-faktor tersebut. Dampak dari dua kriteria tersebut adalah pada efisiensi *line* yang lebih dari *ATC*. Di sisi lain, *number of station* sering dianggap lebih penting daripada *number of mated-station*. Dengan demikian $w_1 > w_2 > w_3$; $w_1 + w_2 + w_3 = 1$ harus dapat dipenuhi.

2.4 Kombinasi Linear

Suatu vektor W dinamakan kombinasi linier dari vektor - vektor v_1, v_2, \dots, v_n , jika vektor tersebut dapat ditulis dalam bentuk $W = k_1 v_1 + k_2 v_2 + \dots + k_n v_n$, dengan ketentuan k_1, k_2, \dots, k_n merupakan skalar (Murtiyasa, 2009). Untuk gambaran yang lebih mudah, Imrona (2014) membuat permisalan V adalah ruang vektor $S = \{u_1, u_2, \dots, u_n\} \subseteq V$. Misalkan $a \in V$. Vektor a disebut dapat dinyatakan sebagai kombinasi linier dari S , jika terdapat skalar-skalara (konstanta riil) k_1, k_2, \dots, k_n , sehingga memenuhi persamaan: $k_1 u_1 + k_2 u_2 + \dots + k_n u_n = a$

2.5 Ergonomi

Ergonomi adalah ilmu, seni, dan penerapan teknologi untuk menyesuaikan atau menyeimbangkan antara segala fasilitas yang digunakan baik dalam beraktivitas maupun istirahat dengan kemampuan dan keterbatasan manusia baik fisik maupun mental kualitas hidup secara keseluruhan menjadi lebih baik (Tarwaka, et.al., 2004). Yang dimaksud kualitas hidup manusia pekerja sesuai yang diterapkan oleh organisasi peruburuhan internasional (ILO), secara umum adalah :

1. *Work should respect the workers life and health,*
2. *Work should leave worker with free time for rest and leisure,*

3. *Work should enable the worker to serve society and achieve self-fulfillment by developing his personal capacities.*

Dengan demikian pencapaian kualitas hidup manusia secara optimal, baik di tempat kerja, di lingkungan sosial maupun di lingkungan keluarga, menjadi tujuan utama dari penerapan ergonomi.

2.5.1 Tujuan Ergonomi

Secara umum tujuan penerapan ergonomi menurut Tarwaka et. al. (2004) adalah sebagai berikut :

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

2.5.2 Pertimbangan Antropometri dalam Desain

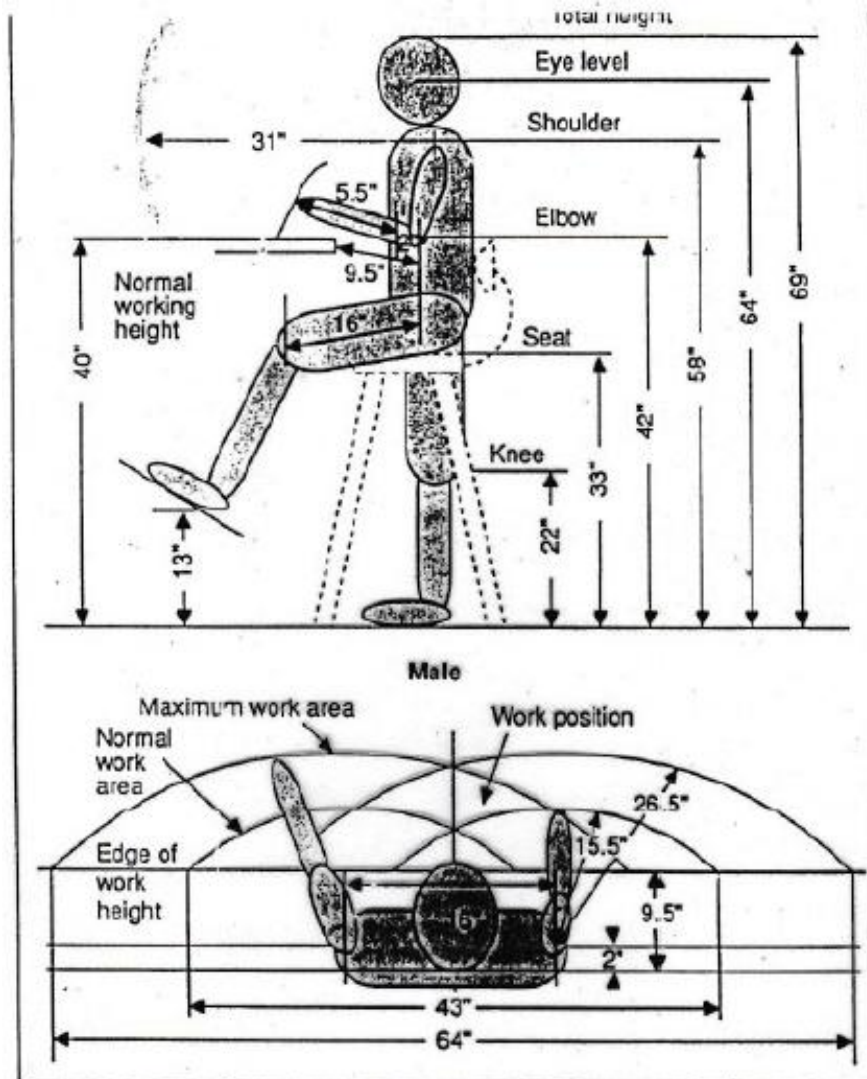
Antropometri adalah ilmu yang berhubungan dengan aspek ukuran fisik manusia meliputi metode pengukuran, pemodelan dimensi tubuh dan aplikasi teknik untuk perancangan (Nurmianto, 2003). Terdapat dua jenis dalam antropometri yaitu :

1. Antropometri Struktural (Statis)
Pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia dalam posisi diam.
2. Antropometri Fungsional (Dinamis)
Pengukuran keadaan dan ciri-ciri fisik manusia ketika melakukan gerakan-gerakan yang mungkin terjadi saat bekerja (tinggi duduk, jangkauan tangan, dan lain sebagainya)

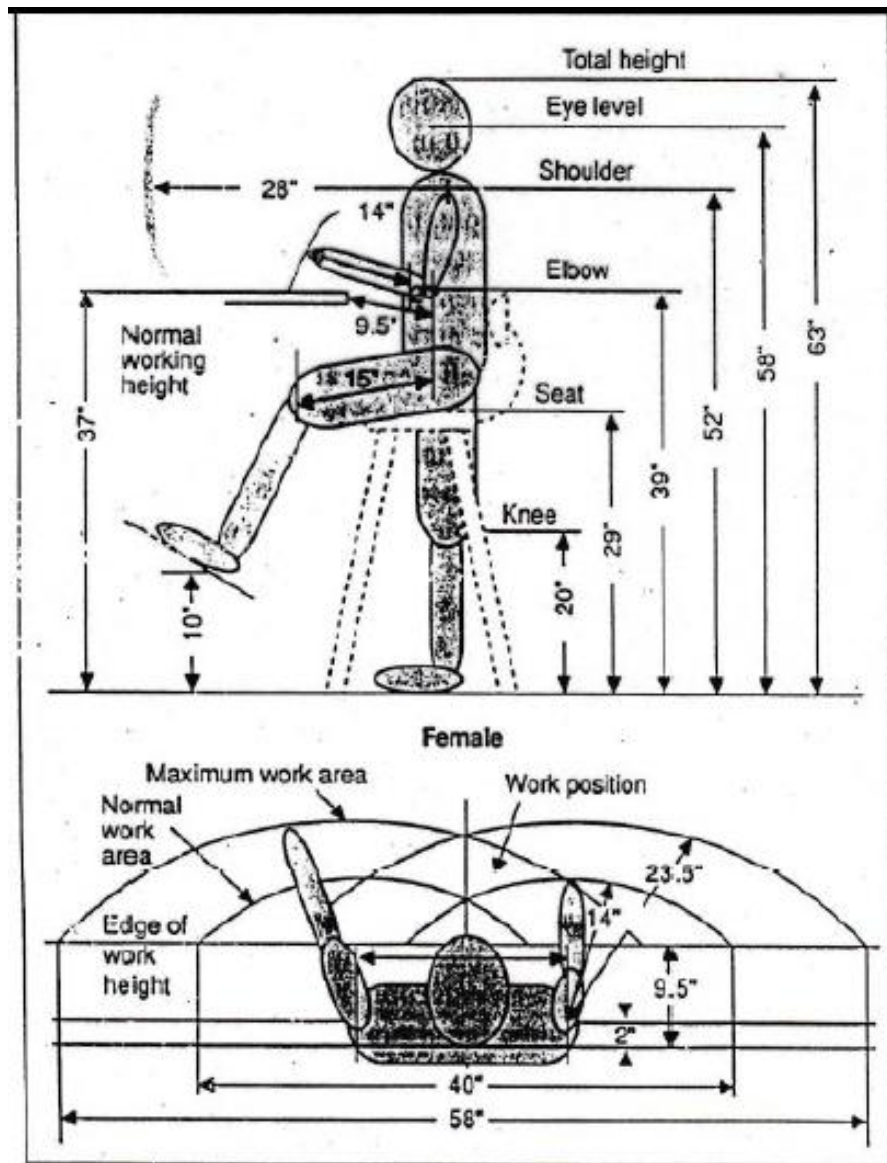
Perancangan antropometri memiliki beberapa tujuan, yaitu :

1. Mengurangi tingkat kelelahan pekerja,
2. Meningkatkan performansi kerja,

3. Meminimasi potensi kecelakaan kerja.



Gambar 2.7 Area Kerja Normal dan Maksimum pada Horizontal dan Vertikal Planes untuk Pria
(Sumber :Nurmianto, 2003)



Gambar 2.8 Area Kerja Normal dan Maksimum pada Horisontal dan Vertikal Planes untuk Wanita
(Sumber :Nurmianto, 2003)

2.6 Time and Motion Study

Time and motion study adalah suatu aktivitas untuk menentukan waktu yang dibutuhkan oleh seorang operator (yang memiliki *skill* rata-rata dan terlatih) baik dalam melaksanakan sebuah kegiatan kerja dalam kondisi dan tempo kerja yang normal (Marvin, 1994). Istilah *time and motion* itu sendiri dapat diartikan menjadi dua yaitu *motion study* yang terdiri dari deskripsi, analisis sistematis dan pengembangan metode kerja dalam menentukan bahan baku, desain *output*, proses, alat kerja, tempat kerja, dan perlengkapan untuk setiap langkah dalam suatu proses, aktivitas manusia yang mengerjakan setia aktivitas itu sendiri. Tujuan metode *motion study* adalah untuk menentukan atau mendesain metode kerja yang sesuai untuk menyelesaikan sebuah aktivitas (Marvin, 1994). Sedangkan *time study* terdiri atas keragaman prosedur untuk

menentukan lama waktu yang dibutuhkan dengan standar pengukuran waktu yang ditetapkan, untuk setiap aktivitas yang melibatkan manusia, mesin atau kombinasi aktivitas (Ciptani, 2008)

Time and motion study dapat didefinisikan sebagai suatu pendekatan yang mengarahkan *engineering* dalam memilih suatu metode yang berkaitan dalam merancang sebuah stasiun kerja yang diinginkan baik itu oleh si perancang maupun bagi pihak perusahaan (Yuliarto, 2009). Menurut Wignjosoebroto (1995) menjelaskan bahwa *time and motion study* adalah sebuah pembelajaran sistematis dari sistem kerja dengan tujuan mengembangkan sistem dan metode yang lebih baik, menstandarkan sistem dan standar, menentukan standar waktu, dan melatih operator.

Wignjosoebroto (1995) menjelaskan bahwa terdapat dua macam teknik pengukur *time and motion*, yaitu :

1. Pengukuran waktu secara langsung

Cara pengukuran dilaksanakan secara langsung yaitu dengan mengamati pekerja secara langsung bagaimana pekerjaan yang dilakukan oleh operator dan mencatat waktu yang diperlukan oleh operator dalam melakukan pekerjaannya dengan terlebih dahulu membagi operasi kerja menjadi elemen-elemen kerja yang sedetail mungkin dengan syarat masih bisa diamati dan diukur. Cara pengukuran langsung ini dapat menggunakan metode jam henti (*stopwatch time study*) dan *sampling* kerja (*work sampling*).

2. Pengukuran waktu secara tidak langsung

Pengukurannya dilakukan dengan menghitung waktu kerja dimana pengamat tidak berada di tempat pekerja diukur. Cara ini menggunakan waktu baku (*standart data*) dan waktu gerakan (*predetermined time system*).

Pada aktifitas pengukuran *time and motion study* terdapat beberapa kriteria-kriteria yang harus dipenuhi antara lain adalah aktivitas tersebut harus dilaksanakan secara *repetitive* dan *uniform*, isi atau macam pekerjaan tersebut harus homogen, hasil kerja (*output*) harus dapat dihitung secara nyata (kuantitatif) baik secara keseluruhan ataupun untuk tiap-tiap elemen kerja yang berlangsung dan pekerjaan tersebut cukup banyak dilaksanakan dan bersifat teratur sehingga akan memadai untuk diukur dan dihitung waktu bakunya (Wignjosoebroto, 1995).

Untuk memperoleh hasil yang optimal, maka dalam melaksanakan pengukuran *time and motion study* harus mempertimbangkan banyak faktor antara lain kondisi kerja, cara pengukuran, dan jumlah siklus kerja yang diukur.

2.6.1 Performance Rating

Performance rating merupakan konsep bekerja yang sewajarnya dimana operator bekerja secara normal yaitu apabila seorang operator yang dianggap berpengalaman bekerja tanpa usaha-usaha yang berlebihan, menguasai cara bekerja, dan menunjukkan kesungguhan dalam menjalankan pekerjaannya. Nilai *performance rating* yaitu :

1. $P = 1$ atau $P = 100\%$ berarti normal
2. $P < 1$ atau $P < 100\%$ berarti lambat
3. $P > 1$ atau $P > 100\%$ berarti cepat

2.6.2 Waktu Normal

Waktu normal atau *normal time* adalah waktu yang diperlukan untuk seorang operator yang terlatih untuk memilih rata-rata untuk melaksanakan suatu aktivitas dibawah kondisi dan tempo kerja normal (adi, 2009). Waktu norma adalah waktu siklus yang telah dikalikan dengan penyesuaian operator (Yulianto, 2009) Pengukuran waktu nominal atau waktu siklus rata-rata adalah sebagai berikut :

$$W_s = \frac{\sum Xi}{N} \quad (2.21)$$

dimana Xi adalah jumlah waktu pengukuran dan N adalah banyaknya data pengukuran.

2.6.3 Kelonggaran

Kelonggaran (L atau *allowance*) adalah jumlah waktu yang harus ditambahkan dalam waktu normal untuk mengantisipasi terhadap kebutuhan-kebutuhan waktu untuk melepaskan lelah (*fatigue*). Kebutuhan-kebutuhan yang bersifat pribadi (*personal needs*) dan kondisi-kondisi menunggu atau menganggur baik yang dapat dihindarkan maupun tidak dapat dihindarkan (*avoidable or unavoidable delays*) (Adi, 2009).

Allowance dalam waktu kerja dibedakan menjadi tiga macam, yaitu :

1. Kelonggaran waktu untuk kebutuhan pribadi (*personal allowance*) yang diberikan untuk *personal needs* ditujukan untuk kebutuhan yang bersifat pribadi seperti makan, minum, ke kamar mandi, dan lain sebagainya. kelonggaran ini berkisar antara 0-2,5% untuk pria dan 2-5% untuk wanita,
2. Kelonggaran waktu untuk melepas lelah (*fatigue allowance*) diberikan untuk pekerja agar pekerja dapat mengembalikan kondisi akibat kelelahan dalam bekerja baik kelelahan fisik maupun mental,
3. Keterlambatan waktu untuk keterlambatan yang tidak terduga (*unavoidable allowance*).

2.6.4 Waktu Baku

Waktu baku adalah waktu yang seharusnya digunakan oleh operator normal pada keadaan normal untuk memproduksi satu unit produk (Yulianto, 2009). Waktu baku adalah waktu yang dibutuhkan oleh seorang pekerja yang memiliki tingkat kemampuan rata-rata untuk menyelesaikan suatu pekerjaan (Wignjosoebroto, 1995). Waktu baku adalah jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dalam prestasi standar, yakni dengan memperhitungkan kelonggaran (*allowance*) serta penyesuaian yang dibutuhkan dalam menyelesaikan pekerjaan tersebut (Uk. Petra, 2009).

Waktu baku yang dihasilkan akan sangat diperlukan terutama untuk (Wignjosoebroto, 1995) :

1. *Man power planning* (perencanaan kebutuhan tenaga kerja),
2. Estimasi biaya-biaya untuk upah karyawan atau pekerja,
3. Penjadwalan produksi dan penganggaran,
4. Perencanaan sistem pemberian bonus dan insentif bagi karyawan atau pekerja yang berprestasi,
5. Indikasi keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh seorang pekerja.

Untuk menetapkan waktu standar adalah sebagai berikut :

$$W_b = W_n + \left(\frac{x}{100} X W_n\right) \quad (2.22)$$

dimana W_n adalah waktu normal dan X adalah besarnya kelonggaran setiap tenaga kerja berdasarkan jenis kelamin.

2.7 Literatur Review

Two-sided assembly line balancing problem terus dikembangkan agar produktivitas dapat ditingkatkan dengan meminimalkan *idle time* dan memperkecil *cycle time*. *Two-sided assembly line* dapat dibedakan dengan *one-sided assembly line* dari tugas yang diberikan untuk diproses.

Two-sided assembly lines dapat dikategorikan oleh satu set *tasks* yang harus dibagi dan diproses pada satu set *mated-station*, masing-masing berisi dua *workstation* yang menghadap dan berlawanan. Dua pekerja saling membantu menjalankan tugas secara paralel di kedua sisi kiri dan kanan (Zixiang, Ibrahim, dan Mukund, 2017).

Balance Delay (BD), *line efficiency* (LE), *line time* (LT), dan *smoothness index* (SI) merupakan solusi ukuran kualitas pada *line balancing* untuk mempertimbangkan *idle time* yang dimunculkan dalam literatur Grzechca (2013). *Two-sided assembly line* sangat sensitif terhadap perubahan parameter apapun, sehingga terdapat beberapa *idle time* yang tidak dapat dihindari

dan tetap ada pada struktur *two-sided assembly line*.

Two-sided assembly line merupakan sekumpulan operasi tugas dilakukan di dua sisi *workstation* yang berurutan. H. Dwi, H. Wee, H. Rau (2013) mengusulkan model matematis TALBP *type II* dengan membatasi penugasan dengan tujuan untuk meminimalkan *cycle time* pada beberapa *mated-workstation* dan secara bersamaan untuk menyeimbangkan *workstation*. *Genetic algorithm* dan *iterative first-fit rule* digunakan untuk membantu menyelesaikan masalah. *Iterative first-fit rule* memberikan keuntungan dengan menemukan posisi terbaik dari banyak *workstation* sedangkan *genetic algorithm* menyediakan tugas-tugas yang lebih fleksibel pada beberapa *workstation* tersebut. Pembatasan tugas mempertimbangkan beberapa literatur yaitu *zoning restriction*, *distance restriction*, *synchronous task restriction*, *resource restriction*, dan *station restriction*. Dari *genetic algorithm* dan *iterative first-fit rule* dilakukan evaluasi dari kinerja kedua metode berdasarkan enam masalah. Berdasarkan hasil penelitian, *genetic algorithm* lebih baik dalam memberikan *cycle time* dibandingkan dengan *iterative first-fit rule*.

Sepahi dan Naini (2016) menggunakan pendekatan baru yang memungkinkan kinerja paralel tugas pada dunia nyata. Penelitian menguji pengaruh hubungan kinerja paralel tugas berpasangan yang di pasang dalam masalah *two-sided assembly line balancing*. Kinerja setiap tugas di satu sisi dipengaruhi oleh tugas paralel di sisi lain, dimana dapat memberikan efek positif, negatif, dan netral. Didapatkan hasil yang kuat dari algoritma baru yang menunjukkan kinerja paralel dapat diandalkan dengan menghasilkan yang signifikan pada *two-sided assembly line balancing problem*. Model diformulasikan dalam *linear integer* dan usulan algoritma heuristik yang baru. Dari hasil penelitian tersebut, didapatkan hasil yang kuat serta algoritma baru menunjukkan kinerja yang dapat diandalkan dengan menghasilkan hasil yang signifikan untuk masalah dasar *two-sided assembly line*.

Tang, Li, dan Zhang (2016) mereduksi *idle time* pada *two-sided assembly line problem* tipe-II dengan melakukan perancangan khusus untuk penugasan *tasks* sehingga *idle time* yang bergantung pada urutan dapat dihilangkan. Mekanisme penekanan *cycle time* mampu mempercepat proses pencarian *idle time* yang dapat direduksi untuk dilakukan iterasi lebih lanjut. *Overload* dan *underload* diperhitungkan sebagai tujuan sekunder untuk mengurangi waktu *idle* yang tersisa. *Discrete Artificial Bee Colony* (DABC) digunakan sebagai algoritma untuk melakukan reduksi tersebut. Sembilan algoritma diperluas untuk menyelesaikan *two-sided assembly line problem* tipe-II dan dibandingkan dengan DABC. Hasil komputasi memberikan bahwa efisiensi lebih tinggi daripada metode usulan yang berkaitan dengan kriteria performansi *cycle time*. Selain itu, DABC juga menemukan enam solusi optimal baru dan enam belas solusi yang mendekati *optimal solution*.

Bees algorithm and artificial bee colony algorithm juga digunakan oleh Tapkan, Ozbakir, dan Baykaso (2016) untuk memperkenalkan *walking time* pada *two-sided assembly line problem*. *Walking distance* dimasukkan dalam masalah *parallel two-sided assembly line balancing problem*. Komputasi menunjukkan bahwa algoritma yang diusulkan memberikan kinerja yang sangat baik, karena mampu memperoleh solusi yang lebih baik. *Walking times* tidak dapat diabaikan untuk sistem *assembly* berukuran lebih besar karena jarak berjalan yang panjang di antara jalur produksi. Peningkatan *walking times* antara *workstation* umum dari jalur *assembly* paralel langsung mempengaruhi tugas tugas dari *workstation* dan waktu *throughput*. Tanpa mempertimbangkan *walking times*, keseimbangan dari jalur *assembly* memberikan hasil yang tidak praktis.

Khorasanian, Hejazi, dan Moslehi (2013) menggunakan *simulated annealing* untuk meminimalkan *workstation* pada *two-sided assembly line balancing problem* dengan mempertimbangkan hubungan tugas. Penelitian tersebut menyarankan index untuk menghitung nilai hubungan tugas antara masing-masing dua tugas. Melalui prosedur tersebut, tugas yang memiliki hubungan yang lebih banyak memberikan peluang yang lebih baik untuk ditugaskan ke *station* umum. Hasil komputasi menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dari algoritma yang berkaitan dengan kriteria *number of station* dan *number of mated-station*.

Berikut ini ringkasan beberapa jurnal penelitian diatas mengenai *two-sided assembly line balancing* yang dapat dilihat pada Tabel 2.1

Tabel 2. 1 Literatur Review

No	Judul Paper	Penulis	Tahun	Tujuan	Modifikasi	Metode	Hasil
1	<i>Idle Times Analysis in Two-sided Assembly Line Balancing Problem</i>	W. Grzechca	2013	Untuk menganalisis dengan pertimbangan idle time pada two sided assembly line menggunakan beberapa ukuran solusi	Solusi menggunakan <i>balance delay (BD)</i> , <i>line efficiency (LE)</i> , <i>line time (LT)</i> , dan <i>smoothness index (SI)</i> .	<i>Heuristic method</i>	<i>Two-sided assembly line</i> sangat sensitif terhadap perubahan parameter apapun sehingga terdapat beberapa <i>idle time</i> yang dibiarkan pada struktur <i>assembly line</i> .
2	<i>Two-Sided Assembly Lines Balancing with Assigment Restriction</i>	H. Dwi, H. Wee, H. Rau	2013	Pembatasan <i>assignment</i> pada jalur two-sided assembly line balancing tipe II yang bertujuan untuk meminimalkan <i>cycle time</i> , penugasan dibuat lebih fleksibel dan cepat dipindahkan	Pembatasan tugas dilakukan dengan pertimbangan <i>zoning restriction</i> , <i>distance restriction</i> , <i>synchronous task restriction</i> , <i>resource restriction</i> , dan <i>station restriction</i>	<i>Genetic algorithm</i> dan aturan <i>firts-fit</i> iteratif	Kinerja kedua metode memberikan hasil bahwa GA lebih baik dalam memberikan <i>cycle time</i> daripada IFFR.
3	<i>Two-Sided Assembly Line Balancing Problem with Parallel Performance Capacity</i>	A. Sepahi, S. Gholamreza, J. S. Naini	2016	<i>Two-sided assembly line balancing problem</i> dengan pertimbangan kemungkinan kinerja tugas secara paralel	Menguji pengaruh kinerja paralel yang dipasang pada <i>assembly line balancing problem</i> . Kinerja setiap tugas di satu sisi dipengaruhi oleh tugas paralel di sisi lain, dimana dapat memberikan efek positif, negatif, dan netral.	<i>Linear integer</i> dan <i>heuristic algorithm</i>	Didapatkan hasil yang kuat dari algoritma baru, menunjukkan kinerja paralel dapat diandalkan dengan hasil yang signifikan.

Tabel 2. 1 Literatur Review (Lanjutan)

No	Judul Paper	Penulis	Tahun	Tujuan	Modifikasi	Metode	Hasil
4	<i>An Effective Discrete Artificial Bee Colony Algorithm with Idle Time Reduction Techniques for Two-Sided Assembly Line Balancing Problem of Type-II</i>	Q. Tang, Z. Li, L. Zhang	2016	Mereduksi <i>idle time</i>	Perancangan khusus penugasan <i>tasks</i> untuk menghilangkan <i>idle time</i> yang bergantung pada urutan.	<i>Discrete Artificial Bee Colony (DABC)</i>	Aturan penugasan tugas diterapkan pada skema <i>decoding</i> yang dapat menurunkan <i>idle time</i> yang bergantung pada urutan. Kemudian meminimalkan total beban berlebih dan beban rendah diusulkan sebagai tujuan sekunder untuk memastikan bahwa stasiun yang dipasangkan sebelumnya seimbang dan meningkatkan kemungkinan menemukan solusi yang lebih baik.
5	<i>Bee algorithms for Parallel Two-Sided Assembly Line Balancing Problem with Walking Times</i>	P. Tapkan, L. Ozbakir, A. Baykaso	2016	Memperkenalkan <i>two-sided assembly line problem</i> dengan <i>walking time</i>	<i>Walking distance</i> dimasukkan dalam masalah <i>parallel two-sided assembly line balancing problem</i>	<i>Bees Algorithm and Artificial Bee Colony Algorithm</i>	<i>Walking times</i> tidak dapat diabaikan untuk sistem perakitan berukuran lebih besar karena jarak berjalan yang panjang di antara jalur produksi. Peningkatan <i>walking times</i> antara <i>workstation</i> umum dari jalur perakitan paralel langsung mempengaruhi tugas tugas dari <i>workstation</i> dan waktu <i>throughput</i> . Tanpa mempertimbangkan waktu berjalan, keseimbangan tidak praktis dari jalur perakitan dapat dihasilkan.

