

**ANALISIS KESEIMBANGAN LINI PERAKITAN *MIXED MODEL* DENGAN  
PENDEKATAN MATEMATIK UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI  
LINTASAN PERAKITAN**

**TUGAS AKHIR**

**Diserahkan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Pada Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri**



**Disusun Oleh:**

Nama : Jeremy Rizqi Adrika

No. Mahasiswa : 14 522 292

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2018**

**PERNYATAAN KEASLIAN**

ii

**PERNYATAAN KEASLIAN**

Demi Allah, saya akui bahwa karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak kekayaan intelektual maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 12 Oktober 2018

Jeremy Rizqi Adrika

14522292

## SURAT KETERANGAN PENELITIAN



### SURAT KETERANGAN

No. : 059/MAK/KET/X/2018

Yang bertanda tangan dibawah ini menerangkan bahwa :

Nama	: Jeremy Rizqi Adrika
NIM	: 14522292
Program Studi	: Teknik Industri
Institusi	: Universitas Islam Indonesia Yogyakarta

Telah melaksanakan dan menyelesaikan penelitian tugas akhir di perusahaan kami, PT. Mega Andalan Kalasan yang bergerak dalam bidang industri peralatan rumah sakit selama 3 (tiga) bulan terhitung mulai tanggal 26 Juni 2018 sampai 26 September 2018 dengan predikat cukup/baik/memuaskan \*. Lembar penilaian terlampir.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, Oktober 2018

Liaison-Officer PT. MAK



Ir. H. Susanto, M.Sc., Ph.D  
MAK 0100149

---

#### PT MEGA ANDALAN KALASAN

##### MARKETING OFFICE

Gran Rubina Business Park Lt. 22C,  
Komp. Rasuna Epicentrum,  
Jl. HR. Rasuna Said, Jakarta  
Indonesia 12940

t. (+62) 21 - 837 00 555  
f. (+62) 21 - 837 00 335  
marketing@mak-techno.com

##### FACTORY

Jl. Tanjung Tirto 34,  
Tirtomartani km 13,  
Yogyakarta, Indonesia 55571

t. (+62) 274 - 497 068  
f. (+62) 274 - 496 226

www.mak-techno.com

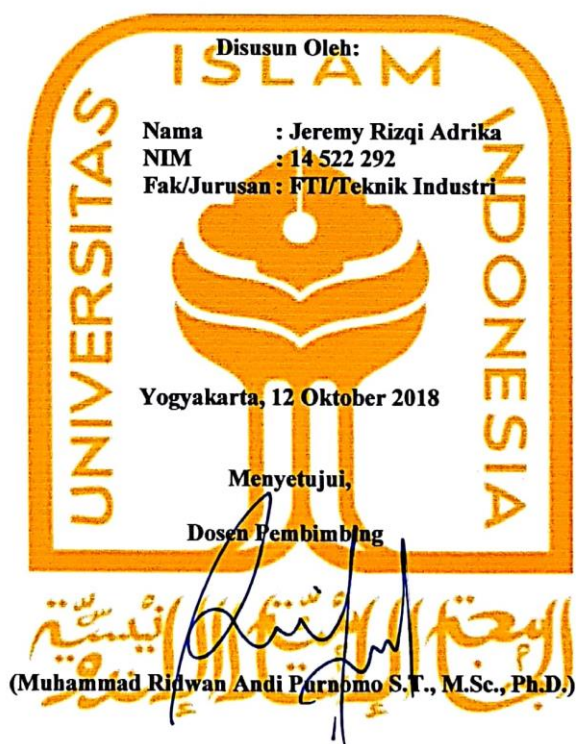
## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

iv

### LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

ANALISIS KESEIMBANGAN LINI PERAKITAN *MIXED MODEL* DENGAN  
PENDEKATAN MATEMATIK UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI LINTASAN  
PERAKITAN

TUGAS AKHIR



## LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

v

### LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

ANALISIS KESEIMBANGAN LINI PERAKITAN *MIXED MODEL* DENGAN  
PENDEKATAN MATEMATIK UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI LINTASAN  
PERAKITAN

#### TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

Nama : Jeremy Rizqi Adrika  
NIM : 14 522 292  
Fak/Jurusan : FTI/Teknik Industri

Telah dipertahankan didepan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk  
memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri

Yogyakarta, 27 November 2018

Tim Penguji.

Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D  
Ketua

Winda Nur Cahyo, S.T., M.T., Ph.D.  
Anggota I

Sri Indrawati, S.T., M.Eng.  
Anggota II

الجامعة الإسلامية  
Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri

Universitas Islam Indonesia



Dr. Fauziq Immawan, S.T., M.M.

## HALAMAN PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

*Alhamdulillahirabbi'alamin* dengan ini saya persembahkan Laporan Tugas Akhir ini untuk ibu saya tercinta Bondan Kusumaningtyas. Terima kasih atas segala perjuangan yang telah engkau lakukan dalam membesarkan saya. Terima kasih telah mengajarkan saya berbagai hal tentang kehidupan. Terima kasih untuk selalu menyemangati saya di saat saya sedang putus asa. Terima kasih telah menyebutkan nama saya di setiap doa – doa yang engkau panjatkan. Ucapan terima kasih mungkin tidak akan cukup untuk menyampaikan rasa terima kasih dari anakmu yang nakal ini. Perjalanan saya di dunia ini mungkin masih sangat panjang, saya selalu berharap bisa sekuat dirimu agar kelak dapat mendatangkan kebahagiaan yang sesungguhnya kepadamu.

## HALAMAN MOTTO

“Hiduplah seakan engkau akan mati besok. Belajarlah seakan engkau akan hidup selamanya.”

(Mahatma Gandhi)

“Janganlah meremehkan kebaikan sedikit pun walau hanya berbicara kepada saudaramu dengan wajah yang tersenyum kepadanya. Amalan tersebut adalah bagian dari kebajikan.”

(HR. Tirmidzi)

## KATA PENGANTAR



### **Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh**

Segala puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah-Nya serta shalawat dan salam kepada Nabi Muhammad SAW sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan Laporan Tugas Akhir ini dengan baik. Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan dan dorongan dari semua pihak, maka penulisan Laporan Tugas Akhir ini tidak dapat terselesaikan.

Akhirnya dengan segala kerendahan hati izinkanlah penulis untuk menyampaikan terima kasih dan penghargaan yang setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah berjasa memberikan motivasi dalam rangka menyelesaikan laporan ini. Untuk ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Fathul Wahid, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Rektor Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Prof Dr Ir Hari Purnomo, MT selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku dosen pembimbing Laporan Tugas Akhir saya sekaligus Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
4. Bapak Dr. Taufiq Immawan, S.T., M.M selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
5. Bapak Ristanta sebagai pembimbing lapangan selama berada diperusahaan PT. Mega Andalan Kalasan (MAK).
6. Bapak Gunawan selaku Kepala HRD PT. Mega Andalan Kalasan (MAK).
7. Orang Tua yang telah memberi motivasi dan dukungannya sehingga Laporan Tugas Akhir ini dapat terselesaikan dengan baik.



8. Teman – teman saya di Teknik Industri 2014 yang telah memberikan motivasi, dukungan, serta tenaganya dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini.

Saya juga mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terkait, yang telah membantu saya dalam menyelesaikan Laporan Tugas Akhir ini. Semoga kebaikan yang diberikan oleh semua pihak kepada penulis menjadi amal sholeh yang senantiasa mendapat balasan dan kebaikan yang berlipat ganda dari Allah Subhana wa Ta'ala. Amin.

Penulis menyadari bahwa penulisan Laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, untuk itu penulis mohon kritik, saran dan masukan yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan dimasa yang akan datang. Akhir kata semoga Laporan Tugas Akhir ini dapat digunakan sebagai mana mestinya serta berguna bagi penulis khususnya dan bagi para pembaca yang berminat pada umumnya.

Yogyakarta, 12 Oktober 2018

Jeremy Rizqi Adrika

## ABSTRAK

PT. Mega Andalan Kalasan merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri peralatan rumah sakit. Diantara berbagai macam jenis ranjang pasien, ranjang pasien tipe *Trendgate Bed (TRG) 26* dan *Trendgate Bed (TRG) 29* merupakan produk yang paling banyak diproduksi. Kedua ranjang pasien tersebut menggunakan lini perakitan yang sama karena proses pengerjaan kedua produk tersebut tidak terlalu berbeda. Pada lini perakitan tersebut masih terjadi ketidakseimbangan lini perakitan sehingga menyebabkan perbedaan jumlah produksi harian yang cukup signifikan. Pada lini perakitan ini, ketergantungan antara satu elemen kerja dengan elemen kerja lainnya sangatlah erat. Elemen – elemen kerja harus diurutkan sesuai dengan urutan proses produksinya, setiap elemen kerja hanya dapat dilakukan pada stasiun kerja tertentu, dan terbatasnya jumlah masing – masing stasiun kerja menjadi kendala atau *constraint* pada studi kasus ini. Untuk memecahkan masalah tersebut dilakukan penyeimbangan lini perakitan dengan metode *assembly line balancing* sehingga penumpukkan material (*bottleneck*) yang terjadi pada lini perakitan dapat dihilangkan serta mengurangi waktu mengangur (*idle time*). Salah satu pendekatan penyeimbangan lini perakitan yang dapat digunakan sesuai dengan kasus *mixed model assembly line* ini adalah model matematik. Hasil dari penelitian ini menemukan jumlah stasiun kerja optimal dari lini perakitan tersebut.

Kata Kunci : Lini Perakitan, Keseimbangan Lini, Stasiun Kerja, *Bottleneck*, *Idle Time*, *constraint*, Model Matematik.

## DAFTAR ISI

<b>PERNYATAAN KEASLIAN.....</b>	<b>ii</b>
<b>SURAT KETERANGAN PENELITIAN .....</b>	<b>iii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING .....</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI.....</b>	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERSEMBAHAN .....</b>	<b>vi</b>
<b>HALAMAN MOTTO .....</b>	<b>vii</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>viii</b>
<b>ABSTRAK .....</b>	<b>x</b>
<b>DAFTAR ISI .....</b>	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah.....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	4
1.5 Manfaat Penelitian .....	5
1.5.1 Bagi Penulis .....	5
1.5.2 Bagi Perusahaan.....	5
1.6 Sistematika Penulisan Laporan .....	5
<b>BAB II KAJIAN LITERATUR.....</b>	<b>7</b>
2.1 Kajian Induktif .....	7
2.2 Kajian Deduktif.....	12
2.2.1 Pengukuran Kerja .....	12
2.2.2 Metode Pengukuran Waktu Kerja dengan Jam Henti ( <i>Time Study</i> ) .....	13
2.2.3 Uji Kecukupan Data.....	15
2.2.4 Uji Keseragaman Data .....	16

2.2.5	Faktor Penyesuaian .....	17
2.2.6	<i>Allowance</i> (Kelonggaran) .....	19
2.2.7	Waktu Normal.....	22
2.2.8	Waktu Standar.....	22
2.2.9	<i>Line Balancing</i> .....	23
2.2.10	Terminologi <i>Line Balancing</i> .....	24
2.2.11	Performansi Lini Perakitan .....	26
2.2.12	Tujuan <i>Line Balancing</i> .....	28
2.2.13	Faktor – Faktor yang mempengaruhi <i>Line Balancing</i> .....	28
2.2.14	Cara Mencapai Keseimbangan Lintasan.....	30
2.2.15	Metode <i>Line Balancing</i> .....	31
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>35</b>
3.1.	Objek Penelitian .....	35
3.2.	Sumber Data.....	35
3.3.	Metode Pengumpulan Data .....	36
3.4.	Metode Pengolahan Data .....	36
3.5.	Metode Analisis Data .....	38
3.6.	Diagram Alur Penelitian .....	39
<b>BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....</b>		<b>40</b>
4.1	Profil Perusahaan .....	40
4.2	Gambaran Umum Produk .....	41
4.3	Pengumpulan Data .....	42
4.4.1	Tata Letak Lini perakitan.....	42
4.4.2	Alur Produksi.....	43
4.4.3	Data Hasil Produksi Selama Satu Bulan.....	44
4.4.4	Data Jumlah Waktu Kerja Selama Satu Bulan .....	44
4.4.5	Data Waktu Kerja Bagian Produksi.....	46

4.4.6	Elemen - Elemen Kerja.....	47
4.4.7	Faktor – Faktor Penyesuaian ( <i>Rating Factor</i> ) .....	51
4.4.8	Faktor – Faktor Kelonggaran ( <i>Allowance</i> ) .....	52
<b>4.4</b>	<b>Pengolahan Data.....</b>	<b>53</b>
4.5.1	Pengujian Kecukupan dan Keseragaman Data .....	53
4.5.2	Perhitungan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja .....	56
4.5.3	Perhitungan Waktu Siklus .....	57
4.5.4	Penyusunan <i>Precedence Diagram</i> .....	59
4.5.5	Perhitungan Jumlah Minimal Stasiun Kerja .....	61
4.5.6	Pembentukan Model Matematik Keseimbangan Lini .....	61
4.5.7	Perhitungan Performansi Lini Perakitan.....	87
<b>BAB V</b>	<b>PEMBAHASAN.....</b>	<b>92</b>
5.1	Analisis Kondisi Lini Perakitan Aktual .....	92
5.2	Analisis Tata Letak Pada Lini Perakitan .....	93
5.3	Analisis Bahan Baku yang Digunakan.....	94
5.4	Analisis Ketidak-Fleksibilitas Elemen – Elemen Kerja.....	95
5.5	Analisis Perbandingan Kondisi Lini Perakitan Aktual dan Hasil Rancangan .	96
5.6	Usulan Tata Letak Lini Perakitan .....	97
<b>BAB VI</b>	<b>PENUTUP.....</b>	<b>99</b>
6.1	Kesimpulan .....	99
6.2	Saran.....	99
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>101</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>103</b>

**DAFTAR TABEL**

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian – penelitian sebelumnya .....	10
Tabel 2.2 Faktor kelonggaran pada pekerja.....	20
Tabel 4.1 Jumlah waktu kerja lembur bulan Mei 2018 .....	45
Tabel 4.2 Waktu kerja efektif .....	47
Tabel 4.3 Elemen – elemen kerja.....	47
Tabel 4.4 Faktor penyesuaian setiap stasiun kerja.....	51
Tabel 4.5 Faktor kelonggaran stasiun kerja welding, deburring, dan painting.....	53
Tabel 4.6 Faktor kelonggaran stasiun kerja assembly, quality control, dan packing .....	53
Tabel 4.7 Waktu proses stasiun kerja terlama .....	58
Tabel 4.8 Tabel alokasi stasiun kerja.....	59
Tabel 4.9 Jumlah stasiun kerja minimal .....	61
Tabel 4.10 Alokasi stasiun kerja terawal dan terakhir .....	62
Tabel 4.11 Alokasi stasiun kerja setelah penyeimbangan .....	86
Tabel 5.1 Kriteria performansi lini perakitan saat pengamatan .....	92
Tabel 5.2 Ketidak-fleksibilitas elemen – elemen kerja.....	95
Tabel 5.3 Perbandingan Kriteria Performansi Lini.....	96
Tabel 5.4 Hasil Optimalisasi Stasiun Kerja .....	97

**DAFTAR GAMBAR**

Gambar 2.1 <i>Rating Factor</i> .....	19
Gambar 2.2 Lini perakitan .....	23
Gambar 2.3 Precedence Diagram .....	26
Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian .....	39
Gambar 4.1 Gambar teknik (A) Trendgate Bed 26 (B) Trendgate Bed 29 .....	41
Gambar 4.2 Tata letak lini perakitan unit Export Oriented Product.....	42
Gambar 4.3 Alur produksi ranjang pasien .....	43
Gambar 4.4 Hasil produksi bulan Mei 2018.....	44
Gambar 4.5 Jumlah Waktu Lembur Bulan Mei 2018.....	46
Gambar 4.6 Uji keseragaman data elemen kerja 1 .....	55
Gambar 4.7 Waktu proses stasiun kerja terlama.....	58
Gambar 4.8 Precedence diagram lini perakitan TRG 26 dan TRG 29 .....	60
Gambar 5.1 Tata letak lini perakitan usulan .....	98

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **1.1 Latar Belakang**

Persaingan pasar yang ketat mengharuskan suatu perusahaan manufaktur untuk terus melakukan perubahan dan perbaikan dalam sistem produksinya untuk menjaga eksistensi produknya agar selalu diminati oleh konsumen. Perkembangan suatu perusahaan manufaktur dapat diketahui dengan melihat peningkatan kinerja dan produksi dari waktu ke waktu. Hal tersebut dapat dicapai apabila perusahaan melakukan perbaikan sistem produksi secara berkesinambungan dan terus menerus sehingga dapat memperkecil pemborosan waktu dan bahan baku (Ashmore, 2001). Perbaikan sistem produksi yang berkesinambungan diperlukan untuk menciptakan nilai lebih bagi konsumen dengan menggunakan sumber daya yang lebih sedikit (Lam et al., 2012).

Keterbatasan sumber daya merupakan salah satu kendala yang pasti dihadapi oleh perusahaan manufaktur dalam setiap elemen produksi. Hal tersebut merupakan pendorong agar suatu perusahaan manufaktur terus melakukan perbaikan sistem produksi secara berkesinambungan supaya dapat selalu memproduksi produk yang unggul baik dari segi harga, kualitas, fleksibilitas, dan waktu sehingga dapat bersaing dengan produk dari perusahaan lainnya (Fernando, 2008).

Efektifitas dari lini perakitan sangat dibutuhkan untuk mewujudkan hal tersebut. Metode kerja bukanlah satu - satunya aspek yang dilihat untuk mengetahui efektifitas dari suatu lini perakitan tetapi juga melihat keseimbangan lini perakitannya (Setyanda, 2013). Kelancaran dalam proses produksi merupakan keinginan dari semua perusahaan



manufaktur, untuk mewujudkan hal tersebut beberapa perusahaan melakukan berbagai cara untuk menyeimbangkan lini perakitan.

Lini perakitan merupakan hal yang tidak asing di dalam industri manufaktur seperti elektronik, tekstil, atau furnitur. Namun, *bottleneck* sering terjadi karena lini perakitan sulit mendapatkan keseimbangan sehingga dapat menyebabkan banyak pemborosan seperti waktu tunggu, *work in process* (WIP), dan kelebihan produksi (*overproduction*). Penyeimbangan lini perakitan dapat membantukan mengalirkan penumpukan material atau *Work In Process* yang menghambat di dalam lini perakitan dengan meminimalkan (atau meniadakan) *buffers* antara elemen – elemen kerja pada proses produksi (Canh et al., 2013).

Menurut Usubamatov et al. (2013), pendekatan matematis merupakan salah satu pendekatan keseimbangan lini yang dapat diterapkan pada lini perakitan untuk mengetahui faktor – faktor yang meningkatkan produktivitas lini perakitan seperti organisasi, teknis, manajerial, dan teknologi dari lini perakitan. Pendekatan matematis dapat digunakan untuk mengetahui jumlah stasiun kerja optimal yang dibutuhkan untuk mempertahankan tingkat produksi atau untuk memposisikan suatu elemen kerja dalam suatu stasiun kerja yang jumlahnya tetap untuk meningkatkan tingkat produksi (Elsayed & Boucher, 1994).

PT. Mega Andalan Kalasan merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang industri peralatan rumah sakit. Pemasaran dari produk – produk PT. MAK sendiri telah mencapai pasar mancanegara, salah satunya adalah Jepang. Di Jepang, PT. MAK telah menjalin perjanjian jual beli dengan Trendgate Co. Ltd. Hal tersebut menjadikan jumlah pesanan yang diterima PT. MAK dari Jepang lebih banyak dari negara lainnya. Salah satu produk yang diproduksi oleh PT. MAK adalah produk ranjang pasien (*Homecare Bed*). Diantara berbagai macam jenis ranjang pasien, ranjang pasien tipe *Trendgate Bed (TRG) 26* dan *Trendgate Bed (TRG) 29* merupakan produk yang paling banyak diproduksi karena permintaan dari Trendgate Co. Ltd. yang cukup banyak akan produk tersebut. Sistem produksi yang diterapkan oleh PT. MAK adalah *make to order* sehingga produk diproduksi ketika terdapat *order* dari konsumen.

Berdasarkan hasil pengamatan yang telah dilakukan, lini perakitan PT. MAK masih mengalami ketidakseimbangan antara satu stasiun kerja dengan stasiun kerja lainnya sehingga terjadi penumpukan material di tengah lini perakitannya. Hal itu dapat dilihat dari jumlah produksi harian bulan Mei 2018 yang membuktikan bahwa terdapat perbedaan jumlah produksi harian yang cukup besar terjadi setiap harinya. Salah satu penyebab hal tersebut karena terjadi penumpukan beberapa *part assembly* di stasiun kerja *welding* yang belum selesai dikerjakan sehingga proses perakitan di stasiun kerja *assembly* terhambat. Target produksi yang ingin dicapai oleh unit *Export Oriented Product* (EOP) PT. MAK memiliki target yang cukup tinggi.

Perusahaan belum mengetahui berapa kapasitas produksi maksimum yang dapat dicapai dalam waktu kerja efektif, hal itu dikarena dokumentasi atau pencatatan jumlah produksi yang dilakukan berdasarkan hari kerja bukan jam kerja efektif. Untuk memenuhi jumlah order setiap minggunya PT. MAK harus memberlakukan kerja lembur atau *overtime* hampir setiap harinya. Jumlah waktu kerja lembur atau *overtime* yang diperlukan untuk memenuhi jumlah order setiap minggunya sangatlah besar. Bahkan diperlukan waktu kerja lembur pada hari sabtu dimana menyumbang jumlah kerja lembur terbesar setiap minggunya karena waktu kerja lembur dihitung dari mulai awal kerja (pagi hari) hingga selesai kerja (sore hari).

Berdasarkan pemaparan tulisan di atas dapat diketahui bahwa pemecahan permasalahan ketidakseimbangan lini perakitan dapat dilakukan dengan menggunakan metode *assembly line balancing*. Pada studi kasus ini dilakukan penyeimbangan lini perakitan pada *mixed model assembly line* untuk jenis produk *Trendgate Bed 26* dan *Trendgate Bed 29* karena produksi dilakukan pada lini perakitan yang sama. Pada lini perakitan ini, ketergantungan antara satu elemen kerja dengan elemen kerja lainnya sangatlah erat. Elemen – elemen kerja harus diurutkan sesuai dengan urutan proses produksinya, setiap elemen kerja hanya dapat dilakukan distasiun kerja tertentu, dan terbatasnya jumlah masing – masing stasiun kerja menjadi kendala atau *constraint* pada studi kasus ini. Penelitian ini akan menggunakan model matematik untuk menyelesaikan permasalahan *assembly line balancing* tersebut.

## 1.2 Rumusan Masalah

Masalah yang akan diselesaikan pada penelitian ini berdasarkan dengan latar belakang di atas yaitu:

1. Berapa jumlah perbandingan efisiensi lini perakitan saat ini dengan hasil penyeimbangan lini perakitan dengan pendekatan matematik?
2. Berapa jumlah stasiun kerja optimal yang dibutuhkan untuk setiap model lini perakitan berdasarkan atas waktu siklus maksimum yang ditentukan?

## 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini hanya berfokus pada lini perakitan produk *Trendgate Bed (TRG) 26* dan *Trendgate Bed (TRG) 29* mulai dari stasiun kerja *welding* hingga stasiun kerja *packing* dengan pengamatan yang dilakukan untuk mengukur waktu kerja operator secara langsung. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu:

1. Setiap pekerja pada departemen kerja yang sama memiliki keterampilan yang sama.
2. Tidak terdapat keterlambatan bahan baku maupun bahan penyokong yang dapat mengakibatkan terganggunya proses produksi.
3. Proses perpindahan material dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja lainnya tidak diperhitungkan.
4. Kondisi lingkungan kerja pada masing – masing departemen kerja tidak memiliki pengaruh yang cukup besar pada proses produksi.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas dapat diketahui tujuan dari penelitian ini yaitu:

1. Untuk mengetahui jumlah perbandingan efisiensi lini perakitan saat ini dengan hasil penyeimbangan lini perakitan dengan pendekatan matematik.
2. Untuk mengetahui jumlah stasiun kerja optimal yang dibutuhkan untuk setiap model lini perakitan berdasarkan atas waktu siklus maksimum yang ditentukan.

## 1.5 Manfaat Penelitian

### 1.5.1 Bagi Penulis

Dapat menerapkan keilmuan teknik industri yang sudah didapatkan di bangku perkuliahan untuk memecahkan permasalahan yang nyata dalam dunia industri dan menambah wawasan nyata tentang dunia industri serta penelitian ini merupakan salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

### 1.5.2 Bagi Perusahaan

Dengan dilakukannya penyeimbangan lini perakitan diharapkan efisiensi lini perakitan dapat meningkat sehingga dapat menghasilkan jumlah produksi yang optimal, menghilangkan *idle time* (waktu menganggur) dan *bottleneck* (penumpukan material) dari lini perakitan sehingga aliran produksi dapat berjalan dengan lancar, serta didapatkan rekomendasi stasiun kerja minimum yang optimal.

## 1.6 Sistematika Penulisan Laporan

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini yaitu sebagai berikut:

### **BAB I       Pendahuluan**

Memuat latar belakang, rumusan permasalahan, batasan permasalahan, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan laporan TA.

### **BAB II       Kajian Literatur**

Memuat kajian literatur deduktif dan induktif yang dapat membuktikan bahwa topik TA yang diangkat memenuhi syarat dan kriteria yang telah dijelaskan di atas.

### **BAB III      Metode Penelitian**

Memuat obyek penelitian, data yang digunakan dan tahapan yang telah dilakukan dalam penelitian secara ringkas dan jelas. Metode ini dapat

meliputi metode pengumpulan data, alat bantu analisis data, pembangunan model, disain dan prototyping.

**BAB IV Pengumpulan dan Pengolahan Data atau Pembangunan Sistem**

Menguraikan proses pengolahan data dengan prosedur tertentu, termasuk gambar dan grafik yang diperoleh dari hasil penelitian.

**BAB V Pembahasan atau Pengujian Sistem dan Pembahasan**

Pembahasan bukanlah kesimpulan dan penegasan hasil bab sebelumnya, namun berisi pembahasan kritis mengenai hasil bab sebelumnya dan belum dipaparkan di bab sebelumnya.

**BAB VI Penutup**

- Kesimpulan

Berisi pernyataan singkat yang ditulis dengan menggunakan urutan angka (1,2,3 dan seterusnya) untuk menjabarkan hasil penelitian yang dilakukan.

- Saran

Berisi beberapa rekomendasi pengembangan penelitian lanjutan dengan menggunakan cara, alat ataupun metode lain dengan tujuan untuk memperluas pengembangan ilmu Teknik Industri.

**DAFTAR PUSTAKA**

**LAMPIRAN**

## BAB II

### KAJIAN LITERATUR

#### 2.1 Kajian Induktif

Keseimbangan lintasan produksi bukanlah hal yang baru didunia industri, penelitian tentang keseimbangan lini sudah pernah dilakukan oleh para peneliti terdahulu. Berikut adalah beberapa penelitian sebelumnya mengenai keseimbangan lini yaitu sebagai berikut.

Penelitian yang dilakukan oleh Purnamasari dan Cahyana (2015) menerapkan keseimbangan lini pada sebuah perusahaan manufaktur yang memproduksi sepatu. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode *Ranked Positional Weigth* (RPW) dengan tujuan untuk mengetahui jumlah operator stasiun kerja optimal (minimum). Dari hasil penelitian didapatkan untuk menghasilkan 700 pasang sepatu per shift hanya membutuhkan 13 operator dengan 13 stasiun kerja, jumlah tersebut lebih sedikit dari pada kondisi awal lintasan yang membutuhkan 20 operator dengan 20 stasiun kerja untuk menghasilkan jumlah produksi yang sama.

Saiful et al. (2014) melakukan penerapan keseimbangan lini pada salah satu perusahaan yang memproduksi mebel. Penerapan keseimbangan lini dianggap dapat memecahkan masalah ketidakseimbangan lini serta pembagian beban kerja yang tidak merata pada setiap stasiun kerja. Penelitian ini menggunakan metode *heuristic* yaitu *Ranked Positional Weight*, metode *Large Candidate Rule*, dan metode *Region Approach*. Hasil yang didapatkan dari penelitian ini menunjukkan peningkatan pada parameter *line*

*efficiency* menjadi 94.07% dari kondisi awal sebesar 62.71% dan penurunan pada parameter *balance delay*, *idle time*, dan *smoothness index*. Pada parameter *idle time* mengalami penurunan menjadi 12.39 menit dari kondisi awal sebesar 116.57 menit, pada parameter *balance delay* mengalami penurunan menjadi 5.92% dari kondisi awal sebesar 37.28%, sedangkan pada parameter pada *smoothness index* mengalami penurunan menjadi 7.44 dari kondisi awal sebesar 64.67.

Implementasi line balancing yang dilakukan oleh Azwir dan Pratomo (2017) pada *line welding* perusahaan yang memproduksi knalpot menggunakan metode *heuristic* yaitu *Ranked Positional Weight*, metode *Large Candidate Rule*, dan metode *Region Approach* untuk memberikan usulan *layout line welding*. Hasil dari penelitian ini menunjukkan perbedaan parameter – parameter antara ketiga metode tersebut. Pada parameter *line efficiency*, ketiga metode menunjukkan hasil peningkatan yang sama menjadi 96.66% dari 75.01% pada kondisi awal. Pada parameter *balance delay*, ketiga metode menunjukkan hasil penurunan yang sama menjadi 3.45% dari 24.98% pada kondisi awal. Sedangkan pada parameter *smoothness index*, metode *Region Approach* menghasilkan penurunan terbesar dari ketiga metode tersebut menjadi 6.62 dari 62.67 pada kondisi awal.

Parvez et al. (2017) membuktikan bahwa *line balancing* merupakan suatu metode yang efektif untuk meningkatkan output dari lini perakitan dengan mengurangi *bottleneck* dan *cycle time* dalam penelitiannya. Dalam penelitiannya menerapkan line balancing pada suatu industri garmen dengan menggunakan kode blok perangkat lunak C++ dan mensimulasikan pemodelan lini perakitan dengan perangkat lunak Flexsim. Dari hasil penelitian didapatkan penghematan waktu produksi sebesar 24%.

Tidak jauh berbeda dengan penelitian yang telah dipaparkan sebelumnya. Penelitian yang dilakukan oleh Fardiansyah dan Widodo (2018) juga menunjukkan bahwa *line balancing* merupakan suatu metode yang tepat untuk meningkatkan output dari lini perakitan. Hal tersebut terlihat dari hasil penelitian yang menunjukkan peningkatan produktivitas sebesar 104%, peningkatan *line efficiency* sebesar 3% dan pengurangan waktu siklus sebesar 15%.

Metode *line balancing* juga terbukti dapat meminimumkan waktu siklus pada suatu lini perakitan, hal itu dibuktikan oleh Raj et al. (2016) pada penelitiannya. Peneliti menggunakan metode *line balancing* dan algoritma genetik yang diterapkan pada permasalahan *mixed model assembly line balancing* (MALB) dengan stasiun kerja paralel.

Penelitian yang dilakukan oleh WaldemarGrzechca (2014) menggunakan metode heuristik yaitu *ranked positional weight* (RPW) untuk menyelesaikan permasalahan *single model assembly line* dengan membandingkan perbedaan bentuk lini perakitan tradisional atau *series* dengan lini perakitan berbentuk U (*U - shaped line*). Pada penelitian ini dilakukan penyeimbangan lini dengan berbagai waktu siklus untuk kedua bentuk lini perakitan dengan tujuan untuk mendapatkan efisiensi lini, *balance delay*, dan *smoothing index* yang paling optimal serta jumlah stasiun kerja yang paling minimum.

Penelitian yang dilakukan oleh Agpak dan Gokcenb (2005) berbeda dari penelitian - penelitian yang dipaparkan di atas. Pada penelitiannya peneliti menggunakan model matematik untuk memecahkan permasalahan *Resource constrained assembly line balancing* (RCALB) dengan faktor kendala (*constraint*) yang dipertimbangkan adalah *resource* (sumber daya). Penelitian ini bertujuan untuk merancang model keseimbangan lini perakitan untuk mengalokasikan pengerjaan 2 material atau sumber daya yang berbeda pada setiap elemen – elemen kerja.

*Line balancing* dapat digunakan untuk menyeimbangkan beban kerja antar stasiun kerja seperti dalam penelitian yang dilakukan oleh Azizoglu dan Imat (2018). Penelitian tersebut memiliki tujuan untuk menyeimbangkan beban kerja dari operator pada *single model assembly line* untuk mengetahui jumlah pasti dari stasiun kerja dengan waktu siklus yang tepat. Penelitian ini menggunakan model matematik dan metode algoritma *branch & bound* dalam memecahkan study kasus tersebut.

Li et al. (2017) melakukan penyeimbangan lini perakitan dengan menggunakan model matematik untuk memecahkan permasalahan pada lini perakitan berbentuk U (*U - shaped line*). Penelitian ini mempertimbangkan 4 faktor kendala (*constraint*) yaitu



waktu siklus, *precedence*, *entrance task*, dan *exit task*. Perbedaan – perbedaan dari pemaparan penelitian – penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Perbedaan penelitian – penelitian sebelumnya

No.	Peneliti	Metode Penelitian					Assembly Line Model			Kendala (Constraint)	Hasil
		H	Y	AG	P	M	Single Model	Mixed Model	U-Shape Model		
1	Purnamasari dan Cahyana (2015)	√	-	-	-	-	√	-	-	Waktu siklus	Jumlah operator minimum
2	Saiful et al. (2014)	√	-	-	-	-	√	-	-	Waktu siklus	<i>Line efficiency, balance delay, idle time, dan smoothness index yang optimal</i>
3	Azwir dan Pratomo (2017)	√	-	-	-	-	√	--	-	Waktu siklus	<i>Line efficiency, balance delay, idle time, dan smoothness index yang optimal</i>
4	Parvez et al. (2017)	-	-	-	√	-	√	-	-	Waktu siklus	Optimalisasi waktu produksi
5	Fardiansyah dan Widodo (2018)	-	√	-	-	-	√	-	-	Waktu siklus	Peningkatan produktivitas dan <i>Line efficiency</i> , serta penurunan waktu siklus
6	Raj et al. (2016)	-	-	√	-	-	-	√	-	Waktu siklus	Waktu siklus yang optimal
7	WaldemarGrzechca (2014)	√	-	-	-	-	√	-	-	Waktu siklus	Waktu siklus yang optimal dari bentuk lini perakitan <i>series</i> dan U.

No.	Peneliti	Metode Penelitian					Assembly Line Model			Kendala (Constraint)	Hasil
		H	Y	AG	P	M	Single Model	Mixed Model	U-Shape Model		
8	Agpak dan Gokcenb (2005)	-	-	-	-	√	√	-	-	1. Waktu siklus 2. Bahan baku	Alokasi 2 material (Resources) pada setiap elemen – elemen kerja
9	Azizoglu dan Imat (2018)	-	-	-	-	√	√	-	-	1. Waktu siklus 2. Beban kerja	Mendapatkan jumlah stasiun kerja dan waktu siklus yang optimal untuk mencapai keseimbangan beban kerja
10	Li et al. (2017)	-	-	-	-	√	-	-	√	1. waktu siklus 2. precedence 3. entrance task 4. exit task	Waktu siklus yang paling optimal
11	Penelitian ini	-	-	-	-	√	-	√	-	1. waktu siklus 2. precedence 3. assignment 4. station	Jumlah stasiun kerja yang optimal

Keterangan Tabel :

H = Heuristik

Y = Yamazumi Chart

AG = Algoritma Genetika

P = Pemograman (C++)

M = Model Matematik

Dari pemaparan beberapa hasil penelitian terdahulu di atas dapat disimpulkan bahwa metode *line balancing* dapat menurunkan penumpukan material atau *bottleneck* di lini perakitan, serta dapat mengoptimalkan waktu siklus dan jumlah stasiun kerja. Hal itu dapat dilihat dari hasil penelitian – penelitian tersebut dengan parameter yang diukur yaitu *line efficiency*, *balance delay*, *idle time*, dan *smoothness index* menunjukkan hasil yang lebih optimal. Tetapi pada penelitian – penelitian terdahulu tersebut hanya terdapat satu

penelitian yang membahas studi kasus tentang *mixed model assembly line balancing* dengan menggunakan metode algoritma genetika untuk menyelesaikan permasalahan tersebut sedangkan penelitian - penelitian lainnya membahas studi kasus tentang *single model assembly line balancing*. Hal tersebut memunculkan ide untuk melakukan penulisan penelitian ini mengenai analisis *mixed model assembly line balancing* dengan menggunakan model matematik yang terbatas dengan *constraint*.

## **2.2 Kajian Deduktif**

### **2.2.1 Pengukuran Kerja**

Waktu kerja merupakan salah satu kriteria utama yang diukur dan diperhitungkan dalam pengukuran kerja. Pengukuran waktu kerja adalah suatu aktivitas untuk menemukan waktu yang dibutuhkan oleh seorang operator yang memiliki keterampilan rata – rata atau terlatih dengan baik untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dengan tempo dan kondisi kerja yang normal (Barnes, 1980).

