

## BAB 2

### TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

#### 2.1. Tinjauan Pustaka

##### 2.1.1. Penelitian Terdahulu

Teknik penyeimbangan lintasan atau *line balancing* dapat digunakan untuk meminimasi jumlah stasiun kerja, meminimasi waktu siklus, meminimalkan beban kerja, dan memaksimalkan distribusi pekerjaan yang saling terkait antar satu pekerjaan dengan yang lainnya pada satu jalur perakitan yang sama (Adeppa, 2015). Tujuan utama dari *Line Balancing* adalah untuk mendistribusikan elemen-elemen kerja di stasiun kerja secara merata dan mengelompokkan fasilitas atau pekerja dalam pola yang efisien untuk mendapatkan keseimbangan optimal atau efisiensi pada jalur produksi atau perakitan (Adeppa, 2015). Penyeimbangan lintasan produksi merupakan salah satu *tools* untuk mencapai kondisi manufaktur yang ramping atau biasa disebut dengan *lean manufacturing* (Jaideep, 2003). *Lean Manufacturing* merupakan sistem yang berfokus pada penentuan dari sumber pemborosan yang ada pada suatu manufaktur dengan menggunakan *tools* *Just in Time* (JIT), *Single Minute Exchange of Dies* (SMED), *Value Stream Mapping* (VSM), dan lainnya untuk mengurangi pemborosan tersebut (Jaideep, 2003). Dalam proses penyeimbangan jalur perakitan, *Line Balancing* dapat dikombinasikan dengan menerapkan *tools-tools* dari *Lean Manufacturing* untuk menganalisis, menilai dan memperbaiki situasi saat ini secara sistematis (Rajenthirakumar dan Shankar, 2011). Terdapat beberapa indikator yang digunakan untuk membandingkan metode-metode *line balancing* yaitu efisiensi jalur dan *smoothing index* (Adeppa, 2015). Permasalahan pada lintasan perakitan atau produksi yang mengalami ketidakseimbangan akibat tidak meratanya pembagian beban kerja pada tiap pekerja atau stasiun kerja, dapat diselesaikan dengan *Line Balancing* menggunakan metode heuristik (Moreira dkk., 2015). Metode Heuristik yang dapat diterapkan untuk penyeimbangan lintasan perakitan yaitu *Ranked Positional Weight / Helgeson-Birnie* (RPW), *Large Candidate Rule* (LCR), dan *Region Approach / Killbridge-Wester* (RA), yang biasa digunakan untuk mengatur dan mendistribusikan elemen kerja beserta waktu operasinya di sepanjang stasiun kerja (Groover, 2015).

Djunaidi dan Angga (2017) melakukan penelitian pada proses perakitan *body* bus pada perusahaan Karoseri Laksana mengenai analisis keseimbangan lintasan guna meningkatkan efisiensi lintasan produksi. Permasalahan yang diteliti di perusahaan Karoseri Laksana oleh Djunaedi dan Angga yaitu pembagian beban kerja antar stasiun kerja yang tidak seimbang, sehingga akan menyebabkan terjadinya *bottleneck* pada beberapa stasiun kerja. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Saiful dan Rahman (2014) dengan topik penyeimbangan lintasan produksi dengan metode heuristik, untuk menyelesaikan permasalahan tidak meratanya pembagian beban kerja antar stasiun kerja pada PT XYZ Makassar. Dewi dkk. (2017) melakukan penelitian pada jalur *packing* suatu perusahaan *food & beverage* di Jakarta. Proses *packing* yang dilakukan pada obyek penelitian Dewi dkk. masih menggunakan mesin manual, sehingga proses ini dikerjakan oleh banyak operator. Selain itu, terdapat penumpukan barang atau *bottleneck* pada jalur *packing*. Penelitian yang dilakukan oleh Dewi dkk bertujuan untuk menentukan jumlah stasiun kerja dan efisiensi lintasan yang lebih optimal. Penelitian serupa juga dilakukan oleh Azwir dan Pratomo (2017) mengenai keseimbangan jalur pada lini perakitan suatu perusahaan yang memproduksi knalpot sepeda motor. Produk yang diteliti oleh Azwir dan Pratomo yaitu model knalpot 1DY yang digunakan pada salah satu varian sepeda motor Yamaha. Permasalahan pada penelitian ini yaitu adanya penumpukan WIP dan terdapat waktu menganggur pada setiap operator. Dari permasalahan tersebut, Azwir dan Pratomo menentukan tujuan untuk penelitian ini yaitu menentukan jumlah operator yang optimal dan menghasilkan rancangan keseimbangan lintasan yang lebih efisien untuk jalur *welding* model 1DY. Roshani dan Nezami (2017) meneliti tentang penyeimbangan jalur perakitan yang memiliki karakteristik *mixed model multi manned*. Subyek penelitian yang dipilih oleh Roshani dan Nezami yaitu jalur perakitan yang merakit truk dan bus. Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan masalah penyeimbangan jalur perakitan dengan tipe *mixed model* dimana banyak operator secara bersamaan melakukan tugas yang berbeda pada produk yang sama.