Tabel 2. 1 Literatur Review (Lanjutan)

No	Judul Paper	Penulis	Tahun	Tujuan	Modifikasi	Metode	Hasil
6	<i>Computers & Industrial Engineering Two-Sided Assembly Line Balancing Considering The Relationships between Task</i>	D. Khorasanian, S. Hejazi, G. Moslehi	2013	Menyelesaikan <i>two-sides assembly line balancing problem</i> dengan pertimbangan hubungan tugas	Hubungan tugas yang diperkenalkan adalah <i>distance factor</i> dan <i>tool factor</i>	<i>Simulated Annealing</i>	Didapatkan hasil bahwa tugas yang memiliki hubungan yang lebih banyak memberikan peluang yang lebih baik untuk ditugaskan ke station umum. Hasil komputasi menunjukkan efisiensi yang lebih tinggi dari algoritma yang berkaitan dengan kriteria <i>number of station</i> dan <i>number of mated-station</i> .
Penelitian Selanjutnya	<i>Two-Sided Assembly Line Balancing</i> untuk Meminimalkan <i>Number of Workstation</i> dengan Pertimbangan Hubungan Tugas dan Evaluasi <i>Cost</i>	Dina Rachmawaty	-	<i>Two-sided assembly line</i> untuk meminimalkna <i>workstation</i> dengan pertimbangan faktor hubungan tugas yang dikembangkan lagi	Faktor hubungan tugas dikembangkan menjadi <i>distance factor, tool factor, posture factor, layout factor</i> dan <i>skill factor</i> serta efisiensi dihitung dengan <i>balance delay</i> dan <i>line efficiency</i> .	<i>Linear Combination</i>	-

2.8 GAP Penelitian dan Posisi Penelitian

Berdasarkan tabel ringkasan pada Tabel 2.1 yang telah dilakukan sebelumnya dapat disimpulkan perbedaan dari beberapa jurnal penelitian diatas untuk melihat GAP penelitian yang terjadi. Tabel 2.2 melihat perbedaan metode yang digunakan pada penelitian-penelitian sebelumnya.

Tabel 2.2 GAP Penelitian *Two-Sided Assembly Line Balancing*

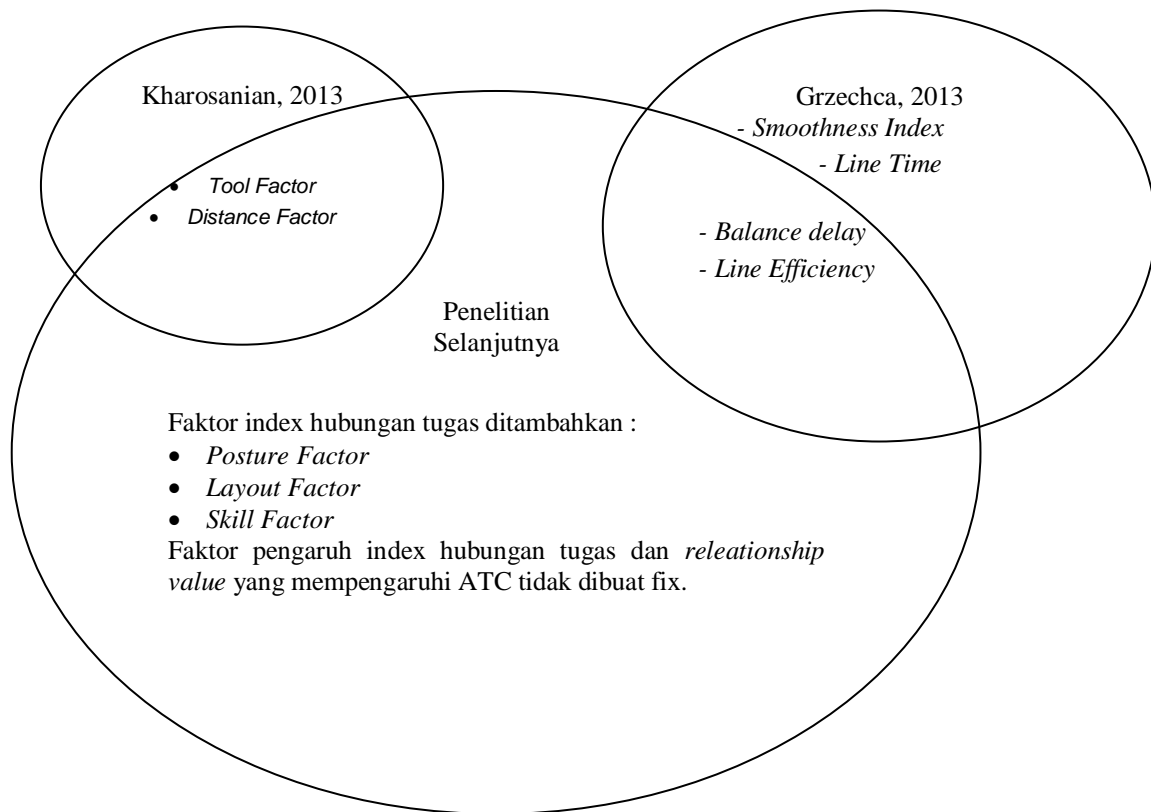
No	Judul Paper	Metode						Modifikasi
		<i>Linier Integer Mathematical Formulation</i>	<i>Heuristic Method</i>	<i>Linear Combination</i>	<i>Simulated Annealing</i>	<i>Genetic Algorithm</i>	<i>Bee Colony Algorithm</i>	
1	<i>Idle Times Analysis in Two-sided Assembly Line Balancing Problem</i>	✓	✓					Solusi menggunakan balance delay (BD), line efficiency (LE), line time (LT), dan smoothness index (SI).
2	<i>Two-Sided Assembly Lines Balancing with Assigment Restriction</i>					✓		Pembatasan tugas dilakukan dengan pertimbangan <i>zoning restriction, distance restriction, synchronous task restriction, resource restriction, dan station restriction</i>
3	<i>Two-Sided Assembly Line Balancing Problem with Parallel Performance Capacity</i>	✓	✓					Kinerja setiap tugas di satu sisi dipengaruhi oleh tugas paralel di sisi lain, dimana dapat memberikan efek positif, negatif, dan netral.

Tabel 2.2 GAP Penelitian *Two-Sided Assembly Line Balancing* (Lanjutan)

No	Judul Paper	Metode						Modifikasi
		<i>Linier Integer Mathematical Formulation</i>	<i>Heuristic Method</i>	<i>Linear Combination</i>	<i>Simulated Annealing</i>	<i>Genetic Algorithm</i>	<i>Bee Colony Algorithm</i>	
4	<i>An Effective Discrete Artificial Bee Colony Algorithm with Idle Time Reduction Techniques for Two-Sided Assembly Line Balancing Problem of Type-II</i>						✓	Perancangan khusus penugasan <i>tasks</i> untuk menghilangkan <i>idle time</i> yang bergantung pada urutan.
5	<i>Bee algorithms for Parallel Two-Sided Assembly Line Balancing Problem with Walking Times</i>						✓	<i>Walking distance</i> dimasukkan dalam masalah <i>parallel two-sided assembly line balancing problem</i> .
6	<i>Computers & Industrial Engineering Two-Sided Assembly Line Balancing Considering The Relationships between Task</i>				✓			Hubungan tugas yang diperkenalkan adalah <i>distance factor</i> dan <i>tool factor</i> .
Penelitian Selanjutnya	<i>Two-Sided Assembly Line Balancing</i> untuk Meminimalkan <i>Number of Workstation</i> dengan Pertimbangan Hubungan Tugas dan Evaluasi <i>Cost</i>			✓				Faktor hubungan tugas dikembangkan menjadi <i>distance factor</i> , <i>tool factor</i> , <i>posture factor</i> , <i>layout factor</i> , dan <i>skill factor</i> serta efisiensi dihitung dengan <i>balance delay</i> dan <i>line efficiency</i> .

2.9 Kontribusi Penelitian

Kontribusi dalam penelitian ini, digambarkan secara singkat pada Gambar 2.9. seperti dibawah.



Gambar 2.9 Skema Kontribusi Penelitian

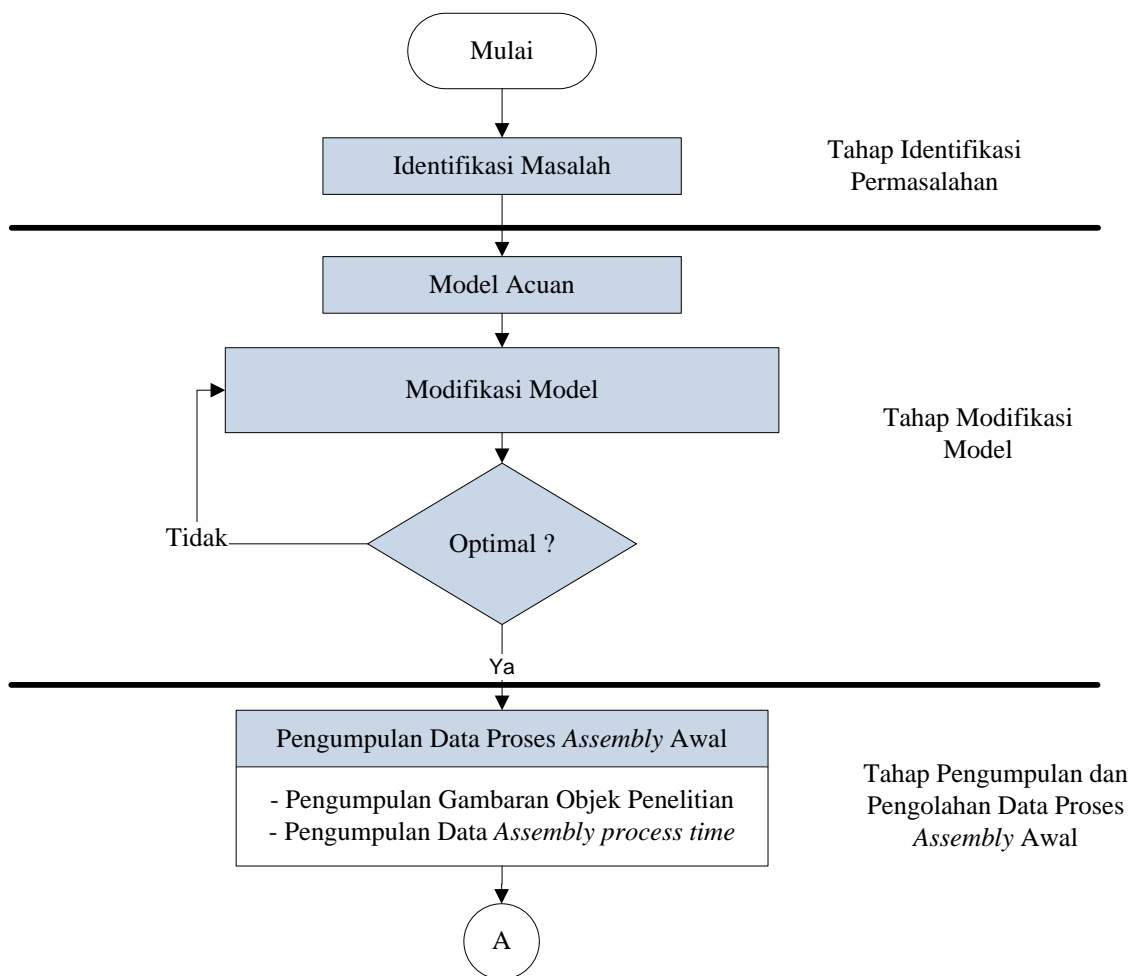
Kharosanian (2013) melakukan penelitian dengan menambahkan pertimbangan hubungan tugas yang masih memiliki dua faktor yaitu *distance factor* dan *tool factor*. Pada penelitian Grzechca (2013) melakukan penelitian dengan solusi menggunakan *balance delay* (BD), *line efficiency* (LE), *line time* (LT), dan *smoothness index* (SI). Sehingga penelitian ini melakukan modifikasi pada penelitian Kharosanian (2013) terhadap faktor yang mempengaruhi index hubungan tugas dengan ditambahkan tiga faktor baru lainnya dan menjadi lima faktor dalam index yang mempengaruhi hubungan tugas. Penambahan faktor ini mengacu untuk meningkatkan produktivitas kerja dimana faktor-faktor semacam tenaga kerja, peralatan kerja, tata letak pabrik dan lain sebagainya dikelola dalam suatu cara yang terorganisir untuk mewujudkan barang atau jasa secara efektif dan efisien (Wignjosoebroto, 1995). Kemudian nilai faktor pengaruh dan *reletionship value* pada ATC tidak dibuat fix sehingga akan mendapatkan kombinasi yang dianggap optimal. Perbaikan yang dilakukan, kemudian akan dihitung dengan dua solusi yang digunakan Grzechca (2013) yaitu *balance delay* (BD) dan *line efficiency* (LE).

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

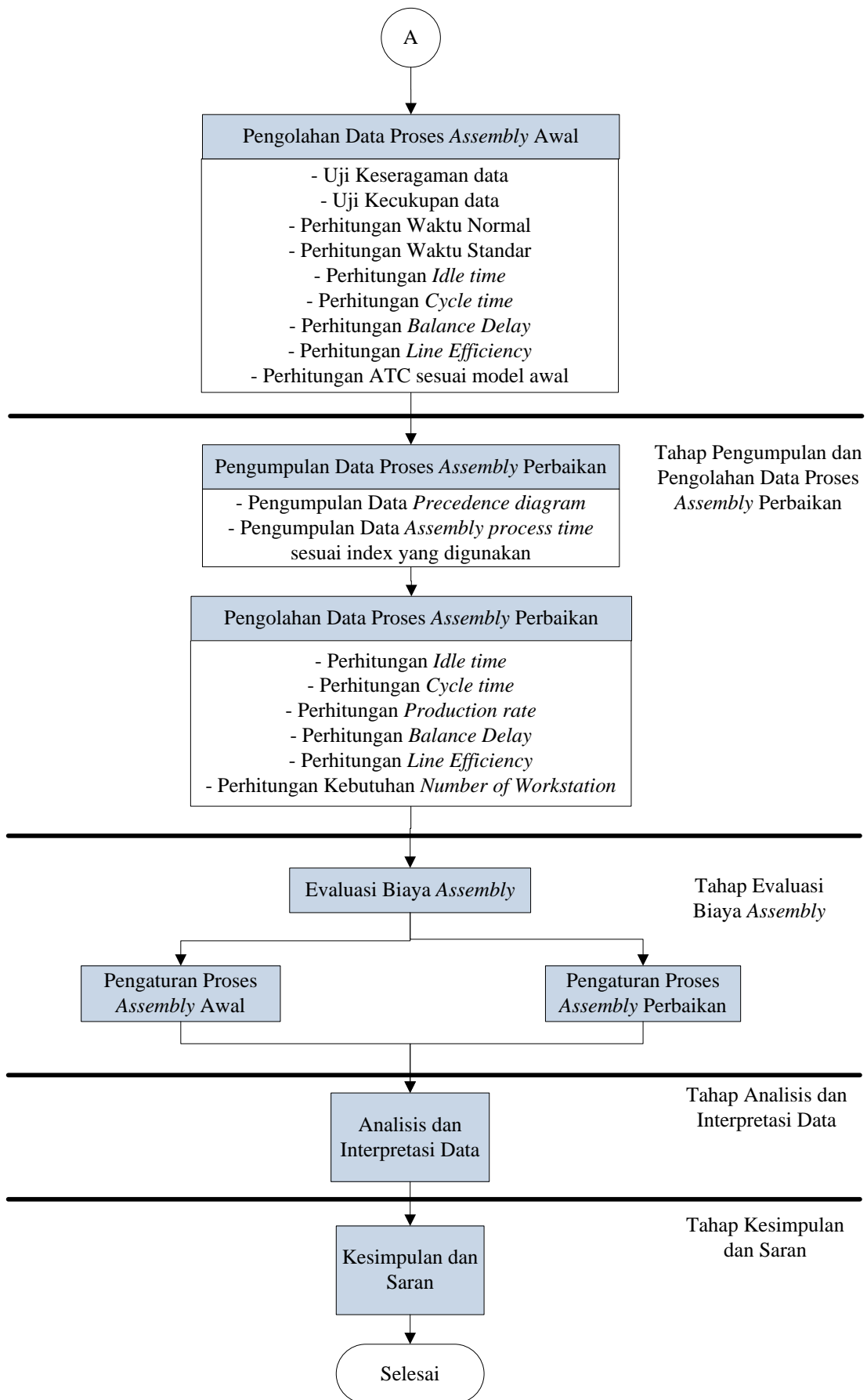
BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan langkah-langkah sistematis yang dilaksanakan dalam penelitian agar terlaksana dengan terstruktur. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap seperti tahap identifikasi permasalahan, modifikasi model, pengumpulan dan pengolahan data, analisis dan pembahasan, serta kesimpulan dan saran. Langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Metodologi Penelitian (Lanjutan)

3.1 Tahap Identifikasi Permasalahan

Pada tahap ini dilakukan beberapa pencarian terkait penelitian yang akan dilakukan. Beberapa literatur dikumpulkan dari berbagai sumber seperti jurnal, thesis, publikasi ataupun penelitian-penelitian sebelumnya untuk menemukan gap antara penelitian yang telah dilakukan dan belum dilakukan. Selain itu juga dilakukan studi lapangan untuk mencari objek yang menerapkan *two-sided assembly line* dan mengamati proses yang terjadi pada objek serta perbaikan yang telah dilakukan sehingga dapat dilakukan perbaikan lebih lanjut pada penelitian. Sehingga penelitian yang akan dilakukan selanjutnya adalah sebuah pengembangan atau modifikasi dari penelitian yang telah dilakukan.

3.2 Tahap Modifikasi Model

Pada tahap ini akan dilakukan modifikasi model. Modifikasi model menggunakan model matematis yang mengacu pada referensi jurnal penelitian sebelumnya. Jurnal utama yang akan digunakan adalah Khorasanian et al. (2013) dan Lee et al. (2001). Modifikasi model berfokus pada penambahan faktor hubungan tugas yang mempengaruhi index hubungan tugas. Penambahan faktor mengacu pada peningkatan produktivitas kerja. Modifikasi model tidak hanya melakukan penambahan faktor namun juga memperjelas keterangan setiap nilai pada masing-masing faktor. Selain itu, nilai pada faktor pengaruh index hubungan tugas dan bobot *relationship value* yang mempengaruhi ATC tidak dibuat *fix* untuk mendapatkan hasil modifikasi yang dianggap paling baik.

3.3 Tahap Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data dan pengolahan data awal. Selanjutnya pengumpulan data berdasarkan setelah dilakukan perbaikan pada *assembly line* dan pengolahan data dilakukan untuk mengetahui perbandingan keduanya.

3.3.1 Pengumpulan Data Proses *Assembly* Awal

Tahap ini dilakukan dengan mengumpulkan data yang diperlukan untuk mendukung penelitian. Data didapatkan dari simulasi pada objek amatan yang mampu mempresentasikan *two-sided assembly line*. Pengambilan data dilakukan dengan praktikum dua cara yaitu yang pertama dilakukan satu kali siklus untuk mendapatkan waktu nominal yang selanjutnya akan dioalah dan dijadikan waktu standar. Kemudian cara kedua dilakukan satu kali siklus namun dengan waktu standar yang telah ditentukan. Pada kedua cara ini akan dihitung hasil *defect* yang terjadi. Kemudian praktikum kembali dijalankan dengan cara perbaikan yang telah dihitung sebelumnya untuk melihat apakah

modifikasi dan perbaikan proses dapat memberikan hasil yang lebih baik atau belum. Praktikum dijalankan hingga modifikasi dan perbaikan sesuai dengan simulator yang diamati.

3.3.2 Pengolahan Data Proses *Assembly* Awal

Data yang telah didapatkan pada tahap awal, akan diuji untuk melihat keseragaman dan kecukupan data yang didapatkan. Selanjutnya akan dihitung untuk mendapatkan waktu normal dan waktu standart dari data yang didapatkan. Kemudian dilanjutkan dengan menghitung *idle time*, *cycle time*, *balance delay*, dan *line efficiency* pada proses *assembly awal*. Dan juga dilakukan perhitungan ATC sesuai dengan model awal pada jurnal acuan untuk melihat awal ATC sebelum dilakukan validasi.

1. Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data ini dilakukan pengujian terhadap data yang didapatkan pada saat pengambilan data dengan melakukan simulasi pada *assembly line* objek amatan untuk mengetahui apakah data telah memenuhi keseragaman data. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab pada setiap *work element* pada masing-masing *station*.

2. Uji Kecukupan Data

Pada tahap ini, pengujian data dilakukan untuk mengetahui apakah sampel data yang diambil telah cukup atau belum. Dalam perhitungan uji kecukupan data ini, apabila hasil dari uji kecukupan data (N') lebih kecil daripada jumlah data yang diambil (N) berarti data itu telah cukup. Adapun N' dirumuskan dengan

$$N' = \left(\frac{Z \cdot s}{\bar{x} \cdot k} \right)^2 \quad (3.1)$$

dimana :

- N' adalah jumlah pengamatan yang seharusnya dilakukan,
- Z adalah *index* tingkat kepercayaan (tingkat kepercayaan 95% \approx *index* 2),
- s adalah standar deviasi data,
- \bar{x} adalah rata-rata data setelah diseragamkan, dan
- k adalah tingkat error (5%)

3. Penghitungan Waktu Normal

Setelah data telah diuji kenormalan dan kecukupan data, maka perhitungan

selanjutnya dilakukan pengukuran waktu normal dilakukan sesuai dengan rumus (2.21).

4. Perhitungan Waktu Standar

Waktu normal yang didapatkan dari rata-rata pengambilan data, dilakukan perhitungan waktu standar untuk dijadikan acuan dalam pengerjaan tugas. Perhitungan ini dilakukan sesuai dengan rumus perhitungan waktu standar pada (2.22).

5. Perhitungan *Idle Time*

Idle time digunakan untuk mengetahui banyaknya waktu menganggur yang terjadi selama proses *assembly*. *Idle time* dihitung untuk semua proses *assembly line* sesuai dengan rumus (2.8) dan (2.9).

6. Perhitungan *Cycle Time*

Cycle time digunakan untuk mengetahui lamapengerjaan satu unit kerja yang diproses, dihitung dengan menggunakan rumus (2.1).

7. Perhitungan *Production Rate*

Production rate dihitung untuk mengetahui banyaknya produk yang mampu diproduksi dalam satuan per jam. Perhitungan *production rate* dilakukan sesuai dengan rumus (2.3).

8. Perhitungan *Balance Delay*

Perhitungan *balance delay* untuk mengetahui jumlah waktu yang hilang karena ketidakseimbangan *assembly line*, yang dihitung dengan rumus (2.10).

9. Perhitungan *Line Efficiency*

Untuk mengetahui utilitas dari *assembly line* proses *assembly* awal, maka dilakukan perhitungan *line efficiency*. Perhitungan *line efficiency* dilakukan sesuai dengan rumus pada (2.11).

3.3.3 Pengumpulan Data Proses *Assembly* Perbaikan

Data yang dikumpulkan adalah data *assembly process time* yang telah *improve* dan disesuaikan dengan faktor yang mempengaruhi index hubungan tugas yaitu *distance*

factor, *tool factor*, *posture factor*, *layout factor*, dan *skill factor* dengan memberikan nilai 0,1; 0,5; dan 1,0.

3.3.4 Pengolahan Data Proses *Assembly* Perbaikan

Data yang telah didapatkan dari perbaikan proses *assembly* sesuai dengan masing-masing faktor, akan diolah agar mendapatkan gambaran perbedaan dari proses *assembly* awal dan proses *assembly* perbaikan.

1. Perhitungan *Idle Time*

Perhitungan *idle time* untuk mengetahui banyaknya waktu menganggur setelah dilakukan perbaikan pada *assembly line* perbaikan. *Idle time* dihitung sesuai dengan rumus (2.8) dan rumus (2.9).

2. Perhitungan *Cycle Time*

Selanjutnya akan dilakukan perhitungan terhadap *cycle time* untuk mengetahui lama pengerjaan satu unit kerja dan dihitung sesuai dengan rumus (2.1).

3. Perhitungan *Production Rate*

Banyaknya produk yang mampu dihasilkan dalam satuan jam setelah adanya perbaikan pada *assembly line*, dihitung dengan perhitungan *production rate* sesuai dengan rumus (2.3).

4. Perhitungan *Balance Delay*

Selanjutnya dilakukan perhitungan pada *balance delay* sesuai dengan rumus (2.10) untuk mengetahui ketidakseimbangan *assembly line* yang telah dilakukan perbaikan.

5. Perhitungan *Line Efficiency*

Line efficiency dihitung menggunakan rumus (2.11) untuk mengetahui persentase utilitas dari lini produksi.

6. Perhitungan *Assembly line Tasks Consistency (ATC)*

Perhitungan ATC dilakukan dengan empat tahap yaitu dengan faktor awal atau sebanyak dua dan dengan faktor yang telah ditambahkan menjadi lima faktor. Perhitungan ATC juga dilakukan masing-masing sesuai dengan kondisi proses

assembly line amatan dan juga proses *assembly line* perbaikan

7. Perhitungan *Number of Workstation*

Untuk mengetahui *number of workstation* yang disarankan, maka akan dihitung sesuai dengan fungsi objektif pada rumus (2.15) sampai rumus (2.20).

3.4 Tahap Evaluasi Biaya *Assembly*

Pada tahap ini akan dilakukan evaluasi biaya *assembly*. Evaluasi *assembly* dilakukan dengan membandingkan biaya *assembly* dari proses *assembly* awal dan proses *assembly* perbaikan yang telah dilakukan perbaikan pada *assembly line* sehingga dapat dilihat keefektifan perbaikan *assembly line* dari segi biaya

3.5 Tahap Analisis dan Interpretasi Data

Pada tahap ini akan dilakukan analisis terhadap hasil pengambilan data yang berdampak pada modifikasi model dan hasil perbandingan biaya *assembly* dan evaluasi yang telah dilakukan.

3.6 Tahap Kesimpulan dan Saran

Setelah melakukan analisa dan pembahasan dari hasil yang didapatkan, dapat ditarik kesimpulan untuk menjawab tujuan penelitian. Kesimpulan yang didapat dapat diambil manfaat yang diperoleh yang sesuai dengan ekspektasi awal sehingga mampu diimplementasikan dalam saran-saran perbaikan.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB IV

MODIFIKASI MODEL

Pada bab ini akan dilakukan modifikasi model dari model acuan yang digunakan. Model yang dikembangkan menggunakan model matematis. Modifikasi dilakukan untuk memberikan hasil yang lebih baik dari penelitian sebelumnya.

