



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI PADA
LINE ASSEMBLING TRANSMISI PT. X DENGAN METODE
LINE BALANCING**

SKRIPSI

**EBEN HENRY R
0906603543**

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



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISA PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI PADA
LINE ASSEMBLING TRANSMISI PT. X DENGAN METODE
LINE BALANCING**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**EBEN HENRY R
0906603543**

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

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Eben Henry R

NPM : 0906603543

Tanda Tangan : 






Tanggal : 29 Desember 2011

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Eben Henry R
NPM : 0906603543
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Analisa Peningkatan Kapasitas Produksi pada Line
Assembling Transmisi PT. X dengan Metode Line
Balancing

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Farizal, Ph.D ()
Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM ()
Penguji : Armand Omar Moeis, ST. M.Sc. ()
Penguji : Sumarsono, ST. MT. ()
Penguji : Romadhani Ardi, ST. MT. ()

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 29 Desember 2011

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Farizal, Ph.D selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi ini;
2. Bapak Dedy Marista P, selaku section head production engineering dari pihak perusahaan yang telah banyak membantu dalam memberikan arahan dan memperoleh data yang saya perlukan;
3. Seluruh dosen pengajar dan karyawan Departemen Teknik Industri Universitas Indonesia;
4. Teman kerja yang telah banyak memberi dukungan dan semangat dalam menyelesaikan skripsi ini;
5. Orang tua, kakak, adik dan keluarga besar saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
6. Semua sahabat ekstensi Teknik Industri UI 2009 yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan skripsi ini.

Akhir kata, penulis berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 29 Desember 2011



Penulis

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

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

Nama : Eben Henry R
NPM : 0906603543
Program Studi : Teknik Industri
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

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

**ANALISA PENINGKATAN KAPASITAS PRODUKSI PADA LINE
ASSEMBLING TRANSMISI PT. X DENGAN METODE LINE
BALANCING**

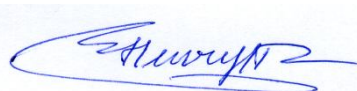
beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta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

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok

Pada tanggal : 29 Desember 2011

Yang menyatakan



(Eben Henry R)

ABSTRAK

Nama : Eben Henry R
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Analisa Peningkatan Kapasitas Produksi pada Line Assembling Transmisi PT. X dengan Metode Line Balancing.

Skripsi ini membahas peningkatan kapasitas produksi pada perusahaan komponen otomotif perakitan transmisi. Order dari *customer* setiap bulannya meningkat, yang mengakibatkan kapasitas produksi berada pada level maksimum. Pada level ini apabila masih terdapat peningkatan *order* maka proses produksi yang ada sudah tidak normal. Pengamatan di lapangan menunjukkan proses produksi belum berjalan dengan baik sehingga mengakibatkan ketidakseimbangan lintasan. Untuk memperbaiki hal tersebut, maka dilakukan proses *line balancing*. Proses *line balancing* dilakukan dengan metode *Helgeson-Birnie*, *Moodie Young*, dan *New Bidirectional*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode *Moodie Young* menghasilkan rancangan keseimbangan lintasan terbaik, dengan tingkat efisiensi lintasan 96.75%, *balance delay* 3.25%, *smoothing index* 9.25, dan stasiun kerja berjumlah 14.

Kata kunci:

Peningkatan kapasitas, *line assembling*, *Helgeson-Birnie*, *Moodie Young*, *New Bidirectional*

ABSTRACT

Name : Eben Henry R
Study Program : Industrial Engineering
Title : Analysis of Production Capacity Improvement at Transmission Assembly Lines of PT. X with Line Balancing Method

This study discusses production capacity improvement at transmission assembly lines of an automotive component company. Order from customers increases every month and resulted the production capacity level at the maximum level. At this level if order still increases, then the existing production process will be not normal. From the observations shows the production process is still not running in the good condition and makes the imbalance of the assembly lines. To solve it then do the line balancing process. Line balancing process performed with the Helgeson-Birnie, Moodie Young, and New Bidirectional method. The results from this research showed that the Moodie Young method is better to design the line balance, with a level of line efficiency 96.75%, balance delay 3.25%, smoothing index 9.25, and 14 number of work stations.

Keywords:

Capacity improvement, assembly line, Helgeson-Birnie, Moodie Young , New Bidirectional

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR PERSAMAAN	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Diagram Keterkaitan Masalah	4
1.3 Rumusan Permasalahan	4
1.4 Tujuan Penelitian	4
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.6 Metodologi Penelitian	6
1.7 Sistematika Penulisan	7
2. LANDASAN TEORI	10
2.1 Pengukuran Waktu	10
2.1.1 Pengukuran Waktu Secara Langsung	11
2.1.2 Pengukuran Waktu Secara Tidak Langsung	11
2.2 Pengukuran Waktu Kerja dengan Jam Henti	11
2.2.1 Pengukuran Waktu Tiap Elemen Kerja	13
2.2.2 Uji Keseragaman Data	13
2.2.3 Uji Kecukupan Data	14
2.2.4 Faktor Penyesuaian	15

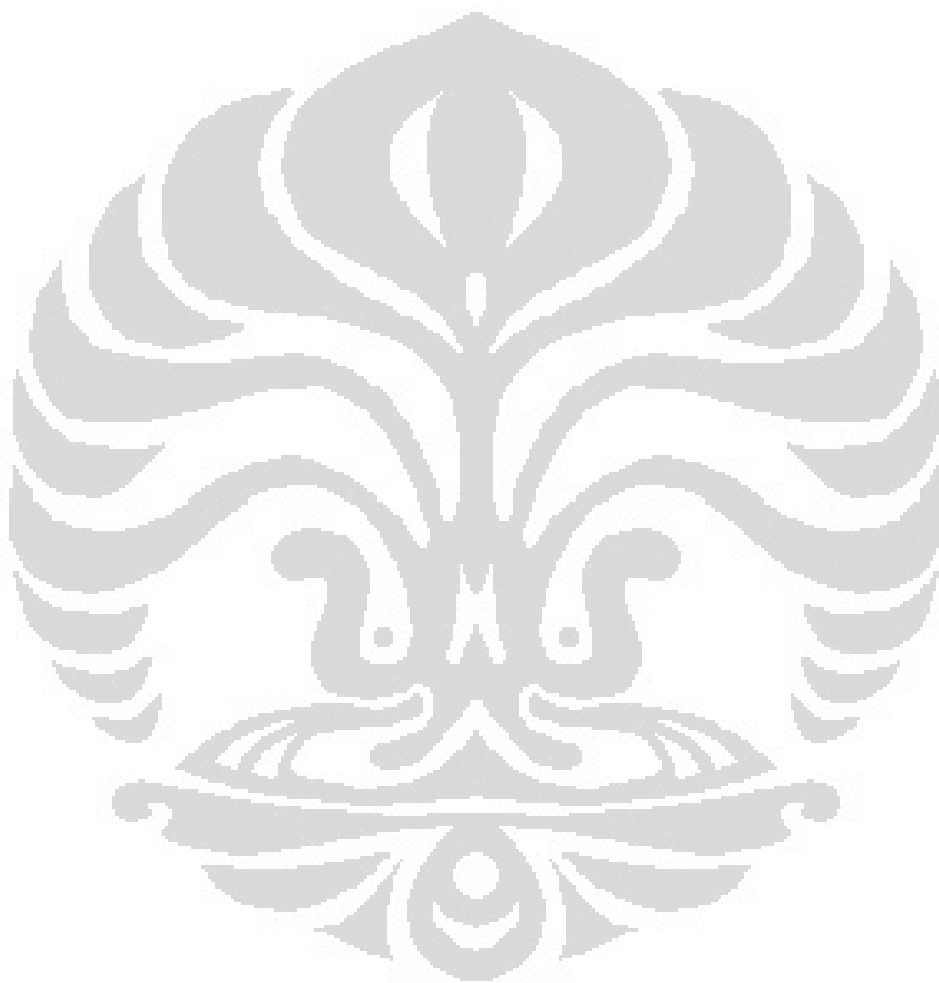
2.2.5 Faktor Kelonggaran	18
2.2.6 Waktu Normal	18
2.2.7 Waktu Standar	21
2.3 <i>Line Balancing</i>	22
2.3.1 Terminologi <i>Line Balancing</i>	23
2.3.2 Tujuan <i>Line Balancing</i>	26
2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi <i>Line Balancing</i>	26
2.3.4 Masalah <i>Line Balancing</i>	27
2.3.5 Beberapa Cara untuk Mencapai Keseimbangan Lintasan.....	28
2.4 Metode <i>Line Balancing</i>	29
2.4.1 Metode <i>Helgeson-Birnie</i>	30
2.4.2 Metode <i>Moodie Young</i>	33
2.4.3 Metode <i>New Bidirectional</i>	39
3. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	49
3.1 Gambaran Umum Produk.....	49
3.2 <i>Line Assembling</i> Transmisi PT. X	49
3.3 <i>Flow Process</i> Perakitan Transmisi	52
3.4 <i>Operation Process Chart</i> Perakitan Transmisi.....	59
3.5 Pengumpulan Data.....	59
3.5.1 Elemen Kerja	59
3.5.2 Pengukuran Waktu Elemen Kerja	59
3.5.3 Pengamatan Faktor-faktor Penyesuaian.....	59
3.5.4 Pengamatan Faktor-faktor Kelonggaran	65
3.5.5 Waktu Kerja Efektif.....	65
3.5.6 Data <i>Order</i> Transmisi	67
3.6 Pengolahan Data	67
3.6.1 Pengujian Keseragaman dan Kecukupan Data.....	67
3.6.1.1 Waktu Rata-rata Hasil Observasi.....	67
3.6.1.2 Pengujian Keseragaman Data	68
3.6.1.3 Pengujian Kecukupan Data.....	69
3.6.2 Perhitungan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja.....	69
3.6.2.1 Perhitungan Waktu Normal	69
3.6.2.2 Perhitungan Waktu Standar	69
3.6.3 Perhitungan Waktu Siklus Lintasan Perakitan	70
3.6.4 Penyusunan Precedence Diagram.....	71

3.6.5 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan	71
3.6.5.1 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan dengan Metode <i>Helgeson-Birnie</i>	71
3.6.5.2 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan dengan Metode <i>Moodie Young</i>	77
3.6.5.3 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan dengan Metode <i>New Bidirectional</i>	84
4. ANALISA HASIL.....	97
4.1 Analisa Kondisi Aktual	97
4.1.1 Analisa Penyebab Ketidakseimbangan Lintasan.....	101
4.1.2 Analisa Penanggulangan Ketidakseimbangan Lintasan	101
4.2 Analisa Hasil Rancangan atau Pemilihan Metode Terbaik.....	102
4.3 Analisa Perbandingan Kondisi Aktual dan Hasil Rancangan	103
5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	106
5.1 Kesimpulan.....	106
5.2 Saran.....	106
DAFTAR REFERENSI.	108
LAMPIRAN	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	<i>Performance Rating</i> dengan <i>Sistem Westing House</i>	17
Tabel 2.2	Besarnya Kelonggaran Berdasarkan Faktor-faktor yang Berpengaruh	19
Tabel 2.3	Bobot Elemen Kerja untuk Contoh Masalah	31
Tabel 2.4	Rangking Bobot Elemen Kerja untuk Contoh Masalah	31
Tabel 2.5	Hasil Alokasi Elemen Kerja Dengan Metode <i>Helgeson-Birnie</i> untuk Contoh Masalah	32
Tabel 2.6	Matriks P dan F untuk Contoh Masalah	35
Tabel 2.7	Hasil Alokasi Elemen Kerja Metode <i>Moodie Young</i> Fase 1 untuk Contoh Masalah	37
Tabel 2.8	Hasil Alokasi Elemen Kerja Metode <i>Moodie Young</i> Fase 2 untuk Contoh Masalah	38
Tabel 2.9	Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja Metode <i>New Bidirectional</i> untuk Contoh Masalah.....	46
Tabel 2.10	Susunan Stasiun Kerja Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja untuk Contoh Masalah	47
Tabel 3.1	Spesifikasi Umum Pekerjaan Operator Saat Ini	50
Tabel 3.2	Mesin dan <i>Equipment</i> pada <i>Line Assembling</i> PT.X	51
Tabel 3.3	Daftar <i>Small Part</i>	53
Tabel 3.4	Daftar <i>Main Part</i>	56
Tabel 3.5	Elemen Kerja dan Urutannya.....	61
Tabel 3.6	Faktor-faktor Penyesuaian	64
Tabel 3.7	Faktor-faktor Kelonggaran	65
Tabel 3.8	Total Waktu Kerja Efektif per Hari.....	66
Tabel 3.9	Total Waktu Kerja Efektif per Bulan	66
Tabel 3.10	<i>Fix and Tentative Order</i>	67
Tabel 3.11	Rangking Bobot Elemen Kerja	73
Tabel 3.12	Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode <i>Helgeson-Birnie</i>	74
Tabel 3.13	Matriks P dan F	77
Tabel 3.14	Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode <i>Moodie Young</i>	80
Tabel 3.15	Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja Metode <i>New Bidirectional</i> ..	92
Tabel 3.16	Susunan Stasiun Kerja Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja	93

Tabel 4.1	Alokasi Elemen Kerja pada Sistem Terpasang	97
Tabel 4.2	Perbandingan Kriteria Performansi	102
Tabel 4.3	Alokasi Elemen Kerja Metode Terpilih	103
Tabel 4.4	Perbandingan Kriteria Performansi Kondisi Aktual dan hasil Rancangan	103



DAFTAR GAMBAR

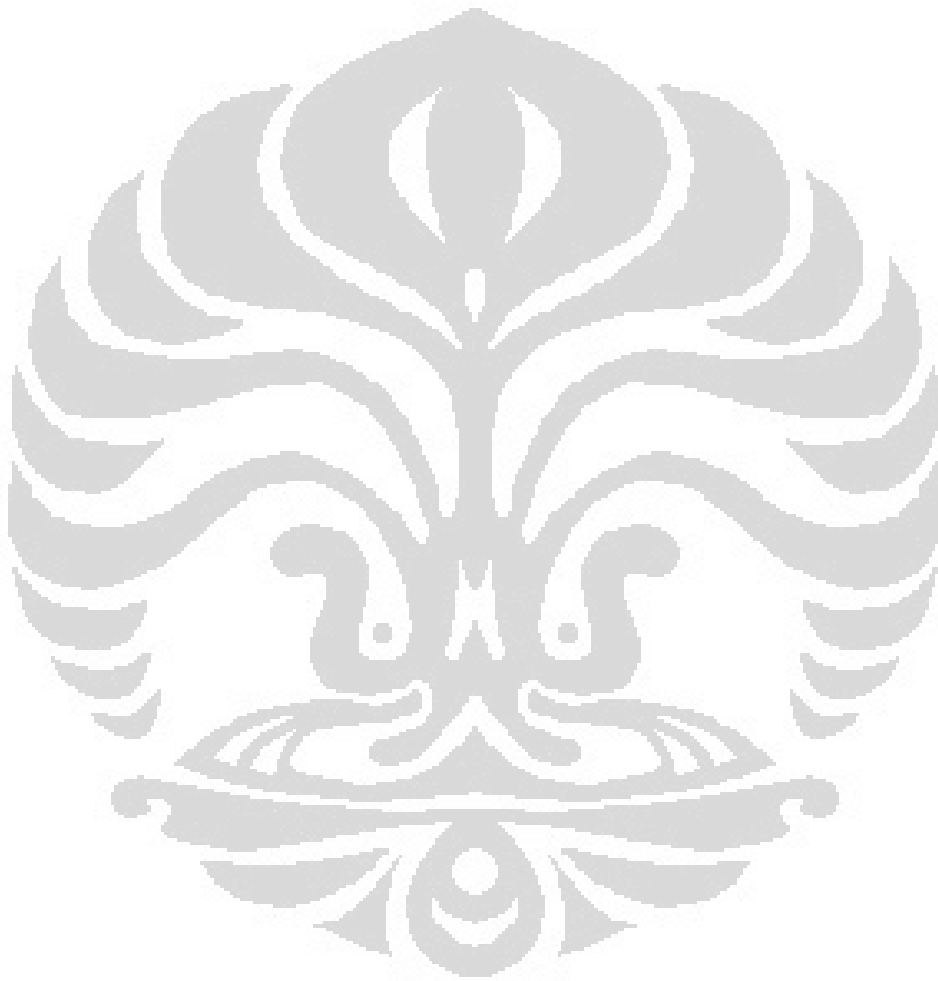
Gambar 1.1	Grafik <i>Order</i> Transmisi	1
Gambar 1.2	Grafik <i>Overtime</i> Produksi Line Assembling 2011	2
Gambar 1.3	Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
Gambar 1.4	Diagram Alir Metodologi Penelitian	8
Gambar 1.5	Diagram Alir Perhitungan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja	9
Gambar 2.1	Urutan Pengukuran Waktu Kerja dengan Jam Henti.....	13
Gambar 2.2	Lintasan Perakitan	22
Gambar 2.3	Bentuk <i>Precedence</i> Diagram.....	24
Gambar 2.4	<i>Flow Chart</i> Metode <i>New Bidirectional</i>	41
Gambar 2.5	<i>Precedence</i> Diagram Untuk Contoh Masalah Metode <i>New Bidirectional</i>	42
Gambar 3.1	Transmisi Unit.....	49
Gambar 3.2	<i>Flow Process</i> Perakitan Transmisi	52
Gambar 3.3	<i>Operation Process Chart</i> Perakitan Transmisi	60
Gambar 3.4	Peta Kontrol Elemen Kerja Nomor 26.....	68
Gambar 3.5	<i>Precedence</i> Diagram Perakitan Transmisi.....	72
Gambar 4.1	Grafik Waktu Menunggu Stasiun Kerja	101

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1	Nilai Rata-rata.....	14
Persamaan 2.2	Standar Deviasi	14
Persamaan 2.3	Batas Kontrol Atas	14
Persamaan 2.4	Batas Kontrol Bawah.....	14
Persamaan 2.5	Jumlah Observasi yang Diperlukan.....	15
Persamaan 2.6	Waktu Normal.....	18
Persamaan 2.7	Waktu Standar.....	21
Persamaan 2.8	Jumlah Stasiun Kerja Minimal.....	23
Persamaan 2.9	Waktu Siklus	23
Persamaan 2.10	Efisiensi Lintasan	25
Persamaan 2.11	<i>Balance Delay</i>	25
Persamaan 2.12	<i>Smoothing Index</i>	26
Persamaan 2.13	<i>GOAL</i>	34
Persamaan 2.14	<i>Slack Time dari Forward Workstation</i>	40
Persamaan 2.15	<i>Slack Time dari Backward Workstation</i>	40

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A	Waktu Kerja Hasil Observasi
Lampiran B	Hasil Pengujian Keseragaman dan Kecukupan Data
Lampiran C	Waktu Normal dan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja
Lampiran D	Perhitungan Bobot Setiap Elemen Kerja



BAB 1

PEDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Persaingan yang ketat antar industri manufaktur di bidang otomotif dan permintaan konsumen yang terus meningkat tiap tahunnya, membuat para pelaku industri otomotif harus mengeluarkan ide-ide inovatif dalam rangka meningkatkan pemanfaatan sumber daya yang tersedia seoptimal mungkin untuk menghasilkan tingkat produk semaksimal mungkin baik dari segi kuantitas maupun kualitas. Tanpa mengurangi kualitas dari produk, para pelaku industri otomotif melakukan *cost reduction* mulai dari memodifikasi proses, memodifikasi urutan kerja, memodifikasi *layout*, menurunkan biaya *overtime* dan lain-lain yang bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan yang diperoleh oleh perusahaan tersebut.

PT. X merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak dalam bidang pembuatan komponen otomotif bagian *under body*. Komponen yang dihasilkan adalah transmisi *assy* yang digunakan pada kendaraan roda empat dari salah satu Agen Tunggal Pemegang Merek (ATPM) yang berada di Indonesia, yaitu PT Astra Daihatsu Motor (PT. ADM) selaku customer dari perusahaan.

Pada Tahun 2011 *order* dari *customer* mengalami peningkatan setiap bulannya. Dapat dilihat pada gambar 1.1 bahwa terdapat peningkatan order dari *customer* pada bulan November dan beberapa bulan berikutnya. Pada bulan oktober *order* akan transmisi *assy* sebesar 14361 unit, mengalami peningkatan



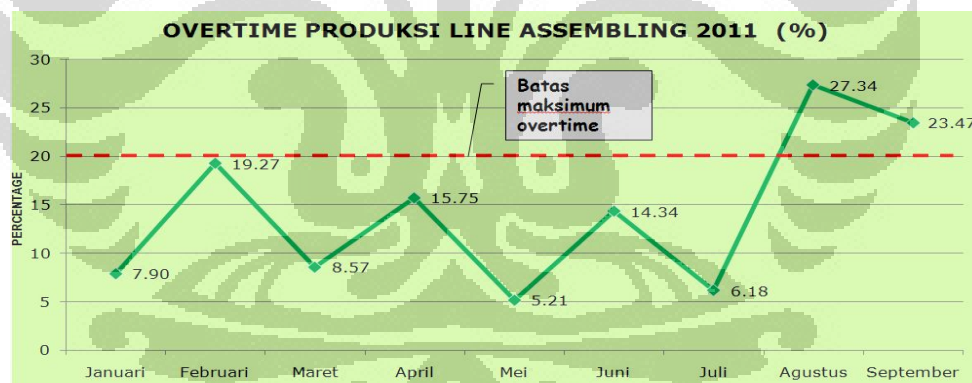
Gambar 1.1 Grafik *Order* Transmisi

(Sumber : Data dari Departemen PPC PT.X)

pada bulan November menjadi 14470 unit, bulan Desember menjadi 14741 unit, dan Januari menjadi 15897 unit. Peningkatan order tersebut merupakan suatu hal yang perlu diantisipasi, karena apabila tidak diantisipasi selain *delivery* yang tidak terkontrol, biaya operasional produksi akan bertambah dikarenakan banyak hal seperti *overtime* tinggi, *overhead* produksi tinggi, dan lain-lain.

Kondisi saat ini waktu siklus *line assembling* perusahaan adalah 1.5 menit. Dengan menggunakan waktu siklus tersebut, perusahaan selalu memberlakukan *overtime* / jam kerja lembur untuk mengejar target produksi di dalam memenuhi *order* dari *customer*. Hal ini dikarenakan kapasitas terpasang perusahaan lebih kecil dibandingkan dengan jumlah *order* dari *customer* sehingga mengakibatkan *backlog* produksi.

Perusahaan memiliki kebijakan dalam memberlakukan *overtime*, batas maksimal dari *overtime* yang digunakan adalah sebesar 20% dari total jam kerja per bulan. Untuk beberapa bulan terakhir *overtime* yang digunakan untuk mengejar target produksi tersebut telah melewati kebijakan dari perusahaan.



Gambar 1.2 Grafik *Overtime* Produksi *Line Assembling* 2011

(Sumber : Data dari Departemen Produksi PT.X)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa *overtime* produksi yang digunakan pada beberapa bulan terakhir telah melewati kebijakan ideal perusahaan. Untuk bulan Agustus sebesar 27.34 % dan untuk bulan September sebesar 23.47 %. *Overtime* produksi perusahaan juga akan meningkat pada beberapa bulan berikutnya apabila perusahaan masih menggunakan waktu siklus 1.5 menit,

dikarenakan jumlah *order* dari *customer* terus meningkat. Selain itu konsekuensi dari pemberlakuan kebijakan ini tentu berpengaruh langsung pada kesehatan karyawan dan pengeluaran perusahaan yang cukup besar untuk hal-hal yang dapat di minimalisasi seperti biaya makan, transportasi, utilitas, dan lain-lain.

Dengan kondisi *order* yang meningkat dan *overtime* yang telah melebihi dari kebijakan perusahaan, maka peningkatan kapasitas produksi harus dilakukan. Peningkatan kapasitas produksi tersebut dapat dilakukan dengan menurunkan waktu siklus hingga sama dengan *takt time* agar kapasitas terpasang perusahaan dapat memenuhi *order* dari *customer* yang meningkat.

Sebagai perusahaan dengan kapasitas produksi yang tinggi, diperlukan strategi dan perencanaan yang baik untuk meningkatkan kapasitas produksinya. Salah satu hal yang harus diperhatikan adalah masalah keseimbangan lintasan.

Keseimbangan lintasan berhubungan erat dengan produksi massal. Sejumlah pekerjaan perakitan dikelompokkan ke dalam beberapa pusat pekerjaan yang selanjutnya dinamakan sebagai stasiun kerja (Talbot et al., 1986). Waktu yang diizinkan untuk menyelesaikan elemen pekerjaan ditentukan oleh kecepatan lintasan perakitan. Semua stasiun kerja sedapat mungkin memiliki kecepatan produksi yang sama. Keseimbangan lintasan juga sangat penting dalam suatu proses produksi, karena dengan keseimbangan lintasan yang baik maka dapat meminimalkan *waste*. *Waste* merupakan suatu indikasi dari pemanfaatan sumber daya yang tidak maksimal. Usaha minimisasi *waste* dapat meningkatkan efisiensi sehingga dapat meningkatkan output produksi.

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, proses produksi yang berlangsung di *line assembling* perusahaan belum berjalan dengan baik sehingga mengakibatkan ketidakseimbangan lintasan.

Ketidakseimbangan lintasan dalam kegiatan produksi di lantai pabrik dapat dilihat dari manggurnya beberapa stasiun kerja, sedangkan di stasiun kerja lainnya tetap bekerja secara penuh. Hal ini disebabkan oleh waktu yang dibutuhkan oleh suatu stasiun kerja untuk menyelesaikan pekerjaan lebih cepat dari kecepatan lintasan yang telah ditentukan. Kecepatan lintasan tersebut ditentukan dari tingkat kapasitas, permintaan, serta waktu operasi terpanjang (Kusuma, 2007).

Universitas Indonesia

Cara terbaik untuk mengatasi ketidakseimbangan lintasan adalah dengan melakukan *line balancing*. *Line balancing* merupakan penyeimbangan penugasan elemen-elemen kerja dari suatu lintasan perakitan ke stasiun kerja untuk meminimumkan banyaknya stasiun kerja dan meminimumkan total harga *idle time* pada semua stasiun kerja untuk tingkat *output* tertentu (Boysen et al., 2007), yang dalam penyeimbangan tugas ini, kebutuhan waktu per unit produk yang di spesifikasikan untuk setiap tugas dan hubungan sekuensial harus dipertimbangkan, sehingga memperoleh suatu arus produksi yang lancar dalam rangka mendapatkan utilisasi yang tinggi atas fasilitas, tenaga kerja, dan peralatan.

Sesuai dengan permasalahan tersebut, maka dalam penelitian ini akan dilakukan analisa untuk meningkatkan kapasitas produksi dengan menggunakan metode *line balancing*, yang pada akhirnya perusahaan dapat memenuhi *order* dari *customer* yang meningkat dan menerapkan keseimbangan lintasan pada *line assembling* perusahaan.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan sebelumnya, dapat dibuat suatu diagram keterkaitan masalah seperti terlihat pada gambar 1.3.

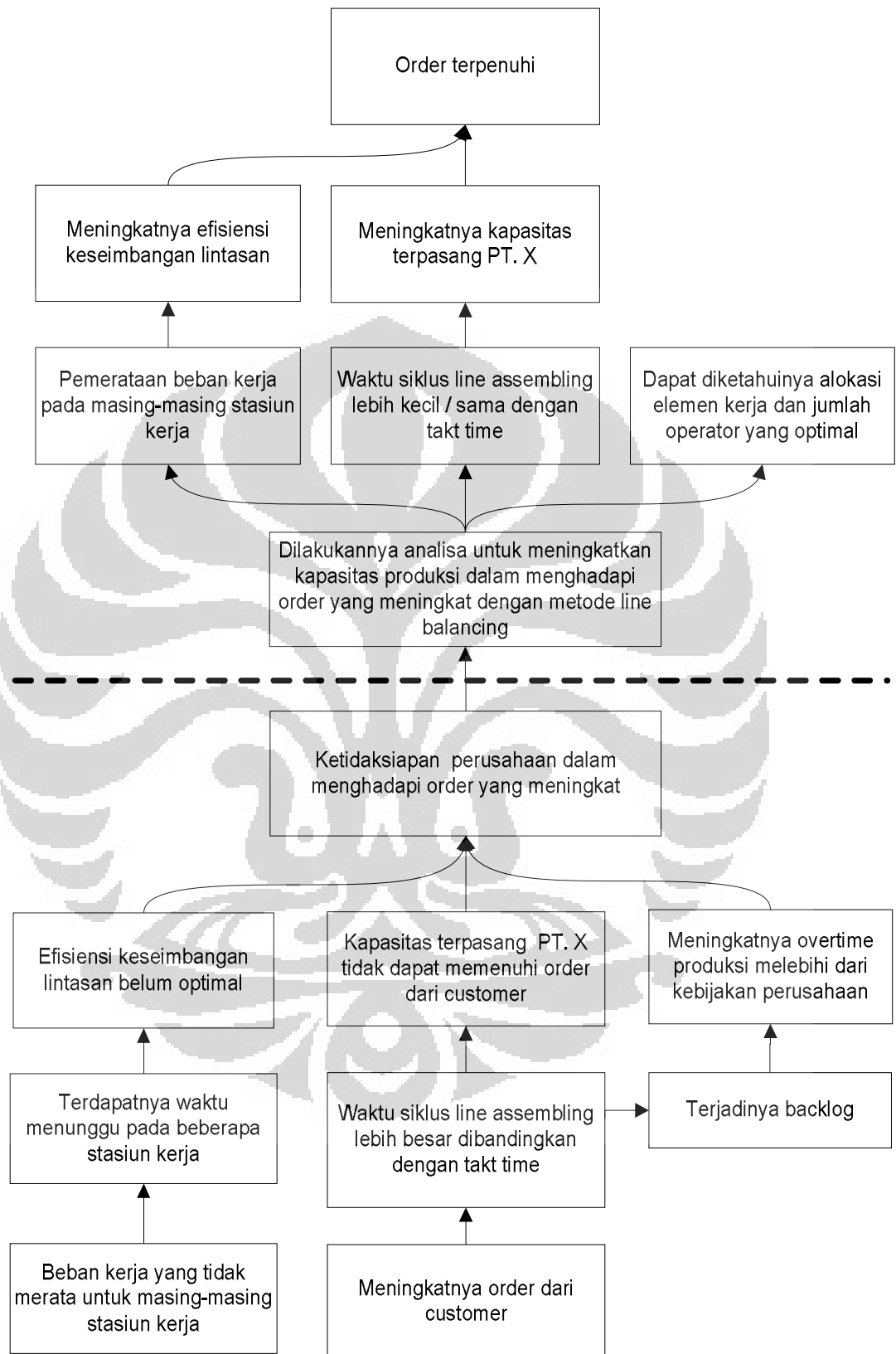
1.3 Rumusan Permasalahan

Pokok permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini adalah mengenai peningkatan kapasitas produksi dengan metode *line balancing* agar perusahaan dapat memenuhi *order* dari *customer* yang meningkat.

1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan permasalahan penelitian yang sudah diuraikan diatas, maka penelitian ini memiliki tujuan umum untuk meningkatkan kapasitas produksi pada *line assembling* transmisi perusahaan dan tujuan khusus penelitian ini adalah :

1. Mendapatkan rancangan model keseimbangan lintasan pada *line assembling* transmisi perusahaan.
2. Melakukan rekomendasi jumlah operator dan alokasi elemen kerja yang optimal sehubungan dengan meningkatnya *order* dari *customer*.



Gambar 1.3 Diagram Keterkaitan Masalah

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Agar penelitian ini memberikan hasil yang sesuai dengan tujuan penelitian, maka akan dilakukan pembatasan masalah, seperti tercantum di bawah ini :

1. Penelitian dilakukan untuk satu jenis model produk yang merupakan produk utama perusahaan yaitu transmisi *assy* unit.
2. Data *order* yang digunakan sebagai acuan dalam penentuan target produksi, berdasarkan data *tentative order* untuk tiga bulan kedepan, yaitu bulan November, Desember 2011, dan Januari 2012.
3. Penelitian keseimbangan lintasan produksi hanya mengambil aspek waktu kerja operator yang bekerja di *line assembling* transmisi perusahaan
4. Parameter yang menjadi ukuran performansi adalah efisiensi lini, *balance delay*, dan *smoothing index*.

Asumsi-asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Metode kerja operator sudah baik.
2. Tidak terdapat masalah dalam proses *supply part*.
3. Tidak terjadi kerusakan mesin / peralatan dan *material handling*.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Tahap awal penelitian, meliputi :
 - a. Menentukan topik penelitian yang akan dilakukan.
 - b. Menentukan perumusan masalah.
 - c. Menentukan tujuan penelitian.
 - d. Menentukan batasan masalah.
 - e. Melakukan studi literatur terhadap landasan teori yang akan digunakan sebagai acuan, yaitu pengukuran waktu kerja, *line balancing*, metode *Rank Postional Weight*, metode *Moodie Young*, dan metode *New Bidirectional*.
2. Tahap pengumpulan data, tahap menyangkut pengumpulan data di lapangan, data-data yang dimaksud adalah :
 - a. *Data flow process* perakitan transmisi.

- b. Data stasiun kerja dan operator pada *line assembling* transmisi perusahaan.
 - c. Data elemen kerja dan urutan kerja pada masing-masing stasiun kerja.
 - d. Data waktu proses setiap elemen kerja.
 - e. Data jumlah *order* bulanan.
 - f. Data waktu kerja efektif bulanan.
3. Tahap pengolahan data dan analisis, yaitu tahapan dimana data-data yang telah terkumpul diolah dan dianalisis. Tahap ini terdiri dari :
- a. Perhitungan waktu standar setiap elemen kerja
 - b. Perhitungan waktu siklus lintasan perakitan.
 - c. Pembentukan rancangan keseimbangan lintasan dengan metode *Rank Positional Weight*.
 - d. Pembentukan rancangan keseimbangan lintasan dengan metode *Moodie Young*.
 - e. Pembentukan rancangan keseimbangan lintasan dengan metode *New Bidirectional*.
 - f. Perhitungan efisiensi, *balance delay*, dan *smoothing index*.
4. Tahap akhir, yaitu penarikan kesimpulan dari seluruh keseluruhan penelitian yang telah dilakukan kemudian memberi beberapa masukan bagi perusahaan.