Hal tersebut bertujuan untuk mendapatkan waktu baku (standar) dari pekerja normal untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dalam suatu sistem kerja yang sudah berjalan dengan baik. Manfaat dari menghitung waktu baku adalah sebagai berikut (Barnes, 1980):

- a. Untuk merencanakan kebutuhan tenaga kerja
- b. Untuk menentukan standar biaya dalam mempersiapkan anggaran
- c. Untuk menentukan pemanfaatan mesin, jumlah mesin yang dapat dioperasikan seorang operator dan membantu dalam menyeimbangkan lintasan produksi.
- d. Perencanaan system pemberian bonus dan intensif bagi karyawan.
- e. Indikasi keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh seorang pekerja.

Menurut Barnes (1980), Pengukuran waktu kerja diklasifikasikan menjadi 2 jenis yaitu pengukuran waktu kerja langsung dan pengukuran waktu kerja tidak langsung. Pembagian metode pengukuran waktu kerja tersebut berdasarkan cara pengambilan data.

a. Pengukuran Waktu Kerja Langsung

Pengukuran waktu kerja langsung dilakukan dengan cara melakukan pengukuran atau pengamatan secara langsung pada suatu operasi kerja yang dilakukan oleh seorang operator di stasiun kerja yang bersangkutan. Pengukuran ini mengandalkan mata dan alat bantu pengukuran waktu untuk mendapatkan waktu proses dari suatu operasi kerja. Metode dalam pengukuran waktu kerja langsung meliputi metode *work sampling* dan *time study (stopwatch)*.

b. Pengukuran Waktu Kerja Tidak Langsung

Pengukuran waktu kerja tidak langsung dilakukan dengan cara mengumpulkan data – data waktu proses setiap elemen kerja dari suatu lini perakitan berdasarkan hasil dokumentasi dari pengukuran yang telah dilakukan pada masa lalu, sehingga tidak diperlukan pengamatan secara langsung di lantai produksi. Hal yang harus diperhatikan apabila menggunakan metode ini adalah pemahaman tentang alur produksi dari produk yang akan diteliti pada suatu lini perakitan karena tidak melakukan observasi secara langsung pada lantai produksi. Penentuan waktu kerja pada pengukuran ini menggunakan analisis statistik, metode – metode yang dapat digunakan dalam pengukuran waktu kerja tidak langsung meliputi *standard data*, analisis regresi, dan penetapan waktu baku dengan data waktu gerakan.

Penelitian ini menggunakan pengukuran waktu kerja langsung dengan metode *time study (stopwatch)*. Pengukuran dilakukan dengan cara mengamati dan mengambil data waktu kerja operator secara langsung saat operator bekerja (Purnomo, 2004). Pengukuran dilakukan untuk setiap elemen kerja dan satu siklus kerja dengan menggunakan alat bantu *stopwatch*.

### **2.2.2 Metode Pengukuran Waktu Kerja dengan Jam Henti (*Time Study*)**

Pengukuran waktu kerja langsung metode stopwatch ini pertama kali diperkenalkan sekitar abad 19 oleh Frederick W. Taylor. Metode ini dapat digunakan pada pekerjaan – pekerjaan yang berlangsung singkat dan berulang – ulang (*Repetitive*) (Barnes, 1980). Hasil dari pengukuran kerja adalah didapatkannya waktu baku atau waktu standar yang dapat dijadikan sebagai standar atau acuan dalam pengerjaan suatu elemen kerja sehingga

waktu seorang operator dengan operator lainnya menjadi sama untuk pengerjaan elemen kerja yang sama.

Pengukuran waktu kerja ini dimulai dari pencatatan data waktu kerja dari setiap elemen kerja berdasarkan hasil pengamatan dengan menggunakan *stopwatch*, kemudian melakukan uji kecukupan dan uji keseragaman data, pada penelitian ini menggunakan tingkat ketelitian sebesar 5% dan tingkat kepercayaan sebesar 95%. Lalu menentukan *rating factor* dan *allowance* dari setiap operator yang diamati. Langkah – langkah yang perlu dilakukan dalam pelaksanaan metode *stopwatch* secara garis besar adalah sebagai berikut (Barnes, 1980):

- a. Mengumpulkan dan mencatat informasi mengenai operasi kerja dan operator yang akan diteliti atau dipelajari.
- b. Membagi dan mengelompokan suatu operasi ke dalam suatu elemen – elemen kerja dan mencatat secara keseluruhan deskripsi mengenai metode kerja yang dilakukan.
- c. Mengamati dan mencatat waktu kerja yang didapatkan dari operator kerja yang melakukan suatu operasi kerja.
- d. Menentukan jumlah siklus kerja pada suatu operasi kerja yang akan dicatat dan diukur.
- e. Mengukur kinerja (*rate of performance*) dari operator yang telah diukur waktu kerjanya. Pengukuran kinerja dari masing - masing operator dapat dilakukan melalui wawancara dengan pengawas lantai produksi yang mengawasi pekerjaan yang dilakukan operator tersebut.
- f. Memastikan bahwa pengamatan yang dilakukan sudah memenuhi syarat sesuai dengan jumlah siklus kerja yang telah ditentukan, pastikan juga keseragaman data dari waktu kerja yang telah diukur tersebut.
- g. Menentukan waktu kelonggaran (*allowance*) dari setiap operator yang telah dilakukan pengukuran waktu kerja. Penentuan waktu kelonggaran operator dapat dilakukan juga melalui wawancara dengan pengawas lantai produksi yang mengawasi pekerjaan yang dilakukan operator tersebut.
- h. Menentukan waktu standar dari masing – masing operasi kerja.

Menurut Barnes (1980), metode pembacaan stopwatch yang sering digunakan adalah sebagai berikut.

a. *Continuous Timing*

Pada metode ini *stopwatch* dijalankan secara terus menerus selama pengamatan hingga suatu pekerjaan selesai. Maka dari itu perlu dilakukan proses pengurangan waktu total (satu siklus) untuk mendapatkan masing – masing waktu elemen kerja. Tetapi dengan kecanggihan teknologi *stopwatch* sekarang ini, hal tersebut tidak perlu dilakukan karena terdapat fungsi lap (penanda) yang dapat ditekan ketika suatu elemen kerja selesai walaupun waktu tetap berjalan.

b. *Repetitive Timing*

Pada metode ini pengamatan dilakukan saat operator mulai melakukan suatu elemen kerja hingga menyelesaikannya sehingga stopwatch dimulai dari 0 (nol) kembali saat operator memulai elemen kerja berikutnya. Untuk mendapatkan waktu siklus kerja perlu dilakukan penjumlahan waktu seluruh elemen kerja.

c. *Accumulative Timing*

Metode ini membutuhkan lebih dari satu *stopwatch* karena pengukuran yang dilakukan satu *stopwatch* hanya digunakan untuk mengukur waktu satu elemen kerja sehingga untuk mengukur elemen kerja selanjutnya menggunakan *stopwatch* lainnya. Untuk mendapatkan waktu siklus kerja perlu dilakukan penjumlahan waktu seluruh elemen kerja dari pengukuran beberapa *stopwatch*.

### 2.2.3 Uji Kecukupan Data

Semakin banyak jumlah pengamatan yang dilakukan maka data waktu kerja yang didapatkan akan semakin mendekati kebenaran, hal tersebut karena aktivitas pengukuran waktu kerja dikategorikan sebagai proses *sampling*. Karena terbatasnya waktu penelitian maka perlu dilakukan penentuan jumlah *sampling* dengan jumlah yang memadai untuk dilakukan (Henry, 2011).

Maka dari itu, uji kecukupan data dilakukan untuk mengetahui apakah jumlah sampel yang diambil sudah cukup secara objektif. Konsep statistik yang menjadi pedoman dasar dari uji kecukupan data adalah tingkat kepercayaan atau keyakinan dan derajat ketelitian. Besarnya kepercayaan seorang peneliti akan ketelitian data waktu hasil

pengamatan yang telah dilakukan di tunjukkan dalam besarnya tingkat kepercayaan, biasanya dalam pengukuran kerja tingkat kepercayaan yang digunakan adalah 95%. Sedangkan sisa 5% dari tingkat kepercayaan menunjukkan derajat ketelitian, yaitu besaran maksimum penyimpangan data waktu hasil pengukuran dari data waktu pengerjaan yang sebenarnya. rumus yang dapat digunakan untuk mengetahui jumlah data waktu yang dibutuhkan seperti yang ditunjukkan pada Persamaan 2.1.

$$N' = \left[ \frac{k/s\sqrt{(N \cdot \sum X^2) - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \quad \dots (2.1)$$

Dengan:

- $k$  = tingkat keyakinan  
= 99%  $\approx 3$   
= 95%  $\approx 2$
- $S$  = derajat ketelitian
- $N'$  = Jumlah pengamatan teoritis (Jumlah pengamatan yang dibutuhkan)
- $N$  = Jumlah pengamatan aktual (yang dilakukan)

Jika  $N' < N$  maka jumlah pengamatan yang telah dilakukan dapat dikatakan cukup.

#### 2.2.4 Uji Keseragaman Data

Waktu pengerjaan seorang operator dalam setiap siklus kerjanya tidaklah selalu sama, banyak faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan waktu kerja seorang operator salah satunya adalah kelelahan. Misal seorang operator dapat bekerja dengan kecepatan yang lebih cepat pada hari senin dibandingkan dengan hari jumat, hal tersebut diakibatkan oleh kelelahan yang lebih besar dialami oleh operator pada hari jumat karena waktu istirahat yang lebih sedikit dibanding hari senin dengan waktu istirahat selama satu hari penuh pada hari minggu. Untuk menghindari hal tersebut, uji kesegaraman data dilakukan untuk mengetahui apakah data yang diambil tidak ada yang berbeda (seragam), Hal itu dapat dilakukan dengan menentukan batas kontrol atas dan batas kontrol bawah berdasarkan perhitungan dari keseluruhan data yang didapatkan lalu melakukan *plotting* data ke dalam batas kontrol tersebut. Apabila tidak ada data yang keluar dari kedua batas kontrol terbut maka data dapat dikatakan seragam, jika sebaliknya maka data dianggap tidak seragam. Rumus yang digunakan untuk mengetahui waktu rata – rata dan standar deviasi ditunjukkan pada Persamaan 2.2 dan Persamaan 2.3. Sedangkan rumus yang digunakan

untuk mengetahui uji keseragaman data ditunjukkan pada Persamaan 2.4 dan Persamaan 2.5.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N} \quad \dots (2.2)$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - X_i)^2}{N-1}} \quad \dots (2.3)$$

$$BKA = \bar{X} + k\sigma \quad \dots (2.4)$$

$$BKB = \bar{X} - k\sigma \quad \dots (2.5)$$

Dengan:

$\bar{x}$  = Rata – rata waktu elemen kerja

$\sigma$  = Standar deviasi

$n$  = Jumlah pengamatan

$BKA$  = Batas Kontrol Atas

$BKB$  = Batas Kontrol Bawah

$K$  = Tingkat Keyakinan

= 99%  $\approx 3$

= 95%  $\approx 2$

### 2.2.5 Faktor Penyesuaian

Setelah data waktu dinyatakan cukup dan seragam, maka data waktu kerja perlu dilakukan penyesuaian dengan faktor penyesuaian, hal itu dikarenakan hasil pengukuran waktu kerja seorang operator tidak selalu sama walaupun berkerja dalam kondisi normal. Hal tersebut dikarenakan adanya faktor – faktor yang menyebabkan ketidakwajaran waktu kerja seorang operator seperti kesungguhan dalam bekerja, kesulitan dalam melakukan pekerjaan karena belum terbiasa.

Jika hal itu terjadi maka diperlukan penyesuaian waktu agar waktu tersebut dapat dikatakan normal. Penyesuaian dilakukan dengan cara mengalikan faktor penyesuaian atau notasi  $p$  dengan rata – rata waktu elemen kerja atau waktu siklus kerja. Jika  $p > 1$  maka dapat dikatakan bahwa operator bekerja di atas normal atau terlalu cepat, sedangkan jika  $p < 1$  menunjukkan bahwa operator bekerja dibawah normal, dan jika  $p = 1$  maka operator bekerja dengan normal.



Faktor penyesuaian (*Rating Factor*) merupakan analisis dalam *time study* yang membandingkan antara kinerja (kecepatan atau tempo) dari operator dibawah observasi dengan konsep dari kinerja normal berdasarkan pengamat tersebut. Kemudian *rating factor* akan diterapkan pada value time terpilih untuk menemukan waktu normal dari suatu perkerjaaan (Barnes, 1980). Salah satu metode yang paling banyak digunakan menemukan nilai *rating factor* adalah *westinghouse system of rating*. Metode ini mengembangkan sistem empat faktor. Keempat faktor tersebut adalah:

a. Kemampuan (*Skill*)

Kemampuan dari seorang operator pastinya berbeda – beda. Hal tersebut dapat diakibat oleh seberapa banyak pengalaman kerja yang sudah dilakukan serta pelatihan atau *training* yang sudah diikutinya. Hal ini berdampak langsung pada kecepatan seorang operator dalam mengerjakan suatu aktivitas produksi.

b. Usaha (*Effort*)

Usaha pada konteks ini menunjukkan kesungguhan seorang operator dalam melaksanakan pekerjaannya. Hal itu dapat dilihat dari seberapa besar tenaga yang dikeluarkan oleh seorang operator dalam mengerjakan suatu pekerjaan. Hal ini biasanya menyebabkan perbedaan waktu kerja antara satu pekerja dengan pekerja lainnya, dan biasanya dipengaruhi oleh perilaku atau *attitude* dari setiap operator.

c. *Condition*

Kondisi lingkungan kerja secara tidak langsung mempengaruhi kinerja dari seorang operator dalam melaksanakan tugasnya. Lingkungan kerja untuk setiap operator berbeda – beda tergantung pada stasiun kerja yang mereka tempati. Kondisi lingkungan kerja yang baik dan kondusif dapat membuat operator lebih nyaman dalam melaksanakan tugas tetapi begitupula sebaliknya.

d. *Consistency*

Konsistensi operator dalam mengerjakan suatu pekerjaan dapat dilihat dari waktu kerja untuk setiap siklus pekerjaan yang dilakukan. Biasanya operator dengan konsistensi yang baik memiliki waktu kerja yang hamper sama untuk setiap siklus kerjanya dalam mengerjakan pekerjaan yang sama.

Sistem rating Westinghouse menguraikan enam kelas yang merepresentasikan kemahiran yang ada dalam evaluasi untuk masing – masing faktor seperti yang terlihat pada Gambar 2.1.

SKILL			EFFORT		
+0,15	A1	Superskill	+0,13	A1	Superskill
+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	
CONDITION			CONSISTENCY		
+0,06	A	Ideal	+0,04	A	Ideal
+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

Gambar 2.1 *Rating Factor*

Sumber : Barnes (1980)

### 2.2.6 Allowance (Kelonggaran)

Waktu normal tidak mempertimbangkan faktor kelonggaran, tetapi pada kenyataannya seorang pekerja tidak mungkin bekerja sepanjang hari tanpa beberapa gangguan atau keperluan lainnya. Maka dari itu, Barnes (1980) mengklasifikasikan kelonggaran menjadi tiga yaitu sebagai berikut.

#### a. *Personal Allowance*

Kelonggaran pribadi merupakan kelonggaran yang harus dipertimbangkan pertama kali karena setiap pekerja harus diperbolehkan untuk memenuhi waktu untuk kebutuhan pribadi (*personal need*). Berdasarkan hasil penelitian, dibawah beberapa kondisi kemungkinan menunjukkan bahwa 5 persen kelonggaran dibuat untuk memenuhi waktu kebutuhan pribadi.

#### b. *Fatigue Allowance*

Kelonggaran kelelahan dibutuhkan oleh seorang pekerja untuk dapat menghilangkan kelelahan yang dialaminya setelah melakukan pekerjaan selama periode waktu tertentu. Hal tersebut dibutuhkan untuk mengembalikan kondisi pekerja agar kembali ke kondisi prima agar dapat kembali mengerjakan suatu pekerjaan dengan kecepatan

atau tempo yang normal. Sejauh ini belum ada cara yang akurat untuk mengukur kelelahan, pengukuran secara psikis merupakan suatu cara yang paling objektif untuk menentukan waktu dan durasi dari periode waktu kerja dan istirahat.

c. *Delay Allowance*

Salah satu penyebab kelonggaran menunggu (*delay*) adalah karena mesin atau peralatan kerja yang digunakan oleh seorang pekerja rusak atau tidak berfungsi secara normal sehingga seorang pekerja tidak melakukan aktivitas pekerjaannya dan harus menunggu proses perbaikan. *Delay* merupakan suatu yang mungkin dihindari atau tidak mungkin dihindari, intensitas *delay* tidak dipertimbangkan dalam penentuan waktu standar. Faktor – faktor dalam penilaian kelonggaran atau allowance dapat dilihat pada Tabel 2.2.

Tabel 2.2 Faktor kelonggaran pada pekerja

FAKTOR	CONTOH PEKERJAAN		KELONGGARAN (%)	
	Ekuivalen bahan (kg)		Pria	Wanita
<b>A. Tenaga yang dikeluarkan</b>				
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	Di atas 50 kg		
<b>B. Sikap Kerja</b>				
1. Duduk	Bekerja duduk, ringan		0.0 - 1.0	
2. Berdiri di atas kaki	Badan tegak, ditumpu dua kaki		1.0 - 2.5	
3. Berdiri di atas satu kaki	Satu kaki mengerjakan alat kontrol		2.50 - 4.0	
4. Berbaring	Satu kaki mengerjakan alat kontrol		2.5 - 4.0	

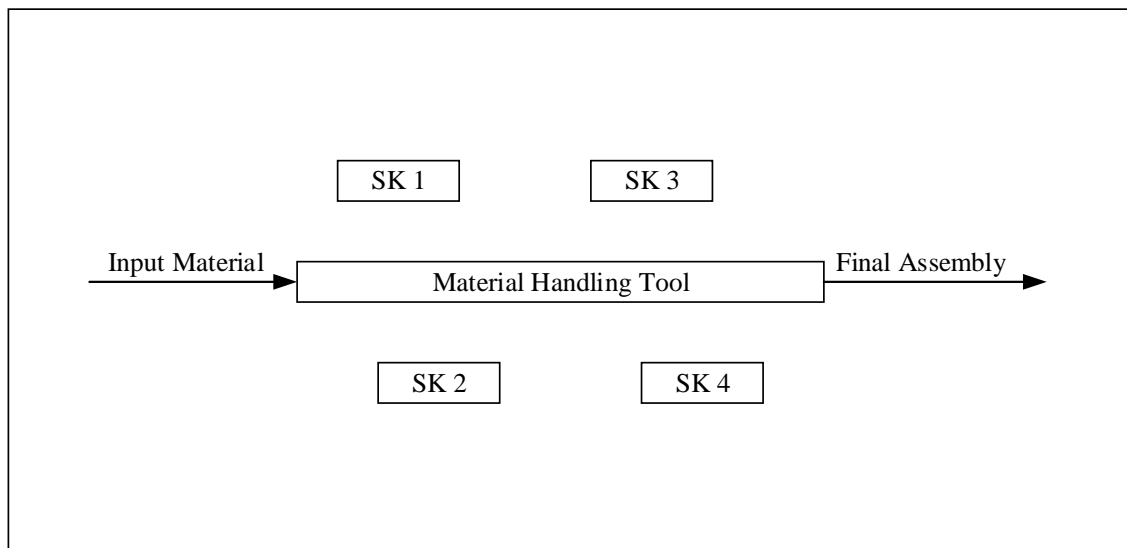
FAKTOR	CONTOH PEKERJAAN Ekuivalen bahan (kg)	KELONGGARAN (%)	
		Pria	Wanita
5. Membungkuk	Badan dibungkukkan bertumpu pada dua kaki	4.0 - 10.0	
<b>C. Gerakan Kerja</b>			
1. Normal	Ayunan bebas dari palu	0	
2. Agak terbatas	Ayunan terbatas dari palu	0.0 - 5.0	
3. Sulit	Membawa beban berat pada satu tangan	0.0 - 5.0	
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	
<b>D. Kelelahan Mata *</b>			
		<b>Baik</b>	<b>Buruk</b>
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
<b>E. Keadaan Temperatur Tempat Kerja **</b>			
		<b>Normal</b>	<b>Berlebih an</b>
		Di atas	Di atas
1. Beku	Di bawah 0	10	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	Di atas 40	Di atas 100
<b>F. Keadaan Atmosfir ***</b>			
1. Baik	Ruangan yang berventilasi baik, udara segar	0	
2. Cukup	Ventilasi kurang baik, ada bau-bauan (tidak berbahaya)	0.0-5.0	



### 2.2.9 Line Balancing

Peran perencanaan produksi sangatlah penting untuk perusahaan manufaktur, terutama untuk perusahaan yang menerapkan *repetitive manufacturing* dengan produksi massal. Salah satu peran penting dari perencanaan produksi adalah penugasan kerja pada lini perakitan (*assembly line*). Kecepatan produksi yang berbeda – beda pada stasiun kerja (kecepatan produksi tidak berimbang) serta penumpukan material antara stasiun – stasiun kerja diakibatkan oleh perencanaan dan pengaturan produksi yang tidak tepat (Purnomo, 2004).

Definisi dari lini perakitan adalah sekelompok orang dan/atau mesin yang melakukan pekerjaan – pekerjaannya seseuai dengan sekuensial tugas - tugasnya dalam merakit suatu produk. Material di dalam lini perakitan bergerak secara kontinyu dengan kelajuan rata – rata kedatangan material yang berdistribusi *uniform* melewati stasiun – stasiun kerja yang mengerjakan perakitan. Perakitan dalam lini perakitan dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 2.2 berikut ini.



Gambar 2.2 Lini perakitan

Sumber : Purnomo (2004)

Lini (*Line*) didefinisikan sebagai sekelompok operator di bawah kendali satu pengawas produksi. Keseimbangan (*Balancing*) adalah teknik mempertahankan tingkat persediaan yang sama pada setiap operasi pada setiap titik waktu untuk memenuhi target

produksi dan menghasilkan produk dengan kualitas yang dapat diterima. Hal tersebut merupakan fungsi dari studi kerja untuk memberikan manajemen informasi untuk membantu proses produksi berjalan dengan efisien dan produktif, bagian dari informasi ini adalah proses yang dikenal sebagai *balancing line*. *Line balancing* merupakan kunci vital dalam menjalankan lini perakitan yang efisien (Babu, 2009).

*Line balancing* dapat disimpulkan sebagai suatu usaha atau aktivitas yang dilakukan untuk meminimumkan atau meniadakan ketidakseimbangan di antara operator – operator ataupun mesin – mesin untuk mendapatkan waktu produksi yang sama disetiap stasiun kerja sesuai dengan kecepatan produksi yang akan ditentukan. Secara teknis, penerapan *line balancing* dalam lini perakitan adalah dengan memasukkan setiap elemen – elemen kerja kedalam setiap stasiun kerja yang tersedia dengan acuan waktu siklus (*cycle time*).

### 2.2.10 Terminologi *Line Balancing*

Berikut merupakan istilah – istilah yang ada di dalam keseimbangan lini yaitu sebagai berikut (Elsayed & Boucher, 1994):

#### 1. Elemen Kerja

Elemen kerja merupakan sebagian dari keseluruhan konten pekerjaan yang harus dilakukan di dalam suatu lini perakitan.

#### 2. Stasiun Kerja

Stasiun kerja adalah sebuah lokasi di dalam lini perakitan dimana satu atau lebih operasi kerja dilakukan untuk merakit produk. Jumlah stasiun kerja minimal dari suatu lini perakitan dapat ditentukan setelah menentukan interval waktu siklus terlebih dahulu yang dirumuskan dalam Persamaan 2.8.

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

Dengan:

$t_i$  : Waktu elemen kerja ( $i = 1, 2, \dots, n$ )

$CT$  : Waktu siklus  
 $n$  : Jumlah elemen kerja  
 $K_{min}$  : Jumlah stasiun kerja minimum

### 3. Waktu Siklus

Waktu siklus atau *Cycle Time* biasa ditulis dengan notasi  $CT$  merupakan waktu yang dibutuhkan oleh sebuah stasiun kerja untuk memproduksi satu unit produk. Terdapat ketentuan di dalam penentuan waktu siklus, nilai waktu siklus minimum yang diperbolehkan yaitu harus lebih besar atau sama dengan waktu elemen kerja terbesar di dalam lini perakitan yang dituliskan dalam Persamaan 2.9.

$$t_{i_{max}} \leq CT \quad \dots(2.9)$$

Dengan:

$t_{i_{max}}$  : Waktu elemen kerja terbesar di dalam lini perakitan  
 $CT$  : Waktu siklus

### 4. Waktu stasiun kerja ( $ST_k$ )

Waktu stasiun kerja adalah jumlah waktu dari elemen - elemen kerja yang dikerjakan dalam stasiun kerja yang sama.

### 5. Waktu Operasi( $t_i$ )

Waktu operasi adalah waktu standar yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu operasi.

### 6. *Delay Time*

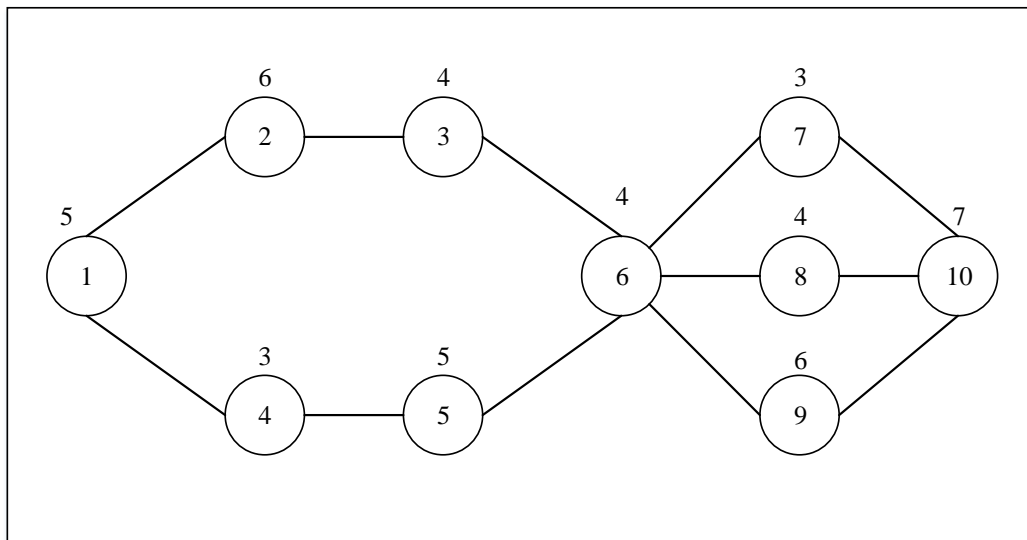
*Delay time* merupakan Perbedaan atau selisih antara waktu siklus ( $CT$ ) dengan waktu stasiun kerja ( $ST_k$ ) sehingga dapat diketahui waktu menganggur (*idle time*) yang terjadi dalam setiap stasiun kerja. Cara menghitung waktu menganggur adalah dengan mengurangi waktu yang tersedia dengan waktu yang digunakan di dalam pengerjaan elemen – elemen kerja pada sebuah stasiun kerja.

### 7. *Precedence Diagram*

Diagram precedence adalah sebuah diagram yang mendeskripsikan keterkaitan dan urutan di mana operasi kerja harus dilakukan. Beberapa pekerjaan tidak dapat

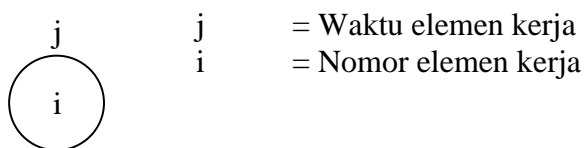


dilakukan sebelum operasi kerja pendahulunya selesai dikerjakan. Biasanya layout dan lini perakitan dari stasiun kerja bergantung pada diagram ini. *Precedence diagram* dapat digambarkan seperti yang terlihat pada Gambar 2.3 berikut ini.



Gambar 2.3 *Precedence Diagram*

Keterangan Gambar:



### 2.2.11 Performansi Lini Perakitan

Untuk mengetahui dan mengukur performansi dari sebuah lini perakitan dilakukan penyeimbangan lini perakitan dengan kriteria – kriteria yaitu sebagai berikut.

#### 1. Efisiensi Lini (*Eff*)

Efisiensi lini adalah rasio antara waktu yang digunakan oleh seluruh operator untuk mengerjakan elemen – elemen kerja pada setiap stasiun kerja dengan waktu yang tersedia. Berkaitan dengan waktu yang tersedia, keseimbangan lini akan tercapai apabila waktu yang digunakan oleh setiap stasiun kerja bernilai sama.

Setelah dilakukan penyeimbangan lini perakitan maka akan terbentuk stasiun – stasiun kerja yang akan saling terhubung secara seri. Pendistribusian elemen – elemen

kerja berdasarkan waktu siklus akan membentuk stasiun kerja sehingga waktu siklus merupakan waktu yang tersedia dalam setiap stasiun – stasiun kerja. Untuk mengetahui waktu yang tersedia secara keseluruhan adalah dengan mengalikan waktu siklus dengan jumlah stasiun kerja yang terbentuk. Untuk menentukan efisiensi lini dari sebuah lini perakitan maka digunakan Persamaan 2.10.

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

Dengan:

- $n$  = jumlah elemen kerja yang ada
- $ti$  = waktu elemen kerja ke -  $i$
- $CT$  = waktu siklus
- $N$  = jumlah stasiun kerja yang terbentuk

Setelah dilakukan penyeimbangan lini perakitan maka akan dilakukan perhitungan efisiensi lini. Jika nilai efisiensi lini setelah dilakukan penyeimbangan lintasan lebih besar dari pada sebelum diseimbangkan maka dapat dikatakan sebagai keseimbangan lintasan yang baik.

## 2. *Balance Delay (BD)*

*Balance delay* adalah rasio antara waktu menganggur dari seluruh stasiun – stasiun kerja dengan waktu yang tersedia. Untuk menentukan *balance delay* dari sebuah lini perakitan maka digunakan Persamaan 2.11.

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

Dengan:

- $n$  = jumlah elemen kerja yang ada
- $ti$  = waktu elemen kerja  $i$
- $CT$  = waktu siklus
- $N$  = jumlah stasiun kerja yang terbentuk

Penyeimbangan lini yang telah dilakukan dikatakan baik jika dapat menurunkan nilai *balance delay* dari lini perakitan atau dengan kata lain memiliki nilai *balance delay* yang lebih rendah dari pada sebelum diseimbangkan.

### 3. *Smoothing Index (SI)*

*Smoothing index* atau indeks penghalusan adalah suatu indeks yang menunjukkan kelancaran relative dari suatu lini perakitan. Untuk menentukan *smoothing index* dari sebuah lini perakitan maka digunakan Persamaan 2.12.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^N (WSK_{max} - WSK_i)^2} \quad \dots(2.12)$$

Dengan:

$WSK_{max}$	= waktu terbesar dari stasiun kerja yang terbentuk
$WSK_i$	= waktu dari stasiun kerja $i$
$N$	= jumlah stasiun kerja yang terbentuk

#### 2.2.12 Tujuan *Line Balancing*

Tujuan dilakukannya penyeimbang lini perakitan yaitu sebagai berikut (Babu, 2009):

1. Untuk menyeimbangkan beban kerja dari setiap operasi kerja
2. Untuk memastikan bahwa aliran produksi berjalan dengan lancar dan tidak ada hambatan yang tercipta.
3. Memastikan setiap operator dapat bekerja pada kinerja terbaiknya sepanjang hari.
4. Untuk mengurangi waktu tunggu (*delay time*) dan waktu mengganggu (*idle time*) seminimum mungkin atau bahkan meniadakannya sepenuhnya.

#### 2.2.13 Faktor – Faktor yang mempengaruhi *Line Balancing*

Faktor – faktor yang dapat mempengaruhi tingkat keseimbangan dari lini perakitan yaitu sebagai berikut.

##### 1. Mesin

Mesin merupakan salah satu faktor kritis yang mempengaruhi keseimbangan lini perakitan karena kondisi mesin sangat mempengaruhi kecepatan dan

keberlangsungan dari proses produksi. Kondisi mesin yang sudah tua dapat mengakibatkan kecepatan produksi lebih lambat karena biasanya membutuhkan proses *maintenance* atau *setup* yang lebih lama. Bahkan jika hanya terdapat satu mesin yang tua pada proses produksi dapat menghambat proses produksi karena terjadi penumpukan material dalam proses di mesin tersebut yang disebabkan oleh menurunnya kinerja atau kapasitas dari mesin tersebut. Kerusakan yang terjadi pada suatu mesin dapat berakibat pada berhentinya lini perakitan karena harus menunggu proses perbaikan mesin tersebut selesai.

## 2. Pergudangan (*Inventory*)

Pergudangan memiliki tanggung jawab untuk menyediakan kebutuhan bahan baku yang akan digunakan pada proses produksi. Jika terjadi keterlambatan pada penyediaan bahan baku yang akan digunakan pada lini perakitan maka proses produksi tidak dapat berjalan sampai bahan baku yang dibutuhkan di dapatkan.

## 3. Tata letak

Tata letak dari suatu lini perakitan mempengaruhi kecepatan dari proses produksi. Biasanya tata letak lini perakitan yang baik memperhatikan keterkaitan antar stasiun – stasiun kerja berdasarkan elemen – elemen kerja yang dikerjakan. Semakin baik sebuah tata letak suatu lini perakitan maka akan semakin lancar aliran material pada lini perakitan tersebut.

## 4. Tenaga kerja

Tenaga kerja juga merupakan salah satu faktor kritis pada proses produksi yang bersinggungan langsung pada rantai produksi sehingga kecepatan dari proses produksi pada setiap stasiun kerja ditentukan oleh kinerja dari masing - masing operator. Kinerja dari operator ditentukan dari kemampuan atau *skill* yang dimiliki pada bidang pekerjaannya masing – masing. Semakin baik kemampuan seorang operator dalam melakukan pekerjaannya maka waktu produksi akan semakin cepat dan menurunkan kemungkinan terjadi cacat pada produk yang dihasilkan.

Kemampuan yang dimiliki oleh operator biasanya didapatkan melalui pembelajaran yang didapatkan dari hasil pelatihan kerja yang didapatkan. Faktor lain yang mempengaruhi kinerja seorang operator adalah pengalaman, semakin banyak pengalaman berkerja pada bidang yang dikerjakan maka akan semakin baik kemampuan yang dimiliki oleh seorang operator. Ketidakhadiran seorang operator

dapat mengakibatkan penumpukan material pada proses produksi yang dikerjakannya karena waktu pengerjaan yang lebih lama daripada operator lainnya.

#### 2.2.14 Cara Mencapai Keseimbangan Lintasan

Untuk mencapai keseimbangan lintasan pada suatu lini perakitan dapat dilakukan beberapa cara yaitu sebagai berikut.

##### 1. Kerja lembur (*Overtime*)

Kerja lembur atau *overtime* dilakukan jika terjadi penumpukan material pada suatu elemen kerja yang proses pengerjaannya lambat. Kerja lembur dilakukan dengan melakukan penambahan jumlah pekerja pada proses tersebut. Cara ini mungkin mudah dilakukan tetapi bukan merupakan cara yang terbaik dalam penyeimbangan lini karena membutuhkan biaya tambahan untuk menambah pekerja sehingga dapat mengakibatkan anggaran biaya produksi yang lebih besar.

##### 2. Pergerakan Operator

Di dalam lini perakitan terdapat perbedaan waktu pengerjaan antara satu elemen kerja dengan elemen kerja lainnya. Cara ini digunakan untuk operator yang memiliki waktu pengerjaan lebih cepat daripada operator lainnya sehingga operator tersebut dapat mengerjakan lebih dari satu elemen kerja.

##### 3. Pemecahan Elemen Kerja

Pemecahan elemen kerja dilakukan apabila terdapat elemen kerja yang memiliki waktu pengerjaan yang cukup lama daripada elemen kerja lainnya. Di dalam teknisnya, cara ini dilakukan dengan memecah beberapa aktivitas yang memungkinkan untuk dipisah dari elemen kerja tersebut.

##### 4. Perbaikan Metode Kerja

Perbaikan metode kerja biasanya dilakukan pada elemen kerja dengan waktu *set up* dan waktu pengerjaan yang dianggap lambat. Cara ini dilakukan dengan menggunakan *micromotion study* yaitu dengan mengeliminasi aktivitas – aktivitas yang dianggap sebagai pemborosan atau *waste* dari elemen kerja tersebut. Sehingga mendapatkan cara pengerjaan elemen kerja yang lebih baik dengan waktu pengerjaan yang lebih cepat.

#### 5. Perbaiki Performansi Kerja

Kinerja dari setiap operator pada lini perakitan berbeda – beda. Untuk mendapatkan keseimbangan lini perakitan maka dibutuhkan target produksi perunit untuk setiap operatornya, operator yang selalu mendapat target produksinya dapat diberikan bonus tambahan sedangkan operator yang tidak mencapai targetnya dapat diganti atau diberikan pelatihan kerja tambahan.

#### 6. Pengelompokkan Elemen Kerja

Pengelompokkan elemen – elemen kerja pada setiap stasiun kerja merupakan cara yang umum dilakukan dalam penyeimbangan lini perakitan. Biasanya elemen – elemen kerja dikelompokkan dalam suatu stasiun kerja dengan menggunakan acuan waktu siklus yang telah ditentukan sehingga didapatkan waktu produksi yang sama pada setiap stasiun kerja.