4.1 Pengembangan Model

Definisi dan perumusan model yang digunakan mengacu pada jurnal Khorasanian et al. (2013) pada rumus (2.12), dimodifikasi dengan cara menambahkan beberapa faktor tambahan. Faktor pengaruh index hubungan tugas dikembangkan dengan penambahan tiga faktor baru sehingga terdapat lima faktor yang digunakan sebagai pertimbangan, yaitu :

1. *Distance Factor* (DF_{ij})

Faktor ini merupakan faktor yang digunakan sebagai pertimbangan oleh Khorasanian et al. Kedekatan tempat pelaksanaan tugas yang ditugaskan ke masing-masing *station* mengarah pada peningkatan efisiensi. Ini karena reposisi operator dan kelelahan mereka dapat dikurangi. Selain itu, posisi tetap dapat dibangun untuk operator sehingga meningkatkan presisi mereka atau untuk mengurangi kesalahan mereka.

$$DF_{ij} = \begin{cases} 1,0; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "sangat dekat"} \\ 0,5; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "lebih dekat"} \\ 0,1; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "dekat"} \end{cases} \quad (4.1)$$

2. *Tool Factor* (TF_{ij})

Faktor kedua juga merupakan faktor lama yang juga digunakan oleh Khorasanian et al. (2013) Tingkat efisiensi dapat tercapai dengan cara memaksimalkan penetapan kebutuhan alat umum yang digunakan untuk mengerjakan tugas pada *station* umum. Atau dalam artian kebutuhan peralatan dan *setup time* yang digunakan dapat dikurangi dengan menyeragamkan tugas-tugas yang dapat ditugaskan pada masing-masing *station*.

$$TF_{ij} = \begin{cases} 1,0; & \text{apabila } tool \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "sedikit berbeda"} \\ 0,5; & \text{apabila } tool \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "berbeda"} \\ 0,1; & \text{apabila } tool \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "sangat berbeda"} \end{cases} \quad (4.2)$$

3. *Posture Factor (PF_{ij})*

Posture Factor merupakan faktor baru yang ditambahkan untuk mengatur pergerakan operator dalam melakukan *assembly process* seperti jangkauan untuk alat dan part yang akan dirakit, sehingga *improve* yang dilakukan pada faktor ini akan memberikan pergerakan operator yang efisien dan tidak menimbulkan keletihan.

$$PF_{ij} = \begin{cases} 1,0; & \text{apabila } posture\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "jangkauan dekat"} \\ 0,5; & \text{apabila } posture\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "jangkauan sedikit jauh"} \\ 0,1; & \text{apabila } motion\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "jangkauan jauh"} \end{cases} \quad (4.3)$$

4. *Layout Factor (LF_{ij})*

Merupakan faktor baru untuk menilai tata letak *assembly line process*. *Layout* yang buruk akan menghambat proses *assembly* seperti proses *assembly* yang mengharuskan prosesnya untuk dikerjakan pada *workstation* sebelumnya (*backward*), apabila *layout* yang kurang mendukung maka akan menyebabkan *delivery proses* part atau produk tersebut semakin lama sehingga waktu pengerjaan juga akan menjadi lebih lama.

$$LF_{ij} = \begin{cases} 1,0; & \text{apabila } distance\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "cocok"} \\ 0,5; & \text{apabila } distance\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "sedikit cocok"} \\ 0,1; & \text{apabila } distance\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "tidak cocok"} \end{cases} \quad (4.4)$$

5. *Skill Factor (SF_{ij})*

Tingkat efisiensi dalam *manual assembly line* sangat bergantung pada ketrampilan dan ketelitian operator sehingga dapat mempercepat waktu perakitan dan mengurangi cacat produk ataupun *work in process* produk. Sehingga penambahan faktor ini dapat memberikan pengaruh pada efisiensi *assembly process* yang akan diterapkan.

$$SF_{ij} = \begin{cases} 1,0; & \text{apabila } distance\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "ahli"} \\ 0,5; & \text{apabila } distance\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "senior"} \\ 0,1; & \text{apabila } distance\ factor \text{ untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "junior"} \end{cases} \quad (4.5)$$

Nilai pada masing-masing faktor masih menggunakan tiga nilai yaitu 0,1; 0,5; dan 1,0 sehingga menjadi seperti berikut :

DF_{ij} atau TF_{ij} atau PF_{ij} atau LF_{ij} atau SF_{ij}

$$= \begin{cases} 1,0; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "good"} \\ 0,5; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "not good not bad"} \\ 0,1; & \text{apabila } distance \text{ factor untuk } i \text{ dan } j \text{ adalah "bad"} \end{cases} \quad (4.6)$$

Dengan penambahan beberapa pertimbangan faktor-faktor tersebut diatas, maka index definisi awal pada rumus (2.13), didefinisikan menjadi persamaan berikut untuk menghitung *relationship value* antara tugas *i* dan *j* bernama TR_{ij} .

$$TR_{ij} = a_1 DF_{ij} + a_2 TF_{ij} + a_3 PF_{ij} + a_4 LF_{ij} + a_5 SF_{ij};$$

$$a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = 1 \quad (4.7)$$

dimana a_1 adalah bobot *relationship value distance factor*, a_2 adalah bobot *relationship value tool factor*, a_3 adalah bobot *relationship value posture factor*, a_4 adalah bobot *relationship value layout factor*, dan a_5 adalah bobot *relationship value skill factor*.

TR_{ij} memiliki kisaran nilai [0,1] dan semakin besar nilainya, semakin banyak hubungan antara tugas *i* dan *j* untuk penugasan pada *station* umum.

Pada *Assembly line Tasks Consistency* (ATC), dimisalkan solusi dengan *n* sebagai *task* pada *NS station*. N_{sk} didefinisikan sebagai *number of task* yang ditugaskan pada S_k ($k=1, \dots, NS$) sesuai dengan rumus (2.14). Sehingga perbaikan model mengubah *n* kombinasi menjadi 5 menjadi seperti fungsi (4.8)

$$ATC = 1 - \frac{\sum_{k=1}^{NS} \left(\left(\sum_{i=1}^{N_{sk}} \sum_{j=i+1}^{N_{sk}} TR_{\pi_{sk}(i), \pi_{sk}(j)} \right) / \left(\frac{N_{sk}}{5} \right) \right)}{NS} \quad (4.8)$$

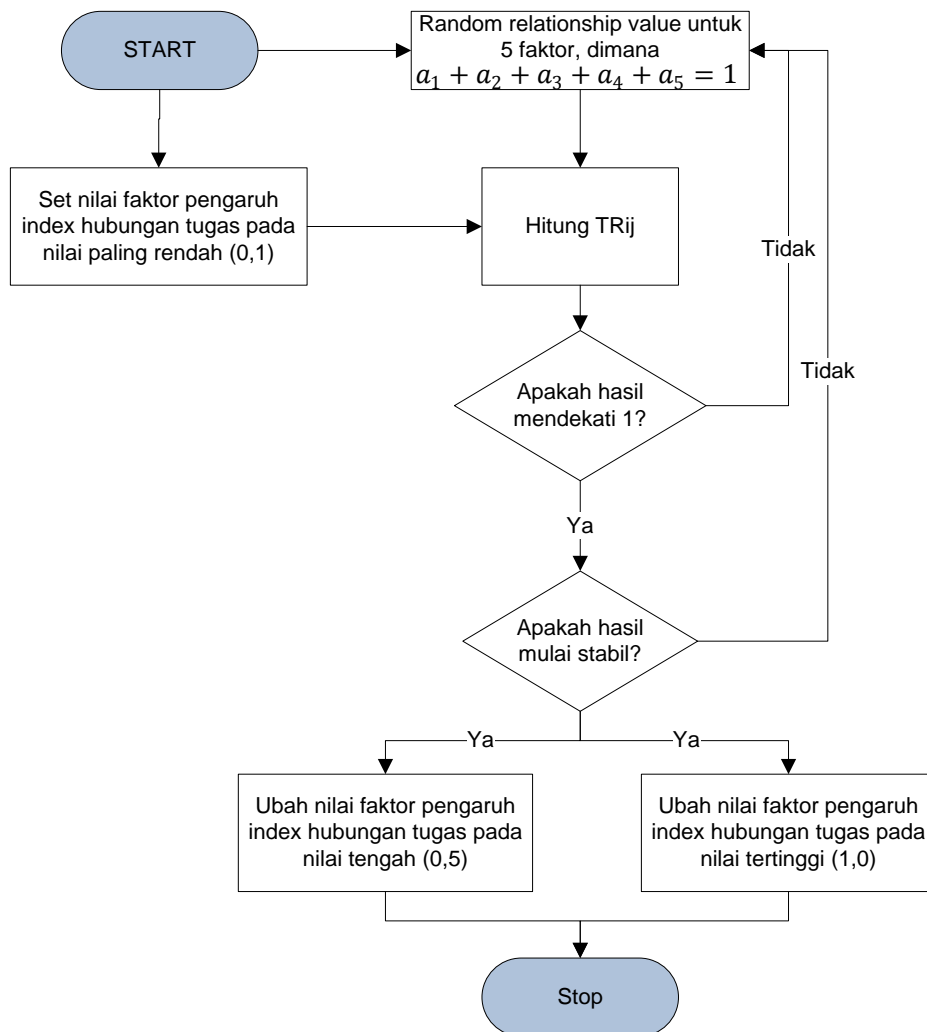
Jadi, nilai ATC berada dalam kisaran [0, 1], dan nilainya yang lebih kecil untuk solusi menunjukkan hubungan rata-rata yang lebih antara tugas yang ditugaskan ke *station* dari solusi ini.

Untuk fungsi objektif pada rumus (2.15) sampai (2.19) untuk mendapatkan minimal *number of workstation* tidak mengalami perubahan. Dengan pertimbangan *number of station* sering dianggap lebih penting daripada *number of mated-station*, maka bobot w_i menggunakan nilai $w_1 = 0,5$; $w_2 = 0,3$; dan $w_3 = 0,2$

4.2 Tahap Kombinasi Nilai Faktor dan Bobot *Relationship Value*

Pada jurnal Khorasanian et al. (2013) nilai faktor dan bobot *relationship value* untuk masing-masing faktor pada masing-masing *workstation* telah ditentukan. Untuk modifikasi tersebut, kedua nilai dibuat tidak fix sehingga dapat ditemukan kombinasi yang dianggap paling

baik. Alur keputusan untuk melakukan kombinasi tersebut dijelaskan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Alur Kombinasi Nilai Faktor dan *Relationship value*

Kombinasi dilakukan dengan alur sebagai berikut :

1. Nilai faktor pengaruh index hubungan tugas, diset pertama pada nilai paling rendah yaitu 0,1,
2. Dilakukan random angka untuk bobot kelima faktor *relationship value* dimana $a_1 + a_2 + a_3 + a_4 + a_5 = 1$,
3. Dihitung TR_{ij} untuk kedua nilai tersebut,
4. Apabila hasilnya mendekati 1 atau semakin naik maka nilai pada *relationship value* dirandom kembali, namun apabila nilainya turun atau semakin jelek, maka digunakan nilai sebelumnya,
5. Langkah tersebut dilakukan iterasi terus menerus hingga hasil menunjukkan nilai yang hampir sama atau stabil,

6. Apabila hasil sudah mulai menunjukkan nilai yang hampir sama atau stabil, maka nilai pada faktor dirubah menjadi 0,5 dan kemudian 1,0,
7. Kemudian langkah dari awal tersebut diulang, hingga memberikan hasil yang lebih bagus lalu dapat dihentikan
8. Langkah tersebut untuk mencari setiap kombinasi nilai kelima faktor yang digunakan tersebut.

4.3 Contoh Perhitungan

Contoh perhitungan berikut adalah perhitungan untuk menentukan kombinasi faktor.

1. 0,1 untuk masing-masing nilai faktor
 - $DF_{ij} = 0,1$
 - $TF_{ij} = 0,1$
 - $PF_{ij} = 0,1$
 - $LF_{ij} = 0,1$
 - $SF_{ij} = 0,1$
2. Random angka untuk bobot *relationship value* dengan total nilai adalah 1 (iterasi ke-1)
 - Pada DF_{ij} bobot adalah 0,1 (a_1)
 - Pada TF_{ij} bobot adalah 0,1 (a_2)
 - Pada PF_{ij} bobot adalah 0,1 (a_3)
 - Pada LF_{ij} bobot adalah 0,1 (a_4)
 - Pada SF_{ij} bobot adalah 0,6 (a_5)
 sehingga total bobot adalah 1
3. Menghitung *relationship value* (TR_{ij}) dengan rumus (4.7) untuk iterasi ke-1

$$\begin{aligned}
 TR_{ij} &= (0,1 \times 0,1) + (0,1 \times 0,1) + (0,1 \times 0,1) + (0,1 \times 0,1) + (0,1 \times 0,6) \\
 &= 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,06 \\
 &= 0,1
 \end{aligned}$$
4. Random kembali untuk lima bobot dimana memiliki total nilai adalah 1 (iterasi ke-2)
 - Pada DF_{ij} bobot adalah 0,1 (a_1)
 - Pada TF_{ij} bobot adalah 0,1 (a_2)
 - Pada PF_{ij} bobot adalah 0,1 (a_3)
 - Pada LF_{ij} bobot adalah 0,2 (a_4)
 - Pada SF_{ij} bobot adalah 0,5 (a_5)

5. Menghitung kembali *relationship value* (TR_{ij}) dengan rumus (4.7) untuk iterasi ke-2

$$TR_{ij} = (0,1 \times 0,1) + (0,1 \times 0,1) + (0,1 \times 0,1) + (0,1 \times 0,2) + (0,1 \times 0,5)$$

$$= 0,01 + 0,01 + 0,01 + 0,02 + 0,05$$

$$= 0,1$$
6. Hasil iterasi ke-2 menunjukkan nilai TR_{ij} yang sama dan tidak mengalami kenaikan sehingga random kembali dilakukan untuk mendapatkan bobot terbaik lainnya hingga hasilnya stabil.
7. Setelah itu nilai faktor dirubah menjadi lebih tinggi yaitu 0,5 dan berlanjut pada 1,0 untuk mengetahui kombinasi terbaik lainnya. Hasil perhitungan menggunakan excel dapat dilihat lengkap pada LAMPIRAN 1.

4.4 Hasil Kombinasi

Kombinasi yang dilakukan seperti pada sub bab sebelumnya, akan memberikan hasil yang digunakan pada model perbaikan. Tabel 4.1 merupakan nilai DF_{ij} yang telah dilakukan perhitungan kombinasi dan merupakan hasil yang dianggap baik yang akan digunakan.

Tabel 4.1 Nilai *Distance Factor*

DF_{ij}	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Perhitungan kombinasi dilakukan untuk faktor selanjutnya yaitu *tool factor*. Tabel 4.2 adalah nilai *Tool Factor* yang baik untuk digunakan pada model perbaikan yang ditelaah dilakukan perhitungan kombinasi.

Tabel 4.2 Nilai *Tool Factor*

TF_{ij}	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Perhitungan kombinasi untuk faktor selanjutnya yaitu *posture factor* memberikan hasil pada Tabel 4.3 yang akan digunakan untuk model perbaikan.

Tabel 4.3 Nilai *Posture Factor*

<i>MFij</i>	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Perhitungan kombinasi selanjutnya digunakan untuk mencari kombinasi optimal pada *layout factor*. Tabel 4.4 adalah nilai pada *Layout Factor* yang baik yang akan digunakan.

Tabel 4.4 Nilai *Layout Factor*

<i>LFij</i>	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Untuk faktor terakhir yaitu *skill factor* juga dilakukan perhitungan kombinasi untuk mendapatkan nilai yang optimal. Tabel 4.5 adalah nilai *Skill Factor* yang paling baik dan yang akan digunakan pada model perbaikan.

Tabel 4.5 Nilai *Skill Factor*

<i>SFij</i>	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Nilai TR_{ij} yang baik adalah mendekati 1, maka nilai pada masing-masing faktor memberikan nilai yang paling tinggi yaitu 1,0. Untuk bobot pada *relationship value* memberikan masing-masing nilai sebesar $a_1 = 1; a_2 = 0,2; a_3 = 0,1; a_4 = 0,1; dan a_5 = 0,5$.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB V

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

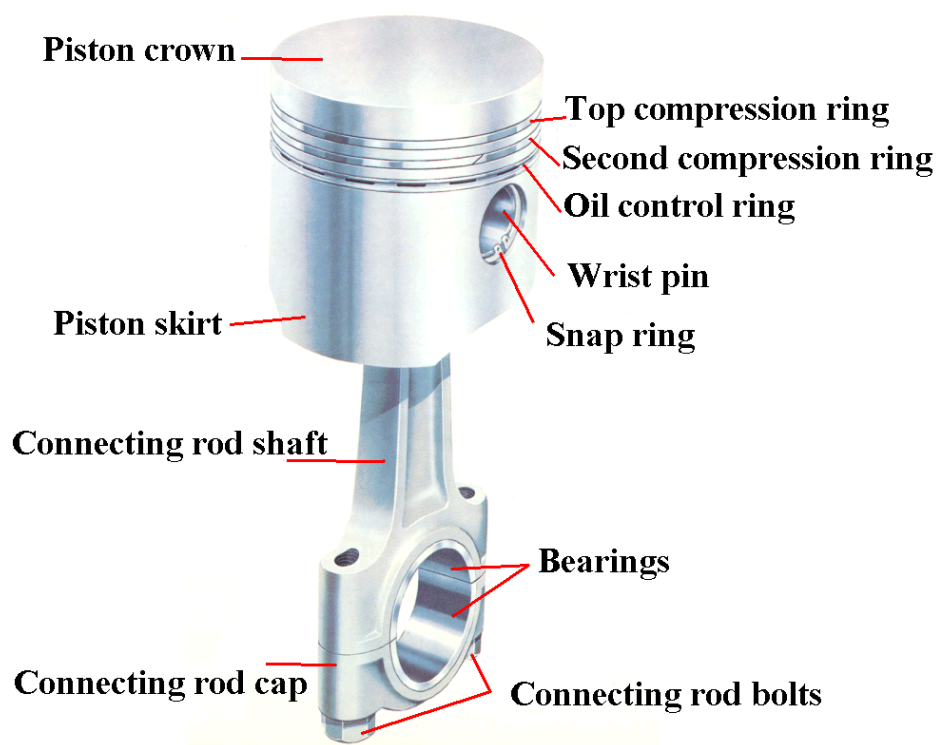
Pada tahap ini akan dilakukan pengumpulan dan pengolahan data pada proses *assembly* awal selanjutnya dilakukan pengumpulan dan pengolahan proses *assembly* perbaikan untuk mendapatkan perbandingan dari proses *assembly* awal dan proses *assembly* perbaikan yang telah dilakukan.

5.1 Gambaran Objek Penelitian

Pada bab ini akan dijelaskan sedikit bagaimana objek yang dijadikan penelitian seperti prosuk yang akan dirakit pada *assembly line*, *part* produk, tugas pada masing-masing *station*, dan lain sebagainya.

5.1.1 Komponen Produk

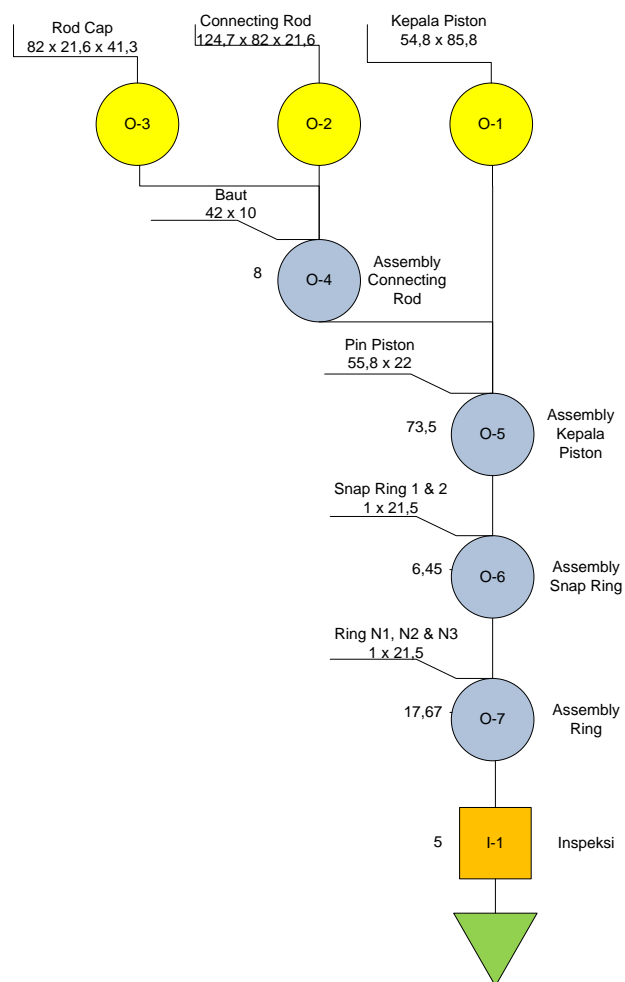
Produk yang akan dirakit pada simulasi *assembly line* merupakan produk piston yang memiliki beberapa *part* atau komponen pembentuknya. Gambar 5.1 adalah komponen *part* yang akan dirakit menjadi piston yang utuh.



Gambar 5.1 Komponen Piston

5.1.2 Operation Chart Diagram (OPC)

Gambaran urutan-urutan tugas yang dikerjakan dijelaskan pada *Operation Chart Diagram* (OPC) dimana terdapat waktu *assembly*, nama proses, nomor proses, serta aliran proses. Gambar 5.2 adalah OPC untuk produk yang dilakukan dengan cara perakitan awal



Gambar 5.2 OPC Perakitan Proses *Assembly* Awal

Berikut keterangan simbol-simbol yang digunakan dalam pembuatan OPC :

- : Simbol lingkaran berwarna kuning yang menggambarkan *part* yang akan diproses
- : Simbol lingkaran berwarna biru yang menggambarkan proses *assembly*
- : Simbol empat persegi yang menunjukkan aktivitas pemeriksaan (inspeksi)
- ➔ : Simbol panah menunjukkan adanya langkah transportasi (pemindahan material)
- ▼ : Simbol segitiga terbalik yang menggambarkan proses penyimpanan

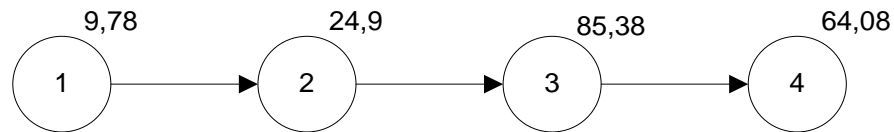
Kode operasi pada pembuatan OPC akan dijelaskan pada Tabel 5.1 untuk mengetahui tugas apa yang dikerjakan pada kode proses tersebut.

Tabel 5.1 Kode Operasi OPC Proses *Assembly* Awal

Kode Proses	Keterangan Tugas
O-1	Part kepala piston
O-2	Part connecting rod
O-3	Part rod cap
O-4	Proses assembly antara rod cap dan connecting rod dengan menggunakan baut
O-5	Proses assembly antara connecting rod dan kepala piston menggunakan pin piston
O-6	Proses assembly snap ring dengan snap ring 1 dan snap ring 2
O-7	Proses assembly part sebelumnya dengan ring N1, ring N2, dan ring N3
I-1	Proses inspeksi untuk seluruh produk yang telah dirakit

5.1.3 Precedence Diagram

Precedence diagram menunjukkan urutan *station* yang dikerjakan pada *assembly line*. Gambar 5.3 adalah *precedence diagram* yang digunakan.



Gambar 5.3 *Precedence Diagram* Awal Simulasi Amatan

5.1.4 Keterangan *Work Element* pada Masing-masing *Station*

Simulasi memiliki empat *station* untuk melaksanakan tugas *assembly*, satu *station* bertugas untuk melakukan inspeksi dan satu *station* lainnya merupakan *inventory station* untuk melakukan penyimpanan produk yang telah dirakit dan tidak mengalami cacat atau *defect* maupun *work in process* (WIP). Amatan pada simulasi hanya berfokus pada *assembly process* saja tidak termasuk inspeksi dan penyimpanan *part* pada *inventory*.

Tabel 5.2 Keterangan *Work Element* pada Masing-masing *Station*

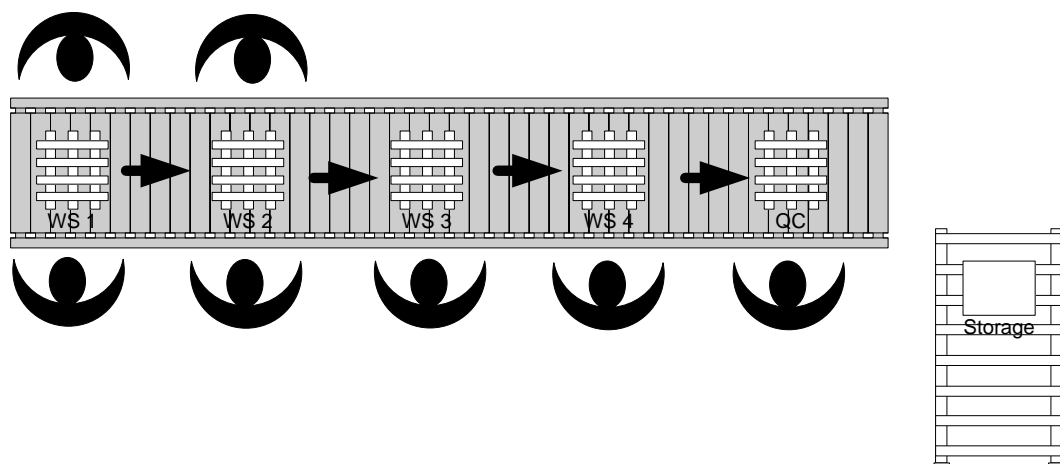
<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Work Element Description</i>
<i>Station 1</i> (<i>Persiapan Part</i>)	1	<i>R</i>	Mengambil dan meletakkan pallet pada conveyor
	2	<i>L</i>	Mengambil dan meletakkan kepala piston pada pallet
	3	<i>L</i>	Mengambil dan meletakkan pin piston pada pallet
	4	<i>R</i>	Menggeser pallet

Tabel 5.2 Keterangan *Work Element* pada Masing-masing *Station* (Lanjutan)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Work Element Description</i>
	5	<i>L</i>	Mengambil dan meletakkan connecting rod di tempat kerja
	6	<i>R</i>	Menggabungkan rod cap dengan connecting rod
<i>Station 2</i> (Perakitan Rod Cad)	7	<i>L</i>	Mengambil baut
	8	<i>E</i>	Memasang connecting rod menggunakan <i>screwdriver</i> listrik
	9	<i>L</i>	Mengambil baut
	10	<i>E</i>	Memasang connecting rod dengan menggunakan bor listrik
	11	<i>R</i>	Menggeser pallet
<i>Station 3</i> (Perakitan Kepala Piston)	12	<i>R</i>	Mengambil kepala piston dan connecting rod untuk dipasang pada jig
	13	<i>R</i>	Mengambil pin piston, dipasangkan pada kepala piston dan connecting rod
	14	<i>R</i>	Mengambil dan memasang snap ring 1 pada piston dengan tang seher
	15	<i>R</i>	Mengambil dan memasang snap ring 2 pada piston dengan tang seher
	16	<i>R</i>	Meletakkan piston pada pallet
	17	<i>R</i>	menggeser pallet
<i>Station 4</i> (Perakitan Ring Piston)	18	<i>L</i>	Mengambil piston
	19	<i>L</i>	Memasang ring oli pada piston
	20	<i>L</i>	Memasang ring N1 pada piston
	21	<i>L</i>	Memasang ring N2 pada piston
	22	<i>L</i>	Memasang ring N3 pada piston
	23	<i>L</i>	Meletakkan piston pada pallet
	24	<i>L</i>	Menggeser pallet
			Part dilakukan <i>inspeksi</i>
			Part masuk <i>inventory</i>

5.1.5 Assembly Line Layout

Gambar 5.4 adalah *layout* eksisting untuk proses *assembly* pada *assembly line* yang diamati.