Djunaedi dan Angga (2017) membandingkan performansi keseimbangan lintasan produksi saat kondisi aktual dengan kondisi setelah diterapkan metode penyeimbangan lintasan *Ranked Positional Weight* pada lintasan produksi Karoseri Laksana, kemudian hasil perbandingan performansi dari kedua kondisi tersebut dianalisis berdasarkan peningkatan atau penurunannya. Terdapat tiga

metode penyeimbangan lintasan heuristik yang digunakan oleh Saiful dan Rahman (2014) yaitu *Ranked Positional Weight* (RPW), *Largest Candidate Rule* (LCR), dan *Regional Approach* (RA). Saiful dan Rahman juga membandingkan performansi keseimbangan lintasan kondisi aktual dengan kondisi setelah adanya usulan penyeimbangan lintasan. Karena metode penyeimbangan lintasan yang diusulkan yaitu RPW, LCR dan RA, maka perbandingan performansi keseimbangan lintasan untuk usulan penyeimbangan lintasan juga terdapat tiga kondisi yaitu perhitungan dengan metode RPW, LCR dan RA. Terdapat beberapa pendekatan yang digunakan dan dibandingkan oleh Dewi dkk. (2017) dalam proses pengolahan penyeimbangan lintasan produksi yaitu pendekatan analitis dengan model matematis (metode *Branch and Bound*), pendekatan heuristik (RPW), pendekatan *metaheuristic* (metode *Ant Colony Optimization*) dan pendekatan simulasi dengan WinQSB (metode COMSOAL). Azwir dan Pratomo (2017) menghitung *takt time* yang digunakan sebagai waktu siklus pembatas untuk pengolahan metode penyeimbangan lintasan produksi. Azwir dan Pratomo juga menggunakan perbandingan antara ketiga metode penyeimbangan lintasan yaitu *Helgeson-Birnie*, *Killbridge-Wester* dan *Moodie Young*. Untuk menyelesaikan masalah penyeimbangan jalur perakitan *mixed model* dengan banyak operator pada satu stasiun kerja, Roshani dan Nezami (2017) menggunakan model pemrograman *mixed integer* (MIP). Model MIP yang digunakan yaitu *nondeterministic polynomial-time* (NP) dan dipadukan dengan algoritma *simulated annealing* (SA) untuk menemukan solusi optimal dalam jumlah waktu perhitungan yang kecil.

Hasil yang didapatkan pada penelitian Djunaidi dan Angga (2017) yaitu peningkatan efisiensi lintasan dari 72,39% menjadi 91,16%, penurunan keseimbangan *delay* dari 27,61% menjadi 8,84%, dan pengurangan satu stasiun kerja. Dengan adanya peningkatan efisiensi lintasan dari 72,39% menjadi 91,16% maka jumlah produk per bulan yang diproduksi pada lintasan produksi Karoseri Laksana dapat meningkat dari 20 unit per bulan menjadi 21,6 unit per bulan. Hasil penelitian Saiful dan Rahman (2014) yaitu terdapat kesamaan penurunan jumlah stasiun kerja dari enam stasiun menjadi empat stasiun, peningkatan efisiensi lintasan antara ketiga metode penyeimbangan lintasan (RPW, LCR dan RA) dari kondisi awal 62,71% menjadi 94,07, penurunan keseimbangan *delay* dari 37,28% menjadi 5,29%, penurunan *idle time* dari 116,87 menit menjadi 12,39 menit dan penurunan *smoothness index* dari 64,67 menjadi 7,44. Hasil analisis proses dari