#### 7. Mengubah Kecepatan Mesin

Mengubah kecepatan mesin dapat dilakukan pada mesin yang dianggap memiliki kecepatan pengerjaan yang lebih lambat daripada mesin lainnya, dengan catatan mesin tersebut memiliki kapasitas untuk mencapai kecepatan tersebut. Cara ini sulit dilakukan karena sangat dipengaruhi oleh kondisi dan usia dari mesin tersebut.

#### 8. Kombinasi Lintasan Produksi

Dalam sebuah rantai produksi biasanya memproduksi lebih dari satu jenis produk. Pengerjaan produk – produk dengan jenis yang hampir sama atau tidak memiliki berbeda karakteristik yang jauh dapat dikelompokkan dan diproduksi dengan mengkombinasikan lintasan produksi dari produk – produk tersebut. Secara teoritis, waktu menganggur dari produksi suatu produk dapat digunakan untuk memproduksi *part* atau bagian dari produk lainnya.

### 2.2.15 Metode *Line Balancing*

Dalam penerapan line balancing terdapat beberapa metode yang banyak digunakan salah satunya adalah metode heuristik yaitu Killbridge – Wester Heuristic, Helgeson – Biernie (*Positional Weight Technique*), dan Moodie – Young, serta pendekatan analitik yaitu model matematik. Penelitian ini akan menggunakan model matematik dalam menyeimbangkan lini perakitan untuk memecahkan *mixed model assembly line problem* (MMALP). Menurut Usubamatov, et al (2013), pendekatan matematis dapat diterapkan

pada lini perakitan untuk mengetahui faktor – faktor yang meningkatkan produktivitas lini perakitan seperti organisasi, teknis, manajerial, dan teknologi dari lini perakitan.

Pendekatan matematis dapat digunakan untuk mengetahui jumlah minimal stasiun kerja yang dibutuhkan untuk mempertahankan tingkat produksi atau untuk memposisikan suatu elemen kerja dalam suatu stasiun kerja yang jumlahnya tetap untuk meningkatkan tingkat produksi (Elsayed & Boucher, 1994). Salah satu kelebihan dari model matematik adalah dapat memasukkan atau mempertimbangkan faktor *constraint* (kendala) yang terdapat dalam lini perakitan serta dapat diterapkan pada *mixed model assembly line* yaitu lini perakitan yang memproduksi lebih dari satu jenis produk pada lini perakitan yang sama. Beberapa kendala (*constraint*) yang akan digunakan pada penelitian ini yaitu sebagai berikut (Gokcen & Erel, 1998):

1. *Assignment constraint*

Pada kendala ini, memastikan bahwa setiap elemen – elemen kerja harus ditugaskan pada suatu stasiun kerja. Persamaan atau notasi dari kendala ini dirumuskan pada Persamaan 2.13.

$$\sum_{k=E_i}^{L_i} V_{ik} = 1, \quad i = 1, \dots, N \quad \dots(2.13)$$

2. *Precedence constraint*

Kendala ini memastikan bahwa elemen kerja pendahulu yang dituliskan dengan notasi *a* harus ditugaskan pada stasiun kerja lebih awal dari pada elemen kerja pengikutnya yang dituliskan dengan notasi *b* yang dirumuskan pada Persamaan 2.14.

$$\sum_{k=E_a}^{L_a} k \cdot V_{ak} - \sum_{k=E_b}^{L_b} k \cdot V_{bk} \leq 0 \quad \dots(2.14)$$

3. *Cycle time constraint*

Kendala ini membatasi jumlah elemen – elemen kerja yang dapat ditugaskan pada suatu stasiun kerja sesuai dengan waktu siklus yang telah ditentukan sebelumnya. Hal tersebut dilakukan untuk mendapat kesamaan waktu produksi pada setiap stasiun kerja sehingga keseimbangan lini perakitan dapat dicapai. Persamaan atau notasi dari kendala ini dirumuskan pada Persamaan 2.15.

$$\sum_{i \in W_{km}} t_{im} \cdot V_{ik} \leq C_m, \quad k = 1, \dots, K, \quad m = 1, \dots, P \quad \dots(2.15)$$

#### 4. Stations constraint

Kendala ini memastikan bahwa setiap stasiun kerja harus mendapat penugasan pada setiap model atau jenis produk. Jika stasiun kerja  $k$  pada sebuah model bernilai 0 (atau tidak terdapat penugasan), maka penugasan dari stasiun kerja  $k$  tersebut pada model lainnya akan bernilai sama yaitu 0 (nol). Persamaan atau notasi dari kendala ini dirumuskan pada Persamaan 2.16, Persamaan 2.17, dan Persamaan 2.18.

$$\sum_{i \in W_{km}} V_{ik} - \|W_{km}\|X_{km} \leq 0, \quad k = 1, \dots, K, \quad m = 1, \dots, P \quad \dots(2.16)$$

$$\sum_{m=1}^P X_{km} - p \cdot A_k = 0, \quad k = 1, \dots, K \quad \dots(2.17)$$

$$V_{ik}, V_{ak}, V_{bk}, W_{km}, X_{km}, A_k \in \{0,1\}, i \in I, k \in K, m \in P \quad \dots(2.18)$$

Sebelum melakukan pemodelan model matematik pada *mixed model assembly line balancing* menggunakan notasi – notasi kendala di atas terlebih dahulu dilakukan penentuan alokasi elemen kerja yang dapat dilakukan pada stasiun stasiun kerja yang memungkinkan mulai dari stasiun kerja awal hingga stasiun kerja akhir dari lini perakitan tersebut dengan menggunakan Persamaan 2.19 dan Persamaan 2.20.

$$E_{im} = \left[ \frac{t_{im} + \sum_{j \in PR_i} t_{jm}}{C_m} \right]^+ \quad i = 1, \dots, N, \quad m = 1, \dots, P \quad \dots(2.19)$$

$$L_{im} = K + 1 - \left[ \frac{t_{im} + \sum_{j \in S_i} t_{jm}}{C_m} \right]^+ \quad i = 1, \dots, N, \quad m = 1, \dots, P \quad \dots(2.20)$$

Notasi  $V_{ik}, V_{ak}, V_{bk}, W_{km}, X_{km}$ , dan  $A_k$  memakai bilangan *binary integer* dalam penyelesaiannya. Bila elemen kerja ditugaskan pada suatu stasiun kerja atau model tertentu maka notasi tersebut akan bernilai 1 tetapi bila elemen kerja tersebut tidak ditugaskan pada suatu stasiun kerja atau model tersebut maka notasi tersebut akan bernilai 0 dengan keterangan rumus yaitu sebagai berikut.

- $N$  : jumlah keseluruhan dari penugasan di dalam suatu permasalahan
- $K$  : jumlah keseluruhan stasiun kerja



- $P$  : jumlah model (jenis produk)  
 $PR_i$  : bagian dari seluruh penugasan yang mendahului penugasan  $i = 1, \dots, N$ .  
 $S_i$  : bagian dari seluruh penugasan yang mengikuti penugasan  $i = 1, \dots, N$ .  
 $t_{im}$  : waktu kinerja penugasan  $i$  model  $m, m = 1, \dots, P$ .  
 $C_m$  : waktu siklus model  $m, m = 1, \dots, P$ .  
 $E_{im}$  : penugasan pada stasiun kerja terawal  $i$  model  $m$  dapat ditugaskan  
 $L_{im}$  : penugasan pada stasiun kerja terakhir  $i$  model  $m$  dapat ditugaskan  
 $V_{ik}$  : 1 jika penugasan  $i$  ditugaskan untuk stasiun kerja  $k$ ; sebaliknya 0  
 $X_{km}$  : 1 jika stasiun kerja  $k$  digunakan untuk model  $m$ ; sebaliknya 0  
 $A_k$  : 1 jika stasiun kerja  $k$  digunakan untuk model  $m$ ; sebaliknya 0  
 $W_{km}$  : bagian dari semua tugas yang dapat ditugaskan untuk stasiun  $k$  model  $m$   
 $\| W_{km} \|$ : jumlah tugas dalam set  $W_{km}$

## BAB III

### METODE PENELITIAN

#### 3.1. Objek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di PT Mega Andalan Kalasan (MAK) yang beralamatkan di Jl. Raya Piyungan - Prambanan Km 5, Dinginan, Sumberharjo, Prambanan, Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, 55572.

#### 3.2. Sumber Data

Data primer dan data sekunder adalah data yang akan digunakan pada penelitian ini, baik yang bersifat kualitatif maupun kuantitatif. Data primer didapatkan secara langsung melalui observasi langsung dilapangan serta wawancara dengan kepala unit unit *Export Oriented Product* (EOP). Pengambilan data akan dilakukan pada bulan Mei – Juni 2018. Data primer yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Jumlah Stasiun Kerja
2. Waktu proses produksi
3. Kondisi Lini perakitan saat ini
4. Alur proses produksi

Sedangkan data sekunder didapatkan dari arsip maupun dokumen perusahaan serta buku, jurnal, artikel maupun karya tulis lainnya. Data sekunder yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

- a. Data hasil produksi
- b. Sejarah singkat dan struktur organisasi perusahaan

- c. Jam kerja efektif
- d. Jadwal hari kerja
- e. Tabel *rating factor*
- f. Buku, jurnal, artikel mengenai *line balancing*

### 3.3. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

a. Observasi

Observasi dilakukan dengan cara melakukan pengamatan secara langsung terhadap objek yang akan diteliti yaitu *Trendgate Bed TRG 26* di unit *Export Oriented Product* (EOP) dengan tujuan untuk mendapatkan gambaran secara jelas dan lengkap tentang objek yang akan diteliti serta mendapatkan data – data aktual yang dibutuhkan pada penelitian ini.

b. Wawancara

Wawancara dilakukan dengan cara melakukan tanya jawab secara langsung dengan kepala unit EOP dengan tujuan untuk memperoleh keterangan sesuai dengan naskah wawancara yang disusun berdasarkan pada penelitian ini. Data yang didapatkan dari hasil wawancara ini bersifat subjektif sesuai dengan pemahaman narasumber.

c. Studi Literatur

Studi literatur dilakukan dengan cara mengumpulkan berbagai buku, jurnal, artikel maupun karya tulis lainnya yang berkaitan dengan topik penelitian ini dengan tujuan untuk menguasai landasan – landasarn teori sesuai yang akan digunakan untuk memecahkan permasalahan pada penelitian ini.

### 3.4. Metode Pengolahan Data

Setelah pengumpulan data – data yang diperlukan untuk penelitian ini selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah tahap pengolahan data. Tahapan – tahapan dalam pengolahan data pada penelitian ini yaitu sebagai berikut.

a. Menghitung waktu siklus

Pada tahap ini dilakukan perhitungan total waktu dan waktu siklus rata – rata setiap stasiun kerja. Perhitungan didasarkan pada data waktu siklus yang diambil dengan observasi secara langsung dilapangan.

b. Uji kecukupan data

Uji kecukupan dilakukan untuk membuktikan apakah jumlah data yang didapatkan sudah cukup. Perhitungan uji kecukupan data yaitu  $N'$  dipengaruhi oleh penentuan tingkat keyakinan dan tingkat ketelitian. apabila  $N' \leq N$  maka data dapat dikatakan cukup.

c. Uji keseragaman data

Uji keseragaman dilakukan untuk mengetahui apakah ada data yang menyimpang dari batas kontrol atas (BKA) atau *upper control limit* (UCL) dan batas kontrol bawah (BKB) atau *lower control limit* (LCL) yang telah ditentukan berdasarkan hasil perhitungan yang sudah dilakukan sebelumnya.

d. Perhitungan waktu normal

Perhitungan waktu operator memulai dan menyelesaikan pekerjaannya dengan mempertimbangkan factor penyesuaian (*rating factor*).

e. Perhitungan waktu baku

Perhitungan waktu baku mengkalikan antara waktu normal yang sudah didapatkan dengan kelonggaran (*allowance*).

f. Perhitungan jumlah stasiun kerja minimal

Perhitungan jumlah minimal stasiun kerja dilakukan pada setiap departemen kerja untuk mengetahui berapa jumlah stasiun kerja minimal yang akan dimasukan dan diujikan di dalam pembentukan model matematika.

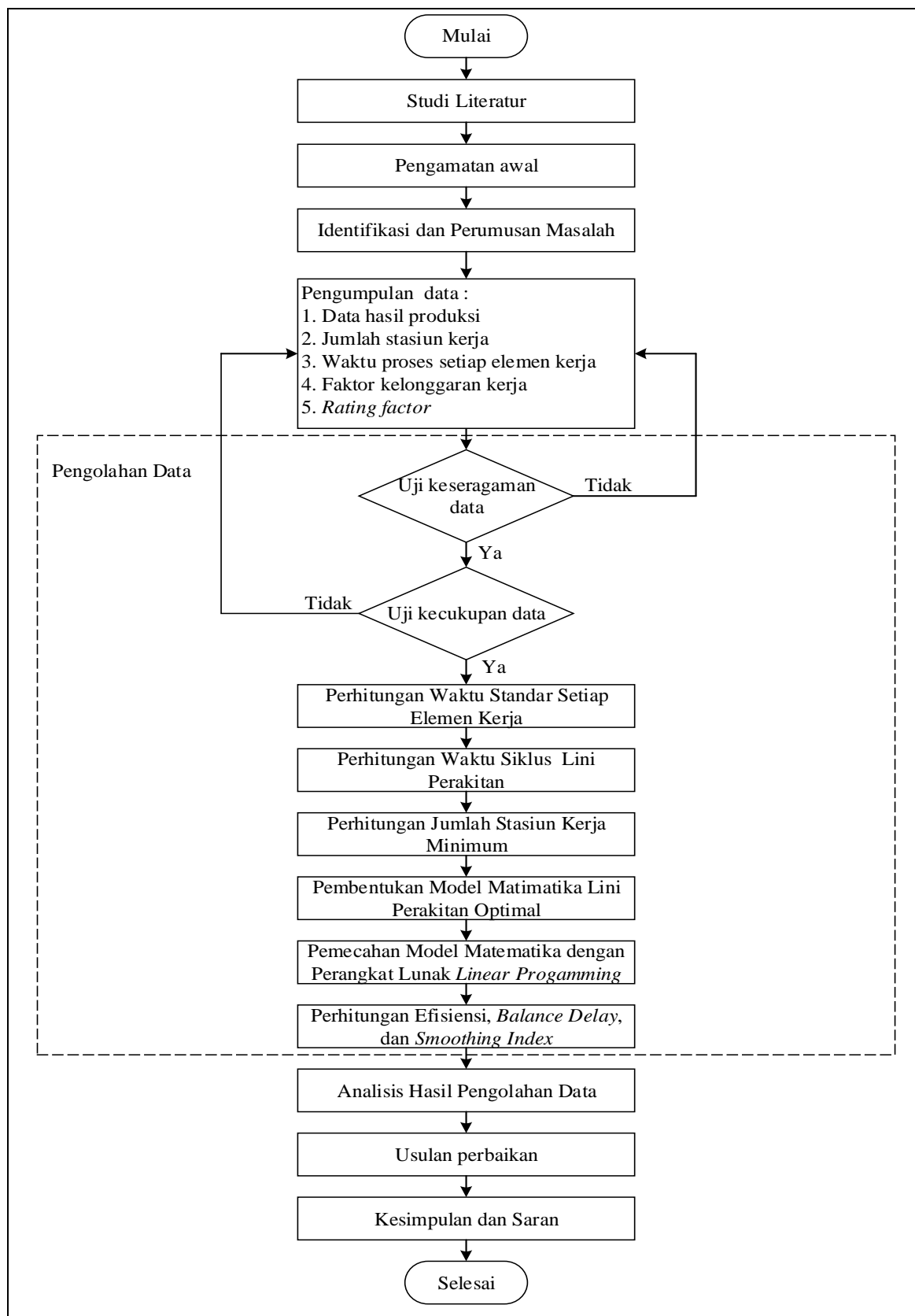
g. Penyeimbangan lini perakitan

Penyeimbangan lini pada penelitian ini menggunakan model matematik dengan 4 constraint atau kendala yang digunakan yaitu *assignment constraint*, *precedence constraint*, *cycle time constraint*, dan *stasion constraint*. Pencarian solusi optimal pada penelitian ini menggunakan perangkat lunak Lingo versi 17.

### 3.5. Metode Analisis Data

Hasil dari pengolahan data pada penelitian ini akan menghasilkan beberapa parameter seperti *line efficiency*, *balance delay*, dan *smoothness index* dalam bentuk kuantitatif. maka analisis lebih mendalam akan dilakukan pada ketiga parameter tersebut dengan membandingkan hasil lintasan usulan dari metode *line balancing* dengan kondisi lintasan saat ini supaya menjadi sebuah informasi yang dapat dipahami tidak hanya oleh penulis tetapi juga orang lain yang membaca laporan penelitian ini sehingga dapat ditarik sebuah kesimpulan untuk menjawab pertanyaan dari rumusan masalah dan mencapai tujuan dari penelitian ini.

### 3.6. Diagram Alur Penelitian



Gambar 3.1 Diagram Alur Penelitian

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Profil Perusahaan

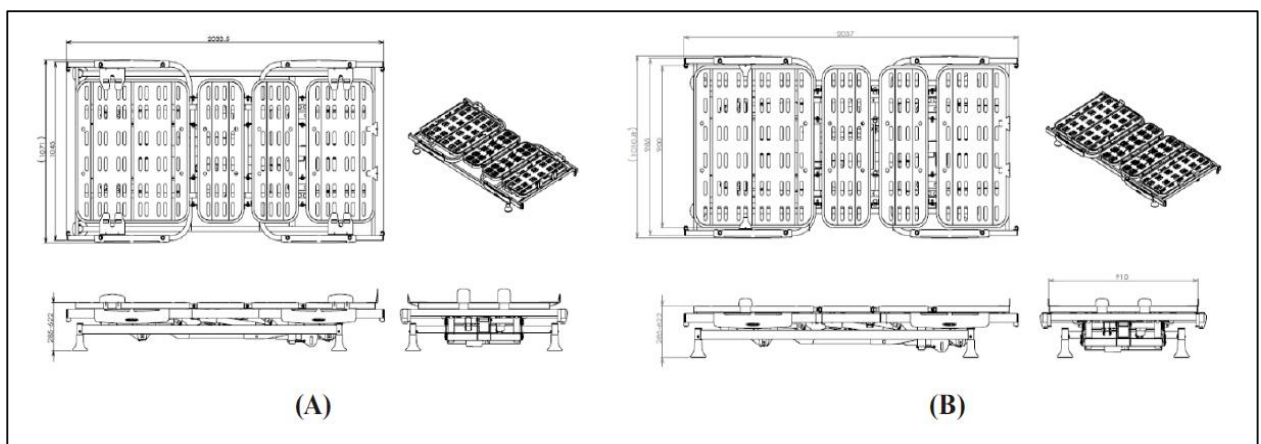
Penelitian ini dilakukan pada perusahaan yang memproduksi peralatan rumah sakit yang berdiri pada tahun 1988 yaitu PT. Mega Andalan Kalasan. Beberapa jenis produk peralatan rumah sakit yang diproduksi yaitu ranjang pasien (*homecare bed*), kursi roda, *cabinet*, loker, meja operasi dan lain sebagainya. Kalimat *getting people fall in love with* MAK menjadi misi PT. MAK dalam berkarya untuk membangun perusahaan yang berkelanjutan, hal itu dapat dilihat dari sejarah perkembangan perusahaan yang dirintis mulai dari sebuah bengkel yang hanya memproduksi produk kursi lipat hingga menjadi perusahaan yang mampu memproduksi berbagai peralatan rumah sakit dengan pemasaran produk yang tidak hanya di Indonesia tetapi juga telah menembus pasar Jepang dan beberapa negara di Eropa.

Selain mampu memproduksi produk peralatan rumah sakit, PT MAK juga telah mampu memproduksi komponen - komponen yang digunakan pada peralatan rumah sakit yang mereka produksi. Penelitian ini dilakukan pada unit *Export Oriented Product* (EOP) yang merupakan unit dalam PT Mega Andalan Kalasan yang memproduksi produk – produk khusus untuk pasar ekspor. Jenis produk yang paling banyak diproduksi pada unit ini adalah produk ranjang pasien.

## 4.2 Gambaran Umum Produk

Trendgate Bed merupakan produk ranjang pasien (*homecare bed*) yang diproduksi oleh PT. Mega Andalan Kalasan untuk Trendgate Co. Ltd. Terdapat dua jenis produk Trendgate Bed yang paling banyak diproduksi yaitu Trendgate (TRG) Bed 26 dan Trendgate (TRG) Bed 29. Kedua produk tersebut merupakan ranjang pasien dengan sistem 3 motor sehingga sudut sandaran badan, sudut sandaran kaki, serta ketinggian posisi ranjang dari lantai dapat disesuaikan dengan menggunakan remot yang telah disediakan.

Secara spesifikasi kedua produk tersebut tidak memiliki terlalu banyak perbedaan atau dapat dikatakan serupa. Dari sisi dimensi ukuran kedua produk tersebut tidak memiliki perbedaan yang terlalu jauh, produk Trendgate 26 memiliki panjang 203.25 cm, lebar 107.1 cm, dan tinggi 285 cm pada posisi terendah dari lantai dan 622 cm pada posisi tertinggi dari lantai sedangkan produk Trendgate 29 memiliki panjang 203.7 cm, lebar 101.08 cm, dan tinggi 285 cm pada posisi terendah dari lantai dan 622 cm pada posisi tertinggi dari lantai. Dari sisi tampilan kedua produk tersebut tidak memiliki perbedaan baik bentuk maupun warna produk. Perbedaan kedua tipe produk tersebut terdapat pada fleksibilitasnya, pada produk trendgate 29 motor dapat dilepas atau dipasang kembali dari frame sedangkan pada produk Trendgate 26 motor tidak dilepas dari frame. Gambar teknik dari produk Trendgate 26 dan Trendgate 29 dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Gambar teknik (A) Trendgate Bed 26 (B) Trendgate Bed 29

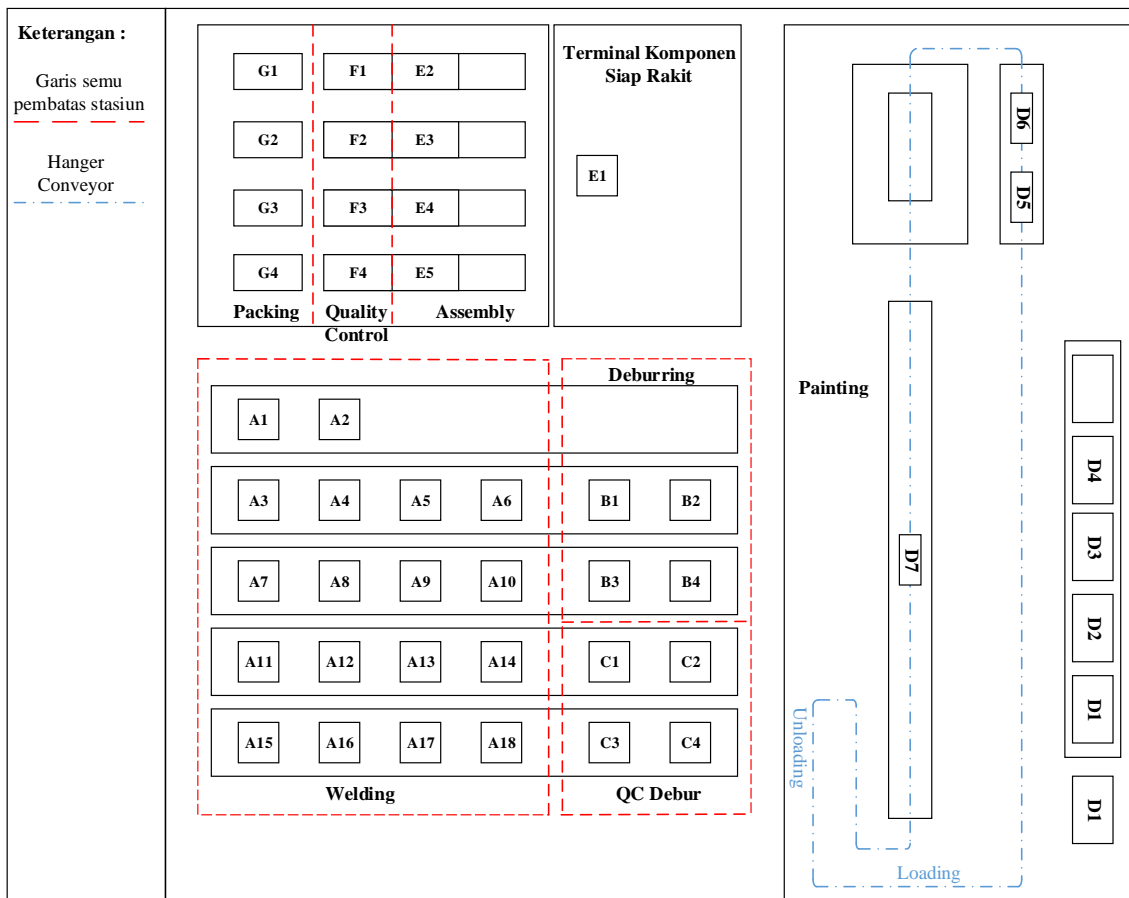


### 4.3 Pengumpulan Data

Pada sub bab ini akan dibahas berbagai data primer dan data sekunder yang telah dikumpulkan untuk digunakan dan diolah dalam penelitian ini untuk memecahkan permasalahan yang telah ditentukan sebelumnya.

#### 4.4.1 Tata Letak Lini perakitan

Unit EOP memiliki total area perakitan sebesar 4320 m<sup>2</sup> yang mampu menampung berbagai macam peralatan produksi baik yang dikategorikan kecil, sedang, maupun besar dan *inventory* untuk bahan baku maupun barang jadi seperti yang terlihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Tata letak lini perakitan unit *Export Oriented Product*

#### 4.4.2 Alur Produksi

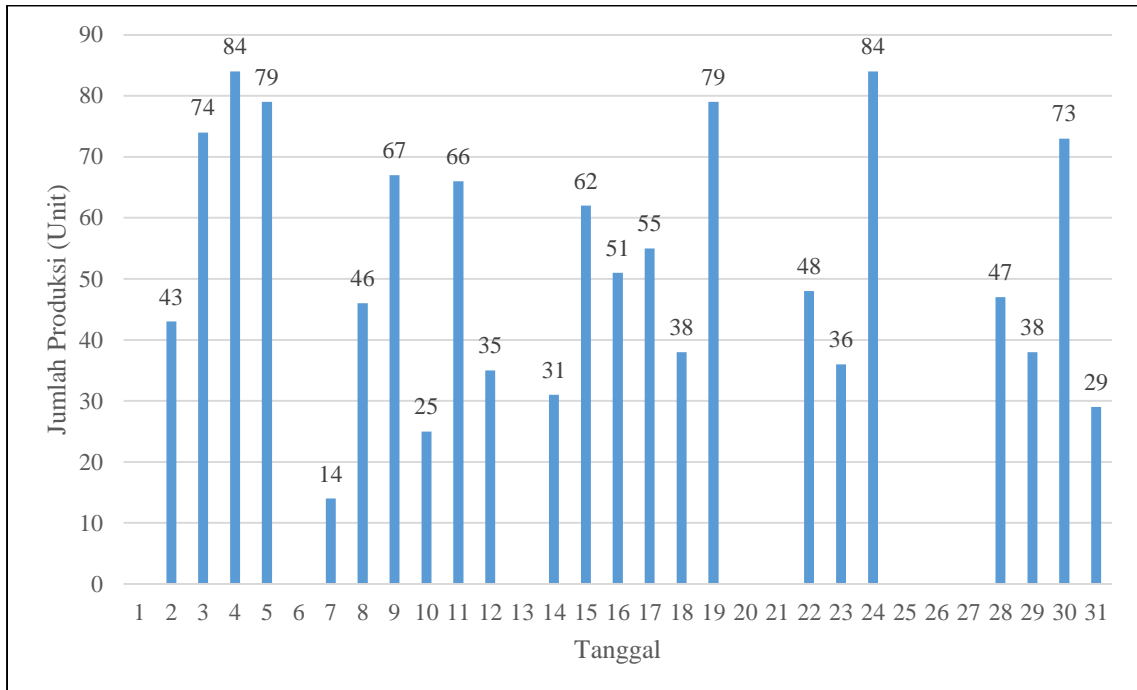
Pada Lini perakitan Unit *Export Oriented Product* PT. Mega Andalan Kalasan terdapat 2 tipe produk yang paling banyak diproduksi yaitu TRG 26 dan TRG 29. Kedua tipe produk tersebut memiliki perbedaan waktu pengerjaan yang cukup besar untuk memproduksi satu unit produknya. Hal itu disebabkan karena perbedaan jumlah part yang harus diproduksi, tipe TRG 29 memiliki jumlah *part sub assembly* dan *part assembly* yang lebih banyak daripada TRG 26 sehingga waktu pengerjaan TRG 29 lebih lama daripada TRG 26 tetapi pada pengerjaannya tidak terdapat perbedaan metode kerja. Pada lini perakitan ranjang pasien (*homecare*) ini memiliki beberapa departemen kerja yaitu *welding*, *deburring*, *quality control deburring*, *painting*, *assembly*, *final quality control*, dan *packing* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 4.3.



Gambar 4.3 Alur produksi ranjang pasien

#### 4.4.3 Data Hasil Produksi Selama Satu Bulan

Hasil Produksi ranjang pasien (*homebed care*) selama satu bulan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah hasil produksi bulan Mei 2018 yang terdapat pada Gambar 4.4



Gambar 4.4 Hasil produksi bulan Mei 2018

Berdasarkan gambar di atas dapat diketahui bahwa jumlah total keseluruhan pada bulan Mei 2018 adalah 1204 unit yang dikerjakan dalam waktu 23 hari. Jumlah tersebut didapatkan dari hasil produksi selama rata - rata waktu kerja efektif yaitu 7.8 jam dan hasil produksi pada selama jam kerja lembur (*overtime*) perharinya.

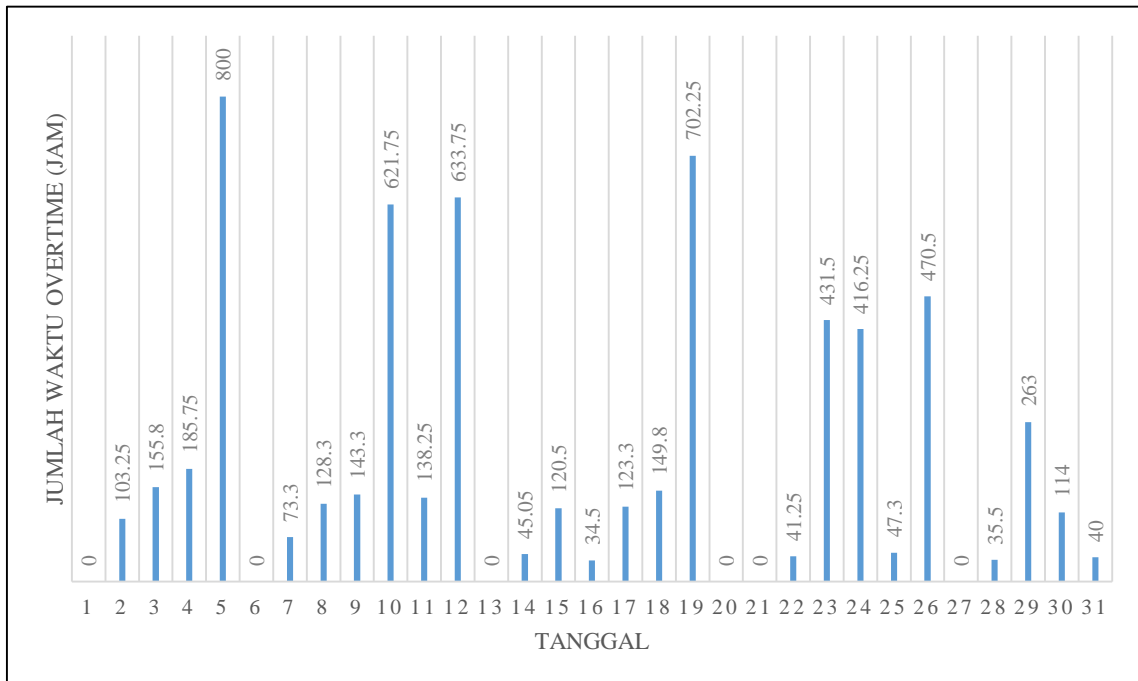
#### 4.4.4 Data Jumlah Waktu Kerja Selama Satu Bulan

Data jumlah waktu lembur yang akan digunakan pada penelitian ini adalah data jumlah waktu kerja lembur pada bulan Mei 2018. Data jumlah waktu kerja lembur didapatkan dari jumlah waktu kerja lembur pegawai tetap dan waktu kerja lembur pegawai magang yang terdapat pada Tabel 4.1

Tabel 4.1 Jumlah waktu kerja lembur bulan Mei 2018

Tanggal	Jumlah Waktu Kerja Normal (Jam)	Waktu Kerja Lembur (Jam)		Jumlah Waktu Overtime
		Pegawai Magang	Pegawai Tetap	
1	0	0	0	0
2	680	49.25	54	103.25
3	680	69	86.8	155.8
4	595	83.75	102	185.75
5	0	340	460	800
6	0	0	0	0
7	680	35	38.3	73.3
8	680	58.5	69.8	128.3
9	680	66	77.3	143.3
10	0	264.75	357	621.75
11	595	63.25	75	138.25
12	0	279.75	354	633.75
13	0	0	0	0
14	680	19.25	25.8	45.05
15	680	57	63.5	120.5
16	680	14	20.5	34.5
17	680	52	71.3	123.3
18	595	65	84.8	149.8
19	0	300.25	402	702.25
20	0	0	0	0
21	680	0	0	0
22	680	15.75	25.5	41.25
23	680	207.5	224	431.5
24	680	198.25	218	416.25
25	595	11	36.3	47.3
26	0	200.5	270	470.5
27	0	0	0	0
28	680	35.5	0	35.5
29	0	225	38	263
30	680	41	73	114
31	680	11	29	40
<b>Total</b>	<b>13260</b>			<b>6018.15</b>

Untuk mempermudah untuk melihat perbedaan jumlah waktu lembur perharinya maka data disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Jumlah Waktu Lembur Bulan Mei 2018

Berdasarkan data di atas dapat diketahui bahwa jumlah keseluruhan waktu kerja lembur selama bulan Mei 2018 adalah 6018,15 jam selama 23 hari dengan rata – rata waktu kerja lembur adalah 265,65 perharinya. Jumlah pekerja yang bekerja pada bulan Mei 2018 sebanyak 85 pekerja sehingga rata - rata waktu kerja lembur perhari per pekerja adalah 3,078 jam atau 184.68 menit perhari.

#### 4.4.5 Data Waktu Kerja Bagian Produksi

Pada unit *Export Oriented Product* (EOP) dalam satu minggu terdapat lima hari kerja normal mulai dari hari senin hingga hari jumat. Pada hari sabtu biasanya masih terdapat aktivitas produksi tetapi dihitung sebagai kerja lembur (*overtime*), hal tersebut dilakukan apabila target produksi mingguan belum tercapai. Pada Tabel 4.2 dapat dilihat total waktu kerja normal dalam satu hari kerja.

Tabel 4.2 Waktu kerja efektif

Hari Kerja	Jam Kerja	Durasi (menit)	Keterangan
Senin - Kamis	07.00 – 09.30	150	Jam kerja
	09.30 – 10.00	30	Istirahat
	10.00 – 12.00	120	Jam kerja
	12.00 – 12.30	30	Istirahat
	12.30 – 16.00	210	Jam kerja
Jumat	07.00 – 09.30	150	Jam kerja
	09.30 – 10.00	30	Istirahat
	10.00 – 12.00	120	Jam kerja
	12.00 – 12.30	30	Istirahat
	12.30 – 15.00	210	Jam kerja

Berdasarkan Tabel di atas dapat diketahui bahwa jumlah waktu kerja efektif di bagian produksi unit *Export Oriented Product* (EOP) adalah 8 jam atau 480 menit perharinya pada hari Senin – Kamis dan 7 jam atau 420 menit pada hari Jumat. Rata – rata waktu kerja efektif perhari yaitu 7.8 jam atau 468 menit.

#### 4.4.6 Elemen - Elemen Kerja

##### A. Elemen – Elemen Kerja dan Waktu Proses Setiap Pengerjaannya

Pada Tabel 4.3 dapat diketahui masing – masing elemen kerja yang terdapat pada setiap departemen kerja dari lini perakitan ranjang pasien tipe TRG 26 dan TRG 29 dengan nomor urut atau kode dari masing – masing elemen kerjanya.