Gambar 5.4 *Assembly Line Layout* Eksisting

5.2 Pengumpulan Data Proses *Assembly* Awal

Data proses *assembly* awal adalah simulasi pertama kali untuk mendapatkan waktu standar seperti yang diinginkan. Simulasi dilakukan sebanyak dua putaran dimana masing-masing putaran melakukan *assembly process* untuk tiga produk. Tabel 5.1 adalah keterangan tugas yang dilaksanakan pada setiap *station*. Tabel 5.3 berikut adalah data yang didapatkan *processing time* dalam satuan detik

Tabel 5.3 Data Simulasi Model Awal

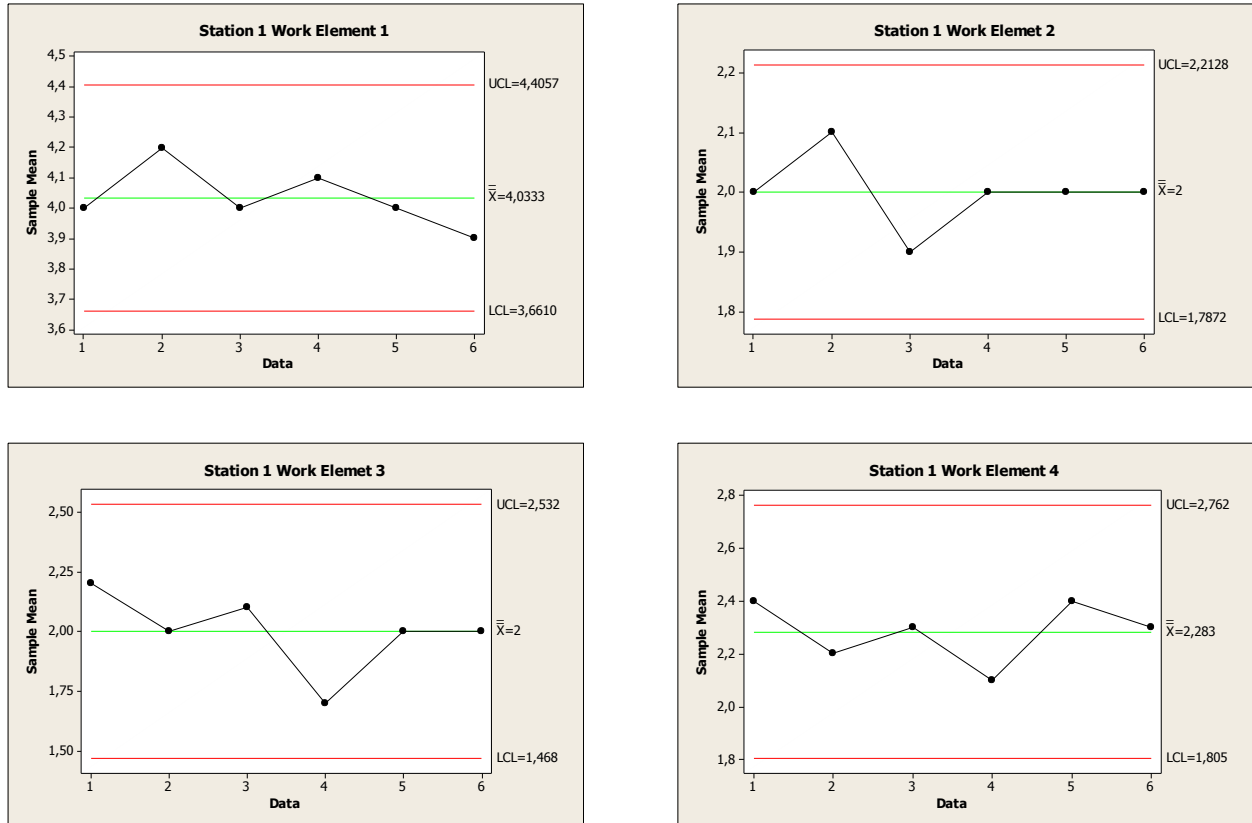
Station	Work Element	Type Task	Processing Time					
			1	2	3	4	5	6
1	1	R	4	4,2	4	4,1	4	3,9
	2	L	2	1,9	1,9	2	2	1,8
	3	L	2	2	2,1	1,7	2	2
	4	R	2,3	2	1,5	1,7	2	1,6
2	5	L	5	5,3	5	5,1	5,3	5,3
	6	R	4	3,8	3,9	3,8	4,1	3,8
	7	L	3	2,8	3	2,8	2,9	2,9
	8	E	4	3,7	4,3	4	4,1	3,9
	9	L	3	3	2,7	3	3,1	3,1
	10	E	4	3,9	4,1	4,2	4	3,8
	11	R	2,3	1,7	1,8	2	2	1,9
3	12	R	2	2,1	2,1	2,2	1,9	2
	13	R	67	70	77	75	75	77
	14	R	3	3,5	3,3	3,3	3	3,3
	15	R	3	3,4	3,4	3,3	3,2	3
	16	R	2	1,4	1,2	1,3	2	1,8
	17	R	2,3	1,5	1,3	1,4	2	2,1
4	18	L	4	4,2	4	4,1	4	3,9
	19	L	2	2,1	1,9	2	2	2
	20	L	2,2	2	2,1	1,7	2	2
	21	L	2,4	2,2	2,3	2,1	2,4	2,3
	22	L	5	5,3	5	5,1	5,3	5,3
	23	L	4	3,9	3,9	3,9	4,1	3,9
	24	L	3,1	2,9	3,1	2,9	2,9	3
	Part dilakukan <i>inspection</i>							
Part masuk <i>inventory</i>								

5.3 Pengolahan Data Proses *Assembly* Awal

Data simulasi yang didapatkan akan dihitung untuk mendapatkan waktu nominal dan waktu standar. Selain itu, data juga diolah untuk mendapatkan perbandingan awal pada proses *assembly* yang sebenarnya terjadi.

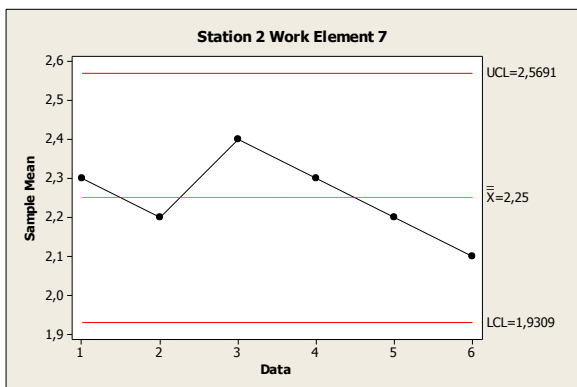
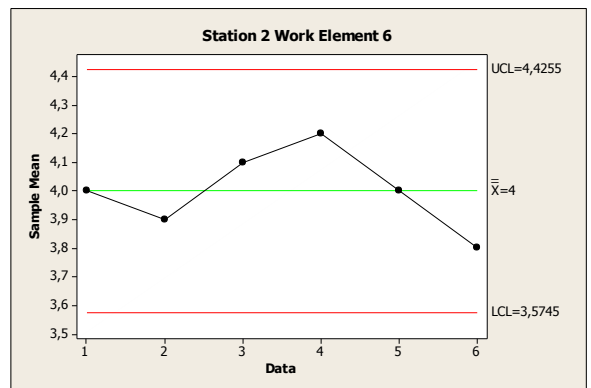
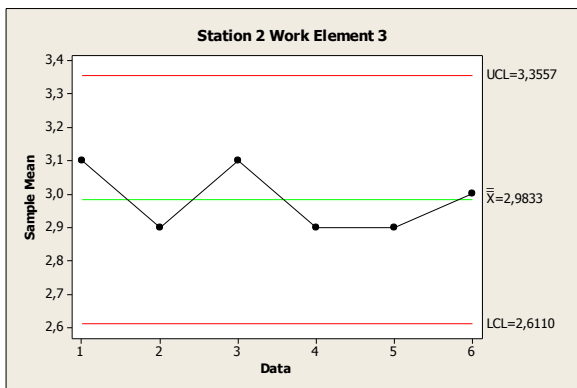
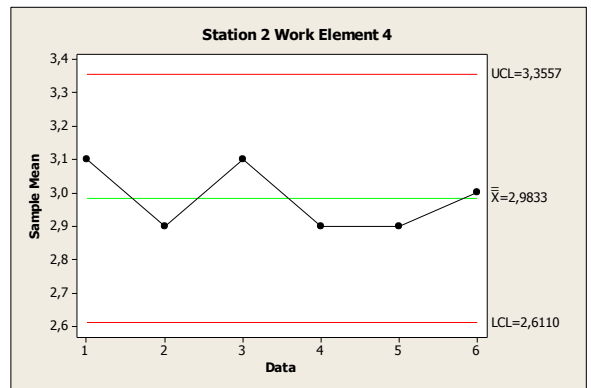
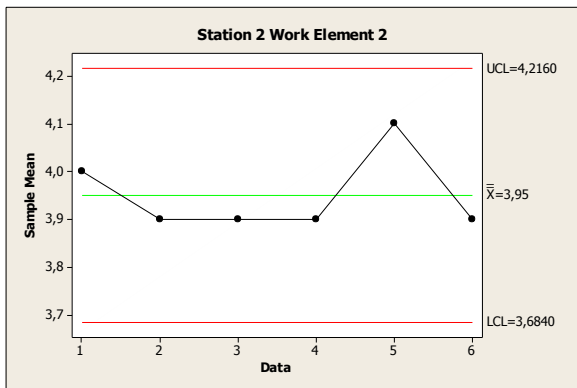
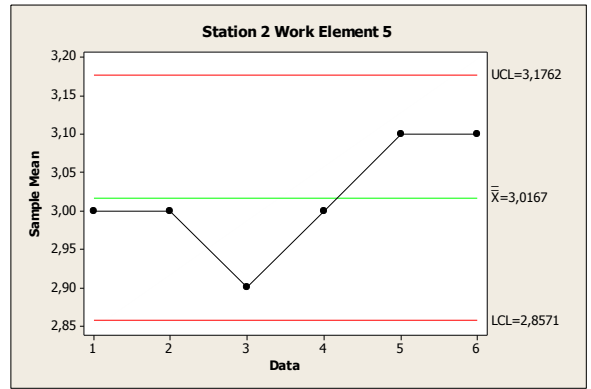
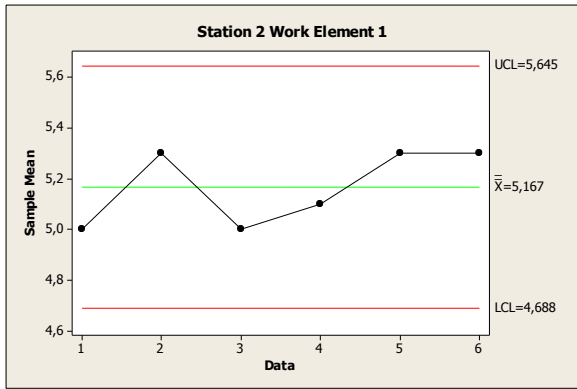
5.3.1 Uji Keseragaman Data

Uji Keseragaman dilakukan dengan menggunakan *software* Minitab pada tiap tugas di masing-masing *station*. Gambar 5.5 adalah hasil uji keseragaman pada *station 1*.



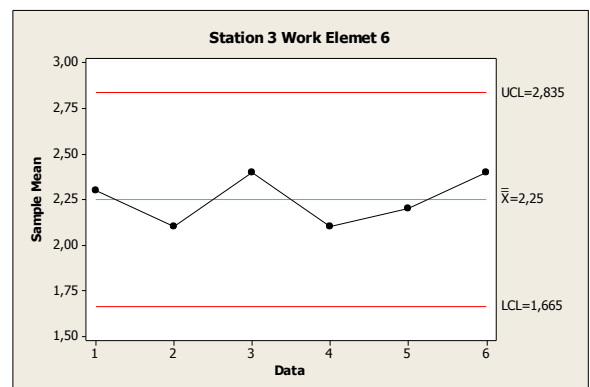
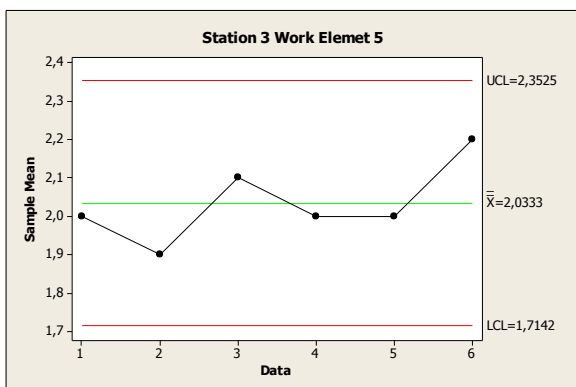
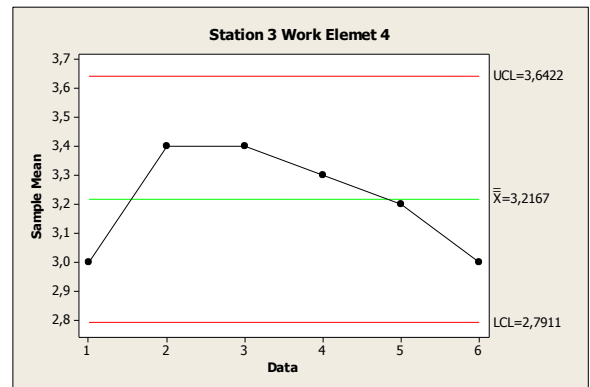
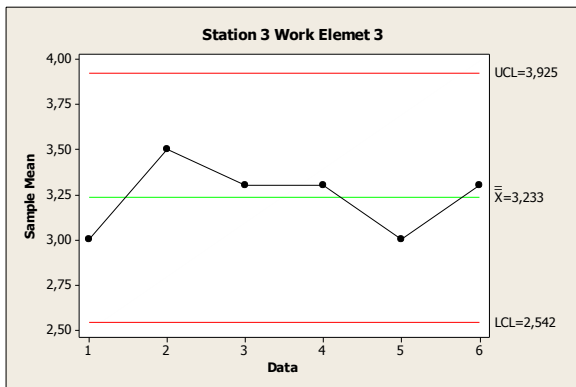
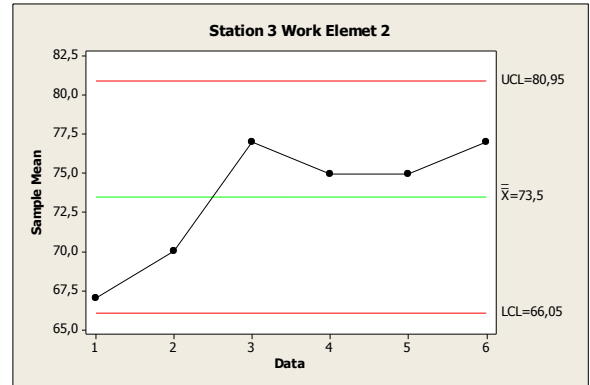
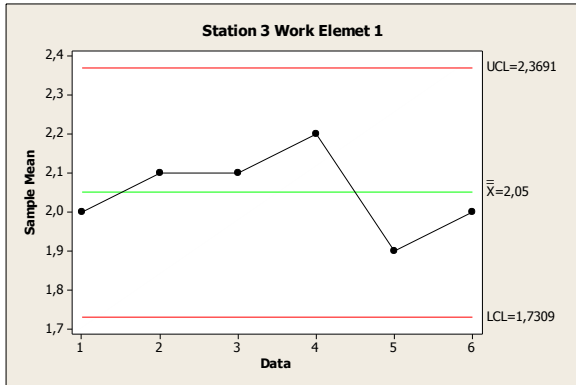
Gambar 5.5 Hasil Uji Keseragaman *Station 1*

Dari hasil pengujian keseragaman data pada *station 1*, dapat dilihat bahwa data yang diambil untuk pada *station 1* tidak ada data yang diluar batas. Uji keseragaman kemudian dilakukan untuk *station 2*. Gambar 5.6 adalah hasil uji keseragaman pada *station 2*.



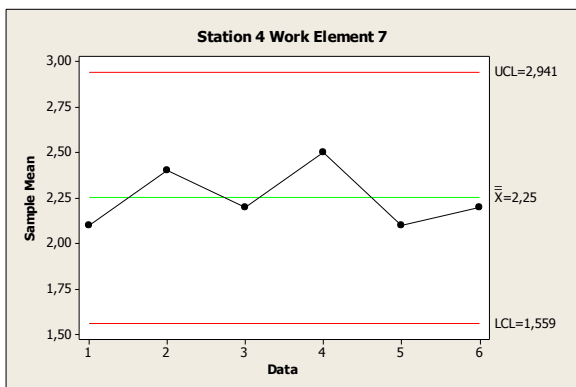
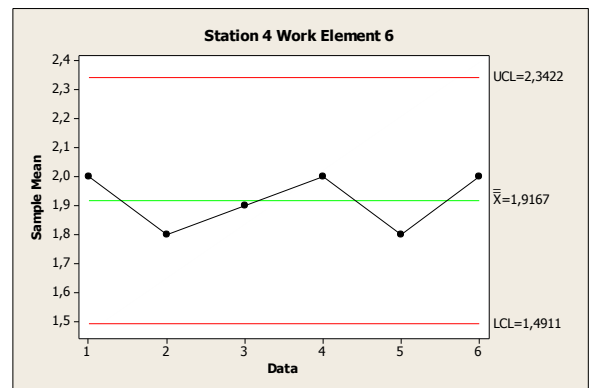
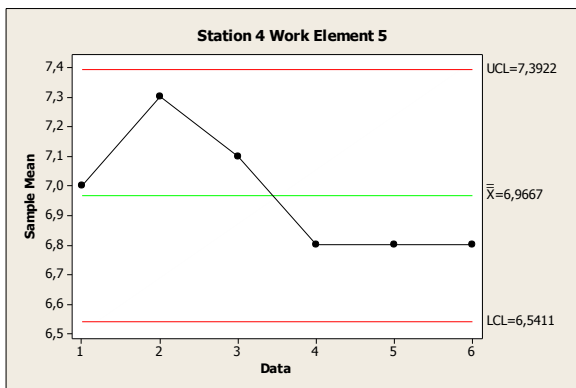
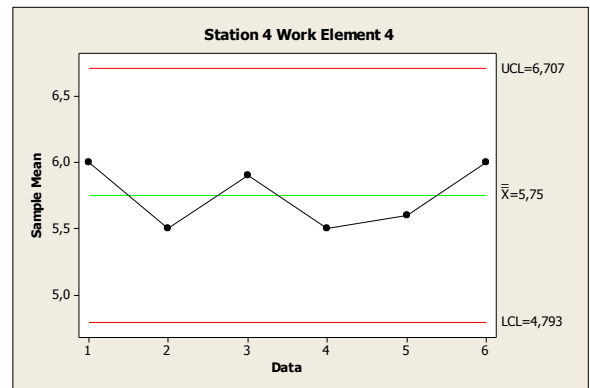
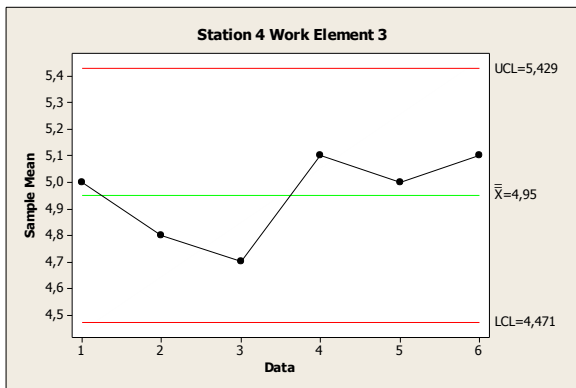
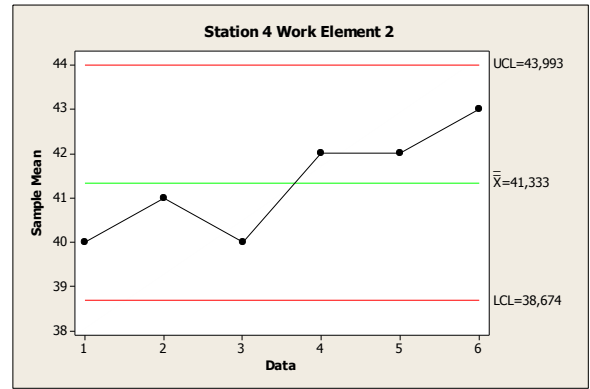
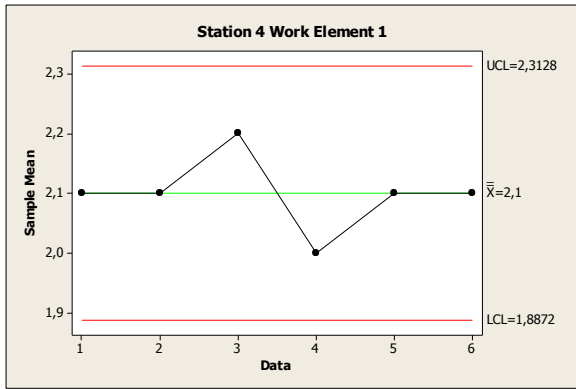
Gambar 5.6 Hasil Uji Keseragaman Station 2

Hasil diatas untuk uji keseragaman data pada *station 2* menunjukkan bahwa data pada *station* tersebut tidak ada yang *outlier* atau diluar batas. Gambar 5.7 adalah hasil uji keseragaman pada *station 3*.



Gambar 5.7 Hasil Uji Keseragaman *Station 3*

Dari hasil uji keseragaman pada *station 3*, tidak terdapat data yang diluar batas. Uji keseragaman kemudian dilakukan pada *station* terakhir yaitu *station 4*. Gambar 5.8 adalah hasil uji keseragaman pada *station 4*.



Gambar 5.8 Hasil Uji Keseramana *Station 4*

Dari hasil uji kecukupan data yang terakhir juga melihat bahwa tidak ada data pada *station 4* yang *outlier* sehingga tidak perlu dilakukan iterasi untuk membuat data seragam.

5.3.2 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data dilakukan dengan rumus (3.1) dengan contoh perhitungan oada *station 1 work element 1* sebagai berikut :

$$N' = \left(\frac{2 \times 0,10}{4,03 \times 0,05} \right)^2 = 1,0$$

dimana standar deviasi didapatkan dengan fungsi excel. Hasil lengkap perhitungan uji kecukupan data ditampilkan pada tabel 5.4 di bawah ini.

Tabel 5.4 Hasil Uji Kecukupan Data

Station	Work Element	Type Task	Rata-rata	St.dev	N	N'	Kesimpulan
1	1	R	4,03	0,10	6	1,05	Data Cukup
	2	L	2,00	0,06	6	1,60	Data Cukup
	3	L	2,00	0,17	6	11,20	Data Kurang
	4	R	2,28	0,12	6	4,19	Data Cukup
2	5	L	5,17	0,15	6	1,36	Data Cukup
	6	R	3,95	0,08	6	0,72	Data Cukup
	7	L	2,98	0,10	6	1,74	Data Cukup
	8	E	4,00	0,20	6	4,00	Data Cukup
	9	L	3,02	0,08	6	1,00	Data Cukup
	10	E	4,00	0,14	6	2,00	Data Cukup
	11	R	2,25	0,10	6	3,48	Data Cukup
3	12	R	2,05	0,10	6	4,19	Data Cukup
	13	R	73,50	4,09	6	4,95	Data Cukup
	14	R	3,23	0,20	6	5,92	Data Cukup
	15	R	3,22	0,18	6	5,21	Data Cukup
	16	R	2,03	0,10	6	4,13	Data Cukup
	17	R	2,25	0,14	6	6,00	Data Cukup
4	18	L	2,10	0,06	6	1,45	Data Cukup
	19	L	41,33	1,21	6	1,37	Data Cukup
	20	L	4,95	0,16	6	1,76	Data Cukup
	21	L	5,75	0,24	6	2,86	Data Cukup
	22	L	6,97	0,21	6	1,41	Data Cukup
	23	L	1,92	0,10	6	4,21	Data Cukup
	24	L	2,25	0,16	6	8,53	Data Kurang

Kotak yang diberi warna hijau merupakan hasil perhitungan yang menyatakan bahwa data kurang sehingga pengambilan data kembali dilakukan untuk mencukupi data selanjutnya. Data kurang terjadi pada *station 1 work element 3* dan pada *station terakhir, station 4 work element 7*. Data yang kembali diambil sesuai dengan data yang kurang dan dengan jumlah yang sama sesuai kebutuhan atau sesuai dengan hasil perhitungan, dilampirkan pada LAMPIRAN 2.

5.3.3 Perhitungan Waktu Normal

Penghitungan waktu nominal untuk mengetahui waktu siklus rata-rata. Perhitungan dilakukan dengan rumus (2.21) dengan hasil ditampilkan pada Tabel 5.5

Tabel 5.5 Hasil Perhitungan Waktu Normal

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03
	2	<i>L</i>	2,00
	3	<i>L</i>	2,00
	4	<i>R</i>	2,28
2	5	<i>L</i>	5,17
	6	<i>R</i>	3,95
	7	<i>L</i>	2,98
	8	<i>E</i>	4,00
	9	<i>L</i>	3,02
	10	<i>E</i>	4,00
	11	<i>R</i>	2,25
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	73,50
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2,25
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	41,33
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2,25
Part dilakukan <i>inspeksi</i>			
Part masuk <i>inventory</i>			

Cara perhitungan secara lengkap dapat dilihat pada LAMPIRAN 3, berikut adalah salah satu contoh perhitungan pada *station 1 work element 1* sebagai berikut :

$$W_s = \frac{(4 + 4,2 + 4 + 4,1 + 4 + 3,9)}{6} = 4,03$$

Pada pengambilan data awal tidak terdeteksi adanya produk cacat atau *defect*.

5.3.4 Perhitungan Waktu Standar

Perhitungan waktu nominal yang didapatkan selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan waktu standar untuk setiap *assembly process*. Tabel 5.6 adalah hasil perhitungan untuk menentukan waktu standar.