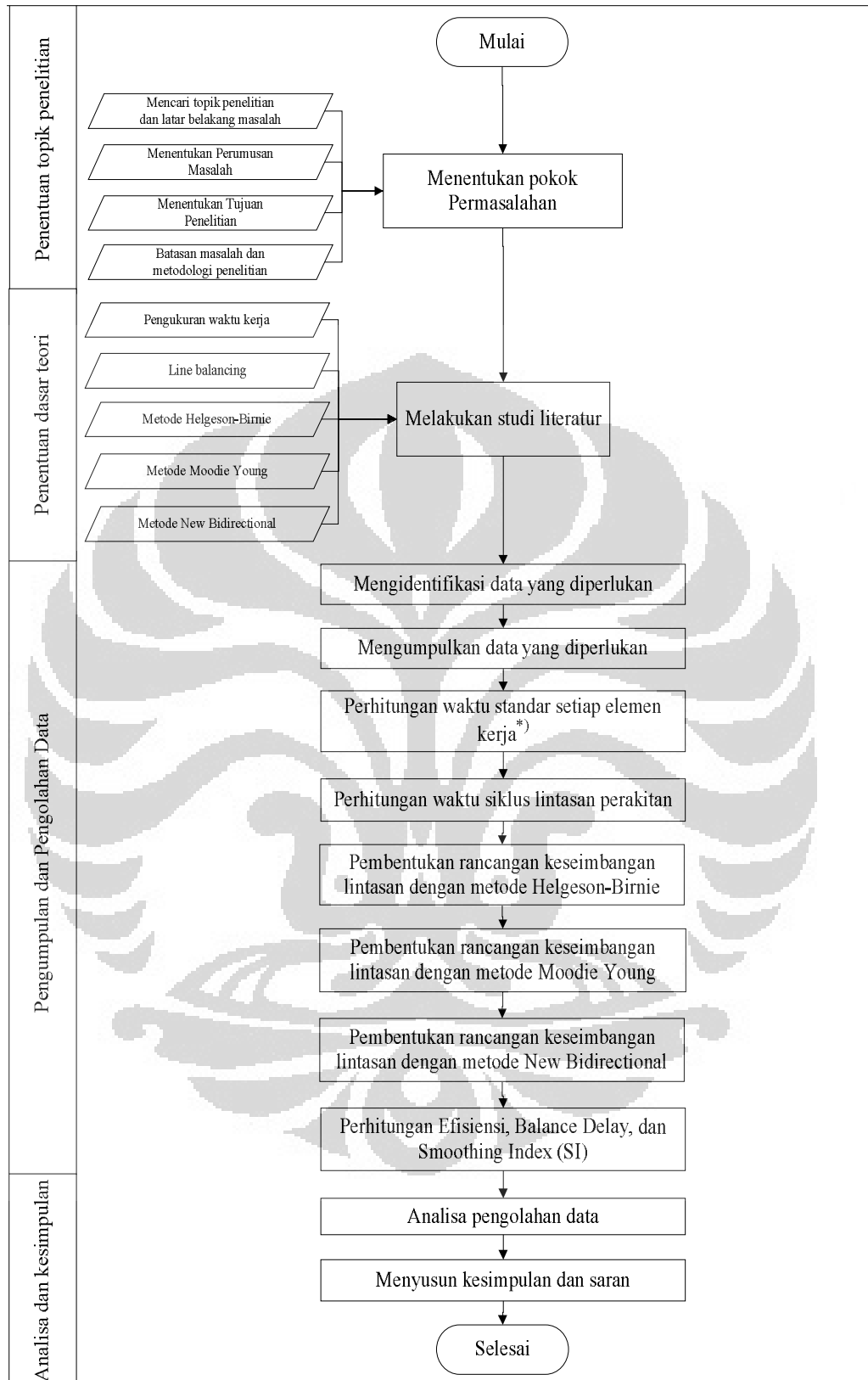
Secara lebih detail, metodologi pada penelitian ini dapat dilihat pada gambar 1.4.

1.7 Sistematika Penulisan

Sistematika yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada standar buku penulisan skripsi yang terdiri dari lima bab, yaitu :

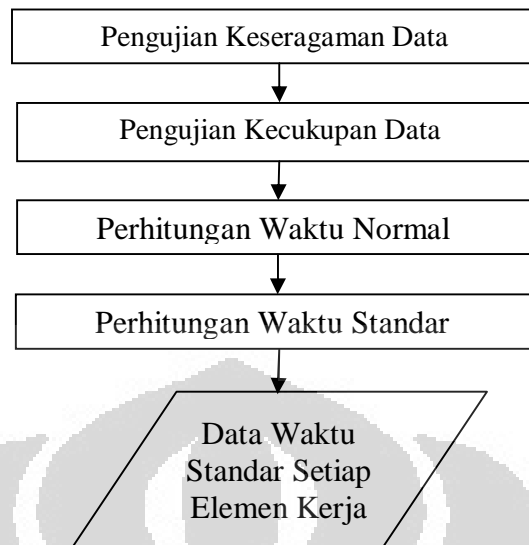
Bab 1 Pendahuluan

Pada bagian ini menjelaskan mengenai latar belakang dilakukan penelitian ini, diagram keterkaitan permasalahan, rumusan permasalahan, tujuan penelitian, batasan masalah, metodologi penelitian dan sistematika penulisan.



Gambar 1.4 Diagram Alir Metodologi Penelitian

*) dijelaskan pada gambar 1.5



Gambar 1.5 Diagram Alir Perhitungan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja

Bab 3 Pengumpulan dan Pengolahan Data

Berisikan pengumpulan data yang akan diolah agar dapat memberikan gambaran yang lebih jelas dan mudah dipahami. Data yang dikumpulkan dapat merupakan data langsung (data primer) maupun data yang didapatkan dari pihak lain (data sekunder).

Bab 4. Analisa Hasil

Berisikan pembahasan tentang hasil-hasil rancangan keseimbangan yang telah dilakukan. Analisa dan pembahasan merupakan tahapan yang memberikan ulasan, keterangan, dan interpretasi dari angka atau statement yang dihasilkan dalam pengolahan data.

Bab 5. Kesimpulan dan Saran

Merangkum keseluruhan dari proses penelitian menjadi kesimpulan dan saran yang dapat digunakan sebagai pertimbangan kebijakan di kemudian hari.

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu adalah teknik pengukuran kerja untuk mencatat jangka waktu dan perbandingan kerja mengenai unsur pekerjaan tertentu yang dilaksanakan dalam keadaan tertentu pula, serta untuk menganalisa keterangan tersebut sehingga diperoleh waktu yang diperlukan untuk pelaksanaan pekerjaan tersebut pada tingkat prestasi tertentu (Barnes, 1980).

Dalam pengukuran waktu, hal penting yang harus diketahui dan ditetapkan adalah untuk apa hasil pengukuran digunakan, berapa tingkat ketelitian dan tingkat keyakinan yang diinginkan dari hasil pengukuran tersebut.

Salah satu kriteria pengukuran kerja adalah pengukuran waktu (*time study*). Pengukuran kerja yang dimaksudkan adalah pengukuran waktu standar atau waktu baku. Pengertian umum pengukuran kerja adalah suatu aktivitas untuk menentukan waktu yang dibutuhkan oleh seorang operator (yang memiliki *skill* rata-rata dan terlatih) dalam melaksanakan kegiatan kerja dalam kondisi dan tempo kerja yang normal. Waktu standar dapat digunakan sebagai dasar untuk analisis lainnya.

Waktu standar dapat digunakan untuk hal-hal berikut ini (Purnomo, 2004), yaitu:

1. Penentuan jadwal dan perencanaan kerja.
2. Penentuan biaya standard dan sebagai alat bantu dalam mempersiapkan anggaran.
3. Estimasi biaya produk sebelum memproses produk.
4. Penentuan efektivitas mesin.
5. Penentuan waktu standar yang digunakan sebagai dasar untuk upah insentif tenaga kerja langsung.
6. Penentuan waktu standar yang digunakan sebagai dasar untuk upah tenaga kerja tidak langsung.
7. Penentuan waktu standar yang digunakan sebagai dasar untuk pengawasan biaya tenaga kerja.

Secara garis besar, teknik pengukuran waktu kerja dapat dibagi kedalam dua bagian (Sutalaksana et al., 1979), yaitu:

1. Pengukuran waktu secara langsung.
2. Pengukuran waktu secara tidak langsung.

2.1.1 Pengukuran Waktu Secara Langsung

Pengukuran waktu dilakukan secara langsung di tempat pekerjaan yang diukur dijalankan. Yang termasuk pengukuran waktu secara langsung adalah cara pengukuran kerja dengan menggunakan jam henti (*stopwatch*) dan sampling kerja (*work sampling*). Studi waktu dengan jam henti dilakukan dengan cara mengamati dan menganalisa suatu kegiatan atau operasi dengan cara mencatat waktu yang diperlukan dari mulai sampai selesainya suatu operasi.

Pengukuran dengan sampling pekerjaan dilakukan dengan cara mengambil sampel dari suatu kelompok operator yang akan dihitung waktunya, pengamatan dilakukan secara acak dengan bantuan table *random*. Pada waktu pengamatan dicatat apakah operator sedang bekerja atau tidak. Dari hasil pengamatan dibuat persentase operator produktif. Waktu standar didapat dengan cara membagi waktu kerja produktif dengan jumlah produk yang dihasilkan.

2.1.2 Pengukuran Waktu Secara Tidak Langsung

Pengukuran waktu dilakukan tanpa harus berada di tempat pekerjaan yang sedang diamati. Untuk menentukan waktu standar dari suatu operasi, kita harus membagi operasi menjadi elemen-elemen kegiatan misalnya mengambil material, memotong, membersihkan dan lain sebagainya. Pengukuran waktu dilakukan dengan melihat atau membaca tabel-tabel yang tersedia dari elemen-elemen gerakan.

2.2 Pengukuran Waktu Kerja dengan Jam Henti

Pengukuran waktu kerja dengan jam henti diperkenalkan pertama kali oleh F. W. Taylor sekitar abad 19 yang lalu. Metode ini sangat baik diaplikasikan untuk pekerjaan-pekerjaan yang berlangsung singkat dan berulang-ulang (*repetitive*). Dari hasil pengukuran maka akan diperoleh waktu baku untuk menyelesaikan suatu siklus pekerjaan yang mana waktu ini akan dipergunakan

sebagai standar menyelesaikan pekerjaan bagi semua pekerja yang akan melaksanakan pekerjaan yang sama.

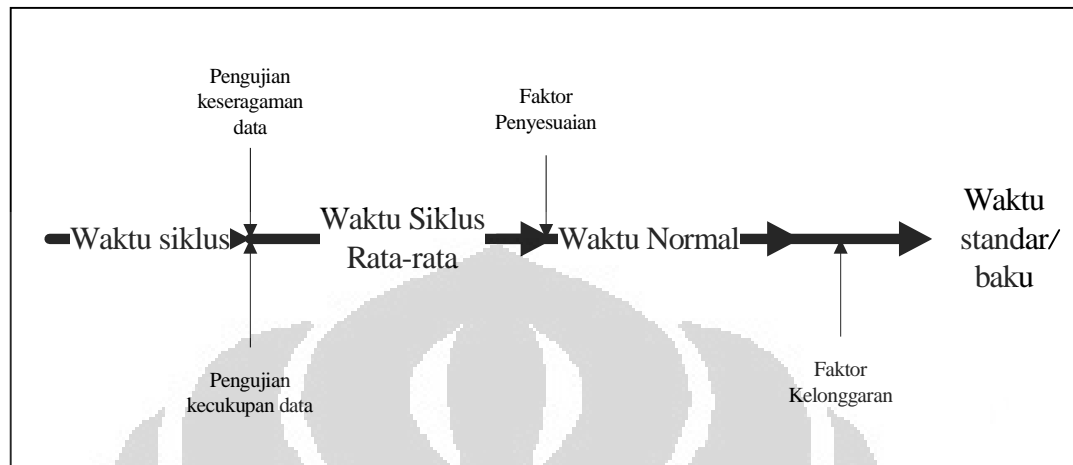
Pengukuran kerja ini dilakukan dengan langkah-langkah yang dimulai dengan pengambilan sejumlah pengamatan kerja dengan *stop watch* untuk setiap elemen kegiatan, menetapkan *rating factor* dan *allowance* dari kegiatan yang dilakukan operator, melakukan uji keseragaman data dan kecukupan data. Dalam penelitian ini, dalam melakukan pengujian keseragaman dan kecukupan data digunakan tingkat kepercayaan 95% dan tingkat ketelitian 5%.

Secara garis besar langkah-langkah untuk pelaksanaan pengukuran waktu kerja dengan jam henti ini dapat diuraikan sebagai berikut (Wignjosoebroto, 2008) :

1. Definisi pekerjaan yang akan diteliti untuk diukur waktunya dan beritahukan maksud dan tujuan pengukuran ini kepada pekerja yang dipilih untuk diamatai dan *supervisor* yang ada.
2. Catat semua informasi yang berkaitan erat dengan penyelesaian pekerjaan seperti *layout*, karakteristik/spesifikasi mesin atau peralatan kerja lain yang digunakan, dan lain-lain.
3. Bagi operasi kerja dalam elemen-elemen kerja sedetail-detailnya, tapi masih dalam batas-batas kemudahan untuk pengukuran waktunya.
4. Amati ukur dan catat waktu yang dibutuhkan oleh operator untuk menyelesaikan elemen-elemen kerja tersebut.
5. Tetapkan jumlah siklus kerja yang harus diukur dan dicatat. Teliti apakah jumlah siklus kerja yang dilaksanakan ini sudah memenuhi syarat atau tidak. Test pula keseragaman data yang diperoleh
6. Tetapkan *rate of performance* dari operator saat melaksanakan aktivitas kerja yang diukur dan dicatat waktunya tersebut.
7. Sesuaikan waktu pengamatan berdasarkan *performance* yang ditunjukkan oleh operator tersebut sehingga akhirnya akan diperoleh waktu kerja normal.
8. Tetapkan waktu longgar (*allowance time*) guna memberikan fleksibilitas. Waktu longgar yang akan diberi ini guna menghadapi kondisi-kondisi seperti kebutuhan personil yang bersifat pribadi, faktor kelelahan, keterlambatan material dan lain-lainnya.

Universitas Indonesia

9. Tetapkan waktu kerja baku (*standard time*) yaitu jumlah total antara waktu normal dan waktu longgar.



Gambar 2.1 Urutan Pengukuran Waktu Kerja dengan Jam Henti

2.2.1 Pengukuran Waktu Tiap Elemen Kerja

Pengukuran elemen kerja dilakukan dengan jam henti (*stop watch*). Pengukuran dapat dilakukan dengan tiga metode yaitu :

1. Cara kontinyu, dimana pengukuran dilakukan dengan memulai gerakan jarum jam henti pada permulaan pengerjaan elemen kerja yang pertama dan jarum jam tetap bergerak selama pengamatan berjalan.
2. Cara berulang, dimana pengukuran dilakukan dengan menggerakkan jarum jam henti pada saat elemen kerja pertama mulai berjalan dan dihentikan pada saat elemen kerja tersebut berhenti. Waktu dicatat dan jarum jam henti dikembalikan lagi ke posisi nol untuk melakukan pengukuran selanjutnya.
3. Cara akumulatif, dimana pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua buah jam henti yang dipasang bersama didekat papan pengamatan dan dihubungkan sedemikian rupa sehingga ketika jarum jam henti pertama bergerak, jarum jam henti kedua akan berhenti. Demikian pula sebaliknya.

2.2.2 Uji Keseragaman Data

Untuk memastikan bahwa data yang berkumpul berasal dari sistem yang sama, maka dilakukan pengujian terhadap keseragaman data. Sebagai contoh, pada suatu hari seorang operator malam harinya tidak tidur semalaman.

Dibandingkan dengan hari-hari sebelumnya, data yang terkumpul pada hari itu akan jelas berbeda. Untuk itu diperlukan pengujian keseragaman data untuk memisahkan data yang memiliki karakteristik yang berbeda. Adapun rumus yang digunakan dalam pengujian keseragaman data untuk stop watch adalah sebagai berikut :

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N} \dots\dots\dots(2.1)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}} \dots\dots\dots(2.2)$$

$$BKA = \bar{x} + k\sigma \dots\dots\dots(2.3)$$

$$BKB = \bar{x} - k\sigma \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana : \bar{x} = Nilai rata-rata
 BKA = Batas kontrol atas
 BKB = Batas kontrol bawah
 σ = Standar deviasi
 k = Tingkat keyakinan
 = 99 % \approx 3
 = 95 % \approx 2

2.2.3 Uji Kecukupan Data

Aktivitas pengukuran kerja merupakan proses *sampling*, semakin besar jumlah siklus kerja yang diamati, maka akan mendekati kebenaran terhadap data waktu yang diperoleh. Karena adanya keterbatasan waktu untuk melakukan *sampling* maka diperlukan suatu cara untuk menentukan jumlah *sampling* yang cukup memadai untuk digunakan dalam menentukan waktu baku dari proses.

Hal inilah dilakukan pengujian kecukupan data, bahwa data yang telah dikumpulkan cukup secara objektif. Pengujian kecukupan data dilakukan dengan berpedoman pada konsep statistik yaitu derajat ketelitian dan tingkat

keyakinan/kepercayaan. Derajat ketelitian dan keyakinan adalah mencerminkan tingkat kepastian yang diinginkan oleh pengukur setelah memutuskan untuk tidak akan melakukan pengukuran dalam jumlah yang banyak. Didalam aktivitas pengukuran kerja biasanya akan diambil 95%, kemudian derajat ketelitian menunjukkan penyimpangan maksimum hasil pengukuran dari waktu penyelesaian sebenarnya. Tingkat keyakinan menunjukkan besarnya keyakinan pengukur akan ketelitian data waktu yang telah diamati dan dikumpulkan, sehingga digunakan rumus untuk mencari jumlah data yang diperlukan.

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

Dengan N' = jumlah observasi yang diperlukan

N = jumlah observasi actual yang dilakukan

k = tingkat keyakinan, 99% = 3 , 95% = 2

s = Derajat ketelitian

Jika $N' < N$ maka jumlah observasi actual yang dilakukan dianggap cukup.

2.2.4 Faktor Penyesuain

Setelah data memenuhi syarat dengan data yang seragam dan cukup, data tersebut kemudian dirumuskan dengan faktor penyesesuaian, karena kegiatan kecepatan atau tempo kerja operator pada saat pengukuran tidak selamanya dalam kondisi wajar, ketidakwajaran dapat terjadi karena operator kurang bersungguhsungguh, terjadi kesulitan-kesulitan sehingga menjadi lamban dalam bekerja.

Bila hal tersebut terjadi maka pengukur harus menormalkan waktu tersebut dengan melakukan penyesuaian. Penyesuaian dilakukan dengan mengalikan waktu siklus rata-rata atau waktu elemen rata-rata dengan suatu harga p yang disebut faktor penyesuaian. Bila operator bekerja di atas normal (terlalu cepat), maka harga $p > 1$. Bila operator dipandang bekerja di bawah normal, maka harga $p < 1$. Bila operator bekerja dengan wajar maka harga $p = 1$.

Universitas Indonesia

Metode-metode untuk menentukan faktor penyesuaian yaitu:

1. Penyesuaian dengan *Westinghouse System*

Metode *Westinghouse* dikemukakan oleh Lowry, Maynard dan Stegemarten. Mereka berpendapat bahwa ada empat faktor yang menyebabkan kewajaran dan ketidakwajaran dalam bekerja, yaitu keterampilan, usaha, kondisi dan konsistensi. Setiap faktor terbagi dalam kelas-kelas dengan nilainya masing-masing.

- Keterampilan

Didefinisikan sebagai kemampuan mengikuti cara kerja yang ditetapkan. Secara psikologis, keterampilan merupakan *attitude* pekerja untuk pekerjaan yang bersangkutan.

- Usaha

Adalah kesungguhan yang ditunjukkan oleh operator ketika melaksanakan pekerjaannya. Faktor penyesuaian ini juga dibagi menjadi enam kelas usaha dengan cirinya masing-masing.

- Kondisi kerja

Adalah kondisi fisik lingkungan yang merupakan sesuatu hal diluar operator, yang diterima operator apa adanya oleh operator tanpa banyak kemampuan merubahnya. Faktor ini sering disebut sebagai faktor manajemen, karena pihak inilah yang dapat merubah dan memperbaikinya.

- Konsistensi

Faktor ini perlu diperhatikan karena pernyataan bahwa pada setiap pengukuran angka-angka yang dicatat tidak pernah sama. Untuk kondisi seperti ini, pengamat diperlukannya keakurasian yang lebih cermat dalam mengambil waktu pengukuran. Dan seperti yang telah disebutkan diatas bahwa mendominasi menyebabkan kewajaran dan ketidakwajaran dalam bekerja.

2. *Synthetic Rating*

Dikembangkan oleh Morrow, *synthetic rating* mengevaluasi kecepatan operator dari nilai waktu gerakan yang sudah ditetapkan terlebih dahulu.

Tabel 2.1 *Performance Rating dengan Sistem Westinghouse*

Keterampilan (Skill)			Usaha (Effort)		
+0.15	A1	Superskill	+0.13	A1	Excessive
+0.13	A2		+0.12	A2	
+0.11	B1	Excellent	+0.10	B1	Excellent
+0.08	B2		+0.08	B2	
+0.06	C1	Good	+0.05	C1	Good
+0.03	C2		+0.02	C2	
0.00	D	Average	0.00	D	Average
-0.05	E1	Fair	-0.04	E1	Fair
-0.10	E2		-0.08	E2	
-0.16	F1	Poor	-0.12	F1	Poor
-0.22	F2		-0.17	F2	
Kondisi lingkungan			Konsistensi		
+0.06	A	Ideal	+0.04	A	Perfect
+0.04	B	Excellent	+0.03	B	Excellent
+0.02	C	Good	+0.01	C	Good
0.00	D	Average	0.00	D	Average
-0.03	E	Fair	-0.02	E	Fair
-0.07	F	Poor	-0.04	F	Poor

(Sumber : Wignjosuebrot, 2008, hal.198)

3. *Speed Rating*

Sistem ini mengevaluasi performansi dengan mempertimbangkan tingkat keterampilan persatuan waktu saja.

4. *Objective Rating*

Dikembangkan oleh Munder dan Danner, metode ini tidak hanya menentukan kecepatan aktivitas, tetapi juga mempertimbangkan tingkat kesulitan pekerjaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kesulitan pekerjaan adalah jumlah anggota badan yang digunakan, pedal, kaki, penggunaan kedua tangan, koordinasi mata dengan tangan, penanganan dan bobot.

Universitas Indonesia

5. *Skill and Report Rating*
6. *Psychological Evolution of Performance Level*

2.2.5 Faktor Kelonggaran

Dalam menghitung waktu standar perlu memasukkan faktor kelonggaran. Faktor kelonggaran merupakan faktor koreksi yang harus diberikan kepada waktu kerja operator yang dalam melakukan pekerjaannya sering terganggu oleh pada hal-hal yang tidak diinginkan namun bersifat ilmiah, sehingga waktu penyelesaian menjadi lebih panjang atau lama. Faktor kelonggaran dibagi menjadi tiga yaitu:

1. Kelonggaran untuk keperluan pribadi (*personal allowance*), *Allowance* disini diberikan untuk hal-hal yang bersifat pribadi, misalnya pergi ke kamar kecil dan mengambil botol minuman dari tempat yang telah disediakan.
2. Kelonggaran untuk melepaskan lelah (*fatigue allowance*), *Allowance* disini diberikan untuk pekerja mengembalikan kondisi akibat kelelahan dalam bekerja. Kelelahan tercermin antara lain dari menurunnya hasil produksi, bila rasa *fatigue* ini berlangsung terus menerus maka akan terjadi *fatigue total*, yaitu anggota badan dari operator tidak dapat melakukan gerakan kerja sama sekali. Oleh sebab itu dengan diberikan faktor ini operator dapat mengatur kecepatan kerjanya sehingga lambatnya gerakan-gerakan kerja ditunjukkan untuk menghilangkan rasa *fatigue* tersebut.
3. Kelonggaran karena ada hambatan-hambatan yang tidak terduga (*unavoidable delay allowance*). *Allowance* ini diberikan untuk berjaga-jaga, seperti
 - Meminta petunjuk dan saran dari bagian departemen kualitas.
 - Mengambil *jig*, alat khusus, dan bahan khusus dari gudang.
 - Memperbaiki kerusakan dan kemacetan kecil.
 - Melakukan penyesuaian-penyesuaian pada mesin, dll.

2.2.6 Waktu Normal

Waktu normal didapatkan dari rata-rata waktu pengamatan dikalikan dengan *performance rating*, rumus sebagai berikut:

$$W_n = \bar{x} \times (1 + \text{performance rating}) \dots\dots\dots(2.6)$$

Tabel 2.2 Besarnya Kelonggaran Berdasarkan Faktor-faktor yang Berpengaruh

FAKTOR	CONTOH PEKERJAAN		KELONGGARAN (%)	
A. Tenaga yang dikeluarkan	Ekuivalen bahan (kg)		Pria	Wanita
1. Dapat diabaikan	Bekerja dimeja, duduk	Tanpa beban	0.0-6.0	0.0-6.0
2. Sangat ringan	Bekerja di meja, berdiri	0.00-2.25	6.0-7.5	6.0-7.5
3. Ringan	Menyekop, ringan	2.25-9.00	7.5-12	7.5-16.0
4. Sedang	Mencangkul	9.00-18.00	12.0-19.0	16.0-30.0
5. Berat	Mengayun palu berat	19.00-27.00	19.0-30.0	
6. Sangat berat	Memanggul beban	27.00-50.00	30.0-50.0	
7. Luar biasa berat	Memanggul karung berat	Diatas 50 kg		
B. Sikap Kerja				
1. Duduk	Bekerja duduk, ringan		0.0-1.0	
2. Berdiri diatas kaki	Badan tegak, ditumpu dua kaki		1.0-2.5	
3. Berdiri diatas satu kaki	Satu kaki mengerjakan alat kontrol		2.50-4.0	
4. Berbaring	Pada bagian sisi, belakang atau depan badan		2.5-4.0	
5. Membungkuk	Badan dibungkukkan bertumpu pada dua kaki		4.0-10.0	
C. Gerakan Kerja				
1. Normal	Ayunan bebas dari palu		0	
2. Agak terbatas	Ayunan terbatas dari palu		0.0-5.0	
3. Sulit	Membawa beban berat pada satu tangan		0.0-5.0	

Tabel 2.2 Besarnya Kelonggaran Berdasarkan Faktor-faktor yang Berpengaruh
(lanjutan)

FAKTOR	CONTOH PEKERJAAN	KELONGGARAN (%)	
4. Pada anggota-anggota badan terbatas	Bekerja dengan tangan di atas kepala	5.0-10.0	
5. Seluruh anggota badan terbatas	Bekerja di lorong pertambangan yang sempit	10.0-15.0	
D. Kelelahan Mata *		Pencahayaan	
		Baik	Buruk
1. Pandangan yang terputus-putus	Membaca alat ukur	0.0-6.0	0.0-6.0
2. Pandangan yang hampir terus menerus	Pekerjaan-pekerjaan yang teliti	6.0-7.5	6.0-7.5
3. Pandangan terus menerus dengan fokus berubah-ubah	Memeriksa cacat pada kain	7.5-12.0	7.5-16.0
4. Pandangan terus menerus dengan fokus tetap	Pemeriksaan yang teliti	12.0-19.0	16.0-13.0
E. Keadaan temperatur tempat kerja **			
	Temperatur (°C)	Normal	Berlebihan
1. Beku	Di bawah 0	Diatas 10	Diatas 12
2. Rendah	0-13	10.0-0.0	12.0-10.0
3. Sedang	13-22	5.0-0.0	8.0-0.0
4. Normal	22-28	0.0-5.0	0.0-8.0
5. Tinggi	28-38	5.0-40.0	8.0-100.0
6. Sangat tinggi	Di atas 38	Diatas 40	Diatas 100
F. Keadaan Atmosfir ***			
1. Baik	Ruangan yang berventilasi baik, udara segar	0	
2. Cukup	Ventilasi kurang baik, ada bau-bauan (tidak berbahaya)	0.0-5.0	

Tabel 2.2 Besarnya Kelonggaran Berdasarkan Faktor-faktor yang Berpengaruh
(lanjutan)

FAKTOR	CONTOH PEKERJAAN	KELONGGARAN (%)
3. Kurang baik	Adanya debu-debu beracun, atau tidak beracun tetapi banyak	5.0-10.0
4. Buruk	Adanya bau-bauan berbahaya yang mengharuskan menggunakan alat-alat pernafasan	10.0-12.0
G. Keadaan Lingkungan yang Baik		
1. Bersih sehat, cerah dengan kebisingan rendah		0
2. Siklus kerja berulang-ulang antara 5 - 10 detik		0.0-1.0
3. Siklus kerja berulang-ulang antar 0 - 5 detik		1.0-3.0
4. Sangat bising		0.0-5.0
5. Jika faktor-faktor yang berpengaruh dapat menurunkan kualitas		0.0-5.0
6. Terasa adanya getaran pada lantai		5.0-10.0
7. Keadaan-keadaan yang luar biasa (bunyi, kebersihan, dll)		5.0-15.0

*) Kontras antara warna hendaknya diperhatikan

**) Tergantung juga pada keadaan ventilasi

***) Dipengaruhi juga oleh ketinggian tempat kerja dari permukaan laut dan keadaan iklim

Catatan pelengkap : Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi bagi : pria = 0.0-2.5%

Wanita = 2.0-5.0%

(Sumber : Satalaksana et al., 1979, hal.151-153)

2.2.7 Waktu Standar

Waktu standar adalah waktu yang dibutuhkan oleh seorang pekerja yang memiliki tingkat kemampuan rata-rata untuk menyelesaikan suatu pekerjaan, dengan memperhitungkan waktu kelonggaran sesuai dengan situasi dan kondisi pekerjaan yang harus diselesaikan tersebut (Benyamin dan Andris, 2003). Waktu standar dihitung sebagai berikut :

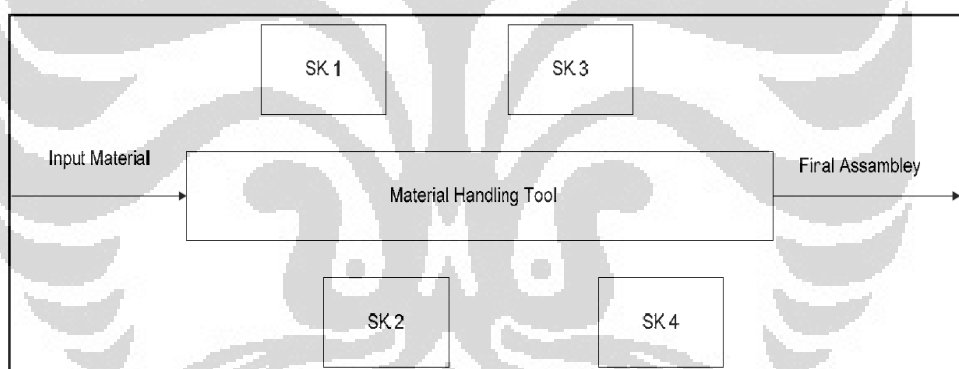
$$W_s = W_n \times (1 + allowance) \dots\dots\dots(2.7)$$

Universitas Indonesia

2.3 Line Balancing

Dalam lingkungan perusahaan bertipe *repetitive manufacturing* dengan produksi massal, peranan perencanaan produksi sangat penting, terutama dalam penugasan kerja pada lintasan perakitan (*assembly line*). Pengaturan dan perencanaan yang tidak tepat mengakibatkan setiap stasiun kerja di lintas perakitan mempunyai kecepatan produksi yang berbeda. Akibat selanjutnya adalah terjadi penumpukan material di antara stasiun kerja yang tidak berimbang kecepatannya (Purnomo, 2004).

Lintasan perakitan dapat didefinisikan sebagai sekelompok orang dan/atau mesin yang melakukan tugas-tugas sekuensial dalam merakit suatu produk. Lini perakitan merupakan lintasan produksi dimana material bergerak secara kontinyu dengan rata-rata laju kedatangan material berdistribusi *uniform* melewati stasiun kerja yang mengerjakan perakitan. Secara sederhana, lintasan perakitan dapat digambarkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.2 Lintasan Perakitan

Pada lintasan perakitan, secara garis besar ada dua tujuan yang harus di capai, yaitu:

1. Menyeimbangkan stasiun kerja.
2. Menjaga lintasan perakitan beroperasi secara kontinyu.

Upaya yang dilakukan untuk mencapai tujuan tersebut adalah dengan menyeimbangkan lintasan (*line balancing*). Keseimbangan lintasan adalah upaya untuk meminimumkan ketidakseimbangan diantara mesin-mesin atau personil untuk mendapatkan waktu yang sama di setiap stasiun kerja sesuai dengan kecepatan produksi yang diinginkan. Secara teknis keseimbangan lintasan

dilakukan dengan jalan mendistribusikan setiap elemen kerja ke stasiun kerja dengan acuan waktu siklus / *cycle time* (CT).