penelitian Dewi dkk. (2017), membuktikan bahwa metode ACO merupakan alternatif solusi terbaik karena untuk mendapatkan nilai yang optimum metode ACO hanya membutuhkan tiga kali iterasi, sedangkan metode BB membutuhkan sebanyak 152.189 iterasi dan COMSOAL menggunakan *random seed number* 27437 dan *number of random generation* 100. Sedangkan, untuk hasil perhitungan efisiensi lintasan dan jumlah stasiun kerja, keempat metode ini menghasilkan nilai optimum yang sama yaitu 11 stasiun kerja dengan kenaikan efisiensi lintasan dari 69% menjadi 81%. Hasil yang didapatkan dari penelitian Azwir dan Pratomo (2017) yaitu terdapat kesamaan peningkatan efisiensi lintasan dan keseimbangan *delay* dari ketiga metode, tetapi terdapat perbedaan pada nilai *smoothness index* dimana dengan metode *Helgeson-Birnie smoothness index* dapat turun dari 62,67 menjadi 6,62, sedangkan dengan metode *Killbridge-Wester* dan *Moodie Young smoothness index* dapat turun dari 62,67 menjadi 6,86. Sehingga, metode *Helgeson-Birnie* pada hasil penelitian Azwir dan Pratomo (2017) merupakan metode penyeimbangan lintasan yang terbaik daripada kedua metode lainnya. Hasil penelitian yang diteliti oleh Roshani dan Nezami (2017) menunjukkan bahwa model MIP yang diusulkan memiliki kinerja yang memuaskan dari efisiensi proses komputasi dan solusi yang lebih akurat. Untuk model produk yang besar seperti bus dan truk, algoritma SA dapat mengurangi jumlah stasiun kerja dengan jumlah tenaga kerja yang mendekati sama dengan jumlah tenaga kerja minimum.

### **2.1.2. Penelitian Sekarang**

Permasalahan pada penelitian yang dilakukan di Isuzu Karawang *Plant* (IKP) yaitu terdapat ketidakseimbangan beban kerja antar operator yang ada pada jalur *Trimming Cabin N-series*, sehingga menyebabkan adanya stasiun *bottleneck* dan waktu menganggur yang tinggi. Stasiun *bottleneck* pada jalur *Trimming Cabin N-series* juga disebabkan oleh proses perakitan *cabin* yang masih dilakukan dalam satu lot (12 unit per lot) per variannya dengan waktu siklus antar varian yang berbeda-beda. Untuk menyelesaikan permasalahan pada penelitian ini, maka akan dilakukan perancangan penyeimbangan lintasan perakitan *mixed model* dengan jadwal produksi *leveling*. Produk yang digunakan sebagai obyek penelitian ini yaitu *cabin* VT01 dan *cabin* NMR71. Metode penyeimbangan lintasan perakitan *mixed model* yang digunakan pada penelitian ini yaitu *Ranked Positional Weight* (RPW) dua varian produk dengan mempertimbangkan karakteristik dari jalur perakitan *two sided assembly line*.

### 2.1.3. Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Sekarang

Perbandingan penelitian terdahulu dengan penelitian sekarang berisi tentang beberapa jurnal-jurnal penelitian terdahulu yang serupa dengan penelitian sekarang dan berkaitan tentang *line balancing mixed model*, hasil dari pencarian penelitian terdahulu tersebut kemudian dibandingkan dengan penelitian sekarang berdasarkan permasalahan, metode penyelesaian masalah dan hasil penelitian. Tabel perbandingan penelitian terdahulu dengan sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1.