Tabel 5.6 Hasil Perhitungan Waktu Standar

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,44
	2	<i>L</i>	2,20
	3	<i>L</i>	2,20
	4	<i>R</i>	2,51
2	5	<i>L</i>	5,68
	6	<i>R</i>	4,35
	7	<i>L</i>	3,28
	8	<i>E</i>	4,40
	9	<i>L</i>	3,32
	10	<i>E</i>	4,40
	11	<i>R</i>	2,48
3	12	<i>R</i>	2,26
	13	<i>R</i>	80,85
	14	<i>R</i>	3,56
	15	<i>R</i>	3,54
	16	<i>R</i>	2,24
	17	<i>R</i>	2,48
4	18	<i>L</i>	2,31
	19	<i>L</i>	45,47
	20	<i>L</i>	5,45
	21	<i>L</i>	6,33
	22	<i>L</i>	7,66
	23	<i>L</i>	2,11
	24	<i>L</i>	2,48
	Part dilakukan <i>inspeksi</i>		
Part masuk <i>inventory</i>			

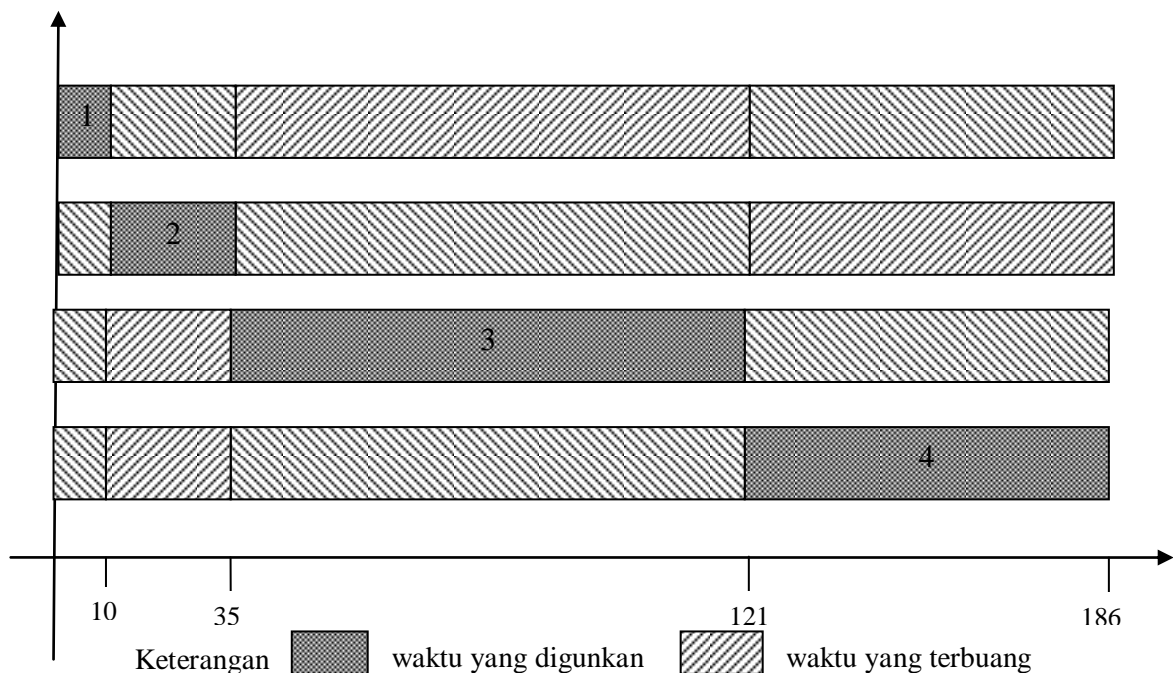
Cara perhitungan untuk mendapatkan waktu standar secara lengkap dapat dilihat pada LAMPIRAN 4, berikut adalah salah satu contoh perhitungan pada *station 1 work element 1* sesuai dengan rumus (2.21) adalah sebagai berikut :

$$W_b = 4,03 + \left(\frac{10}{100} \times 4,03 \right) = 4,44$$

Pada pengambilan data selanjutnya sesuai dengan waktu standar yang telah dihitung, tidak terdapat adanya produk cacat atau *defect* atau bahkan *work in process (WIP) part* yang dikerjakan.

5.3.5 Perhitungan *Idle Time*

Waktu menganggur selama proses *assembly* simulasi amatan disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya adalah menunggu *assembly process* pada *station* lain terutama pada *station 3* dan *station 4*. Gambar 5.9 adalah grafik *idle* yang terjadi pada *assembly line* simulasi amatan.

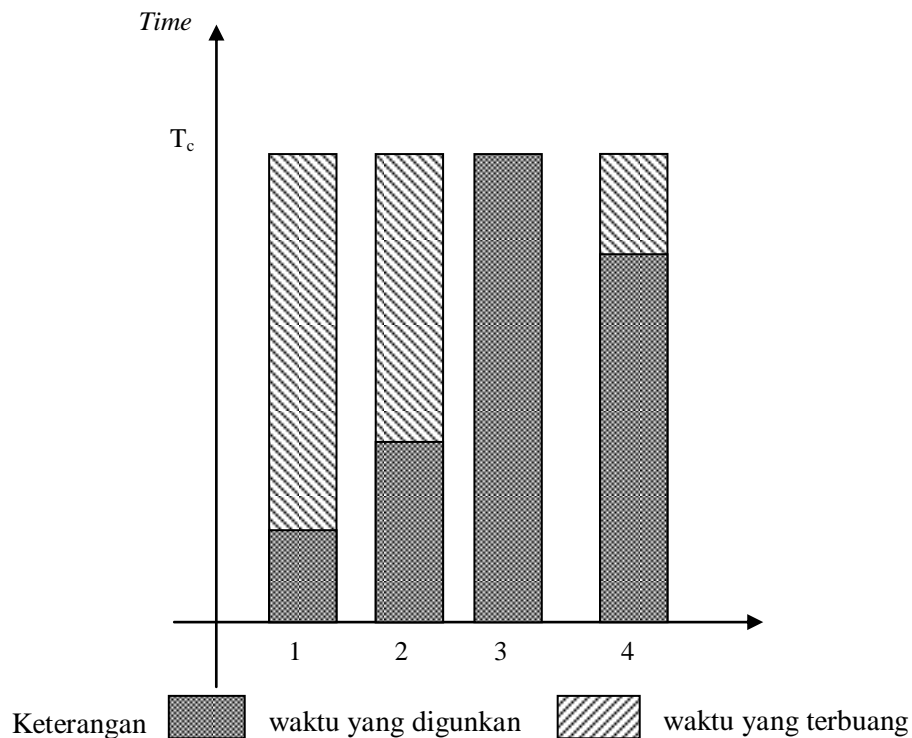


Gambar 5.9 Histogram Total *Idle* pada *Assembly Line* Awal

Gambar 5.9 merupakan grafik *idle* saat pertama proses *assembly* dilakukan. Sumbu *x* menunjukkan waktu proses pada *station* dan sumbu *y* menunjukkan *station*. Sehingga pada *station 2* menunggu *station 1* kemudian pada *station 3* menunggu *station 1* dan *station 2*. Pada *station 4* menunggu semua proses pada semua *station* yaitu *station 1*, *station 2*, dan

station 3. Dengan menggunakan rumus (2.9) total *idle time* yang terjadi pada *assembly line* ini adalah sebesar 120,6 detik.

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa waktu pengerjaan pada setiap station tidak sama dan cenderung lebih lama pada *station 3* sehingga station tersebut dapat menyebabkan *bottleneck*. Gambar 5.10 adalah grafik waktu pengerjaan pada masing-masing station.



Gambar 5.10 Grafik *Bottleneck* Masing-masing *Station*

Pada Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa waktu pengerjaan terlama memang terjadi pada *station 3* sehingga *station* ini menyebabkan *bottleneck* untuk *station* lainnya yang pengerjaannya lebih cepat.

Idle lain yang terjadi adalah ketika *station 1* dan *station 4* melakukan pengisian *part* yang digunakan untuk dirakit. Karena pada *station* ini digunakan beberapa *part* baru yang belum mengalami proses *assembly* untuk dirakit menjadi sebuah produk.

5.3.6 Perhitungan *Cycle Time*

Pada rumus (2.1) untuk mendapatkan *cycle time* maka antara waktu proses yang sebenarnya terjadi pada *station* ditambahkan dengan waktu *material handling* dan waktu rata-rata *tool handling*. Sedangkan pada simulasi amatan, semua tugas pada *station* telah dimasukkan dalam termasuk *tool handling* dan pemindahan material atau tugas *material*

handling. Sehingga untuk mendapatkan *cycle time* model awal tinggal menjumlahkan semua waktu yang dibutuhkan pada masing-masing station. Tabel 5.7 merupakan hasil penjumlahan untuk mendapatkan *cycle time* proses *assembly* awal.

Tabel 5.7 Hasil Perhitungan *Cycle Time* Proses *Assembly* Awal

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>	<i>Total Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03	
	2	<i>L</i>	2,00	
	3	<i>L</i>	2,00	
	4	<i>R</i>	2,28	10,32
2	5	<i>L</i>	5,17	
	6	<i>R</i>	3,95	
	7	<i>L</i>	2,98	
	8	<i>E</i>	4,00	
	9	<i>L</i>	3,02	
	10	<i>E</i>	4,00	
	11	<i>R</i>	2,25	25,37
3	12	<i>R</i>	2,05	
	13	<i>R</i>	73,50	
	14	<i>R</i>	3,23	
	15	<i>R</i>	3,22	
	16	<i>R</i>	2,03	
	17	<i>R</i>	2,25	86,28
4	18	<i>L</i>	2,10	
	19	<i>L</i>	41,33	
	20	<i>L</i>	4,95	
	21	<i>L</i>	5,75	
	22	<i>L</i>	6,97	
	23	<i>L</i>	1,92	
	24	<i>L</i>	2,25	65,27
	Total			

Cycle time yang dibutuhkan untuk proses *assembly* awal adalah sebesar 187,23 detik.

5.3.7 Perhitungan *Production Rate*

Untuk mendapatkan *production rate* dilakukan perhitungan dengan menggunakan rumus (2.3) dimana *production rate* adalah banyaknya produk atau *part* yang mampu diproduksi dalam satu jam. Rata-rata waktu perakitan yang telah dihitung pada sub bab sebelumnya untuk merakit satu produk dibutuhkan waktu 187,23 dalam satuan detik.

Untuk menghitung *production rate*, waktu perakitan rata-rata untuk satu produk dijadikan dalam satuan menit terlebih dahulu baru didapatkan hasil untuk *production rate*.

$$R_p = \frac{60}{\left(\frac{187,23}{60}\right)}$$

$$R_p = \frac{60}{3,12} = 19,23$$

Untuk hasil *production rate* dilakukan pembulatan ke bawah sehingga dalam satu jam mampu merakit sebanyak 19 produk.

5.3.8 Perhitungan *Balance Delay*

Balance delay digunakan untuk menunjukkan jumlah waktu yang hilang karena keseimbangan lini yang belum sempurna. Dengan menggunakan rumus (2.10) semua waktu proses *assembly* harus dinyatakan dalam satuan menit terlebih dahulu, sehingga pada Tabel 5.8 disajikan *processing time* dalam setiap tugas dalam satuan menit.

Tabel 5.8 *Processing Time* (min)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i> (min)	<i>Total Processing Time</i> (min)
1	1	<i>R</i>	0,07	0,17
	2	<i>L</i>	0,03	
	3	<i>L</i>	0,03	
	4	<i>R</i>	0,04	
2	5	<i>L</i>	0,09	0,42
	6	<i>R</i>	0,07	
	7	<i>L</i>	0,05	
	8	<i>E</i>	0,07	
	9	<i>L</i>	0,05	
	10	<i>E</i>	0,07	
	11	<i>R</i>	0,04	
3	12	<i>R</i>	0,03	1,44
	13	<i>R</i>	1,23	
	14	<i>R</i>	0,05	
	15	<i>R</i>	0,05	
	16	<i>R</i>	0,03	
	17	<i>R</i>	0,04	

Tabel 5.8 *Processing Time* (min) (Lanjutan)

Station	Work Element	Type Task	Processing Time (min)	Total Processing Time (min)
4	18	L	0,04	1,09
	19	L	0,69	
	20	L	0,08	
	21	L	0,10	
	22	L	0,12	
	23	L	0,03	
	24	L	0,04	
Total				3,12

Sehingga perhitungan untuk *balance delay* dihitung dengan cara berikut :

$$d = \frac{((4 \times 1,44) - 3,12)}{(4 \times 1,44)}$$

$$d = \frac{(5,76 - 3,12)}{5,76}$$

$$d = \frac{2,64}{5,76} = 0,46 \text{ atau } 46\%$$

5.3.9 Perhitungan *Line Efficiency*

Perhitungan *line efficiency* digunakan untuk menunjukkan persentasi utilitas dari *assembly line* simulasi. *Line efficiency* dilakukan perhitungan dengan rumus (2.11) yaitu sebagai berikut :

$$LE = \frac{3,12}{(4 \times 1,44)} \times 100\%$$

$$LE = \frac{3,12}{5,76} \times 100\% = 54\%$$

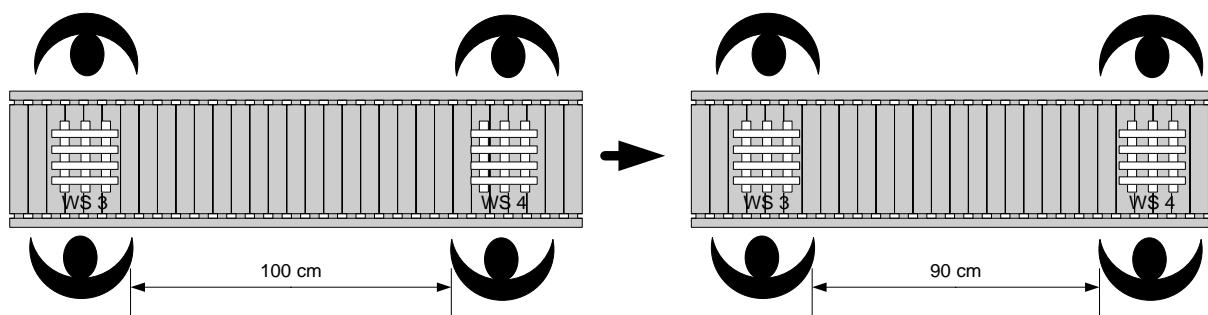
Atau dapat dihitung dengan cara lain yaitu mengurangkan 100% dengan *balance delay* yang telah dihitung karena *balance delay* dan *line efficiency* apabila dijumlahkan memiliki nilai 100%.

5.4 Pengumpulan Data Proses *Assembly* Perbaikan

Pengumpulan data selanjutnya dilakukan dengan melakukan perbaikan pada setiap faktor untuk setiap nilai yaitu 0,1; 0,5; dan 1,0.

5.4.1 *Distance Factor*

Perbaikan pada faktor ini dilakukan sebanyak tiga kali sesuai dengan skala nilai yang digunakan. Perbaikan berfokus pada jarak antar *station* 3 dengan *station* 4 dengan pertimbangan *bottleneck* yang terjadi. Pada Gambar 5.9, *bottleneck* terjadi pada *station* 3 sehingga perpindahan *part* ke *station* berikutnya yaitu *station* 4 tidak akan terpengaruh. Sedangkan jarak antara *station* 1, *station* 2, dan *station* 3 tetap dipertahankan dengan pertimbangan bahwa panjang jarak juga digunakan sebagai *storage buffer*. Perbaikan pertama dilakukan pada skala nilai 0,1 dengan membuat jarak antara *station* yang semula 100 cm menjadi 90 cm yang diilustrasikan pada Gambar 5.11.



Gambar 5.11 Ilustrasi Pebaikan *Distance Factor* dengan Nilai 0,1

Hasil pengambilan data yang dilakukan sesuai dengan perbaikan tersebut, disajikan pada Tabel 5.9 yang merupakan hasil pengambilan data dengan skala nilai 0,1

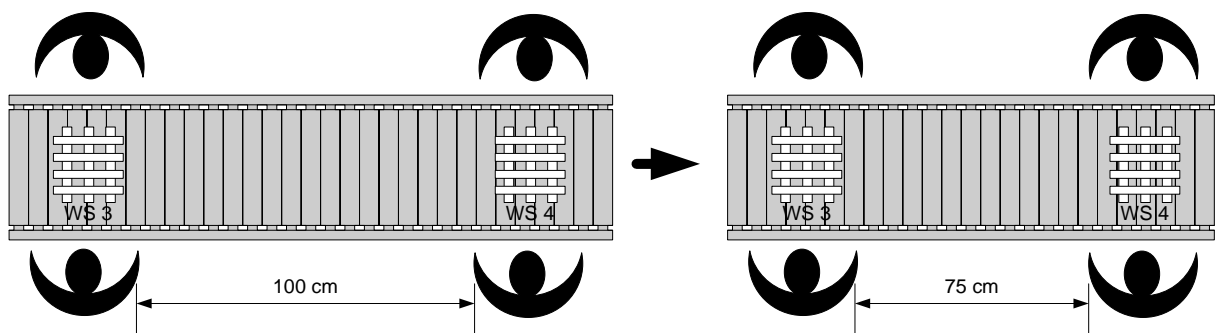
Tabel 5.9 Data Pebaikan *Distance Factor* dengan Nilai 0,1

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03
	2	<i>L</i>	2,00
	3	<i>L</i>	2,00
	4	<i>R</i>	2,28

Tabel 5.9 Data Perbaikan *Distance Factor* dengan Nilai 0,1 (Lanjutan)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
2	5	<i>L</i>	5,17
	6	<i>R</i>	3,95
	7	<i>L</i>	2,98
	8	<i>E</i>	4,00
	9	<i>L</i>	3,02
	10	<i>E</i>	4,00
	11	<i>R</i>	2,25
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	73,50
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2,25
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	41,33
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2,25

Gambar 5.12 merupakan ilustrasi perbaikan kedua yang dilakukan pada untuk nilai 0,5 dengan membuat jarak antara *station* yang semula 100 cm menjadi 75 cm.



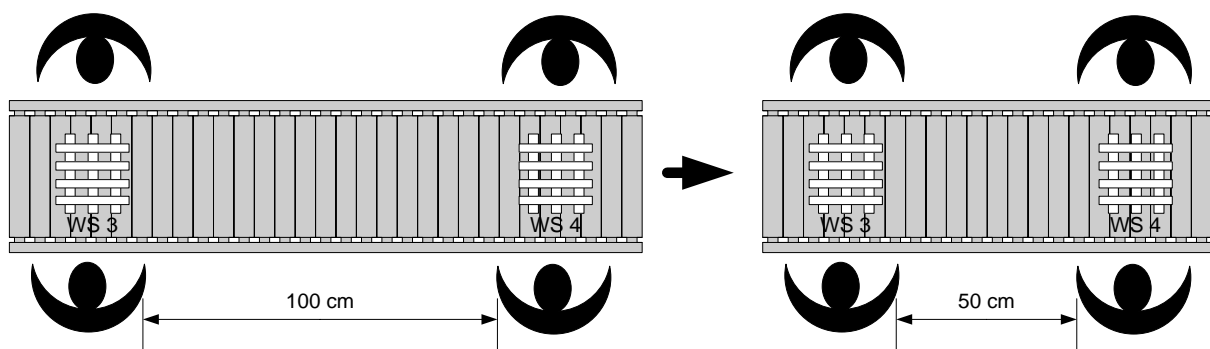
Gambar 5.12 Ilustrasi Perbaikan *Distance Factor* dengan Nilai 0,5

Tabel 5.10 menyajikan data hasil dari perbaikan yang dilakukan untuk skala nilai *distance faktor* sebesar 0,5.

Tabel 5.10 Data Pebaikan *Distance Factor* dengan Nilai 0,5

Station	Work Element	Type Task	Processing Time
1	1	R	4,03
	2	L	2,00
	3	L	2,00
	4	R	2,28
2	5	L	5,17
	6	R	3,95
	7	L	2,98
	8	E	4,00
	9	L	3,02
	10	E	4,00
	11	R	2,28
3	12	R	2,05
	13	R	73,50
	14	R	3,23
	15	R	3,22
	16	R	2,03
	17	R	2,2
4	18	L	2,10
	19	L	41,33
	20	L	4,95
	21	L	5,75
	22	L	6,97
	23	L	1,92
	24	L	2,2

Perbaikan untuk skala nilai terakhir pada nilai 1,0 adalah mengubah jarak menjadi 50 cm agar pergerakan operator satu dengan operator lain yang berbeda *station* tidak mengganggu namun tetap dalam jarak yang cukup dekat. Perbaikan ini diilustrasikan pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Ilustrasi Pebaikan *Distance Factor* dengan Nilai 1,0

Tabel 5.11 merupakan data dari hasil perbaikan yang dilakukan untuk skala nilai *distance faktor* sebesar 0,5.

Tabel 5.11 Data Pebaikan *Distance Factor* dengan Nilai 1,0

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03
	2	<i>L</i>	2,00
	3	<i>L</i>	2,00
	4	<i>R</i>	2,28
2	5	<i>L</i>	5,17
	6	<i>R</i>	3,95
	7	<i>L</i>	2,98
	8	<i>E</i>	4,00
	9	<i>L</i>	3,02
	10	<i>E</i>	4,00
	11	<i>R</i>	2,25
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	73,50
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	41,33
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2

Dari ketiga perbaikan yang dilakukan memberikan hasil perubahan pada *work element* terakhir pada *station* yang diperbaiki dengan *processing time* yang berkurang atau menjadi lebih cepat karena pada *work element* terakhir pada masing-masing *station* tersebut merupakan tugas untuk menggeser *pallet* ke *station* selanjutnya. Dengan jarak antar *station* yang semakin dekat maka akan berdampak pula pada penggeseran *pallet* yang semakin cepat.

5.4.2 *Tool Factor*

Perbaikan pada faktor ini lebih berfokus pada setup yang dilakukan sehingga tidak memiliki pengaruh pada waktu *assembly process* di *assembly line*. Tidak terdapat setup yang spesifik pada simulasi, hanya semua operator diharuskan menggunakan Alat

Pelindung Diri (APD) agar keselamatan operator selalu terjaga dan untuk menghindari kecelakaan kerja yang tidak diinginkan. APD yang digunakan merupakan APD dasar pada *shop floor production line* yaitu berupa memakai *wearpack*, *safety shoes*, helm, kacamata, sarung tangan, dan *earplug*. Pemakaian APD memakan waktu selama 7 menit pada awal pelaksanaan tugas. Pada *station 1*, hal yang harus disiapkan adalah part baru pada kotak part yang akan dirakit dan *pallet* untuk meletakkan part selama proses *assembly*, sehingga hal pertama yang dilakukan untuk operator *station 1* adalah mengisi part pada kotak part agar dapat dirakit dalam beberapa waktu kedepan yang cukup lama dan juga memastikan *pallet* yang akan digunakan sudah tersedia. Pada *station 2* alat yang digunakan adalah bor listrik sehingga hal pertama yang harus disiapkan oleh operator pada *station 2* adalah bor listrik dapat digunakan. Pada *station 4* terdapat beberapa part yang juga akan dirakit sehingga tugas pertama yang disiapkan hampir sama dengan *station 1* yaitu memastikan *part* tersedia untuk beberapa waktu kedepan selama proses *assembly*.

Tabel 5.12 adalah rangkuman persiapan operator pada masing-masing *station* dan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan persiapan tersebut.

Tabel 5.12 Persiapan dan Waktu Persiapan pada Masing-masing *Station*

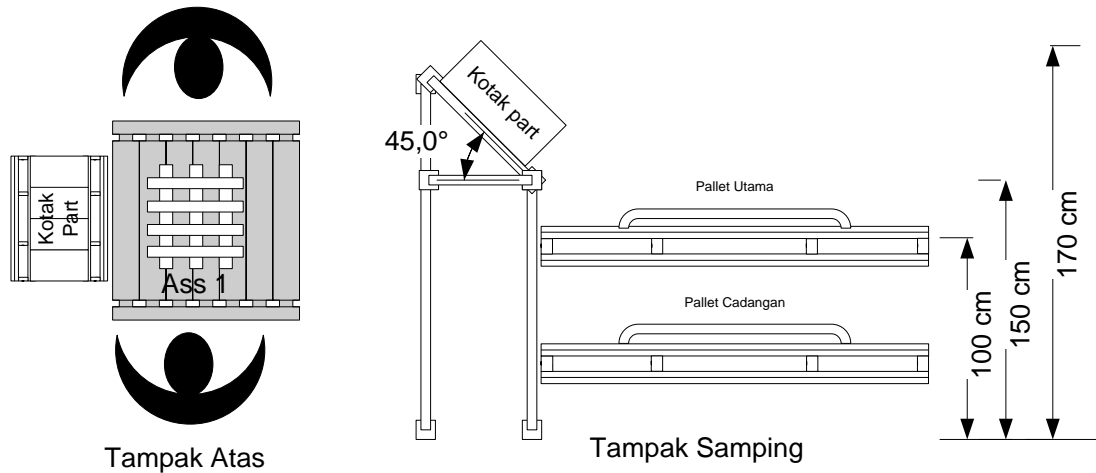
Pekerjaan	Waktu yang Diperlukan			
	Station 1	Station 2	Station 3	Station 4
Memakai APD	7	7	7	7
Menyiapkan part	3			3
Menyiapkan pallet	1			
Memastikan listrik		2		
Total waktu	11	9	7	10

Perbaikan yang dilakukan pada faktor ini adalah, pengecekan part, pallet, dan listrik dilakukan oleh orang lain selain operator *station* termasuk pengisian ulang part untuk dirakit, sehingga dengan cara ini juga mampu mengurangi *idle* yang terjadi. Perbaikan lainnya adalah pemakaian APD dilakukan diluar jam kerja sehingga tidak mengurangi waktu proses selama *assembly* berlangsung.

5.4.3 Posture Factor

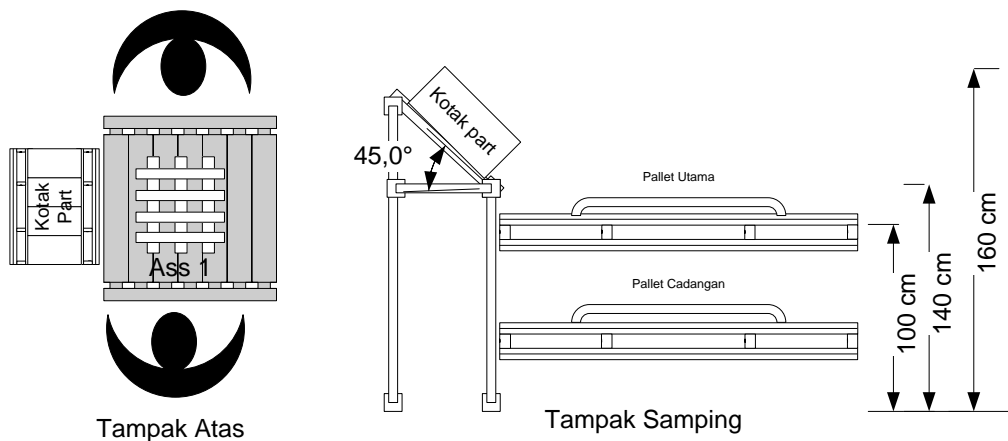
Perbaikan pada faktor ini berfokus pada pergerakan operator pada *station 1* karena operator melakukan banyak jangkauan pergerakan untuk mengambil *part* yang akan dirakit yang dinilai masih belum efisien. Sedangkan pada *station 2* pergerakan operator dinilai sudah efisien karena terdapat jig untuk merakit dalam *assembly line* dan alat bantu

yang sudah dekat dengan jig sehingga pergerakannya tidak terlalu mengganggu. Hal tersebut juga terjadi pada *station 3* dan *station 4* sehingga perbaikan tidak terlalu berfokus pada *station* ini. Perbaikan pada *posture factor* mengacu pada antropometri rata-rata operator. Gambar 5.14 adalah ilustrasi tempat kerja semula pada *station 1*.