2.3.1 Terminologi *Line Balancing*

1. Elemen kerja, adalah pekerjaan yang harus dilakukan dalam suatu kegiatan perakitan.
2. Waktu Operasi (t_i), adalah waktu standar untuk menyelesaikan suatu operasi.
3. Stasiun kerja, adalah lokasi-lokasi tempat elemen kerja di kerjakan. Setelah menentukan interval waktu siklus, maka jumlah stasiun kerja yang efisien dapat ditetapkan dengan rumus berikut:

$$K_{min} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{CT} \dots\dots\dots(2.8)$$

Di mana:

t_i : waktu operasi / elemen ($i=1,2,3,\dots,n$)

CT : waktu siklus

n : jumlah elemen

K_{min} : jumlah stasiun kerja minimal

4. Waktu Siklus / *Cycle Time* (CT), merupakan waktu yang diperlukan untuk membuat satu unit produk pada satu stasiun. Apabila waktu produksi dan target produksi telah ditentukan, maka waktu siklus dapat diketahui dari hasil bagi waktu produksi dan target produksi. Dalam mendesain keseimbangan lintasan produksi untuk sejumlah produksi tertentu, waktu siklus harus sama atau lebih besar dari waktu operasi terbesar yang merupakan penyebab terjadinya *bottle neck* (kemacetan) dan waktu siklus juga harus sama atau lebih kecil dari jam kerja efektif per hari dibagi dari jumlah produksi per hari, yang secara matematis dinyatakan sebagai berikut.

$$t_i \max \leq CT \leq \frac{P}{Q} \dots\dots\dots(2.9)$$

Di mana:

$t_i \max$: waktu operasi terbesar pada lintasan

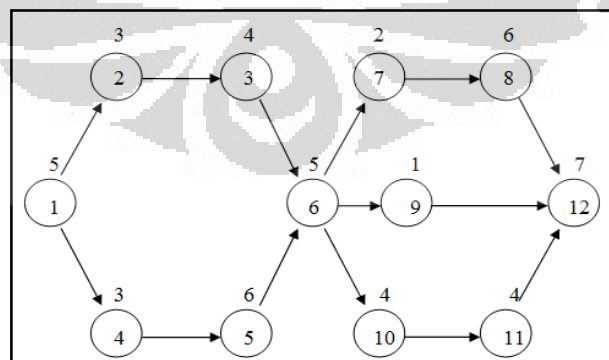
CT : waktu siklus (*cycle time*)

P : jam kerja efektif per hari

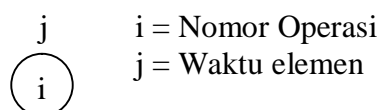
Q : jumlah produksi per hari

5. Waktu Stasiun Kerja (ST_K), adalah waktu yang dibutuhkan oleh sebuah stasiun kerja untuk mengerjakan semua elemen kerja yang didistribusikan pada stasiun kerja tersebut.
6. *Delay Time / Idle Time*, adalah selisih antara CT dengan ST_K . *Delay time* merupakan waktu menganggur yang terjadi setiap stasiun kerja. Besarnya idle time dapat dihitung dengan cara mengurangi waktu yang tersedia dengan waktu yang digunakan.
7. *Precedence Diagram*, adalah diagram yang menggambarkan urutan dan keterkaitan antar elemen kerja perakitan sebuah produk. Pendistribusian elemen kerja yang dilakukan untuk setiap stasiun harus memperhatikan *precedence diagram*.

Gambar 2.3. adalah contoh *precedence diagram*. Angka yang ada di dalam lingkaran menyebutkan urutan tiap elemen kerja, dan angka yang berada di luar lingkaran adalah menerangkan waktu siklus tiap elemen kerja.



Gambar 2.3 Bentuk *Precedence Diagram*



Universitas Indonesia

Untuk mengukur performansi sebelum dan sesudah dilakukan proses keseimbangan lintasan produksi dilakukan kriteria-kriteria berikut ini:

1. Efisiensi Lintasan

Efisiensi lintasan adalah rasio antara waktu yang digunakan dengan waktu yang tersedia. Berkaitan dengan waktu yang tersedia, lintasan akan mencapai keseimbangan apabila setiap stasiun kerja mempunyai waktu yang sama.

Setelah diseimbangkan, maka dalam lintasan perakitan berbentuk stasiun kerja yang terhubung secara seri. Pendistribusian elemen kerja yang ada membentuk stasiun kerja dilakukan berdasarkan waktu siklus. Rumus untuk menentukan efisiensi lintasan perakitan setelah proses keseimbangan lintasan adalah sebagai berikut.

$$Eff = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{CT \times n} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.10)$$

Di mana:

- t_i : waktu operasi
- n : jumlah stasiun kerja
- CT : waktu siklus

2. *Balance Delay*

Balance delay adalah rasio antara waktu *idle* dalam lintasan perakitan dengan waktu yang tersedia. Rumus yang digunakan untuk menentukan *balance delay* lini perakitan adalah sebagai berikut.

$$BD = \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \quad \dots\dots\dots(2.11)$$

Di mana:

- n : jumlah stasiun kerja
- CT : waktu siklus
- $\sum t_i$: jumlah waktu operasi dari semua operasi
- t_i : waktu operasi

BD : *balance delay* (%)

3. Indeks Penghalusan (*Smoothing Index* / SI)

Adalah suatu indeks yang mempunyai kelancaran relatif dari penyeimbang lintasan perakitan tertentu. Formula yang digunakan untuk menentukan besarnya SI adalah sebagai berikut.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (STi \max - STi)^2} \dots\dots\dots(2.12)$$

Di mana:

STi max: waktu maksimum di stasiun

STi : waktu stasiun di stasiun kerja ke-i

Nilai minimum dari *smoothing index* adalah 0, yang menandakan bahwa masing-masing stasiun kerja memiliki waktu proses yang sama.

2.3.2 Tujuan *Line Balancing*

Dengan adanya persamaan kapasitas untuk setiap stasiun yang berbeda maka hasil yang diharapkan dari proses line balancing adalah :

1. Menghindari penumpukan barang dalam proses pada suatu bagian produksi.
2. Menghindari penganguran pada bagian produksi lainnya.
3. Mendapatkan efisien sistem yang cukup tinggi.
4. Memenuhi rencana produksi yang telah ditetapkan.

2.3.3 Faktor-faktor yang Mempengaruhi *Line Balancing*

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi tingkat keseimbangan pada lini produksi, yaitu :

1. Keterlambatan bahan baku
2. Terjadinya kerusakan mesin
3. Bertumpuknya barang dalam proses pada tingkat proses tertentu
4. Kondisi mesin yang sudah tua
5. Kelemahan dalam merencanakan kapasitas mesin
6. Kualitas tenaga kerja yang kurang baik
7. Tata letak yang kurang baik

2.3.4 Masalah *Line Balancing*

Masalah *line balancing* terdiri dari penyeimbangan operasi dalam waktu yang sama dan juga waktu yang diperlukan untuk memenuhi kecepatan produksi. Setiap perubahan kecepatan produksi terhadap waktu dari stasiun kerja dinamakan waktu keseimbangan atau waktu stasiun. Tujuan dari keseimbangan ini adalah untuk menentukan jumlah stasiun kerja dan jumlah tenaga kerja setiap stasiun kerja dengan kombinasi atau pembagian aktivitas sehingga dapat dicapai waktu operasi sama dengan waktu siklus atau waktu stasiun dan meminimalkan waktu menganggur.

Permasalahan keseimbangan lintasan paling banyak terjadi pada proses perakitan (*assembly*) dibandingkan pada proses pabrikasi. Pabrikasi dari *sub* komponen-komponen biasanya memerlukan mesin-mesin berat dengan siklus panjang. Ketika beberapa operasi dengan peralatan yang berbeda dibutuhkan secara proses seri, maka terjadilah kesulitan dalam menyeimbangkan panjangnya siklus-siklus mesin, sehingga utilisasi kapasitas menjadi rendah. Pergerakan yang terus menerus kemungkinan besar dicapai dengan operasi-operasi perakitan yang dibentuk secara manual ketika beberapa dapat dibagi-bagi menjadi tugas kecil dengan durasi waktu yang pendek. Semakin besar fleksibilitas dalam mengkombinasikan beberapa tugas, maka semakin tinggi pula tingkat keseimbangan yang dapat dicapai.

Terdapat dua tipe permasalahan umum dalam penyeimbangan lintasan perakitan (*Simple Assembly Line Balancing Problem*), yaitu tipe I dan tipe II. Pada masalah tipe I, tingkat produksi yang diperlukan (yaitu waktu siklus), tugas perakitan, waktu tugas, dan persyaratan *precedence* diberikan. Tujuannya adalah untuk meminimalkan jumlah stasiun kerja. Sebuah lintasan perakitan dengan sedikit stasiun kerja akan menghasilkan biaya tenaga kerja yang lebih rendah dan kebutuhan ruang berkurang. Masalah tipe I umumnya terjadi pada saat merancang lintasan perakitan baru. Untuk tujuan ini, untuk mencapai ramalan permintaan jumlah stasiun kerja harus dikurangi. Untuk ekspansi (ketika permintaan meningkat) kita juga dapat menggunakan masalah tipe I, untuk meminimasi jumlah penambahan stasiun kerja. Dalam masalah tipe II, ketika jumlah stasiun kerja atau operator adalah tetap, tujuannya adalah untuk meminimalkan

Universitas Indonesia

waktu siklus. Hal ini akan memaksimalkan tingkat produksi. Masalah tipe II umumnya terjadi, ketika perusahaan ingin menghasilkan jumlah optimal dengan menggunakan jumlah stasiun kerja yang ada tanpa membeli mesin-mesin baru atau tanpa ekspansi. Dari kedua tipe masalah tersebut, masalah tipe I lebih umum dibandingkan masalah tipe II (Ponnambalam, P. et al., 2000).

2.3.5 Berapa Cara untuk Mencapai Keseimbangan Lintasan

Terdapat beberapa cara yang dapat ditempuh untuk mencapai keseimbangan lini produksi, yaitu :

1. Penumpukan material

Cara ini mungkin merupakan cara yang paling mudah bila dibandingkan dengan cara yang lainnya, yaitu dengan membuat tumpukan material di daerah kerja yang lambat. Dan pada area ini harus dilakukan kerja lembur atau menambah pekerja. Sehingga cara ini bukanlah cara yang terbaik, karena penumpukan sejumlah besar material akan mengakibatkan pemborosan ruangan.

2. Pergerakan Operator

Cara ini dilakukan bila seorang operator mempunyai waktu operasi yang lebih singkat dari pada operator lainnya, sehingga operator tersebut dapat menangani lebih dari satu operasi.

3. Pemecahan Elemen Kerja

Cara ini dilakukan bila suatu operasi membutuhkan waktu yang lebih singkat dari pada waktu operasi pada stasiun kerja lainnya. Cara ini biasanya paling umum digunakan pada penyeimbang operasi-operasi perakitan, karena biasanya operasi-operasi pada perakitan mudah dibagi-bagi sehingga diperoleh keseimbangan yang tinggi dengan sedikit waktu menganggur.

4. Perbaikan Informasi

Dengan cara ini dilakukan perbaikan metode kerja pada operasi yang lebih lambat dibandingkan operasi lainnya, dan juga memerlukan waktu *set-up* yang lebih lama. Dengan studi kerja akan dihasilkan cara yang lebih baik untuk melakukan pekerjaan dan akan mengurangi waktu kerja yang dibutuhkan.

5. Perbaikan Performansi Operator

Selain perbaikan metode kerja, penyeimbangan dapat dilakukan melalui penggantian operator dengan operator lain yang dapat bekerja lebih baik atau lebih cepat. Selain itu diberikan bonus tambahan apabila operator tersebut dapat bekerja sama cepatnya dengan yang lainnya dan memberikan latihan.

6. Pengelompokan Operasi

Penyeimbangan dengan cara ini ialah dengan mengelompokkan beberapa operasi atau elemen kerja ke dalam stasiun-stasiun kerja secara seimbang, sehingga setiap stasiun kerja memiliki waktu kerja yang sama.

7. Mengubah Kecepatan Mesin

Bila suatu operasi atau sebuah mesin yang bekerja lambat dapat ditingkatkan agar setingkat dengan kecepatan operasi lainnya, maka masalah keseimbangan mudah teratasi.

8. Aneka Produk atau Kombinasi Lintasan

Kadang-kadang ada kemungkinan untuk mengelompokkan barang-barang yang serupa dan memproduksi barang-barang tersebut dengan kombinasi lintasan. Secara teori, waktu menganggur mesin pada suatu produk dapat digunakan untuk membuat produk lainnya.

2.4 Metode *Line Balancing*

Untuk menyeimbangkan lintasan perakitan secara garis besar metode yang sering digunakan adalah

1. Metode Heuristik

Metode ini menggunakan aturan-aturan yang logis dalam memecahkan masalah. Metode ini tidak menjamin hasil yang optimum, akan tetapi dirancang untuk menghasilkan strategi yang relative lebih baik dan mendekati hasil yang optimum sesungguhnya.

Beberapa metode umum heuristik yang dikenal antara lain

- Metode pengurutan waktu terbesar (*largest candidate rule*)
- Metode pendekatan daerah (*region approach*)
- Metode bobot posisi peringkat (*ranked positional weight*)

2. Metode Analitis

Metode dengan pendekatan sistematis yang memberikan solusi yang optimal tetapi memerlukan perhitungan yang besar dan rumit.

3. Metode Komputerisasi

Metode ini menggunakan bantuan computer dalam menyeimbangkan lintasan perakitan. Salah satu metode yang sering digunakan *COMSOAL* (*Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line*).

2.4.1 Metode *Helgeson-Birnie*

Nama yang lebih populer dari metode ini adalah metode bobot posisi peringkat (*Rank Positional Weight*). Metode ini sesuai dengan namanya dikemukakan oleh Helgeson dan Birnie. Langkah-langkah dalam metode ini adalah sebagai berikut (Elsayed dan Thomas, 1994):

1. Buatlah *precedence* diagram.
2. Tentukan posisi peringkat (*positional weight*) untuk setiap elemen kerja (sebuah posisi peringkat sebuah operasi berhubungan pada waktu alur terpanjang dari awal operasi hingga akhir jaringan).
3. Urutkan elemen-elemen kerja berdasarkan posisi peringkat pada langkah nomor 2. Elemen kerja dengan posisi peringkat paling tinggi diurutkan paling pertama.
4. Proses penempatan elemen-elemen kerja pada stasiun kerja, dimana elemen kerja dengan posisi peringkat dan urutan paling tinggi yang ditempatkan pertama.
5. Jika pada stasiun kerja ada sisa waktu setelah menempatkan sebuah operasi, tempatkan operasi dengan urutan selanjutnya pada stasiun kerja, sepanjang operasi tidak melanggar hubungan *precedence*, waktu stasiun kerja tidak melebihi waktu siklus.
6. Ulangi langkah 4 dan 5 sampai semua elemen kerja ditempatkan pada stasiun kerja.

Untuk dapat memperjelas prosedur diatas, maka dapat dilihat pada contoh masalah berikut.

Sebuah perusahaan memiliki jalur perakitan yang terdiri dari 12 elemen kerja dengan hubungan ketergantungan (*precedence*) seperti terlihat pada gambar

2.3. Terapkan metode *Helgeson Birnie* untuk menyeimbangkan jalur perakitan diperusahaan tersebut.

Penyelesaian :

Langkah 1, dihitung dulu bobot setiap elemen kerja. Bobot elemen kerja 1 adalah jumlah waktu elemen kerja 1 dan seluruh operasi setelahnya yang berhubungan, berarti 34 (jumlah waktu elemen kerja 1,2,...,12). Bobot elemen kerja 2 adalah 27 (jumlah waktu elemen kerja 2,3,4,5,6,7,8,9,10,11,12). Selengkapnya seperti dilihat pada tabel dibawah ini.

Tabel 2.3 Bobot Elemen Kerja untuk Contoh Masalah

Elemen Kerja	Bobot	Elemen Kerja	Bobot
1	34	7	15
2	27	8	13
3	24	9	8
4	29	10	15
5	25	11	11
6	20	12	7

Langkah 2, urutkan elemen kerja ini berdasarkan bobot dari bobot tertinggi ke bobot terendah. Hasilnya terlihat pada tabel 2.4.

Tabel 2.4 Rangkaian Bobot Elemen Kerja untuk Contoh Masalah

Elemen Kerja, i	Bobot	t_i
1	34	5
4	29	3
2	27	3
5	25	6
3	24	4
6	20	5
7	15	2
10	15	4

Tabel 2.4 Ranging Bobot Elemen Kerja untuk Contoh Masalah (lanjutan)

Elemen Kerja, i	Bobot	t_i
8	13	6
11	11	4
9	8	1
12	7	7

Langkah 3, tentukan waktu siklus, misalkan 10.

Langkah 4, stasiun kerja I (WS1), alokasikan elemen kerja 1 (bobot tertinggi) ke sini, sisa waktu = 5 ($CT-t_1$), selanjutnya alokasikan elemen kerja 4, sisa waktu = 2 ($CT-t_1-t_4$), hentikan alokasi di WS1, elemen kerja di ranging berikutnya (elemen kerja 2) memiliki waktu operasi = 3, sehingga tidak dapat dialokasikan ke WS1 (akan membuat waktu stasiun kerja 1 > CT). alokasikan elemen kerja 2 ke stasiun kerja berikutnya.

Langkah 5, stasiun kerja II (WS2), alokasikan elemen kerja 2 ($t = 3$) dan elemen kerja 5 ($t = 6$), selanjutnya alokasikan elemen kerja 3 ke stasiun kerja berikutnya, karena bila dialokasikan ke WS2 akan membuat waktu stasiun kerja 2 (ST_2) > 10 (CT) demikian seterusnya. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 2.5.

Tabel 2.5 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Helgeson-Birnie* untuk Contoh Masalah

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i	ST_K	$idle$
I	1	5	8	2
	4	3		
II	2	3	9	1
	5	6		
III	3	4	10	0
	6	5		
	9	1		
IV	7	2	10	0

Tabel 2.5 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Helgeson-Birnie* untuk Contoh Masalah (lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i	ST_K	$idle$
IV	10	4		
	11	4		
V	8	6	6	4
VI	12	7	7	3

Untuk mengukur performansi dari pengelompokan elemen kerja ke dalam stasiun kerja ini apakah sudah baik atau belum, perlu dihitung nilai efisiensi lini, *balance delay*, dan *smoothing index*.

Efisiensi Lintasan :

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\
 &= \frac{(8+9+10+10+6+7)}{10 \times 6} \times 100\% \\
 &= 83,33\%
 \end{aligned}$$

Balance delay :

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \\
 &= \frac{60 - 50}{60} \times 100\% \\
 &= 16.67\%
 \end{aligned}$$

Smoothing index :

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_{i_{max}} - ST_i)^2} \\
 &= \sqrt{(2^2 + 1^2 + 0^2 + 0^2 + 4^2 + 3^2)} \\
 &= 5.48
 \end{aligned}$$

2.4.2 Metode *Moodie Young*

Metode ini terdiri dua fase (Purnomo, 2004). Fase pertama adalah membuat pengelompokan stasiun kerja. Elemen kerja ditempatkan pada stasiun kerja dengan aturan, bila terdapat dua elemen kerja yang bisa dipilih maka elemen kerja

yang mempunyai waktu lebih besar di tempatkan yang pertama. Pada fase ini pula, *precedence* diagram dibuat matriks P dan F, yang menggambarkan elemen kerja pendahulu (P) dan elemen kerja yang mengikuti (F) untuk semua elemen kerja yang ada.

Pada fase kedua mencoba untuk mendistribusikan waktu menganggur (*idle*) secara merata (sama) untuk tiap-tiap stasiun melalui mekanisme jual dan transfer elemen antar stasiun. Langkah-langkah yang harus dilakukan pada fase kedua ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi waktu stasiun kerja terbesar dan waktu stasiun kerja terkecil
2. Tentukan *GOAL*, dengan rumus:

$$GOAL = \frac{STmax - STmin}{2} \dots\dots\dots(2.13)$$

3. Identifikasi sebuah elemen kerja yang terdapat dalam stasiun kerja dengan waktu yang paling maksimum, yang mempunyai waktu lebih kecil dari *GOAL*, yang elemen kerja tersebut apabila dipindah ke stasiun kerja dengan waktu yang paling minimum tidak melanggar *precedence* diagram.
4. Pindahkan elemen kerja tersebut.
5. Ulangi evaluasi sampai tidak ada lagi elemen kerja yang dapat dipindah.

Untuk menjelaskan prosedur diatas, kembali pada contoh soal penerapan metode *Helgeson-Birnie*.

Penyelesaian :

Fase 1. Pembuatan Matriks P dan F

Tabel dibawah menunjukkan matriks P dan F dari kasus sebelumnya. Kolom 1 dalam matriks P menunjukkan nomor elemen kerja. Kolom 2, 3, dan 4 matriks P menunjukkan elemen kerja yang mendahului elemen kerja pada kolom 1. Kolom 2, 3, dan 4 di matriks F menunjukkan elemen kerja yang pengerjaannya didahului oleh elemen kerja pada kolom 1. Jumlah kolom dalam kasus lain tidak harus tiga, tergantung pada jumlah elemen kerja yang mendahului (untuk matriks P) dan jumlah elemen kerja yang mengikuti (untuk matriks F). dalam contoh ini, jumlah kolom = 3 (elemen terbanyak yang mendahului ada pada elemen 12, yaitu 3

elemen. Matriks F berkolom 3, karena elemen 6 memiliki 3 elemen (terbanyak) yang mengikutinya.

Tabel 2.6 Matriks P dan F untuk Contoh Masalah

Elemen Kerja, i	Matriks P			t_i	Elemen Kerja, i	Matriks F		
1	0	0	0	5	1	2	4	0
2	1	0	0	3	2	3	0	0
3	2	0	0	4	3	6	0	0
4	1	0	0	3	4	5	0	0
5	4	0	0	6	5	6	0	0
6	3	5	0	5	6	7	9	10
7	6	0	0	2	7	8	0	0
8	7	0	0	6	8	12	0	0
9	6	0	0	1	9	12	0	0
10	6	0	0	4	10	11	0	0
11	10	0	0	4	11	12	0	0
12	8	9	11	7	12	0	0	0

Misalkan ditentukan waktu siklus = 10, maka elemen-elemen kerja ini akan digabungkan (dengan algoritma *Moodie Young*) dengan syarat jumlah waktu di setiap stasiun kerja tidak lebih dari 10.

Langkah 1, pilihlah elemen kerja yang memiliki nilai 0 semua pada matriks P, pilih *elemen kerja* dengan waktu operasi terbesar bila ada lebih dari 1 elemen kerja yang matriks P-nya 0 semua. Dalam contoh ini berarti elemen kerja 1 yang dipilih, waktu operasinya = 5.

Langkah 2, tentukan elemen kerja di matriks F yang berhubungan dengan elemen kerja yang terpilih di langkah 1. Elemen kerja yang berhubungan dengan elemen kerja 1 ini dalam matriks F adalah elemen kerja 2 dan 4. Dipilih yang memiliki waktu operasi terbesar dahulu. Jika waktu stasiun kerja ditambahkan dengan waktu operasi elemen kerja yang terpilih dilangkah sebelumnya kurang dari waktu siklus yang ditentukan, pilihlah *task* kedua (lihat waktu stasiun kerjanya,

Universitas Indonesia

apa masih mungkin, dalam kasus ini maksimal 10). Elemen kerja 2 waktu operasinya = 3 dan elemen kerja 4 waktu operasinya 3, sama. Bila sama dapat salah satu tanpa aturan. Misal dipilih elemen kerja 2, dasar pemilihan ini akan konsisten untuk langkah selanjutnya, yaitu “Memilih *elemen kerja* dengan nomor elemen kerja terkecil bila waktu operasinya sama”.

Pada stasiun kerja I elemen kerja 1 waktu operasinya = 5, dan elemen kerja 2 waktu operasinya = 3, jumlahnya 8, elemen kerja 4 tidak mungkin digabung (waktu stasiun kerja akan > 10). Maka elemen kerja 1 dan 2 digabung dalam stasiun kerja I, dan elemen kerja 4 ke stasiun kerja II.

Stasiun kerja II. Sudah ada elemen kerja 4 dengan waktu operasinya = 3, masih ada sisa waktu = 7 (agar maksimal 10). Langkah berikutnya kembali ke langkah 1 dan 2, demikian seterusnya. Di matriks F, elemen kerja yang berhubungan dengan elemen kerja 4 adalah elemen kerja 5 ($t_i = 6$) dan elemen kerja 3 ($t_i = 4$), dipilih elemen kerja dengan waktu operasi terbesar, yaitu elemen kerja 5. Dipilih elemen kerja 5. Penambahan elemen kerja membuat waktu stasiun kerja = 9 (t_i elemen kerja 4 + t_i elemen kerja 5), elemen kerja 3 tidak dapat digabung karena t_i -nya = 4. Penambahan elemen kerja 3 membuat waktu stasiun II menjadi 13 ($9 + t_i$ elemen kerja 3), maka elemen kerja 3 ke stasiun kerja III.

Stasiun kerja III, lihat matriks P dan F. Elemen kerja 3 yang berhubungan di matriks P adalah elemen kerja 2 (sudah teralokasi, hentikan), di matriks F adalah elemen kerja 6, gabungkan ke elemen kerja 3, waktu stasiun kerja = 9 (t_i elemen kerja 3 = 4 + t_i elemen kerja 6 = 5). Cari elemen kerja yang berhubungan dengan elemen kerja 6, di matriks P = elemen kerja 3 & 5, sudah teralokasi, hentikan, di matriks F adalah elemen kerja 7, 9, dan 10 ($t_i = 2, 1, \text{ dan } 4$), elemen kerja 10 mesti kandidat terbesar, namun tidak layak karena penyertaan ke stasiun kerja III akan membuat waktu stasiun kerja III > 10 . Dipilih elemen kerja 9. Elemen kerja 7 dan 10 ke stasiun kerja berikutnya.

Stasiun kerja IV, elemen kerja 10 (elemen kerja 7 dikesampingkan dulu) berhubungan dengan elemen kerja 11 (elemen kerja 6 sudah teralokasi jadi tidak perlu disebut lagi). Elemen kerja IV menjadi 8 ($4 + 4$), elemen kerja yang berhubungan dengan elemen kerja 11 adalah elemen kerja 12 ($t_i = 7$), maka tidak layak. Elemen kerja 12 dialokasikan ke stasiun kerja lain.

Universitas Indonesia

Stasiun kerja V, stasiun kerja IV sudah selesai (sudah ke elemen kerja 12, yaitu elemen kerja terakhir), di stasiun kerja III elemen kerja yang belum teralokasi adalah elemen kerja 7 ($t_i = 2$), yang berhubungan dengan elemen kerja 7 adalah elemen kerja 8 ($t_i = 6$). Elemen kerja 7 dan 8 digabung menjadi stasiun kerja V ($t_i = 8$, sisa 2), elemen kerja yang berhubungan dengan elemen kerja 8 tinggal elemen kerja 12 ($t_i = 7$, tidak layak). Elemen kerja 12 dialokasikan ke stasiun lain. Hasil fase satu dapat dilihat pada tabel 2.7.

Tabel 2.7 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Moodie Young* Fase 1 untuk Contoh Masalah

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i	ST_K	<i>Idle</i>
I	1	5	8	1
	2	3		
II	4	3	9	1
	5	6		
III	3	4	10	0
	6	5		
	9	1		
IV	10	4	8	2
	11	4		
V	7	2	8	2
	8	6		
VI	12	7	7	3

Efisiensi lintasan :

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\
 &= \frac{(8+9+10+8+8+7)}{10 \times 6} \times 100\% \\
 &= 83,3\%
 \end{aligned}$$

Balance delay :

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \\
 &= \frac{60 - 50}{60} \times 100\% \\
 &= 16.67\%
 \end{aligned}$$

Smoothing index :

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (STi_{max} - STi)^2} \\
 &= \sqrt{(2^2 + 1^2 + 0^2 + 2^2 + 2^2 + 3^2)} \\
 &= 4,69
 \end{aligned}$$

Fase 2, merupakan perbaikan hasil dari fase 1.

Stasiun kerja dengan waktu maksimal adalah stasiun kerja III (10), stasiun kerja dengan waktu minimal adalah VI (7) sehingga $GOAL = 1.5$. Alokasikanlah salah satu elemen kerja di stasiun kerja III ini ke stasiun kerja VI. Elemen kerja yang dipilih ini harus berhubungan (sesuai matriks P dan F) dengan elemen kerja di stasiun kerja VI dan nilainya lebih kecil daripada $GOAL$. Karena di stasiun kerja VI hanya ada elemen kerja 12, maka dipilih elemen kerja di stasiun kerja III yang berhubungan dengan elemen kerja 12, di matriks P dan F adalah elemen kerja 9. Pindahkan elemen kerja 9 ke stasiun kerja VI. Setelah ada pemindahan ini, maka pengelompokan stasiun kerja menjadi seperti terlihat pada tabel 2.8.

Karena elemen kerja 9 (dengan $t_i = 1$) pindah ke stasiun kerja VI, maka stasiun kerja III yang waktu siklusnya 10 (terbesar) menjadi berkurang 1. Waktu stasiun kerja yang terbesar dijadikan waktu siklus, maka waktu siklus menjadi 9. Dengan demikian efisiensi lintasan, balance delay dan smoothing index dihitung dengan $CT = 9$ tersebut.

Tabel 2.8 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Moodie Young* Fase 2 untuk Contoh Masalah

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i	ST_K	<i>Idle</i>
I	1	5	8	1
	2	3		
II	4	3	9	0

Tabel 2.8 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Moodie Young* Fase 2 untuk Contoh Masalah (lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i	ST_K	$Idle$
II	5	6		
III	3	4	9	0
	6	5		
IV	10	4	8	1
	11	4		
V	7	2	8	1
	8	6		
VI	12	7	8	1
	9	1		

Efisiensi Lintasan:

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\
 &= \frac{(8+9+9+8+8+8)}{9 \times 6} \times 100\% \\
 &= 92,6\%
 \end{aligned}$$

Balance delay :

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \\
 &= \frac{54 - 50}{54} \times 100\% \\
 &= 7.4\%
 \end{aligned}$$

Smoothing index :

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_{i_{max}} - ST_i)^2} \\
 &= \sqrt{(1^2 + 0^2 + 0^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2)} \\
 &= 2
 \end{aligned}$$

2.4.3 Metode *New Bidirectional*

Metode new bidirectional (Kao dan Yeh, 2009) merupakan suatu metode yang digunakan untuk menyeimbangkan lintasan perakitan. Metode ini

merupakan kombinasi antara metode *bidirectional* (School dan Klein 1997) dan metode *critical path method* (Kao dan Yeh 2006). Notasi yang digunakan dalam metode ini adalah sebagai berikut.

C waktu siklus yang diberikan

i indeks dari *forward workstations*

j indeks dari *backward workstations*

S elemen-elemen kerja yang akan dialokasikan ke stasiun kerja

S_a elemen-elemen kerja yang sudah dialokasikan ke stasiun kerja

S_u elemen-elemen kerja yang belum dialokasikan ke stasiun kerja

Scp elemen-elemen kerja pada jalur kritis

\bar{Scp} elemen-elemen kerja yang tidak pada jalur kritis

$T(FSi)$ total waktu elemen kerja yang dialokasikan pada *forward workstation* i

$T(BSj)$ total waktu elemen kerja yang dialokasikan pada *backward workstation* j

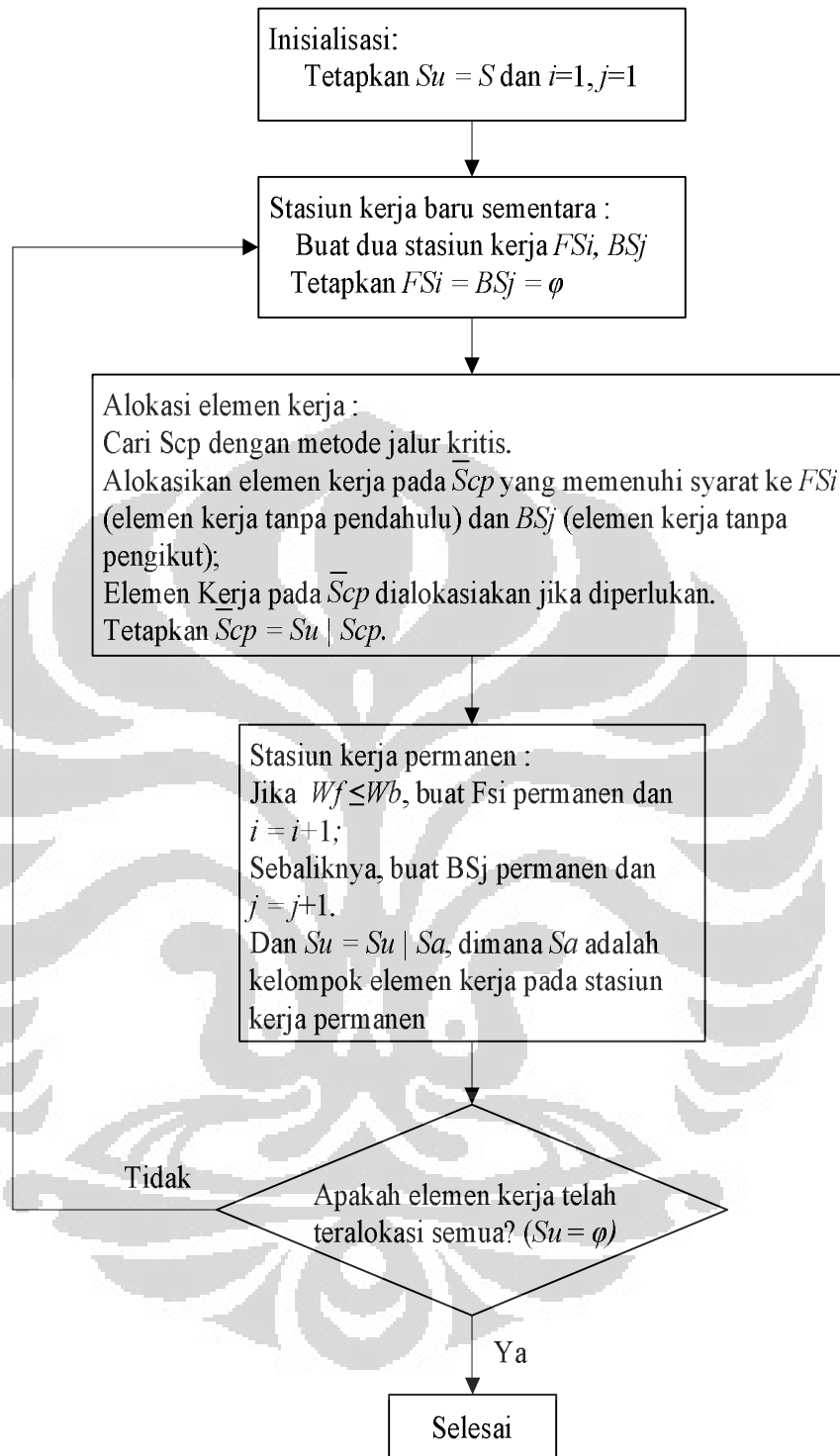
Wf *slack time* dari *forward workstation* i , dimana

$$Wf = C - T(FSi) \dots\dots\dots(2.14)$$

Wb *slack time* dari *backward workstation* j , dimana

$$Wb = C - T(BSj) \dots\dots\dots(2.15)$$

Ada dua langkah utama yang dilakukan untuk mengalokasikan elemen kerja dalam metode ini. Langkah pertama adalah membuat stasiun kerja baru. Pada metode *bidirectional* elemen kerja dialokasikan ke stasiun kerja dari kedua ujung lintasan perakitan secara bersamaan. Oleh karena itu setiap kali memulai untuk mengalokasikan pekerjaan ke stasiun kerja yang baru, dibuat dua stasiun kerja sementara secara bersamaan: satu disebut sebagai *forward workstation (FS)* dan yang lainnya adalah *backward workstation (BS)*. Elemen kerja yang memenuhi syarat kemudian dialokasikan untuk *FS* dan *BS* secara bersamaan. Suatu elemen kerja yang akan dialokasikan pada *FS* dikatakan memenuhi syarat apabila semua elemen kerja pendahulu telah ditetapkan, dan ketika elemen kerja tersebut dialokasikan, waktu pada stasiun kerja tidak melebihi dari waktu siklus yang telah ditetapkan, begitu juga dengan elemen kerja yang akan di alokasikan pada *BS*, elemen kerja pengikut ditetapkan terlebih dahulu dan ketika elemen kerja tersebut

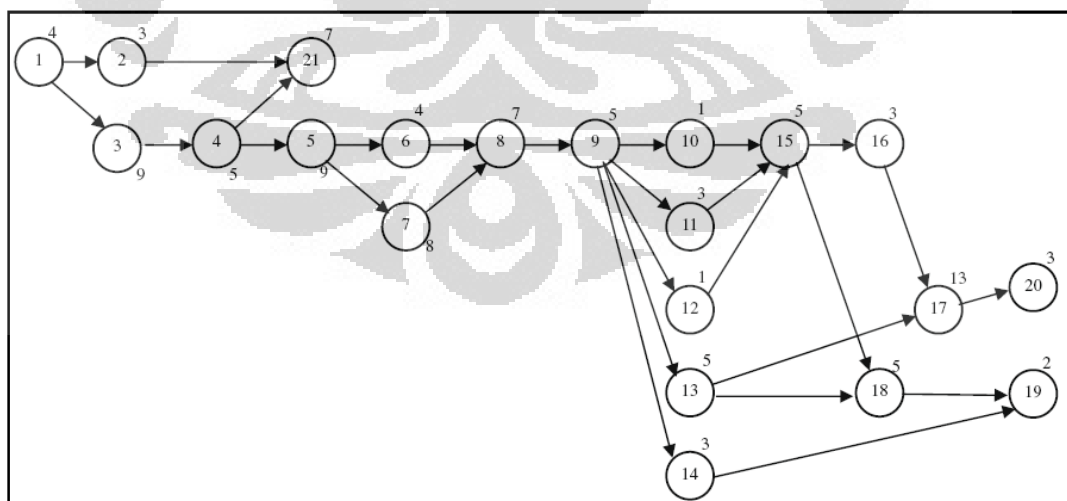


Gambar 2.4 Flow Chart Metode New Bidirectional

dialokasikan, waktu pada stasiun kerja tidak melebihi waktu siklus yang telah ditetapkan.