**Tabel 2.1. Perbandingan penelitian terdahulu dengan sekarang**

No	Penulis	Permasalahan	Metode	Hasil
1	Djunaidi dan Angga (2017)	Pembagian beban kerja antar stasiun kerja yang tidak seimbang yang menyebabkan terjadinya <i>bottleneck</i> pada beberapa stasiun kerja	<i>Ranked Positional Weight (RPW)</i>	Peningkatan efisiensi lintasan, penurunan keseimbangan <i>delay</i> , pengurangan satu stasiun kerja, jumlah produksi meningkat dari 20 unit per bulan menjadi 21,6 unit per bulan
2	Saiful dan Rahman (2014)	Tidak meratanya pembagian beban kerja antar stasiun kerja	RPW, LCR dan RA	Terdapat kesamaan penurunan jumlah stasiun kerja yang sama dari ketiga metode, serta terdapat peningkatan efisiensi lintasan, penurunan keseimbangan <i>delay</i> , penurunan <i>idle time</i> dan penurunan <i>smoothness index</i> dari kondisi awal dengan ketiga metode penyeimbangan lintasan (RPW, LCR dan RA)
3	Dewi dkk. (2017)	Proses <i>packing</i> yang dilakukan pada obyek penelitian Dewi dkk masih menggunakan mesin manual, sehingga proses ini dikerjakan oleh banyak operator. Selain itu, terdapat penumpukan barang atau <i>bottleneck</i> pada jalur <i>packing</i> .	<i>Branch and Bound</i> , RPW, <i>Ant Colony Optimization</i> , dan COMSOAL	Metode ACP lebih sederhana dan memiliki iterasi yang lebih sedikit untuk mendapatkan nilai yang optimum daripada ketiga metode lainnya, dan hasil perhitungan efisiensi lintasan dan jumlah stasiun kerja, keempat metode ini menghasilkan nilai optimum yang sama

**Tabel 2.1. Lanjutan**

No	Penulis	Permasalahan	Metode	Hasil
4	Roshani dan Nezami (2017)	Jalur memiliki banyak operator yang secara bersamaan melakukan tugas yang berbeda pada produk yang sama	<i>Nondeterministic polynomial-time (NP)</i> dan dipadukan dengan algoritma <i>simulated annealing (SA)</i>	Algoritma yang diusulkan memiliki kinerja yang memuaskan dari efisiensi proses komputasi dan solusi yang lebih akurat, serta dapat mengurangi jumlah stasiun kerja dengan jumlah tenaga kerja yang mendekati sama dengan jumlah tenaga kerja minimum
5	Azwir dan Pratomo (2017)	Adanya penumpukan WIP dan terdapat waktu mengganggu pada setiap operator	<i>Helgeson-Birnie, Killbridge-Wester dan Moodie Young</i>	Hasil perhitungan performansi keseimbangan lintasan dengan metode <i>Helgeson-Birnie</i> memiliki nilai yang lebih baik daripada kedua metode lainnya
6	Penelitian Sekarang	Ketidakseimbangan pembagian beban kerja antar operator <i>Trimming Cabin N-series</i> dan perbedaan waktu siklus perakitan antar <i>cabin N-series</i> yang masih dilakukan secara lot	<i>Ranked Positional Weight</i> dua varian produk, Penjadwalan <i>Leveling Production</i>	-

## 2.2. Dasar Teori

Penyeimbangan lintasan produksi pada prinsipnya yaitu pendistribusian elemen-elemen operasi pada tiap stasiun kerja yang ada sesuai urutan operasi sehingga total waktu operasi tiap stasiun kerja kurang lebih sama. Keseimbangan lintasan produksi adalah keseimbangan beban kerja antar stasiun kerja sepanjang suatu lintasan. Jika beban kerja tidak seimbang, akan ada stasiun kerja yang cenderung mengganggu dan ada stasiun kerja yang teramat sibuk.

### 2.2.1. Pengertian *Line Balancing*

Line balancing atau penyeimbangan lintasan merupakan metode pengalokasian sejumlah pekerjaan kedalam beberapa stasiun kerja yang ada pada suatu jalur produksi, sehingga masing-masing stasiun kerja yang memiliki seorang atau lebih operator mempunyai beban kerja yang tidak melebihi waktu siklus dari stasiun kerja tersebut. Penyeimbangan lintasan bertujuan memaksimalkan efisiensi atau

meminimumkan waktu menganggur atau *balance delay/idle time*. *Line Balancing* merujuk pada jalur perakitan (*Assembly Line Balancing*) yang pada umumnya termasuk sistem produksi *flowshop* dimana semua pekerjaan memiliki rute yang sama, dan setiap pekerjaan mengunjungi setiap mesin atau pekerja hanya satu kali. Tujuan umum penggabungan ini adalah untuk mendapatkan rasio *delay/idle* (menganggur) yang serendah mungkin dan dicapai suatu efisiensi kerja yang tinggi di tiap stasiun kerja.