Gambar 5.14 Ilustrasi Tempat Kerja Awal *Station 1*

Dari ilustrasi tempat kerja semula pada *station 1*, tinggi tempat kotak *part* setinggi 170 cm dengan sudut kemiringan sebesar 45° . Tinggi kotak *part* ini dirasa kurang efisien karena untuk operator yang memiliki tinggi badan diatas 170 cm tidak mengalami kesusahan dalam mengambil *part*. Namun pada operator yang memiliki tinggi badan kurang dari 170 cm maka akan mengalami kesusahan dalam mengambil *part* karena harus menjinjitkan kaki untuk mengambil dan melihat kondisi *part* (apakah masih ada atau sudah habis). Sehingga perbaikan pertama pada skala nilai 0,1 adalah memperbaiki tinggi kotak *part* menjadi 160 cm mengikuti rata-rata tinggi operator. Gambar 5.15 adalah ilustrasi perbaikan *posture factor* pada skala nilai 0,1.



Gambar 5.15 Ilustrasi Pebaikan *Posture Factor* dengan Nilai 0,1

Hasil pengambilan data kemudian dilakukan untuk mencoba perbaikan pertama.

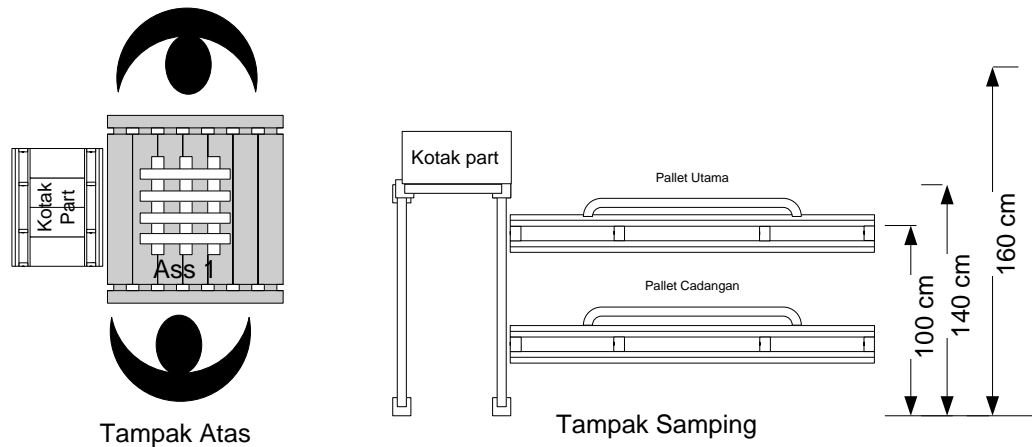
Tabel 5.13 merupakan hasil pengambilan data dengan skala nilai 0,1

Tabel 5.13 Data Perbaikan *Posture Factor* dengan Nilai 0,1

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03
	2	<i>L</i>	2,00
	3	<i>L</i>	2,00
	4	<i>R</i>	2,28
2	5	<i>L</i>	5,17
	6	<i>R</i>	3,95
	7	<i>L</i>	2,98
	8	<i>E</i>	4,00
	9	<i>L</i>	3,02
	10	<i>E</i>	4,00
	11	<i>R</i>	2,25
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	73,50
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2,25
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	41,33
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2,25

Perbaikan kedua dilakukan pada skala nilai 0,5 dengan membuat kotak *part* menjadi tidak dalam keadaan miring, sehingga sejajar dengan tinggi kotak *part* setinggi 160 cm.

Gambar 5.16 adalah ilustrasi perbaikan pada skala nilai 0,5



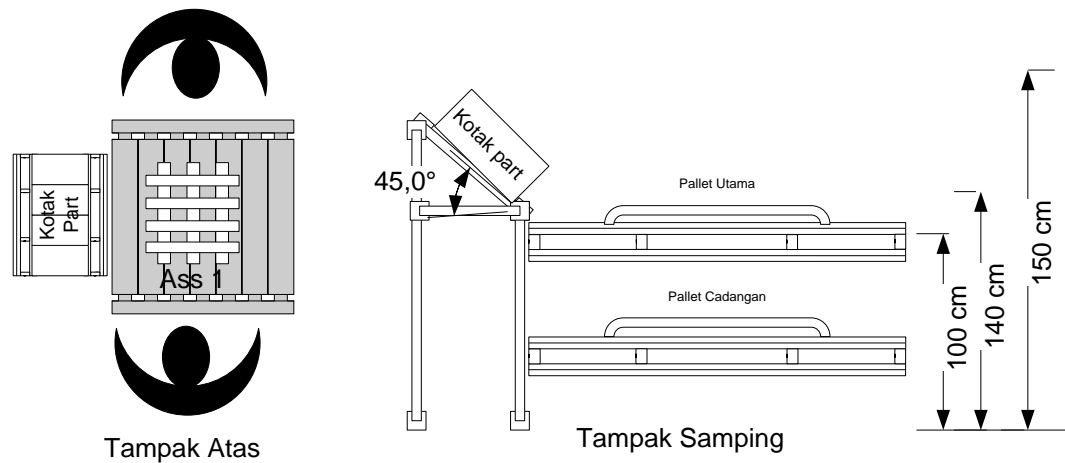
Gambar 5.16 Ilustrasi Pebaikan *Posture Factor* dengan Nilai 0,5

Tabel 5.14 menyajikan data hasil dari perbaikan yang dilakukan untuk skala nilai *posture factor* sebesar 0,5

Tabel 5.14 Data Pebaikan *Posture Factor* dengan Nilai 0,5

Station	Work Element	Type Task	Processing Time
1	1	R	3,9
	2	L	1,9
	3	L	1,9
	4	R	2,2
2	5	L	4,8
	6	R	3,9
	7	L	2,9
	8	E	3,9
	9	L	2,9
	10	E	3,9
	11	R	2,1
3	12	R	2,05
	13	R	73,50
	14	R	3,23
	15	R	3,22
	16	R	2,03
	17	R	2,25
4	18	L	2,10
	19	L	41,33
	20	L	4,95
	21	L	5,75
	22	L	6,97
	23	L	1,92
	24	L	2,25

Pada perbaikan kedua dirasa masih kurang efektif karena posisi kotak *part* yang datar ternyata membuat operator kurang nyaman. Sehingga perbaikan terakhir pada skala nilai 1,0 membuat posisi kotak *part* tetap pada kemiringan 45^0 namun dengan tinggi yang dipendekkan menjadi 150 cm. Gambar 5.17 adalah ilustrasi perbaikan posisi tempat kerja *station 1* dengan nilai 1,0



Gambar 5.17 Ilustrasi Pebaikan *Posture Factor* dengan Nilai 1,0

Tabel 5.15 merupakan data hasil pengambilan yang telah dilakukan dengan perbaikan pada skala nilai 1,0

Tabel 5.15 Data Pebaikan *Posture Factor* dengan Nilai 1,0

Station	Work Element	Type Task	Processing Time
1	1	R	3,7
	2	L	1,7
	3	L	1,6
	4	R	2,2
2	5	L	4,5
	6	R	3,7
	7	L	2,6
	8	E	3,5
	9	L	2,6
	10	E	3,5
	11	R	2,1
3	12	R	2,05
	13	R	73,50
	14	R	3,23
	15	R	3,22
	16	R	2,03
	17	R	2,25

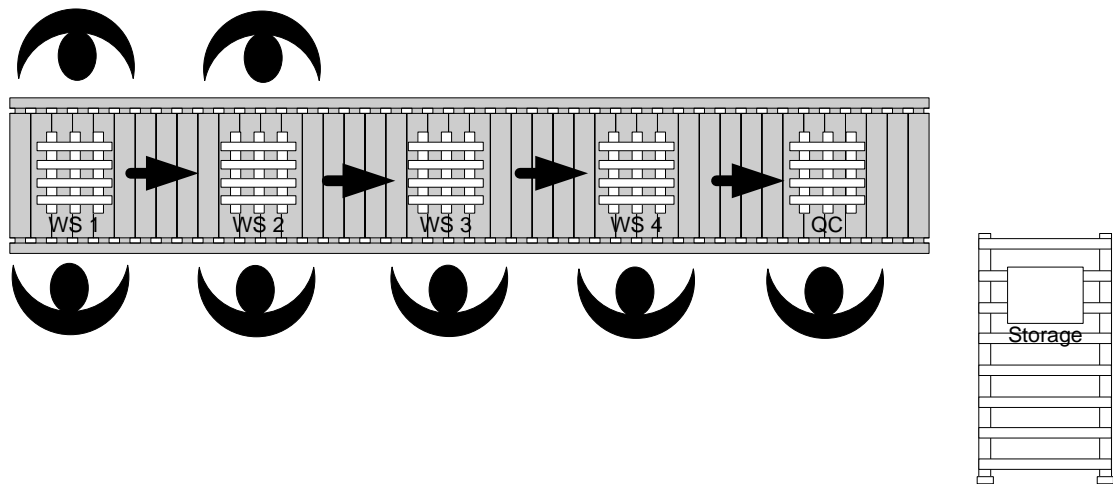
Tabel 5.15 Data Perbaikan *Posture Factor* dengan Nilai 1,0 (Lanjutan)

Station	Work Element	Type Task	Processing Time
4	18	L	2,10
	19	L	41,33
	20	L	4,95
	21	L	5,75
	22	L	6,97
	23	L	1,92
	24	L	2,25

Dari ketiga perbaikan, terjadi perubahan waktu pada tugas yang dilakukan *station 1* menunjukkan waktu pengerjaan tugas yang semakin cepat.

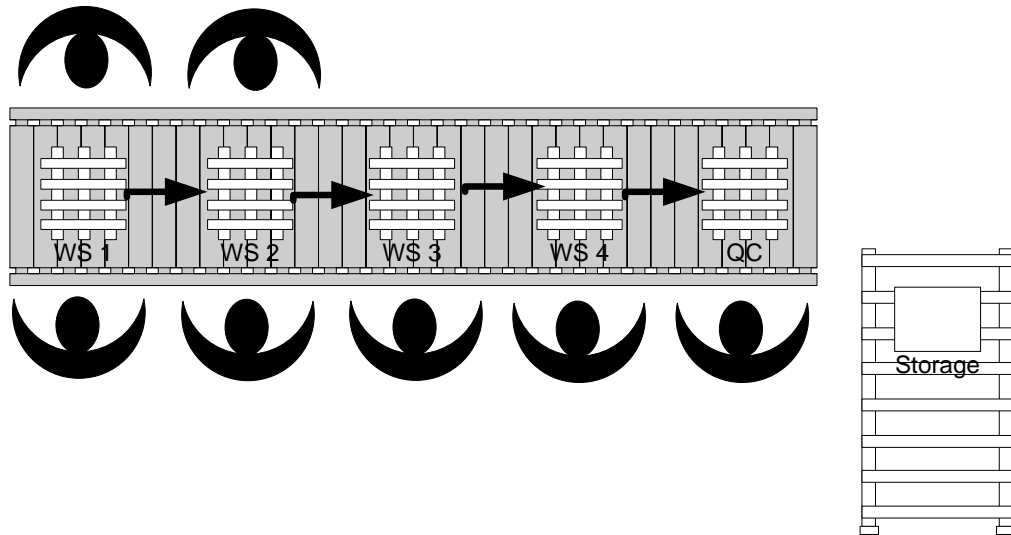
5.4.4 Layout Factor

Layout Factor merupakan faktor dengan perbaikan yang berfokus pada perbaikan tata letak pabrik atau *shop floor* atau *production line* baik *assembly line*. Sehingga pada faktor ini perbaikan tata letak *assembly line* dibuat menjadi lebih efisien dan cocok dengan proses *assembly* yang dilakukan. Pada skala nilai 0,1 menilai tata letak awal *assembly line* amatan dirasa masih memiliki nilai yang buruk. Hal tersebut digambarkan pada Gambar 5.18 yang merupakan *layout* awal *assembly line* amatan.



Gambar 5.18 *Layout* Awal *Assembly Line* dengan Nilai 0,1

Sehingga perbaikan selanjutnya dilakukan dengan skala nilai 0,5. Gambar 5.19 mengilustrasikan perbaikan yang dilakukan pada *assembly line* dengan membuat jarak antar *station* sesuai dengan perbaikan pada *distance factor* yaitu sebesar 50 cm.



Gambar 5.19 Ilustrasi Pebaikan *Layout Factor* dengan Nilai 0,5

Perbaikan pada skala nilai ini memberikan hasil bahwa waktu perpindahan *part* atau material handling dari station satu ke station lainnya menjadi berkurang atau lebih cepat. Tabel 5.16 merupakan hasil data yang diambil dengan perbaikan nilai 0,5.

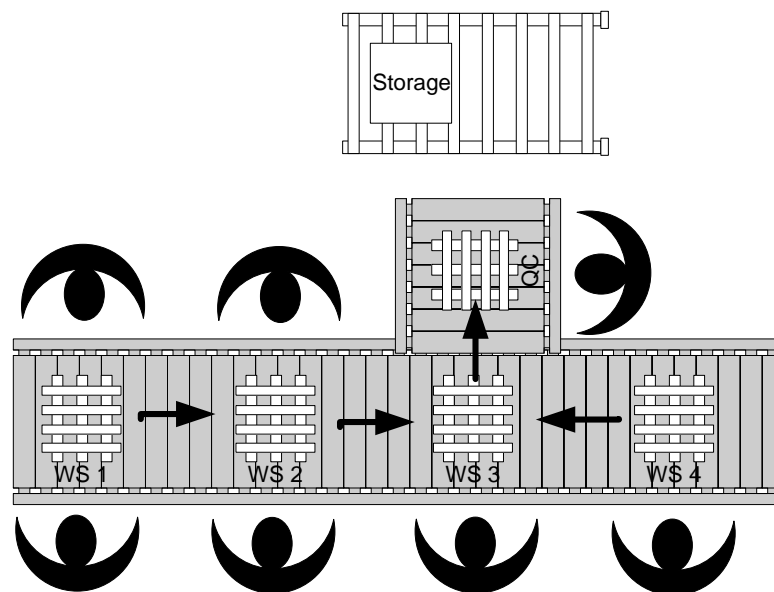
Tabel 5.16 Data Pebaikan *Layout Factor* dengan Nilai 0,5

Station	Work Element	Type Task	Processing Time
1	1	R	4,03
	2	L	2,00
	3	L	2,00
	4	R	2
2	5	L	5,17
	6	R	3,95
	7	L	2,98
	8	E	4,00
	9	L	3,02
	10	E	4,00
	11	R	2
3	12	R	2,05
	13	R	73,50
	14	R	3,23
	15	R	3,22
	16	R	2,03
	17	R	2

Tabel 5.16 Data Perbaikan *Layout Factor* dengan Nilai 0,5 (Lanjutan)

Station	Work Element	Type Task	Processing Time
4	18	L	2,10
	19	L	41,33
	20	L	4,95
	21	L	5,75
	22	L	6,97
	23	L	1,92
	24	L	2

Perbaikan selanjutnya dilakukan dengan skala nilai maksimal yaitu pada nilai 1,0. Perbaikan *layout* dirubah menjadibentuk T dimana proses *assembly* pada *station* 1 dan *station* 2 dipararelkan dengan proses *assembly* pada *station* 4 sehingga titik proses *assembly* pusat berada pada *station* 3 kemudian *station* inspeksi dilakukan di depan *station* 3 dan penyimpanan dilakukan dekat dengan *station* inspeksi. Ilustrasi perbaikan tersebut digambarkan pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Ilustrasi Perbaikan *Layout Factor* dengan Nilai 1,0

5.4.5 Skill Factor

Perbaikan pada *skill factor* berfokus pada keahlian operator. Skala nilai keahlian operator dijelaskan pada (4.5). Perbaikan pertama dilakukan dengan skala nilai 0,1 dimana operator adalah masih junior sehingga keahliannya masih belum bagus. Tabel 5.17 adalah data hasil dari pengambilan yang dilakukan sesuai dengan skala 0,1.

Tabel 5.17 Data Perbaikan *Skill Factor* dengan Nilai 0,1

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03
	2	<i>L</i>	2,00
	3	<i>L</i>	2,00
	4	<i>R</i>	2,28
2	5	<i>L</i>	5,17
	6	<i>R</i>	3,95
	7	<i>L</i>	2,98
	8	<i>E</i>	4,00
	9	<i>L</i>	3,02
	10	<i>E</i>	4,00
	11	<i>R</i>	2,25
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	73,50
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2,25
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	41,33
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2,25

Kemudian perbaikan dilakukan kembali dengan skala nilai 0,5 dimana operator dianggap sudah senior sehingga sudah terbiasa dan memiliki keahlian. Tabel 5.18 adalah data perbaikan sesuai dengan skala nilai 0,5

Tabel 5.18 Data Perbaikan *Skill Factor* dengan Nilai 0,5

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03
	2	<i>L</i>	2,00
	3	<i>L</i>	2,00
	4	<i>R</i>	2,28

Tabel 5.18 Data Perbaikan *Skill Factor* dengan Nilai 0,5 (Lanjutan)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
2	5	<i>L</i>	5,17
	6	<i>R</i>	3,95
	7	<i>L</i>	2,98
	8	<i>E</i>	3,80
	9	<i>L</i>	3,02
	10	<i>E</i>	3,80
	11	<i>R</i>	2,25
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	64,50
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2,25
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	38,60
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2,25

Perbaikan terakhir adalah pada skala nilai 1,0 dimana pekerjaan dilakukan oleh para ahli yang ada di bidangnya. Tabel 5.19 adalah data hasil pengambilan sesuai dengan perbaikan pada skala 1,0.

Tabel 5.19 Data Perbaikan *Skill Factor* dengan Nilai 1,0

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	4,03
	2	<i>L</i>	2,00
	3	<i>L</i>	2,00
	4	<i>R</i>	2,28
2	5	<i>L</i>	5,17
	6	<i>R</i>	3,95
	7	<i>L</i>	2,98
	8	<i>E</i>	3,50
	9	<i>L</i>	3,02
	10	<i>E</i>	3,50
	11	<i>R</i>	2,25

Tabel 5.19 Data Perbaikan *Skill Factor* dengan Nilai 1,0 (Lanjutan)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	50,03
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2,25
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	36,40
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2,25

Dari ketiga perbaikan yang dilakukan, hasil yang signifikan terdapat pada pengerjaan tugas di *station* 3 dan *station* 4. Pada *station* tersebut terdapat tugas yang dianggap susah untuk dikerjakan sehingga akan baik dilakukan oleh operator ahli untuk mempercepat waktu pengerjaan.

5.5 Pengumpulan Data Proses *Assembly* Perbaikan untuk Semua Faktor

Dari kelima faktor yang digunakan, akan diterapkan pada proses *assembly* sesuai dengan skala nilai perbaikan yang memberikan hasil paling baik yaitu pada skala nilai 1,0. Selanjutnya akan dicoba kembali dan dicatat hasilnya atau waktu pengerjaan dengan semua faktor perbaikan tersebut. Hasil dari pengambilan data ulang dengan semua perbaikan faktor tersebut disajikan pada Tabel 5.20 dibawah ini.

Tabel 5.20 Data Perbaikan untuk Semua Faktor

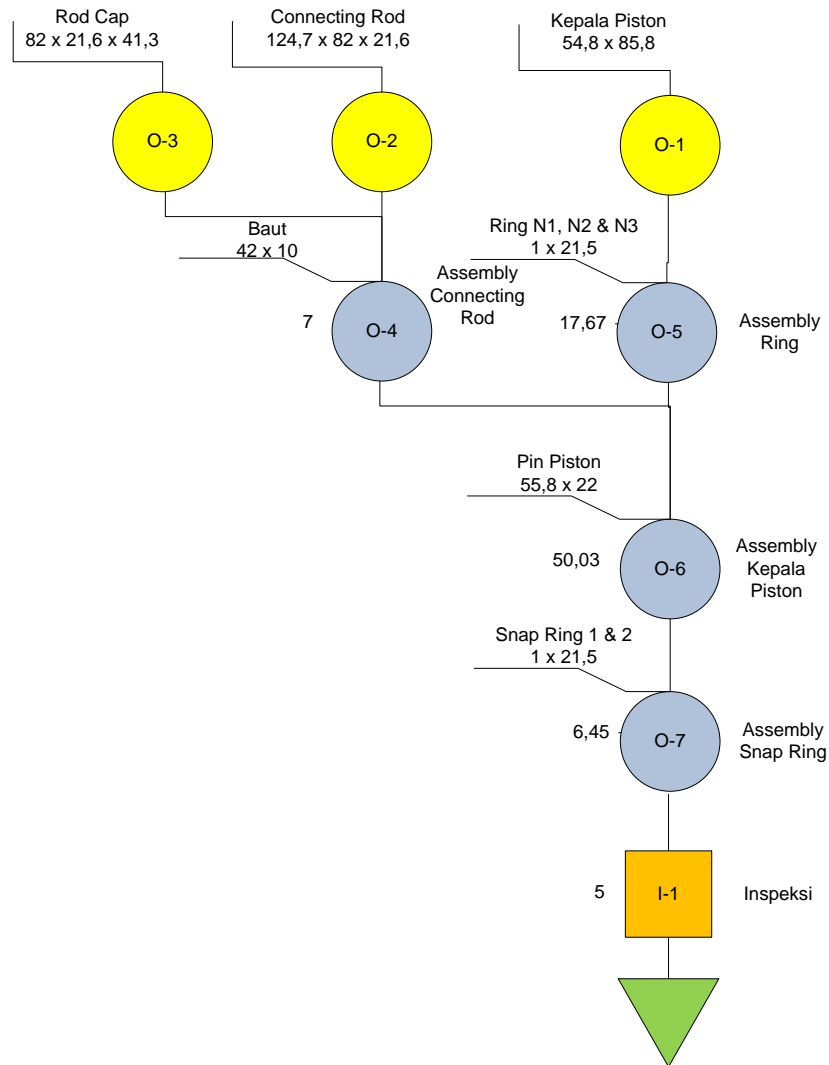
<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	3,7
	2	<i>L</i>	1,7
	3	<i>L</i>	1,6
	4	<i>R</i>	2,28

Tabel 5.20 Data Perbaikan untuk Semua Faktor (Lanjutan)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>
2	5	<i>L</i>	4,5
	6	<i>R</i>	3,7
	7	<i>L</i>	2,6
	8	<i>E</i>	3,5
	9	<i>L</i>	2,6
	10	<i>E</i>	3,5
	11	<i>R</i>	2,25
3	12	<i>R</i>	2,05
	13	<i>R</i>	50,03
	14	<i>R</i>	3,23
	15	<i>R</i>	3,22
	16	<i>R</i>	2,03
	17	<i>R</i>	2
4	18	<i>L</i>	2,10
	19	<i>L</i>	36,40
	20	<i>L</i>	4,95
	21	<i>L</i>	5,75
	22	<i>L</i>	6,97
	23	<i>L</i>	1,92
	24	<i>L</i>	2

5.6 Perbaikan *Assembly Line Process*

Perbaikan berdasarkan masing-masing faktor akan digunakan untuk memperbaiki keseluruhan *assembly line process* agar proses *assembly* menjadi lebih efisien. Urutan proses *assembly* akan berubah dan juga pada *assembly line layout*. Gambaran urutan-urutan tugas yang dikerjakan pada *assembly line* perbaikan akan dijelaskan pada OPC dibawah ini.



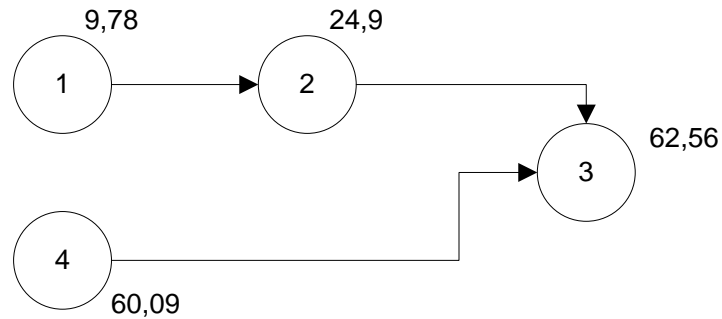
Gambar 5.21 OPC Perakitan Proses *Assembly* Perbaikan

Kode operasi pada pembuatan OPC akan dijelaskan pada Tabel 5.21 untuk mengetahui tugas apa yang dikerjakan pada kode proses tersebut.

Tabel 5.21 Kode Operasi OPC Proses *Assembly* Perbaikan

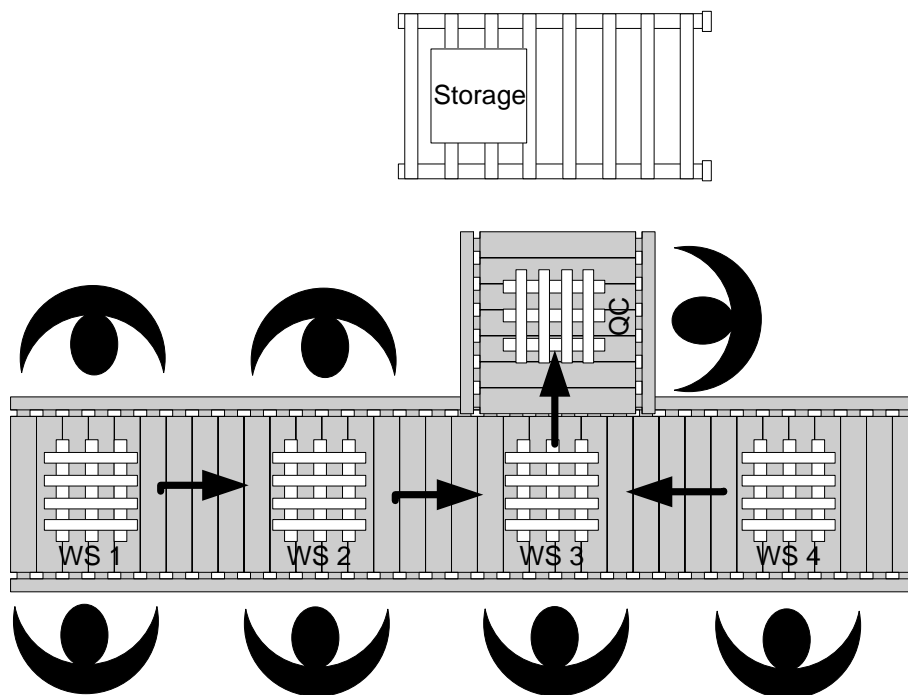
Kode Proses	Keterangan Tugas
O-1	Part kepala piston
O-2	Part connecting rod
O-3	Part rod cap
O-4	Proses assembly antara rod cap dan connecting rod dengan menggunakan baut
O-5	Proses assembly part sebelumnya dengan ring N1, ring N2, dan ring N3
O-6	Proses assembly antara connecting rod dan kepala piston menggunakan pin piston
O-7	Proses assembly snap ring dengan snap ring 1 dan snap ring 2
I-1	Proses inspeksi untuk seluruh produk yang telah dirakit

Precedence diagram menunjukkan urutan *station* yang dikerjakan pada *assembly line* perbaikan. Gambar 5.22 adalah *precedence diagram* yang digunakan.