Tabel 4.3 Elemen – elemen kerja

No. Urut	Departemen Kerja	Elemen Kerja
1	Welding	Pengelasan Base Frame Sub Assy
2		Pengelasan Base Frame Assy
3		Pengelasan High Low Link Head Assy
4		Pengelasan High Low Link Foot Assy
5		Pengelasan Connect Bar Assy
6		Pengelasan Main Frame Sub Assy TRG 26 (Main Frame Pipe H dan F)
7		Pengelasan Main Frame Sub Assy TRG 26 (Main Frame Pipe R dan L)

No. Urut	Departemen Kerja	Elemen Kerja
8		Pengelasan Main Frame Sub Assy TRG 26 (Side Frame)
9		Pengelasan Main Frame Assy TRG 26
10		Pengelasan Main Frame Sub Assy TRG 29 (Main Frame Pipe H dan F)
11		Pengelasan Main Frame Sub Assy TRG 29 (Main Frame Pipe R dan L)
12		Pengelasan Main Frame Assy TRG 29
13		Pengelasan Bottom Arm Head Assy
14		Pengelasan Bottom Arm Foot Assy
15		Pengelasan Bottom A Assy
16		Pengelasan Bottom C Assy
17		Pengelasan Bottom D Assy
18		Pengelasan Bottom E Assy
19		Pengelasan High Low Pin Assy
20		Pengelasan Two Level High Low Pin Assy
21		Pengelasan Motor Frame Sub Assy
22		Pengelasan Motor Frame Assy
23		Pengelasan Head Frame Assy
24		Pengelasan Foot Frame
25		Deburring Base Frame Assy
26		Deburring High Low Link Head Assy
27		Deburring High Low Link Foot Assy
28		Deburring Connect Bar Assy
29		Deburring Main Frame Assy TRG 26
30		Deburring Main Frame Assy TRG 29
31		Deburring Bottom Arm Head Assy
32		Deburring Bottom Arm Foot Assy
33		Deburring Bottom A Assy
34	<i>Deburring</i>	Deburring Bottom C Assy
35		Deburring Bottom D Assy
36		Deburring Bottom E Assy
37		Deburring Motor Frame Assy
38		Deburring Head Frame Assy
39		Deburring Foot Frame Assy
40		Inspeksi Base Frame Assy
41		Inspeksi High Low Link Head Assy
42		Inspeksi High Low Link Foot Assy
43		Inspeksi Connect Bar Assy
44		Inspeksi Main Frame Assy 26

No. Urut	Departemen Kerja	Elemen Kerja
45		Inspeksi Main Frame Assy 29
46		Inspeksi Bottom Arm Head Assy
47		Inspeksi Bottom Arm Foot Assy
48		Inspeksi Bottom A Assy
49		Inspeksi Bottom C Assy
50		Inspeksi Bottom D Assy
51		Inspeksi Bottom E Assy
52		Inspeksi Motor Frame Assy
53		Inspeksi Head Frame Assy
54		Inspeksi Foot Frame Assy
55		Persiapan Komponen yang akan di <i>Threatment</i>
56		<i>Pickling</i>
57		<i>Degreasing</i>
58		<i>Rinsing</i>
59		Pembilasan
60		Pengecetan Base Frame Assy
61		Pengecetan High Low Link Head Assy
62		Pengecetan High Low Link Foot Assy
63		Pengecetan Connect Bar Assy
64		Pengecetan Main Frame Assy
65		Pengecetan Bottom Arm Head Assy
66		Pengecetan Bottom Arm Foot Assy
67		Pengecetan Bottom A Assy
68	<i>Painting</i>	Pengecetan Bottom C Assy
69		Pengecetan Bottom D Assy
70		Pengecetan Bottom E Assy
71		Pengecetan High Low Pin Asy
72		Pengecetan Two Level High Low Pin Assy
73		Pengecetan Motor Frame Assy
74		Pengecetan Head Frame Assy
75		Pengecetan Foot Frame Assy
76		Pengovenan Base Frame Assy
77		Pengovenan High Low Link Head Assy
78		Pengovenan High Low Link Foot Assy
79		Pengovenan Connect Bar Assy
80		Pengovenan Main Frame Assy
81		Pengovenan Bottom Arm Head Assy
82		Pengovenan Bottom Arm Foot Assy



No. Urut	Departemen Kerja	Elemen Kerja
83		Pengovenan Bottom A Assy dan Bottom C Assy
84		Pengovenan Bottom E Assy dan Bottom D Assy
85		Pengovenan High Low Pin Asy
86		Pengovenan Two Level High Low Pin Assy
87		Pengovenan Motor Frame Assy
88		Pengovenan Head Frame Assy
89		Pengovenan Foot Frame Assy
90		Pemasangan Komponen Plastik pada Bottom A Head
91		Pemasangan Komponen Plastik pada Bottom C Base
92		Pemasangan Komponen Plastik pada Bottom D Middle
93		Pemasangan Komponen Plastik pada Bottom E Foot
94		Pemasangan Base Frame
95		Pemasangan High Low Link Head
96		Pemasangan High Low Link Foot
97	<i>Assembly</i>	Pemasangan Connect Bar
98		Pemasangan Main Frame
99		Pemasangan Bottom Arm Head
100		Pemasangan Bottom Arm Foot
101		Pemasangan Bottom C Base
102		Pemasangan Bottom A Head
103		Pemasangan Bottom D Middle
104		Pemasangan Bottom E Foot
105		Pemasangan Bottom Link Bar
106		Pemasangan Label Attention
107		Pemasangan Serial Number
108		Pemasangan Product Name Label
109		Pemasangan Side Frame Cover
110	<i>Quality Control</i>	Inspeksi Akhir
111	<i>Packing</i>	Menyiapkan kardus bagian bawah
112		Menyiapkan penutup kardus
113		Merakit penutup kardus
114		Merakit kardus bagian bawah
115		Peletakan produk ke dalam kardus

No. Urut	Departemen Kerja	Elemen Kerja
116		Pemasangan Mattres Stopper
117		Pemasangan PE-Foam
118		Pemasangan pelindung sudut
119		Penutupan kardus
120		Pengikatan kardus
121		Pengecekan Serial Number
122		Pemasangan Serial Number
123		Pemotongan tali pengikat
124		Pemasangan lakban
125		Menyimpan produk

Untuk waktu proses elemen – elemen kerja yang telah diukur dengan menggunakan metode jam henti dengan jumlah pengamatan yang dilakukan sebanyak 15 (lima belas) kali untuk masing – masing elemen kerja dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.4.7 Faktor – Faktor Penyesuaian (*Rating Factor*)

Pengamatan atau pengukuran faktor – faktor penyesuaian atau *rating factor* pada lini perakitan ranjang pasien tipe TRG 26 dan TRG 29 ini dilakukan pada masing – masing operator di setiap stasiun kerja. Faktor – faktor penyesuaian pada lini perakitan ranjang pasien ini dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Faktor penyesuaian setiap stasiun kerja

Stasiun Kerja	Operator pada penugasan elemen kerja	Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian	Jumlah
<i>Welding</i>	1, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 15, 16, 17, 18, 24	Keahlian	Good	C2	0.03	0.03
		Usaha	Average	D	0.00	
		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
<i>Deburing</i>	2, 5, 6, 9, 10, 11, 13, 14, 19, 20, 21, 22, 23, 24	Keahlian	Average	D	0.00	0.00
		Usaha	Average	D	0.00	
		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
<i>Deburing</i>	25, 26, 27, 28, 31, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38,	Keahlian	Good	C2	+0.03	0.03
		Usaha	Average	D	0.00	
		Kondisi	Average	D	0.00	

Stasiun Kerja	Operator pada penugasan elemen kerja	Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian	Jumlah
	39, 40, 42, 43, 47, 48, 53, 54	Konsistensi	Average	D	0.00	
		Keahlian	Average	D	0.00	
	29, 30, 41, 44, 45, 46, 49, 50, 51, 52	Usaha	Average	D	0.00	0.00
		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
		Keahlian	Good	C2	+0.03	
	61, 62, 63, 64, 65, 66, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73, 74, 75	Usaha	Average	D	0.00	0.03
		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
		Keahlian	Average	D	0.00	
<i>Painting</i>	55, 56, 57, 58, 59, 60, 76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89	Usaha	Average	D	0.00	0.00
		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
		Keahlian	Good	C2	+0.03	
	90, 91, 92, 93, 94, 95, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 104, 105, 106, 107, 108, 109,	Usaha	Average	D	0.00	0.03
		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
		Keahlian	Good	C2	+0.03	
<i>Assembly</i>	110	Usaha	Average	D	0.00	0.03
<i>Quality Control</i>		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
		Keahlian	Average	D	0.00	
	111, 112, 113, 114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125	Usaha	Average	D	0.00	0.00
		Kondisi	Average	D	0.00	
		Konsistensi	Average	D	0.00	
		Keahlian	Average	D	0.00	
<i>Packing</i>						

#### 4.4.8 Faktor – Faktor Kelonggaran (*Allowance*)

Faktor - faktor kelonggaran (*allowance*) dibutuhkan pada penelitian keseimbangan lini untuk menghitung waktu standar. Faktor kelonggaran pada lini perakitan ranjang pasien tipe TRG 26 dan TRG 29 ini tidak dilakukan pada masing – masing operator tetapi berdasarkan pada masing – masing departemen kerja di mana operator kerja tersebut bekerja. Faktor – faktor kelonggaran pada lini perakitan ranjang pasien ini dapat dilihat pada Tabel 4.5 dan Tabel 4.6.

Tabel 4.5 Faktor kelonggaran stasiun kerja *welding, deburring, dan painting*

Faktor	Kelonggaran (%)	
Tenaga yang dikeluarkan	Sangat ringan	6
Sikap kerja	Berdiri diatas dua kaki	1
Gerakan kerja	Normal	1
Kelelahan mata	Pandangan yang hampir terus menerus	6
Keadaan temperatur tempat kerja	Tinggi	5
Keadaan atmosfer	Kurang baik	5
Keadaan lingkungan yang baik	Jika faktor - faktor yang berpengaruh dapat menurunkan kualitas	2
Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi	Pria	1
Total		27

Tabel 4.6 Faktor kelonggaran stasiun kerja *assembly, quality control, dan packing*

Faktor	Kelonggaran (%)	
Tenaga yang dikeluarkan	Sangat ringan	6
Sikap kerja	Berdiri diatas dua kaki	1
Gerakan kerja	Normal	1
Kelelahan mata	Pandangan yang hampir terus menerus	6
Keadaan temperatur tempat kerja		5
Keadaan atmosfer	Cukup	3
Keadaan lingkungan yang baik	Jika faktor - faktor yang berpengaruh dapat menurunkan kualitas	2
Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi	Pria	1
Total		25

#### 4.4 Pengolahan Data

##### 4.5.1 Pengujian Kecukupan dan Keseragaman Data

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan untuk menguji kecukupan dan keseragaman data dari data waktu yang telah di dapatkan untuk mengetahui apakah data - data tersebut dapat dikatakan cukup dan seragam.

### A. Perhitungan waktu rata – rata dari hasil observasi

Data hasil observasi secara langsung menggunakan jam henti dikelompokkan berdasarkan elemen kerjanya masing – masing lalu dilakukan perhitungan waktu rata – ratanya, waktu rata – rata akan digunakan pada perhitungan uji kecukupan dan keseragaman data. Berikut ini merupakan contoh perhitungan waktu rata – rata untuk elemen kerja nomor 1, untuk hasil perhitungan waktu rata - rata elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran.

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i}{N}$$

$$\bar{X} = \frac{6.51 + 6.42 + 6.27 + 6.23 + 6.35 + 6.29 + 6.52 + 6.36 + 6.69 + 6.54 + 6.57 + 6.24 + 6.54 + 6.48 + 6.28}{15}$$

$$\bar{X} = 6.42 \text{ menit}$$

### B. Pengujian Keseragaman Data

Pada uji keseragaman data dilakukan perhitungan untuk mendapatkan batas kontrol atas dan batas kontrol kontrol bawah untuk setiap elemen kerja. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan tingkat keyakinan sebesar 95% dan tingkat ketelitian sebesar 5%. Berikut ini merupakan contoh perhitungan uji keseragaman untuk elemen kerja nomor 1, untuk hasil perhitungan uji keseragaman elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran.

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

$$\sigma =$$

$$\sqrt{\frac{(6.51 - 6.42)^2 + (6.42 - 6.42)^2 + (6.27 - 6.42)^2 + (6.23 - 6.42)^2 + (6.35 - 6.42)^2 + (6.29 - 6.42)^2 + (6.52 - 6.42)^2 + (6.36 - 6.42)^2 + (6.69 - 6.42)^2 + (6.54 - 6.42)^2 + (6.57 - 6.42)^2 + (6.24 - 6.42)^2 + (6.54 - 6.42)^2 + (6.48 - 6.42)^2 + (6.28 - 6.42)^2}{15-1}}$$

$$\sigma = 0.14$$

Setelah didapatkan nilai standar deviasi maka selanjutnya melakukan perhitungan untuk menentukan Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) yaitu sebagai berikut.

$$\begin{aligned} BKA &= \bar{\bar{X}} + k\sigma \\ &= 6.42 + 2(0.14) \\ &= 6.70 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BKB &= \bar{\bar{X}} - k\sigma \\ &= 6.42 - 2(0.14) \\ &= 6.14 \end{aligned}$$

Setelah didapatkan batas kontrol atas dan batas kontrol bawah, kemudian dilakukan *plotting* data seluruh waktu elemen kerja satu ke dalam kedua batas kontrol tersebut yang biasanya disajikan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.6



Gambar 4.6 Uji keseragaman data elemen kerja 1

### C. Pengujian Kecukupan Data

Pada uji kecukupan data dilakukan perhitungan untuk mendapatkan  $N'$  atau jumlah pengamatan teoritis untuk setiap elemen kerja lalu membandingkannya dengan jumlah pengamatan aktual. Perhitungan ini dilakukan dengan menggunakan tingkat

keyakinan sebesar 95% dan tingkat ketelitian sebesar 5%. Berikut ini merupakan contoh perhitungan uji kecukupan untuk elemen kerja nomor 1, untuk hasil perhitungan uji kecukupan elemen kerja lainnya dapat dilihat pada lampiran.

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

$$N' = \left[ \frac{\frac{2}{0.05} \sqrt{(30 \times 618.53) - (96.30)^2}}{96.30} \right]^2$$

$$N' = 0.85$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas didapatkan nilai jumlah pengamatan teoritis sebesar 0.85 sehingga dapat disimpulkan bahwa data yang dikumpulkan sudah cukup karena jumlah pengamatan teoritis lebih kecil daripada jumlah pengamatan actual atau  $N' < N$  yaitu  $0.85 < 15$ .

#### 4.5.2 Perhitungan Waktu Standar Setiap Elemen Kerja

Pada sub bab ini akan dilakukan perhitungan - perhitungan untuk mengetahui waktu baku (standar) dari setiap elemen kerja berdasarkan data waktu yang telah didapatkan.

##### A. Perhitungan Waktu Normal

Berikut ini adalah contoh perhitungan waktu normal berdasarkan data waktu yang telah didapatkan pada elemen kerja nomor 1 dengan cara mengalikan waktu rata – rata dengan faktor penyesuaian (*rating factor*).

$$Wn = \bar{X} \times (1 + \text{performance rating})$$

$$Wn = 6.42 \times (1 + 0.03)$$

$$Wn = 6.61 \text{ menit}$$

## B. Perhitungan Waktu Standar

Perhitungan waktu baku atau standar didapatkan dengan mengalikan data waktu normal seperti pada perhitungan sebelumnya dengan faktor kelonggaran (*allowance*). Berikut ini adalah contoh perhitungan waktu standar pada elemen kerja nomor 1.

$$Ws = Wn \times (1 + allowance)$$

$$Ws = 6.61 \times (1 + 0.27)$$

$$Ws = 8.40 \text{ menit}$$

### 4.5.3 Perhitungan Waktu Siklus

#### A. Perhitungan Waktu Siklus Saat Ini

Pada lini perakitan ranjang pasien (*homecare bed*) saat ini didapatkan jumlah produksi bulan Mei 2018 sebesar 1204 unit dengan waktu kerja efektif yang tersedia (telah digunakan) selama satu bulan sebesar 156 jam atau 9360 menit untuk setiap pekerja dan rata rata waktu kerja per pekerja yang digunakan pada bulan Mei 2018 yaitu sebesar 70,801 jam atau 4248,106 menit. Waktu siklus didapatkan dengan melakukan perhitungan dengan menggunakan notasi 4.1 dibawah ini.

$$CT = \frac{p}{q} \dots\dots\dots(4.1)$$

Dengan:

$p$  = Waktu kerja yang digunakan

$q$  = Jumlah produksi dalam satu bulan

Sehingga didapatkan waktu siklus lini perakitan saat ini sebesar 12.7 menit dengan perhitungan yaitu sebagai berikut.

$$CT = \frac{p}{q}$$

$$CT = \frac{(9360 + 4248.106)}{1204}$$

$$CT = 11,3 \text{ menit}$$



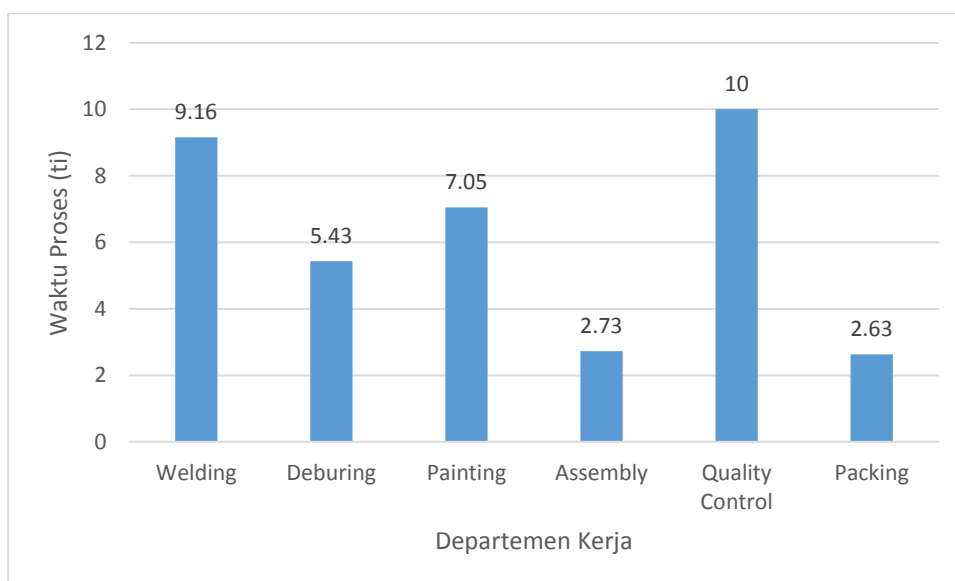
## B. Penentuan Waktu Siklus Maksimum

Penentuan waktu siklus pada lini perakitan dilakukan dengan mencari waktu elemen kerja terlama ( $t_{i_{max}}$ ) dari setiap departemen kerja dan merupakan *bottleneck* pada lini perakitan. Pada penelitian ini dapat diketahui bahwa waktu elemen kerja terlama terjadi pada elemen kerja nomor 110 yaitu *quality control* dengan waktu sebesar 9.98 menit seperti yang dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Waktu proses stasiun kerja terlama

Departemen Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses (ti)
<i>Welding</i>	Pengelasan Base Frame Assy	9.16
<i>Deburring</i>	Inspeksi Main Frame TRG 29	5.43
<i>Painting</i>	Pickling	7.05
<i>Assembly</i>	Pemasangan Main Frame	2.73
<i>Quality Control</i>	Inspeksi akhir	10.0
<i>Packing</i>	Menyiapkan kardus bagian bawah	2.63

Untuk mempermudah dalam membandingkan waktu elemen - elemen kerja terlama tersebut data disajikan dalam bentuk grafik seperti yang terlihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Waktu proses stasiun kerja terlama

Berdasarkan hasil perbandingan waktu elemen – elemen kerja terlama di atas dapat diketahui bahwa elemen kerja inspeksi akhir pada stasiun kerja *quality control* merupakan *bottleneck* pada lini perakitan ini karena memiliki waktu proses terlama yaitu sebesar 10 menit dan merupakan waktu siklus maksimum yang dapat diterapkan pada lini perakitan saat ini. Jumlah tersebut juga lebih cepat dari waktu siklus yang diterapkan saat pengamatan yaitu 11.3 menit.

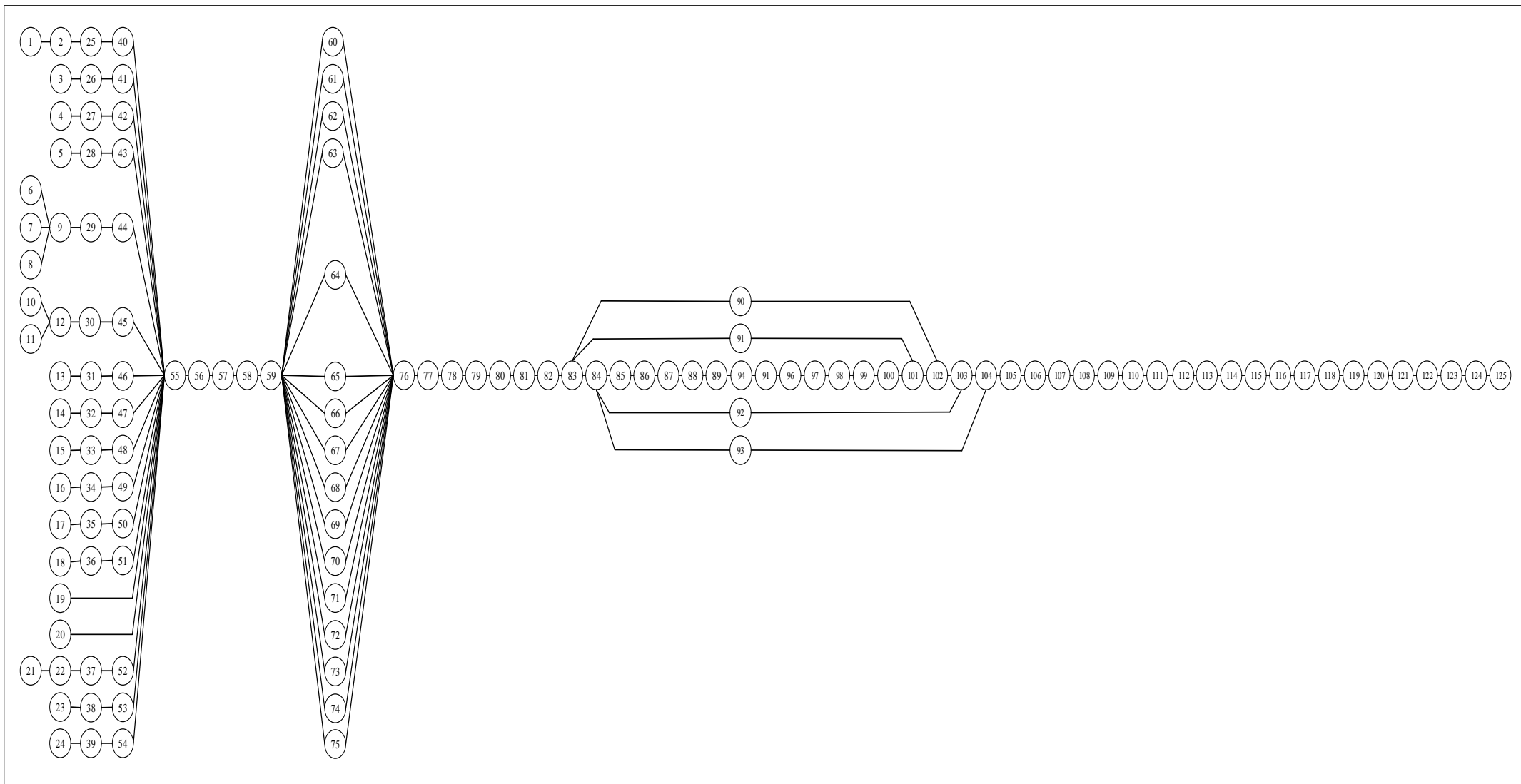
#### 4.5.4 Penyusunan *Precedence Diagram*

*Precedence diagram* diperlukan untuk mengetahui urutan proses pengerjaan elemen – elemen kerja dalam menyelesaikan proses produksi suatu produk. Pada lini perakitan ini terdapat 125 elemen kerja dikerjakan pada enam departemen kerja dimana masing – masing memiliki beberapa stasiun kerja dengan jumlah keseluruhan sebanyak 46 stasiun kerja dengan rincian pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Tabel alokasi stasiun kerja

Departemen Kerja	No. Stasiun Kerja	No. Elemen Kerja
<i>Welding</i>	A1 – A18	1 – 24
<i>Deburing</i>	B1 – B4	25 – 51
	C1 – C4	
<i>Painting</i>	D1 – D7	52 – 85
<i>Assembly</i>	E1 – E5	90 - 109
<i>Quality Control</i>	F1 – F4	110
<i>Packing</i>	G1 – G4	111 - 125

Keterkaitan aktivitas antara satu elemen kerja dengan elemen kerja lainnya dapat dilihat pada Gambar 4.8.



#### 4.5.5 Perhitungan Jumlah Minimal Stasiun Kerja

Sebelum melakukan penyeimbangan lini terlebih dahulu dilakukan perhitungan jumlah stasiun kerja yang akan dialokasikan untuk setiap departemen kerja dengan menggunakan notasi seperti pada contoh departemen kerja *welding* berikut ini.

$$\begin{aligned}
 K_{min} &= \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{CT} \\
 &= \frac{(8.40 + 9.16 + \dots + 7.38)}{10} \\
 &= 13 \text{ stasiun kerja}
 \end{aligned}$$

Untuk hasil dari perhitungan departemen kerja lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Jumlah stasiun kerja minimal

Departemen Kerja	Jumlah Stasiun Kerja Minimal
<i>Welding</i>	13
<i>Deburring</i>	5
<i>QC Deburring</i>	4
<i>Painting</i>	7
<i>Assembly</i>	3
<i>Quality Control</i>	1
<i>Packing</i>	2

#### 4.5.6 Pembentukan Model Matematik Keseimbangan Lini

Penyeimbangan lini pada penelitian ini menggunakan model matematik dalam memecahkan permasalahan *Mixed Model Assembly Line Balancing* (MMALB) untuk lini perakitan produk ranjang pasien (*homebed care*) tipe Trendgate Bed (TRG) 26 dan Trendgate Bed (TRG) 29. Penyeimbangan lini pada penelitian ini menggunakan empat kendala (*constraint*) yaitu *assignment constraint*, *precedence constraint*, *cycle time constraint*, dan *station constraint* yaitu sebagai berikut.

##### A. *Assignment Constraint*

Kendala ini akan mengalokasikan suatu elemen kerja dalam stasiun – stasiun kerja yang memungkinkan untuk melakukan penugasan elemen kerja tersebut. Sebelum

dilakukan pembuatan model matematik untuk setiap elemen kerja terlebih dahulu dilakukan perhitungan untuk stasiun - stasiun kerja awal maupun akhir yang memungkinkan untuk melakukan penugasan dari setiap elemen kerja yang ada dengan contoh perhitungan pada elemen kerja 1 (satu) yaitu sebagai berikut.

$$E_{im} = \left[ \frac{t_{im} + \sum_{j \in PR_i} t_{jm}}{C_m} \right]^+$$

$$E_{im} = \left[ \frac{8.40 + 0}{10} \right]^+$$

$$E_{im} = [0.84]^+$$

$$E_{im} = 1$$

$$L_{im} = K + 1 - \left[ \frac{t_{im} + \sum_{j \in S_i} t_{jm}}{C_m} \right]^+$$

$$L_{im} = 18 + 1 - \left[ \frac{8.40 + 94.36}{10} \right]^+$$

$$L_{im} = 18 + 1 - [10.28]^+$$

$$L_{im} = 18 + 1 - (11)$$

$$L_{im} = 8$$

Berdasarkan hasil perhitungan di atas dapat diketahui bahwa penugasan elemen kerja 1 (satu) dapat dialokasikan mulai dari stasiun kerja 1 (satu) hingga stasiun kerja 8 (delapan). Untuk hasil dari setiap elemen – elemen kerja dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Alokasi stasiun kerja terawal dan terakhir

No. Urut Elemen Kerja	Stasiun kerja awal yang dapat ditugaskan ( $E_i$ )	Stasiun kerja akhir yang dapat ditugaskan ( $L_i$ )
1	A1	A8
2	A5	A18
3	A4	A18
4	A4	A18
5	A5	A18

No. Urut Elemen Kerja	Stasiun kerja awal yang dapat ditugaskan ( $E_i$ )	Stasiun kerja akhir yang dapat ditugaskan ( $L_i$ )
6	A1	A8
7	A1	A8
8	A1	A8
9	A5	A18
10	A1	A8
11	A1	A8
12	A5	A18
13	A5	A18
14	A5	A18
15	A5	A18
16	A5	A18
17	A5	A18
18	A5	A18
19	A5	A18
20	A5	A18
21	A1	A8
22	A5	A18
23	A5	A18
24	A5	A18
25	B1	B5
26	B1	B5
27	B1	B5
28	B1	B5
29	B1	B5
30	B1	B5
31	B1	B5
32	B1	B5
33	B1	B5
34	B1	B5
35	B1	B5
36	B1	B5
37	B1	B5
38	B1	B5
39	B1	B5
40	C1	C4
41	C1	C4
42	C1	C4
43	C1	C4
44	C1	C4
45	C1	C4

No. Urut Elemen Kerja	Stasiun kerja awal yang dapat ditugaskan ( $E_i$ )	Stasiun kerja akhir yang dapat ditugaskan ( $L_i$ )
46	C1	C4
47	C1	C4
48	C1	C4
49	C1	C4
50	C1	C4
51	C1	C4
52	C1	C4
53	C1	C4
54	C1	C4
55	D1	D1
56	D1	D1
57	D2	D2
58	D3	D3
59	D4	D4
60	D5	D6
61	D5	D6
62	D5	D6
63	D5	D6
64	D5	D6
65	D5	D6
66	D5	D6
67	D5	D6
68	D5	D6
69	D5	D6
70	D5	D6
71	D5	D6
72	D5	D6
73	D5	D6
74	D5	D6
75	D5	D6
76	D7	D7
77	D7	D7
78	D7	D7
79	D7	D7
80	D7	D7
81	D7	D7
82	D7	D7
83	D7	D7
84	D7	D7
85	D7	D7

No. Urut Elemen Kerja	Stasiun kerja awal yang dapat ditugaskan ( $E_i$ )	Stasiun kerja akhir yang dapat ditugaskan ( $L_i$ )
86	D7	D7
87	D7	D7
88	D7	D7
89	D7	D7
90	E1	E1
91	E1	E1
92	E1	E1
93	E1	E1
94	E2	E3
95	E2	E3
96	E3	E4
97	E3	E4
98	E3	E4
99	E3	E4
100	E3	E4
101	E3	E4
102	E3	E4
103	E4	E5
104	E4	E5
105	E4	E5
106	E4	E5
107	E4	E5
108	E4	E5
109	E4	E5
110	F4	F4
111	G1	G3
112	G1	G3
113	G1	G3
114	G1	G3
115	G1	G3
116	G1	G3
117	G1	G4
118	G2	G4
119	G2	G4
120	G2	G4
121	G2	G4
122	G2	G4
123	G2	G4
124	G2	G4
125	G2	G4



Setelah didapatkan masing – masing stasiun kerja awal maupun akhir yang dapat ditugaskan untuk setiap elemen kerja. Maka pembentukan model matematik untuk kendala ini dapat dilakukan dengan menggunakan Persamaan 2.13 dengan contoh pada elemen kerja 1 yaitu sebagai berikut.

$$\sum_{k=E_i}^{L_i} V_{ik} = 1,$$

$$V_{1A1} + V_{1A2} + V_{1A3} + V_{1A4} + V_{1A5} + V_{1A6} + V_{1A7} + V_{1A8} = 1$$

Dari model matematik untuk elemen kerja satu pada kendala ini, variabel  $V_{1A1}$  memiliki arti bahwa penugasan elemen kerja 1 (satu) pada stasiun kerja A1. Jika variabel bernilai 1 maka elemen kerja tersebut dialokasikan pada stasiun kerja tersebut jika tidak maka akan bernilai 0 (nol) seperti yang dapat dilihat pada Persamaan 2.18. Untuk hasil keseluruhan model dari setiap elemen kerja pada kendala ini yaitu sebagai berikut.

$$V_{2A5} + V_{2A6} + V_{2A7} + V_{2A8} + V_{2A9} + V_{2A10} + V_{2A11} + V_{2A12} + V_{2A13} + V_{2A14} + V_{2A15} + V_{2A16} + V_{2A17} + V_{2A18} = 1$$

$$V_{3A4} + V_{3A5} + V_{3A6} + V_{3A7} + V_{3A8} + V_{3A9} + V_{3A10} + V_{3A11} + V_{3A12} + V_{3A13} + V_{3A14} + V_{3A15} + V_{3A16} + V_{3A17} + V_{3A18} = 1$$

$$V_{4A4} + V_{4A5} + V_{4A6} + V_{4A7} + V_{4A8} + V_{4A9} + V_{4A10} + V_{4A11} + V_{4A12} + V_{4A13} + V_{4A14} + V_{4A15} + V_{4A16} + V_{4A17} + V_{4A18} = 1$$

$$V_{5A5} + V_{5A6} + V_{5A7} + V_{5A8} + V_{5A9} + V_{5A10} + V_{5A11} + V_{5A12} + V_{5A13} + V_{5A14} + V_{5A15} + V_{5A16} + V_{5A17} + V_{5A18} = 1$$

$$V_{6A1} + V_{6A2} + V_{6A3} + V_{6A4} + V_{6A5} + V_{6A6} + V_{6A7} + V_{6A8} = 1$$

$$V_{7A1} + V_{7A2} + V_{7A3} + V_{7A4} + V_{7A5} + V_{7A6} + V_{7A7} + V_{7A8} = 1$$

$$V_{8A1} + V_{8A2} + V_{8A3} + V_{8A4} + V_{8A5} + V_{8A6} + V_{8A7} + V_{8A8} = 1$$

$$V_{9A5} + V_{9A6} + V_{9A7} + V_{9A8} + V_{9A9} + V_{9A10} + V_{9A11} + V_{9A12} + V_{9A13} + V_{9A14} + V_{9A15} + V_{9A16} + V_{9A17} + V_{9A18} = 1$$

$$V_{10A1} + V_{10A2} + V_{10A3} + V_{10A4} + V_{10A5} + V_{10A6} + V_{10A7} + V_{10A8} = 1$$

$$V_{11A1} + V_{11A2} + V_{11A3} + V_{11A4} + V_{11A5} + V_{11A6} + V_{11A7} + V_{11A8} = 1$$

$$V_{12A5} + V_{12A6} + V_{12A7} + V_{12A8} + V_{12A9} + V_{12A10} + V_{12A11} + V_{12A12} + V_{12A13} + V_{12A14} + V_{12A15} + V_{12A16} + V_{12A17} + V_{12A18} = 1$$

$$V_{13A5} + V_{13A6} + V_{13A7} + V_{13A8} + V_{13A9} + V_{13A10} + V_{13A11} + V_{13A12} + V_{13A13} + V_{13A14} + V_{13A15} + V_{13A16} + V_{13A17} + V_{13A18} = 1$$

$$V_{14A5} + V_{14A6} + V_{14A7} + V_{14A8} + V_{14A9} + V_{14A10} + V_{14A11} + V_{14A12} + V_{14A13} + V_{14A14} + V_{14A15} + V_{14A16} + V_{14A17} + V_{14A18} = 1$$

$$V_{15A5} + V_{15A6} + V_{15A7} + V_{15A8} + V_{15A9} + V_{15A10} + V_{15A11} + V_{15A12} + V_{15A13} + V_{15A14} + V_{15A15} + V_{15A16} + V_{15A17} + V_{15A18} = 1$$

$$V_{16A5} + V_{16A6} + V_{16A7} + V_{16A8} + V_{16A9} + V_{16A10} + V_{16A11} + V_{16A12} + V_{16A13} + V_{16A14} + V_{16A15} + V_{16A16} + V_{16A17} + V_{16A18} = 1$$

$$V_{17A5} + V_{17A6} + V_{17A7} + V_{17A8} + V_{17A9} + V_{17A10} + V_{17A11} + V_{17A12} + V_{17A13} + V_{17A14} + V_{17A15} + V_{17A16} + V_{17A17} + V_{17A18} = 1$$

$$V_{18A5} + V_{18A6} + V_{18A7} + V_{18A8} + V_{18A9} + V_{18A10} + V_{18A11} + V_{18A12} + V_{18A13} + V_{18A14} + V_{18A15} + V_{18A16} + V_{18A17} + V_{18A18} = 1$$

$$V_{19A5} + V_{19A6} + V_{19A7} + V_{19A8} + V_{19A9} + V_{19A10} + V_{19A11} + V_{19A12} + V_{19A13} + V_{19A14} + V_{19A15} + V_{19A16} + V_{19A17} + V_{19A18} = 1$$

$$V_{20A5} + V_{20A6} + V_{20A7} + V_{20A8} + V_{20A9} + V_{20A10} + V_{20A11} + V_{20A12} + V_{20A13} + V_{20A14} + V_{20A15} + V_{20A16} + V_{20A17} + V_{20A18} = 1$$

$$V_{21A1} + V_{21A2} + V_{21A3} + V_{21A4} + V_{21A5} + V_{21A6} + V_{21A7} + V_{21A8} = 1$$

$$V_{22A5} + V_{22A6} + V_{22A7} + V_{22A8} + V_{22A9} + V_{22A10} + V_{22A11} + V_{22A12} + V_{22A13} + V_{22A14} + V_{22A15} + V_{22A16} + V_{22A17} + V_{22A18} = 1$$

$$V_{23A5} + V_{23A6} + V_{23A7} + V_{23A8} + V_{23A9} + V_{23A10} + V_{23A11} + V_{23A12} + V_{23A13} + V_{23A14} + V_{23A15} + V_{23A16} + V_{23A17} + V_{23A18} = 1$$