Langkah kedua adalah proses pengalokasian elemen kerja. Pertama ditentukan terlebih dahulu elemen kerja yang terdapat pada jalur kritis, dimana elemen kerja tersebut mempunyai prioritas utama untuk dialokasikan. Untuk *FS*, pertama dialokasikan elemen kerja yang terdapat pada jalur kritis dan tidak memiliki elemen kerja pendahulu. Untuk elemen kerja yang tidak terdapat pada jalur kritis, dapat dialokasikan apabila pemilihan elemen kerja pada jalur kritis bila dialokasikan akan melanggar *precedence diagram* dan melebihi waktu siklus yang ditetapkan. Begitu juga pada *BS*, pertama dialokasikan elemen kerja yang terdapat pada jalur kritis dan tidak memiliki elemen kerja pengikut. Untuk elemen kerja yang tidak terdapat pada jalur kritis, dapat dialokasikan apabila pemilihan elemen kerja pada jalur kritis bila dialokasikan akan melanggar *precedence diagram* dan melebihi waktu siklus yang ditetapkan.

Setelah elemen kerja dialokasikan pada *FS* dan *BS*, selanjutnya adalah memilih salah satu stasiun kerja untuk dijadikan stasiun kerja permanen. Untuk memilih stasiun kerja yang akan menjadi permanen, maka pilih stasiun kerja yang memiliki *slack time* terkecil. Setelah salah satu stasiun kerja menjadi permanen ulangi langkah 1 dan 2 hingga semua elemen kerja teralokasi pada stasiun kerja. Untuk menjelaskan prosedur tersebut maka dapat dilihat pada contoh masalah dibawah.



Gambar 2.5 *Precedence Diagram* untuk Contoh Masalah Metode *New Bidirectional*

Terdapat 21 elemen kerja, total waktu proses 105, dan waktu siklus 14.

Penyelesaian:

Langkah 0

Inisialisasi

$S_u = S = \{1,2,3,\dots,21\}$ dan $i = 1, j = 1$

Iterasi 1

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. *FS1* dan *BS1*.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp = \{1,3,4,5,7,8,9,11,15,16,17,20\}$

$\bar{Scp} = \{2,6,10,12,13,14,18,19,21\}$

$FS1 = \{1,3\}$

$BS1 = \{20,21,2\}$

Langkah 3

$T(FS1) = 13 \quad Wf = 1$

$T(BS1) = 13 \quad Wb = 1$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah *FS1*

$S_a = \{1,3\}, i = 2$

Iterasi 2

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. *FS2* dan *BS1*.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp = \{4,5,7,8,9,11,15,16,17,20\}$

$\bar{Scp} = \{2,6,10,12,13,14,18,19,21\}$

$FS2 = \{4,5\}$

$BS1 = \{20,21,2\}$

Langkah 3

$T(FS2) = 14 \quad Wf = 0$

$T(BS1) = 13 \quad Wb = 1$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS2$

$$S_a = \{ 4,5 \}, i = 3$$

Iterasi 3

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS3$ dan $BS1$.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$$Scp = \{ 7,8,9,11,15,16,17,20 \}$$

$$\bar{Scp} = \{ 2,6,10,12,13,14,18,19,21 \}$$

$$FS3 = \{ 7,6 \}$$

$$BS1 = \{ 20,21,2 \}$$

Langkah 3

$$T(FS3) = 12 \quad Wf = 2$$

$$T(BS1) = 13 \quad Wb = 1$$

Karena $Wb \leq Wf$, maka stasiun kerja permanen adalah $BS1$

$$S_a = \{ 20,21,2 \}, j = 2$$

Iterasi 4

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS3$ dan $BS2$.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$$Scp = \{ 7,8,9,11,15,16,17 \}$$

$$\bar{Scp} = \{ 6,10,12,13,14,18,19 \}$$

$$FS3 = \{ 7,6 \}$$

$$BS2 = \{ 17 \}$$

Langkah 3

$$T(FS3) = 12 \quad Wf = 2$$

$$T(BS2) = 13 \quad Wb = 1$$

Karena $Wb \leq Wf$, maka stasiun kerja permanen adalah $BS2$

$$S_a = \{ 17 \}, j = 3$$

Iterasi 5

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS3$ dan $BS3$.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \overline{Scp}

$$Scp = \{ 7,8,9,11,15,16 \}$$

$$\overline{Scp} = \{ 6,10,12,13,14,18,19 \}$$

$$FS3 = \{ 7,6 \}$$

$$BS3 = \{ 19,18,13 \}$$

Langkah 3

$$T(FS3) = 12 \quad Wf = 2$$

$$T(BS3) = 12 \quad Wb = 2$$

Karena $Wb = Wf$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS3$

$$Sa = \{ 7,6 \}, i = 4$$

Iterasi 6

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS4$ dan $BS3$.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \overline{Scp}

$$Scp = \{ 8,9,11,15,16 \}$$

$$\overline{Scp} = \{ 10,12,13,14,18,19 \}$$

$$FS4 = \{ 8,9,10,12 \}$$

$$BS3 = \{ 19,18,13 \}$$

Langkah 3

$$T(FS4) = 14 \quad Wf = 0$$

$$T(BS3) = 12 \quad Wb = 2$$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS4$

$$Sa = \{ 8,9,10,12 \}, i = 5$$

Iterasi 7

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS5$ dan $BS3$.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \overline{Scp}

$$Scp = \{ 11,15,16 \}$$

$$\bar{Scp} = \{ 13,14,18,19 \}$$

$$FS5 = \{ 11,13,15 \}$$

$$BS3 = \{ 19,18,13 \}$$

Langkah 3

$$T(FS5) = 13 \quad Wf = 1$$

$$T(BS3) = 12 \quad Wb = 2$$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS5$

$$Sa = \{ 11,13,15 \}, i = 6$$

Iterasi 8

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS6$ dan $BS3$.

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$$Scp = \{ 16 \}$$

$$\bar{Scp} = \{ 14,18,19 \}$$

$$FS6 = BS3 = \{ 16,14,18,19 \}$$

Langkah 3

Karena $FS6 = BS3$, maka proses telah selesai.

Tabel 2.9 Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja Metode *New Bidirectional* untuk Contoh Masalah

Iterasi	Langkah 1 (stasiun kerja Sementara)	Langkah 2 (alokasi elemen kerja)	Langkah 3 (stasiun kerja permanen)
1	FS1,BS1	FS1 = { 1,3 } BS1 = { 20,21,2 }	Wf = Wb = 1 FS1 = { 1,3 }
2	FS2,BS1	FS2 = { 4,5 } BS1 = { 20,21,2 }	Wf = 0 Wb = 1 FS2 = { 4,5 }
3	FS3,BS1	FS3 = { 7,6 } BS1 = { 20,21,2 }	Wf = 2 Wb = 1 BS1 = { 20,21,2 }
4	FS3,BS2	FS3 = { 7,6 } BS2 = { 17 }	Wf = 2 Wb = 1 BS2 = { 17 }
5	FS3,BS3	FS3 = { 7,6 } BS3 = { 19,18,13 }	Wf = 2 Wb = 2 FS3 = { 7,6 }

Tabel 2.9 Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja Metode *New Bidirectional* untuk Contoh Masalah (lanjutan)

6	FS4,BS3	FS4 = { 8,9,10,12 } BS3 = { 19,18,13 }	Wf = 0 Wb = 2 FS4 = { 8,9,10,12 }
7	FS5,BS3	FS5 = { 11,13,15 } BS3 = { 19,18,13 }	Wf = 1 Wb = 2 FS5 = { 11,13,15 }
8	FS6,BS3	FS6 = BS3 = { 14,16,18,19 }	FS6 = BS3 = { 14,16,18,19 }

Setelah proses iterasi dan elemen kerja selesai dilakukan, kemudian stasiun kerja diurutkan. Pada tabel 2.10 dapat dilihat susunan stasiun kerja hasil iterasi dan alokasi elemen kerja.

Tabel 2.10 Susunan Stasiun Kerja Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja untuk Contoh Masalah

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i	ST_K	$Idle$
I/FS1	1	4	13	1
	3	9		
II/FS 2	4	5	14	0
	5	9		
III/FS 3	6	4	12	2
	7	8		
IV/FS4	8	7	14	0
	9	5		
	10	1		
	12	1		
V/FS5	11	3	13	1
	13	5		
	15	5		
VI/FS6/BS3	14	3	13	1
	16	3		
	18	5		
	19	2		

Tabel 2.10 Susunan Stasiun Kerja Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja untuk Contoh Masalah (lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i	ST_K	$Idle$
VII/BS2	17	13	13	1
VIII/BS1	2	3	13	1
	21	7		
	20	3		

Efisiensi lintasan :

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\
 &= \frac{(13+14+12+14+13+13+13+13)}{14 \times 8} \times 100\% \\
 &= 93,75\%
 \end{aligned}$$

Balance delay :

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \\
 &= \frac{112 - 105}{54} \times 100\% \\
 &= 6.25\%
 \end{aligned}$$

Smoothing index :

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_{i_{max}} - ST_i)^2} \\
 &= \sqrt{(1^2 + 0^2 + 2^2 + 0^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2 + 1^2)} \\
 &= 3
 \end{aligned}$$

BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Gambaran Umum Produk

Transmisi merupakan salah satu bagian dari *under body* yang mempunyai peranan penting dalam suatu kendaraan. Fungsi dari transmisi adalah sebagai pengatur tingkat percepatan dari suatu kendaraan. Putaran yang dihasilkan dari mesin bakar diteruskan ke *input shaft* yang kemudian melalui *counter gear* dan dilanjutkan ke *propeller shaft* melalui *output shaft*. Berdasarkan cara kerjanya transmisi terbagi menjadi dua tipe; yaitu tipe *automatic* dan manual.

Transmisi yang diproduksi oleh PT. X termasuk dalam tipe transmisi manual. Transmisi tersebut digunakan untuk kendaraan roda empat dari salah satu perusahaan agen tunggal pemegang merek (ATPM) di Indonesia yaitu PT. Astra Daihatsu Motor yang merupakan *customer* dari PT. X.



Gambar 3.1 Transmisi Unit

(Sumber : Departemen Production Engineering PT.X)

3.2 *Line Assembling* Transmisi PT. X

Pada *line assembling* transmisi PT. X, terdapat 5 tipe unit transmisi yang di produksi. Tipe-tipe transmisi tersebut adalah tipe EJ, K3, 3SZ, D99B, dan D40D.

Dari 5 tipe unit transmisi tersebut, terdapat beberapa jenis *part* yang berbeda antara yang satu dengan yang lainnya, akan tetapi perbedaan tersebut hanyalah terdapat pada bentuk dan dimensi sehingga tidak mempengaruhi waktu kerja dalam menyelesaikan satu unit transmisi dikarenakan tidak terdapatnya perbedaan metode kerja dalam merakitnya.

Jumlah pekerja pada *line assembling* transmisi PT. X saat ini adalah 13 operator dengan spesifikasi pekerjaan yang berbeda-beda, pada tabel 3.1 dapat dilihat spesifikasi secara umum untuk masing-masing operator yang bekerja pada saat ini.

Tabel 3.1 Spesifikasi Umum Pekerjaan Operator Saat Ini

Operator	SPESIFIKASI PEKERJAAN
1	Melakukan proses peracikan small part I
2	Melakukan proses peracikan small part II
3	Melakukan proses sub assy housing clutch, idle gear dan assembling pada conveyor
4	Melakukan proses sub assy output shaft dan assembling pada conveyor
5	Melakukan proses sub assy hosing extension, case transmission, dan cover control shaft
6	Melakukan proses assembling pada conveyor
7	Melakukan proses assembling pada conveyor
8	Melakukan proses assembling pada conveyor
9	Melakukan proses assembling pada conveyor dan proses leak test
10	Melakukan proses pemindahan transmisi dari conveyor, mesin leak test, dan mesin tes bench
11	Melakukan proses test bench
12	Melakukan proses oil drain
13	Melakukan proses finishing

Sedangkan untuk mesin dan *equipment* yang digunakan dalam proses perakitan transmisi dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Mesin dan *Equipment* pada *Line Assembling*

No.	Nama Mesin	Fungsi	Jumlah (unit)
1	Mesin press oil seal housing clutch	Sub assy housing clutch	1
2	Jig pemasangan shaft idle gear	Sub assy idle gear	1
3	Mesin press bearing dan gear speedometer drive	Sub assy output shaft	1
4	Mesin press oil seal housing extension	Sub assy housing extension	1
5	Jig pemasangan plate oil guide		1
4	Mesin press oil seal dan plug tight case transmission	Sub assy case transmission	1
5	Jig pemasangan shaft cover control shaft	Sub assy cover control shaft	1
6	Mesin Threebond	Pemberian sealant	1
7	Mesin Leak Test	Proses leak test	1
8	Jig Leak Test	Tempat transmisi untuk proses leak test	4
9	Mesin test bench untuk tipe EJ, K3, dan 3 SZ	Proses test bench	2
10	Mesin test bench untuk tipe D99B dan D40D	Proses test bench	2
11	Mesin oil drain	Proses oil drain	1
12	Hoist A	Pemindah transmisi dari doly pada ujung conveyor ke jig leak test	1
13	Hoist B	Pemindah transmisi dari mesin test bench ke mesin oil drain	1
14	Hoist C	Pemindah transmisi dari mesin oil drain ke pallet finish	
15	Conveyor	Menjalankan dolly secara otomatis pada saat proses perakitan	1
15	Dolly	Tempat untuk melakukan perakitan pada conveyor	9

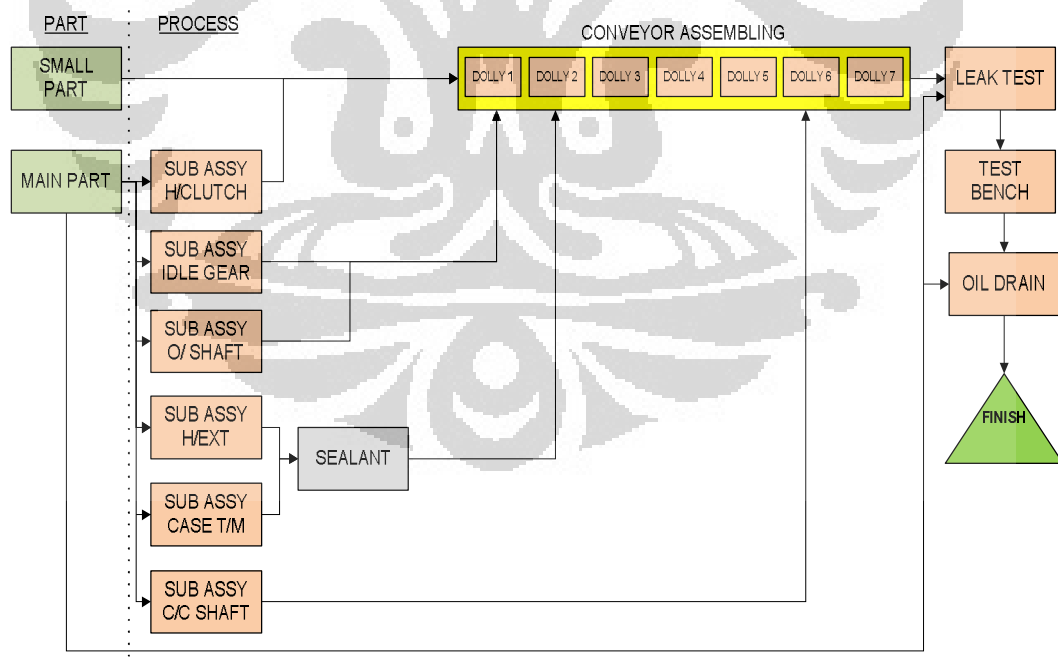
Universitas Indonesia

Proses perakitan transmisi dilakukan di *conveyor* dengan menggunakan *dolly*. Jumlah *dolly* pada *conveyor* tersebut adalah tujuh unit, dimana satu unit *dolly* digunakan oleh satu operator. Untuk kondisi saat ini, jumlah operator yang melakukan perakitan pada *conveyor* adalah enam orang, sehingga satu unit *dolly* pada *conveyor* hanya berfungsi sebagai *dolly transit* antara operator 4 dengan operator 6. Sedangkan untuk dua *dolly* lainnya digunakan untuk meracik small part yang akan dimasukkan kembali satu per satu pada *conveyor* apabila satu *dolly* pada *conveyor* telah keluar.

Untuk menghadapi permintaan yang bersifat fluktuatif maka *speed conveyor* pada *line assembling* transmisi PT.X dapat di-*setting* sesuai dengan *cycle time* yang diharapkan. Adapun *setting-an speed conveyor* yang tersedia adalah untuk *cycle time* 2.2 menit, 2.1 menit, 2.0 menit, dan seterusnya hingga untuk *cycle time* 1.0 menit.

3.3 Flow Process Perakitan Transmisi

Flow process untuk perakitan transmisi PT.X adalah seperti yang digambarkan di bawah ini (Gambar 3.2).



Gambar 3.2 Flow Process Perakitan Transmisi PT.X

Proses perakitan transmisi diawali dengan kegiatan operator 1 dan 2 untuk meracik *small part* pada *dolly*. Apabila kegiatan meracik *small part* tersebut telah selesai, maka *dolly* tersebut akan dimasukkan pada *conveyor* yang akan dilanjutkan dengan perakitan oleh operator yang bekerja pada *conveyor* yaitu operator 3, 4, 6, 7, 8, dan 9. Sedangkan untuk *main part*, *part-part* tersebut di-*supply* dengan menggunakan *roller supply material* dan pada *box-box part* yang terdapat pada masing-masing mesin untuk melakukan proses *sub assy* maupun perakitan dan juga ke *conveyor*.

Pada tabel 3.3 dapat dilihat *part-part* yang termasuk *small part* dan pada tabel 3.4 *part-part* yang termasuk *main part*.

Tabel 3.3 Daftar *Small Part*

No.	Tipe Transmisi	Nomor Part	Nama Part	Jumlah (pcs)
1	ALL TYPE	33201-BZ010	ARM S/A REVERSE SHIFT	1
2	ALL TYPE	9004A-36044	BALL	3
3	ALL TYPE	9004A-36059	BEARING NEEDLE ROLLER	1
4	ALL TYPE	91611-60860	BOLT M8, 12H	2
5	ALL TYPE	9004A-10101	BOLT HEXAGONAL (REAMER BOLT) M8, L19, 12H	2
6	ALL TYPE	9004A-11177	BOLT HEXAGONAL SOCKET HEAD CAP M8, L24, 6H	1
7	ALL TYPE	90041-20087	BOLT W/WASHER M6, L16, 10H	1
8	ALL TYPE	91612-61035	BOLT W/WASHER M10,L35,14H	6
9	ALL TYPE	9004A-11178	BOLT W/WASHER M8,L20,12H	9
10	ALL TYPE	91611-60828	BOLT W/WASHER M8,L28,12H	2
11	ALL TYPE	91611-60840	BOLT W/WASHER M8,L40,12H	8
12	ALL TYPE	33519-BZ010A	BOOTS CONTROL SHAFT	1
13	ALL TYPE	84248-BZ010	CLAMP SWITCH HARDNESS	1
14	EJ	33212-BZ010	FORK GEAR SHIFT No. 1	1
	K3	33212-BZ020	FORK GEAR SHIFT No. 1	
	3SZ	33212-BZ030	FORK GEAR SHIFT No. 1	
	D99B	33212-BZ050	FORK GEAR SHIFT No. 1	

Universitas Indonesia

Tabel 3.3 Daftar *Small Part* (lanjutan)

No.	Tipe Transmisi	Nomor Part	Nama Part	Jumlah
14	D40D	33212-BZ060	FORK GEAR SHIFT No. 1	1
15	EJ	33213-BZ010	FORK GEAR SHIFT No. 2	1
	K3	33213-BZ020	FORK GEAR SHIFT No. 2	
	3SZ	33213-BZ030	FORK GEAR SHIFT No. 2	
	D99B	33213-BZ050	FORK GEAR SHIFT No. 2	
	D40D	33213-BZ060	FORK GEAR SHIFT No. 2	
16	EJ	33214-BZ010	FORK GEAR SHIFT No. 3	1
	K3	33214-BZ020	FORK GEAR SHIFT No. 3	
	3SZ	33214-BZ030	FORK GEAR SHIFT No. 3	
	D99B	33214-BZ050	FORK GEAR SHIFT No. 3	
	D40D	33214-BZ060	FORK GEAR SHIFT No. 3	
17	ALL TYPE	9004A-43006	GASKET	2
18	ALL TYPE	9004A-43007	GASKET	2
19	ALL TYPE	9004A-43005	GASKET	4
20	ALL TYPE	9004A-43003	GASKET	1
21	ALL TYPE	9004A-43004	GASKET	1
22	ALL TYPE	33122-BZ020	GASKET T/M CASE COVER	1
23	EJ	33234-BZ010	HEAD 5th REVERSE SHIFT	1
	K3	33234-BZ020	HEAD 5th REVERSE SHIFT	
	3SZ	33234-BZ030	HEAD 5th REVERSE SHIFT	
	D99B	33234-BZ050	HEAD 5th REVERSE SHIFT	
	D40D	33234-BZ060	HEAD 5th REVERSE SHIFT	
24	EJ	33232-BZ010	HEAD GEAR SHIFT No. 1	1
	K3	33232-BZ020	HEAD GEAR SHIFT No. 1	
	3SZ	33232-BZ030	HEAD GEAR SHIFT No. 1	
	D99B	33232-BZ050	HEAD GEAR SHIFT No. 1	
	D40D	33232-BZ060	HEAD GEAR SHIFT No. 1	

Tabel 3.3 Daftar *Small Part* (lanjutan)

No.	Tipe Transmisi	Nomor Part	Nama Part	Jumlah
25	EJ	33233-BZ010	HEAD GEAR SHIFT No. 2	1
	K3	33233-BZ020	HEAD GEAR SHIFT No. 2	
	3SZ	33233-BZ030	HEAD GEAR SHIFT No. 2	
	D99B	33233-BZ050	HEAD GEAR SHIFT No. 2	
	D40D	33233-BZ060	HEAD GEAR SHIFT No. 2	
26	ALL TYPE	33285-BZ010	HOLDER, REVERSE RESTRICT PIN	1
27	ALL TYPE	31230-BZ010	HUB ASSY CLUTCH RELEASE BEARING	1
28	ALL TYPE	33256-BZ010	LEVER SELECT INNER	1
29	ALL TYPE	33251-BZ010	LEVER SHIFT INNER	1
30	ALL TYPE	33449-BZ010	MAGNET TRANSMISSION	1
31	ALL TYPE	9004A-30014	O - RING	1
32	ALL TYPE	9004A-25026	PIN STRAIGHT	2
33	ALL TYPE	9004A-25024	PIN SLOTTED SPRING	6
34	ALL TYPE	33284-BZ010	PIN, REVERSE RESTRICT, NO.2	1
35	ALL TYPE	33485-BZ010	PLATE SPEEDOMETER SLEEVE LOCK	1
36	ALL TYPE	33326-BZ010	PLATE, BEARING LOCK	1
37	ALL TYPE	33266-BZ010	PLATE, SHIFT INTERLOCK	2
38	ALL TYPE	9004A-93003	PLUG BREATHER	1
39	ALL TYPE	9004A-34010	PLUG WITH HEAD STRAIGHT SCREW	2
40	ALL TYPE	9004A-34009	PLUG WITH HEAD STRAIGHT SCREW	1
41	ALL TYPE	9004A-36011	RADIAL BALL BEARING FR	1
42	ALL TYPE	33151-BZ010	RETAINER BEARING REAR	1
43	ALL TYPE	9004A-52062	RING HOLE SNAP	1
44	ALL TYPE	33367-BZ010	RING SYNCHRONIZER	1
45	ALL TYPE	9004A-31013	SEAL TYPE S OIL	1
46	ALL TYPE	9004A-31016	SEAL, TYPE T OIL	1
47	ALL TYPE	33242-BZ010	SHAFT GEAR SHIFT FORK No. 1	1

Tabel 3.3 Daftar *Small Part* (lanjutan)

No.	Tipe Transmisi	Nomor Part	Nama Part	Jumlah
48	ALL TYPE	33243-BZ030	SHAFT GEAR SHIFT FORK No. 2	1
49	ALL TYPE	33244-BZ010	SHAFT GEAR SHIFT FORK No. 3	1
50	ALL TYPE	33283-BZ010	SHAFT REVERSE RESTRICT	1
51	ALL TYPE	33203-BZ010	SHAFT S/A SHIFT LEVER	1
52	ALL TYPE	33484-BZ010	SLEEVE SPEEDOMETER SHAFT	1
53	ALL TYPE	33467-87501A	SLINGER 5th GEAR OIL	1
54	ALL TYPE	9004A-50028	SPRING COMPRESSION	3
55	ALL TYPE	9004A-50033	SPRING TORSION	1
56	ALL TYPE	9004A-50032B	SPRING TORSION	1
57	ALL TYPE	33356-BZ010	SPRING WAVE	1
58	ALL TYPE	84210-BZ010	SWITCH ASSY BACK UP LAMP	1
59	ALL TYPE	9004A-20015	WASHER PLATE	1
60	ALL TYPE	33462-BZ010	WASHER REVERSE IDLER THRUST	1
61	ALL TYPE	94531-00800	WASHER WAVE	2
62	ALL TYPE	LABEL ASSY-01	STICKER PRODUKSI	1

(Sumber : Departemen Production Engineering PT.X)

Tabel 3.4 Daftar *Main Part*

No.	Tipe Transmisi	Nomor Part	Nama Part	Jumlah
1	ALL TYPE	9004A-36051	BEARING RADIAL BALL FR	1
2	ALL TYPE	9004A-36055	BEARING RADIAL BALL RR	1
3	ALL TYPE	90041-20087	BOLT W/WASHER M6, L16, 10H	1
4	ALL TYPE	9004A-10102	BOLT WASHER BASED HEXAGON M10, L17, 14H	4
5	ALL TYPE	31126-BZ010	BOOT, CLUTCH RELEASE FORK	1
6	ALL TYPE	33519-BZ010A	BOOTS CONTROL SHAFT	1
7	ALL TYPE	33111-97501B	CASE TRANSMISSION	1
8	ALL TYPE	31232-BZ020	CLIP RELEASE BEARING HUB	1

Universitas Indonesia

Tabel 3.4 Daftar *Main Part* (lanjutan)

No.	Tipe Transmisi	Nomor Part	Nama Part	Jumlah
9	ALL TYPE	33528-87Z01A	COVER CONTROL SHAFT	1
10	EJ	31233-BZ010	FORK CLUTCH RELEASE	1
10	K3, 3SZ, D99B	31233-BZ030	FORK CLUTCH RELEASE	1
	D40D	31233-BZ060	FORK CLUTCH RELEASE	
11	ALL TYPE	33482-BZ030A	GEAR SPEEDOMETER DRIVEN	1
12	EJ	33904-BZ010	GEAR S/A COUNTER FR	1
	K3	33904-BZ020	GEAR S/A COUNTER FR	
	3SZ	33904-BZ030	GEAR S/A COUNTER FR	
	D99B	33904-BZ050	GEAR S/A COUNTER FR	
	D40D	33904-BZ060	GEAR S/A COUNTER FR	
13	EJ	33903-BZ010	GEAR S/A INPUT	1
	K3	33903-BZ020	GEAR S/A INPUT	
	3SZ	33903-BZ030	GEAR S/A INPUT	
	D99B	33903-BZ050	GEAR S/A INPUT	
	D40D	33903-BZ060	GEAR S/A INPUT	
14	ALL TYPE	33402-BZ020	GEAR S/A REVERSE IDLER	1
15	ALL TYPE	33481-BZ030	GEAR SPEEDOMETER DRIVE	1
16	EJ	31111-BZ020C	HOUSING CLUTCH	1
	K3, 3SZ, D99B	33111-BZ010D	HOUSING CLUTCH	
	D40D	31111-BZ030	HOUSING CLUTCH	
17	EJ, K3, 3SZ, D99B	33103-BZ020	HOUSING SUB-ASSY, EXTENSION	1
	D40D	33103-BZ030	HOUSING SUB-ASSY, EXTENSION	
18	ALL TYPE	31230-BZ010	HUB ASSY CLUTCH RELEASE BEARING	1
19	ALL TYPE	9004A-17201	NUT LOCK	1
20	ALL TYPE	9004A-31014	OIL SEAL T TYPE	1
21	ALL TYPE	9004A-31017	OIL SEAL T TYPE	1
22	ALL TYPE	9004A-31015	OIL SEAL, T TYPE	1

Tabel 3.4 Daftar *Main Part* (lanjutan)

No.	Tipe Transmisi	Nomor Part	Nama Part	Jumlah
23	ALL TYPE	9004A-31018	OIL SEAL, K TYPE	1
24	ALL TYPE	9004A-25025	PIN GROVED	2
25	ALL TYPE	9004A-25023	PIN SLOTED SPRING	1
26	ALL TYPE	35345-BZ010	PLATE OIL GUIDE	1
27	ALL TYPE	9004A-33012	PLUG TIGHT	1
28	ALL TYPE	33451-BZ020	SHAFT REVERSE IDLER GEAR	1
29	EJ	33321-BZ010	SHAFT OUTPUT	1
29	K3	33321-BZ020	SHAFT OUTPUT	1
	3SZ	33321-BZ030	SHAFT OUTPUT	
	D99B	33321-BZ050	SHAFT OUTPUT	
	D40D	33321-BZ060	SHAFT OUTPUT	
30	ALL TYPE	33205-BZ010	SHAFT S/A SELECT LEVER	1
31	ALL TYPE	31234-BZ010	SPRING RELEASE FORK ANTI RATTLE	1
32	ALL TYPE	9004A-50034	SPRING TENSION	1

(Sumber : Departemen Production Engineering PT.X)

Untuk operator 3 sebelum melakukan poses perakitan pada *conveyor* operator tersebut terlebih dahulu melakukan proses *sub assy housing clutch* dan *idle gear*. Hasil dari proses *sub assy* terbut akan dibawa ke *dolly* dan dilanjutkan dengan melakukan proses perakitan pada *dolly* di *conveyor*. Begitu juga dengan operator 4, sebelum melakukan proses perakitan pada *dolly* di *conveyor* terlebih dahulu melakukan proses *sub assy output shaft*.

Operator 5 melakukan proses *sub assy housing extension*, *case transmission*, dan *cover control shaft* dan dilanjutkan dengan proses pemberian *sealant* pada *housing extension* dan *case transmission* menggunakan mesin *threebond*. Untuk *sub assy cover control shaft* setelah man power melakukan proses *sub assy* , *sub assy cover control shaft* tersebut akan ditaruh pada *dolly*

oleh operator 5. Sedangkan untuk *case transmission* dan *housing extension* akan diambil oleh operator 6 dari mesin *threebond*.