Menurut Monden (2012), waktu siklus yang melebihi *takt time* dapat disebabkan oleh beberapa faktor yaitu aktivitas menunggu part *sub assembling* selesai dirakit dan diantar ke jalur produksi utama, dan juga dapat disebabkan oleh standarisasi kerja yang belum merata antar operator. Aktivitas menunggu merupakan salah satu kategori pemborosan yang terjadi di lini produksi. Pengelolaan waktu siklus agar mendekati dengan *takt time* didefinisikan sebagai *line balancing* dimana standarisasi kerja yang terdapat pada tiap operator merata dan waktu keluarnya satu produk pada masing-masing stasiun kerja tidak jauh berbeda dengan *takt time* yang ditetapkan perusahaan.

### **2.2.2. Tipe Assembly Line Berdasarkan Aliran Produknya**

*Assembly Line* atau jalur perakitan pada kasus *line balancing* termasuk dalam sistem produksi *flowshop*. *Flowshop* terkadang juga disebut sebagai *product layout* atau tata letak berbasis produk, karena secara sekuensial produksi, produknya selalu mengikuti langkah-langkah yang sama. Terdapat 4 jenis aliran *flowshop* yaitu *continuous*, *mixed model*, *batch model* dan *dedicated repetitive* (Sofyan, 2013). Tetapi pada umumnya jalur perakitan hanya tergolong kedalam 3 bagian yaitu *mixed model*, *batch model* dan *dedicated repetitive*. Keuntungan, kelemahan, resiko dan pengertian masing-masing tipe jalur perkaitan dapat dilihat pada Tabel 2.2.

#### **a. Dedicated Repetitive**

*Dedicated repetitive* merupakan jalur produksi yang merakit satu produk atau satu part saja. Tiap jalur *dedicated* hanya mengerjakan satu tipe produk saja tetapi mempunyai variasi yang bermacam-macam, misalnya satu jalur perakitan yang memproduksi beberapa varian mobil yang memiliki tipe dan fungsi yang sama tetapi masing-masing variannya terdapat fitur-fitur yang berbeda. Fasilitas produksi dengan aliran *dedicated* membutuhkan volume produksi yang tinggi untuk mencapai *break event*, tetapi dengan volume

produksi yang cukup dapat mencapai biaya per unit yang sangat rendah. Jalur *flow line* pada proses *dedicated repetitive* digambarkan dengan bentuk linear seperti pada Gambar 2.1.

b. *Mixed Model*

*Mixed Model* merupakan suatu tipe jalur perakitan dimana produk yang diproduksi berjumlah lebih dari satu model, tetapi produk-produk tersebut tidak diproduksi secara batch. Lini perakitan dengan karakteristik jalur *mixed model* memproduksi model-model produk pada jalur yang sama dimana satu stasiun mengerjakan satu model dan stasiun selanjutnya atau sebelumnya mengerjakan model yang berbeda. Tiap stasiun difasilitasi untuk mengerjakan berbagai variasi produk yang melalui stasiun-stasiun tersebut.

c. *Batch Model*

*Batch Model* merupakan suatu tipe jalur perakitan dimana produk-produknya diproduksi secara batch/setumpuk dimana batch terdiri atas beberapa unit yang variannya sama. Stasiun Kerja dibentuk untuk menghasilkan kuantitas yang diperlukan dari produk pertama, kemudian stasiun dikonfigurasi ulang untuk menghasilkan produk berikutnya, dan seterusnya. Produk sering dirangkai dalam batch ketika tingkat permintaannya sedang untuk setiap produk. Umumnya lebih ekonomis untuk menggunakan satu jalur perakitan untuk menghasilkan beberapa produk secara batch daripada membuat jalur terpisah untuk setiap model yang berbeda.

Produk yang dibuat pada jalur produksi biasanya serupa, dan elemen kerja untuk membuatnya juga serupa. Namun, perbedaan antara model menyebabkan urutan kerja yang berbeda biasanya diperlukan, dan alat yang digunakan di stasiun kerja yang diberikan untuk model yang diproduksi terakhir mungkin tidak sama dengan yang diperlukan untuk model berikutnya. Satu model mungkin membutuhkan waktu siklus lebih dari yang lain dan jalur dioperasikan pada kecepatan yang lebih lambat. Pelatihan ulang pekerja atau peralatan baru mungkin diperlukan jika terdapat model baru. Untuk alasan-alasan seperti ini, *changeover/proses setup* stasiun kerja harus dibuat sebelum produksi model berikutnya dapat dimulai. Produk yang dibuat pada jalur produksi biasanya serupa, dan elemen kerja untuk membuatnya juga serupa. Namun, perbedaan antara model menyebabkan urutan kerja yang berbeda biasanya diperlukan, dan alat yang digunakan di stasiun kerja yang diberikan untuk model yang diproduksi terakhir mungkin tidak sama dengan yang