$$V_{24A5} + V_{24A6} + V_{24A7} + V_{24A8} + V_{24A9} + V_{24A10} + V_{24A11} + V_{24A12} + V_{24A13} + V_{24A14} + V_{24A15} + V_{24A16} + V_{24A17} + V_{24A18} = 1$$

$$V_{25B1} + V_{25B2} + V_{25B3} + V_{25B4} + V_{25B5} = 1$$

$$V_{26B1} + V_{26B2} + V_{26B3} + V_{26B4} + V_{26B5} = 1$$

$$V_{27B1} + V_{27B2} + V_{27B3} + V_{27B4} + V_{27B5} = 1$$

$$V_{28B1} + V_{28B2} + V_{28B3} + V_{28B4} + V_{28B5} = 1$$

$$V_{29B1} + V_{29B2} + V_{29B3} + V_{29B4} + V_{29B5} = 1$$

$$V_{30B1} + V_{30B2} + V_{30B3} + V_{30B4} + V_{30B5} = 1$$

$$V_{31B1} + V_{31B2} + V_{31B3} + V_{31B4} + V_{31B5} = 1$$

$$V_{32B1} + V_{32B2} + V_{32B3} + V_{32B4} + V_{32B5} = 1$$

$$V_{33B1} + V_{33B2} + V_{33B3} + V_{33B4} + V_{33B5} = 1$$

$$V_{34B1} + V_{34B2} + V_{34B3} + V_{34B4} + V_{34B5} = 1$$

$$V_{35B1} + V_{35B2} + V_{35B3} + V_{35B4} + V_{35B5} = 1$$

$$V_{36B1} + V_{36B2} + V_{36B3} + V_{36B4} + V_{36B5} = 1$$

$$V_{37B1} + V_{37B2} + V_{37B3} + V_{37B4} + V_{37B5} = 1$$

$$V_{38B1} + V_{38B2} + V_{38B3} + V_{38B4} + V_{38B5} = 1$$

$$V_{39B1} + V_{39B2} + V_{39B3} + V_{39B4} + V_{39B5} = 1$$

$$V_{40C1} + V_{40C2} + V_{40C3} + V_{40C4} = 1$$

$$V_{41C1} + V_{41C2} + V_{41C3} + V_{41C4} = 1$$

$$V_{42C1} + V_{42C2} + V_{42C3} + V_{42C4} = 1$$

$$V_{43C1} + V_{43C2} + V_{43C3} + V_{43C4} = 1$$

$$V_{44C1} + V_{44C2} + V_{44C3} + V_{44C4} = 1$$

$$V_{45C1} + V_{45C2} + V_{45C3} + V_{45C4} = 1$$

$$V_{46C1} + V_{46C2} + V_{46C3} + V_{46C4} = 1$$

$$V_{47C1} + V_{47C2} + V_{47C3} + V_{47C4} = 1$$

$$V_{48C1} + V_{48C2} + V_{48C3} + V_{48C4} = 1$$

$$V_{49C1} + V_{49C2} + V_{49C3} + V_{49C4} = 1$$

$$V_{50C1} + V_{50C2} + V_{50C3} + V_{50C4} = 1$$

$$V_{51C1} + V_{51C2} + V_{51C3} + V_{51C4} = 1$$

$$V_{52C1} + V_{52C2} + V_{52C3} + V_{52C4} = 1$$

$$V_{53C1} + V_{53C2} + V_{53C3} + V_{53C4} = 1$$

$$V_{54C1} + V_{54C2} + V_{54C3} + V_{54C4} = 1$$

$$V_{55D1} = 1$$

$$V_{56D1} = 1$$

$$V_{57D2} = 1$$

$$V_{58D3} = 1$$

$$V_{59D4} = 1$$

$$V_{60D5} + V_{60D6} = 1$$

$$V_{61D5} + V_{61D6} = 1$$

$$V_{62D5} + V_{62D6} = 1$$

$$V_{63D5} + V_{63D6} = 1$$

$$V_{64D5} + V_{64D6} = 1$$

$$V_{65D5} + V_{65D6} = 1$$

$$V_{66D5} + V_{66D6} = 1$$

$$V_{67D5} + V_{67D6} = 1$$

$$V_{68D5} + V_{68D6} = 1$$

$$V_{69D5} + V_{69D6} = 1$$

$$V_{70D5} + V_{70D6} = 1$$

$$V_{71D5} + V_{71D6} = 1$$

$$V_{72D5} + V_{72D6} = 1$$

$$V_{73D5} + V_{73D6} = 1$$

$$V_{74D5} + V_{74D6} = 1$$

$$V_{75D5} + V_{75D6} = 1$$

$$V_{76D7} = 1$$

$$V_{77D7} = 1$$

$$V_{78D7} = 1$$

$$V_{79D7} = 1$$

$$V_{80D7} = 1$$

$$V_{81D7} = 1$$

$$V_{82D7} = 1$$

$$V_{83D7} = 1$$

$$V_{84D7} = 1$$

$$V_{85D7} = 1$$

$$V_{86D7} = 1$$

$$V_{87D7} = 1$$

$$V_{88D7} = 1$$

$$V_{89D7} = 1$$

$$V_{90E1} = 1$$

$$V_{91E1} = 1$$

$$V_{92E1} = 1$$

$$V_{93E1} = 1$$

$$V_{94E2} + V_{94E3} = 1$$

$$V_{95E2} + V_{95E3} = 1$$

$$V_{96E3} + V_{96E4} = 1$$

$$V_{97E3} + V_{97E4} = 1$$

$$V_{98E3} + V_{98E4} = 1$$

$$V_{99E3} + V_{99E4} = 1$$

$$V_{100E3} + V_{100E4} = 1$$

$$\begin{aligned}
V_{101E3} + V_{101E4} &= 1 \\
V_{102E3} + V_{102E4} &= 1 \\
V_{103E4} + V_{103E5} &= 1 \\
V_{104E4} + V_{104E5} &= 1 \\
V_{105E4} + V_{105E5} &= 1 \\
V_{106E4} + V_{106E5} &= 1 \\
V_{107E4} + V_{107E5} &= 1 \\
V_{108E4} + V_{108E5} &= 1 \\
V_{109E4} + V_{109E5} &= 1 \\
V_{110F1} + V_{110F2} + V_{110F3} + V_{110F4} &= 1 \\
V_{111G1} + V_{111G2} + V_{111G3} &= 1 \\
V_{112G1} + V_{112G2} + V_{112G3} &= 1 \\
V_{113G1} + V_{113G2} + V_{113G3} &= 1 \\
V_{114G1} + V_{114G2} + V_{114G3} &= 1 \\
V_{115G1} + V_{115G2} + V_{115G3} &= 1 \\
V_{116G1} + V_{116G2} + V_{116G3} &= 1 \\
V_{117G1} + V_{117G2} + V_{117G3} + V_{117G4} &= 1 \\
V_{118G2} + V_{118G3} + V_{118G4} &= 1 \\
V_{119G2} + V_{119G3} + V_{119G4} &= 1 \\
V_{120G2} + V_{120G3} + V_{120G4} &= 1 \\
V_{121G2} + V_{121G3} + V_{121G4} &= 1 \\
V_{122G2} + V_{122G3} + V_{122G4} &= 1 \\
V_{123G2} + V_{123G3} + V_{123G4} &= 1 \\
V_{124G2} + V_{124G3} + V_{124G4} &= 1 \\
V_{125G2} + V_{125G3} + V_{125G4} &= 1
\end{aligned}$$

### B. *Precedence Constraint*

Kendala ini membentuk model matematik untuk menjaga keterkaitan antara satu elemen kerja pendahulu dengan elemen kerja selanjutnya sesuai dengan departemen kerjanya masing - masing sehingga dapat sesuai dengan urutan pengerjaannya. Contoh pembentukan model matematik pada kendala ini untuk elemen kerja 1 (satu) dengan menggunakan notasi 2.14 yaitu sebagai berikut.

$$\sum_{k=E_a}^{L_a} k \cdot V_{ak} - \sum_{k=E_b}^{L_b} k \cdot V_{bk} \leq 0$$

$$1V_{1A1} + 2V_{1A2} + 3V_{1A3} + 4V_{1A4} + 5V_{1A5} + 6V_{1A6} + 7V_{1A7} + 8V_{1A8} - 5V_{2A5} - 6V_{2A6} - 7V_{2A7} - 8V_{2A8} - 9V_{2A9} - 10V_{2A10} - 11V_{2A11} - 12V_{2A12} - 13V_{2A13} - 14V_{2A14} - 15V_{2A15} - 16V_{2A16} - 17V_{2A17} - 18V_{2A18} \leq 0$$

Pada model matematik di atas dapat diketahui bahwa elemen kerja 1 merupakan elemen kerja pendahulu dari elemen kerja 2 (dua). Untuk hasil pembentukan model matematik untuk elemen kerja lainnya pada kendala ini yaitu sebagai berikut.

$$1V_{6A1} + 2V_{6A2} + 3V_{6A3} + 4V_{6A4} + 5V_{6A5} + 6V_{6A6} + 7V_{6A7} + 8V_{6A8} - 5V_{9A5} - 6V_{9A6} - 7V_{9A7} - 8V_{9A8} - 9V_{9A9} - 10V_{9A10} - 11V_{9A11} - 12V_{9A12} - 13V_{9A13} - 14V_{9A14} - 15V_{9A15} - 16V_{9A16} - 17V_{9A17} - 18V_{9A18} \leq 0$$

$$1V_{7A1} + 2V_{7A2} + 3V_{7A3} + 4V_{7A4} + 5V_{7A5} + 6V_{7A6} + 7V_{7A7} + 8V_{7A8} - 5V_{9A5} - 6V_{9A6} - 7V_{9A7} - 8V_{9A8} - 9V_{9A9} - 10V_{9A10} - 11V_{9A11} - 12V_{9A12} - 13V_{9A13} - 14V_{9A14} - 15V_{9A15} - 16V_{9A16} - 17V_{9A17} - 18V_{9A18} \leq 0$$

$$1V_{8A1} + 2V_{8A2} + 3V_{8A3} + 4V_{8A4} + 5V_{8A5} + 6V_{8A6} + 7V_{8A7} + 8V_{8A8} - 5V_{9A5} - 6V_{9A6} - 7V_{9A7} - 8V_{9A8} - 9V_{9A9} - 10V_{9A10} - 11V_{9A11} - 12V_{9A12} - 13V_{9A13} - 14V_{9A14} - 15V_{9A15} - 16V_{9A16} - 17V_{9A17} - 18V_{9A18} \leq 0$$

$$1V_{10A1} + 2V_{10A2} + 3V_{10A3} + 4V_{10A4} + 5V_{10A5} + 6V_{10A6} + 7V_{10A7} + 8V_{10A8} - 5V_{12A5} - 6V_{12A6} - 7V_{12A7} - 8V_{12A8} - 9V_{12A9} - 10V_{12A10} - 11V_{12A11} - 12V_{12A12} - 13V_{12A13} - 14V_{12A14} - 15V_{12A15} - 16V_{12A16} - 17V_{12A17} - 18V_{12A18} \leq 0$$

$$1V_{11A1} + 2V_{11A2} + 3V_{11A3} + 4V_{11A4} + 5V_{11A5} + 6V_{11A6} + 7V_{11A7} + 8V_{11A8} - 5V_{12A5} - 6V_{12A6} - 7V_{12A7} - 8V_{12A8} - 9V_{12A9} - 10V_{12A10} - 11V_{12A11} - 12V_{12A12} - 13V_{12A13} - 14V_{12A14} - 15V_{12A15} - 16V_{12A16} - 17V_{12A17} - 18V_{12A18} \leq 0$$

$$1V_{21A1} + 2V_{21A2} + 3V_{21A3} + 4V_{21A4} + 5V_{21A5} + 6V_{21A6} + 7V_{21A7} + 8V_{21A8} - 5V_{22A5} - 6V_{22A6} - 7V_{22A7} - 8V_{22A8} - 9V_{22A9} - 10V_{22A10} - 11V_{22A11} - 12V_{22A12} - 13V_{22A13} - 14V_{22A14} - 15V_{22A15} - 16V_{22A16} - 17V_{22A17} - 18V_{22A18} \leq 0$$

$$2V_{94E2} + 3V_{94E3} - 2V_{95E2} - 3V_{95E3} \leq 0$$

$$2V_{95E2} + 3V_{95E3} - 3V_{96E3} - 4V_{96E4} \leq 0$$

$$3V_{96E3} + 4V_{96E4} - 3V_{97E3} - 3V_{97E4} \leq 0$$

$$3V_{97E3} + 4V_{97E4} - 3V_{98E3} - 3V_{98E4} \leq 0$$

$$\begin{aligned}
&3V_{98E3} + 4V_{98E4} - 3V_{99E3} - 3V_{99E4} \leq 0 \\
&3V_{99E3} + 4V_{99E4} - 3V_{100E3} - 3V_{100E4} \leq 0 \\
&3V_{100E3} + 4V_{100E4} - 3V_{101E3} - 3V_{101E4} \leq 0 \\
&3V_{101E3} + 4V_{101E4} - 3V_{102E3} - 3V_{102E4} \leq 0 \\
&3V_{102E3} + 4V_{102E4} - 4V_{103E4} - 5V_{103E5} \leq 0 \\
&4V_{103E4} + 5V_{103E5} - 4V_{104E4} - 5V_{104E5} \leq 0 \\
&4V_{104E4} + 5V_{104E5} - 4V_{105E4} - 5V_{105E5} \leq 0 \\
&4V_{105E4} + 5V_{105E5} - 4V_{106E4} - 5V_{106E5} \leq 0 \\
&4V_{106E4} + 5V_{106E5} - 4V_{107E4} - 5V_{107E5} \leq 0 \\
&4V_{107E4} + 5V_{107E5} - 4V_{108E4} - 5V_{108E5} \leq 0 \\
&4V_{108E4} + 5V_{108E5} - 4V_{109E4} - 5V_{109E5} \leq 0 \\
&1V_{111G1} + 2V_{111G2} + 3V_{111G3} - 1V_{112G1} - 2V_{112G2} - 3V_{112G3} \leq 0 \\
&1V_{112G1} + 2V_{112G2} + 3V_{112G3} - 1V_{113G1} - 2V_{113G2} - 3V_{113G3} \leq 0 \\
&1V_{113G1} + 2V_{113G2} + 3V_{113G3} - 1V_{114G1} - 2V_{114G2} - 3V_{114G3} \leq 0 \\
&1V_{114G1} + 2V_{114G2} + 3V_{114G3} - 1V_{115G1} - 2V_{115G2} - 3V_{115G3} \leq 0 \\
&1V_{115G1} + 2V_{115G2} + 3V_{115G3} - 1V_{116G1} - 2V_{116G2} - 3V_{116G3} \leq 0 \\
&1V_{116G1} + 2V_{116G2} + 3V_{116G3} - 1V_{117G1} - 2V_{117G2} - 3V_{117G3} - 4V_{117G4} \leq 0 \\
&1V_{117G1} + 2V_{117G2} + 3V_{117G3} + 4V_{117G4} - 2V_{118G2} - 3V_{118G3} - 4V_{118G4} \leq 0 \\
&2V_{118G2} + 3V_{118G3} + 4V_{118G4} - 2V_{119G2} - 3V_{119G3} - 4V_{119G4} \leq 0 \\
&2V_{119G2} + 3V_{119G3} + 4V_{119G4} - 2V_{120G2} - 3V_{120G3} - 4V_{120G4} \leq 0 \\
&2V_{120G2} + 3V_{120G3} + 4V_{120G4} - 2V_{121G2} - 3V_{121G3} - 4V_{121G4} \leq 0 \\
&2V_{121G2} + 3V_{121G3} + 4V_{121G4} - 2V_{122G2} - 3V_{122G3} - 4V_{122G4} \leq 0 \\
&2V_{122G2} + 3V_{122G3} + 4V_{122G4} - 2V_{123G2} - 3V_{123G3} - 4V_{123G4} \leq 0 \\
&2V_{123G2} + 3V_{123G3} + 4V_{123G4} - 2V_{124G2} - 3V_{124G3} - 4V_{124G4} \leq 0 \\
&2V_{124G2} + 3V_{124G3} + 4V_{124G4} - 2V_{125G2} - 3V_{125G3} - 4V_{125G4} \leq 0
\end{aligned}$$

### C. Cycle time Constraint

Kendala ini merupakan kendala yang paling umum digunakan dalam penyeimbangan lini perakitan. Kendala ini memastikan bahwa suatu stasiun kerja tidak melewati waktu siklus yang telah ditentukan dalam penugasan elemen – elemen kerja yang akan dilakukan pada setiap modelnya (tipe produk). Contoh pembentukan model matematik pada kendala ini untuk stasiun kerja A1 pada model 1 (TRG 29) dengan menggunakan notasi 2.15 yaitu sebagai berikut.

$$\sum_{i \in W_{km}} t_{im} \cdot V_{ik} \leq C_m,$$

$$8.4V_{1A1} + 4.12V_{10A1} + 4.17V_{11A1} + 4.3V_{21A1} \leq C$$

Untuk hasil pembentukan model matematik untuk model I (TRG 29) pada kendala ini yaitu sebagai berikut.

$$8.4V_{1A2} + 4.12V_{10A2} + 4.17V_{11A2} + 4.3V_{21A2} \leq C$$

$$8.4V_{1A3} + 4.12V_{10A3} + 4.17V_{11A3} + 4.3V_{21A3} \leq C$$

$$8.4V_{1A4} + 3.47V_{3A4} + 3.09V_{4A4} + 4.12V_{10A4} + 4.17V_{11A4} + 4.3V_{21A4} \leq C$$

$$8.4V_{1A5} + 9.16V_{2A5} + 3.47V_{3A5} + 3.09V_{4A5} + 6.75V_{5A5} + 4.12V_{10A5} + 4.17V_{11A5} + 8.38V_{12A5} + 4.14V_{13A5} + 3.32V_{14A5} + 7.81V_{15A5} + 4.7V_{16A5} + 4.75V_{17A5} + 5.16V_{18A5} + 4.34V_{19A5} + 5.08V_{20A5} + 4.3V_{21A5} + 5.76V_{22A5} + 5.06V_{23A5} + 5.32V_{24A5} \leq C$$

$$8.4V_{1A6} + 9.16V_{2A6} + 3.47V_{3A6} + 3.09V_{4A6} + 6.75V_{5A6} + 4.12V_{10A6} + 4.17V_{11A6} + 8.38V_{12A6} + 4.14V_{13A6} + 3.32V_{14A6} + 7.81V_{15A6} + 4.7V_{16A6} + 4.75V_{17A6} + 5.16V_{18A6} + 4.34V_{19A6} + 5.08V_{20A6} + 4.3V_{21A6} + 5.76V_{22A6} + 5.06V_{23A6} + 5.32V_{24A6} \leq C$$

$$8.4V_{1A7} + 9.16V_{2A7} + 3.47V_{3A7} + 3.09V_{4A7} + 6.75V_{5A7} + 4.12V_{10A7} + 4.17V_{11A7} + 8.38V_{12A7} + 4.14V_{13A7} + 3.32V_{14A7} + 7.81V_{15A7} + 4.7V_{16A7} + 4.75V_{17A7} + 5.16V_{18A7} + 4.34V_{19A7} + 5.08V_{20A7} + 4.3V_{21A7} + 5.76V_{22A7} + 5.06V_{23A7} + 5.32V_{24A7} \leq C$$

$$8.4V_{1A8} + 9.16V_{2A8} + 3.47V_{3A8} + 3.09V_{4A8} + 6.75V_{5A8} + 4.12V_{10A8} + 4.17V_{11A8} + 8.38V_{12A8} + 4.14V_{13A8} + 3.32V_{14A8} + 7.81V_{15A8} + 4.7V_{16A8} + 4.75V_{17A8} + 5.16V_{18A8} + 4.34V_{19A8} + 5.08V_{20A8} + 4.3V_{21A8} + 5.76V_{22A8} + 5.06V_{23A8} + 5.32V_{24A8} \leq C$$

$$9.16V_{2A9} + 3.47V_{3A9} + 3.09V_{4A9} + 6.75V_{5A9} + 8.38V_{12A9} + 4.14V_{13A9} + 3.32V_{14A9} + 7.81V_{15A9} + 4.7V_{16A9} + 4.75V_{17A9} + 5.16V_{18A9} + 4.34V_{19A9} + 5.08V_{20A9} + 5.76V_{22A9} + 5.06V_{23A9} + 5.32V_{24A9} \leq C$$

$$9.16V_{2A10} + 3.47V_{3A10} + 3.09V_{4A10} + 6.75V_{5A10} + 8.38V_{12A10} + 4.14V_{13A10} + 3.32V_{14A10} + 7.81V_{15A10} + 4.7V_{16A10} + 4.75V_{17A10} + 5.16V_{18A10} + 4.34V_{19A10} + 5.08V_{20A10} + 5.76V_{22A10} + 5.06V_{23A10} + 5.32V_{24A10} \leq C$$

$$9.16V_{2A11} + 3.47V_{3A11} + 3.09V_{4A11} + 6.75V_{5A11} + 8.38V_{12A11} + 4.14V_{13A11} + 3.32V_{14A11} + 7.81V_{15A11} + 4.7V_{16A11} + 4.75V_{17A11} + 5.16V_{18A11} + 4.34V_{19A11} + 5.08V_{20A11} + 5.76V_{22A11} + 5.06V_{23A11} + 5.32V_{24A11} \leq C$$



$$9.16V_{2A12} + 3.47V_{3A12} + 3.09V_{4A12} + 6.75V_{5A12} + 8.38V_{12A12} + 4.14V_{13A12} + 3.32V_{14A12} + 7.81V_{15A12} + 4.7V_{16A12} + 4.75V_{17A12} + 5.16V_{18A12} + 4.34V_{19A12} + 5.08V_{20A12} + 5.76V_{22A12} + 5.06V_{23A12} + 5.32V_{24A12} \leq C$$

$$9.16V_{2A13} + 3.47V_{3A13} + 3.09V_{4A13} + 6.75V_{5A13} + 8.38V_{12A13} + 4.14V_{13A13} + 3.32V_{14A13} + 7.81V_{15A13} + 4.7V_{16A13} + 4.75V_{17A13} + 5.16V_{18A13} + 4.34V_{19A13} + 5.08V_{20A13} + 5.76V_{22A13} + 5.06V_{23A13} + 5.32V_{24A13} \leq C$$

$$9.16V_{2A14} + 3.47V_{3A14} + 3.09V_{4A14} + 6.75V_{5A14} + 8.38V_{12A14} + 4.14V_{13A14} + 3.32V_{14A14} + 7.81V_{15A14} + 4.7V_{16A14} + 4.75V_{17A14} + 5.16V_{18A14} + 4.34V_{19A14} + 5.08V_{20A14} + 5.76V_{22A14} + 5.06V_{23A14} + 5.32V_{24A14} \leq C$$

$$9.16V_{2A15} + 3.47V_{3A15} + 3.09V_{4A15} + 6.75V_{5A15} + 8.38V_{12A15} + 4.14V_{13A15} + 3.32V_{14A15} + 7.81V_{15A15} + 4.7V_{16A15} + 4.75V_{17A15} + 5.16V_{18A15} + 4.34V_{19A15} + 5.08V_{20A15} + 5.76V_{22A15} + 5.06V_{23A15} + 5.32V_{24A15} \leq C$$

$$9.16V_{2A16} + 3.47V_{3A16} + 3.09V_{4A16} + 6.75V_{5A16} + 8.38V_{12A16} + 4.14V_{13A16} + 3.32V_{14A16} + 7.81V_{15A16} + 4.7V_{16A16} + 4.75V_{17A16} + 5.16V_{18A16} + 4.34V_{19A16} + 5.08V_{20A16} + 5.76V_{22A16} + 5.06V_{23A16} + 5.32V_{24A16} \leq C$$

$$9.16V_{2A17} + 3.47V_{3A17} + 3.09V_{4A17} + 6.75V_{5A17} + 8.38V_{12A17} + 4.14V_{13A17} + 3.32V_{14A17} + 7.81V_{15A17} + 4.7V_{16A17} + 4.75V_{17A17} + 5.16V_{18A17} + 4.34V_{19A17} + 5.08V_{20A17} + 5.76V_{22A17} + 5.06V_{23A17} + 5.32V_{24A17} \leq C$$

$$9.16V_{2A18} + 3.47V_{3A18} + 3.09V_{4A18} + 6.75V_{5A18} + 8.38V_{12A18} + 4.14V_{13A18} + 3.32V_{14A18} + 7.81V_{15A18} + 4.7V_{16A18} + 4.75V_{17A18} + 5.16V_{18A18} + 4.34V_{19A18} + 5.08V_{20A18} + 5.76V_{22A18} + 5.06V_{23A18} + 5.32V_{24A18} \leq C$$

$$4.66V_{25B1} + 2.31V_{26B1} + 2.28V_{27B1} + 4.48V_{28B1} + 4.22V_{30B1} + 3.02V_{31B1} + 2.96V_{32B1} + 3.31V_{33B1} + 2.12V_{34B1} + 2.21V_{35B1} + 3.6V_{36B1} + 3.68V_{37B1} + 3.63V_{38B1} + 3.66V_{39B1} \leq C$$

$$4.66V_{25B2} + 2.31V_{26B2} + 2.28V_{27B2} + 4.48V_{28B2} + 4.22V_{30B2} + 3.02V_{31B2} + 2.96V_{32B2} + 3.31V_{33B2} + 2.12V_{34B2} + 2.21V_{35B2} + 3.6V_{36B2} + 3.68V_{37B2} + 3.63V_{38B2} + 3.66V_{39B2} \leq C$$

$$4.66V_{25B3} + 2.31V_{26B3} + 2.28V_{27B3} + 4.48V_{28B3} + 4.22V_{30B3} + 3.02V_{31B3} + 2.96V_{32B3} + 3.31V_{33B3} + 2.12V_{34B3} + 2.21V_{35B3} + 3.6V_{36B3} + 3.68V_{37B3} + 3.63V_{38B3} + 3.66V_{39B3} \leq C$$

$$4.66V_{25B4} + 2.31V_{26B4} + 2.28V_{27B4} + 4.48V_{28B4} + 4.22V_{30B4} + 3.02V_{31B4} + 2.96V_{32B4} + 3.31V_{33B4} + 2.12V_{34B4} + 2.21V_{35B4} + 3.6V_{36B4} + 3.68V_{37B4} + 3.63V_{38B4} + 3.66V_{39B4} \leq C$$

$$4.66V_{25B5} + 2.31V_{26B5} + 2.28V_{27B5} + 4.48V_{28B5} + 4.22V_{30B5} + 3.02V_{31B5} + 2.96V_{32B5} + 3.31V_{33B5} + 2.12V_{34B5} + 2.21V_{35B5} + 3.6V_{36B5} + 3.68V_{37B5} + 3.63V_{38B5} + 3.66V_{39B5} \leq C$$

$$5.22V_{40C1} + 1.09V_{41C1} + 1.19V_{42C1} + 0.94V_{43C1} + 5.43V_{45C1} + 0.95V_{46C1} + 0.95V_{47C1} + 1.48V_{48C1} + 1.17V_{49C1} + 1.37V_{50C1} + 1.47V_{51C1} + 3.04V_{52C1} + 4.62V_{53C1} + 4.32V_{54C1} \leq C$$

$$\begin{aligned}
& 5.22V_{40C2} + 1.09V_{41C2} + 1.19V_{42C2} + 0.94V_{43C2} + 5.43V_{45C2} + 0.95V_{46C2} + 0.95V_{47C2} + \\
& 1.48V_{48C2} + 1.17V_{49C2} + 1.37V_{50C2} + 1.47V_{51C2} + 3.04V_{52C2} + 4.62V_{53C2} + 4.32V_{54C2} \leq C \\
& 5.22V_{40C3} + 1.09V_{41C3} + 1.19V_{42C3} + 0.94V_{43C3} + 5.43V_{45C3} + 0.95V_{46C3} + 0.95V_{47C3} + \\
& 1.48V_{48C3} + 1.17V_{49C3} + 1.37V_{50C3} + 1.47V_{51C3} + 3.04V_{52C3} + 4.62V_{53C3} + 4.32V_{54C3} \leq C \\
& 5.22V_{40C4} + 1.09V_{41C4} + 1.19V_{42C4} + 0.94V_{43C4} + 5.43V_{45C4} + 0.95V_{46C4} + 0.95V_{47C4} + \\
& 1.48V_{48C4} + 1.17V_{49C4} + 1.37V_{50C4} + 1.47V_{51C4} + 3.04V_{52C4} + 4.62V_{53C4} + 4.32V_{54C4} \leq C \\
& 1.83V_{55D1} + 7.05V_{56D1} \leq C \\
& 5.36V_{57D2} \leq C \\
& 5.26V_{58D3} \leq C \\
& 2.26V_{59D4} \leq C \\
& 1.4V_{60D5} + 0.95V_{61D5} + 0.95V_{62D5} + 1.22V_{6D53} + 2.86V_{64D5} + 0.83V_{65D5} + 0.19V_{66D5} + \\
& 0.18V_{67D5} + 0.43V_{68D5} + 0.43V_{69D5} + 0.28V_{70D5} + 0.10V_{71D5} + 0.29V_{72D5} + 1.91V_{7D53} + \\
& 1.91V_{74D5} + 1.84V_{75D5} \leq C \\
& 1.4V_{60D6} + 0.95V_{61D6} + 0.95V_{62D6} + 1.22V_{6D63} + 2.86V_{64D6} + 0.83V_{65D6} + 0.19V_{66D6} + \\
& 0.18V_{67D6} + 0.43V_{68D6} + 0.43V_{69D6} + 0.28V_{70D6} + 0.10V_{71D6} + 0.29V_{72D6} + 1.91V_{7D63} + \\
& 1.91V_{74D6} + 1.84V_{75D6} \leq C \\
& 0.69V_{76D7} + 0.66V_{77D7} + 0.68V_{78D7} + 0.68V_{79D7} + 0.68V_{80D7} + 0.67V_{81D7} + 0.68V_{82D7} + \\
& 0.68V_{83D7} + 0.67V_{84D7} + 0.67V_{85D7} + 0.66V_{86D7} + 0.68V_{87D7} + 0.69V_{88D7} + 0.66V_{89D7} \leq C \\
& 1.49V_{90E1} + 0.92V_{91E1} + 0.87V_{92E1} + 1V_{93E1} \leq C \\
& 2.25V_{94E2} + 1.54V_{95E2} \leq C \\
& 2.25V_{94E3} + 1.54V_{95E3} + 2.03V_{96E3} + 1.22V_{97E3} + 2.73V_{98E3} + 1.06V_{99E3} + 0.92V_{100E3} + \\
& 1.14V_{101E3} + 1.77V_{102E3} \leq C \\
& 2.03V_{96E4} + 1.22V_{97E4} + 2.73V_{98E4} + 1.06V_{99E4} + 0.92V_{100E4} + 1.14V_{101E4} + 1.77V_{102E4} + \\
& 1.14V_{103E4} + 1.18V_{104E4} + 1.61V_{105E4} + 2.04V_{106E4} + 1.01V_{107E4} + 0.91V_{108E4} + 1.13V_{109E4} \\
& \leq C \\
& 1.14V_{103E5} + 1.18V_{103E5} + 1.61V_{105E5} + 2.04V_{106E5} + 1.01V_{107E5} + 0.91V_{108E5} + 1.13V_{109E5} \\
& \leq C \\
& 10V_{110F1} \leq C \\
& 10V_{110F2} \leq C \\
& 10V_{110F3} \leq C \\
& 10V_{110F4} \leq C \\
& 2.63V_{111G1} + 1.35V_{112G1} + 0.77V_{113G1} + 0.59V_{11G14} + 0.96V_{115G1} + 2.55V_{116G1} + \\
& 0.71V_{117G1} \leq C
\end{aligned}$$

$$2.63V_{111G2} + 1.35V_{112G2} + 0.77V_{113G2} + 0.59V_{114G2} + 0.96V_{115G2} + 2.55V_{116G2} + 0.71V_{117G2} + 0.72V_{118G2} + 0.73V_{119G2} + 1.60V_{120G2} + 0.72V_{121G2} + 0.53V_{122G2} + 1.07V_{123G2} + 1.4V_{124G2} + 1.44V_{125G2} \leq C$$

$$2.63V_{111G3} + 1.35V_{112G3} + 0.77V_{113G3} + 0.59V_{114G3} + 0.96V_{115G3} + 2.55V_{116G3} + 0.71V_{117G3} + 0.72V_{118G3} + 0.73V_{119G3} + 1.60V_{120G3} + 0.72V_{121G3} + 0.53V_{122G3} + 1.07V_{123G3} + 1.4V_{124G3} + 1.44V_{125G3} \leq C$$

$$0.71V_{117G4} + 0.72V_{118G4} + 0.73V_{119G4} + 1.60V_{120G4} + 0.72V_{121G4} + 0.53V_{122G4} + 1.07V_{123G4} + 1.4V_{124G4} + 1.44V_{125G4} \leq C$$

Untuk hasil pembentukan model matematik untuk model II (TRG 26) pada kendala ini yaitu sebagai berikut.