Proses perakitan pada *conveyor* selanjutnya dilakukan oleh operator 6, 7, 8, dan 9. Setelah proses perakitan pada *conveyor* selesai dilakukan, proses selanjutnya adalah proses *leak test*, kemudian dilanjutkan dengan proses *test bench*, *oil drain* dan terakhir transmisi diletakkan pada *pallet finish*.

3.4 Operation Process Chart Perakitan Transmisi

Untuk mempermudah dalam mengetahui proses perakitan transmisi, dapat dilihat *operation process chart* perakitan transmisi pada gambar 3.3.

3.5 Pengumpulan Data

3.5.1 Elemen Kerja

Elemen kerja merupakan pecahan dari gerakan seorang operator dalam melakukan suatu pekerjaan. Pada tabel 3.5 dapat dilihat elemen kerja sekaligus urutan pada masing-masing operator dalam melakukan perakitan.

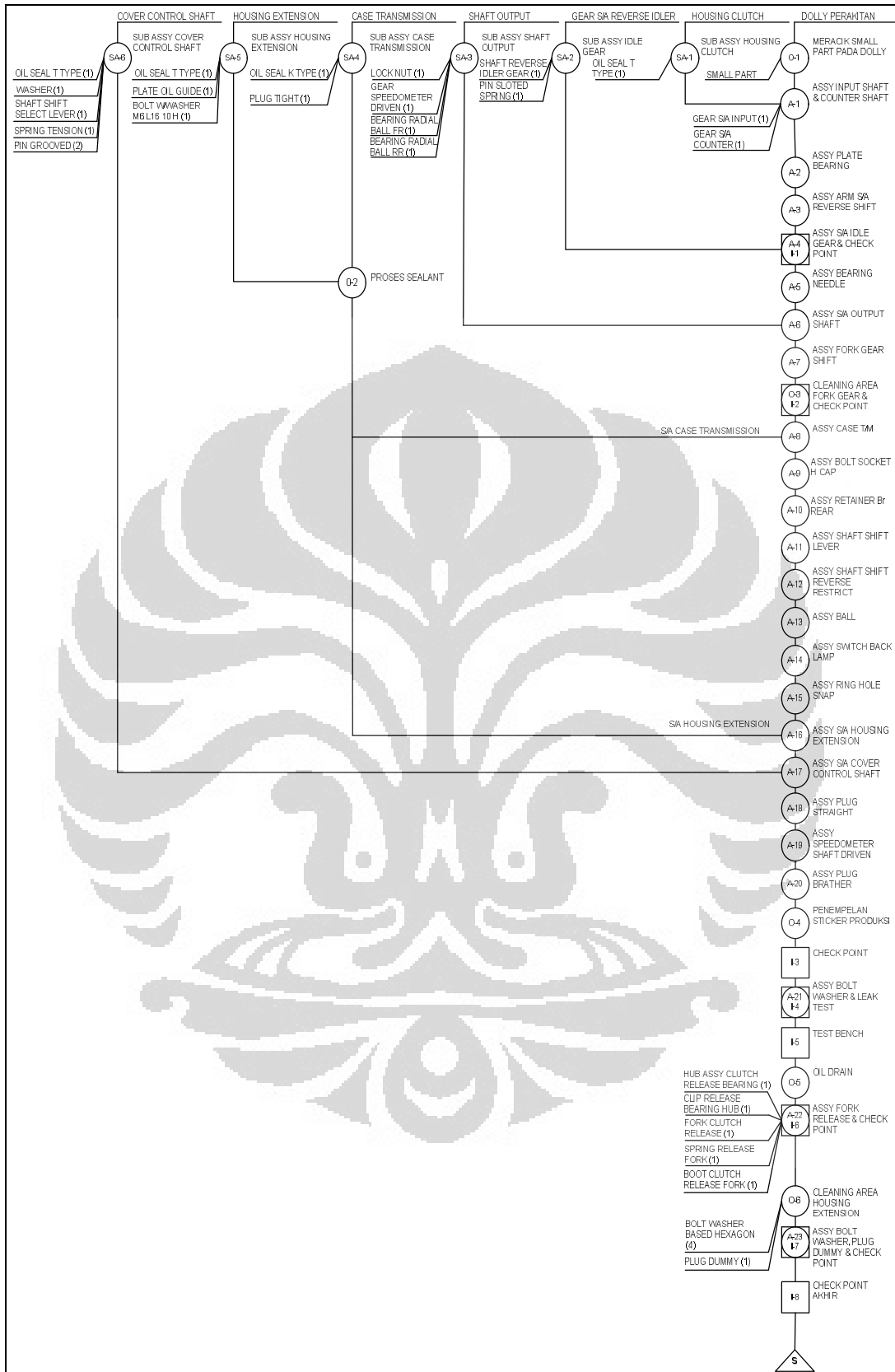
3.5.2 Pengukuran Waktu Elemen Kerja

Pengukuran waktu elemen kerja dilakukan untuk setiap elemen kerja pada saat kegiatan produksi berlangsung. Metode yang digunakan adalah pengukuran waktu kerja dengan jam henti. Jumlah pengamatan awal dilakukan sebanyak 30 kali pengamatan pada masing-masing elemen kerja. Untuk melihat data hasil pengukuran waktu kerja dapat dilihat pada lampiran 1.

3.5.3 Pengamatan Faktor-faktor Penyesuaian

Untuk menghitung waktu standar diperlukan faktor-faktor penyesuaian. Pemberian nilai dari faktor-faktor penyesuaian dilakukan berdasarkan pengamatan selama melakukan pengambilan data waktu kerja dan pendapat dari narasumber di lingkungan kerja.

Pemberian nilai dari faktor-faktor penyesuaian dilakukan menurut cara *Westing House*. Untuk mengetahui keseluruhan nilai faktor penyesuaian pada masing-masing operator dapat dilihat pada tabel 3.6.



Gambar 3.3 Operation Process Chart Perakitan Transmisi

Tabel 3.5 Elemen Kerja dan Urutannya

Stasiun Kerja	Operator	No Urut	Elemen Kerja
I RACIK SMALL PART I	1	1	JALAN MENGAMBIL KANBAN PRODUKSI PADA PAPAN KANBAN
		2	JALAN MENUJU UJUNG CONVEYOR
		3	MEMUTAR DOLLY
		4	JALAN MEMBAWA DOLLY KE RESTORANT PART
		5	MERACIK SMALL PART I
II RACIK SMALL PART II	2	6	MERACIK SMALL PART II
		7	JALAN MEMBAWA DOLY KE AWAL CONVEYOR
III DOLLY 1	3	8	AMBIL H/CLUTCH, BERI OLI PADA PERMUKAAN LUBANG OIL SEAL, TEKAN TOMBOL START
		9	SUB ASSY IDLE GEAR
		10	BERI OLI PADA PERMUKAAN OIL SEAL H/CLUTCH
		11	MEMBAWA H/CLUTCH & S/A IDLE GEAR KE DOLY
		12	PEMASANGAN INPUT SHAFT & COUNTER SHAFT
		13	PEMASANGAN PLATE BEARING LOCK, PLATE SHIFT INTERLOCK, SPRING TENSION & BOLT
		14	PENGENCANGAN BOLT PADA PLATE BEARING LOCK, TORQUE WRENCH
		15	PEMASANGAN ARM REVERSE SHIFT, REVERSE SHIFT, TORQUE WRENCH
		16	PEMASANGAN S/A IDLE GEAR, SPRING TORSION PADA ARM PADA H/CLUTCH, TORQUE WRENCH+CHECK POINT
		17	PEMASANGAN RING SYNCHRO, SPRING WAVE & NEEDLE BEARING
IV DOLLY 2	4	18	PEMASANGAN LOCK NUT PADA OUTPUT SHAFT PRESS I
		19	PASANG GEAR SPEEDOMETER DRIVE PADA OUTPUT SHAFT PRESS I, LETAKKAN PADA JIG II
		20	AMBIL OUTPUT SHAFT BARU, PASANG BEARING, LETAKKAN PADA JIG I
		21	PRESS BEARING OUTPUT SHAFT BARU & OUTPUT SHAFT I, TEKAN TOMBOL START
		22	MENARUH S/A OUTPUT SHAFT KE DOLY
		23	PEMASANGAN S/A OUTPUT SHAFT PADA COUNTER SHAFT
		24	PEMASANGAN PLUG BREATHER, TORQUE WRENCH
		25	PEMASANGAN FORK GEAR SHIFT 3 - 4, SHAFT GEAR SHIFT FORK & HEAD GEAR
		26	PEMASANGAN FORK GEAR SHIFT 1 - 2, SHAFT GEAR SHIFT FORK & HEAD GEAR
		27	PEMASANGAN FORK GEAR SHIFT 5 - REVERSE, SHAFT GEAR SHIFT FORK & HEAD GEAR
		28	MEMBERSIHKAN DENGAN AIR GUN & CHECK POINT
V SUB ASSY	5	29	JALAN MENUJU MESIN PRESS OIL SEAL H/EXT
		30	PASANG OIL SEAL JIG MESIN PRESS
		31	AMBIL, BERI GREASE PADA H/EXT

Tabel 3.5 Elemen Kerja dan Urutannya (lanjutan)

Stasiun Kerja	Operator	No Urut	Elemen Kerja
V SUB ASSY	5	32	SAMBIL MEMBAWA H/EXT, AMBIL CASE T/M DARI MESIN PRESS
		33	JALAN MENUJU MESIN THREEBOND
		34	MELETAKKAN CASE T/M & H/EXT DI JIG, TEKAN TOMBOL START
		35	JALAN MENUJU TABLE JIG H/EXT
		36	SUB ASSY H/EXT
		37	LETAKKAN H/EXT DI JIG MESIN PRESS
		38	BERI PELUMAS PADA AREA LUBANG H/EXT, TEKAN TOMBOL START
		39	AMBIL OIL SEAL, PLUG TIGHT DAN CASE T/M
		40	PASANG OIL SEAL, PLUG TIGHT DAN CASE T/M DI JIG
		41	BERI PELUMAS DI AREA LUBANG CASE T/M, TEKAN TOMBOL START
		42	AMBIL COVER CONTROL SHAFT
		43	TARUH C C/SHAFT DI TABLE JIG
		44	S/A C C/SHAFT
		45	MENARUH S/A C C/ SHAFT KE DOLY
VI DOLLY 4	6	46	MENGAMBIL CASE T/M & H/EXT, TARUH H/EXT PADA DOLY & PASANG CASE T/M
		47	PEMASANGAN PIN STRIGHT PADA CASE T/M
		48	PASANG BOLT & SWITCH /H PADA CASE T/M
		49	PENGENCANGAN BOLT PADA CASE T/M, TORQUE WRENCH
		50	PASANG BOLT SOCKET SOCKET H CAP PADA CASE T/M
		51	PENGENCANGAN BOLT SOCKET H CAP PADA CASE T/M, TORQUE WRENCH
		52	PASANG RETAINER Br REAR, ROTOR OIL PUMP, MAGNET TRANS
		53	PEMASANGAN DAN PENGENCANGAN BOLT PADA RETAINER Br REAR, TORQUE WRENCH
VII DOLLY 5	7	54	PASANG BOLT PADA H/EXT
		55	PEMASANGAN SHAFT SHIFT LEVER & LEVER SHIFT INNER
		56	PEMASANGAN SHAFT REVERSE RESTRICT, PIN REVERSE & SPRING TORSION
		57	PEMASANGAN BALL, SPRING, BOLT, BOLT HOLDER REVERSE RESTRICT PIN, TORQUE WRENCH
		58	PEMASANGAN SWITCH ASSY BACK LAMP, TORQUE WRENCH
VIII DOLLY 6	8	59	PASANG SST & GASKET
		60	PEMASANGAN RING HOLE SNAP
		61	PASANG S/A C C/SHAFT PADA CASE T/M
		62	PEMASANGAN BOLT PADA C C/ SHAFT , TORQUE WRENCH
		63	PEMASANGAN PLUG STRAIGHT SCREW, TORQUE WRENCH
		64	PEMASANGAN H/EXT, TORQUE WRENCH
		65	PEMASANGAN SPEEDOMETER SHAFT DRIVEN

Tabel 3.5 Elemen Kerja dan Urutannya (lanjutan)

Stasiun Kerja	Operator	No Urut	Elemen Kerja
VIII DOLLY 6	8	66	PEMASANGAN STICKER
IX DOLLY 7 & LEAK TEST	9	67	CHECK POINT & PUTAR TRANSMISSION
		68	CHECK SHAFT SHIFT LEVER & GANTUNG KANBAN
		69	PASANG PENUTUP PLUG BREATHER PADA H/CLUTCH; PLUG COUPLER, BOLT WASHER, PENUTUP LUBANG GEAR SPEEDOMETER SHAFT DRIVEN PADA H/EXT
		70	JALAN MENUJU MEJA LEAK TEST
		71	PEMASANGAN BOLT WASHER PADA H/CLUTCH, TORQUE WRENCH
		72	SUB ASSY FORK RELEASE BEARING
		73	PEMASANGAN FORK RELEASE BEARING PADA H/CLUTCH + STOPPER, CHECK POINT
		74	MENULIS HASIL LEAK TEST
		75	MENDORONG TRANSMISI, MENARIK JIG LEAK TEST YANG KOSONG
X GANTRI	10	76	MEMINDAHKAN TRANSMISI DARI POS 7 KE ROTARY JIG LEAK TEST
		77	PASANG CONNECTOR PLUG BREATHER, MUSKING JIG, TEKAN TOMBOL START
		78	LEPAS PENUTUP PLUG BREATHER PADA H/CLUTCH; PLUG COUPLER, BOLT WASHER, PENUTUP LUBANG GEAR SPEEDOMETER SHAFT DRIVEN PADA HSG. EXT
		79	MENGAMBIL TRANSMISI DARI JIG LEAK TEST, GESER JIG, TARUH TRANSMISI DI MESIN TEST BENCH
XI TEST BENCH	11	80	PASANG PERLENGKAPAN TEST BENCH
		81	MENUTUP PINTU MESIN DAN TEKAN TOMBOL START
		82	PROSES TEST BENCH
		83	MENANDAI STATUS TRANSMISSION
		84	MENULIS HASIL KE LEMBAR CHECK SHEET
XII OIL DRAIN	12	85	MEMINDAHKAN TRANSMISI DARI TEST BENCH KE MESIN OIL DRAIN
		86	SETTING POSISI TRANSMISSION, START PROSES OIL DRAIN
		87	MEMBALIK TRANSMISI
		88	MEMBERSIHKAN H/EXT
		89	PEMASANGAN BOLT WASHER, PLUG DUMMY, TORQUE WRENCH, CHECK POINT
XIII FINISHING	13	90	ANGKAT TRANSMISI DARI OIL DRAIN
		91	PINDAHKAN UNIT TRANSMISI KE PALET FINISH
		92	CHECK POINT AKHIR
		93	MEMBERSIHKAN AREA LUBANG GEAR SPEEDOMETER SHAFT DRIVEN
		94	MENUTUP LUBANG GEAR SPEEDOMETER SHAFT DRIVEN DENGAN LAKBAN
		95	KEMBALI KE MESIN OIL DRAIN

Tabel 3.6 Faktor-faktor Penyesuaian

Operator	Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian	Jumlah
1	Keahlian	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
2	Keahlian	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
3	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
4	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
5	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
6	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
7	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
8	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
9	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
10	Keahlian	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
11	Keahlian	Good	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	
12	Keahlian	Average	C2	+0.03	0.03
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	

Universitas Indonesia

Tabel 3.6 Faktor-faktor Penyesuaian (lanjutan)

Operator	Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian	Jumlah
12	Konsistensi	Average	D	0.00	
13	Keahlian	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00	

3.5.4 Pengamatan Faktor-faktor Kelonggaran

Faktor-faktor kelonggaran diperlukan untuk menghitung waktu standar. Pemberian nilai dari faktor-faktor kelonggaran dilakukan berdasarkan pengamatan ketika proses produksi berlangsung dan diasumsikan sama untuk semua operator. Pada tabel 3.7 dapat dilihat faktor kelonggaran untuk operator pada *line assembling* PT. X.

Tabel 3.7 Faktor-faktor Kelonggaran

FAKTOR	Allowance	
Tenaga yang dikeluarkan	Sangat Ringan	6%
Sikap kerja	Berdiri diatas dua kaki	1%
Gerakan kerja	Agak terbatas	1%
Kelelahan mata	Pandangan yang terputus-putus, pencahayaan baik	2%
Keadaan temperatur tempat kerja	Normal, kelembapan normal	1%
Keadaan atmosfer	Baik	0%
Keadaan lingkungan yang baik	Siklus kerja berulang	1%
Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi	Pria	1%
Hambatan yang tak terhindarkan		1%
Total		14%

3.5.5 Waktu Kerja Efektif

Pada dasarnya waktu kerja normal produksi PT. X saat ini adalah sebagai berikut;

1. Hari kerja produksi adalah 5 hari, yaitu dari hari Senin sampai hari Jum'at.
2. Waktu kerja produksi terdiri dari dua shift, yaitu *shift* 1 dan *shift* 3.

Waktu kerja efektif merupakan waktu yang dapat digunakan untuk melakukan proses produksi. Waktu kerja efektif didapatkan dari pengurangan total waktu kerja normal dengan total waktu untuk melakukan *line stop* terencana.

Pada Tabel 3.8 dapat dilihat jumlah waktu kerja efektif yang dapat digunakan oleh PT. X per hari dan pada tabel 3.9 waktu kerja efektif per bulan yaitu untuk bulan November 2011 hingga Januari 2012.

Tabel 3.8 Total Waktu Kerja Efektif per Hari

Shift 1 (Senin-Kamis : pkl. 07:30 s/d pk. 16:15, Jum'at : pkl. 07:30 s/d pkl. 16:30)			
Waktu kerja normal (Senin-Kamis)	=	8 Jam 45 Menit	
Waktu kerja normal (Jum'at)		9 Jam 0 Menit	
Line stop terencana			
1. Chore Awal	=	5 Menit	
2. Chore Akhir + Cleaning/5R	=	10 Menit	
3. Kyuke Jam 10 ⁰⁰ & 14 ³⁰ @ 10 Menit	=	20 Menit	
4. Istirahat (Senin-Kamis : pkl. 11:45 s/d pkl. 12:30)	=	45 Menit	
Istirahat (Jum'at : pkl. 11:45 s/d pkl. 12:45)	=	60 Menit	
Total line stop terencana (Senin-Kamis)	=	80 Menit	
Total line stop terencana (Jum'at)	=	95 Menit	
Waktu kerja efektif shift 1	=	7 Jam 25 Menit	
	=	7.4 Jam	
SHIFT 3 (Senin-Jum'at : pkl. 00:00 s/d pkl. 07:30)			
Waktu kerja normal	=	7 Jam 30 Menit	
L/S Terencana			
1. Chore Awal	=	5 Menit	
2. Chore Akhir + Cleaning/5R	=	10 Menit	
3. Kyuke Jam 05 ⁰⁰	=	15 Menit	
4. Istirahat (Senin-Jum'at : pkl. 03:00 s/d pkl. 03:30)	=	30 Menit	
Total line stop terencana	=	60 Menit	
Waktu kerja efektif shift 3	=	6 Jam 30 Menit	
	=	6.5 Jam	
Total waktu kerja efektif / hari	=	13.9 Jam	

(Sumber : Departemen PPC PT.X)

Tabel 3.9 Total Waktu Kerja Efektif per Bulan

Bulan	Tahun	Jumlah Hari Kerja	Total waktu kerja efektif (Jam)
November	2011	22	305.8
Desember		22	305.8
Januari	2012	22	305.8

(Sumber : Departemen PPC PT.X)

Universitas Indonesia

3.5.6 Data *Order* Transmisi

Departemen PPC PT.X mendapatkan *forecast order* terhadap transmisi yang akan diproduksi dari departemen *sales*. Departemen *sales* mendapatkan *forecast order* selama tiga bulan kedepan dari PT. ADM. Berdasarkan *forecast* yang diterima oleh departemen *sales*, terdapat peningkatan jumlah *order* transmisi yang harus diproduksi oleh PT.X untuk bulan November 2011 hingga Januari 2012 (lihat tabel 3.10).

Tabel 3.10 *Fix and Tentative Order*

TIPE TRANSMISI	2011												2012
	FIX ORDER										TENTATIVE ORDER		
	JAN	FEB	MAR	APR	MAY	JUN	JUL	AGS	SEPT	OKT	NOV	DES	JAN
EJ	435	681	1158	628	1082	1472	1469	1828	1563	777	706	947	1,290
K3	7759	6298	6125	6285	6120	6367	6,899	6,697	7,493	7,337	7,366	7,490	8,594
3SZ	377	571	688	699	702	1033	915	1,355	793	957	996	1,001	1,215
D99B	911	795	1403	755	1353	2148	1,769	1,946	1,813	2,164	1,806	2,338	2,157
D40D	1080	1574	2251	2489	2305	993	1369	1810	2351	3,126	3596	2965	2,641
TOTAL	10562	9919	11625	10856	11562	12013	12,421	13,636	14,013	14,361	14,470	14,741	15,897

(Sumber : Departemen PPC PT.X)

3.6 Pengolahan Data

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada pengolahan data ini adalah:

1. Pengujian keseragaman dan kecukupan data
2. Perhitungan waktu standar setiap elemen kerja
3. Perhitungan waktu siklus lintasan perakitan
4. Penyusunan *precedence* diagram
5. Pembentukan rancangan keseimbangan

3.6.1 Pengujian Keseragaman dan Kecukupan Data

3.6.1.2 Waktu Rata-rata Hasil Observasi

Data yang telah diambil dikelompokkan dan dihitung harga rata-ratanya. Untuk contoh perhitungan diambil data untuk elemen kerja nomor 26. Sedangkan untuk waktu rata-rata elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran 2.

$$\bar{x} = \frac{\sum xi}{N}$$

$$\bar{x} = \frac{9.57+9.16+\dots+9.68}{30}$$

$$\bar{x} = 10.04$$

3.6.1.2 Pengujian Keseragaman Data

Pengujian keseragaman data dilakukan dengan menentukan batas kontrol atas dan batas kontrol bawah. Pengujian ini berdasarkan tingkat keyakinan 95%.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{N-1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(9.57-10.04)^2+(9.57-10.04)^2+\dots+(9.68-10.04)^2}{30-1}}$$

$$\sigma = 0.96$$

$$BKA = \bar{x} + k\sigma$$

$$= 10.04 + 2(0.96)$$

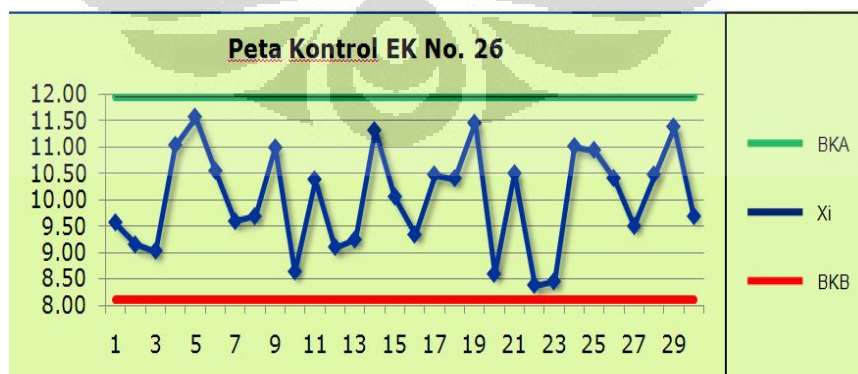
$$= 11.96$$

$$BKB = \bar{x} - k\sigma$$

$$= 10.04 - 2(0.96)$$

$$= 8.11$$

Untuk mempermudah dalam meng-*check* apakah data sudah seragam atau tidak dapat dilihat pada peta kontrol dibawah ini.



Gambar 3.4 Peta Kontrol Elemen Kerja Nomor 26

Keseragaman data sudah memenuhi syarat, karena semua nilai data berada diantara BKA dan BKB. Hasil uji keseragaman untuk elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran 2.

3.6.1.3 Pengujian Kecukupan Data

Pengujian kecukupan data berdasarkan tingkat ketelitian 5% dan tingkat keyakinan 95%.

Banyaknya pengukuran yang diperlukan adalah N' ,

$$N' = \left[\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2$$

$$N' = \left[\frac{\frac{2}{0.05} \sqrt{30(2484.11) - (90643.14)}}{301.70} \right]^2$$

$$N' = 14.18$$

Karena $N' < N$, maka kecukupan data memenuhi syarat. Hasil uji kecukupan data untuk elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran 2.

3.6.2 Perhitungan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja

3.6.2.1 Perhitungan Waktu Normal

Sebagai contoh, perhitungan diambil dari data pada elemen kerja nomor 26 yang dikerjakan oleh operator 4.

$$W_n = \bar{x} \times (1 + \text{performance rating})$$

$$W_n = 10.04 \times 1.03$$

$$W_n = 10.34 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan waktu normal untuk elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran 3.

3.6.2.2 Perhitungan Waktu Standar

$$W_s = W_n \times (1 + \text{allowance})$$

$$W_s = 10.34 \times 1.14$$

$$W_s = 11.78 \text{ detik}$$

Hasil perhitungan waktu standar untuk elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran 3.

3.6.3 Perhitungan Waktu Siklus Lintasan Perakitan

Syarat waktu siklus lintasan :

$$ti\ max \leq CT \leq \frac{P}{Q}$$

Waktu siklus dihitung melalui waktu kerja efektif (P) dan kapasitas yang harus dipenuhi selama satu bulan (Q). Dalam penelitian ini waktu siklus ditentukan mengikuti kebijakan dari pihak manajemen perusahaan, yaitu menggunakan rata-rata takt time per bulan untuk tiga bulan kedepan (November, Desember, Januari). Adapun *takt time* untuk masing-masing bulan adalah :

- November 2011

$$\frac{(305.8 \times 60 \times 60)}{14470} = 76.08 \text{ detik}$$

- Desember 2011

$$\frac{(305.8 \times 60 \times 60)}{14741} = 74.68 \text{ detik}$$

- Januari 2012

$$\frac{(305.8 \times 60 \times 60)}{15897} = 69.25 \text{ detik}$$

Rata-rata *takt time* per bulan adalah

$$\frac{76.08 + 74.68 + 69.25}{3} = 73.33 \text{ detik}$$

Sehingga waktu siklus adalah :

$$61.41 \leq CT \leq 73.33$$

Melalui perhitungan diperoleh waktu siklus yang semestinya digunakan adalah sebesar 73.33 detik, akan tetapi *setting-an* speed conveyor yang tersedia dan mendekati dari hasil perhitungan adalah untuk waktu siklus sebesar 72 detik/1.2 menit dan 78 detik/1.3 menit. Dengan demikian melihat dari syarat waktu siklus lintasan, maka waktu siklus yang akan digunakan adalah 1.2 menit.

3.6.4 Penyusunan Precedence Diagram

Precedence diagram adalah diagram yang menggambarkan urutan dan keterkaitan antar elemen kerja perakitan sebuah produk sehingga elemen kerja yang terlebih dahulu harus dilaksanakan dapat diketahui. *Precedence* diagram untuk proses perakitan transmisi dapat dilihat pada gambar 3.5

3.6.5 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan

3.6.5.1 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan dengan Metode

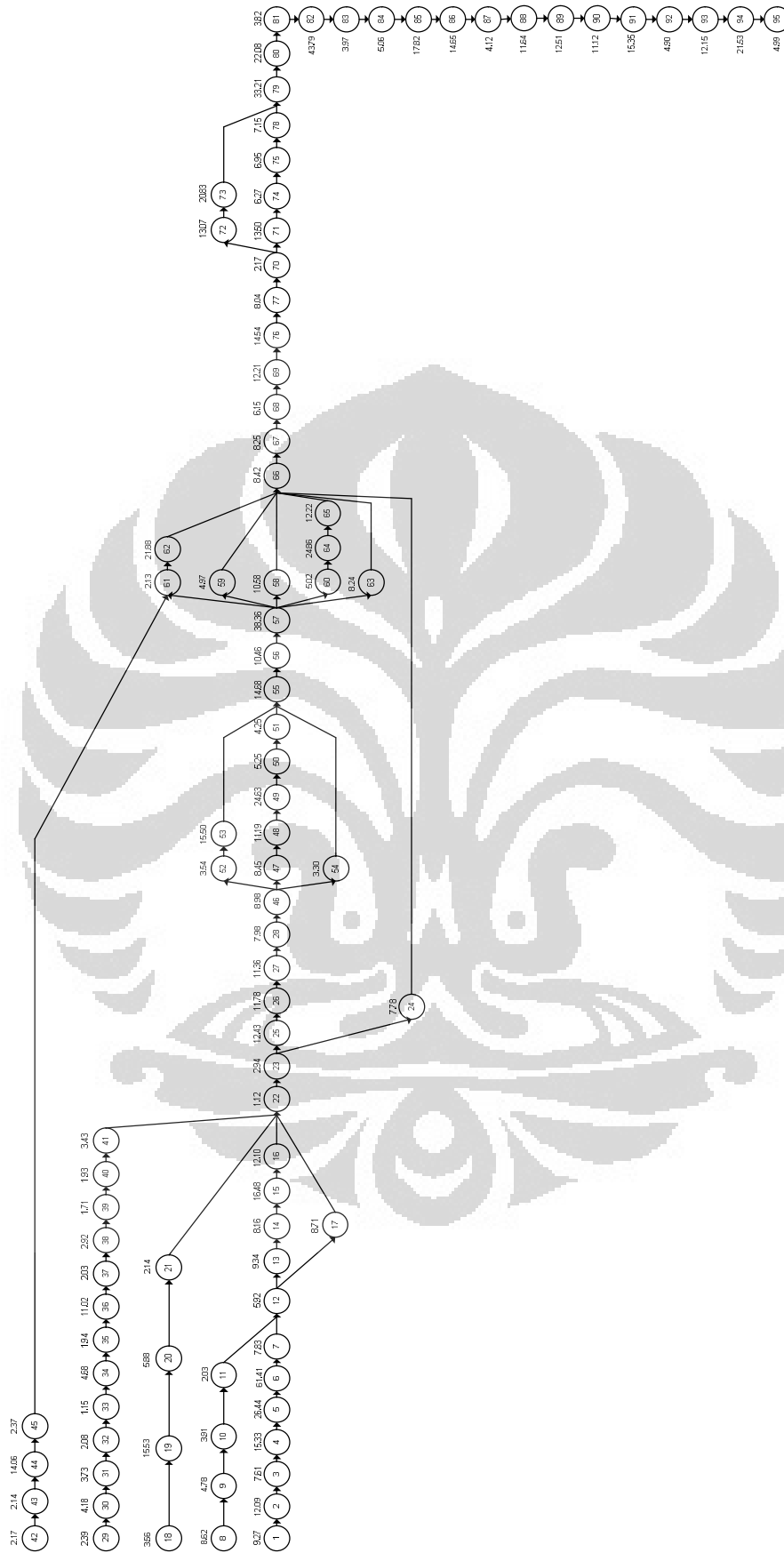
Helgeson-Birnie

Langkah pertama, yang dilakukan adalah menghitung bobot setiap elemen kerja. Bobot elemen kerja 1 adalah jumlah waktu elemen kerja 1 dan seluruh elemen kerja setelahnya yang berhubungan dan begitu seterusnya hingga elemen kerja terakhir. Untuk perhitungan bobot setiap elemen kerja dapat dilihat pada lampiran 4.

Langkah kedua, adalah mengurutkan elemen kerja berdasarkan bobot dari bobot tertinggi ke bobot terendah. Hasilnya terlihat pada tabel 3.11.

Langkah ketiga, menentukan *cycle time*. Berdasarkan hasil perhitungan waktu siklus lini sebelumnya diperoleh bahwa waktu siklus yang akan digunakan adalah 72 detik/1.2 menit.

Langkah keempat, penempatan elemen-elemen kerja pada stasiun kerja, dimana elemen kerja dengan posisi peringkat paling tinggi yang ditempatkan pertama. Pada tabel 3.11 elemen kerja nomor 1 merupakan elemen kerja dengan posisi peringkat paling tinggi, sehingga elemen kerja nomor 1 dialokasikan pada stasiun kerja I, sisa waktu = $62.73 (CT-t_1)$, selanjutnya alokasikan elemen kerja 2, sisa waktu = $50.64 (CT-t_1-t_2)$, selanjutnya alokasikan elemen kerja 3, sisa waktu = $43.03 (CT-t_1-t_2-t_3)$, selanjutnya alokasikan elemen kerja 4, sisa waktu = $27.70 (CT-t_1-t_2-t_3-t_4)$, selanjutnya alokasikan elemen kerja 5, sisa waktu = $1.26 (CT-t_1-t_2-t_3-t_4-t_5)$, hentikan alokasi di WS1, elemen kerja di rangking berikutnya (elemen kerja 6) memiliki waktu operasi = 61.41, sehingga tidak dapat dialokasikan ke WS1 (akan membuat waktu stasiun kerja 1 > *CT*). alokasikan elemen kerja 2 ke stasiun kerja berikutnya.