Gambar 5.22 *Precedence Diagram* Proses *Assembly* Perbaikan

Gambar 5.23 adalah *layout* perbaikan dari hasil perbaikan pada *layout factor* untuk proses *assembly* pada *assembly line* perbaikan.



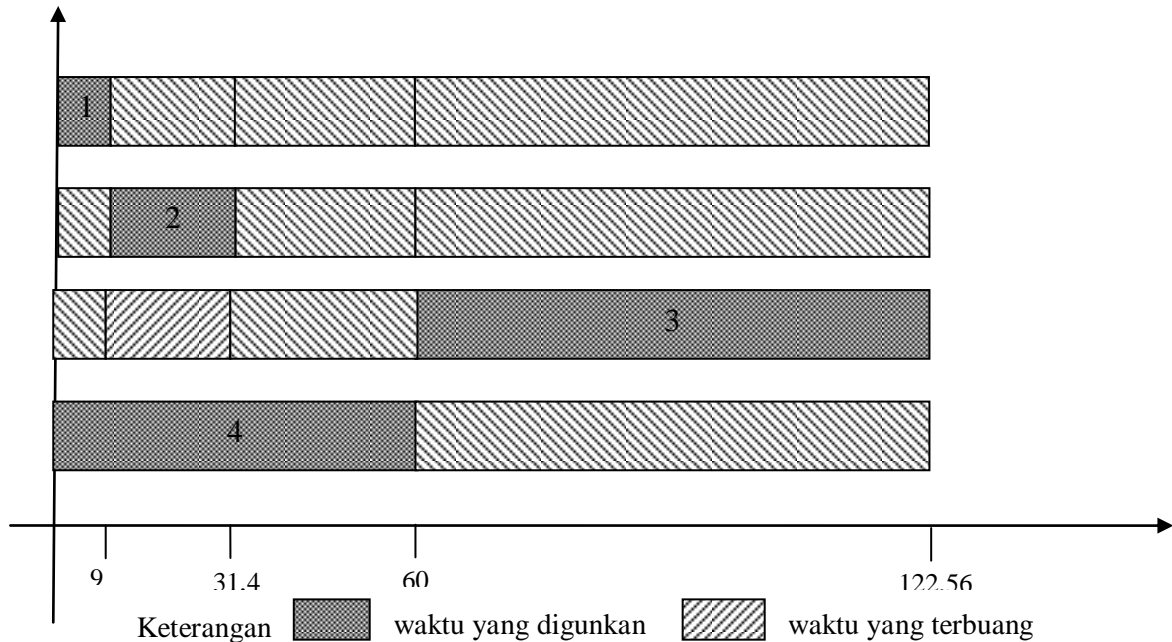
Gambar 5.23 *Assembly Line Layout* Perbaikan

5.7 Pengolahan Data Proses *Assembly* Perbaikan

Data perbaikan yang telah didapatkan dari semua faktor kemudian akan diolah untuk mendapatkan perbandingan antara proses *assembly* awal dan proses *assembly* perbaikan yang telah dilakukan.

5.7.1 Perhitungan *Idle Time*

Waktu menganggur yang terjadi setelah perbaikan *assembly line* digambarkan pada grafik Gambar 5.24 berikut.



Gambar 5.24 Histogram Total *Idle* pada *Assembly Line* Perbaikan

Gambar 5.18 menunjukkan grafik *idle* saat proses *assembly*. Sumbu x menunjukkan waktu proses pada *station* dan sumbu y menunjukkan *station*. *Station 2* menunggu *part* hasil dari pengerjaan pada *station 1*. Sedangkan *station 4* menunggu proses dari *station 2* dan *station 4*. Berdasarkan grafik tersebut dapat dilihat bahwa pengerjaan pada setiap *station* tidak sama dan cenderung lama pada pengerjaan di *station 3*.

5.7.2 Perhitungan *Cycle Time*

Seperti perhitungan sebelumnya, perhitungan *cycle time* didapatkan dari seluruh penjumlahan semua waktu pada masing-masing *station*. Tabel 5.22 merupakan hasil penjumlahan untuk mendapatkan *cycle time* proses *assembly* perbaikan.

Tabel 5.22 Hasil Perhitungan *Cycle Time* Proses *Assembly* Perbaikan

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>	<i>Total Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	3,7	9,28
	2	<i>L</i>	1,7	
	3	<i>L</i>	1,6	
	4	<i>R</i>	2,28	

Tabel 5.22 Hasil Perhitungan *Cycle Time* Proses *Assembly* Perbaikan (Lanjutan)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>	<i>Total Processing Time</i>
2	5	<i>L</i>	4,5	
	6	<i>R</i>	3,7	
	7	<i>L</i>	2,6	
	8	<i>E</i>	3,5	
	9	<i>L</i>	2,6	
	10	<i>E</i>	3,5	
	11	<i>R</i>	2,25	22,65
3	12	<i>R</i>	2,05	
	13	<i>R</i>	50,03	
	14	<i>R</i>	3,23	
	15	<i>R</i>	3,22	
	16	<i>R</i>	2,03	
	17	<i>R</i>	2	62,56
4	18	<i>L</i>	2,1	
	19	<i>L</i>	36,4	
	20	<i>L</i>	4,95	
	21	<i>L</i>	5,75	
	22	<i>L</i>	6,97	
	23	<i>L</i>	1,92	
	24	<i>L</i>	2	60,09
Total				154,58
Part masuk <i>inventory</i>				

Sesuai dengan urutan pekerjaan pada *station* yang telah dirubah dan dilihat pada Gambar 5.24, grafik *idle* menunjukkan bahwa pengerjaan pada *station* 4 lebih lama daripada pengerjaan pada *station* 1 dan *station* 2, sehingga perhitungan *cycle time* adalah dengan menjumlahkan waktu pada *station* 3 dan *station* 4. *Cycle time* yang dibutuhkan untuk proses *assembly* perbaikan adalah sebesar 122,65 detik.

5.7.3 Perhitungan *Production Rate*

Dengan menggunakan rumus (2.3) untuk melakukan perhitungan *production rate*, maka didapatkan perhitungan sebagai berikut.

$$R_p = \frac{60}{\left(\frac{122,65}{60}\right)}$$

$$R_p = \frac{60}{2,04} = 29,41$$

Untuk hasil *production rate* dilakukan pembulatan ke bawah sehingga dalam satu jam mampu merakit sebanyak 29 produk.

5.7.4 Perhitungan *Balance Delay*

Dengan menggunakan rumus (2.10) semua waktu proses *assembly* harus dinyatakan dalam satuan menit terlebih dahulu, sehingga pada Tabel 5.23 disajikan *processing time* dalam setiap tugas dalam satuan menit.

Tabel 5.23 *Processing Time* (min)

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>	<i>Total Processing Time</i>
1	1	<i>R</i>	0,062	
	2	<i>L</i>	0,028	
	3	<i>L</i>	0,027	
	4	<i>R</i>	0,038	0,15
2	5	<i>L</i>	0,075	
	6	<i>R</i>	0,062	
	7	<i>L</i>	0,043	
	8	<i>E</i>	0,058	
	9	<i>L</i>	0,043	
	10	<i>E</i>	0,058	
	11	<i>R</i>	0,038	0,38
3	12	<i>R</i>	0,034	
	13	<i>R</i>	0,834	
	14	<i>R</i>	0,054	
	15	<i>R</i>	0,054	
	16	<i>R</i>	0,034	
	17	<i>R</i>	0,033	1,04
4	18	<i>L</i>	0,035	
	19	<i>L</i>	0,607	
	20	<i>L</i>	0,083	
	21	<i>L</i>	0,096	
	22	<i>L</i>	0,116	
	23	<i>L</i>	0,032	
	24	<i>L</i>	0,033	1,00
Total				2,58

Sehingga perhitungan untuk *balance delay* dihitung dengan cara berikut :

$$d = \frac{((4 \times 1,04) - 2,58)}{(4 \times 1,04)}$$

$$d = \frac{(4,16 - 2,58)}{4,16}$$

$$d = \frac{1,58}{4,16} = 0,38 \text{ atau } 38\%$$

5.7.5 Perhitungan *Line Efficiency*

Dengan rumus (2.11) untuk melakukan perhitungan *line efficiency*, maka perhitungan dapat dilakukan seperti di bawah ini.

$$LE = \frac{2,58}{(4 \times 1,04)} \times 100\%$$

$$LE = \frac{2,58}{4,16} \times 100\% = 62\%$$

Atau dapat dihitung dengan cara dengan mengurangi 100% dengan *balance delay* yaitu $100\% - 38\% = 62\%$

5.8 Perhitungan *Assembly line Tasks Consistency (ATC)*

Assembly line Tasks Consistency (ATC) digunakan untuk mengetahui keefektifan dari penambahan faktor dan perbaikan faktor yang telah dilakukan sehingga beberapa perhitungan akan dilakukan untuk melihat dari segi penambahan faktor dan dari segi perbaikan faktor.

5.8.1 ATC Faktor Awal Tanpa Perbaikan

Perhitungan pertama untuk mendapatkan nilai ATC dengan kondisi awal atau sesuai dengan jurnal acuan milik Khorasanian et al. (2013) yaitu dengan dua faktor yakni *distance factor* dan *tool factor* dengan skala nilai yang telah ditentukan sesuai kondisi nyata tanpa ada perbaikan. Dengan menggunakan rumus (2.14) dan bobot *relationship value* masing-masing 0,75 dan 0,25, Tabel 5.24 akan mempermudah perhitungan ATC yang akan dilakukan.

Tabel 5.24 Perhitungan ATC Faktor Awal Tanpa Perbaikan

Station	Trij	Nsk	Nsk/2	Trij/(Nsk/2)
1	1,0	4	2,00	0,50
2	0,5	7	3,50	0,14
3	0,5	6	3,00	0,17
4	0,1	7	3,50	0,03
Total				0,84

Sehingga perhitungan ATC seperti dibawah ini :

$$ATC = 1 - \frac{0,84}{4}$$

$$ATC = 1 - 0,21$$

$$ATC = 0,79$$

5.8.2 ATC Faktor Awal dengan Perbaikan

Perhitungan ATC kedua dilakukan dengan perbaikan faktor yang telah dilakukan pada dua faktor awal yaitu *distance factor* dan *tool factor*, sehingga Tabel 5.25 akan mempermudah perhitungan ATC.

Tabel 5.25 Perhitungan ATC Faktor Awal dengan Perbaikan

Station	Trij	Nsk	Nsk/2	Trij/(Nsk/2)
1	1,0	4	2,00	0,50
2	1,0	7	3,50	0,29
3	1,0	6	3,00	0,33
4	1,0	7	3,50	0,29
Total				1,40

Sehingga perhitungan ATC seperti dibawah ini :

$$ATC = 1 - \frac{1,40}{4}$$

$$ATC = 1 - 0,35$$

$$ATC = 0,65$$

5.8.3 ATC Faktor Tambahan Tanpa Perbaikan

Perhitungan ATC selanjutnya sesuai dengan penambahan faktor yang dilakukan pada modifikasi model. Faktor tersebut diantaranya adalah *distance factor*, *tool factor*, *posture factor*, *layout factor*, dan *skill factor* namun tanpa adanya perbaikan, sehingga Tabel 5.26 akan mempermudah dalam perhitungan ATC.

Tabel 5.26 Perhitungan ATC Faktor Tambahan Tanpa Perbaikan

Station	Trij	Nsk	Nsk/5	Trij/(Nsk/5)
1	1,0	4	0,80	1,25
2	0,5	7	1,40	0,36
3	0,5	6	1,20	0,42
4	0,1	7	1,40	0,07
Total				2,10

Sehingga perhitungan ATC seperti dibawah ini :

$$ATC = 1 - \frac{2,10}{4}$$

$$ATC = 1 - 0,525$$

$$ATC = 0,475$$

5.8.4 ATC Faktor Tambahan dengan Perbaikan

Perhitungan ATC terakhir, dilakukan sesuai dengan kombinasi skala nilai faktor dan bobot *relationship value* yang telah dilakukan pada Bab 4. Didapatkan skala nilai semua faktor pada nilai 1,0 dan bobot untuk masing-masing faktor sebesar $a_1 = 1; a_2 = 0,2; a_3 = 0,1; a_4 = 0,1; dan a_5 = 0,5$. Sehingga masing-masing *station* memiliki total nilai hubungan tugas sebesar 1,0. Selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mendapatkan nilai ATC dengan rumus (4.8). Tabel 5.27 akan mempermudah cara perhitungan yang dilakukan.

Tabel 5.27 Perhitungan ATC Faktor Tambahan dengan Perbaikan

Station	Trij	Nsk	Nsk/5	Trij/(Nsk/5)
1	1,0	4	0,80	1,25
2	1,0	7	1,40	0,71
3	1,0	6	1,20	0,83
4	1,0	7	1,40	0,71
Total				3,51

Sehingga perhitungan ATC seperti dibawah ini :

$$ATC = 1 - \frac{3,51}{4}$$

$$ATC = 1 - 0,8875$$

$$ATC = 0,1225$$

5.9 Perhitungan *Number of Workstation*

Dengan nilai ATC sebesar 0,1225 atau 0,12 menunjukkan bahwa solusi pada hubungan rata-rata *task* yang ditugaskan ke *station* memberikan hasil yang baik dan efektif apabila diterapkan. Selanjutnya perhitungan dilakukan untuk memberikan *number of station* perbaikan sesuai dengan faktor yang diberikan. Tabel 5.28 memberikan total waktu proses diluar *material handling*. Sedangkan total waktu dengan *material handling* dinyatakan sebagai *cycle time*.

Tabel 5.28 Total Waktu Proses dan *Cycle Time* per *Station*

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>	<i>Total Waktu Proses</i>	<i>Cycle Time/Station</i>
1	1	<i>R</i>	0,062	0,055	0,15
	2	<i>L</i>	0,028		
	3	<i>L</i>	0,027		
	4	<i>R</i>	0,038		
2	5	<i>L</i>	0,075	0,340	0,38
	6	<i>R</i>	0,062		
	7	<i>L</i>	0,043		
	8	<i>E</i>	0,058		
	9	<i>L</i>	0,043		
	10	<i>E</i>	0,058		
	11	<i>R</i>	0,038		
3	12	<i>R</i>	0,034	1,009	1,04
	13	<i>R</i>	0,834		
	14	<i>R</i>	0,054		
	15	<i>R</i>	0,054		
	16	<i>R</i>	0,034		
	17	<i>R</i>	0,033		
4	18	<i>L</i>	0,035	0,968	1,00
	19	<i>L</i>	0,607		
	20	<i>L</i>	0,083		
	21	<i>L</i>	0,096		
	22	<i>L</i>	0,116		
	23	<i>L</i>	0,032		
	24	<i>L</i>	0,033		
Total					2,58

1. Rumus (2.15)

$$S_R = [1,009/1,04]$$

$$S_R = 0,97$$

2. Rumus (2.16)

$$S_L = [0,968/1,00]$$

$$S_L = 0,968$$

3. Rumus (2.17)

$$S_E = \left[\max \left(\left(0,395 - \left((0,968 + 0,97) \times 2,04 - (0,968 + 1,009) \right) \right), 0 \right) / 2,58 \right]$$

$$S_E = [\max((-1,6), 0) / 2,58]$$

$$S_E = \frac{[0]}{2,58} = 0$$

4. Rumus (2.18)

$$LB_{NS} = 0,97 + 0,968 + 0$$

$$LB_{NS} = 1,938$$

5. Rumus (2.19)

$$LB_{NM} = 0,97 + [\max((0 - |0,002|), 0)/2]$$

$$LB_{NM} = 0,97 + (0/2)$$

$$LB_{NM} = 0,97$$

6. Rumus (2.20)

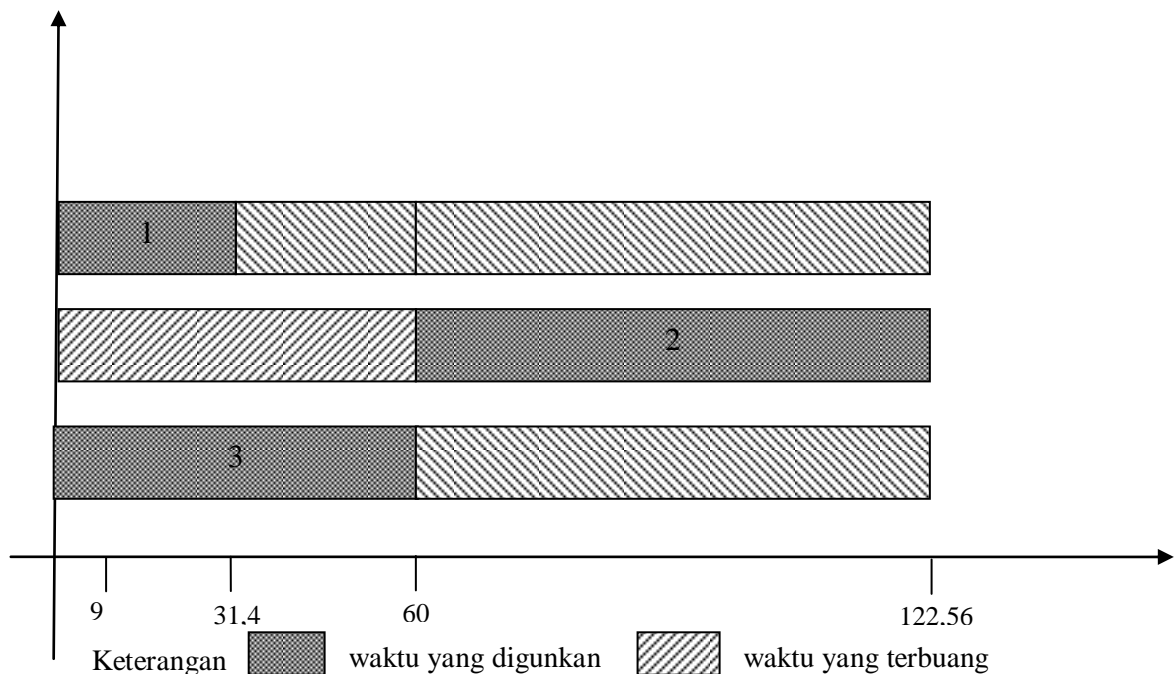
Dengan $w_1 = 0,5$; $w_2 = 0,3$; dan $w_3 = 0,2$

$$obj = 0,5 \left(4 - \frac{1,938}{4} \right) + 0,3 \left(2 - \frac{0,97}{2} \right) + 0,2 \times 0,1225$$

$$obj = 1,75 + 0,45 + 0,025$$

$$obj = 2,225 \text{ atau dibulatkan ke atas menjadi } 3$$

Perbaikan *assembly line* sesuai dengan kebutuhan *workstation* yang dihitung diatas, membuat *workstation* 1 dan *workstation* 2 digabungkan menjadi tugas dalam satu *workstation* sehingga waktu pengerjaan tugas pada *station* awal merupakan gabungan antara *station* 1 dan *station* 2 yang digambarkan pada grafik *idle* Gambar 5.25.



Gambar 5.25 Histogram Total *Idle* pada *Assembly Line* Perbaikan *Workstation*

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

BAB VI

ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA

Pada bab ini akan dibahas tentang analisa dari hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya. Pembahasan akan berkisar tentang perbandingan antara pengaturan proses *assembly* awal dan pengaturan proses *assembly* perbaikan.

6.1 Analisis Produk *Defect* pada Pengumpulan Data Waktu Normal dan Waktu Nominal

Pada pengumpulan data awal, waktu yang digunakan sesuai dengan kebutuhan operator pada masing-masing *station* untuk menyelesaikan sesuai tugasnya. Sehingga pada proses pengambilan data untuk waktu normal tidak terdapat cacat atau *defect* ataupun produk dalam keadaan *work in process*. Sedangkan pada saat pengambilan data sesuai dengan waktu standart yang telah dihitung berdasarkan waktu normal tersebut, juga tidak terdapat *defect* pada produk ataupun *work in process*. Hal ini dikarenakan waktu standart yang digunakan sudah ditambahkan kelonggaran atau *allowance* sesuai dengan kebutuhan.

6.2 Analisis *Assembly line Tasks Consistency* (ATC)

Assembly line Tasks Consistency (ATC) untuk melihat hubungan rata-rata antara *tasks* yang ditugaskan ke setiap *station*-nya. Sehingga nilai ATC berada dalam kisaran [0, 1], dan nilainya yang lebih kecil untuk solusi menunjukkan hubungan rata-rata yang lebih antara tugas yang ditugaskan ke *station* dari solusi ini.

Tabel 6.1 menunjukkan hasil perhitungan ATC yang telah dilakukan pada beberapa kondisi. Dengan menggunakan dua faktor tanpa adanya perbaikan pada *assembly line*, memberikan ATC sebesar 0,79 sedangkan setelah dilakukan perbaikan memberikan nilai ATC sebesar 0,65. Penambahan faktor menjadi lima faktor tanpa ada perbaikan pada *assembly line*, memberikan nilai 0,475 sedangkan dengan adanya perbaikan pada *assembly line* mampu memperkecil nilai ATC menjadi 0,1225.

Tabel 6.1 Perbandingan ATC

ATC	Tanpa Perbaikan	Dengan Perbaikan
2 Faktor	0,79	0,65
5 Faktor	0,475	0,1225

Pada Tabel 6.1 dapat dilihat bahwa dengan menambahkan faktor dan melakukan perbaikan

pada masing-masing faktornya akan berdampak pada nilai ATC yang dihasilkan.

6.3 Analisis Perbandingan Proses *Assembly* Awal dan Proses *Assembly* Perbaikan

Dari perhitungan pada proses *assembly* awal dan proses *assembly* perbaikan, didapatkan beberapa perbandingan. Perbandingan *idle time* pada proses *assembly* awal sebesar 2,01 menit, sedangkan pada proses *assembly* perbaikan menurun menjadi 1 menit. Untuk *cycle time* pada proses *assembly* awal sebesar 3,12 menit sehingga *production rate*-nya sebanyak 19 produk, sedangkan *cycle time* proses *assembly* perbaikan menjadi lebih kecil yaitu 3,6 menit sehingga memiliki *production rate* sebanyak 29 produk. Dengan *production rate* sebanyak 29 produk per jam, dalam satu hari dengan dua *shift* kerja dimana satu *shift* kerja memiliki 8 jam dan ketika harga per produk sebesar \$74,22, maka *revenue* yang didapat oleh perusahaan bisa mencapai \$34.438,08. Pada *balance delay* dan *line efficiency* untuk proses *assembly* awal masing-masing memberikan nilai 46% dan 38%, sedangkan pada *balance delay* dan *line efficiency* untuk proses *assembly* perbaikan masing-masing memberikan nilai 54% dan 62%. Untuk jumlah *workstation* pada awal proses *assembly* memiliki 4 *workstation* dengan 6 operator dan pada proses *assembly* perbaikan memiliki 3 *workstation* dengan 4 operator. Dengan *cost* untuk pegawai/bulan sebesar \$279/orang maka *cost* yang harus dikeluarkan untuk proses *assembly* awal sebesar \$1674 dan untuk proses *assembly* perbaikan sebesar \$1116.

Berikut ini pada Tabel 6.2 adalah rangkuman perbandingan antara proses *assembly* awal dan proses *assembly* perbaikan.

Tabel 6.2 Perbandingan Proses *Assembly* Awal dan Proses *Assembly* Perbaikan

Perbandingan	Proses <i>Assembly</i> Awal	Proses <i>Assembly</i> Perbaikan
<i>Idle Time</i>	2,01 menit	1 menit
<i>Cycle Time</i>	3,12 menit	2,04 menit
<i>Production Rate</i>	19 produk/jam	29 produk/jam
<i>Balance Delay</i>	46%	38%
<i>Line Efficiency</i>	54%	62%
<i>Workstation</i>	4	3
Operator	6	4
<i>Cost Operator</i>	\$1674/bulan	\$1116/bulan
<i>Revenue</i>	\$22.562,88/hari	\$34.438,08/hari

Dari Tabel 6.2 dapat dilihat bahwa pada beberapa faktor pembanding seperti *idle time*, *cycle time*, *production rate*, *balance delay*, *line efficiency*, jumlah *workstation*, jumlah operator, dan *revenue* yang didapatkan oleh perusahaan menunjukkan hasil yang lebih baik pada proses *assembly* perakitan daripada pada proses *assembly* awal.

BAB VII

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan diberikan kesimpulan dari penelitian yang dilakukan dan juga saran-saran baik untuk yang dapat membantu beberapa pihak yang terlibat dalam penelitian ini juga saran untuk penelitian selanjutnya.

7.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini yang dapat diberikan terdapat beberapa *point*, yaitu :

1. Penambahan faktor menjadi *distance factor*, *tool factor*, *posture factor*, *layout factor* dan *skill factor* disertai dengan perbaikan, memberikan nilai ATC yang kecil sehingga hasil model yang dibuat membuktikan bahwa dengan penambahan faktor-faktor tersebut membuat produktivitas *assembly line* menjadi lebih baik. Penambahan faktor-faktor tersebut juga dapat dijadikan sebagai solusi untuk hubungan tugas yang menjadi pertimbangan dalam penyelesaian *two-sided assembly line balancing*,
2. Nilai skala pada masing-masing faktor, memberikan hasil yang baik pada nilai maksimum yaitu satu sehingga perbaikan harus dilakukan untuk memberikan hasil paling efektif dalam *assembly line*, dan
3. Dengan perbaikan pada *two-sided assembly line balancing problem*, dapat memberikan dampak pada pengeluaran biaya *assembly* yang semakin sedikit namun *revenue* yang juga semakin besar.

7.2 Saran

Saran yang dapat diberikan pada penelitian ini adalah penambahan faktor hubungan tugas dapat diterapkan pada *assembly line process* dan untuk hasil yang lebih baik lagi maka faktor-faktor tersebut dapat dikembangkan kembali.