$$8.4V_{1A1} + 4.21V_{6A1} + 4.19V_{7A1} + 5.98V_{8A1} \leq C$$

$$8.4V_{1A2} + 4.21V_{6A2} + 4.19V_{7A2} + 5.98V_{8A2} \leq C$$

$$8.4V_{1A3} + 4.21V_{6A3} + 4.19V_{7A3} + 5.98V_{8A3} \leq C$$

$$8.4V_{1A4} + 3.47V_{3A4} + 3.09V_{4A4} + 4.21V_{6A4} + 4.19V_{7A4} + 5.98V_{8A4} \leq C$$

$$8.4V_{1A5} + 9.16V_{2A5} + 3.47V_{3A5} + 3.09V_{4A5} + 6.75V_{5A5} + 4.21V_{6A5} + 4.19V_{7A5} + 5.98V_{8A5} + 8.04V_{9A5} + 8.38V_{12A5} + 4.14V_{13A5} + 3.32V_{14A5} + 7.81V_{15A5} + 4.7V_{16A5} + 4.75V_{17A5} + 5.16V_{18A5} + 4.34V_{19A5} \leq C$$

$$8.4V_{1A6} + 9.16V_{2A6} + 3.47V_{3A6} + 3.09V_{4A6} + 6.75V_{5A6} + 4.21V_{6A6} + 4.19V_{7A6} + 5.98V_{8A6} + 8.04V_{9A6} + 8.38V_{12A6} + 4.14V_{13A6} + 3.32V_{14A6} + 7.81V_{15A6} + 4.7V_{16A6} + 4.75V_{17A6} + 5.16V_{18A6} + 4.34V_{19A6} \leq C$$

$$8.4V_{1A7} + 9.16V_{2A7} + 3.47V_{3A7} + 3.09V_{4A7} + 6.75V_{5A7} + 4.21V_{6A7} + 4.19V_{7A7} + 5.98V_{8A7} + 8.04V_{9A7} + 8.38V_{12A7} + 4.14V_{13A7} + 3.32V_{14A7} + 7.81V_{15A7} + 4.7V_{16A7} + 4.75V_{17A7} + 5.16V_{18A7} + 4.34V_{19A7} \leq C$$

$$8.4V_{1A8} + 9.16V_{2A8} + 3.47V_{3A8} + 3.09V_{4A8} + 6.75V_{5A8} + 4.21V_{6A8} + 4.19V_{7A8} + 5.98V_{8A8} + 8.04V_{9A8} + 8.38V_{12A8} + 4.14V_{13A8} + 3.32V_{14A8} + 7.81V_{15A8} + 4.7V_{16A8} + 4.75V_{17A8} + 5.16V_{18A8} + 4.34V_{19A8} \leq C$$

$$9.16V_{2A9} + 3.47V_{3A9} + 3.09V_{4A9} + 6.75V_{5A9} + 8.04V_{9A9} + 4.14V_{13A9} + 3.32V_{14A9} + 7.81V_{15A9} + 4.7V_{16A9} + 4.75V_{17A9} + 5.16V_{18A9} + 4.34V_{19A9} \leq C$$

$$9.16V_{2A10} + 3.47V_{3A10} + 3.09V_{4A10} + 6.75V_{5A10} + 8.04V_{9A10} + 4.14V_{13A10} + 3.32V_{14A10} + 7.81V_{15A10} + 4.7V_{16A10} + 4.75V_{17A10} + 5.16V_{18A10} + 4.34V_{19A10} \leq C$$

$$9.16V_{2A11} + 3.47V_{3A11} + 3.09V_{4A11} + 6.75V_{5A11} + 8.04V_{9A11} + 4.14V_{13A11} + 3.32V_{14A11} + 7.81V_{15A11} + 4.7V_{16A11} + 4.75V_{17A11} + 5.16V_{18A11} + 4.34V_{19A11} \leq C$$

$$9.16V_{2A12} + 3.47V_{3A12} + 3.09V_{4A12} + 6.75V_{5A12} + 8.04V_{9A12} + 4.14V_{13A12} + 3.32V_{14A12} + 7.81V_{15A12} + 4.7V_{16A12} + 4.75V_{17A12} + 5.16V_{18A12} + 4.34V_{19A12} \leq C$$

$$9.16V_{2A13} + 3.47V_{3A13} + 3.09V_{4A13} + 6.75V_{5A13} + 8.04V_{9A13} + 4.14V_{13A13} + 3.32V_{14A13} + 7.81V_{15A13} + 4.7V_{16A13} + 4.75V_{17A13} + 5.16V_{18A13} + 4.34V_{19A13} \leq C$$

$$9.16V_{2A14} + 3.47V_{3A14} + 3.09V_{4A14} + 6.75V_{5A14} + 8.04V_{9A14} + 4.14V_{13A14} + 3.32V_{14A14} + 7.81V_{15A14} + 4.7V_{16A14} + 4.75V_{17A14} + 5.16V_{18A14} + 4.34V_{19A14} \leq C$$

$$9.16V_{2A15} + 3.47V_{3A15} + 3.09V_{4A15} + 6.75V_{5A15} + 8.04V_{9A15} + 4.14V_{13A15} + 3.32V_{14A15} + 7.81V_{15A15} + 4.7V_{16A15} + 4.75V_{17A15} + 5.16V_{18A15} + 4.34V_{19A15} \leq C$$

$$9.16V_{2A16} + 3.47V_{3A16} + 3.09V_{4A16} + 6.75V_{5A16} + 8.04V_{9A16} + 4.14V_{13A16} + 3.32V_{14A16} + 7.81V_{15A16} + 4.7V_{16A16} + 4.75V_{17A16} + 5.16V_{18A16} + 4.34V_{19A16} \leq C$$

$$9.16V_{2A17} + 3.47V_{3A17} + 3.09V_{4A17} + 6.75V_{5A17} + 8.04V_{9A17} + 4.14V_{13A17} + 3.32V_{14A17} + 7.81V_{15A17} + 4.7V_{16A17} + 4.75V_{17A17} + 5.16V_{18A17} + 4.34V_{19A17} \leq C$$

$$9.16V_{2A18} + 3.47V_{3A18} + 3.09V_{4A18} + 6.75V_{5A18} + 8.04V_{9A18} + 4.14V_{13A18} + 3.32V_{14A18} + 7.81V_{15A18} + 4.7V_{16A18} + 4.75V_{17A18} + 5.16V_{18A18} + 4.34V_{19A18} \leq C$$

$$4.66V_{25B1} + 2.31V_{26B1} + 2.28V_{27B1} + 4.48V_{28B1} + 4.19V_{29B1} + 3.02V_{31B1} + 2.96V_{32B1} + 3.31V_{33B1} + 2.12V_{34B1} + 2.21V_{35B1} + 3.6V_{36B1} \leq C$$

$$4.66V_{25B2} + 2.31V_{26B2} + 2.28V_{27B2} + 4.48V_{28B2} + 4.19V_{29B2} + 3.02V_{31B2} + 2.96V_{32B2} + 3.31V_{33B2} + 2.12V_{34B2} + 2.21V_{35B2} + 3.6V_{36B2} \leq C$$

$$4.66V_{25B3} + 2.31V_{26B3} + 2.28V_{27B3} + 4.48V_{28B3} + 4.19V_{29B3} + 3.02V_{31B3} + 2.96V_{32B3} + 3.31V_{33B3} + 2.12V_{34B3} + 2.21V_{35B3} + 3.6V_{36B3} \leq C$$

$$4.66V_{25B4} + 2.31V_{26B4} + 2.28V_{27B4} + 4.48V_{28B4} + 4.19V_{29B4} + 3.02V_{31B4} + 2.96V_{32B4} + 3.31V_{33B4} + 2.12V_{34B4} + 2.21V_{35B4} + 3.6V_{36B4} \leq C$$

$$4.66V_{25B5} + 2.31V_{26B5} + 2.28V_{27B5} + 4.48V_{28B5} + 4.19V_{29B5} + 3.02V_{31B5} + 2.96V_{32B5} + 3.31V_{33B5} + 2.12V_{34B5} + 2.21V_{35B5} + 3.6V_{36B5} \leq C$$

$$5.22V_{40C1} + 1.09V_{41C1} + 1.19V_{42C1} + 0.94V_{43C1} + 5.19V_{44C1} + 0.95V_{46C1} + 0.95V_{47C1} + 1.48V_{48C1} + 1.17V_{49C1} + 1.37V_{50C1} + 1.47V_{51C1} \leq C$$

$$5.22V_{40C2} + 1.09V_{41C2} + 1.19V_{42C2} + 0.94V_{43C2} + 5.19V_{44C2} + 0.95V_{46C2} + 0.95V_{47C2} + 1.48V_{48C2} + 1.17V_{49C2} + 1.37V_{50C2} + 1.47V_{51C2} \leq C$$

$$5.22V_{40C3} + 1.09V_{41C3} + 1.19V_{42C3} + 0.94V_{43C3} + 5.19V_{44C3} + 0.95V_{46C3} + 0.95V_{47C3} + 1.48V_{48C3} + 1.17V_{49C3} + 1.37V_{50C3} + 1.47V_{51C3} \leq C$$

$$5.22V_{40C4} + 1.09V_{41C4} + 1.19V_{42C4} + 0.94V_{43C4} + 5.19V_{44C4} + 0.95V_{46C4} + 0.95V_{47C4} + 1.48V_{48C4} + 1.17V_{49C4} + 1.37V_{50C4} + 1.47V_{51C4} \leq C$$

$$1.83V_{55D1} + 7.05V_{56D1} \leq C$$

$$5.36V_{57D2} \leq C$$

$$5.26V_{58D3} \leq C$$

$$2.26V_{59D4} \leq C$$

$$1.4V_{60D5} + 0.95V_{61D5} + 0.95V_{62D5} + 1.22V_{63D5} + 2.86V_{64D5} + 0.83V_{65D5} + 0.19V_{66D5} + 0.18V_{67D5} + 0.43V_{68D5} + 0.43V_{69D5} + 0.28V_{70D5} + 0.10V_{71D5} \leq C$$

$$1.4V_{60D6} + 0.95V_{61D6} + 0.95V_{62D6} + 1.22V_{63D6} + 2.86V_{64D6} + 0.83V_{65D6} + 0.19V_{66D6} + 0.18V_{67D6} + 0.43V_{68D6} + 0.43V_{69D6} + 0.28V_{70D6} + 0.10V_{71D6} \leq C$$

$$0.69V_{76D7} + 0.66V_{77D7} + 0.68V_{78D7} + 0.68V_{79D7} + 0.68V_{80D7} + 0.67V_{81D7} + 0.68V_{82D7} + 0.68V_{83D7} + 0.67V_{84D7} + 0.67V_{85D7} \leq C$$

$$1.49V_{90E1} + 0.92V_{91E1} + 0.87V_{92E1} + 1V_{93E1} \leq C$$

$$2.25V_{94E2} + 1.54V_{95E2} \leq C$$

$$2.25V_{94E3} + 1.54V_{95E3} + 2.03V_{96E3} + 1.22V_{97E3} + 2.73V_{98E3} + 1.06V_{99E3} + 0.92V_{100E3} + 1.14V_{101E3} + 1.77V_{102E3} \leq C$$

$$2.03V_{96E4} + 1.22V_{97E4} + 2.73V_{98E4} + 1.06V_{99E4} + 0.92V_{100E4} + 1.14V_{101E4} + 1.77V_{102E4} + 1.14V_{103E4} + 1.18V_{104E4} + 1.61V_{105E4} + 2.04V_{106E4} + 1.01V_{107E4} + 0.91V_{108E4} + 1.13V_{109E4} \leq C$$

$$1.14V_{103E5} + 1.18V_{104E5} + 1.61V_{105E5} + 2.04V_{106E5} + 1.01V_{107E5} + 0.91V_{108E5} + 1.13V_{109E5} \leq C$$

$$10V_{110F1} \leq C$$

$$10V_{110F2} \leq C$$

$$10V_{110F3} \leq C$$

$$10V_{110F4} \leq C$$

$$2.63V_{111G1} + 1.35V_{112G1} + 0.77V_{113G1} + 0.59V_{114G1} + 0.96V_{115G1} + 2.55V_{116G1} + 0.71V_{117G1} \leq C$$

$$2.63V_{111G2} + 1.35V_{112G2} + 0.77V_{113G2} + 0.59V_{114G2} + 0.96V_{115G2} + 2.55V_{116G2} + 0.71V_{117G2} + 0.72V_{118G2} + 0.73V_{119G2} + 1.60V_{120G2} + 0.72V_{121G2} + 0.53V_{122G2} + 1.07V_{123G2} + 1.4V_{124G2} + 1.44V_{125G2} \leq C$$

$$2.63V_{111G3} + 1.35V_{112G3} + 0.77V_{113G3} + 0.59V_{114G3} + 0.96V_{115G3} + 2.55V_{116G3} + 0.71V_{117G3} + 0.72V_{118G3} + 0.73V_{119G3} + 1.60V_{120G3} + 0.72V_{121G3} + 0.53V_{122G3} + 1.07V_{123G3} + 1.4V_{124G3} + 1.44V_{125G3} \leq C$$

$$0.71V_{117G4} + 0.72V_{118G4} + 0.73V_{119G4} + 1.60V_{120G4} + 0.72V_{121G4} + 0.53V_{122G4} + 1.07V_{123G4} + 1.4V_{124G4} + 1.44V_{125G4} \leq C$$

#### D. Station Constraint

Kendala ini memastikan bahwa setiap stasiun kerja akan mengerjakan elemen kerja baik untuk model 1 (TRG 29) dan model 2 (TRG 26) sehingga jika salah satu model tidak dikerjakan pada suatu stasiun kerja maka model lainnya juga tidak. Contoh pembentukan model matematik pada kendala ini untuk stasiun kerja A1 pada model 1 dan model 2 dengan menggunakan notasi 2.16 dan notasi 2.17 yaitu sebagai berikut.

$$\sum_{i \in W_{km}} V_{ik} - \|W_{km}\| X_{km} \leq 0$$

$$V_{1A1} + V_{10A1} + V_{11A1} + V_{21A1} - 4X_{A11} \leq 0$$

$$V_{1A1} + V_{6A1} + V_{7A1} + V_{8A1} - 4X_{A12} \leq 0$$

$$\sum_{m=1}^p X_{km} - p \cdot A_k = 0$$

$$X_{A11} + X_{A12} - 2A_{A1} = 0$$

Untuk hasil pembentukan model matematik untuk stasiun kerja dan model lainnya pada kendala ini yaitu sebagai berikut.

$$V_{1A2} + V_{10A2} + V_{11A2} + V_{21A2} - 4X_{A21} \leq 0$$

$$V_{1A3} + V_{10A3} + V_{11A3} + V_{21A3} - 4X_{A31} \leq 0$$

$$V_{1A4} + V_{3A4} + V_{4A4} + V_{10A4} + V_{11A4} + V_{21A4} - 6X_{A41} \leq 0$$

$$V_{1A5} + V_{2A5} + V_{3A5} + V_{4A5} + V_{5A5} + V_{10A5} + V_{11A5} + V_{12A5} + V_{13A5} + V_{14A5} + V_{15A5} + V_{16A5} + V_{17A5} + V_{18A5} + V_{19A5} + V_{20A5} + V_{21A5} + V_{22A5} + V_{23A5} + V_{24A5} - 20X_{A51} \leq 0$$

$$V_{1A6} + V_{2A6} + V_{3A6} + V_{4A6} + V_{5A6} + V_{10A6} + V_{11A6} + V_{12A6} + V_{13A6} + V_{14A6} + V_{15A6} + V_{16A6} + V_{17A6} + V_{18A6} + V_{19A6} + V_{20A6} + V_{21A6} + V_{22A6} + V_{23A6} + V_{24A6} - 20X_{A61} \leq 0$$

$$V_{1A7} + V_{2A7} + V_{3A7} + V_{4A7} + V_{5A7} + V_{10A7} + V_{11A7} + V_{12A7} + V_{13A7} + V_{14A7} + V_{15A7} + V_{16A7} + V_{17A7} + V_{18A7} + V_{19A7} + V_{20A7} + V_{21A7} + V_{22A7} + V_{23A7} + V_{24A7} - 20X_{A71} \leq 0$$

$$V_{1A8} + V_{2A8} + V_{3A8} + V_{4A8} + V_{5A8} + V_{10A8} + V_{11A8} + V_{12A8} + V_{13A8} + V_{14A8} + V_{15A8} + V_{16A8} \\ + V_{17A8} + V_{18A8} + V_{19A8} + V_{20A8} + V_{21A8} + V_{22A8} + V_{23A8} + V_{24A8} - 20X_{A81} \leq 0$$

$$V_{2A9} + V_{3A9} + V_{4A9} + V_{5A9} + V_{12A9} + V_{13A9} + V_{14A9} + V_{15A9} + V_{16A9} + V_{17A9} + V_{18A9} + V_{19A9} \\ + V_{20A9} + V_{22A9} + V_{23A9} + V_{24A9} - 20X_{A91} \leq 0$$

$$V_{2A10} + V_{3A10} + V_{4A10} + V_{5A10} + V_{12A10} + V_{13A10} + V_{14A10} + V_{15A10} + V_{16A10} + V_{17A10} + V_{18A10} \\ + V_{19A10} + V_{20A10} + V_{22A10} + V_{23A10} + V_{24A10} - 20X_{A101} \leq 0$$

$$V_{2A11} + V_{3A11} + V_{4A11} + V_{5A11} + V_{12A11} + V_{13A11} + V_{14A11} + V_{15A11} + V_{16A11} + V_{17A11} + V_{18A11} \\ + V_{19A11} + V_{20A11} + V_{22A11} + V_{23A11} + V_{24A11} - 20X_{A111} \leq 0$$

$$V_{2A12} + V_{3A12} + V_{4A12} + V_{5A12} + V_{12A12} + V_{13A12} + V_{14A12} + V_{15A12} + V_{16A12} + V_{17A12} + V_{18A12} \\ + V_{19A12} + V_{20A12} + V_{22A12} + V_{23A12} + V_{24A12} - 20X_{A121} \leq 0$$

$$V_{2A13} + V_{3A13} + V_{4A13} + V_{5A13} + V_{12A13} + V_{13A13} + V_{14A13} + V_{15A13} + V_{16A13} + V_{17A13} + V_{18A13} \\ + V_{19A13} + V_{20A13} + V_{22A13} + V_{23A13} + V_{24A13} - 20X_{A131} \leq 0$$

$$V_{2A14} + V_{3A14} + V_{4A14} + V_{5A14} + V_{12A14} + V_{13A14} + V_{14A14} + V_{15A14} + V_{16A14} + V_{17A14} + V_{18A14} \\ + V_{19A14} + V_{20A14} + V_{22A14} + V_{23A14} + V_{24A14} - 20X_{A141} \leq 0$$

$$V_{2A15} + V_{3A15} + V_{4A15} + V_{5A15} + V_{12A15} + V_{13A15} + V_{14A15} + V_{15A15} + V_{16A15} + V_{17A15} + V_{18A15} \\ + V_{19A15} + V_{20A15} + V_{22A15} + V_{23A15} + V_{24A15} - 20X_{A151} \leq 0$$

$$V_{2A16} + V_{3A16} + V_{4A16} + V_{5A16} + V_{12A16} + V_{13A16} + V_{14A16} + V_{15A16} + V_{16A16} + V_{17A16} + V_{18A16} \\ + V_{19A16} + V_{20A16} + V_{22A16} + V_{23A16} + V_{24A16} - 20X_{A161} \leq 0$$

$$V_{2A17} + V_{3A17} + V_{4A17} + V_{5A17} + V_{12A17} + V_{13A17} + V_{14A17} + V_{15A17} + V_{16A17} + V_{17A17} + V_{18A17} \\ + V_{19A17} + V_{20A17} + V_{22A17} + V_{23A17} + V_{24A17} - 20X_{A171} \leq 0$$

$$V_{2A18} + V_{3A18} + V_{4A18} + V_{5A18} + V_{12A18} + V_{13A18} + V_{14A18} + V_{15A18} + V_{16A18} + V_{17A18} + V_{18A18} \\ + V_{19A18} + V_{20A18} + V_{22A18} + V_{23A18} + V_{24A18} - 20X_{A181} \leq 0$$

$$V_{25B1} + V_{26B1} + V_{27B1} + V_{28B1} + V_{30B1} + V_{31B1} + V_{32B1} + V_{33B1} + V_{34B1} + V_{35B1} + V_{36B1} + \\ V_{37B1} + V_{38B1} + V_{39B1} - 14X_{B11} \leq 0$$

$$V_{25B2} + V_{26B2} + V_{27B2} + V_{28B2} + V_{30B2} + V_{31B2} + V_{32B2} + V_{33B2} + V_{34B2} + V_{35B2} + V_{36B2} + \\ V_{37B2} + V_{38B2} + V_{39B2} - 14X_{B21} \leq 0$$

$$V_{25B3} + V_{26B3} + V_{27B3} + V_{28B3} + V_{30B3} + V_{31B3} + V_{32B3} + V_{33B3} + V_{34B3} + V_{35B3} + V_{36B3} + \\ V_{37B3} + V_{38B3} + V_{39B3} - 14X_{B31} \leq 0$$

$$V_{25B4} + V_{26B4} + V_{27B4} + V_{28B4} + V_{30B4} + V_{31B4} + V_{32B4} + V_{33B4} + V_{34B4} + V_{35B4} + V_{36B4} + \\ V_{37B4} + V_{38B4} + V_{39B4} - 14X_{B41} \leq 0$$

$$V_{25B5} + V_{26B5} + V_{27B5} + V_{28B5} + V_{30B5} + V_{31B5} + V_{32B5} + V_{33B5} + V_{34B5} + V_{35B5} + V_{36B5} + \\ V_{37B5} + V_{38B5} + V_{39B5} - 14X_{B51} \leq 0$$

$$V_{40C1} + V_{41C1} + V_{42C1} + V_{43C1} + V_{45C1} + V_{46C1} + V_{47C1} + V_{48C1} + V_{49C1} + V_{50C1} + V_{51C1} + V_{52C1} + V_{53C1} + V_{54C1} - 14X_{C11} \leq 0$$

$$V_{40C2} + V_{41C2} + V_{42C2} + V_{43C2} + V_{45C2} + V_{46C2} + V_{47C2} + V_{48C2} + V_{49C2} + V_{50C2} + V_{51C2} + V_{52C2} + V_{53C2} + V_{54C2} - 14X_{C21} \leq 0$$

$$V_{40C3} + V_{41C3} + V_{42C3} + V_{43C3} + V_{45C3} + V_{46C3} + V_{47C3} + V_{48C3} + V_{49C3} + V_{50C3} + V_{51C3} + V_{52C3} + V_{53C3} + V_{54C3} - 14X_{C31} \leq 0$$

$$V_{40C4} + V_{41C4} + V_{42C4} + V_{43C4} + V_{45C4} + V_{46C4} + V_{47C4} + V_{48C4} + V_{49C4} + V_{50C4} + V_{51C4} + V_{52C4} + V_{53C4} + V_{54C4} - 14X_{C41} \leq 0$$

$$V_{55D1} + V_{56D1} - 2X_{D11} \leq 0$$

$$V_{57D2} - 1X_{D21} \leq 0$$

$$V_{58D3} - 1X_{D31} \leq 0$$

$$V_{59D4} - 1X_{D41} \leq 0$$

$$V_{60D5} + V_{61D5} + V_{62D5} + V_{63D5} + V_{64D5} + V_{65D5} + V_{66D5} + V_{67D5} + V_{68D5} + V_{69D5} + V_{70D5} + V_{71D5} + V_{72D5} + V_{73D5} + V_{74D5} + V_{75D5} - 16X_{D51} \leq 0$$

$$V_{60D6} + V_{61D6} + V_{62D6} + V_{63D6} + V_{64D6} + V_{65D6} + V_{66D6} + V_{67D6} + V_{68D6} + V_{69D6} + V_{70D6} + V_{71D6} + V_{72D6} + V_{73D6} + V_{74D6} + V_{75D6} - 16X_{D61} \leq 0$$

$$V_{76D7} + V_{77D7} + V_{78D7} + V_{79D7} + V_{80D7} + V_{81D7} + V_{82D7} + V_{83D7} + V_{84D7} + V_{85D7} + V_{86D7} + V_{87D7} + V_{88D7} + V_{89D7} - 14X_{D71} \leq 0$$

$$V_{90E1} + V_{91E1} + V_{92E1} + V_{93E1} - 4X_{E11} \leq 0$$

$$V_{94E2} + V_{95E2} - 2X_{E21} \leq 0$$

$$V_{94E3} + V_{95E3} + V_{96E3} + V_{97E3} + V_{98E3} + V_{99E3} + V_{100E3} + V_{101E3} + V_{102E3} - 9X_{E31} \leq 0$$

$$V_{96E4} + V_{97E4} + V_{98E4} + V_{99E4} + V_{100E4} + V_{101E4} + V_{102E4} + V_{103E4} + V_{104E4} + V_{105E4} + V_{106E4} + V_{107E4} + V_{108E4} + V_{109E4} - 14X_{E41} \leq 0$$

$$V_{103E5} + V_{104E5} + V_{105E5} + V_{106E5} + V_{107E5} + V_{108E5} + V_{109E5} - 7X_{E51} \leq 0$$

$$V_{110F1} - 1X_{F11} \leq 0$$

$$V_{110F2} - 1X_{F21} \leq 0$$

$$V_{110F3} - 1X_{F31} \leq 0$$

$$V_{110F4} - 1X_{F41} \leq 0$$

$$V_{111G1} + V_{112G1} + V_{113G1} + V_{114G1} + V_{115G1} + V_{116G1} + V_{117G1} - 7X_{G11} \leq 0$$

$$V_{111G2} + V_{112G2} + V_{113G2} + V_{114G2} + V_{115G2} + V_{116G2} + V_{117G2} + V_{118G2} + V_{119G2} + V_{120G2} + V_{121G2} + V_{122G2} + V_{123G2} + V_{124G2} + V_{125G2} - 15X_{G21} \leq 0$$

$$V_{111G3} + V_{112G3} + V_{113G3} + V_{114G3} + V_{115G3} + V_{116G3} + V_{117G3} + V_{118G3} + V_{119G3} + V_{120G3} + V_{121G3} + V_{122G3} + V_{123G3} + V_{124G3} + V_{125G3} - 15X_{G31} \leq 0$$



$$V_{117G4} + V_{118G4} + V_{119G4} + V_{120G4} + V_{121G4} + V_{122G4} + V_{123G4} + V_{124G4} + V_{125G4} - 9X_{G41} \leq 0$$

$$V_{1A2} + V_{6A2} + V_{7A2} + V_{8A2} - 4X_{A22} \leq 0$$

$$V_{1A3} + V_{6A3} + V_{7A3} + V_{8A3} - 4X_{A32} \leq 0$$

$$V_{1A4} + V_{3A4} + V_{4A4} + V_{6A4} + V_{7A4} + V_{8A4} - 6X_{A42} \leq 0$$

$$V_{1A5} + V_{2A5} + V_{3A5} + V_{4A5} + V_{5A5} + V_{6A5} + V_{7A5} + V_{8A5} + V_{9A5} + V_{13A5} + V_{14A5} + V_{15A5} + V_{16A5} + V_{17A5} + V_{18A5} + V_{19A5} - 16X_{A52} \leq 0$$

$$V_{1A6} + V_{2A6} + V_{3A6} + V_{4A6} + V_{5A6} + V_{6A6} + V_{7A6} + V_{8A6} + V_{9A6} + V_{13A6} + V_{14A6} + V_{15A6} + V_{16A6} + V_{17A6} + V_{18A6} + V_{19A6} - 16X_{A62} \leq 0$$

$$V_{1A7} + V_{2A7} + V_{3A7} + V_{4A7} + V_{5A7} + V_{6A7} + V_{7A7} + V_{8A7} + V_{9A7} + V_{13A7} + V_{14A7} + V_{15A7} + V_{16A7} + V_{17A7} + V_{18A7} + V_{19A7} - 16X_{A72} \leq 0$$

$$V_{1A8} + V_{2A8} + V_{3A8} + V_{4A8} + V_{5A8} + V_{6A8} + V_{7A8} + V_{8A8} + V_{9A8} + V_{13A8} + V_{14A8} + V_{15A8} + V_{16A8} + V_{17A8} + V_{18A8} + V_{19A8} - 16X_{A82} \leq 0$$

$$V_{2A9} + V_{3A9} + V_{4A9} + V_{5A9} + V_{9A9} + V_{13A9} + V_{14A9} + V_{15A9} + V_{16A9} + V_{17A9} + V_{18A9} + V_{19A9} - 16X_{A92} \leq 0$$

$$V_{2A10} + V_{3A10} + V_{4A10} + V_{5A10} + V_{9A10} + V_{13A10} + V_{14A10} + V_{15A10} + V_{16A10} + V_{17A10} + V_{18A10} + V_{19A10} - 16X_{A102} \leq 0$$

$$V_{2A11} + V_{3A11} + V_{4A11} + V_{5A11} + V_{9A11} + V_{13A11} + V_{14A11} + V_{15A11} + V_{16A11} + V_{17A11} + V_{18A11} + V_{19A11} - 16X_{A112} \leq 0$$

$$V_{2A12} + V_{3A12} + V_{4A12} + V_{5A12} + V_{9A12} + V_{13A12} + V_{14A12} + V_{15A12} + V_{16A12} + V_{17A12} + V_{18A12} + V_{19A12} - 16X_{A122} \leq 0$$

$$V_{2A13} + V_{3A13} + V_{4A13} + V_{5A13} + V_{9A13} + V_{13A13} + V_{14A13} + V_{15A13} + V_{16A13} + V_{17A13} + V_{18A13} + V_{19A13} - 16X_{A132} \leq 0$$

$$V_{2A14} + V_{3A14} + V_{4A14} + V_{5A14} + V_{9A14} + V_{13A14} + V_{14A14} + V_{15A14} + V_{16A14} + V_{17A14} + V_{18A14} + V_{19A14} - 16X_{A142} \leq 0$$

$$V_{2A15} + V_{3A15} + V_{4A15} + V_{5A15} + V_{9A15} + V_{13A15} + V_{14A15} + V_{15A15} + V_{16A15} + V_{17A15} + V_{18A15} + V_{19A15} - 16X_{A152} \leq 0$$

$$V_{2A16} + V_{3A16} + V_{4A16} + V_{5A16} + V_{9A16} + V_{13A16} + V_{14A16} + V_{15A16} + V_{16A16} + V_{17A16} + V_{18A16} + V_{19A16} - 16X_{A162} \leq 0$$

$$V_{2A17} + V_{3A17} + V_{4A17} + V_{5A17} + V_{9A17} + V_{13A17} + V_{14A17} + V_{15A17} + V_{16A17} + V_{17A17} + V_{18A17} + V_{19A17} - 16X_{A172} \leq 0$$

$$V_{2A18} + V_{3A18} + V_{4A18} + V_{5A18} + V_{9A18} + V_{13A18} + V_{14A18} + V_{15A18} + V_{16A18} + V_{17A18} + V_{18A18} + V_{19A18} - 16X_{A182} \leq 0$$

$$V_{25B1} + V_{26B1} + V_{27B1} + V_{28B1} + V_{29B1} + V_{31B1} + V_{32B1} + V_{33B1} + V_{34B1} + V_{35B1} + V_{36B1} - 11X_{B12} \leq 0$$

$$V_{25B2} + V_{26B2} + V_{27B2} + V_{28B2} + V_{29B2} + V_{31B2} + V_{32B2} + V_{33B2} + V_{34B2} + V_{35B2} + V_{36B2} - 11X_{B22} \leq 0$$

$$V_{25B3} + V_{26B3} + V_{27B3} + V_{28B3} + V_{29B3} + V_{31B3} + V_{32B3} + V_{33B3} + V_{34B3} + V_{35B3} + V_{36B3} - 11X_{B32} \leq 0$$

$$V_{25B4} + V_{26B4} + V_{27B4} + V_{28B4} + V_{29B4} + V_{31B4} + V_{32B4} + V_{33B4} + V_{34B4} + V_{35B4} + V_{36B4} - 11X_{B42} \leq 0$$

$$V_{25B5} + V_{26B5} + V_{27B5} + V_{28B5} + V_{29B5} + V_{31B5} + V_{32B5} + V_{33B5} + V_{34B5} + V_{35B5} + V_{36B5} - 11X_{B52} \leq 0$$

$$V_{40C1} + V_{41C1} + V_{42C1} + V_{43C1} + V_{44C1} + V_{46C1} + V_{47C1} + V_{48C1} + V_{49C1} + V_{50C1} + V_{51C1} - 11X_{C12} \leq 0$$

$$V_{40C2} + V_{41C2} + V_{42C2} + V_{43C2} + V_{44C2} + V_{46C2} + V_{47C2} + V_{48C2} + V_{49C2} + V_{50C2} + V_{51C2} - 11X_{C22} \leq 0$$

$$V_{40C3} + V_{41C3} + V_{42C3} + V_{43C3} + V_{44C3} + V_{46C3} + V_{47C3} + V_{48C3} + V_{49C3} + V_{50C3} + V_{51C3} - 11X_{C32} \leq 0$$

$$V_{40C4} + V_{41C4} + V_{42C4} + V_{43C4} + V_{44C4} + V_{46C4} + V_{47C4} + V_{48C4} + V_{49C4} + V_{50C4} + V_{51C4} - 11X_{C42} \leq 0$$

$$V_{55D1} + V_{56D1} - 2X_{D12} \leq 0$$

$$V_{57D2} - 1X_{D22} \leq 0$$

$$V_{58D3} - 1X_{D32} \leq 0$$

$$V_{59D4} - 1X_{D42} \leq 0$$

$$V_{60D5} + V_{61D5} + V_{62D5} + V_{63D5} + V_{64D5} + V_{65D5} + V_{66D5} + V_{67D5} + V_{68D5} + V_{69D5} + V_{70D5} + V_{71D5} - 12X_{D52} \leq 0$$

$$V_{60D6} + V_{61D6} + V_{62D6} + V_{63D6} + V_{64D6} + V_{65D6} + V_{66D6} + V_{67D6} + V_{68D6} + V_{69D6} + V_{70D6} + V_{71D6} - 12X_{D62} \leq 0$$

$$V_{76D7} + V_{77D7} + V_{78D7} + V_{79D7} + V_{80D7} + V_{81D7} + V_{82D7} + V_{83D7} + V_{84D7} + V_{85D7} - 10X_{D72} \leq 0$$

$$V_{90E1} + V_{91E1} + V_{92E1} + V_{93E1} - 4X_{E12} \leq 0$$

$$V_{94E2} + V_{95E2} - 2X_{E22} \leq 0$$

$$V_{94E3} + V_{95E3} + V_{96E3} + V_{97E3} + V_{98E3} + V_{99E3} + V_{100E3} + V_{101E3} + V_{102E3} - 9X_{E32} \leq 0$$

$$V_{96E4} + V_{97E4} + V_{98E4} + V_{99E4} + V_{100E4} + V_{101E4} + V_{102E4} + V_{103E4} + V_{104E4} + V_{105E4} + V_{106E4} + V_{107E4} + V_{108E4} + V_{109E4} - 14X_{E42} \leq 0$$

$$V_{103E5} + V_{104E5} + V_{105E5} + V_{106E5} + V_{107E5} + V_{108E5} + V_{109E5} - 7X_{E52} \leq 0$$

$$V_{110F1} - 1X_{F12} \leq 0$$

$$V_{110F2} - 1X_{F22} \leq 0$$

$$V_{110F3} - 1X_{F32} \leq 0$$

$$V_{110F4} - 1X_{F42} \leq 0$$

$$V_{111G1} + V_{112G1} + V_{113G1} + V_{114G1} + V_{115G1} + V_{116G1} + V_{117G1} - 7X_{G12} \leq 0$$

$$V_{111G2} + V_{112G2} + V_{113G2} + V_{114G2} + V_{115G2} + V_{116G2} + V_{117G2} + V_{118G2} + V_{119G2} + V_{120G2} \\ + V_{121G2} + V_{122G2} + V_{123G2} + V_{124G2} + V_{125G2} - 15X_{G22} \leq 0$$

$$V_{111G3} + V_{112G3} + V_{113G3} + V_{114G3} + V_{115G3} + V_{116G3} + V_{117G3} + V_{118G3} + V_{119G3} + V_{120G3} \\ + V_{121G3} + V_{122G3} + V_{123G3} + V_{124G3} + V_{125G3} - 15X_{G32} \leq 0$$

$$V_{117G4} + V_{118G4} + V_{119G4} + V_{120G4} + V_{121G4} + V_{122G4} + V_{123G4} + V_{124G4} + V_{125G4} - 9X_{G42} \leq 0$$

$$X_{A21} + X_{A22} - 2A_{A2} = 0$$

$$X_{A31} + X_{A32} - 2A_{A3} = 0$$

$$X_{A41} + X_{A42} - 2A_{A4} = 0$$

$$X_{A51} + X_{A52} - 2A_{A5} = 0$$

$$X_{A61} + X_{A62} - 2A_{A6} = 0$$

$$X_{A71} + X_{A72} - 2A_{A7} = 0$$

$$X_{A81} + X_{A82} - 2A_{A8} = 0$$

$$X_{A91} + X_{A92} - 2A_{A9} = 0$$

$$X_{A101} + X_{A102} - 2A_{A10} = 0$$

$$X_{A111} + X_{A112} - 2A_{A11} = 0$$

$$X_{A121} + X_{A122} - 2A_{A12} = 0$$

$$X_{A131} + X_{A132} - 2A_{A13} = 0$$

$$X_{A141} + X_{A142} - 2A_{A14} = 0$$

$$X_{A151} + X_{A152} - 2A_{A15} = 0$$

$$X_{A161} + X_{A162} - 2A_{A16} = 0$$

$$X_{A171} + X_{A172} - 2A_{A17} = 0$$

$$X_{A181} + X_{A182} - 2A_{A18} = 0$$

$$X_{B11} + X_{B12} - 2A_{B1} = 0$$

$$X_{B21} + X_{B22} - 2A_{B2} = 0$$

$$X_{B31} + X_{B32} - 2A_{B3} = 0$$

$$X_{B41} + X_{B42} - 2A_{B4} = 0$$

$$X_{B51} + X_{B52} - 2A_{B5} = 0$$

$$X_{C11} + X_{C12} - 2A_{C1} = 0$$

$$X_{C21} + X_{C22} - 2A_{C2} = 0$$

$$X_{C31} + X_{C32} - 2A_{C3} = 0$$

$$X_{C41} + X_{C42} - 2A_{C4} = 0$$

$$X_{D11} + X_{D12} - 2A_{D1} = 0$$

$$X_{D21} + X_{D22} - 2A_{D2} = 0$$

$$X_{D31} + X_{D32} - 2A_{D3} = 0$$

$$X_{D41} + X_{D42} - 2A_{D4} = 0$$

$$X_{D51} + X_{D52} - 2A_{D5} = 0$$

$$X_{D61} + X_{D62} - 2A_{D6} = 0$$

$$X_{D71} + X_{D72} - 2A_{D7} = 0$$

$$X_{E11} + X_{E12} - 2A_{E1} = 0$$

$$X_{E21} + X_{E22} - 2A_{E2} = 0$$

$$X_{E31} + X_{E32} - 2A_{E3} = 0$$

$$X_{E41} + X_{E42} - 2A_{E4} = 0$$

$$X_{F11} + X_{F12} - 2A_{F1} = 0$$

$$X_{F21} + X_{F22} - 2A_{F2} = 0$$

$$X_{F31} + X_{F32} - 2A_{F3} = 0$$

$$X_{F41} + X_{F42} - 2A_{F4} = 0$$

$$X_{G11} + X_{G12} - 2A_{G1} = 0$$

$$X_{G21} + X_{G22} - 2A_{G2} = 0$$

$$X_{G31} + X_{G32} - 2A_{G3} = 0$$

$$X_{G41} + X_{G42} - 2A_{G4} = 0$$

Untuk menemukan solusi optimal dari model matematik di atas diperlukan perangkat lunak *linear programming* karena jumlah *constraint* atau kendala yang cukup banyak pada penelitian ini. Penelitian ini menggunakan perangkat lunak Lingo versi 17 untuk menemukan solusi optimal dari permasalahan ini yaitu stasiun kerja optimal untuk lini perakitan ranjang pasien. Solusi optimal yang didapatkan dari pengolahan model matematik di atas dengan menggunakan perangkat lunak Lingo versi 17 yaitu pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Alokasi stasiun kerja setelah penyeimbangan

Stasiun Kerja	Model I (TRG 29)			Model II (TRG 26)		
	Elemen Kerja	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )	Elemen Kerja	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
A1	1	8.40	1.60	1	8.40	1.60
A2	18, 21	9.45	0.55	18	5.16	4.84
A3	11, 14	7.49	2.51	6, 14	7.53	2.47
A4	10, 22	9.88	0.12	7	4.19	5.81
A5	3, 24	8.79	1.21	3, 8	9.45	0.55
A6	4,5	9.85	0.15	4,5	9.85	0.15
A7	16, 20	9.79	0.21	16	4.70	5.30
A8	13, 19	8.49	1.51	13, 19	8.49	1.51
A9	17, 23	9.81	0.19	17	4.75	5.25
A10	2	9.16	0.84	2	9.16	0.84
A11	15	7.81	2.19	15	7.81	2.19
A12	12	8.38	1.62	9	8.04	1.96
B1	25, 30	8.88	1.12	25, 29	8.85	1.15
B2	27, 32, 37	8.06	1.94	27, 32	5.24	4.76
B3	34, 36, 39	8.68	1.32	34, 36	5.71	4.29
B4	33, 35, 38	9.16	0.84	33, 35	5.53	4.47
B5	26, 28, 31	8.53	1.47	26, 28, 31	8.53	1.47
C1	46, 48, 53	7.05	2.95	46, 48	2.44	7.56
C2	45, 50	6.81	3.19	50	1.37	8.63
C3	47, 49, 52, 54	9.47	0.53	44, 47, 49	7.30	2.70
C4	40, 41, 42, 43, 51	9.89	0.11	40, 41, 42, 43, 51	9.89	0.11
D1	55, 56	8.88	1.12	55, 56	8.88	1.12
D2	57	5.36	4.64	57	5.36	4.64
D4	58	5.26	4.74	58	5.26	4.74
D5	59	2.26	7.74	59	2.26	7.74
D5	60, 63, 67, 68, 69, 70, 71, 72, 73	6.23	3.77	60, 63, 67, 68, 69, 70, 71	4.03	5.97
D6	61, 62, 64, 65, 66, 74, 75	9.53	0.47	61, 62, 64, 65, 66	5.78	4.22
D7	76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85, 86, 87, 88, 89	9.47	0.53	76, 77, 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84, 85	9.47	0.53
E1	90, 91, 92, 93	4.27	5.73	90, 91, 92, 93	4.27	5.73
E2	94, 95, 96, 97	7.03	2.97	94, 95, 96, 97	7.03	2.97

Stasiun Kerja	Model I (TRG 29)			Model II (TRG 26)			
	Elemen Kerja	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )	Elemen Kerja	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )	
E3	98, 99, 100, 101, 102	7.63	2.37	98, 99, 100, 101, 102	7.63	2.37	
E4	103, 104, 105, 106, 107, 108, 109	9.03	0.97	103, 104, 105, 106, 107, 108, 109	9.03	0.97	
F1	<i>Quality Control</i>	110	10.00	110	10.00	0.00	
G1	<i>Packing</i>	111, 112, 113, 114, 115, 116, 117	9.54	0.46	111, 112, 113, 114, 115, 116, 117	9.54	0.46
G2		118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125	8.22	1.78	118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 125	8.22	1.78

#### 4.5.7 Perhitungan Performansi Lini Perakitan

##### A. Perhitungan Performansi Lini Perakitan saat ini

Untuk mengetahui tingkat performansi lini perakitan saat ini maka dilakukan pengukuran kriteria performansi lini yaitu efisiensi lini, *balance delay*, dan *smoothing index*. Data yang digunakan pada penelitian ini terdapat pada tabel 6.3 dan tabel 6.4 pada halaman lampiran. Perhitungan dilakukan untuk kedua tipe ranjang pasien yaitu TRG 29 dan TRG 26 berikut ini.