Gambar 3.5 Precedence Diagram Perakitan Transmisi

Tabel 3.11 Rangkang Bobot Elemen Kerja

No.	Elemen Kerja	PW	No.	Elemen Kerja	PW	No.	Elemen Kerja	PW	No.	Elemen Kerja	Bobot	No.	Elemen Kerja	PW
1	1	744.33	21	15	580.93	41	46	504.74	61	65	348.61	81	81	187.42
2	2	735.06	22	18	579.46	42	47	495.76	62	58	346.97	82	82	183.6
3	3	722.97	23	35	577.33	43	48	487.31	63	63	344.63	83	83	139.81
4	4	715.36	24	19	575.9	44	49	476.12	64	24	344.17	84	84	135.84
5	5	700.03	25	36	575.39	45	52	461.03	65	59	341.36	85	85	130.78
6	6	673.59	26	16	564.45	46	53	457.49	66	66	336.39	86	86	112.96
7	8	623.69	27	37	564.37	47	50	451.49	67	67	327.97	87	87	98.31
8	9	615.07	28	38	562.34	48	51	446.24	68	68	319.72	88	88	94.19
9	7	612.18	29	17	561.06	49	54	445.29	69	69	313.57	89	89	82.55
10	10	610.29	30	20	560.37	50	55	441.99	70	76	301.36	90	90	70.04
11	11	606.38	31	39	559.42	51	56	427.31	71	77	286.82	91	91	58.92
12	12	604.35	32	40	557.71	52	57	416.85	72	70	278.78	92	92	43.57
13	13	598.43	33	41	555.78	53	42	381.14	73	72	276.61	93	93	38.67
14	29	595.54	34	21	554.49	54	43	378.97	74	71	276.58	94	94	26.52
15	30	593.15	35	22	552.35	55	60	378.49	75	73	263.54	95	95	4.99
16	14	589.09	36	23	551.23	56	44	376.83	76	74	263.08			
17	31	588.97	37	25	548.29	57	64	373.47	77	75	256.81			
18	32	585.24	38	26	535.86	58	45	362.77	78	78	249.86			
19	33	583.16	39	27	524.08	59	61	360.4	79	79	242.71			
20	34	582.01	40	28	512.72	60	62	358.27	80	80	209.5			

Langkah kelima, stasiun kerja II (WS2), alokasikan elemen kerja 6 (waktu = 61.41) dan elemen kerja 8 (waktu = 8.62), selanjutnya alokasikan elemen kerja 9 ke stasiun kerja berikutnya, karena bila dialokasikan ke WS2 akan membuat waktu stasiun kerja II (ST_{II}) > 72 (CT) demikian seterusnya. Hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.12.

Tabel 3.12 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Helgeson-Birnie*

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	$Idle$ (detik)
I	1	9.27	70.74	1.26
	2	12.09		
	3	7.61		
	4	15.33		
	5	26.44		
II	6	61.41	70.03	1.97
	8	8.62		
III	9	4.78	69.99	2.01
	7	7.83		
	10	3.91		
	11	2.03		
	12	5.92		
	13	9.34		
	29	2.39		
	30	4.18		
	14	8.16		
	31	3.73		
	32	2.08		
	33	1.15		
	34	4.68		
	18	3.56		
	35	1.94		
	IV	42		
43		2.14		
15		16.48		
19		15.53		
36		11.02		
16		12.10		
37		2.03		
38	2.92			
	17	8.71		

Tabel 3.12 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Helgeson-Birnie*
(lanjutan)

Stasiun Kerja, <i>K</i>	Elemen Kerja, <i>i</i>	<i>t_i</i> (detik)	<i>STK</i> (detik)	<i>Idle</i> (detik)
IV	39	1.71		
V	20	5.88	69.97	2.03
	40	1.93		
	41	3.43		
	21	2.14		
	22	1.12		
	23	2.94		
	25	12.43		
	26	11.78		
	27	11.36		
	28	7.98		
VI	46	8.98	68.56	3.44
	47	8.45		
	48	11.19		
	49	24.63		
	52	3.54		
	53	15.50		
VII	50	5.25	71.05	0.95
	51	4.25		
	54	3.30		
	55	14.68		
	56	10.46		
VIII	57	38.36	70.32	1.68
	60	5.02		
	44	14.06		
	64	24.86		
	45	2.37		
	61	2.13		
IX	62	21.88	60.46	11.54
	65	12.22		
	58	10.58		
	63	8.24		
	24	7.78		
	59	4.97		
	66	8.42		
67	8.25			
X	68	6.15	69.68	2.32

Tabel 3.12 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Helgeson-Birnie*
(lanjutan)

Stasiun Kerja, <i>K</i>	Elemen Kerja, <i>i</i>	<i>t_i</i> (detik)	<i>ST_K</i> (detik)	<i>Idle</i> (detik)
X	69	12.21	41.20	30.80
	76	14.54		
	77	8.04		
	70	2.17		
	72	13.07		
	71	13.50		
XI	73	20.83	59.11	12.89
	74	6.27		
	75	6.95		
	78	7.15		
XII	79	33.21	70.64	1.36
	80	22.08		
	81	3.82		
XIII	82	43.79	69.39	2.61
	83	3.97		
	84	5.06		
	85	17.82		
XIV	86	14.65	43.57	28.43
	87	4.12		
	88	11.64		
	89	12.51		
	90	11.12		
	91	15.35		
XV	92	4.90		
	93	12.15		
	94	21.53		
	95	4.99		

Efisiensi Lintasan :

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\
 &= \frac{(70.74+70.03+\dots+43.57)}{72 \times 15} \times 100\% \\
 &= 90.30\%
 \end{aligned}$$

Balance delay :

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \\
 &= \frac{1080 - 975.21}{1080} \times 100\% \\
 &= 9.70\%
 \end{aligned}$$

Menghitung *smoothing index* :

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (STi_{max} - STi)^2} \\
 &= \sqrt{(1.26^2 + 1.97^2 + \dots + 28.43^2)} \\
 &= 43.78
 \end{aligned}$$

3.6.5.2 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan dengan Metode

Moodie Young

Fase 1 adalah membuat pengelompokan stasiun kerja. Elemen kerja ditempatkan pada stasiun kerja dengan aturan, bila terdapat dua elemen kerja yang bisa dipilih maka elemen kerja yang mempunyai waktu lebih besar di tempatkan yang pertama. Pada fase ini pula, *precedence* diagram dibuat matriks P dan F, yang menggambarkan elemen kerja pendahulu (P) dan elemen kerja yang mengikuti (F) untuk semua elemen kerja yang ada. Pada tabel 3.13 dapat dilihat matriks P dan F dari *precedence* diagram perakitan transmisi.

Tabel 3.13 Matriks P dan F

Elemen Kerja, <i>i</i>	P Matriks					<i>t_i</i> (detik)	F Matriks				
1	0	0	0	0	0	9.27	2	0	0	0	0
2	1	0	0	0	0	12.09	3	0	0	0	0
3	2	0	0	0	0	7.61	4	0	0	0	0
4	3	0	0	0	0	15.33	5	0	0	0	0
5	4	0	0	0	0	26.44	6	0	0	0	0
6	5	0	0	0	0	61.41	7	0	0	0	0
7	6	0	0	0	0	7.83	12	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	8.62	9	0	0	0	0
9	8	0	0	0	0	4.78	10	0	0	0	0
10	9	0	0	0	0	3.91	11	0	0	0	0
11	10	0	0	0	0	2.03	12	0	0	0	0
12	7	11	0	0	0	5.92	13	17	0	0	0

Tabel 3.13 Matriks P dan F (lanjutan)

Elemen Kerja, i	P Matriks					t_i (detik)	F Matriks				
13	12	0	0	0	0	9.34	14	0	0	0	0
14	13	0	0	0	0	8.16	15	0	0	0	0
15	14	0	0	0	0	16.48	16	0	0	0	0
16	15	0	0	0	0	12.10	22	0	0	0	0
17	12	0	0	0	0	8.71	22	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	3.56	19	0	0	0	0
19	18	0	0	0	0	15.53	20	0	0	0	0
20	19	0	0	0	0	5.88	21	0	0	0	0
21	20	0	0	0	0	2.14	22	0	0	0	0
22	16	17	21	41	0	1.12	23	0	0	0	0
23	22	0	0	0	0	2.94	24	25	0	0	0
24	23	0	0	0	0	7.78	66	0	0	0	0
25	23	0	0	0	0	12.43	26	0	0	0	0
26	25	0	0	0	0	11.78	27	0	0	0	0
27	26	0	0	0	0	11.36	28	0	0	0	0
28	27	0	0	0	0	7.98	46	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	2.39	30	0	0	0	0
30	29	0	0	0	0	4.18	31	0	0	0	0
31	30	0	0	0	0	3.73	32	0	0	0	0
32	31	0	0	0	0	2.08	33	0	0	0	0
33	32	0	0	0	0	1.15	34	0	0	0	0
34	33	0	0	0	0	4.68	35	0	0	0	0
35	34	0	0	0	0	1.94	36	0	0	0	0
36	35	0	0	0	0	11.02	37	0	0	0	0
37	36	0	0	0	0	2.03	38	0	0	0	0
38	37	0	0	0	0	2.92	39	0	0	0	0
39	38	0	0	0	0	1.71	40	0	0	0	0
40	39	0	0	0	0	1.93	41	0	0	0	0
41	40	0	0	0	0	3.43	22	0	0	0	0
42	0	0	0	0	0	2.17	43	0	0	0	0
43	42	0	0	0	0	2.14	44	0	0	0	0
44	43	0	0	0	0	14.06	45	0	0	0	0
45	44	0	0	0	0	2.37	61	0	0	0	0
46	28	0	0	0	0	8.98	47	52	54	0	0
47	46	0	0	0	0	8.45	48	0	0	0	0
48	47	0	0	0	0	11.19	49	0	0	0	0
49	48	0	0	0	0	24.63	50	0	0	0	0

Tabel 3.13 Matriks P dan F (lanjutan)

Elemen Kerja, <i>i</i>	P Matriks					t_i (detik)	F Matriks				
50	49	0	0	0	0	5.25	51	0	0	0	0
51	50	0	0	0	0	4.25	55	0	0	0	0
52	46	0	0	0	0	3.54	53	0	0	0	0
53	52	0	0	0	0	15.50	55	0	0	0	0
54	46	0	0	0	0	3.30	55	0	0	0	0
55	51	0	0	0	0	14.68	56	0	0	0	0
56	55	0	0	0	0	10.46	57	0	0	0	0
57	56	0	0	0	0	38.36	58	59	60	61	63
58	57	0	0	0	0	10.58	66	0	0	0	0
59	57	0	0	0	0	4.97	66	0	0	0	0
60	57	0	0	0	0	5.02	64	0	0	0	0
61	45	57	0	0	0	2.13	62	0	0	0	0
62	61	0	0	0	0	21.88	66	0	0	0	0
63	57	0	0	0	0	8.24	66	0	0	0	0
64	60	0	0	0	0	24.86	65	0	0	0	0
65	64	0	0	0	0	12.22	66	0	0	0	0
66	58	59	62	63	65	8.42	67	0	0	0	0
67	66	0	0	0	0	8.25	68	0	0	0	0
68	67	0	0	0	0	6.15	69	0	0	0	0
69	68	0	0	0	0	12.21	76	0	0	0	0
70	77	0	0	0	0	2.17	71	72	0	0	0
71	70	0	0	0	0	13.50	74	0	0	0	0
72	70	0	0	0	0	13.07	73	0	0	0	0
73	72	0	0	0	0	20.83	79	0	0	0	0
74	71	0	0	0	0	6.27	75	0	0	0	0
75	74	0	0	0	0	6.95	78	0	0	0	0
76	69	0	0	0	0	14.54	77	0	0	0	0
77	76	0	0	0	0	8.04	70	0	0	0	0
78	75	0	0	0	0	7.15	79	0	0	0	0
79	73	78	0	0	0	33.21	80	0	0	0	0
80	79	0	0	0	0	22.08	81	0	0	0	0
81	80	0	0	0	0	3.82	82	0	0	0	0
82	81	0	0	0	0	43.79	83	0	0	0	0
83	82	0	0	0	0	3.97	84	0	0	0	0
84	83	0	0	0	0	5.06	85	0	0	0	0
85	84	0	0	0	0	17.82	86	0	0	0	0
86	85	0	0	0	0	14.65	87	0	0	0	0

Tabel 3.13 Matriks P dan F (lanjutan)

Elemen Kerja, i	P Matriks					t_i (detik)	F Matriks				
	86	0	0	0	0		88	0	0	0	0
87	86	0	0	0	0	4.12	88	0	0	0	0
88	87	0	0	0	0	11.64	89	0	0	0	0
89	88	0	0	0	0	12.51	90	0	0	0	0
90	89	0	0	0	0	11.12	91	0	0	0	0
91	90	0	0	0	0	15.35	92	0	0	0	0
92	91	0	0	0	0	4.90	93	0	0	0	0
93	92	0	0	0	0	12.15	94	0	0	0	0
94	93	0	0	0	0	21.53	95	0	0	0	0
95	94	0	0	0	0	4.99	0	0	0	0	0

Langkah pertama, pilihlah elemen kerja yang memiliki nilai 0 semua pada matriks P (elemen kerja 1, 8, 18, 29, dan 42), pilih *elemen kerja* dengan waktu operasi terbesar. Dalam kasus ini berarti elemen kerja 1 yang dipilih waktu operasinya = 9.27. Alokasikan elemen kerja 1 ke stasiun kerja I, sisa waktu = 62.73 ($CT-t_1$).

Langkah kedua, tentukan elemen kerja di matriks F yang berhubungan dengan elemen kerja yang terpilih di langkah 1. Elemen kerja yang berhubungan dengan elemen kerja 1 ini dalam matriks F adalah elemen kerja 2. Elemen kerja 2 waktu operasinya = 12.09, alokasikan elemen kerja 2 ke stasiun kerja I, sisa waktu = 50.64 ($CT-t_1-t_2$). Selanjutnya tentukan elemen kerja di matriks F yang berhubungan dengan elemen kerja 2 dalam matriks F adalah elemen kerja 3. Elemen kerja 3 waktu operasinya 7.61, alokasikan elemen kerja 3 ke stasiun kerja I, sisa waktu = 43.03 ($CT-t_1-t_2-t_3$).

Lakukan langkah kedua tersebut berulang-ulang untuk mengalokasikan elemen kerja berikutnya hingga semua elemen kerja teralokasi pada stasiun kerja dan waktu pada masing-masing stasiun kerja tidak melebihi dari waktu siklus (< 72). Hasil selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.14.

Tabel 3.14 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Moodie Young*

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	Idle (detik)
I	1	9.27	70.74	1.26

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	Idle (detik)
I	2	12.09		
	3	7.61		
	4	15.33		
	5	26.44		
II	6	61.41	69.24	2.76
	7	7.83		
III	8	8.62	71.34	0.66
	9	4.78		
	10	3.91		
	11	2.03		
	12	5.92		
	13	9.34		
	14	8.16		
	15	16.48		
IV	16	12.10	70.30	1.70
	18	3.56		
	19	15.53		
	20	5.88		
	21	2.14		
	29	2.39		
	30	4.18		
	31	3.73		
	32	2.08		
	33	1.15		
	34	4.68		
	35	1.94		
	36	11.02		
	37	2.03		
	38	2.92		
	39	1.71		
V	40	1.93	68.84	3.16
	41	3.43		
	17	8.71		
	22	1.12		
	23	2.94		
	25	12.43		
	26	11.78		
	27	11.36		
28	7.98			
VI	46	8.98	69.27	2.73
	52	3.54		
	47	8.45		
	48	11.19		
	49	24.63		

Universitas Indonesia

Tabel 3.14 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Moodie Young* (lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	Idle (detik)
VI	50	5.25		
	51	4.25		
	53	15.50		
VII	54	3.30	71.77	0.23
	55	14.68		
	56	10.46		
	57	38.36		
	59	4.97		
VIII	58	10.58	68.70	3.30
	63	8.24		
	60	5.02		
	64	24.86		
	65	12.22		
	24	7.78		
IX	42	2.17	67.57	4.43
	43	2.14		
	44	14.06		
	45	2.37		
	61	2.13		
	62	21.88		
	66	8.42		
	67	8.25		
	68	6.15		
X	69	12.21	70.83	1.17
	76	14.54		
	77	8.04		
	70	2.17		
	71	13.50		
	74	6.27		
	75	6.95		
	78	7.15		
XI	72	13.07	67.11	4.89
	73	20.83		
	79	33.21		
XII	80	22.08	69.69	2.31
	81	3.82		
	82	43.79		
XIII	83	3.97	69.77	2.23
	84	5.06		
	85	17.82		
	86	14.65		
	87	4.12		

Tabel 3.14 Hasil Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *Moodie Young* (lanjutan)

Stasiun Kerja, <i>K</i>	Elemen Kerja, <i>i</i>	<i>t_i</i> (detik)	<i>ST_K</i> (detik)	Idle (detik)
XIII	88	11.64		
	89	12.51		
XIV	90	11.12	70.04	1.96
	91	15.35		
	92	4.90		
	93	12.15		
	94	21.53		
	95	4.99		

Fase 2

Langkah-langkah yang harus dilakukan pada fase 2 adalah sebagai berikut :

1. Identifikasi waktu stasiun kerja terbesar dan waktu stasiun kerja terkecil
2. Tentukan *GOAL*.
3. Identifikasi sebuah elemen kerja yang terdapat dalam stasiun kerja dengan waktu yang paling maksimum, yang mempunyai waktu lebih kecil dari *GOAL*, yang elemen kerja tersebut apabila dipindah ke stasiun kerja dengan waktu yang paling minimum tidak melanggar *precedence* diagram.
4. Pindahkan elemen kerja tersebut.
5. Ulangi evaluasi sampai tidak ada lagi elemen kerja yang dapat dipindah.

Menurut langkah 1

$$ST_{max} = 71.07 \text{ detik (Stasiun Kerja VII)}$$

$$ST_{min} = 67.11 \text{ detik (Stasiun Kerja XI)}$$

Menurut langkah 2

$$GOAL = \frac{ST_{max} - ST_{min}}{2}$$

$$GOAL = \frac{71.07 - 67.11}{2}$$

$$GOAL = 2.33$$

Berdasarkan pada langkah 3 dan 4 diatas, maka tidak ada elemen kerja dari stasiun kerja 7 yang dapat dipindah ke stasiun kerja 11. Dikarenakan tidak ada elemen kerja yang waktu prosesnya lebih kecil dari nilai *GOAL*.

Dengan demikian proses alokasi elemen kerja dihentikan, dan pada kasus ini alokasi elemen kerja pada fase kedua tidak mengalami perubahan dari fase pertama.

Efisiensi Lintasan :

$$\begin{aligned} Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\ &= \frac{(70.74+69.24+\dots+70.04)}{72 \times 14} \times 100\% \\ &= 96.75\% \end{aligned}$$

Balance delay :

$$\begin{aligned} BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \\ &= \frac{1008 - 975.21}{1008} \times 100\% \\ &= 3.25\% \end{aligned}$$

Smoothing index :

$$\begin{aligned} SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_{i_{max}} - ST_i)^2} \\ &= \sqrt{(1.03^2 + 2.53^2 + \dots + 1.73^2)} \\ &= 9.25 \end{aligned}$$

3.6.5.3 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan dengan Metode *New Bidirectional*

Penyelesaian:

Langkah 0

Inisialisasi

$S_u = S = \{1,2,3,\dots,95\}$ dan $i = 1, j = 1$

Iterasi 1

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. *FSI* dan *BSI*

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

{1,2,3,4,5,6,7,12,13,14,15,16,22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64

,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,
95}

$\bar{S}_{cp} =$

{8,9,10,11,17,18,19,20,21,24,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,
,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ I = \{1,2,3,4,5\}$

$BS\ I = \{95, 94, 93, 92, 91, 90\}$

Langkah 3

$T(FS\ I) = 70.74$ $W_f = 1.26$

$T(BS\ I) = 70.04$ $W_b = 1.96$

Karena $W_f \leq W_b$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS\ I$

$S_a = \{1,2,3,4,5\}, i = 2$

Iterasi 2

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS\ 2$ dan $BS\ I$

Langkah 2

Tentukan S_{cp} dan \bar{S}_{cp}

$S_{cp} =$

{6,7,12,13,14,15,16,22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,
,68,69,76,77,70,72,73,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89,90,91,92,93,94,95}

$\bar{S}_{cp} =$

{8,9,10,11,17,18,19,20,21,24,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,
,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ 2 = \{6,7\}$

$BS\ I = \{95, 94, 93, 92, 91, 90\}$

Langkah 3

$T(FS\ 2) = 69.24$ $W_f = 2.76$

$T(BS\ I) = 70.04$ $W_b = 1.96$

Karena $W_b \leq W_f$, maka stasiun kerja permanen adalah $BS\ I$

$S_a = \{95, 94, 93, 92, 91, 90\}, j = 2$

Iterasi 3

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS2$ dan $BS2$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

{6,7,12,13,14,15,16,22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79,80,81,82,83,84,85,86,87,88,89}

$\bar{Scp} =$

{8,9,10,11,17,18,19,20,21,24,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ 2 = \{6,7\}$

$BS\ 2 = \{89,88,87,86,85,84,83\}$

Langkah 3

$T(FS2) = 69.24$ $Wf = 2.76$

$T(BS2) = 69.77$ $Wb = 2.23$

Karena $Wb \leq Wf$, maka stasiun kerja permanen adalah $BS2$

$Sa = \{89,88,87,86,85,84,83\}, j = 3$

Iterasi 4

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS2$ dan $BS3$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

{6,7,12,13,14,15,16,22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79,80,81,82}

$\bar{Scp} =$

{8,9,10,11,17,18,19,20,21,24,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ 2 = \{6,7\}$

$BS\ 3 = \{82,81,80\}$

Langkah 3

$T(FS2) = 69.24$ $Wf = 2.76$

Universitas Indonesia

$$T(BS3) = 69.69 \quad Wb = 2.31$$

Karena $Wb \leq Wf$, maka stasiun kerja permanen adalah $BS3$

$$Sa = \{82,81,80\}, j = 4$$

Iterasi 5

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS2$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$$Scp =$$

$$\{6,7,12,13,14,15,16,22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79\}$$

$$\bar{Scp} =$$

$$\{8,9,10,11,17,18,19,20,21,24,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78\}$$

$$FS\ 2 = \{6,7\}$$

$$BS\ 4 = \{79,73,72\}$$

Langkah 3

$$T(FS2) = 69.24 \quad Wf = 2.76$$

$$T(BS4) = 67.11 \quad Wb = 4.89$$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS2$

$$Sa = \{6,7\}, i = 3$$

Iterasi 6

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS3$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$$Scp =$$

$$\{12,13,14,15,16,22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79\}$$

$$\bar{Scp} =$$

{8,9,10,11,17,18,19,20,21,24,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ 3 = \{8,9,10,11,12,13,14,15,16\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS3) = 71.34$ $Wf = 0.66$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS3$

$Sa = \{8,9,10,11,12,13,14,15,16\}$, $i = 4$

Iterasi 7

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS4$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

{22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79}

$\bar{Scp} =$

{17,18,19,20,21,24,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41,42,43,44,45,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ 4 = \{17,18,19,20,21,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS4) = 71.94$ $Wf = 0.06$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS4$

$Sa = \{17,18,19,20,21,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38\}$, $i = 5$

Iterasi 8

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS5$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

{22,23,25,26,27,28,46,47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79}

$\bar{Scp} =$

{24,39,40,41,42,43,44,45,52,53,54,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ 5 = \{39,40,41, 22,23,25,26,27,28,46,52,54\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS5) = 70.50$ $Wf = 1.50$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS5$

$Sa = \{39,40,41, 22,23,25,26,27,28,46,52,54\}, i = 6$

Iterasi 9

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS6$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

{47,48,49,50,51,55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79}

$\bar{Scp} =$

{24,42,43,44,45,53,58,59,61,62,63,71,74,75,78}

$FS\ 6 = \{47,48,49,50,51,53\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS6) = 69.27$ $Wf = 2.73$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS6$

$Sa = \{47,48,49,50,51,53\}, i = 7$

Iterasi 10

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS7$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

$\{55,56,57,60,64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79\}$

$\bar{Scp} =$

$\{24,42,43,44,45,58,59,61,62,63,71,74,75,78\}$

$FS\ 7 = \{55,56,57,60\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS7) = 68.52$ $Wf = 3.48$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS7$

$Sa = \{55,56,57,60\}$, $i = 8$

Iterasi 11

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS8$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

$\{64,65,66,67,68,69,76,77,70,72,73,79\}$

$\bar{Scp} =$

$\{24,42,43,44,45,58,59,61,62,63,71,74,75,78\}$

$FS\ 8 = \{64,65,24,58,59,63\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS8) = 68.65$ $Wf = 3.35$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS8$

$Sa = \{64,65,24,58,59,63\}$, $i = 9$

Iterasi 12

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS9$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

$\{66,67,68,69,76,77,70,72,73,79\}$

$\bar{Scp} =$

$\{42,43,44,45,61,62,71,74,75,78\}$

$FS\ 9 = \{42,43,44,45,61,62,66,67,68\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS9) = 67.57$ $Wf = 4.43$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS9$

$Sa = \{42,43,44,45,61,62,66,67,68\}$, $i = 10$

Iterasi 13

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS10$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \bar{Scp}

$Scp =$

$\{69,76,77,70,72,73,79\}$

$\bar{Scp} =$

$\{71,74,75,78\}$

$FS\ 10 = \{69,76,77,70,72,73\}$

$BS\ 4 = \{79,73,72\}$

Langkah 3

$T(FS10) = 70.86$ $Wf = 1.14$

$T(BS4) = 67.11$ $Wb = 4.89$

Karena $Wf \leq Wb$, maka stasiun kerja permanen adalah $FS9$

$Sa = \{69,76,77,70,72,73\}$, $i = 11$

Iterasi 14

Langkah 1. Buat dua stasiun kerja sementara. $FS11$ dan $BS4$

Langkah 2

Tentukan Scp dan \overline{Scp}

$Scp =$

{79}

$\overline{Scp} =$

{71,74,75,78}

$FS\ 11 = BS\ 4 = \{71,74,75,78,79\}$

Karena $FS11=BS4$, maka alokasi elemen kerja telah selesai.

Tabel 3.15 Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *New Bidirectional*

Iterasi	Langkah 1 (stasiun kerja sementara)	Langkah 2 (Alokasi Elemen Kerja)	Langkah 3 (Stasiun kerja permanen)
1	FS1,BS1	FS1={1,2,3,4,5} BS1={95,94,93,92,91,90}	Wf=1.26 Wb=1.96 FS1={1,2,3,4,5}
2	FS2,BS1	FS2 = {6,7} BS1={95,94,93,92,91,90}	Wf=2.76 Wb=1.96 BS1={95,94,93,92,91,90}
3	FS 2,BS 2	FS2 = {6,7} BS2 = {89,88,87,86,85,84,83}	Wf=2.76 Wb=2.23 BS2={89,88,87,86,85,84,83}
4	FS2,BS 3	FS2={6,7} BS3={82,81,80}	Wf=2.76 Wb=2.31 BS3={82,81,80}
5	FS2,BS4	FS2 = {6,7} BS4={79,73,72}	Wf=2.76 Wb=4.89 BS4={79,73,72}
6	FS3,BS 4	FS3={8,9,10,11,12,13,14,15,16} BS 4 = {79,73,72}	Wf=0.66 Wb=4.89 FS3={8,9,10,11,12,13,14,15,16 }
7	FS4,BS 4	FS4={17,18,19,20,21,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38} BS 4 = {79,73,72}	Wf=0.06 Wb=4.89 FS4={17,18,19,20,21,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38 }
8	FS5,BS 4	FS5={39,40,41,22,23,25,26,27,28,46,52,54} BS 4={79,73,72}	Wf=1.50 Wb=4.89 FS5={39,40,41,22,23,25,26,27,28,46,52,54}
9	FS6,BS 4	FS6={47,48,49,50,51,53} BS4={79,73,72}	Wf=2.73 Wb=4.89 FS6={47,48,49,50,51,53}
10	FS7,BS 4	FS7={55,56,57,60} BS4={79,73,72}	Wf=3.48 Wb=4.89 FS7={55,56,57,60}

Tabel 3.15 Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja dengan Metode *New Bidirectional* (lanjutan)

Iterasi	Langkah 1 (stasiun kerja sementara)	Langkah 2 (Alokasi Elemen Kerja)	Langkah 3 (Stasiun kerja permanen)
11	FS8,BS 4	FS8={ 64,65,24,58,59,63 } BS4= {79,73,72}	Wf=3.35 Wb=4.89 FS8={ 64,65,24,58,59,63 }
12	FS9,BS 4	FS9={ 42,43,44,45,61,62,66,67,68 } BS4={79,73,72}	Wf=4.43 Wb=4.89 FS9={ 42,43,44,45,61,62,66,67,68 }
13	FS10,BS 4	FS10={ 69,76,77,70,72,73 } BS4={79,73,72}	Wf=1.14 Wb=4.89 FS10={ 69,76,77,70,72,73 }
14	FS11,BS 4	FS11=BS4={71,74,75,78,79}	FS11=BS4={71,74,75,78,79}

Setelah proses iterasi dan elemen kerja selesai dilakukan, kemudian stasiun kerja diurutkan. Pada tabel 3.16 dapat dilihat susunan stasiun kerja hasil iterasi dan alokasi elemen kerja.

Tabel 3.16 Susunan Stasiun Kerja Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	Idle (detik)
I/FS1	1	9.27	70.74	1.26
	2	12.09		
	3	7.61		
	4	15.33		
	5	26.44		
II/FS2	6	61.41	69.24	2.76
	7	7.83		
III/FS3	8	8.62	71.34	0.66
	9	4.78		
	10	3.91		
	11	2.03		
	12	5.92		
	13	9.34		
	14	8.16		
	15	16.48		
IV/FS4	16	12.10	71.94	0.06
	17	8.71		
	18	3.56		

Tabel 3.16 Susunan Stasiun Kerja Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja
(lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	Idle (detik)
IV/FS4	19	15.53	70.50	1.50
	20	5.88		
	21	2.14		
	29	2.39		
	30	4.18		
	31	3.73		
	32	2.08		
	33	1.15		
	34	4.68		
	35	1.94		
	36	11.02		
	37	2.03		
	V/FS5	38		
39		1.71		
40		1.93		
41		3.43		
22		1.12		
23		2.94		
25		12.43		
26		11.78		
27		11.36		
28		7.98		
VI/FS6	46	8.98	69.27	2.73
	52	3.54		
	54	3.30		
	47	8.45		
	48	11.19		
	49	24.63		
VII/FS7	50	5.25	68.52	3.48
	51	4.25		
	53	15.50		
	55	14.68		
VIII/FS8	56	10.46	68.65	3.35
	57	38.36		
	60	5.02		
	64	24.86		
	65	12.22		
	24	7.78		
58	10.58			
59	4.97			
63	8.24			

Universitas Indonesia

Tabel 3.16 Susunan Stasiun Kerja Hasil Iterasi dan Alokasi Elemen Kerja
(lanjutan)

Stasiun Kerja, <i>K</i>	Elemen Kerja, <i>i</i>	<i>t_i</i> (detik)	ST _K (detik)	Idle (detik)
IX/FS9	42	2.17	67.57	4.43
	43	2.14		
	44	14.06		
	45	2.37		
	61	2.13		
	62	21.88		
	66	8.42		
	67	8.25		
X/FS10	68	6.15	70.86	1.14
	69	12.21		
	76	14.54		
	77	8.04		
	70	2.17		
	72	13.07		
XI/FS10/BS4	73	20.83	67.08	4.92
	71	13.50		
	74	6.27		
	75	6.95		
	78	7.15		
XII/BS3	79	33.21	69.69	2.31
	80	22.08		
	81	3.82		
XIII/BS2	82	43.79	69.77	2.23
	83	3.97		
	84	5.06		
	85	17.82		
	86	14.65		
	87	4.12		
	88	11.64		
XIV/BS1	89	12.51	70.04	1.96
	90	11.12		
	91	15.35		
	92	4.90		
	93	12.15		
	94	21.53		
	95	4.99		

Efisiensi Lintasan :

$$Eff = \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\%$$

Universitas Indonesia

$$= \frac{(70.74+69.24+\dots+70.04)}{72 \times 14} \times 100\%$$

$$= 96.75\%$$

Balance delay :

$$BD = \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n ti}{(n \times CT)} \times 100\%$$

$$= \frac{1008 - 975.21}{1008} \times 100\%$$

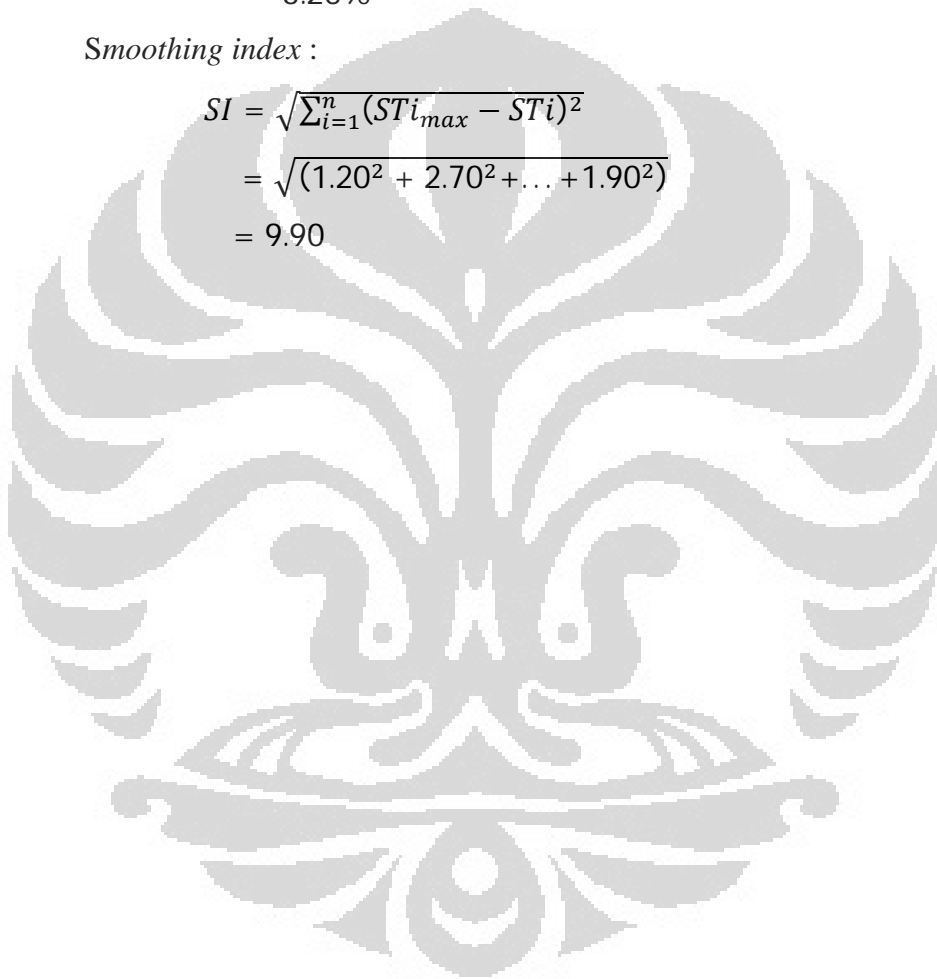
$$= 3.25\%$$

Smoothing index :

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (STi_{max} - STi)^2}$$

$$= \sqrt{(1.20^2 + 2.70^2 + \dots + 1.90^2)}$$

$$= 9.90$$



BAB 4

ANALISA HASIL

4.1 Analisa Kondisi Aktual

Line assembling pada sistem terpasang saat ini terdapat 13 stasiun kerja dimana pada masing-masing stasiun kerja terdapat 1 operator yang bekerja, sehingga jumlah operator yang bekerja adalah 13 operator. Jumlah elemen kerja untuk melakukan proses perakitan transmisi dari awal hingga selesai adalah 95 elemen kerja. Berdasarkan hasil pengukuran waktu standar yang telah dilakukan, maka total waktu yang dibutuhkan untuk 95 elemen kerja adalah 975.21 detik.