Halaman Ini Sengaja Dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- Adi. (2009). Perancangan Tata Cara dan Pengukuran Kerja
- Bartholdi, J., (1993). Balancing Two-Sided Assembly Line : A case Study, 37-41
- Binus (2010). Kombinasi Linear
- Boothroyd, Geoffrey. (2002). Product Design for Manufacturing and Assembly.
- Boysen, N., Fliedner, M., & Scholl, A. (2007). A classification of assembly line balancing problems, *183*, 674–693.
- Blum, C., Roli, A. (2003). Metaheuristics in Combinatorial Optimization : Overview and Conceptual Comparison, *35*, 268-308.
- Dwi, H., Wee, H., & Rau, H. (2013). Two-sided assembly lines balancing with assignment restrictions. *Mathematical and Computer Modelling*, *57*(1–2), 189–199.
- Forms, N., Germs, O. F., Smooth, O. F., & Belitskii, G. R. (2016). Meta-heuristic algorithm to solve two-sided assembly line balancing problems Meta-heuristic algorithm to solve two-sided assembly line balancing problems.
- Gaspersz, Vincent. 1998. Manajemen Produktivitas Total : Strategi Peningkatan Produktivitas Bisnis Global.
- Groover, M. P. (2014). *Automation, Product System, and Computer-Integrated Manufacturing*.
- Grzechca, W. (2013). Idle Times Analysis in Two-sided Assembly Line Balancing Problem, 3–8.
- Grzechca, W. (2013). Just in Time Strategy in Balancing of Two-Sided Assembly Line Structure, *1*(1), 1-6
- Helander, M. (2006). A Guide Human Factors and Ergonomics.
- Imrona, M. (2014). Aljabar Matriks
- Khorasanian, D., Hejazi, S., Moslehi, G. (2013). Computer and Industrial Engineering Two-Sided Assembly Line Balancing Considering The Relationship Between Tasks, *66*, 1096-1105.
- Lei, D., Guo, X. (2016). Computers and Operations Research Variable Neighborhood Search for The Second Type of Two-Sided Assembly Line Balancing Problem, *72*, 183-188.
- Li, Z., Kucukkoc, I., & Nilakantan, J. M. (2017). Computers and Operations Research Comprehensive review and evaluation of heuristics and meta-heuristics for two-sided assembly line balancing problem, *84*, 146–161.
- Li, Z., Tang, Q., Zhang, L. (2017). Computers and Operation Research Two-Sided Assembly Line Balancing Problem of Type I : Improvements, a Simple Algorithm and a

- Comprehensive Study, 79, 78-93.
- Mundel, M.E., Danner, D.L. (1994) Motion and Time Study : Improving Productivity
- Murtiyasa, B. (2009). Kombinasi Linear, Bebas Linear, dan Bergantung Linear
- Nurmianto, Eko. (2003). Ergonomi Konsep Dasar Dan Aplikasinya.
- Ok, T., Kim, Y., & Keun, Y. (2001). Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness, 40.
- Purnomo, Hari. (2004). Perencanaan dan Perancangan Fasilitas.
- Pustaka Nasional. (2015). Penyeimbangan Lini
- Singh, G., Gupta, A., Juneja, C. (2018) Science Direct Productivity Measurement of Manufacturing System, 5, 1483-1489
- Sepahi, A., Gholamreza, S., Jalali, N. (2016) Two-Sided Assembly Line Balancing Problem with Parallel Performance Capacity, 40, 6280-6292.
- Talbi, E. (2009). Metaheuristics : From Design to Implementation.
- Taha, R. B., El-kharbotly, A. K., Sadek, Y. M., & Afia, N. H. (2011). MECHANICAL ENGINEERING A Genetic Algorithm for solving two-sided assembly line balancing problems. *Ain Shams Engineering Journal*, 2(3-4), 227-240.
- Tapkan, P., Ozbakir, L., Baykaso, A. (2016). Bee algorithms for Paralel Two-Sided Assembly Line Balancing Problem with Walking Time, 39, 275-291.
- Tarwaka, Bakri, S. HA., Sudiajeng, L. (2004) Ergonomi untuk Keselamatan, Kesehatan Kerja, dan Produktivitas.
- Taylor, P., Ozcan, U., Toklu, B. (2009) International Journal of Production Balancing Two-Sided Assembly Line with Sequence Dependent Setup Time, 37-41
- Toklu, B. (2009). Computers and Industrial Engineering Balancing of Mixed Model Two-Sided Assembly Line. 57, 217-227
- Tuncel, G., Aydin, D. (2014) Two-sided assembly line balancing using teaching-learning based optimization. *Computers & Industrial Engineering*, 74, 291-299
- Universitas Kristen Petra (2009). Landasan Teori Pengukuran Kerja
- Yulianto. (2009). Time and Motion Study
- Wignjosoebroto, S. (2008). Ergonomi Studi Gerak dan Waktu, Teknik Analisis untuk Peningkatan Produktivitas Kerja.
- Whitney, E. (2014). Assembly Systems, 7-14.

LAMPIRAN

LAMPIRAN 1

1. Kombinasi Skala Nilai Faktor untuk Empat *Station*

Dfij	1	2	3	4
1	-	0,1	0,1	0,1
2		-	0,1	0,1
3			-	0,1
4				-

Tfij	1	2	3	4
1	-	0,1	0,1	0,1
2		-	0,1	0,1
3			-	0,1
4				-

Mfij	1	2	3	4
1	-	0,1	0,1	0,1
2		-	0,1	0,1
3			-	0,1
4				-

Lfij	1	2	3	4
1	-	0,1	0,1	0,1
2		-	0,1	0,1
3			-	0,1
4				-

Sfij	1	2	3	4
1	-	0,1	0,1	0,1
2		-	0,1	0,1
3			-	0,1
4				-

Dfij	1	2	3	4
1	-	0,5	0,5	0,5
2		-	0,5	0,5
3			-	0,5
4				-

Tfij	1	2	3	4
1	-	0,5	0,5	0,5
2		-	0,5	0,5
3			-	0,5
4				-

Mfij	1	2	3	4
1	-	0,5	0,5	0,5
2		-	0,5	0,5
3			-	0,5
4				-

Lfij	1	2	3	4
1	-	0,5	0,5	0,5
2		-	0,5	0,5
3			-	0,5
4				-

Sfij	1	2	3	4
1	-	0,5	0,5	0,5
2		-	0,5	0,5
3			-	0,5
4				-

Dfij	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Tfij	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Mfij	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Lfij	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

Sfij	1	2	3	4
1	-	1,0	1,0	1,0
2		-	1,0	1,0
3			-	1,0
4				-

2. Kombinasi Skala Nilai Faktor untuk Kelima Fakto

No.	Dfij	Tfij	Mfij	Lfij	Sfij
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
2	0,1	0,1	0,1	0,1	0,5
3	0,1	0,1	0,1	0,1	1
4	0,1	0,1	0,1	0,5	0,1
5	0,1	0,1	0,1	0,5	0,5
6	0,1	0,1	0,1	0,5	1
7	0,1	0,1	0,1	1	0,1
8	0,1	0,1	0,1	1	0,5
9	0,1	0,1	0,1	1	1
10	0,1	0,1	0,5	0,1	0,1
11	0,1	0,1	0,5	0,1	0,5
12	0,1	0,1	0,5	0,1	1
13	0,1	0,1	0,5	0,5	0,1
14	0,1	0,1	0,5	0,5	0,5
15	0,1	0,1	0,5	0,5	1
16	0,1	0,1	0,5	1	0,1
17	0,1	0,1	0,5	1	0,5
18	0,1	0,1	0,5	1	1
19	0,1	0,1	1	0,1	0,1
20	0,1	0,1	1	0,1	0,5
21	0,1	0,1	1	0,1	1
22	0,1	0,1	1	0,5	0,1
23	0,1	0,1	1	0,5	0,5
24	0,1	0,1	1	0,5	1
25	0,1	0,1	1	1	0,1
26	0,1	0,1	1	1	0,5
27	0,1	0,1	1	1	1
28	0,1	0,5	0,1	0,1	0,1
29	0,1	0,5	0,1	0,1	0,5
30	0,1	0,5	0,1	0,1	1
31	0,1	0,5	0,1	0,5	0,1
32	0,1	0,5	0,1	0,5	0,5
33	0,1	0,5	0,1	0,5	1
34	0,1	0,5	0,1	1	0,1
35	0,1	0,5	0,1	1	0,5
36	0,1	0,5	0,1	1	1
37	0,1	0,5	0,5	0,1	0,1
38	0,1	0,5	0,5	0,1	0,5
39	0,1	0,5	0,5	0,1	1
40	0,1	0,5	0,5	0,5	0,1
41	0,1	0,5	0,5	0,5	0,5

No.	Dfij	Tfij	Mfij	Lfij	Sfij
42	0,1	0,5	0,5	0,5	1
43	0,1	0,5	0,5	1	0,1
44	0,1	0,5	0,5	1	0,5
45	0,1	0,5	0,5	1	1
46	0,1	0,5	1	0,1	0,1
47	0,1	0,5	1	0,1	0,5
48	0,1	0,5	1	0,1	1
49	0,1	0,5	1	0,5	0,1
50	0,1	0,5	1	0,5	0,5
51	0,1	0,5	1	0,5	1
52	0,1	0,5	1	1	0,1
53	0,1	0,5	1	1	0,5
54	0,1	0,5	1	1	1
55	0,1	1	0,1	0,1	0,1
56	0,1	1	0,1	0,1	0,5
57	0,1	1	0,1	0,1	1
58	0,1	1	0,1	0,5	0,1
59	0,1	1	0,1	0,5	0,5
60	0,1	1	0,1	0,5	1
61	0,1	1	0,1	1	0,1
62	0,1	1	0,1	1	0,5
63	0,1	1	0,1	1	1
64	0,1	1	0,5	0,1	0,1
65	0,1	1	0,5	0,1	0,5
66	0,1	1	0,5	0,1	1
67	0,1	1	0,5	0,5	0,1
68	0,1	1	0,5	0,5	0,5
69	0,1	1	0,5	0,5	1
70	0,1	1	0,5	1	0,1
71	0,1	1	0,5	1	0,5
72	0,1	1	0,5	1	1
73	0,1	1	1	0,1	0,1
74	0,1	1	1	0,1	0,5
75	0,1	1	1	0,1	1
76	0,1	1	1	0,5	0,1
77	0,1	1	1	0,5	0,5
78	0,1	1	1	0,5	1
79	0,1	1	1	1	0,1
80	0,1	1	1	1	0,5
81	0,1	1	1	1	1
82	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1

No.	Dfij	Tfij	Mfij	Lfij	Sfij
83	0,5	0,1	0,1	0,1	0,5
84	0,5	0,1	0,1	0,1	1
85	0,5	0,1	0,1	0,5	0,1
86	0,5	0,1	0,1	0,5	0,5
87	0,5	0,1	0,1	0,5	1
88	0,5	0,1	0,1	1	0,1
89	0,5	0,1	0,1	1	0,5
90	0,5	0,1	0,1	1	1
91	0,5	0,1	0,5	0,1	0,1
92	0,5	0,1	0,5	0,1	0,5
93	0,5	0,1	0,5	0,1	1
94	0,5	0,1	0,5	0,5	0,1
95	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5
96	0,5	0,1	0,5	0,5	1
97	0,5	0,1	0,5	1	0,1
98	0,5	0,1	0,5	1	0,5
99	0,5	0,1	0,5	1	1
100	0,5	0,1	1	0,1	0,1
101	0,5	0,1	1	0,1	0,5
102	0,5	0,1	1	0,1	1
103	0,5	0,1	1	0,5	0,1
104	0,5	0,1	1	0,5	0,5
105	0,5	0,1	1	0,5	1
106	0,5	0,1	1	1	0,1
107	0,5	0,1	1	1	0,5
108	0,5	0,1	1	1	1
109	0,5	0,5	0,1	0,1	0,1
110	0,5	0,5	0,1	0,1	0,5
111	0,5	0,5	0,1	0,1	1
112	0,5	0,5	0,1	0,5	0,1
113	0,5	0,5	0,1	0,5	0,5
114	0,5	0,5	0,1	0,5	1
115	0,5	0,5	0,1	1	0,1
116	0,5	0,5	0,1	1	0,5
117	0,5	0,5	0,1	1	1
118	0,5	0,5	0,5	0,1	0,1
119	0,5	0,5	0,5	0,1	0,5
120	0,5	0,5	0,5	0,1	1
121	0,5	0,5	0,5	0,5	0,1
122	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
123	0,5	0,5	0,5	0,5	1
124	0,5	0,5	0,5	1	0,1
125	0,5	0,5	0,5	1	0,5
126	0,5	0,5	0,5	1	1

No.	Dfij	Tfij	Mfij	Lfij	Sfij
127	0,5	0,5	1	0,1	0,1
128	0,5	0,5	1	0,1	0,5
129	0,5	0,5	1	0,1	1
130	0,5	0,5	1	0,5	0,1
131	0,5	0,5	1	0,5	0,5
132	0,5	0,5	1	0,5	1
133	0,5	0,5	1	1	0,1
134	0,5	0,5	1	1	0,5
135	0,5	0,5	1	1	1
136	0,5	1	0,1	0,1	0,1
137	0,5	1	0,1	0,1	0,5
138	0,5	1	0,1	0,1	1
139	0,5	1	0,1	0,5	0,1
140	0,5	1	0,1	0,5	0,5
141	0,5	1	0,1	0,5	1
142	0,5	1	0,1	1	0,1
143	0,5	1	0,1	1	0,5
144	0,5	1	0,1	1	1
145	0,5	1	0,5	0,1	0,1
146	0,5	1	0,5	0,1	0,5
147	0,5	1	0,5	0,1	1
148	0,5	1	0,5	0,5	0,1
149	0,5	1	0,5	0,5	0,5
150	0,5	1	0,5	0,5	1
151	0,5	1	0,5	1	0,1
152	0,5	1	0,5	1	0,5
153	0,5	1	0,5	1	1
154	0,5	1	1	0,1	0,1
155	0,5	1	1	0,1	0,5
156	0,5	1	1	0,1	1
157	0,5	1	1	0,5	0,1
158	0,5	1	1	0,5	0,5
159	0,5	1	1	0,5	1
160	0,5	1	1	1	0,1
161	0,5	1	1	1	0,5
162	0,5	1	1	1	1
163	1,0	0,1	0,1	0,1	0,1
164	1,0	0,1	0,1	0,1	0,5
165	1,0	0,1	0,1	0,1	1
166	1,0	0,1	0,1	0,5	0,1
167	1,0	0,1	0,1	0,5	0,5
168	1,0	0,1	0,1	0,5	1
169	1,0	0,1	0,1	1	0,1
170	1,0	0,1	0,1	1	0,5

No.	Dfij	Tfij	Mfij	Lfij	Sfij
171	1,0	0,1	0,1	1	1
172	1,0	0,1	0,5	0,1	0,1
173	1,0	0,1	0,5	0,1	0,5
174	1,0	0,1	0,5	0,1	1
175	1,0	0,1	0,5	0,5	0,1
176	1,0	0,1	0,5	0,5	0,5
177	1,0	0,1	0,5	0,5	1
178	1,0	0,1	0,5	1	0,1
179	1,0	0,1	0,5	1	0,5
180	1,0	0,1	0,5	1	1
181	1,0	0,1	1	0,1	0,1
182	1,0	0,1	1	0,1	0,5
183	1,0	0,1	1	0,1	1
184	1,0	0,1	1	0,5	0,1
185	1,0	0,1	1	0,5	0,5
186	1,0	0,1	1	0,5	1
187	1,0	0,1	1	1	0,1
188	1,0	0,1	1	1	0,5
189	1,0	0,1	1	1	1
190	1,0	0,5	0,1	0,1	0,1
191	1,0	0,5	0,1	0,1	0,5
192	1,0	0,5	0,1	0,1	1
193	1,0	0,5	0,1	0,5	0,1
194	1,0	0,5	0,1	0,5	0,5
195	1,0	0,5	0,1	0,5	1
196	1,0	0,5	0,1	1	0,1
197	1,0	0,5	0,1	1	0,5
198	1,0	0,5	0,1	1	1
199	1,0	0,5	0,5	0,1	0,1
200	1,0	0,5	0,5	0,1	0,5
201	1,0	0,5	0,5	0,1	1
202	1,0	0,5	0,5	0,5	0,1
203	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
204	1,0	0,5	0,5	0,5	1
205	1,0	0,5	0,5	1	0,1
206	1,0	0,5	0,5	1	0,5
207	1,0	0,5	0,5	1	1

208	1,0	0,5	1	0,1	0,1
209	1,0	0,5	1	0,1	0,5
210	1,0	0,5	1	0,1	1
211	1,0	0,5	1	0,5	0,1
212	1,0	0,5	1	0,5	0,5
213	1,0	0,5	1	0,5	1
214	1,0	0,5	1	1	0,1
215	1,0	0,5	1	1	0,5
216	1,0	0,5	1	1	1
217	1,0	1	0,1	0,1	0,1
218	1,0	1	0,1	0,1	0,5
219	1,0	1	0,1	0,1	1
220	1,0	1	0,1	0,5	0,1
221	1,0	1	0,1	0,5	0,5
222	1,0	1	0,1	0,5	1
223	1,0	1	0,1	1	0,1
224	1,0	1	0,1	1	0,5
225	1,0	1	0,1	1	1
226	1,0	1	0,5	0,1	0,1
227	1,0	1	0,5	0,1	0,5
228	1,0	1	0,5	0,1	1
229	1,0	1	0,5	0,5	0,1
230	1,0	1	0,5	0,5	0,5
231	1,0	1	0,5	0,5	1
232	1,0	1	0,5	1	0,1
233	1,0	1	0,5	1	0,5
234	1,0	1	0,5	1	1
235	1,0	1	1	0,1	0,1
236	1,0	1	1	0,1	0,5
237	1,0	1	1	0,1	1
238	1,0	1	1	0,5	0,1
239	1,0	1	1	0,5	0,5
240	1,0	1	1	0,5	1
241	1,0	1	1	1	0,1
242	1,0	1	1	1	0,5
243	1,0	1	1	1	1

3. Kombinasi bobot *Relationship Value*

No.	a1	a2	a3	a4	a5
1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,6
2	0,1	0,1	0,1	0,2	0,5
3	0,1	0,1	0,1	0,3	0,4
4	0,1	0,1	0,1	0,4	0,3
5	0,1	0,1	0,1	0,5	0,2
6	0,1	0,1	0,1	0,6	0,1
7	0,1	0,1	0,2	0,1	0,5
8	0,1	0,1	0,2	0,2	0,4
9	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
10	0,1	0,1	0,2	0,4	0,2
11	0,1	0,1	0,2	0,5	0,1
12	0,1	0,1	0,3	0,1	0,4
13	0,1	0,1	0,3	0,2	0,3
14	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2
15	0,1	0,1	0,3	0,4	0,1
16	0,1	0,1	0,4	0,1	0,3
17	0,1	0,1	0,4	0,2	0,2
18	0,1	0,1	0,4	0,3	0,1
19	0,1	0,1	0,5	0,1	0,2
20	0,1	0,1	0,5	0,2	0,1
21	0,1	0,1	0,6	0,1	0,1
22	0,1	0,2	0,1	0,1	0,5
23	0,1	0,2	0,1	0,2	0,4
24	0,1	0,2	0,1	0,3	0,3
25	0,1	0,2	0,1	0,4	0,2
26	0,1	0,2	0,1	0,5	0,1
27	0,1	0,2	0,2	0,1	0,4
28	0,1	0,2	0,2	0,2	0,3
29	0,1	0,2	0,2	0,3	0,2
30	0,1	0,2	0,2	0,4	0,1
31	0,1	0,2	0,3	0,1	0,3
32	0,1	0,2	0,3	0,2	0,2
33	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1
34	0,1	0,2	0,4	0,1	0,2
35	0,1	0,2	0,4	0,2	0,1
36	0,1	0,2	0,5	0,1	0,1
37	0,1	0,3	0,1	0,1	0,4
38	0,1	0,3	0,1	0,2	0,3
39	0,1	0,3	0,1	0,3	0,2
40	0,1	0,3	0,1	0,4	0,1
41	0,1	0,3	0,2	0,1	0,3
42	0,1	0,3	0,2	0,2	0,2
43	0,1	0,3	0,2	0,3	0,1

No.	a1	a2	a3	a4	a5
44	0,1	0,3	0,3	0,1	0,2
45	0,1	0,3	0,3	0,2	0,1
46	0,1	0,3	0,4	0,1	0,1
47	0,1	0,4	0,1	0,1	0,3
48	0,1	0,4	0,1	0,2	0,2
49	0,1	0,4	0,1	0,3	0,1
50	0,1	0,4	0,2	0,1	0,2
51	0,1	0,4	0,2	0,2	0,1
52	0,1	0,5	0,1	0,1	0,2
53	0,1	0,5	0,1	0,2	0,1
54	0,1	0,5	0,2	0,1	0,1
55	0,1	0,6	0,1	0,1	0,1
56	0,2	0,1	0,1	0,1	0,5
57	0,2	0,1	0,1	0,2	0,4
58	0,2	0,1	0,1	0,3	0,3
59	0,2	0,1	0,1	0,4	0,2
60	0,2	0,1	0,1	0,5	0,1
61	0,2	0,1	0,2	0,1	0,4
62	0,2	0,1	0,2	0,2	0,3
63	0,2	0,1	0,2	0,3	0,2
64	0,2	0,1	0,2	0,4	0,1
65	0,2	0,1	0,3	0,1	0,3
66	0,2	0,1	0,3	0,2	0,2
67	0,2	0,1	0,3	0,3	0,1
68	0,2	0,1	0,4	0,1	0,2
69	0,2	0,1	0,4	0,2	0,1
70	0,2	0,2	0,1	0,1	0,4
71	0,2	0,2	0,1	0,2	0,3
72	0,2	0,2	0,1	0,3	0,2
73	0,2	0,2	0,1	0,4	0,1
74	0,2	0,2	0,2	0,1	0,3
75	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
76	0,2	0,2	0,2	0,3	0,1
77	0,2	0,2	0,3	0,1	0,2
78	0,2	0,2	0,3	0,2	0,1
79	0,2	0,2	0,4	0,1	0,1
80	0,3	0,1	0,1	0,1	0,4
81	0,3	0,1	0,1	0,2	0,3
82	0,3	0,1	0,1	0,3	0,2
83	0,3	0,1	0,1	0,4	0,1
84	0,3	0,1	0,2	0,1	0,3
85	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2
86	0,3	0,1	0,2	0,3	0,1

No.	a1	a2	a3	a4	a5
87	0,3	0,1	0,3	0,1	0,2
88	0,3	0,1	0,3	0,2	0,1
89	0,3	0,1	0,4	0,1	0,1
90	0,3	0,2	0,1	0,1	0,3
91	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2
92	0,3	0,2	0,1	0,3	0,1
93	0,3	0,2	0,2	0,1	0,2
94	0,3	0,2	0,2	0,2	0,1
95	0,3	0,3	0,1	0,1	0,2
96	0,3	0,3	0,1	0,2	0,1
97	0,3	0,3	0,2	0,1	0,1
98	0,3	0,4	0,1	0,1	0,1
99	0,4	0,1	0,1	0,1	0,3
100	0,4	0,1	0,1	0,2	0,2
101	0,4	0,1	0,1	0,3	0,1
102	0,4	0,1	0,2	0,1	0,2
103	0,4	0,1	0,2	0,2	0,1
104	0,4	0,1	0,3	0,1	0,1
105	0,4	0,2	0,1	0,1	0,2
106	0,4	0,2	0,1	0,2	0,1
107	0,4	0,2	0,2	0,1	0,1
108	0,4	0,3	0,1	0,1	0,1
109	0,5	0,1	0,1	0,1	0,2
110	0,5	0,1	0,1	0,2	0,1
111	0,5	0,1	0,2	0,1	0,1
112	0,5	0,2	0,1	0,1	0,1

LAMPIRAN 2

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>											
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	3	<i>L</i>	2,2	2	2,1	1,7	2	2	2,2	2	2,1	1,7	2	2
4	24	<i>L</i>	2,1	2,4	2,2	2,5	2,1	2,2	2,1	2,4	2,2			

LAMPIRAN 3

Station	Work Element	Type Task	Processing Time						Total	Rata-rata
			1	2	3	4	5	6		
1	1	R	4	4,2	4	4,1	4	3,9	24,2	4,03
	2	L	2	2,1	1,9	2	2	2	12	2,00
	3	L	2,2	2	2,1	1,7	2	2	12	2,00
	4	R	2,4	2,2	2,3	2,1	2,4	2,3	13,7	2,28
2	5	L	5	5,3	5	5,1	5,3	5,3	31	5,17
	6	R	4	3,9	3,9	3,9	4,1	3,9	23,7	3,95
	7	L	3,1	2,9	3,1	2,9	2,9	3	17,9	2,98
	8	E	4	3,7	4,3	4	4,1	3,9	24	4,00
	9	L	3	3	2,9	3	3,1	3,1	18,1	3,02
	10	E	4	3,9	4,1	4,2	4	3,8	24	4,00
3	11	R	2,3	2,2	2,4	2,3	2,2	2,1	13,5	2,25
	12	R	2	2,1	2,1	2,2	1,9	2	12,3	2,05
	13	R	67	70	77	75	75	77	441	73,50
	14	R	3	3,5	3,3	3,3	3	3,3	19,4	3,23
	15	R	3	3,4	3,4	3,3	3,2	3	19,3	3,22
	16	R	2	1,9	2,1	2	2	2,2	12,2	2,03
4	17	R	2,3	2,1	2,4	2,1	2,2	2,4	13,5	2,25
	18	L	2,1	2,1	2,2	2	2,1	2,1	12,6	2,10
	19	L	40	41	40	42	42	43	248	41,33
	20	L	5	4,8	4,7	5,1	5	5,1	29,7	4,95
	21	L	6	5,5	5,9	5,5	5,6	6	34,5	5,75
	22	L	7	7,3	7,1	6,8	6,8	6,8	41,8	6,97
	23	L	2	1,8	1,9	2	1,8	2	11,5	1,92
	24	L	2,1	2,4	2,2	2,5	2,1	2,2	13,5	2,25

LAMPIRAN 4

<i>Station</i>	<i>Work Element</i>	<i>Type Task</i>	<i>Processing Time</i>	<i>10% Processing Time</i>	<i>Total</i>
1	1	<i>R</i>	4,03	0,40	4,44
	2	<i>L</i>	2,00	0,20	2,20
	3	<i>L</i>	2,00	0,20	2,20
	4	<i>R</i>	2,28	0,23	2,51
2	5	<i>L</i>	5,17	0,52	5,68
	6	<i>R</i>	3,95	0,40	4,35
	7	<i>L</i>	2,98	0,30	3,28
	8	<i>E</i>	4,00	0,40	4,40
	9	<i>L</i>	3,02	0,30	3,32
	10	<i>E</i>	4,00	0,40	4,40
	11	<i>R</i>	2,25	0,23	2,48
3	12	<i>R</i>	2,05	0,21	2,26
	13	<i>R</i>	73,50	7,35	80,85
	14	<i>R</i>	3,23	0,32	3,56
	15	<i>R</i>	3,22	0,32	3,54
	16	<i>R</i>	2,03	0,20	2,24
	17	<i>R</i>	2,25	0,23	2,48
4	18	<i>L</i>	2,10	0,21	2,31
	19	<i>L</i>	41,33	4,13	45,47
	20	<i>L</i>	4,95	0,50	5,45
	21	<i>L</i>	5,75	0,58	6,33
	22	<i>L</i>	6,97	0,70	7,66
	23	<i>L</i>	1,92	0,19	2,11
	24	<i>L</i>	2,25	0,23	2,48
Part dilakukan <i>inspeksi</i>					
Part masuk <i>inventory</i>					