##### 1. Trendgate (TRG) Bed 29

##### a. Efisiensi Lini

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{CT \times N} \times 100\% \\
 &= \frac{(8.40 + 9.16 + \dots + 1.44)}{11.3 \times 46} \times 100\% \\
 &= 51.7\%
 \end{aligned}$$

b. *Balance Delay*

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{CT \times N - \sum_{i=1}^n ti}{CT \times N} \times 100\% \\
 &= \frac{(11.3 \times 46) - (8.40 + 9.16 + \dots + 1.44)}{(11.3 \times 46)} \times 100\% \\
 &= 48.3\%
 \end{aligned}$$

c. *Smoothing Index*

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^N (WSK_{max} - WSK_i)^2} \\
 SI &= \sqrt{(4.16^2 + 3.4^2 + \dots + 11.12^2)} \\
 &= 37,81
 \end{aligned}$$

2. Trendgate (TRG) Bed 26

a. *Efisiensi Lini*

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ti}{CT \times N} \times 100\% \\
 &= \frac{(8.40 + 9.16 + \dots + 1.44)}{11.3 \times 46} \times 100\% \\
 &= 44.43\%
 \end{aligned}$$

b. *Balance Delay*

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{CT \times N - \sum_{i=1}^n ti}{CT \times N} \times 100\% \\
 &= \frac{(11.3 \times 46) - (8.40 + 9.16 + \dots + 1.44)}{(11.3 \times 46)} \times 100\% \\
 &= 55.57\%
 \end{aligned}$$

c. *Smoothing Index*

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{i=1}^N (WSK_{max} - WSK_i)^2} \\
 SI &= \sqrt{(4.16^2 + 3.4^2 + \dots + 11.12^2)} = 36.84
 \end{aligned}$$

### 3. Kapasitas Produksi Maksimum

Kapasitas produksi maksimum dari suatu lini perakitan sangat berpengaruh pada waktu siklus yang diterapkannya. Untuk mendapatkan nilai kapasitas produksi maksimum dilakukan perhitungan yaitu waktu kerja yang tersedia (pada perhitungan ini digunakan rata-rata waktu kerja efektif perhari dalam 1 minggu yaitu 7.8 jam atau 468 menit) dibagi dengan waktu siklus lini perakitan seperti pada notasi berikut ini.

$$\text{Kapasitas Produksi} = \frac{\text{Waktu perakitan yang tersedia}}{\text{Waktu Siklus lini perakitan}}$$

$$\text{Kapasitas Produksi} = \frac{468}{11,3} = 41.41 \approx 41 \text{ unit per hari}$$

### B. Perhitungan Performansi Lini Perakitan Setelah Penyeimbangan Lini Perakitan

Berikut perhitungan performansi dari lini perakitan setelah penyeimbangan lini perakitan ranjang pasien Trendgate (TRG) Bed 29 dan Trendgate (TRG) Bed 26 di atas yaitu sebagai berikut.

#### 1. Trendgate (TRG) Bed 29

##### a. Efisiensi Lini

$$\begin{aligned} \text{Eff} &= \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{CT \times N} \times 100\% \\ &= \frac{(8.40 + 9.45 + \dots + 8.22)}{10 \times 35} \times 100\% \\ &= 82.68\% \end{aligned}$$

##### b. Balance Delay

$$\begin{aligned} \text{BD} &= \frac{CT \times N - \sum_{i=1}^n t_i}{CT \times N} \times 100\% \\ &= \frac{(10 \times 35) - (8.40 + 9.45 + \dots + 8.22)}{(10 \times 35)} \times 100\% \\ &= 17.22\% \end{aligned}$$



c. *Smoothing Index*

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^N (WSK_{max} - WSK_i)^2}$$

$$SI = \sqrt{(1.6^2 + 0.55^2 + \dots + 1.78^2)}$$

$$= 14.68$$

2. Trendgate (TRG) Bed 26

a. Efisiensi Lini

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

$$= \frac{(8.40 + 5.16 + \dots + 8.22)}{10 \times 35} \times 100\%$$

$$= 68.70\%$$

b. *Balance Delay*

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

$$= \frac{(10 \times 35) - (8.40 + 5.16 + \dots + 8.22)}{(10 \times 35)} \times 100\%$$

$$= 31.30\%$$

c. *Smoothing Index*

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^N (WSK_{max} - WSK_i)^2}$$

$$SI = \sqrt{(1.6^2 + 4.84^2 + \dots + 1.78^2)}$$

$$= 23.35$$

### 3. Kapasitas Produksi Maksimum

Kapasitas produksi maksimum dari suatu lini perakitan sangat berpengaruh pada waktu siklus yang diterapkannya. Untuk mendapatkan nilai kapasitas produksi maksimum dilakukan perhitungan yaitu waktu kerja yang tersedia (pada perhitungan ini digunakan rata-rata waktu kerja efektif perhari dalam 1 minggu yaitu 7.8 jam atau 468 menit) dibagi dengan waktu siklus lini perakitan seperti pada notasi berikut ini.

$$\text{Kapasitas Produksi} = \frac{\text{Waktu perakitan yang tersedia}}{\text{Waktu Siklus lini perakitan}}$$

$$\text{Kapasitas Produksi} = \frac{468}{10} = 46.8 \text{ unit per hari} \approx 46 \text{ unit per hari}$$

## BAB V

### PEMBAHASAN

#### 5.1 Analisis Kondisi Lini Perakitan Aktual

Pada lini perakitan ranjang pasien saat ini terdapat 46 stasiun kerja dengan jumlah keseluruhan elemen kerja sebanyak 125 mulai dari proses pengelasan *part sub assy* hingga proses pengemasan. Total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit produk berdasarkan hasil penjumlahan waktu standar seluruh elemen kerja adalah 296,58 menit atau 4,94 jam untuk produk Trendgate (TRG) Bed 29 dan 254,83 menit atau 4,25 jam untuk produk Trendgate (TRG) Bed 26. Dalam total waktu tersebut tidak diperhitungkan waktu perpindahan material dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja lainnya. Berikut ini merupakan hasil perhitungan performansi lini perakitan ranjang pasien pada saat pengamatan yaitu pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Kriteria performansi lini perakitan saat pengamatan

Kriteria Performansi	Produk	
	TRG 29	TRG 26
Efisiensi Lini	51,70 %	44,43 %
<i>Balance Delay</i>	48,30 %	55,57 %
<i>Smoothing Index</i>	37,81	36,84
<i>Idle time</i>	223,22 menit	254,97 menit
Waktu Siklus	11.3 menit	
Kapasitas Produksi	41 unit perhari (jam kerja efektif)	

Berdasarkan hasil perhitungan performansi dari lini perakitan ranjang pasien untuk produk TRG 29 dan TRG 26 pada lini perakitan saat dilakukan pengamatan dapat diketahui bahwa performansi lini berada pada kondisi yang kurang baik, hal itu dapat

diketahui dengan melihat hasil perhitungan kriteria performansi yang menunjukkan efisiensi lini yang rendah, *balance delay* yang cukup tinggi dan *smoothing index* yang jauh atau tidak mendekati 0 (nol). Sedangkan performansi lini perakitan yang baik memiliki efisiensi lini yang tinggi, *balance delay* yang rendah dan *smoothing index* mendekati atau bahkan sama dengan 0. Rendahnya nilai efisiensi lini akan berakibat pada besarnya waktu mengganggu dari setiap stasiun kerja yang itu dapat dibuktikan dengan hasil perhitungan yang telah dilakukan pada lini perakitan saat pengamatan dilakukan yaitu sebesar 223,22 menit dan 264,97 menit untuk kedua produk ranjang pasien tersebut. Waktu siklus yang digunakan pada lini perakitan saat ini sebesar 11,3 menit masih bisa untuk ditingkatkan sehingga dapat meningkatkan kapasitas produksi maksimum.

## 5.2 Analisis Tata Letak Pada Lini Perakitan

Jenis tata letak lini perakitan yang diterapkan pada lini perakitan TRG 26 dan TRG 29 adalah *process layout* (tata letak proses). Jenis tata letak ini mengelompokkan stasiun - stasiun kerja dalam suatu departemen kerja yang memiliki kesamaan proses pengerjaan elemen kerja. Pada penelitian ini terdapat 7 departemen kerja yaitu *welding*, *deburring*, *QC deburring*, *painting*, *assembly*, *quality control*, dan *packing*.

Departemen kerja *welding* melakukan proses pengelasan komponen – komponen utama dengan menggunakan mesin las, stasiun kerja yang dapat melakukan proses ini yaitu stasiun kerja A1 – A18. Departemen kerja *deburring* melakukan proses penghalusan bagian hasil pengelasan dengan menggunakan mesin gerinda tangan, stasiun kerja yang dapat melakukan proses ini yaitu stasiun kerja B1 – B4. Departemen kerja *QC deburring* melakukan inspeksi pada hasil proses penghalusan bagian hasil pengelasan apabila ditemukan hasil yang tidak sesuai standar maka akan dilakukan *rework* pada stasiun kerja ini, stasiun kerja yang dapat melakukan proses ini yaitu stasiun kerja C1 – C4. Departemen kerja *deburring* melakukan proses *prehtreatment*, pengecatan, dan Pengovenan dengan menggunakan bak kontrol, *spray gun*, dan *baking oven*. stasiun kerja yang dapat melakukan proses ini yaitu stasiun kerja D1 – D7.

Departemen kerja *assembly* melakukan proses perakitan komponen – komponen utama dengan komponen – komponen pelengkap untuk membentuk sebuah produk jadi.

Alat bantu yang digunakan untuk memasang baut dan sekrup pada perakitan produk adalah *air tool*. Stasiun kerja yang dapat melakukan proses ini yaitu stasiun kerja E1 – E5. Departemen kerja *quality control* melakukan proses inspeksi produk jadi secara keseluruhan, stasiun kerja yang dapat melakukan proses ini yaitu stasiun kerja F1 – F4. Departemen kerja *packing* melakukan proses pengemasan produk jadi, stasiun kerja yang dapat melakukan proses ini yaitu stasiun kerja G1 – G4.

Jenis tata letak *process layout* (tata letak proses) ini mempengaruhi pembentukan model matematik pada penelitian ini. Hal itu dapat dilihat dari hasil *precedence constraint* atau kendala precedence yang menunjukkan keterkaitan antara stasiun – stasiun kerja hanya pada elemen kerja yang memiliki keterkaitan pada proses pengerjaan yang sama misalnya pada elemen kerja no. 6, 7, dan 8 memiliki keterkaitan dengan elemen kerja no. 9 yang didefinisikan pada *precedence constraint* karena sama – sama melakukan proses pengelasan, tetapi keterkaitan elemen kerja no. 9 dengan elemen kerja no. 29 tidak didefinisikan pada kendala tersebut karena memiliki perbedaan proses pengerjaan dan dikerjakan pada departemen kerja yang berbeda.

### **5.3 Analisis Bahan Baku yang Digunakan**

Bahan baku utama dalam memproduksi komponen – komponen utama dari produk TRG 26 dan TRG 29 adalah besi. Dalam proses perakitan produk biasanya hanya digunakan satu jenis besi untuk membuat seluruh komponen utama. Permasalahan yang terkadang muncul adalah ketidaktersediaan jenis bahan baku tersebut sehingga harus menggunakan jenis besi lain yang tersedia. Perbedaan jenis besi yang digunakan dapat mempengaruhi waktu proses pengerjaan terutama untuk proses *prethreatment* pada departemen *painting* yaitu pada elemen kerja *pickling*, *degreasing*, *rinsing*, dan pembilasan.

Bahan baku pelengkap biasa digunakan pada proses perakitan produk jadi pada departemen *assembly*, biasanya terbuat dari bahan plastik yang diproduksi diluar unit EOP seperti misalnya penyangga tangan, motor dan remot penggerak, bagian matras, dan lain sebagainya. Pada bahan baku ini juga terdapat baut dan mur dengan berbagai macam ukuran sesuai dengan kebutuhan masing – masing produk yang digunakan untuk menyambung satu *part* dengan *part* lainnya.

#### 5.4 Analisis Ketidak-Fleksibilitas Elemen – Elemen Kerja

Pada tabel 4.3 disajikan data elemen – elemen kerja yang berhasil dirangkum berdasarkan hasil observasi langsung yang telah dilakukan. Pada data elemen – elemen kerja dapat dilihat bahwa aktivitas proses pengelasan, deburring, pengecatan, pengovenan, dan pemasangan tidak dilakukan pemecahan atau *breakdown* elemen kerja ke bentuk aktivitas – aktivitas yang lebih sederhana. Selain itu elemen – elemen kerja tertentu tidak dapat dilakukan pada departemen kerja lainnya misalnya pada aktivitas pengelasan tidak dapat dikerjakan pada stasiun kerja lainnya karena ketersediaan mesin las. Ketidak-fleksibilitas elemen – elemen kerja tersebut diakibatkan karena aktivitas tersebut hanya dapat dilakukan pada satu stasiun kerja seperti yang terlihat pada Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Ketidak-fleksibilitas elemen – elemen kerja

Departemen Kerja	Ketidak-fleksibilitas Elemen – Elemen Kerja
<i>Welding</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Aktivitas <i>set up</i> mesin las hanya dapat dilakukan pada stasiun kerja tersebut.</li> <li>b. Pada aktivitas pengelasan <i>part assy</i> maupun <i>part sub assy</i> hanya dapat dilakukan pada satu meja kerja atau stasiun kerja <i>welding</i> karena dibutuhkan jig perakitan sesuai dengan <i>part</i> yang ingin dibuat sehingga aktivitas pengelasan tidak dapat disederhanakan ke bentuk yang lebih spesifik.</li> <li>c. Mesin las mig maupun mesin las tig membutuhkan tabung gas dan sumber arus listrik (stop kontak) sebagai sumber dayanya sehingga tidak mudah untuk memindahkan stasiun kerja untuk elemen kerja pengelasan keluar dari stasiun kerja <i>welding</i>.</li> </ul>
<i>Deburring</i>	Mesin gerinda tangan yang digunakan membutuhkan sumber daya listrik (stop kontak) dan meja kerja untuk menaruh <i>part</i> yang akan dihaluskan permukaannya. Aktivitas <i>deburring</i> hanya sebatas menghaluskan permukaan bagian <i>part</i> yang dilakukan pengelasan sehingga elemen kerja tidak dapat dibagi di aktivitas – aktivitas yang lebih sederhana lagi.
<i>Painting</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>a. Pada setiap aktivitas <i>pre threatment</i> hanya dapat dilakukan pada satu bak kontrol khusus sehingga tidak dimungkinkan untuk menyederhanakan elemen kerja tersebut serta tidak mungkin dilakukan pada stasiun kerja lainnya.</li> <li>b. Aktivitas pengecatan hanya dapat dilakukan pada ruang pengecatan karena <i>spray gun</i> terhubung dengan tangki cat sehingga tidak mungkin untuk memindahkan elemen kerja maupun stasiun kerja.</li> </ul>

Departemen Kerja	Ketidak-fleksibilitas Elemen – Elemen Kerja
	c. Aktivitas pengovenan menggunakan mesin <i>baking oven</i> dengan <i>hanger conveyor</i> sebagai tempat menaruh <i>part</i> sehingga tidak mungkin untuk memindahkan baik elemen kerja maupun stasiun kerja.
<i>Assembly</i>	Aktivitas perakitan atau <i>assembly</i> dilakukan di atas <i>conveyor</i> dan membutuhkan <i>air tool</i> untuk mengencangkan baut dan mur dimana <i>air tool</i> tersebut tersambung pada instalasi di stasiun kerja <i>assembly</i> .

### 5.5 Analisis Perbandingan Kondisi Lini Perakitan Aktual dan Hasil Rancangan

Perbandingan performansi lini perakitan antara lini perakitan saat ini dengan lini perakitan setelah dilakukan penyeimbangan dapat dilihat pada Tabel 5.3.

Tabel 5.3 Perbandingan Kriteria Performansi Lini

Kriteria Performansi	Lini Perakitan Saat ini		Penyeimbangan Lini dengan Model Matematik	
	TRG 29	TRG 26	TRG 29	TRG 26
Efisiensi Lini	51,70 %	44,43 %	82,68%	68,70%
<i>Balance Delay</i>	48,30 %	55,57 %	17,32%	31,30%
<i>Smoothing Index</i>	37,81	36,84	14,68	23,35
<i>Idle time</i>	223,22 menit	254,97 menit	63,46 menit	110,85 menit
Waktu Siklus	11,3 menit		10 menit	
Kapasitas Produksi	41 unit perhari (jam kerja efektif)		46 unit perhari (jam kerja efektif)	
Stasiun Kerja	46 stasiun kerja		35 stasiun kerja	

Berdasarkan tabel diatas dapat diketahui bahwa terdapat peningkatan pada performansi lini perakitan setelah dilakukan penyeimbangan lini perakitan. Pada efisiensi lini terjadi peningkatan sebesar 30,98% untuk TRG 29 dan 24,27% untuk TRG 26. Dengan meningkatnya efisiensi lini maka akan terjadi penurunan *balance delay* untuk TRG 29 sebesar 30,98% dan 24,27% untuk TRG 26. Terjadi penurunan nilai *smoothing index* sebesar 23,13 untuk TRG 29 dan 13,49 untuk TRG 26.

Peningkatan performansi lini perakitan yang cukup signifikan terjadi karena terdapat pengurangan atau optimalisasi stasiun kerja terutama pada stasiun kerja *quality control* dan *packing*. Pada lini perakitan saat pengamatan dilakukan sering terjadi penumpukkan *part* pada terminal komponen siap rakit tetapi belum lengkap seluruh komponen utama yang dibutuhkan sehingga tidak dapat dirakit di stasiun kerja *assembly* hal itu dikarenakan terdapat komponen utama yang belum selesai dikerjakan pada stasiun kerja – stasiun kerja sebelumnya sehingga pada saat seluruh komponen utama selesai dikerjakan secara keseluruhan, jumlah komponen yang harus dirakit pada departemen kerja *assembly* sangatlah banyak. Hal itu memaksa penggunaan stasiun kerja *quality control* dan *packing* dalam jumlah yang besar pula. Hal tersebut juga mengakibatkan waktu menganggur yang cukup tinggi. Terjadinya penumpukkan komponen utama yang biasanya terjadi pada *part* dengan proses pengerjaan yang cukup cepat, hal itu diakibatkan pembagian beban kerja yang tidak seimbang pada setiap stasiun kerjanya.

Peningkatan waktu siklus sebanyak 1,3 menit pada penyeimbangan lini tersebut berdampak pada bertambahnya kapasitas produksi sebanyak 5 unit dari 41 unit menjadi 46 unit dalam rata – rata waktu kerja efektif dalam satu minggu yaitu 7.8 jam.

## 5.6 Usulan Tata Letak Lini Perakitan

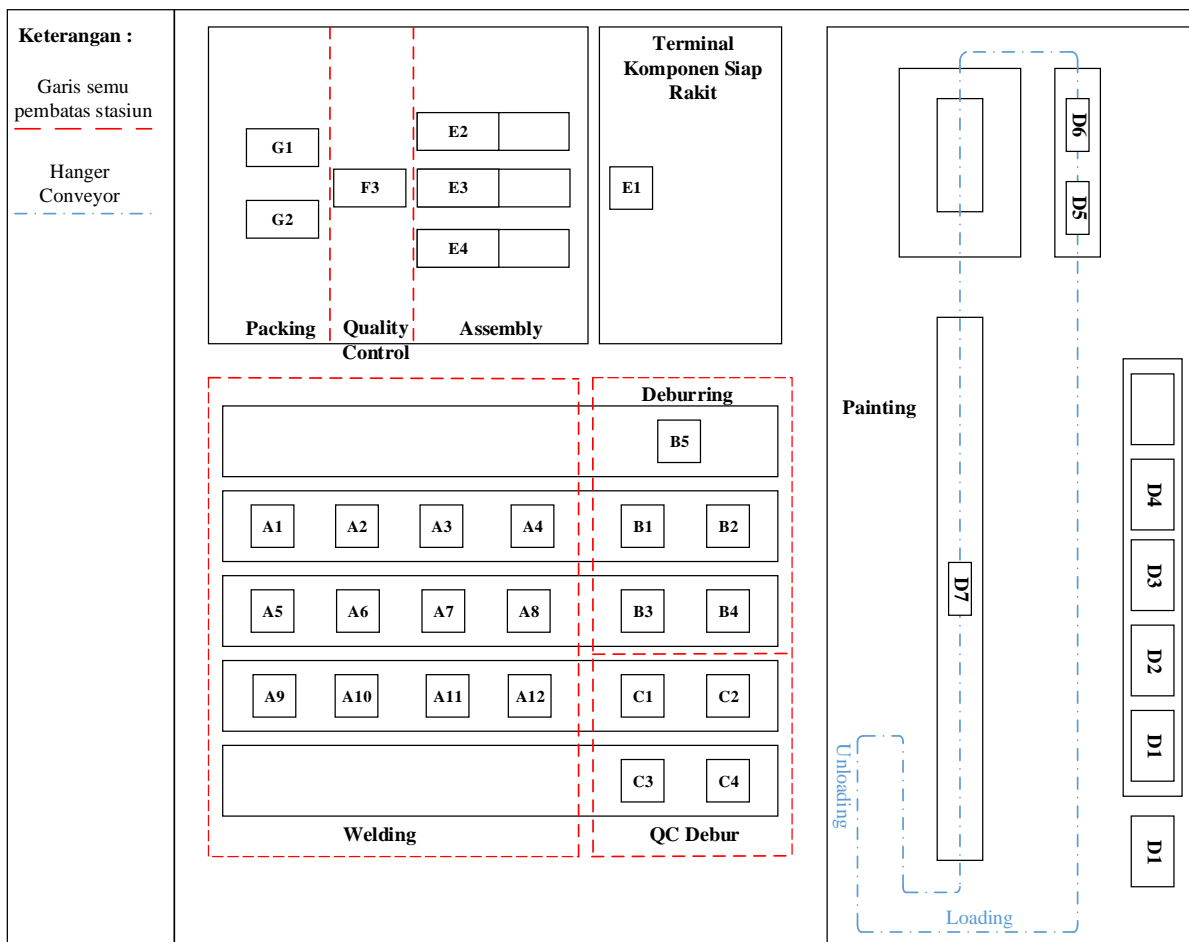
Optimalisasi stasiun kerja pada lini perakitan ranjang pasien TRG 26 dan TRG 29 menggunakan penyeimbangan lini perakitan dengan model matematik dapat dilihat pada Tabel 5.4.

Tabel 5.4 Hasil Optimalisasi Stasiun Kerja

Departemen Kerja	No. Stasiun Kerja	Jumlah
<i>Welding</i>	A1 – A12	12
<i>Deburing</i>	B1 – B5	5
	C1 – C4	4
<i>Painting</i>	D1 – D7	7
<i>Assembly</i>	E1 – E4	4
<i>Quality Control</i>	F1	1
<i>Packing</i>	G1 – G2	2



Dari tabel diatas dapat diketahui bahwa terjadi penurunan jumlah stasiun kerja sebesar 11 stasiun kerja dari 46 stasiun kerja menjadi 35 stasiun kerja. Terjadi penurunan pada stasiun kerja pada stasiun kerja *welding*, *assembly*, *quality control*, dan *packing* yang secara berturut – turut sebesar 6, 1, 3, dan 2 stasiun kerja. Terjadi penambahan satu stasiun kerja pada stasiun kerja *deburring* hal itu diperlukan untuk meningkatkan waktu siklus lini perakitan sehingga dapat meningkatkan kapasitas produksi. Setelah diketahui jumlah stasiun kerja yang optimal maka terdapat usulan tata letak yang terdapat pada Gambar 5.1.



Gambar 5.1 Tata letak lini perakitan usulan

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 Kesimpulan

1. Setelah dilakukan penyeimbangan lini dengan pendekatan matematik terjadi peningkatan efisiensi lini pada kedua model lini perakitan. Pada lini perakitan TRG 29 terjadi peningkatan efisiensi lini sebesar 30,98%. Sedangkan pada lini perakitan TRG 26 terjadi peningkatan efisiensi lini sebesar 24,27% dari lini perakitan pada kondisi aktual.
2. Lini perakitan saat ini memiliki waktu siklus sebesar 11,3 menit dengan jumlah stasiun kerja yang digunakan untuk setiap model lini perakitan TRG 26 dan TRG 29 yaitu sebesar 46 stasiun kerja. Hasil dari penyeimbangan lini menghasilkan waktu siklus yang lebih cepat yaitu sebesar 10 menit dengan jumlah stasiun kerja yang dibutuhkan untuk kedua model lini perakitan lebih sedikit daripada lini perakitan saat ini yaitu sebesar 35 stasiun kerja.

#### 6.2 Saran

Beberapa saran yang dapat digunakan untuk penelitian *assembly line balancing* berikut yang dirangkum berdasarkan hasil penelitian ini yaitu sebagai berikut.

1. Untuk penelitian berikutnya dalam penerapan model matematik dapat ditambahkan *constraint resource* atau kendala sumber daya bahan baku pada lini perakitan jika lini perakitan tersebut menggunakan lebih dari satu jenis material dalam pengerjaan produknya.

2. Pada penelitian berikutnya dapat melakukan pengukuran fleksibilitas elemen – elemen kerja yang ada pada setiap stasiun kerja sehingga dapat diketahui sejauh mana suatu elemen kerja dapat disederhana dengan meninjau masing - masing metode kerjanya agar didapatkan hasil yang lebih optimal.
3. Pada penelitian ini tidak memperhitungkan waktu maupun jarak perpindahan material antara satu stasiun kerja dengan elemen kerja lainnya, maka dari itu pada penelitian berikutnya dapat memperhitungkan faktor tersebut sehingga perancangan tata letak yang akan dirancangan akan lebih akurat untuk diterapkan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Agpak, K., & Gokcenb, H. 2005. Assembly line balancing: Two resource constrained cases. *Int. J. Production Economics*, 96, 129-140.
- Ashmore, C. 2001. Kaizen and The Art of Motorcycle Manufacture. *Engineering Management Journal*, 11.
- Azizoglu, M., & Imat, S. 2018. Workload smoothing in simple assembly line balancing. *Computers and Operations Research*, 89, 51-57.
- Azwir, H. H., & Pratomo, H. W. 2017. Implementasi Line Balancing untuk Peningkatan Efisiensi di Line Welding Studi Kasus: PT X. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 6, 57-64.
- Babu, V. R. 2009. *Industrial Engineering in Apparel Production*. India: Woodhead Publishing.
- Barnes, R. M. 1980. *Motion and Time Study. Design and Measurement of Work*. Singapore: John Wiley & Sons.
- Canh, T. M., Chau, L. T. D., Ngan, D. K., Binh, H., Oanh, S., Thoa, P. T. N., & Thac, T. C. 2013. An application of simulation in line balancing: A case study in Whittier woods furniture Vietnam company. *Proceedings of the 13th International Conference on Industrial Systems Engineering & Logistics (ICISEL'13)*.
- Canh, T. M., Ngan, D. K., Loc, N. H., & Hien, D. N. 2013. Application of lean line balancing for Oral plant of Unilever Vietnam, Proceedings of the 13th International Conference on Industrial Systems Engineering & Logistics (ICISEL'13).
- Elsayed, E. A., & Boucher, T. O. 1994. *Analysis and Control of Production Systems* (2 ed.). New Jersey: Prentice Hall.
- Fardiansyah, I., & Widodo, T. 2018. Peningkatan Produktivitas Menggunakan Metode Line Balancing Pada Proses Pengemasan di PT.XYZ. *Journal Industrial Manufacturing*, 3, 57-63.
- Fernando, R. 2008. Analisis Efisiensi Proses dan Tenaga Kerja di Lini Quality Gate Pada PT. Toyota Motor Manufacturing Indonesia.
- Gokcen, H., & Erel, E. 1998. A Binary Integer Formulation For Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem. *Computers & Industrial Engineering*, 34, 451-461.
- Henry, E. 2011. Analisa Peningkatan Kapasitas Produksi Pada Line Assembling Transmisi PT. X dengan Metode Line Balancing.
- Lam, L. N. Q., Hien, D. N., Ki-Chan, N., & An. 2012. Implementation of Lean Technology in an in-Plant Manufacturing System, a Furniture Company. *Applied Mechanics and Materials*, 110-116, 4799-4807.
- Li, M., Tang, Q., Zheng, Q., Xia, X., & Floudas, C. A. 2017. Rules-Based Heuristic Approach For The U-Shaped Assembly Line Balancing Problem. *Applied Mathematical Modelling*, 48, 423-439.
- Niebel, B. W., & Freivalds, A. 2003. *Methods, Standards, and Work Design* (Vol. 11th): McGrawHill.
- Parvez, M., Amin, F., & Akter, F. 2017. Line Balancing Techniques To Improve Productivity Using Work Sharing Method. *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 7(3), 7-14.
- Purnamasari, I., & Cahyana, A. S. 2015. Line Balancing Dengan Metode Ranked Position Weight (RPW). *Spektrum Industri*, 13, 115-128.
- Purnomo, H. 2004. *Pengantar Teknik Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Raj, V., Mathew, J., Jose, P., & Sivan, G. 2016. Optimization of Cycle Time in an Assembly Line Balancing Problem. *Procedia Technology*, 25, 1146-1153.
- Saiful, Mulyadi, & Rahman, T. M. 2014. Penyeimbangan Lintasan Produksi dengan Metode Heuristik (Studi Kasus PT XYZ MAKASSAR). *Jurnal Teknik Industri*, 15, 183-190.
- Setyanda, R. 2013. Perbaikan Metode Kerja Berdasarkan Micromotion Study dan Metode 5S Untuk Menyeimbangkan Lintasan Produksi *Jurnal Rekayasa*, 1.
- Sutalaksana, I. Z., Anggawisastra, R., & Tjakraatmadja, J. H. 1979. *Teknik Tata Cara Kerja*: Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Bandung.
- Usubamatov, R., Riza, A. R., & Murad, M. N. 2013. A Method For Assessing Productivity In Unbuffered Assembly Processes. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 24, 123-139.
- WaldemarGrzechca. 2014. Assembly Line Balancing Problem with Reduced Number of Workstations. *The International Federation of Automatic Control*, 6180-6185.