Berikut adalah alokasi elemen kerja untuk masing-masing stasiun kerja pada sistem terpasang saat ini.

Tabel 4.1 Alokasi Elemen Kerja pada Sistem Terpasang

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	<i>Idle</i> (detik)
I	1	9.27	70.74	19.26
	2	12.09		
	3	7.61		
	4	15.33		
	5	26.44		
II	6	61.41	69.24	20.76
	7	7.83		
III	8	8.62	80.05	9.95
	9	4.78		
	10	3.91		
	11	2.03		
	12	5.92		
	13	9.34		
	14	8.16		
	15	16.48		
	16	12.10		
	17	8.71		
IV	18	3.56	82.50	7.50
	19	15.53		
	20	5.88		

Tabel 4.1 Alokasi Elemen Kerja pada Sistem Terpasang (lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	$Idle$ (detik)
IV	21	2.14		
	22	1.12		
	23	2.94		
	24	7.78		
	25	12.43		
	26	11.78		
	27	11.36		
	28	7.98		
V	29	2.39	63.93	26.07
	30	4.18		
	31	3.73		
	32	2.08		
	33	1.15		
	34	4.68		
	35	1.94		
	36	11.02		
	37	2.03		
	38	2.92		
	39	1.71		
	40	1.93		
	41	3.43		
	42	2.17		
	43	2.14		
	44	14.06		
	45	2.37		
	VI	46		
47		8.45		
48		11.19		
49		24.63		
50		5.25		
51		4.25		
52		3.54		
53		15.50		
54		3.30		
VII	55	14.68	79.05	10.95
	56	10.46		
	57	38.36		

Universitas Indonesia

Tabel 4.1 Alokasi Elemen Kerja pada Sistem Terpasang (lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	$Idle$ (detik)
VII	58	10.58		
	59	4.97		
VIII	60	5.02	82.77	7.23
	61	2.13		
	62	21.88		
	63	8.24		
	64	24.86		
	65	12.22		
	66	8.42		
IX	67	8.25	89.40	0.60
	68	6.15		
	69	12.21		
	70	2.17		
	71	13.50		
	72	13.07		
	73	20.83		
	74	6.27		
	75	6.95		
X	76	14.54	62.94	27.06
	77	8.04		
	78	7.15		
	79	33.21		
XI	80	22.08	78.72	11.28
	81	3.82		
	82	43.79		
	83	3.97		
	84	5.06		
XII	85	17.82	60.74	29.26
	86	14.65		
	87	4.12		
	88	11.64		
	89	12.51		
XIII	90	11.12	70.04	19.96
	91	15.35		

Tabel 4.1 Alokasi Elemen Kerja pada Sistem Terpasang (lanjutan)

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja, i	t_i (detik)	ST_K (detik)	$Idle$ (detik)
XIII	92	4.90		
	93	12.15		
	94	21.53		
	95	4.99		

Untuk mengetahui tingkat performansi pada sistem terpasang saat ini, maka dilakukan perhitungan kriteria performansi yang terdiri dari efisiensi lintasan, *balance delay*, dan *smoothing index*.

Berikut adalah perhitungan kriteria performansi pada sistem terpasang saat ini.

Efisiensi lintasan :

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\
 &= \frac{(70.74+69.24+\dots+70.04)}{90 \times 13} \times 100\% \\
 &= 83.35\%
 \end{aligned}$$

Balance delay :

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \\
 &= \frac{1170 - 975.21}{1170} \times 100\% \\
 &= 16.65\%
 \end{aligned}$$

Smoothing index :

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_{i_{max}} - ST_i)^2} \\
 &= \sqrt{(18.66^2 + 20.16^2 + \dots + 19.36^2)} \\
 &= 60.98
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan diatas menunjukkan bahwa performansi *line assembling* transmisi pada saat dilakukan pengamatan memiliki kondisi yang kurang baik. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa lintasan produksi yang baik memiliki efisiensi lintasan yang tinggi, *balance delay* yang rendah, dan *smoothing*

index yang mendekati angka 0. Sementara itu hasil perhitungan terhadap sistem yang terpasang saat ini menunjukkan bahwa *line assembling* PT. X memiliki nilai efisiensi yang rendah, *balance delay* dan *smoothing index* yang tinggi.

4.1.1 Analisa Penyebab Ketidakseimbangan Lintasan

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan, penyebab utama terjadinya ketidakseimbangan lintasan adalah terdapatnya waktu menunggu pada beberapa stasiun kerja. Pada gambar 4.1 dapat dilihat waktu menunggu untuk masing-masing stasiun kerja pada sistem yang terpasang saat ini.



Gambar 4.1 Grafik Waktu Menunggu Stasiun Kerja

Dari grafik 4.1 dapat dilihat bahwa masing-masing stasiun kerja memiliki waktu menunggu. Waktu menunggu yang paling besar terdapat pada stasiun kerja XII dan waktu menunggu yang paling kecil pada stasiun kerja IX. Hal ini terjadi karena tidak tepatnya pengaturan dan perencanaan yang dilakukan oleh pihak perusahaan dalam penugasan kerja operator, sehingga menyebabkan beban kerja yang tidak merata pada masing-masing stasiun kerja.

4.1.2 Analisa Penanggulangan Ketidakseimbangan Lintasan

Dalam menciptakan suatu lintasan yang seimbang maka diperlukan penyeimbangan waktu antar stasiun kerja. Penyeimbangan waktu antar stasiun kerja dapat dilakukan dengan berbagai metode *line balancing* serta menerapkan hasil *line balancing* dari metode yang telah dilakukan. Dengan diterapkannya hasil *line balancing* walaupun tidak diperoleh hasil yang benar-benar sempurna,

Universitas Indonesia

diharapkan bahwa performansi *line assembling* perusahaan dapat lebih baik daripada sebelumnya dan kapasitas produksi perusahaan dapat meningkat sehingga order dari customer dapat terpenuhi.

4.2 Analisa Hasil Rancangan atau Pemilihan Metode Terbaik

Setelah dilakukan proses *line balancing* dengan metode *Helgeson-Birnie*, *Moodie Young*, dan *New Bidirectional* maka dilakukan pemilihan hasil *line balancing* yang menunjukkan performansi yang terbaik untuk mendapatkan rancangan keseimbangan lintasan serta jumlah operator dan alokasi elemen kerja yang optimal. Pemilihan rancangan terbaik didasarkan atas berbagai kriteria performansi seperti efisiensi lintasan, *balance delay*, dan *smoothing index*. Selain itu pemilihan solusi terbaik juga berdasarkan jumlah stasiun kerja yang paling minimum. Ringkasan kriteria performansi lintasan berdasarkan metode *Helgeson-Birnie*, *Moodie Young*, dan *New Bidirectional* dapat dilihat pada tabel 4.2.

Tabel 4.2 Perbandingan Kriteria Performansi

Kriteria Performansi	Helgeson-Birnie	Moodie Young	New Bidirectional
Efisiensi Lini	90.30%	96.75%	96.75%
Balance Delay	9.70%	3.25%	3.25%
Smoothing Index	43.78	9.25	9.90
Jumlah Stasiun Kerja	15	14	14

Berdasarkan perbandingan terhadap kriteria performansi lintasan dan jumlah stasiun kerja dengan metode yang telah dilakukan, maka dapat dinyatakan bahwa hasil metode *Moodie Young* merupakan rancangan keseimbangan lintasan yang *outperform* atau mengalahkan 2 metode yang lainnya khususnya metode *Helgeson-Birnie*. Dimana efisiensi lintasan mencapai 96.75 %, *balance delay* sebesar 3.25%, *smoothing index* sebesar 9.25 dan stasiun kerja berjumlah 14. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan peneliti sebelumnya (Baroto, 2004) yaitu metode *Moodie Young* cocok digunakan untuk *precedence* diagram yang berawal dari satu atau banyak operasi terpisah namun menyatu dalam suatu elemen operasi dan diakhiri pada satu elemen operasi. Adapun bila dibandingkan

dengan metode *New Bidirectional* yang merupakan metode baru (dipublikasikan tahun 2009), metode ini memberikan hasil yang hampir sama baiknya, itu berarti metode *New Bidirectional* juga cocok digunakan untuk *precedence* diagram yang berawal dari satu atau banyak operasi terpisah namun menyatu dalam suatu elemen operasi dan diakhiri pada satu elemen operasi.

Untuk alokasi elemen kerja pada masing-masing stasiun kerja dapat dilihat pada tabel 4.3

Tabel 4.3 Alokasi Elemen Kerja Metode Terpilih

Stasiun Kerja, K	Elemen Kerja	ST_K (detik)	$Idle$ (detik)
I	1,2,3,4,5	70.74	1.26
II	6,7	69.24	2.76
III	8,9,10,11,12,13,14,15,16	71.34	0.66
IV	18,19,20,21,29,30,31,32,33,34,35,36,37,38,39,40,41	70.30	1.70
V	17,22,23,25,26,27,28,46,52	68.84	3.16
VI	47,48,49,50,51,53	69.27	2.73
VII	54,55,56,57,59	71.77	0.23
VIII	58,63,60,64,65,24	68.70	3.30
IX	42,43,44,45,61,62,66,67,68	67.57	4.43
X	69,76,77,70,71,74,75,78	70.83	1.17
XI	72,73,79	67.11	4.89
XII	80,81,82	69.69	2.31
XIII	83,84,85,86,87,88,89	69.77	2.23
XIV	90,91,92,93,94,95	70.04	1.96

4.3 Analisa Perbandingan Kondisi Aktual dan Hasil Rancangan

Perbandingan kondisi aktual dengan hasil rancangan dapat dilakukan dengan membandingkan kriteria performansi seperti yang terlihat pada tabel 4.4

Tabel 4.4 Perbandingan Kriteria Performansi Kondisi Aktual dan Hasil Rancangan

Kriteria Performansi	Kondisi Aktual	Hasil Rancangan
Efisiensi Lini	83.35%	96.75%
Balance Delay	16.65%	3.25%
Smoothing Index	60.98	9.25
Stasiun Kerja	13	14

Berdasarkan perbandingan pada tabel 4.4 dapat dilihat bahwa keseimbangan lintasan hasil rancangan lebih baik daripada keseimbangan lintasan kondisi aktual. Analisa terhadap tiap masing-masing kriteria performansi adalah sebagai berikut:

1. Efisiensi Lintasan

Efisiensi lintasan adalah rasio antara waktu yang digunakan dengan waktu yang tersedia. Lintasan produksi yang baik memiliki nilai efisiensi lintasan yang tinggi yang menunjukkan bahwa seluruh stasiun kerja memiliki waktu yang mendekati dengan waktu siklus yang telah ditetapkan. Sehingga dapat dikatakan semakin tinggi nilai efisiensi lintasan maka performansi lintasan tersebut semakin baik. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh peningkatan efisiensi lintasan sebesar 13.4%, yaitu dari 83.35% menjadi 96.75%.

2. *Balance Delay*

Balance delay adalah rasio antara waktu *idle* dalam lintasan perakitan dengan waktu yang tersedia. Besar *balance delay* menunjukkan presentase waktu mengganggu terhadap waktu produksi komponen sejak memasuki stasiun kerja pertama sampai stasiun kerja terakhir. Lintasan produksi yang sempurna memiliki *balance delay* sebesar nol, yang berarti tidak ada waktu mengganggu pada seluruh stasiun kerja. Dengan kata lain semakin kecil nilai *balance delay* maka performansi lintasan semakin baik. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh penurunan nilai *balance delay* sebesar 13.4 %, yaitu dari 16.65% menjadi 3.25%.

3. *Smoothing Index*

Smoothing Index adalah suatu indeks yang mempunyai kelancaran relatif dari penyeimbang lintasan perakitan tertentu atau tingkat kelancaran dari keseimbangan lintasan yang dibentuk. Lintasan produksi yang baik memiliki nilai *smoothing index* yang mendekati angka nol. Dengan kata lain semakin kecil nilai *smoothing index* maka performansi lintasan semakin baik. Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh penurunan nilai *smoothing index* sebesar 51.73, yaitu dari 60.98 menjadi 9.25.

Sedangkan untuk jumlah stasiun kerja mengalami penambahan dari kondisi aktual, dari 13 stasiun kerja menjadi 14 stasiun kerja. Hal ini dikarenakan untuk memenuhi target waktu siklus 1.2 menit dan dengan total waktu proses perakitan sebesar 975.21 detik, maka jumlah stasiun kerja yang paling minimum dibutuhkan

Universitas Indonesia

adalah 14 stasiun kerja. Berikut adalah perhitungan untuk menentukan jumlah stasiun kerja minimum yang dibutuhkan.

$$K_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{CT}$$

$$K_{\min} = \frac{975.21}{72}$$

$$K_{\min} = 13.54 = 14 \text{ stasiun kerja}$$

Dikarenakan pada masing-masing stasiun kerja terdapat 1 operator yang bekerja, dengan demikian jumlah operator yang optimal untuk memenuhi target produksi berdasarkan waktu siklus yang telah ditetapkan adalah 14 operator.



BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dari seluruh kegiatan yang dilakukan dalam penelitian ini dapat diambil kesimpulan bahwa :

- Dari proses *line balancing* dengan menggunakan berbagai metode (*Helgeson-Birnie*, *Moodie Young*, dan *New Bidirectional*) yang telah dilakukan, rancangan keseimbangan lintasan yang menunjukkan performansi terbaik adalah metode *Moodie Young*, dengan tingkat efisiensi lintasan sebesar 96.75%, *balance delay* 3.25%, *smoothing index* 9.25, dan jumlah stasiun kerja yang diperlukan adalah 14 stasiun kerja. Hasil tersebut tentunya lebih baik dibandingkan dengan kondisi sebelumnya, dimana tingkat efisiensi sebesar 83.35%, *balance delay* 16.65% dan *smoothing index* 60.98. Sedangkan rancangan keseimbangan lintasan yang menunjukkan performansi terendah adalah metode *Helgeson-Birnie* dengan tingkat efisiensi lintasan sebesar 90.30%, *balance delay* 9.70%, *smoothing index* 43.78, dan jumlah stasiun kerja yang diperlukan adalah 15 stasiun kerja.
- Apabila rancangan keseimbangan lintasan hasil proses *line balancing* dengan metode *Moodie Young* diaplikasikan, maka waktu siklus akan menurun dari 1.5 menit menjadi 1.2 menit dan akan terjadi peningkatan kapasitas sebesar 139 unit per hari. Hal ini akan memenuhi target dari perusahaan untuk meningkatkan kapasitas produksi dengan menurunkan waktu siklus hingga sama dengan *takt time*, sehingga *order* dari *customer* yang meningkat dapat terpenuhi.

5.2 Saran

- Penelitian ini hanya mengambil aspek dari waktu proses dan belum menyentuh aspek tata letak dari *line assembling* perusahaan. Oleh karena itu disarankan penelitian ini dilanjutkan dengan memasukan faktor tata letak agar hasil atau rekomendasi dari penelitian ini menjadi lengkap dan siap untuk diaplikasikan. Selain itu agar tingkat performansi dari hasil

rancangan keseimbangan lintasan dapat tercapai, maka operator yang akan ditambahkan sebaiknya merupakan operator yang sudah terlatih sebelumnya. Hal ini bertujuan untuk menghindari kesalahan yang akan timbul dan dapat menghambat kelancaran dalam proses produksi.

- Pada penelitian ini proses *line balancing* dengan metode *Moodie Young* dan metode *New Bidirectional* menunjukkan performansi yang hampir sama baiknya, perbedaan hanya terdapat pada nilai *smoothing index*. Untuk metode *Moodie Young* nilai *smoothing index* 9.25 sedangkan untuk metode *New Bidirectional* nilai *smoothing index* 9.90. Oleh karena itu diperlukan penelitian lebih lanjut untuk membandingkan kedua metode tersebut dengan kasus jumlah elemen kerja yang lebih banyak. Hal ini bertujuan untuk melihat metode mana yang menghasilkan performansi yang lebih baik juga mempertimbangkan faktor kemudahan/*robustness* dan kecepatan dalam penggunaannya.

DAFTAR REFERENSI

- Barnes, Ralph M. 1980. *Motion and Time Study : Design and Measurement of Work*, 7th edition, Newyork : Wiley
- Baroto, T. 2004. Simulasi Perbandingan Algoritma Region Approach, Positional Weight, dan Moodie Young dalam Efisiensi dan Keseimbangan Lini Produksi, Naskah Publikasi, Jurusan Teknik Industri Universitas Muhammadiyah Malang
- Benyamin W. Niebel and Andris Freivalds. 2003. *Methods, Standards, and Work Design*, 11th, McGrawHill
- Boysen, N., Malte Fliedner and Armin School. 2007. *A Classification Of Assembly Line Balancing Problems*, European Journal Of Operation Research, 183
- Elsayed, A. E and Thomas O. Boucher. 1994. *Analysis and Control of Production Systems*, 2nd edition, Prantice Hall International Editions
- Kusuma, H. 2007. Manajemen Produksi, Edisi ketiga, Penerbit Andi, Yogyakarta
- Ponnambalam, S. G., P. Aravindan and G. Mogileeswar Naidu. 2000. *A Multi-Objective Genetic Algorithm for Solving Assembly Line Balancing Problem*, Int J Manuf Technol 16: 341-352
- Purnomo, H. 2004. Pengantar Teknik Industri, Edisi Kedua, Yogyakarta: Penerbit Graha Ilmu
- Sutalaksana, I. Z., John H.Tjakraatmadja, dan Ruhana Anggawisastra. 1979. TeknikTata Cara Kerja, Bandung : Penerbit Departemen Teknik Industri – ITB
- Talbot, F.B., James H Patterson and William V. Gehrlein. 1986. *A Comparative Evaluation Of Heuristic Line Balancing Techniques*, Management Science, 30, 7
- Wignjosoebroto, S. 2008. Ergonomi, Studi Gerak dan Waktu : Teknik Analisis Untuk Peningkatan Produktivitas Kerja. Surabaya : Penerbit Guna Widya
- Yeh D-H and Kao Hsiu-Hsueh. 2009. *A New Bidirectional Heuristic for the Assembly Line Balancing Problem*, Computers & Industrial Engineering 57, 1155-1160

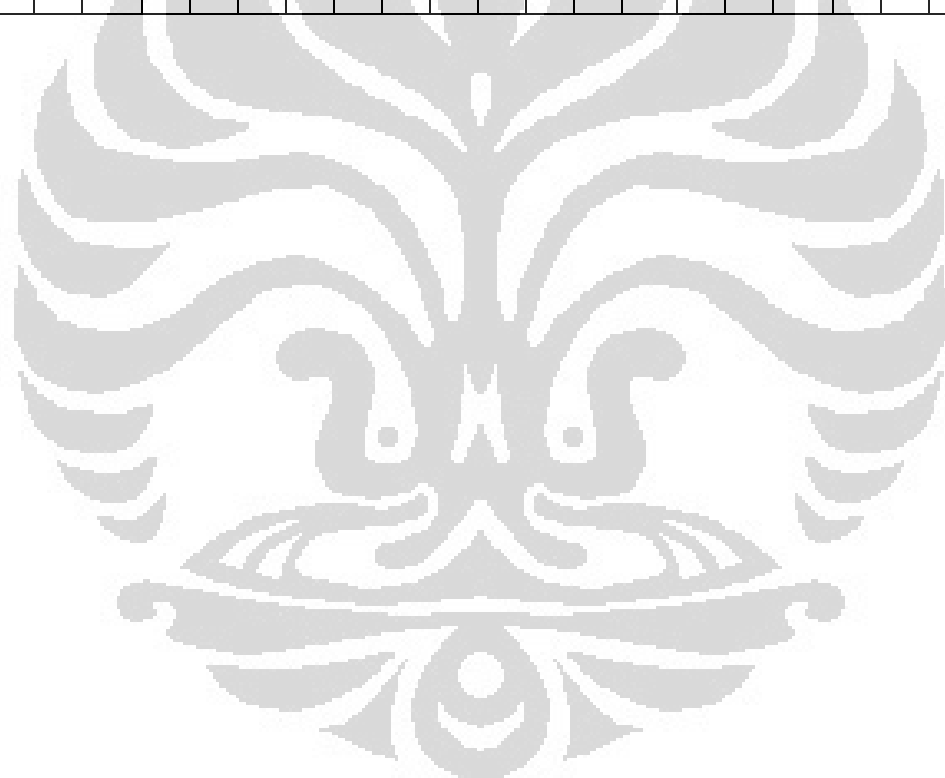
EK	Waktu Hasil Observasi																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
1	8.20	7.19	9.04	8.10	9.16	7.93	7.15	8.10	7.92	7.94	9.19	8.18	7.93	8.10	8.12	7.23	7.94	8.17	8.13	9.16	8.08	9.13	7.91	7.20	8.14	8.19	8.18	8.21	7.93	8.15
2	10.90	11.65	10.87	9.60	10.75	10.90	9.57	10.65	9.73	10.65	10.86	10.58	11.79	10.72	10.77	10.86	10.64	10.87	11.91	10.55	11.85	10.81	10.73	10.55	9.64	10.87	9.32	9.62	10.75	9.30
3	7.69	7.45	6.40	7.59	6.82	7.70	6.29	6.06	6.83	5.93	6.07	7.13	6.34	5.96	6.45	6.82	6.57	6.84	6.58	7.34	6.85	6.69	6.25	6.82	6.19	6.60	6.72	6.83	5.69	6.72
4	15.32	14.14	12.87	13.18	12.97	15.20	13.31	12.67	13.98	11.80	15.31	12.52	12.63	12.74	13.83	12.43	15.29	14.37	13.10	12.53	15.08	14.04	12.48	13.13	14.05	12.07	13.28	12.74	12.32	14.04
5	23.54	21.79	22.51	22.14	24.39	23.92	21.74	23.29	23.37	23.62	24.27	23.22	23.43	23.36	24.11	23.50	23.28	23.01	24.55	22.19	21.82	23.45	23.67	23.00	22.28	23.69	23.46	22.04	23.39	23.54
6	52.17	53.10	56.08	53.14	52.12	54.09	52.92	56.41	54.14	53.22	55.09	55.18	53.44	53.21	53.37	56.10	53.35	52.89	56.12	51.88	52.94	53.19	53.37	53.30	52.84	53.12	56.34	55.48	53.34	54.28
7	7.03	6.75	7.08	7.29	5.94	6.28	6.97	7.17	7.29	6.11	6.98	6.87	5.97	7.10	6.95	7.03	7.05	6.00	7.77	6.97	7.02	7.12	7.05	6.83	6.08	6.60	6.62	6.66	7.82	7.63
8	7.27	8.00	7.09	8.02	7.18	7.79	7.98	7.68	6.71	7.38	7.21	7.40	6.77	6.74	7.20	6.95	7.01	6.71	7.57	7.77	7.89	6.65	7.37	7.96	7.10	7.77	7.17	7.06	7.98	6.77
9	3.96	3.83	4.70	4.00	4.29	4.06	3.94	4.09	4.58	3.97	3.77	3.94	4.69	3.50	4.38	3.76	3.40	3.60	4.80	4.20	4.08	4.03	4.81	3.81	3.43	3.51	4.04	4.14	4.01	4.73
10	3.70	3.39	4.00	3.02	3.54	2.70	3.04	3.83	3.14	3.05	3.57	3.15	3.29	3.91	3.38	3.61	2.88	2.82	3.05	3.75	3.62	3.23	3.84	3.61	3.11	3.18	2.80	3.40	2.82	3.47
11	1.67	1.92	1.73	1.67	1.84	1.56	1.65	1.56	1.68	1.69	1.88	1.75	1.68	1.56	1.66	1.64	1.96	1.66	1.49	1.93	1.87	1.59	1.69	1.84	1.58	1.79	1.94	1.58	1.87	1.94
12	4.49	5.62	4.97	4.71	5.38	4.82	4.89	5.23	5.77	4.39	5.78	5.56	4.97	4.47	5.31	4.79	4.91	5.68	5.88	4.45	4.97	5.42	4.43	4.55	5.41	4.75	4.86	4.42	4.97	5.31
13	7.844	8.734	7.92	8.434	7.99	8.294	7.98	8.63	8.23	8.7	8.42	8.034	6.79	7.13	8.45	8.23	6.75	8.62	8.06	7.53	8.35	6.794	8.73	7.99	7.76	8.34	8.49	6.77	7.79	6.87
14	6.5	6.89	6.67	6.75	7.04	6.44	6.5	5.63	7.85	7.94	6.67	6.3	6.89	7.94	7.52	6.59	5.96	6.33	7.8	7.94	6.09	6.53	6.49	8.19	7.49	6.39	7.16	6.39	7.6	7.9
15	14.18	13.51	14.54	14.80	14.56	13.90	14.36	14.27	14.43	13.24	14.14	13.82	14.44	13.26	13.82	13.23	14.75	13.99	13.57	14.38	13.57	14.12	13.34	14.14	14.23	14.44	14.37	13.84	13.81	14.06
16	9.46	10.55	9.55	10.53	10.15	10.63	10.50	11.13	10.92	10.66	9.53	9.66	10.53	10.45	10.35	9.47	10.57	10.45	9.92	10.48	9.59	10.50	10.55	10.45	10.22	9.88	10.15	11.25	9.92	11.11
17	7.478	6.478	7.74	7.248	6.12	6.338	8.59	7.5	8.28	7.81	7.51	6.458	8.11	7.02	6.89	6.98	8.63	8.08	8.26	7.39	8.28	6.738	7.08	6.7	6.37	6.39	8.7	7.93	7.59	7.95
18	2.90	3.05	2.86	3.03	3.52	2.67	2.95	2.65	3.42	2.85	2.66	3.52	2.52	3.01	3.16	3.17	2.91	2.96	3.46	3.25	3.17	3.49	2.47	3.50	3.11	3.25	2.55	2.69	2.52	3.56
19	13.35	12.43	13.99	12.36	12.63	13.52	14.46	13.62	12.63	14.12	13.52	12.26	13.87	13.80	12.61	13.58	14.14	12.37	12.55	13.82	12.46	12.47	13.76	13.82	12.25	13.93	14.42	12.36	13.35	12.33
20	4.44	4.76	4.83	5.23	5.00	5.53	4.49	4.98	4.87	4.72	4.83	4.79	4.85	5.80	4.80	5.00	5.03	4.92	5.56	5.52	4.39	4.96	4.78	5.81	4.92	5.62	4.34	4.90	5.00	5.55
21	1.76	1.77	1.62	1.79	1.94	1.67	1.91	1.73	1.80	1.86	1.89	1.76	1.90	1.96	1.84	1.66	1.97	1.95	1.73	1.69	2.03	1.84	1.60	1.96	1.94	1.67	1.84	1.96	1.73	1.75
22	1.04	1.09	0.86	1.00	0.89	0.83	0.90	1.09	0.77	0.99	0.86	0.87	1.09	0.94	1.11	1.00	0.87	0.76	0.90	0.84	0.97	0.99	1.09	1.05	1.02	1.00	0.86	1.10	0.75	0.99
23	2.83	2.38	2.60	2.65	2.49	2.14	2.38	2.92	2.39	2.67	2.74	2.83	2.17	2.60	2.63	2.43	2.29	2.63	2.50	2.66	2.58	2.58	2.83	2.38	2.16	2.14	2.14	2.56	2.15	2.69

E K	Waktu Hasil Observasi																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
24	6.77	6.38	6.71	6.05	7.03	6.77	6.50	7.30	6.25	6.94	7.11	6.06	6.47	6.25	7.30	6.94	7.14	6.49	6.30	7.36	6.94	6.06	6.71	6.16	6.57	6.64	6.38	6.67	6.05	6.47
25	10.48	10.27	9.70	10.03	10.26	9.79	11.44	10.75	9.72	9.81	11.48	10.74	10.81	10.48	10.28	11.05	11.61	10.28	10.78	10.70	11.37	10.85	9.84	10.37	10.70	10.39	11.58	10.40	10.83	11.03
26	9.57	9.16	9.03	11.03	11.57	10.56	9.60	9.69	11.00	8.64	10.38	9.10	9.25	11.33	10.06	9.34	10.48	10.41	11.47	8.60	10.51	8.38	8.46	11.01	10.94	10.40	9.51	10.47	11.38	9.68
27	8.92	8.89	9.14	10.64	9.14	9.20	10.97	9.03	10.57	9.55	8.57	8.98	9.58	10.14	8.68	8.92	11.22	8.74	11.25	9.77	9.24	9.14	9.04	10.61	9.25	9.31	10.98	9.98	11.08	9.79
28	6.70	6.67	5.82	6.00	7.73	7.78	6.06	6.43	6.95	7.54	7.43	7.47	5.95	5.60	8.03	7.68	5.44	5.95	7.45	7.89	7.35	7.11	6.00	5.52	7.67	8.32	5.30	5.76	6.73	7.73
29	2.08	2.15	1.90	2.20	2.09	2.01	2.17	2.23	2.17	1.89	1.92	2.21	1.85	1.89	2.14	1.95	2.22	1.88	2.23	2.08	1.93	2.09	2.05	1.89	1.91	1.89	2.04	1.88	2.12	2.05
30	3.58	3.81	4.01	3.91	3.57	3.36	3.23	3.70	4.01	3.00	3.57	3.45	3.54	3.55	3.38	3.45	3.18	3.02	2.98	3.65	3.38	3.97	3.80	3.56	3.65	3.50	3.34	4.10	3.56	4.01
31	3.46	2.99	3.12	3.09	2.41	3.78	3.10	2.66	3.10	3.56	3.10	3.79	2.99	3.37	2.44	3.40	3.34	2.71	3.66	3.34	3.10	3.85	3.32	2.88	2.68	3.77	3.41	2.66	3.35	3.10
32	1.82	1.83	1.61	1.71	1.76	2.06	1.83	1.91	1.93	1.84	1.96	1.67	1.69	1.89	1.94	2.05	1.51	1.64	1.96	1.64	1.73	1.64	1.71	1.64	1.54	1.61	1.63	1.71	1.96	1.81
33	0.96	0.79	0.98	1.14	1.10	0.83	0.82	1.06	1.13	1.07	0.97	1.16	1.11	1.00	0.91	1.13	1.12	1.08	0.99	0.83	0.79	0.85	1.16	0.88	0.86	1.17	0.96	0.81	0.75	0.98
34	3.97	3.65	3.68	3.72	3.83	4.08	4.07	3.48	4.58	4.48	4.34	3.85	4.44	4.38	3.61	3.65	3.52	3.79	3.78	3.73	4.59	3.51	4.08	3.59	4.51	3.61	3.74	4.08	4.75	4.62
35	1.39	1.68	1.70	1.92	1.24	1.74	1.73	1.89	1.88	1.45	1.77	1.81	1.54	1.57	1.71	1.34	1.33	1.77	1.94	1.73	1.90	1.65	1.23	1.41	1.89	1.69	1.82	1.29	1.62	1.78
36	9.45	9.03	9.22	8.92	9.67	9.12	9.78	8.94	9.01	9.34	9.72	9.66	9.43	9.76	9.12	9.34	9.58	9.75	9.24	9.76	9.58	8.91	9.45	9.88	9.12	9.12	9.34	9.44	9.13	9.76
37	2.04	1.78	1.52	1.93	1.84	1.66	1.62	1.81	1.44	1.70	1.86	1.64	1.74	1.41	1.83	1.43	1.58	1.96	1.80	1.97	1.88	1.83	1.52	1.41	1.96	1.61	1.86	1.57	1.63	1.97
38	2.36	2.92	2.10	2.70	2.38	3.01	2.97	2.47	2.28	2.20	2.18	2.75	3.01	2.48	2.28	2.83	2.04	2.36	3.07	2.13	2.17	2.07	3.00	2.27	2.13	2.53	2.36	2.60	2.61	2.48
39	1.62	1.41	1.24	1.59	1.72	1.44	1.24	1.67	1.42	1.69	1.61	1.37	1.43	1.59	1.36	1.23	1.46	1.53	1.21	1.34	1.42	1.65	1.34	1.52	1.25	1.30	1.69	1.31	1.55	1.62
40	1.88	1.59	1.42	1.77	1.90	1.52	1.92	1.85	1.60	1.37	1.87	1.25	1.71	1.87	1.67	1.23	1.34	2.01	1.69	1.52	1.40	1.73	1.52	1.89	1.73	1.58	1.87	1.29	1.53	1.80
41	2.87	2.51	2.86	2.31	3.33	3.22	2.40	2.62	3.29	2.39	3.26	2.45	2.87	2.64	2.53	3.37	3.26	2.87	3.11	3.02	3.64	3.65	3.40	3.11	2.87	2.87	2.67	3.00	2.51	2.77
42	1.43	1.70	1.47	2.22	1.51	1.73	1.92	1.86	2.00	2.12	1.66	1.60	1.72	2.11	1.56	2.20	1.98	1.73	1.89	1.73	1.96	2.20	1.70	1.71	2.03	1.67	2.17	1.69	2.03	2.18
43	2.22	1.95	1.72	1.79	1.85	1.89	1.53	1.49	2.10	1.52	1.88	1.95	1.69	2.07	2.07	1.69	1.62	1.56	2.01	1.91	1.62	1.96	2.19	1.47	1.70	2.20	1.95	1.83	1.66	1.60
44	12.44	12.50	12.29	12.47	12.31	12.48	11.95	11.78	11.28	11.61	12.39	11.52	12.07	11.63	12.25	11.52	11.83	11.61	11.45	12.53	11.57	12.25	12.41	12.21	11.84	11.45	11.85	12.32	11.39	11.78
45	1.98	2.10	1.96	2.13	2.17	2.01	1.87	1.98	2.08	1.80	2.16	2.01	1.90	2.26	2.00	1.91	1.99	1.98	2.01	2.19	1.99	2.05	2.23	2.20	1.79	2.01	1.80	1.81	2.00	2.10