## LAMPIRAN

Tabel 6.1 Waktu hasil observasi

No. Elemen Kerja	Waktu Hasil Observasi (Menit)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	6.51	6.42	6.27	6.23	6.35	6.29	6.52	6.36	6.69	6.54	6.57	6.24	6.54	6.48	6.28
2	7.18	7.00	7.40	7.39	7.03	7.33	7.00	7.43	7.33	7.19	7.03	7.45	7.32	7.09	7.06
3	3.01	2.25	3.02	2.34	3.06	2.89	2.92	2.17	3.12	2.58	2.31	2.56	2.42	2.89	2.26
4	2.33	2.17	2.53	2.28	2.50	2.13	2.52	2.57	2.45	2.55	2.20	2.42	2.15	2.50	2.18
5	5.12	5.50	5.34	5.24	5.44	5.14	5.31	5.32	5.25	5.35	5.13	5.35	5.42	5.40	5.44
6	3.34	3.09	3.04	3.08	3.23	3.47	3.00	3.34	3.09	3.11	3.20	3.03	3.32	3.50	3.39
7	3.10	3.35	3.23	3.42	3.16	3.40	3.03	3.31	3.05	3.19	3.20	3.06	3.36	3.04	3.18
8	4.03	4.62	4.55	4.30	4.82	4.48	4.89	4.62	4.61	4.64	4.95	4.75	4.30	4.13	4.90
9	6.70	6.33	6.32	6.04	6.11	6.17	6.19	6.05	6.12	6.84	6.49	6.16	6.44	6.83	6.18
10	3.45	3.47	3.26	3.36	3.03	3.12	3.09	3.21	3.43	3.41	3.38	3.00	3.14	3.01	3.30
11	3.16	3.32	3.40	3.35	3.29	3.48	3.24	3.02	3.09	3.43	3.45	3.19	3.36	3.25	3.22
12	6.53	6.15	6.47	6.26	6.32	6.72	6.52	6.89	6.89	6.03	6.22	6.05	6.49	6.49	6.06
13	3.28	3.06	3.34	3.29	3.27	3.37	3.41	3.19	3.06	3.04	3.50	3.10	3.41	3.49	3.13
14	2.23	2.31	2.79	2.96	2.41	2.41	2.84	2.79	2.42	2.75	2.82	2.45	2.36	2.74	2.98
15	5.75	5.98	6.02	5.97	6.03	6.18	5.80	6.08	5.93	5.82	5.97	6.17	6.10	6.00	5.80
16	3.62	3.24	3.24	3.80	3.65	3.79	3.63	3.26	3.67	3.37	3.91	3.82	3.86	3.16	3.93
17	3.63	3.45	3.65	3.60	3.75	3.62	3.53	3.80	3.45	3.47	3.73	3.83	3.58	3.63	3.75
18	4.21	4.04	3.78	3.59	4.46	4.48	4.42	3.83	3.88	3.65	4.19	3.61	3.51	3.53	3.95
19	3.72	3.59	3.55	3.43	3.21	3.46	3.63	3.42	3.45	3.70	3.23	3.20	3.33	3.26	3.11
20	4.01	3.87	4.26	3.92	3.84	4.05	4.00	3.80	4.09	3.91	3.88	4.23	4.21	4.00	3.95
21	3.38	3.25	3.13	3.27	3.12	3.39	3.74	3.34	3.86	3.46	3.28	3.67	3.58	3.26	3.00
22	4.05	4.51	4.63	4.63	4.33	4.83	4.33	4.24	4.61	4.49	4.41	4.83	4.93	4.30	4.94
23	4.04	3.85	3.88	3.72	3.77	3.99	3.83	4.19	4.41	4.29	4.19	4.10	3.66	4.04	3.82
24	4.16	4.40	4.26	4.03	4.01	3.89	4.44	3.57	3.55	4.22	4.38	4.31	3.51	3.95	4.30
25	3.24	3.74	3.88	3.26	3.36	3.55	3.87	3.90	3.34	3.24	3.36	3.92	3.57	3.89	3.31
26	1.73	1.89	1.80	1.94	1.57	1.80	1.60	1.70	1.51	1.91	1.85	1.61	1.93	1.76	1.95
27	1.76	1.85	1.85	1.67	1.74	1.61	1.85	1.91	1.76	1.76	1.56	1.80	1.54	1.66	1.77
28	2.71	2.55	2.58	2.58	2.48	2.60	2.59	2.29	2.60	2.10	2.63	2.25	2.43	2.13	2.15
29	3.25	3.67	3.20	3.57	3.07	3.23	3.56	3.27	3.00	3.08	3.38	3.36	3.31	3.24	3.30
30	3.22	3.34	3.00	3.65	3.41	3.39	3.31	3.06	3.12	3.42	3.11	3.67	3.43	3.48	3.18
31	2.25	2.35	2.43	2.35	2.56	2.27	2.21	2.58	2.20	2.50	2.23	2.18	2.09	2.15	2.24
32	2.28	2.42	2.46	2.03	2.27	2.02	2.10	2.34	2.29	2.01	2.00	2.37	2.44	2.49	2.46
33	2.81	2.97	2.59	2.13	2.04	2.01	2.84	2.99	2.48	2.66	2.70	2.08	2.31	2.72	2.68
34	1.36	1.41	1.78	1.94	1.46	1.88	1.43	1.81	1.39	1.36	1.86	1.89	1.73	1.54	1.46
35	1.92	1.72	1.95	1.56	1.74	1.82	1.86	1.85	1.38	1.53	1.51	1.72	1.39	1.60	1.79

No. Elemen Kerja	Waktu Hasil Observasi (Menit)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
36	2.64	2.55	2.56	2.82	2.78	2.54	2.52	2.72	2.67	2.80	2.72	3.05	2.91	2.95	3.02
37	2.41	2.13	2.40	2.28	2.18	2.01	2.33	1.93	1.91	1.97	2.27	2.01	2.30	1.96	2.30
38	2.60	2.82	2.51	2.78	2.96	2.82	2.68	2.99	2.64	2.71	2.54	2.75	3.06	3.01	2.79
39	2.11	2.07	2.46	2.14	2.13	2.44	2.18	2.37	2.44	2.36	2.09	2.49	2.47	2.03	2.28
40	4.20	3.24	4.26	4.12	4.44	3.70	4.25	4.28	3.53	3.11	4.29	4.87	3.95	4.12	3.44
41	0.80	0.85	1.05	0.98	1.07	1.05	0.74	0.72	0.90	0.86	0.79	0.71	0.80	0.73	0.81
42	0.70	1.19	0.83	0.92	0.87	1.05	0.81	0.87	0.73	1.14	0.71	0.92	0.87	1.04	1.01
43	0.57	0.76	0.59	0.80	0.75	0.95	0.74	0.76	0.71	0.74	0.88	0.50	0.51	0.65	0.82
44	4.10	4.19	4.66	4.17	3.52	3.49	4.48	4.79	4.69	3.26	3.54	4.92	4.92	3.44	3.10
45	4.34	4.40	4.44	3.88	4.12	4.61	3.92	4.47	4.05	4.16	4.41	3.87	4.39	4.80	4.32
46	0.55	0.99	0.90	0.88	0.62	0.89	0.92	0.72	0.89	0.59	0.59	0.82	0.52	0.80	0.60
47	0.54	0.80	0.98	1.00	0.73	0.70	0.59	0.82	0.57	0.53	0.65	0.70	0.70	1.00	0.53
48	0.73	1.33	0.68	1.12	1.31	0.88	0.85	1.39	0.92	1.22	1.13	1.35	1.24	1.39	1.47
49	0.95	0.61	0.83	1.09	0.69	0.55	0.67	1.26	1.27	0.88	1.22	1.10	0.78	1.28	0.61
50	1.02	1.01	1.22	0.96	1.24	1.09	1.17	1.25	1.03	0.95	1.17	0.97	0.96	0.95	1.23
51	0.82	0.99	1.47	0.90	0.88	1.44	1.10	1.44	1.22	1.29	1.19	1.09	1.19	0.97	1.31
52	2.60	2.32	2.07	2.45	2.33	2.42	2.63	2.72	2.34	2.41	2.21	2.44	2.10	2.35	2.48
53	3.23	3.59	3.76	3.29	3.86	3.23	3.70	3.51	3.85	3.49	3.93	3.56	3.97	3.01	2.93
54	3.23	3.11	3.40	3.10	3.55	3.60	3.58	3.35	2.88	3.50	3.31	2.98	3.24	3.12	3.58
55	1.55	1.41	1.47	1.46	1.26	1.62	1.44	1.26	1.35	1.33	1.47	1.50	1.32	1.51	1.63
56	7.42	7.14	7.44	7.20	6.56	7.45	6.71	7.28	6.87	6.87	7.13	7.18	6.74	7.13	6.64
57	5.19	5.48	5.32	5.39	5.30	5.36	5.52	5.56	5.37	5.44	5.26	5.14	5.29	5.34	5.41
58	5.07	5.08	5.22	5.49	5.44	5.33	5.50	5.11	5.37	5.22	5.34	5.24	5.23	5.16	5.05
59	1.58	1.72	2.00	1.70	1.84	1.56	1.51	1.95	1.69	1.87	1.96	1.86	1.92	1.52	1.98
60	1.15	1.12	1.16	1.07	1.01	1.03	1.08	1.08	1.18	1.12	1.02	1.14	1.08	1.13	1.14
61	0.75	0.74	0.74	0.71	0.74	0.72	0.70	0.72	0.74	0.71	0.73	0.73	0.72	0.71	0.72
62	0.75	0.72	0.73	0.71	0.75	0.70	0.73	0.71	0.73	0.72	0.75	0.72	0.71	0.74	0.73
63	0.97	0.94	0.90	0.93	0.91	0.92	0.90	0.97	0.95	0.95	0.90	0.92	0.96	0.93	0.95
64	2.30	2.13	2.24	2.10	2.15	2.22	2.21	2.30	2.27	2.21	2.12	2.12	2.17	2.13	2.11
65	0.63	0.64	0.64	0.62	0.65	0.65	0.65	0.64	0.61	0.64	0.61	0.61	0.63	0.65	0.63
66	0.17	0.16	0.17	0.16	0.12	0.14	0.14	0.14	0.15	0.13	0.14	0.17	0.14	0.14	0.14
67	0.17	0.15	0.17	0.15	0.14	0.13	0.13	0.14	0.14	0.15	0.12	0.13	0.12	0.15	0.13
68	0.32	0.31	0.31	0.34	0.34	0.34	0.33	0.33	0.34	0.33	0.33	0.32	0.34	0.31	0.30
69	0.32	0.31	0.32	0.31	0.32	0.34	0.32	0.33	0.33	0.34	0.35	0.33	0.35	0.31	0.31
70	0.20	0.24	0.23	0.24	0.21	0.23	0.20	0.21	0.20	0.20	0.22	0.23	0.21	0.23	0.21
71	0.08	0.08	0.07	0.08	0.06	0.07	0.08	0.07	0.08	0.06	0.09	0.08	0.07	0.09	0.06
72	0.22	0.23	0.21	0.22	0.24	0.22	0.21	0.20	0.20	0.24	0.20	0.23	0.22	0.24	0.23
73	1.20	1.81	1.68	1.40	1.80	1.10	1.48	1.62	1.09	1.99	1.12	1.68	1.19	1.01	1.70
74	1.30	1.04	1.17	1.90	1.48	1.30	1.92	1.87	1.54	1.23	1.19	1.00	1.85	1.94	1.16

No. Elemen Kerja	Waktu Hasil Observasi (Menit)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
75	1.10	1.20	1.11	1.82	1.60	1.18	1.77	1.10	1.52	1.05	1.52	1.16	1.69	1.99	1.32
76	0.74	0.71	0.74	0.72	0.61	0.64	0.63	0.65	0.68	0.75	0.75	0.74	0.67	0.71	0.63
77	0.61	0.69	0.64	0.72	0.63	0.63	0.62	0.69	0.68	0.70	0.71	0.63	0.70	0.68	0.61
78	0.68	0.71	0.70	0.69	0.68	0.64	0.63	0.68	0.66	0.63	0.74	0.71	0.71	0.68	0.65
79	0.70	0.73	0.71	0.67	0.73	0.67	0.74	0.73	0.69	0.65	0.70	0.66	0.63	0.62	0.62
80	0.68	0.73	0.73	0.72	0.66	0.73	0.68	0.60	0.63	0.64	0.67	0.63	0.75	0.63	0.75
81	0.70	0.66	0.70	0.63	0.73	0.62	0.61	0.72	0.72	0.73	0.67	0.64	0.72	0.62	0.62
82	0.71	0.74	0.72	0.75	0.66	0.62	0.61	0.73	0.65	0.71	0.68	0.66	0.68	0.64	0.70
83	0.65	0.71	0.68	0.62	0.69	0.75	0.69	0.71	0.62	0.67	0.67	0.74	0.63	0.74	0.61
84	0.61	0.75	0.64	0.65	0.72	0.66	0.71	0.66	0.61	0.61	0.68	0.69	0.71	0.72	0.68
85	0.71	0.63	0.70	0.65	0.64	0.61	0.67	0.70	0.65	0.63	0.72	0.71	0.70	0.62	0.65
86	0.69	0.62	0.65	0.61	0.61	0.65	0.74	0.74	0.69	0.74	0.62	0.66	0.67	0.61	0.65
87	0.68	0.70	0.73	0.63	0.61	0.72	0.72	0.75	0.72	0.67	0.69	0.66	0.66	0.65	0.66
88	0.70	0.62	0.73	0.68	0.70	0.68	0.68	0.74	0.64	0.65	0.70	0.67	0.72	0.74	0.68
89	0.60	0.62	0.64	0.71	0.66	0.63	0.68	0.69	0.68	0.73	0.62	0.74	0.69	0.66	0.60
90	1.22	1.28	1.17	1.13	1.00	1.13	1.26	1.05	1.21	1.13	1.01	1.22	1.09	1.28	1.12
91	0.54	0.88	0.65	0.69	0.68	0.77	0.64	0.66	0.71	0.67	0.64	0.60	0.86	0.82	0.89
92	0.63	0.64	0.55	0.67	0.54	0.82	0.51	0.65	0.82	0.89	0.63	0.76	0.72	0.57	0.71
93	0.67	0.73	0.83	0.73	0.78	0.98	0.82	0.68	0.80	0.97	0.61	0.84	0.86	0.64	0.68
94	1.52	1.92	1.79	1.55	1.81	1.66	1.75	1.66	1.71	1.85	1.81	1.82	1.73	1.74	1.85
95	0.98	0.83	1.37	0.88	0.90	1.74	0.85	1.19	0.81	1.53	1.58	1.70	0.96	1.18	1.43
96	1.27	1.24	1.69	1.92	1.80	1.10	1.33	1.46	1.98	1.64	1.53	1.23	1.91	1.75	1.77
97	0.76	0.92	0.99	1.13	0.77	0.69	1.28	1.24	0.70	1.19	0.86	0.69	1.19	1.11	0.66
98	2.07	2.02	2.17	2.20	2.22	2.04	2.09	2.21	2.07	2.09	2.11	2.06	2.25	2.01	2.17
99	0.65	1.00	0.72	0.74	0.99	0.66	1.01	0.76	0.72	0.95	0.67	0.86	0.86	1.03	0.69
100	0.58	0.84	0.64	0.63	0.99	0.90	0.70	0.69	0.91	0.78	0.92	0.51	0.52	0.59	0.57
101	0.99	0.94	0.76	0.99	0.94	1.00	0.99	0.83	0.76	0.76	0.93	0.90	0.95	0.78	0.80
102	1.41	1.24	1.49	1.34	1.47	1.30	1.24	1.44	1.45	1.41	1.45	1.41	1.38	1.37	1.26
103	0.81	0.93	0.85	0.90	0.90	0.85	0.90	0.96	1.00	0.99	0.77	0.92	0.75	0.91	0.82
104	0.92	0.87	1.00	0.94	0.91	0.99	0.89	0.84	1.00	0.97	0.88	0.90	0.80	0.98	0.88
105	0.68	1.41	1.14	1.10	1.26	1.51	1.57	0.91	1.43	1.48	1.57	0.99	0.96	1.35	1.36
106	1.10	1.94	1.88	1.54	1.74	1.33	1.43	1.08	1.48	1.16	1.67	1.93	1.65	1.95	1.92
107	0.53	0.74	0.97	0.56	0.53	1.08	0.67	0.69	0.87	0.90	0.99	0.97	0.77	0.56	0.98
108	0.61	0.64	0.95	0.88	0.59	0.85	1.01	0.85	0.68	0.55	0.51	0.67	0.51	0.84	0.52
109	0.68	0.98	0.92	0.85	0.84	0.80	0.63	0.96	1.07	1.02	0.91	1.01	0.96	0.73	0.81
110	7.75	7.87	7.95	7.85	7.48	7.66	7.71	7.56	7.72	7.74	7.46	7.61	7.53	7.50	7.72
111	2.06	2.24	1.88	2.27	2.14	2.20	2.02	2.34	2.14	1.85	1.90	2.15	1.84	2.21	2.26
112	1.02	1.08	1.07	1.08	1.12	1.12	1.08	1.14	1.04	1.05	1.10	1.13	1.01	1.01	1.10
113	0.62	0.58	0.60	0.59	0.72	0.60	0.67	0.53	0.55	0.71	0.67	0.58	0.58	0.68	0.54



No. Elemen Kerja	Waktu Hasil Observasi (Menit)														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
114	0.53	0.50	0.43	0.43	0.50	0.50	0.48	0.44	0.55	0.43	0.43	0.42	0.54	0.42	0.46
115	0.73	0.84	0.70	0.76	0.75	0.81	0.72	0.72	0.76	0.80	0.85	0.77	0.76	0.78	0.70
116	2.05	1.95	2.12	1.98	2.06	1.99	2.09	1.99	2.06	2.00	2.06	1.91	2.08	2.07	2.14
117	0.60	0.53	0.55	0.64	0.51	0.58	0.65	0.55	0.50	0.51	0.62	0.59	0.59	0.55	0.59
118	0.56	0.53	0.61	0.51	0.61	0.54	0.51	0.64	0.62	0.57	0.64	0.53	0.63	0.55	0.63
119	0.55	0.65	0.62	0.57	0.52	0.55	0.59	0.56	0.64	0.57	0.60	0.61	0.62	0.62	0.50
120	1.19	1.28	1.29	1.37	1.36	1.21	1.39	1.19	1.24	1.30	1.24	1.23	1.36	1.22	1.29
121	0.63	0.60	0.61	0.62	0.64	0.51	0.56	0.58	0.59	0.57	0.60	0.55	0.59	0.54	0.51
122	0.42	0.42	0.46	0.45	0.46	0.38	0.50	0.37	0.38	0.40	0.49	0.42	0.37	0.47	0.37
123	0.82	0.90	0.83	0.93	0.87	0.84	0.84	0.84	0.84	0.92	0.84	0.87	0.88	0.80	0.90
124	1.20	1.07	1.24	1.07	1.22	1.03	1.08	1.07	1.11	1.11	1.11	1.09	1.08	1.21	1.10
125	1.24	1.22	1.12	1.22	1.21	1.23	1.15	1.12	1.23	1.09	1.21	1.03	1.19	1.02	1.05

Tabel 6.2 Hasil uji kecukupan dan uji keseragaman data

No. Elemen Kerja	$\bar{X}$	MAX	MIN	$\sigma$	BKA	BKB	Hasil Uji Keseragaman	$\sum X$	$\sum X^2$	N'	Hasil Uji Kecukupan
1	6.42	6.69	6.23	0.14	6.70	6.14	SERAGAM	96.30	618.53	0.85	CUKUP
2	7.22	7.45	7.00	0.17	7.56	6.88	SERAGAM	108.24	781.51	0.91	CUKUP
3	2.65	3.12	2.17	0.35	3.34	1.96	SERAGAM	39.79	107.23	5.03	CUKUP
4	2.37	2.57	2.13	0.16	2.69	2.04	SERAGAM	35.48	84.32	2.69	CUKUP
5	5.32	5.50	5.13	0.12	5.56	5.08	SERAGAM	79.77	424.38	0.87	CUKUP
6	3.22	3.50	3.00	0.17	3.55	2.88	SERAGAM	48.25	155.62	2.00	CUKUP
7	3.20	3.42	3.03	0.14	3.48	2.93	SERAGAM	48.06	154.27	1.64	CUKUP
8	4.57	4.95	4.13	0.28	5.13	4.01	SERAGAM	68.58	314.68	2.37	CUKUP
9	6.33	6.84	6.04	0.27	6.87	5.79	SERAGAM	94.96	602.25	1.66	CUKUP
10	3.24	3.47	3.00	0.17	3.58	2.90	SERAGAM	48.65	158.19	2.02	CUKUP
11	3.28	3.48	3.02	0.13	3.55	3.02	SERAGAM	49.25	161.97	1.58	CUKUP
12	6.41	6.89	6.03	0.28	6.97	5.84	SERAGAM	96.09	616.62	1.71	CUKUP
13	3.26	3.50	3.04	0.16	3.58	2.95	SERAGAM	48.94	160.04	1.86	CUKUP
14	2.62	2.98	2.31	0.25	3.12	2.11	SERAGAM	39.27	103.68	3.74	CUKUP
15	5.97	6.18	5.80	0.13	6.24	5.70	SERAGAM	89.60	535.46	0.87	CUKUP
16	3.60	3.93	3.16	0.27	4.14	3.06	SERAGAM	53.95	195.05	2.90	CUKUP
17	3.63	3.83	3.45	0.12	3.88	3.38	SERAGAM	54.48	198.11	1.32	CUKUP
18	3.94	4.48	3.51	0.34	4.63	3.25	SERAGAM	59.13	234.72	3.37	CUKUP
19	3.42	3.72	3.11	0.19	3.81	3.03	SERAGAM	51.30	175.94	2.19	CUKUP
20	4.00	4.26	3.80	0.14	4.29	3.71	SERAGAM	60.02	240.46	1.39	CUKUP

No. Elemen Kerja	$\bar{X}$	MAX	MIN	$\sigma$	BKA	BKB	Hasil Uji Keseragaman	$\sum X$	$\sum X^2$	N'	Hasil Uji Kecukupan
21	3.38	3.86	3.00	0.24	3.87	2.90	SERAGAM	50.75	172.52	2.76	CUKUP
22	4.54	4.94	4.24	0.27	5.07	4.01	SERAGAM	68.05	309.73	2.26	CUKUP
23	3.99	4.41	3.66	0.22	4.43	3.54	SERAGAM	59.79	239.00	2.14	CUKUP
24	4.07	4.44	3.51	0.32	4.70	3.43	SERAGAM	60.98	249.31	3.00	CUKUP
25	3.56	3.92	3.24	0.28	4.12	3.01	SERAGAM	53.44	191.48	3.02	CUKUP
26	1.77	1.95	1.51	0.15	2.06	1.48	SERAGAM	26.53	47.23	3.17	CUKUP
27	1.74	1.91	1.54	0.11	1.96	1.52	SERAGAM	26.09	45.56	2.45	CUKUP
28	2.45	2.71	2.10	0.21	2.86	2.03	SERAGAM	36.68	90.30	3.26	CUKUP
29	3.30	3.67	3.00	0.19	3.68	2.92	SERAGAM	49.49	163.79	2.23	CUKUP
30	3.32	3.67	3.00	0.20	3.72	2.92	SERAGAM	49.81	165.95	2.35	CUKUP
31	2.31	2.58	2.09	0.15	2.61	2.00	SERAGAM	34.59	80.10	2.54	CUKUP
32	2.26	2.49	2.00	0.18	2.63	1.90	SERAGAM	33.96	77.37	3.14	CUKUP
33	2.53	2.99	2.01	0.34	3.21	1.85	SERAGAM	38.00	97.89	5.19	CUKUP
34	1.62	1.94	1.36	0.22	2.07	1.17	SERAGAM	24.29	40.03	5.32	CUKUP
35	1.69	1.95	1.38	0.18	2.06	1.32	SERAGAM	25.36	43.34	4.23	CUKUP
36	2.75	3.05	2.52	0.17	3.10	2.40	SERAGAM	41.24	113.81	2.46	CUKUP
37	2.16	2.41	1.91	0.18	2.52	1.80	SERAGAM	32.41	70.47	3.24	CUKUP
38	2.78	3.06	2.51	0.17	3.12	2.44	SERAGAM	41.67	116.18	2.38	CUKUP
39	2.27	2.49	2.03	0.17	2.61	1.93	SERAGAM	34.06	77.75	2.90	CUKUP
40	3.99	4.87	3.11	0.48	4.96	3.02	SERAGAM	59.80	241.71	4.70	CUKUP
41	0.86	1.07	0.71	0.13	1.11	0.60	SERAGAM	12.85	11.23	5.73	CUKUP
42	0.91	1.19	0.71	0.15	1.21	0.61	SERAGAM	13.66	12.75	6.41	CUKUP
43	0.72	0.95	0.50	0.13	0.98	0.46	SERAGAM	10.73	7.91	7.02	CUKUP
44	4.08	4.92	3.10	0.64	5.37	2.80	SERAGAM	61.26	256.01	6.09	CUKUP
45	4.28	4.80	3.87	0.27	4.83	3.73	SERAGAM	64.19	275.73	2.47	CUKUP
46	0.75	0.99	0.52	0.16	1.07	0.43	SERAGAM	11.27	8.82	8.19	CUKUP
47	0.72	1.00	0.53	0.17	1.06	0.39	SERAGAM	10.84	8.23	8.93	CUKUP
48	1.13	1.47	0.68	0.26	1.65	0.62	SERAGAM	17.01	20.22	8.82	CUKUP
49	0.92	1.28	0.55	0.27	1.45	0.38	SERAGAM	13.77	13.64	11.24	CUKUP
50	1.08	1.25	0.95	0.12	1.32	0.84	SERAGAM	16.22	17.75	4.25	CUKUP
51	1.15	1.47	0.88	0.21	1.58	0.73	SERAGAM	17.31	20.60	7.12	CUKUP
52	2.39	2.72	2.07	0.18	2.75	2.03	SERAGAM	35.86	86.20	2.92	CUKUP
53	3.53	3.97	2.93	0.33	4.19	2.87	SERAGAM	52.93	188.30	3.61	CUKUP
54	3.30	3.60	2.88	0.23	3.77	2.84	SERAGAM	49.55	164.42	2.73	CUKUP
55	1.44	1.63	1.26	0.12	1.67	1.21	SERAGAM	21.58	31.24	3.11	CUKUP
56	7.05	7.45	6.56	0.30	7.65	6.45	SERAGAM	105.76	746.95	1.63	CUKUP
57	5.36	5.56	5.14	0.12	5.59	5.13	SERAGAM	80.36	430.71	0.84	CUKUP
58	5.26	5.50	5.05	0.15	5.56	4.95	SERAGAM	78.84	414.75	1.11	CUKUP
59	1.78	2.00	1.51	0.18	2.13	1.42	SERAGAM	26.66	47.84	3.87	CUKUP

No. Elemen Kerja	$\bar{X}$	MAX	MIN	$\sigma$	BKA	BKB	Hasil Uji Keseragaman	$\sum X$	$\sum X^2$	N'	Hasil Uji Kecukupan
60	1.10	1.18	1.01	0.05	1.20	1.00	SERAGAM	16.49	18.17	1.83	CUKUP
61	0.73	0.75	0.70	0.01	0.75	0.70	SERAGAM	10.89	7.91	0.76	CUKUP
62	0.73	0.75	0.70	0.01	0.76	0.70	SERAGAM	10.90	7.93	0.76	CUKUP
63	0.93	0.97	0.90	0.02	0.98	0.89	SERAGAM	14.00	13.07	0.99	CUKUP
64	2.19	2.30	2.10	0.07	2.32	2.05	SERAGAM	32.79	71.76	1.21	CUKUP
65	0.63	0.65	0.61	0.01	0.66	0.60	SERAGAM	9.48	6.00	0.84	CUKUP
66	0.15	0.17	0.12	0.01	0.18	0.12	SERAGAM	2.20	0.33	3.77	CUKUP
67	0.14	0.17	0.12	0.01	0.17	0.11	SERAGAM	2.11	0.30	4.08	CUKUP
68	0.33	0.34	0.30	0.01	0.35	0.30	SERAGAM	4.88	1.59	1.62	CUKUP
69	0.33	0.35	0.31	0.01	0.35	0.30	SERAGAM	4.89	1.60	1.66	CUKUP
70	0.22	0.24	0.20	0.01	0.25	0.19	SERAGAM	3.26	0.71	2.60	CUKUP
71	0.07	0.09	0.06	0.01	0.09	0.05	SERAGAM	1.12	0.09	5.14	CUKUP
72	0.22	0.24	0.20	0.01	0.25	0.19	SERAGAM	3.31	0.73	2.30	CUKUP
73	1.46	1.99	1.01	0.32	2.10	0.82	SERAGAM	21.88	33.35	8.49	CUKUP
74	1.46	1.94	1.00	0.35	2.15	0.76	SERAGAM	21.87	33.57	9.22	CUKUP
75	1.41	1.99	1.05	0.31	2.03	0.79	SERAGAM	21.13	31.14	8.55	CUKUP
76	0.69	0.75	0.61	0.05	0.79	0.60	SERAGAM	10.39	7.23	2.72	CUKUP
77	0.66	0.72	0.61	0.04	0.74	0.58	SERAGAM	9.93	6.60	2.33	CUKUP
78	0.68	0.74	0.63	0.03	0.74	0.61	SERAGAM	10.17	6.91	1.82	CUKUP
79	0.68	0.74	0.62	0.04	0.77	0.60	SERAGAM	10.25	7.03	2.39	CUKUP
80	0.68	0.75	0.60	0.05	0.78	0.58	SERAGAM	10.22	6.99	2.80	CUKUP
81	0.67	0.73	0.61	0.05	0.77	0.58	SERAGAM	10.09	6.81	2.67	CUKUP
82	0.68	0.75	0.61	0.04	0.77	0.60	SERAGAM	10.26	7.05	2.52	CUKUP
83	0.68	0.75	0.61	0.05	0.77	0.59	SERAGAM	10.16	6.91	2.60	CUKUP
84	0.67	0.75	0.61	0.04	0.76	0.58	SERAGAM	10.10	6.82	2.54	CUKUP
85	0.67	0.72	0.61	0.04	0.74	0.59	SERAGAM	9.99	6.67	2.13	CUKUP
86	0.66	0.74	0.61	0.05	0.76	0.57	SERAGAM	9.93	6.61	2.82	CUKUP
87	0.68	0.75	0.61	0.04	0.76	0.60	SERAGAM	10.24	7.01	2.24	CUKUP
88	0.69	0.74	0.62	0.03	0.76	0.62	SERAGAM	10.33	7.12	1.94	CUKUP
89	0.66	0.74	0.60	0.04	0.75	0.57	SERAGAM	9.94	6.61	2.56	CUKUP
90	1.15	1.28	1.00	0.09	1.34	0.97	SERAGAM	17.32	20.11	3.11	CUKUP
91	0.71	0.89	0.60	0.11	0.93	0.50	SERAGAM	10.70	7.80	5.83	CUKUP
92	0.67	0.89	0.51	0.11	0.90	0.45	SERAGAM	10.12	7.00	6.46	CUKUP
93	0.77	0.98	0.61	0.11	1.00	0.55	SERAGAM	11.61	9.15	5.53	CUKUP
94	1.74	1.92	1.55	0.11	1.97	1.52	SERAGAM	26.16	45.79	2.46	CUKUP
95	1.20	1.74	0.81	0.34	1.87	0.52	SERAGAM	17.93	23.03	10.91	CUKUP
96	1.57	1.98	1.10	0.29	2.15	1.00	SERAGAM	23.62	38.36	7.09	CUKUP
97	0.95	1.28	0.66	0.23	1.40	0.49	SERAGAM	14.19	14.15	9.33	CUKUP
98	2.12	2.25	2.01	0.08	2.28	1.96	SERAGAM	31.79	67.44	1.43	CUKUP

No. Elemen Kerja	$\bar{X}$	MAX	MIN	$\sigma$	BKA	BKB	Hasil Uji Keseragaman	$\sum X$	$\sum X^2$	N'	Hasil Uji Kecukupan
99	0.82	1.03	0.66	0.14	1.10	0.54	SERAGAM	12.32	10.41	6.66	CUKUP
100	0.72	0.99	0.51	0.16	1.04	0.40	SERAGAM	10.76	8.08	8.62	CUKUP
101	0.89	1.00	0.76	0.09	1.08	0.70	SERAGAM	13.32	11.95	4.11	CUKUP
102	1.38	1.49	1.24	0.08	1.55	1.21	SERAGAM	20.67	28.57	2.36	CUKUP
103	0.88	1.00	0.75	0.07	1.03	0.73	SERAGAM	13.26	11.80	3.26	CUKUP
104	0.92	1.00	0.80	0.06	1.04	0.80	SERAGAM	13.77	12.69	2.53	CUKUP
105	1.25	1.57	0.91	0.27	1.79	0.71	SERAGAM	18.72	24.38	8.38	CUKUP
106	1.59	1.95	1.08	0.31	2.22	0.96	SERAGAM	23.81	39.17	7.66	CUKUP
107	0.79	1.08	0.53	0.19	1.17	0.41	SERAGAM	11.82	9.82	9.35	CUKUP
108	0.71	1.01	0.51	0.17	1.05	0.37	SERAGAM	10.65	7.97	9.30	CUKUP
109	0.88	1.07	0.63	0.13	1.14	0.62	SERAGAM	13.15	11.77	5.75	CUKUP
110	7.67	7.95	7.46	0.15	7.97	7.37	SERAGAM	115.09	883.40	0.75	CUKUP
111	2.10	2.34	1.84	0.17	2.43	1.77	SERAGAM	31.50	66.54	3.06	CUKUP
112	1.08	1.14	1.01	0.04	1.16	0.99	SERAGAM	16.14	17.40	1.57	CUKUP
113	0.61	0.72	0.53	0.06	0.74	0.49	SERAGAM	9.21	5.70	3.84	CUKUP
114	0.47	0.55	0.42	0.05	0.57	0.38	SERAGAM	7.08	3.37	3.81	CUKUP
115	0.77	0.85	0.70	0.05	0.86	0.67	SERAGAM	11.48	8.81	2.30	CUKUP
116	2.04	2.14	1.91	0.06	2.17	1.91	SERAGAM	30.55	62.27	1.23	CUKUP
117	0.57	0.65	0.50	0.05	0.67	0.48	SERAGAM	8.57	4.93	3.20	CUKUP
118	0.58	0.64	0.51	0.05	0.68	0.48	SERAGAM	8.68	5.05	3.27	CUKUP
119	0.58	0.65	0.50	0.04	0.67	0.50	SERAGAM	8.76	5.15	2.84	CUKUP
120	1.28	1.39	1.19	0.07	1.41	1.14	SERAGAM	19.15	24.51	2.08	CUKUP
121	0.58	0.64	0.51	0.04	0.66	0.50	SERAGAM	8.69	5.06	2.68	CUKUP
122	0.42	0.50	0.37	0.04	0.51	0.33	SERAGAM	6.34	2.71	4.09	CUKUP
123	0.86	0.93	0.80	0.04	0.93	0.78	SERAGAM	12.89	11.10	1.68	CUKUP
124	1.12	1.24	1.03	0.06	1.25	0.99	SERAGAM	16.79	18.84	2.24	CUKUP
125	1.16	1.24	1.02	0.08	1.31	1.00	SERAGAM	17.34	20.12	2.59	CUKUP

Tabel 6.3 Alokasi stasiun kerja pada produk TRG 29 kondisi aktual

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
A1	1	8.40	8.40	2.90
A2	2	9.16	9.16	2.14
A3	3	3.47	3.47	7.83
A4	4	3.09	3.09	8.21
A5	5	6.75	6.75	4.55
A6	10	4.12	4.12	7.18
A7	11	4.17	4.17	7.13
A8	12	8.38	8.38	2.92
A9	13	4.14	4.14	7.16
A10	14	3.32	3.32	7.98
A11	15	7.81	7.81	3.49
A12	16	4.70	9.46	1.84
	17	4.75		
A13	18	5.16	5.16	6.14
A14	19	4.34	9.42	1.88
	20	5.08		
A15	21	4.30	4.30	7.00
A16	22	5.76	5.76	5.54
A17	23	5.06	5.06	6.24
A18	24	5.32	5.32	5.98
B1	38	3.63	11.18	0.12
	32	2.96		
	26	2.31		
	27	2.28		
B2	28	3.20	10.44	0.86
	31	3.02		
	30	4.22		
B3	34	2.12	10.79	0.51
	35	2.21		
	36	3.60		
	37	2.86		
B4	33	3.31	10.94	0.36
	25	4.66		
	39	2.97		
C1	40	5.22	9.91	1.39
	41	1.09		
	42	1.19		
	43	0.94		
	48	1.48		

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
C2	46	0.95	4.44	6.86
	47	0.95		
	49	1.17		
	50	1.37		
C3	45	5.43	9.94	1.36
	51	1.47		
	52	3.04		
C4	53	4.62	8.94	2.36
	54	4.32		
D1	55	1.83	8.88	2.42
	56	7.05		
D2	57	5.36	5.36	5.94
D3	58	5.26	5.26	6.04
D4	59	2.26	2.26	9.04
D5	60	1.40	9.81	1.49
	61	0.95		
	62	0.95		
	63	1.22		
	64	2.86		
	65	0.83		
	66	0.19		
	67	0.18		
	68	0.43		
	69	0.43		
	70	0.28		
D6	71	0.10	5.95	5.35
	72	0.29		
	73	1.91		
	74	1.91		
D7	75	1.84	9.47	1.83
	76	0.69		
	77	0.66		
	78	0.68		
	79	0.68		
	80	0.68		
	81	0.67		
	82	0.68		
	83	0.68		
84	0.67			
	85	0.67		

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
	86	0.66		
	87	0.68		
	88	0.69		
	89	0.66		
E1	90	1.49	4.27	7.03
	91	0.92		
	92	0.87		
	93	1.00		
E2	94	2.25	7.03	4.27
	95	1.54		
	96	2.03		
	97	1.22		
E3	98	2.73	5.85	5.45
	99	1.06		
	100	0.92		
	101	1.14		
E4	102	1.77	5.70	5.60
	103	1.14		
	104	1.18		
	105	1.61		
E5	106	2.04	5.10	6.20
	107	1.01		
	108	0.91		
	109	1.13		
F1		10.00	10.00	1.30
F2	110	10.00	10.00	1.30
F3		0.00	0.00	11.30
F4		0.00	0.00	11.30
	111	2.63		
	112	1.35		
G1	113	0.77	6.28	5.02
	114	0.59		
	115	0.96		
	116	2.55		
G2	117	0.71	6.31	4.99
	118	0.72		
	119	0.73		
	120	1.60		
G3	121	0.72	3.73	7.57
	122	0.53		

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
	123	1.07		
	124	1.40		
G4	125	1.44	1.44	9.86

Tabel 6.4 Alokasi stasiun kerja pada produk TRG 26 kondisi aktual

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
A1	1	8.40	8.40	2.90
A2	2	9.16	9.16	2.14
A3	3	3.47	3.47	7.83
A4	4	3.09	3.09	8.21
A5	5	6.75	6.75	4.55
A6	6	4.21	4.21	7.09
A7	7	4.19	4.19	7.11
A8	8	5.98	5.98	5.32
A9	9	8.04	8.04	3.26
A10	12	8.38	8.38	2.92
A11	13	4.14	4.14	7.16
A12	14	3.32	3.32	7.98
A13	15	7.81	7.81	3.49
A14	16	4.70	4.70	6.60
A15	17	4.75	4.75	6.55
A16	18	5.16	5.16	6.14
A17	19	4.34	4.34	6.96
A18				11.30
	25	4.66		
B1	33	3.31	10.29	1.01
	26	2.31		
	27	2.28		
B2	28	3.20	9.67	1.63
	29	4.19		
	32	2.96		
B3	35	2.21	8.77	2.53
	36	3.60		
B4	31	3.02	5.14	6.16
	34	2.12		
C1	40	5.22	5.22	6.08
C2	41	1.09	4.70	6.60



Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
	42	1.19		
	43	0.94		
	48	1.48		
C3	44	5.19	5.19	6.11
	46	0.95		
	47	0.95		
C4	49	1.17	5.90	5.40
	50	1.37		
	51	1.47		
D1	55	1.83	8.88	2.42
	56	7.05		
D2	57	5.36	5.36	5.94
D3	58	5.26	5.26	6.04
D4	59	2.26	2.26	9.04
	60	1.40		
	61	0.95		
D5	62	0.95	8.20	3.10
	63	1.22		
	64	2.86		
	65	0.83		
	66	0.19		
	67	0.18		
D6	68	0.43	1.61	9.69
	69	0.43		
	70	0.28		
	71	0.10		
	76	0.69		
	77	0.66		
	78	0.68		
	79	0.68		
D7	80	0.68	6.77	4.53
	81	0.67		
	82	0.68		
	83	0.68		
	84	0.67		
	85	0.67		
E1	90	1.49	4.27	7.03
	91	0.92		

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Proses	Waktu Stasiun Kerja	Waktu Mengganggu ( <i>idle</i> )
	92	0.87		
	93	1.00		
	94	2.25		
E2	95	1.54	7.03	4.27
	96	2.03		
	97	1.22		
	98	2.73		
E3	99	1.06	5.85	5.45
	100	0.92		
	101	1.14		
	102	1.77		
E4	103	1.14	5.70	5.60
	104	1.18		
	105	1.61		
	106	2.04		
E5	107	1.01	5.10	6.20
	108	0.91		
	109	1.13		
F1		10.00	10.00	1.30
F2	110	10.00	10.00	1.30
F3		0.00	0.00	11.30
F4		0.00	0.00	11.30
	111	2.63		
	112	1.35		
G1	113	0.77	6.28	5.02
	114	0.59		
	115	0.96		
	116	2.55		
	117	0.71		
G2	118	0.72	6.31	4.99
	119	0.73		
	120	1.60		
	121	0.72		
G3	122	0.53	3.73	7.57
	123	1.07		
	124	1.40		
G4	125	1.44	1.44	9.86