EK	Waktu Hasil Observasi																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
46	7.87	7.32	7.19	7.23	7.18	7.82	7.73	7.72	7.22	8.30	7.76	7.32	7.89	7.34	7.34	7.65	7.43	7.56	7.89	8.27	7.78	7.76	7.67	7.75	7.09	7.65	7.76	7.98	7.85	8.29
47	6.32	6.44	7.20	6.47	6.09	7.44	6.39	7.47	7.89	7.23	7.90	7.76	7.13	7.69	7.81	7.20	7.03	6.87	7.89	7.81	6.97	6.71	7.87	6.71	6.86	7.40	6.67	6.98	8.20	7.53
48	9.75	9.57	9.77	10.24	9.60	9.76	10.12	10.04	10.23	9.30	9.70	9.77	10.06	9.76	9.50	9.09	8.79	9.41	9.73	9.09	9.27	8.75	9.42	9.44	10.09	9.22	9.00	9.31	9.16	9.09
49	20.30	20.75	20.62	21.70	20.57	20.99	21.02	20.98	21.62	21.81	20.96	21.65	20.71	20.02	20.55	21.78	20.00	21.60	20.89	20.69	20.37	21.36	20.34	21.62	21.00	20.79	22.14	20.12	21.69	20.69
50	4.10	4.05	4.63	3.94	5.24	4.08	4.54	3.99	4.24	5.21	3.89	4.18	4.44	4.71	4.97	4.00	4.52	4.49	4.90	4.88	4.18	4.34	4.58	4.24	5.12	4.28	4.54	4.32	4.74	4.90
51	3.13	3.68	3.46	3.78	3.69	3.43	3.24	3.78	3.93	3.85	3.69	3.78	3.32	3.40	4.08	3.69	3.44	3.68	3.13	4.09	3.69	3.45	3.83	3.70	3.82	3.75	3.75	3.40	3.69	3.22
52	3.44	2.80	3.31	3.13	2.41	2.79	2.98	2.87	2.40	3.09	3.31	2.79	3.17	2.42	3.31	2.48	3.34	2.96	3.34	3.37	3.31	2.83	2.98	3.42	3.11	3.31	3.20	3.19	3.13	2.44
53	12.77	12.93	13.53	12.81	13.21	12.43	13.04	13.68	12.79	13.37	13.71	12.78	12.71	13.37	13.07	13.49	13.00	13.37	13.77	13.06	12.84	14.67	12.94	12.93	13.12	13.92	13.09	13.88	13.07	12.77
54	2.78	3.14	2.42	2.75	3.33	2.26	2.13	2.89	3.07	2.56	2.69	3.19	2.75	2.56	3.14	2.26	2.15	3.06	3.28	3.20	2.53	2.42	3.04	2.78	3.44	2.64	2.96	2.55	3.21	3.01
55	12.24	12.04	12.16	13.18	12.24	12.98	13.07	12.74	12.96	13.01	12.29	12.04	12.77	12.65	12.17	11.71	12.65	12.06	12.15	12.25	12.39	12.09	13.12	13.10	12.04	12.94	13.04	12.38	12.65	11.95
56	9.38	8.11	8.79	8.88	9.68	8.38	8.93	8.84	8.33	8.03	8.78	8.73	9.08	9.30	9.53	8.82	8.57	9.26	8.03	8.43	9.22	8.30	9.24	9.40	9.43	9.16	9.22	9.20	9.08	9.07
57	32.48	32.47	32.12	34.17	33.78	31.60	33.24	33.27	31.87	32.14	32.39	31.25	32.30	34.10	34.26	31.16	33.27	34.22	32.53	32.87	32.52	32.08	32.19	32.52	32.87	31.00	33.24	33.34	32.78	32.11
58	8.76	8.62	9.76	8.41	8.13	8.18	9.06	9.36	10.08	10.04	9.53	8.78	9.52	9.43	9.17	8.43	9.33	9.06	8.86	8.45	8.69	9.55	9.13	8.23	8.32	8.19	9.73	9.76	9.55	8.15
59	5.23	4.25	4.03	3.88	3.45	4.42	4.09	3.62	5.12	4.13	5.31	4.06	4.24	3.69	3.48	4.12	3.51	3.87	5.27	5.13	4.13	4.48	4.35	3.68	3.85	4.36	3.98	3.79	4.24	5.16
60	4.265	3.735	4.16	4.175	4.29	4.065	4.49	4.68	4.72	4.38	4.19	4.745	4.18	4.29	3.88	4.7	3.63	4.05	4.19	4.15	4.59	3.735	4.38	4.57	4.38	4.7	3.63	4.79	4.63	4.13
61	1.965	1.875	1.57	1.655	1.92	1.835	1.75	1.76	1.95	1.65	1.75	1.805	1.73	2.05	1.73	1.71	1.75	2.03	1.97	1.91	1.8	1.675	1.76	1.84	1.93	1.86	1.72	1.61	1.93	1.95
62	17.69	18.36	18.14	18.37	17.76	18.44	18.67	18.84	18.27	19.81	17.58	18.78	19.45	18.19	17.69	18.26	17.69	18.44	17.38	19.14	18.37	18.67	19.14	18.27	18.49	19.58	19.43	19.91	20.14	19.92
63	7.088	7.3075	6.6	6.728	6.65	7.558	6.51	6.75	6.81	6.6	6.86	7.6775	6.65	7.53	7.15	7.73	7.15	7.32	6.86	6.48	7.76	7.8175	6.75	7.09	6.85	7.04	6.71	6.56	7.18	6.71
64	21.15	21.69	21.29	22.19	21.71	21.72	19.70	21.38	20.40	22.19	21.69	21.40	21.60	20.20	20.52	19.98	21.38	21.69	20.53	22.38	21.61	21.49	19.99	20.49	21.53	22.29	19.96	20.38	20.99	21.52
65	11.07	9.65	9.80	10.47	9.99	10.46	9.67	11.32	10.87	9.77	10.41	10.76	10.17	9.65	10.07	10.53	11.43	10.74	10.61	10.80	10.17	9.74	11.27	10.60	10.47	10.65	10.99	10.12	9.76	10.25
66	7.79	7.01	7.84	6.92	7.03	7.82	7.04	7.69	6.84	7.46	7.11	6.84	7.01	6.63	7.20	7.49	7.08	7.41	7.11	6.99	6.64	7.38	6.84	7.39	6.64	7.11	7.51	7.36	6.99	6.83
67	6.65	6.86	7.48	7.04	7.43	7.05	6.86	7.38	6.65	6.71	7.72	7.23	6.25	6.66	6.85	7.13	6.62	6.64	7.65	6.65	7.06	6.86	7.04	6.81	6.42	7.06	7.71	7.81	7.13	7.38
68	5.03	5.89	5.27	5.07	5.46	4.86	4.88	5.85	5.59	4.86	4.99	5.12	5.31	5.07	5.34	4.60	5.02	5.23	5.32	5.07	5.46	5.87	5.95	5.07	4.50	5.89	5.25	5.07	5.36	4.85

EK	Waktu Hasil Observasi																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
69	10.38	10.42	10.32	10.36	10.80	10.37	9.77	10.15	10.67	10.16	10.79	9.82	10.55	10.33	10.79	9.96	10.33	10.57	11.19	10.93	10.67	10.96	10.04	10.15	10.33	9.57	10.13	9.70	10.55	11.20
70	1.97	1.72	1.97	1.78	1.93	2.15	2.15	2.00	2.26	2.15	2.23	1.48	1.93	1.53	1.91	1.62	1.90	1.87	1.53	2.18	1.95	1.53	1.87	1.77	1.57	1.48	1.66	1.54	1.77	2.23
71	11.39	11.29	11.86	11.29	12.13	11.12	11.69	11.34	11.12	11.61	11.29	11.50	12.02	11.08	11.30	11.13	11.41	12.16	11.78	12.07	11.12	11.51	11.73	11.15	11.06	11.48	11.40	11.33	11.77	11.86
72	10.93	11.06	10.86	10.43	10.97	10.75	11.06	11.66	11.55	11.67	11.87	11.87	11.03	11.41	11.71	11.04	11.17	10.93	10.85	11.17	10.87	11.60	10.75	10.67	11.15	11.07	10.73	11.42	10.60	11.04
73	17.45	17.38	17.05	17.32	18.69	17.59	18.38	17.69	17.60	17.38	18.65	18.51	18.33	17.55	17.67	17.02	17.38	17.51	17.38	16.79	18.27	17.78	18.01	18.17	18.38	17.59	17.68	17.59	17.39	18.05
74	5.03	4.84	5.06	4.84	6.11	5.06	5.95	4.51	5.23	6.03	5.88	5.26	5.14	5.26	5.91	5.49	5.06	5.25	5.72	5.79	5.11	5.06	4.84	5.35	5.61	5.78	4.58	5.24	5.58	5.51
75	5.97	5.89	6.25	5.80	5.90	6.34	6.22	5.30	5.86	6.23	6.00	5.80	5.92	5.30	5.16	5.99	5.47	5.89	6.62	5.80	5.86	5.77	5.97	6.58	5.89	6.35	6.62	5.13	5.23	6.53
76	12.77	12.32	12.17	13.16	12.39	12.13	13.16	12.89	12.87	13.12	12.39	13.17	12.80	12.33	12.56	12.89	12.39	12.56	12.79	13.42	12.87	12.36	13.15	12.75	12.77	12.96	12.36	12.80	13.32	13.03
77	7.02	6.81	7.03	7.14	7.02	7.28	7.14	7.05	7.36	7.31	7.15	6.85	6.94	7.01	7.37	7.41	6.85	7.03	7.28	6.94	6.84	7.12	7.18	6.90	7.15	6.85	6.79	6.70	7.03	6.84
78	5.78	5.93	5.56	6.84	6.51	5.81	6.26	6.48	6.82	6.49	6.36	6.43	5.42	5.82	6.35	6.21	6.21	6.02	6.85	6.33	6.02	5.85	5.95	7.05	6.62	6.35	5.65	6.35	6.84	7.06
79	30.33	30.47	29.93	29.47	29.35	29.17	29.33	29.17	29.22	29.17	29.35	29.04	30.11	29.92	29.93	28.17	28.69	28.06	28.56	28.60	28.35	28.17	29.95	30.46	27.83	27.60	28.95	29.37	29.04	28.28
80	19.37	18.28	19.17	17.49	18.90	18.17	19.73	18.17	17.33	19.66	19.20	19.98	19.38	18.24	18.11	18.68	19.51	18.80	17.82	18.97	18.90	18.02	18.77	18.36	18.32	18.00	19.29	18.43	17.70	19.24
81	3.35	2.99	3.34	2.79	3.81	3.70	2.88	3.10	3.77	2.87	3.74	2.93	3.35	3.12	3.01	3.85	3.74	3.35	3.59	3.50	4.12	4.13	3.88	3.59	3.35	3.35	3.15	3.48	2.99	3.25
82	38.41	34.49	34.36	36.35	37.51	36.23	37.63	38.81	36.55	35.41	37.78	34.78	34.36	36.29	37.30	36.69	37.18	38.78	35.88	35.09	37.88	35.30	34.92	35.79	38.08	36.35	38.03	39.44	36.79	35.54
83	3.48	3.34	3.31	3.33	3.57	3.92	3.56	3.67	3.81	3.39	3.48	3.84	3.74	3.39	3.80	3.82	3.82	3.29	3.75	3.56	3.66	3.82	3.57	3.66	3.72	3.85	3.66	3.87	3.71	3.34
84	4.44	4.31	5.36	5.15	4.60	4.74	5.39	4.51	4.67	3.94	4.27	4.49	5.24	5.13	4.20	4.27	4.74	4.25	4.74	3.83	4.60	4.30	5.25	5.23	4.49	4.31	3.73	4.41	4.30	4.58
85	14.95	14.86	14.33	15.87	15.95	15.35	14.90	15.63	14.40	14.88	14.89	15.76	16.07	14.69	15.82	15.17	14.96	15.35	14.33	14.73	14.95	15.77	15.10	14.62	15.68	14.86	14.95	15.79	15.46	15.19
86	13.01	13.74	13.22	13.81	11.21	11.42	11.89	11.42	12.22	13.51	12.76	13.04	12.21	14.00	11.02	12.55	11.76	11.22	12.95	13.31	12.74	14.06	11.01	13.31	11.35	12.67	11.68	11.42	12.98	12.74
87	3.61	3.46	3.74	3.46	3.44	3.16	3.48	3.71	3.45	3.33	3.84	3.17	3.91	3.34	3.57	3.71	3.95	3.77	3.48	3.13	3.47	3.80	3.92	3.46	3.28	3.47	3.55	3.34	3.17	3.25
88	9.95	10.49	9.31	9.49	10.31	9.59	10.16	10.08	9.70	9.51	10.29	8.85	10.49	9.71	10.13	9.48	9.94	9.47	9.29	10.70	10.29	9.70	9.38	10.80	10.38	9.43	10.40	10.25	10.95	8.92
89	10.42	9.99	10.78	11.10	10.66	10.90	10.12	9.78	9.98	10.77	9.78	10.12	10.32	10.62	10.56	10.41	10.13	9.86	9.95	10.66	10.77	9.95	10.95	11.10	11.05	10.53	10.75	10.43	10.08	10.79
90	10.28	9.84	10.05	10.07	9.42	9.64	9.55	10.00	9.55	9.98	9.91	9.34	9.51	9.34	9.87	9.74	9.98	9.33	9.52	10.07	10.36	9.35	9.34	9.30	10.12	10.27	9.33	10.44	9.52	9.73
91	13.63	13.55	13.41	13.68	14.53	13.21	13.68	12.94	14.56	13.29	14.08	13.65	14.56	13.54	13.27	12.86	13.20	14.11	14.54	13.00	12.56	13.11	12.67	12.68	13.43	13.11	13.20	13.41	13.54	12.97

EK	Waktu Hasil Observasi																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
92	4.72	4.95	4.08	4.15	4.19	4.37	4.71	4.95	4.69	3.88	4.06	4.19	4.56	4.28	4.39	4.19	4.51	4.08	4.48	4.16	4.84	4.05	3.76	4.25	4.18	3.73	4.35	4.62	3.88	3.76
93	10.30	10.71	10.09	10.81	10.71	9.98	9.87	10.89	11.35	10.52	10.61	10.69	10.01	10.38	10.78	10.17	10.08	10.75	10.98	10.54	10.75	10.51	10.62	11.15	11.32	11.41	10.69	10.94	11.14	11.07
94	19.11	18.67	18.45	19.91	19.34	17.47	19.89	19.62	20.14	18.66	18.52	17.46	18.56	19.76	18.63	17.63	18.65	19.89	19.03	19.07	19.47	18.56	19.24	17.56	18.65	18.80	19.79	18.47	19.19	18.36
95	4.01	3.90	4.05	4.90	4.70	4.45	4.34	4.63	4.91	4.45	4.61	4.27	4.05	4.63	4.36	3.85	4.31	4.18	4.60	4.17	4.63	4.55	4.07	4.47	4.34	4.18	4.27	4.66	4.34	4.61



Lampiran 2: Hasil Pengujian Keseragaman dan Kecukupan Data

EK	\bar{X}	MAX	MIN	σ	BKA	BKB	Hasil Uji Keseragaman	Σx	Σx^2	N'	Hasil Uji Kecukupan
1	8.13	9.19	7.15	0.55	9.24	7.03	SERAGAM	244.00	1993.44	7.18	CUKUP
2	10.61	11.91	9.30	0.71	12.02	9.19	SERAGAM	318.26	3390.83	6.88	CUKUP
3	6.68	7.70	5.69	0.52	7.72	5.63	SERAGAM	200.28	1345.02	9.51	CUKUP
4	13.45	15.31	11.80	1.04	15.54	11.36	SERAGAM	403.41	5456.27	9.34	CUKUP
5	23.19	24.55	21.74	0.79	24.76	21.62	SERAGAM	695.66	16149.31	1.77	CUKUP
6	53.87	56.41	51.88	1.34	56.55	51.20	SERAGAM	$\frac{1616.1}{6}$	87117.60	0.95	CUKUP
7	6.87	7.82	5.94	0.50	7.87	5.87	SERAGAM	205.97	1421.37	8.20	CUKUP
8	7.34	8.02	6.65	0.45	8.25	6.43	SERAGAM	220.18	1621.96	5.93	CUKUP
9	4.07	4.81	3.4	0.41	4.88	3.25	SERAGAM	122.08	501.60	15.53	CUKUP
10	3.33	3.91	2.7	0.37	4.06	2.60	SERAGAM	99.90	336.54	18.62	CUKUP
11	1.73	1.96	1.49	0.14	2.01	1.45	SERAGAM	51.87	90.24	9.91	CUKUP
12	5.04	5.88	4.39	0.46	5.96	4.12	SERAGAM	151.22	768.42	12.95	CUKUP
13	7.96	8.73	6.75	0.64	9.24	6.68	SERAGAM	238.75	1911.96	10.02	CUKUP
14	6.95	8.19	5.63	0.70	8.35	5.54	SERAGAM	208.38	1461.69	15.79	CUKUP
15	14.03	14.80	13.23	0.45	14.93	13.13	SERAGAM	420.96	5912.78	1.59	CUKUP
16	10.30	11.25	9.47	0.50	11.31	9.30	SERAGAM	309.14	3192.92	3.68	CUKUP
17	7.42	8.7	6.12	0.77	8.95	5.89	SERAGAM	222.59	1668.54	16.47	CUKUP
18	3.03	3.56	2.47	0.34	3.71	2.35	SERAGAM	90.87	278.61	19.65	CUKUP
19	13.22	14.5	12.25	0.75	14.71	11.73	SERAGAM	396.66	5260.78	4.92	CUKUP
20	5.01	5.81	4.34	0.40	5.81	4.20	SERAGAM	150.16	756.27	9.95	CUKUP
21	1.82	2.03	1.60	0.12	2.06	1.58	SERAGAM	54.61	99.82	6.59	CUKUP
22	0.95	1.11	0.75	0.11	1.17	0.74	SERAGAM	28.64	27.68	20.07	CUKUP
23	2.51	2.92	2.14	0.23	2.98	2.04	SERAGAM	75.23	190.24	13.43	CUKUP
24	6.62	7.36	6.05	0.40	7.42	5.83	SERAGAM	198.65	1319.97	5.57	CUKUP
25	10.59	11.61	9.72	0.56	11.71	9.47	SERAGAM	317.70	3373.50	4.31	CUKUP
26	10.04	11.57	8.38	0.96	11.96	8.11	SERAGAM	301.07	3048.21	14.18	CUKUP
27	9.67	11.25	8.57	0.85	11.37	7.97	SERAGAM	290.17	2827.54	11.92	CUKUP
28	6.80	8.32	5.30	0.91	8.62	4.97	SERAGAM	203.94	1410.52	27.85	CUKUP
29	2.03	2.23	1.85	0.13	2.29	1.78	SERAGAM	60.96	124.35	6.18	CUKUP
30	3.56	4.10	2.98	0.31	4.17	2.95	SERAGAM	106.82	383.07	11.45	CUKUP
31	3.18	3.85	2.41	0.40	3.97	2.39	SERAGAM	95.41	308.01	24.13	CUKUP
32	1.78	2.06	1.51	0.15	2.08	1.47	SERAGAM	53.26	95.21	11.22	CUKUP
33	0.98	1.17	0.75	0.13	1.24	0.71	SERAGAM	29.33	29.18	28.15	CUKUP
34	3.99	4.75	3.48	0.39	4.78	3.20	SERAGAM	119.59	481.25	15.17	CUKUP
35	1.65	1.94	1.23	0.22	2.08	1.21	SERAGAM	49.47	82.96	26.97	CUKUP
36	9.38	9.88	8.91	0.30	9.98	8.78	SERAGAM	281.45	2643.09	1.59	CUKUP
37	1.73	1.97	1.41	0.19	2.10	1.35	SERAGAM	51.80	90.47	18.33	CUKUP
38	2.49	3.07	2.04	0.33	3.14	1.84	SERAGAM	74.66	188.90	26.55	CUKUP

Lampiran 2: Hasil Pengujian Keseragaman dan Kecukupan Data

EK	\bar{X}	MAX	MIN	σ	BKA	BKB	Hasil Uji Keseragaman	Σx	Σx^2	N'	Hasil Uji Kecukupan
39	1.46	1.72	1.21	0.16	1.78	1.14	SERAGAM	43.79	64.65	18.35	CUKUP
40	1.65	2.01	1.23	0.22	2.09	1.20	SERAGAM	49.38	82.72	28.42	CUKUP
41	2.92	3.65	2.31	0.38	3.68	2.17	SERAGAM	87.70	260.48	25.59	CUKUP
42	1.85	2.22	1.51	0.24	2.33	1.37	SERAGAM	55.42	104.05	25.91	CUKUP
43	1.83	2.20	1.47	0.22	2.27	1.38	SERAGAM	54.78	101.48	23.27	CUKUP
44	11.97	12.53	11.28	0.40	12.77	11.17	SERAGAM	359.10	4303.10	1.74	CUKUP
45	2.01	2.26	1.79	0.13	2.27	1.76	SERAGAM	60.44	122.26	6.42	CUKUP
46	7.65	8.30	7.09	0.33	8.32	6.99	SERAGAM	229.54	1759.55	2.92	CUKUP
47	7.19	8.20	6.09	0.57	8.33	6.06	SERAGAM	215.81	1561.83	9.65	CUKUP
48	9.53	10.24	8.75	0.42	10.36	8.70	SERAGAM	286.00	2731.53	2.93	CUKUP
49	20.97	22.14	20.00	0.59	22.16	19.79	SERAGAM	629.21	13207.02	1.23	CUKUP
50	4.47	5.24	3.89	0.39	5.26	3.69	SERAGAM	134.24	605.09	11.76	CUKUP
51	3.62	4.09	3.13	0.26	4.13	3.11	SERAGAM	108.56	394.71	7.77	CUKUP
52	3.02	3.42	2.40	0.33	3.68	2.35	SERAGAM	90.48	276.06	18.58	CUKUP
53	13.20	14.67	12.43	0.47	14.14	12.26	SERAGAM	396.12	5236.78	1.96	CUKUP
54	2.81	3.44	2.13	0.37	3.54	2.07	SERAGAM	84.19	240.24	26.70	CUKUP
55	12.50	13.18	11.71	0.43	13.37	11.64	SERAGAM	375.12	4695.96	1.86	CUKUP
56	8.90	9.68	8.03	0.46	9.82	7.99	SERAGAM	267.14	2384.91	4.11	CUKUP
57	32.67	34.26	31.00	0.89	34.45	30.89	SERAGAM	980.11	32043.59	1.15	CUKUP
58	9.01	10.08	8.13	0.61	10.23	7.79	SERAGAM	270.29	2445.99	7.08	CUKUP
59	4.23	5.31	3.45	0.57	5.36	3.10	SERAGAM	126.95	546.50	27.60	CUKUP
60	4.28	4.79	3.63	0.34	4.96	3.60	SERAGAM	128.38	552.72	9.72	CUKUP
61	1.81	2.05	1.61	0.13	2.06	1.56	SERAGAM	54.32	98.82	7.56	CUKUP
62	18.63	20.14	17.38	0.77	20.16	17.10	SERAGAM	558.99	10432.64	2.61	CUKUP
63	7.01	7.82	6.48	0.41	7.83	6.20	SERAGAM	210.42	1480.67	5.27	CUKUP
64	21.17	22.38	19.70	0.77	22.70	19.64	SERAGAM	635.08	13461.40	2.02	CUKUP
65	10.41	11.43	9.65	0.53	11.46	9.35	SERAGAM	312.17	3256.34	3.94	CUKUP
66	7.17	7.82	6.63	0.35	7.87	6.47	SERAGAM	215.03	1544.81	3.68	CUKUP
67	7.02	7.81	6.25	0.40	7.83	6.21	SERAGAM	210.67	1484.20	5.13	CUKUP
68	5.23	5.95	4.50	0.38	6.00	4.47	SERAGAM	157.04	826.27	8.20	CUKUP
69	10.40	11.20	9.57	0.42	11.23	9.56	SERAGAM	311.93	3248.40	2.50	CUKUP
70	1.85	2.26	1.48	0.25	2.35	1.35	SERAGAM	55.55	104.66	27.90	CUKUP
71	11.50	12.16	11.06	0.34	12.17	10.83	SERAGAM	344.90	3968.46	1.32	CUKUP
72	11.13	11.87	10.43	0.39	11.91	10.35	SERAGAM	333.92	3721.12	1.88	CUKUP
73	17.74	18.69	16.79	0.50	18.73	16.75	SERAGAM	532.22	9449.19	1.21	CUKUP
74	5.34	6.11	4.51	0.43	6.19	4.48	SERAGAM	160.08	859.50	10.01	CUKUP
75	5.92	6.62	5.13	0.42	6.77	5.07	SERAGAM	177.61	1056.70	7.89	CUKUP
76	12.75	13.42	12.13	0.35	13.46	12.04	SERAGAM	382.50	4880.50	1.19	CUKUP

Lampiran 2: Hasil Pengujian Keseragaman dan Kecukupan Data

EK	\bar{X}	MAX	MIN	σ	BKA	BKB	Hasil Uji Keseragaman	Σx	Σx^2	N'	Hasil Uji Kecukupan
77	7.05	7.41	6.70	0.19	7.43	6.67	SERAGAM	211.47	1491.78	1.15	CUKUP
78	6.28	7.06	5.42	0.44	7.16	5.39	SERAGAM	188.28	1187.29	7.64	CUKUP
79	29.14	30.46	27.60	0.79	30.71	27.56	SERAGAM	874.07	25484.67	1.13	CUKUP
80	18.66	19.98	17.33	0.70	20.06	17.27	SERAGAM	559.95	10465.41	2.16	CUKUP
81	3.40	4.13	2.79	0.38	4.16	2.65	SERAGAM	102.10	351.58	18.88	CUKUP
82	36.60	39.44	34.36	1.43	39.47	33.73	SERAGAM	1098.09	40253.06	2.38	CUKUP
83	3.63	3.92	3.29	0.19	4.02	3.24	SERAGAM	108.81	395.72	4.47	CUKUP
84	4.58	5.39	3.73	0.45	5.48	3.69	SERAGAM	137.43	635.35	14.73	CUKUP
85	15.18	16.07	14.33	0.51	16.19	14.17	SERAGAM	455.26	6916.12	1.71	CUKUP
86	12.47	14.06	11.01	0.95	14.38	10.57	SERAGAM	374.23	4694.53	9.00	CUKUP
87	3.51	3.95	3.13	0.24	3.99	3.03	SERAGAM	105.39	371.89	7.17	CUKUP
88	9.92	10.95	8.85	0.55	11.01	8.82	SERAGAM	297.50	2958.85	4.69	CUKUP
89	10.44	11.10	9.78	0.41	11.27	9.62	SERAGAM	313.31	3277.07	2.43	CUKUP
90	9.75	10.44	9.30	0.35	10.46	9.05	SERAGAM	292.60	2857.46	2.04	CUKUP
91	13.46	14.56	12.56	0.57	14.60	12.32	SERAGAM	403.82	5445.04	2.75	CUKUP
92	4.30	4.95	3.73	0.35	4.99	3.61	SERAGAM	128.96	557.82	10.01	CUKUP
93	10.66	11.41	9.87	0.42	11.50	9.82	SERAGAM	319.76	3413.26	2.39	CUKUP
94	18.89	20.14	17.46	0.75	20.38	17.39	SERAGAM	566.55	10715.57	2.43	CUKUP
95	4.38	4.91	3.85	0.28	4.94	3.83	SERAGAM	131.43	578.04	6.23	CUKUP

Lampiran 3: Waktu Normal dan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja

EK	\bar{X}	Performance Ratings				Total Performance Ratings	Waktu Normal	Allowance	Waktu Standar
		Ketrampilan	Usaha	Kondisi	Konsistensi				
1	8.13	0.00	0.00	0.00	0.00	1	8.13	0.14	9.27
2	10.61	0.00	0.00	0.00	0.00	1	10.61	0.14	12.09
3	6.68	0.00	0.00	0.00	0.00	1	6.68	0.14	7.61
4	13.45	0.00	0.00	0.00	0.00	1	13.45	0.14	15.33
5	23.19	0.00	0.00	0.00	0.00	1	23.19	0.14	26.44
6	53.87	0.00	0.00	0.00	0.00	1	53.87	0.14	61.41
7	6.87	0.00	0.00	0.00	0.00	1	6.87	0.14	7.83
8	7.34	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.56	0.14	8.62
9	4.07	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	4.19	0.14	4.78
10	3.33	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.43	0.14	3.91
11	1.73	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.78	0.14	2.03
12	5.04	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	5.19	0.14	5.92
13	7.96	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	8.20	0.14	9.34
14	6.95	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.15	0.14	8.16
15	14.03	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	14.45	0.14	16.48
16	10.30	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	10.61	0.14	12.10
17	7.42	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.64	0.14	8.71
18	3.03	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.12	0.14	3.56
19	13.22	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	13.62	0.14	15.53
20	5.01	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	5.16	0.14	5.88
21	1.82	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.87	0.14	2.14
22	0.95	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	0.98	0.14	1.12
23	2.51	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	2.58	0.14	2.94
24	6.62	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	6.82	0.14	7.78
25	10.59	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	10.91	0.14	12.43
26	10.04	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	10.34	0.14	11.78
27	9.67	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	9.96	0.14	11.36
28	6.80	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.00	0.14	7.98
29	2.03	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	2.09	0.14	2.39
30	3.56	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.67	0.14	4.18
31	3.18	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.28	0.14	3.73
32	1.78	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.83	0.14	2.08
33	0.98	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.01	0.14	1.15
34	3.99	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	4.11	0.14	4.68
35	1.65	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.70	0.14	1.94
36	9.38	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	9.66	0.14	11.02
37	1.73	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.78	0.14	2.03

Lampiran 3: Waktu Normal dan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja

EK	\bar{X}	Performance Ratings				Total Performance Ratings	Waktu Normal	Allowance	Waktu Standar
		Ketrampilan	Usaha	Kondisi	Konsistensi				
38	2.49	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	2.56	0.14	2.92
39	1.46	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.50	0.14	1.71
40	1.65	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.70	0.14	1.93
41	2.92	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.01	0.14	3.43
42	1.85	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.90	0.14	2.17
43	1.83	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.88	0.14	2.14
44	11.97	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	12.33	0.14	14.06
45	2.01	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	2.08	0.14	2.37
46	7.65	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.88	0.14	8.98
47	7.19	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.41	0.14	8.45
48	9.53	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	9.82	0.14	11.19
49	20.97	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	21.60	0.14	24.63
50	4.47	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	4.61	0.14	5.25
51	3.62	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.73	0.14	4.25
52	3.02	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.11	0.14	3.54
53	13.20	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	13.60	0.14	15.50
54	2.81	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	2.89	0.14	3.30
55	12.50	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	12.88	0.14	14.68
56	8.90	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	9.17	0.14	10.46
57	32.67	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	33.65	0.14	38.36
58	9.01	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	9.28	0.14	10.58
59	4.23	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	4.36	0.14	4.97
60	4.28	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	4.41	0.14	5.02
61	1.81	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.86	0.14	2.13
62	18.63	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	19.19	0.14	21.88
63	7.01	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.22	0.14	8.24
64	21.17	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	21.80	0.14	24.86
65	10.41	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	10.72	0.14	12.22
66	7.17	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.38	0.14	8.42
67	7.02	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	7.23	0.14	8.25
68	5.23	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	5.39	0.14	6.15
69	10.40	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	10.71	0.14	12.21
70	1.85	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	1.91	0.14	2.17
71	11.50	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	11.84	0.14	13.50
72	11.13	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	11.46	0.14	13.07
73	17.74	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	18.27	0.14	20.83
74	5.34	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	5.50	0.14	6.27
75	5.92	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	6.10	0.14	6.95

Lampiran 3: Waktu Normal dan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja

EK	\bar{X}	Performance Ratings				Total Performance Ratings	Waktu Normal	Allowance	Waktu Standar
		Ketrampilan	Usaha	Kondisi	Konsistensi				
76	12.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1	12.75	0.14	14.54
77	7.05	0.00	0.00	0.00	0.00	1	7.05	0.14	8.04
78	6.28	0.00	0.00	0.00	0.00	1	6.28	0.14	7.15
79	29.14	0.00	0.00	0.00	0.00	1	29.14	0.14	33.21
80	19.37	0.00	0.00	0.00	0.00	1	19.37	0.14	22.08
81	3.35	0.00	0.00	0.00	0.00	1	3.35	0.14	3.82
82	38.41	0.00	0.00	0.00	0.00	1	38.41	0.14	43.79
83	3.48	0.00	0.00	0.00	0.00	1	3.48	0.14	3.97
84	4.44	0.00	0.00	0.00	0.00	1	4.44	0.14	5.06
85	15.18	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	15.63	0.14	17.82
86	12.47	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	12.85	0.14	14.65
87	3.51	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	3.62	0.14	4.12
88	9.92	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	10.21	0.14	11.64
89	10.44	0.03	0.00	0.00	0.00	1.03	10.76	0.14	12.26
90	9.75	0.00	0.00	0.00	0.00	1	9.75	0.14	11.12
91	13.46	0.00	0.00	0.00	0.00	1	13.46	0.14	15.35
92	4.30	0.00	0.00	0.00	0.00	1	4.30	0.14	4.90
93	10.66	0.00	0.00	0.00	0.00	1	10.66	0.14	12.15
94	18.89	0.00	0.00	0.00	0.00	1	18.89	0.14	21.53
95	4.38	0.00	0.00	0.00	0.00	1	4.38	0.14	4.99