diperlukan untuk model berikutnya. Satu model mungkin membutuhkan waktu siklus lebih dari yang lain dan jalur dioperasikan pada kecepatan yang lebih lambat. Pelatihan ulang pekerja atau peralatan baru mungkin diperlukan jika terdapat model baru. Untuk alasan-alasan seperti ini, *changeover*/proses *setup* stasiun kerja harus dibuat sebelum produksi model berikutnya dapat dimulai. Hal ini dapat menghasilkan waktu produksi yang hilang pada jalur batch model, dikarenakan seringnya dilakukan *setup*. *Batch model* tepat digunakan untuk varian produk yang terlalu banyak dan kompleks untuk produk yang akan diproduksi pada line mixed model. Kerugiannya adalah *downtime* terjadi ketika jalur diubah dari satu produk ke produk berikutnya. Di sisi lain, harus ada beberapa kesamaan di antara produk jika tidak maka akan sulit untuk mencoba merakitnya pada jalur yang sama.

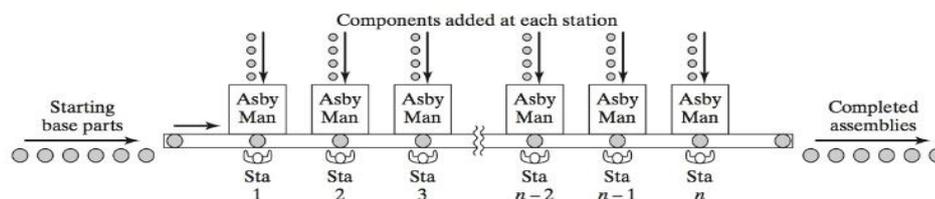
### 2.2.3. Tipe Assembly Line Berdasarkan Jenis Proses Perakitannya

Terdapat berbagai metode yang digunakan untuk menyelesaikan proses perakitan. Metode-metode tersebut dapat diklasifikasikan sebagai berikut (Groover, 2015):

#### a. Manual Single-Station Assembly

Metode perakitan manual dengan stasiun tunggal terdiri atas satu stasiun kerja tunggal dimana pekerjaan perakitan dilakukan pada produk atau *sub assembly* utama produk. Metode ini umumnya digunakan pada produk yang kompleks dan diproduksi dalam jumlah yang kecil. Stasiun Kerja dapat menggunakan satu atau lebih pekerja, tergantung pada tingkat produksi yang diperlukan dan jumlah varian produk. Beberapa contoh produk yang dirakit pada stasiun kerja yang tinggal, yaitu peralatan mesin, peralatan industri dan model prototipe yang kompleks (Pesawat terbang, mobil).

#### b. Manual assembly line



**Gambar 2.1. Konfigurasi jalur perakitan manual. Keterangan : Asby = Assembly, Man = Manual, Sta = Workstation, n = jumlah stasiun yang ada pada jalur perakitan manual (Groover, 2015)**

**Tabel 2.2. Matriks perbandingan masing-masing tipe jalur perakitan**

Tipe Jalur Perakitan	Kelebihan	Kekurangan	Resiko
<i>Dedicated Repetitive</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Meningkatkan produktivitas yang ditunjukkan dari waktu siklus yang lebih pendek,</li> <li>- Mengeliminasi elemen-elemen kerja yang bersifat <i>non value added</i> atau tidak memberikan nilai tambah kepada produk,</li> <li>- Dengan adanya <i>line balancing</i> dapat mengurangi biaya produksi dikarenakan adanya penurunan jumlah operator</li> <li>- Pembagian beban kerja antar operator di jalur perakitan lebih merata.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Laju produksi harus selalu menyesuaikan volume permintaan produk yang permintaannya berfluktuatif</li> <li>- Jumlah kebutuhan operator dan alat untuk perakitan dapat selalu berubah-ubah</li> </ul>	<p>Penggantian jumlah operator dikarenakan sering dilakukannya <i>rebalancing line</i> oleh perusahaan dapat menyebabkan tingkat <i>turnover</i> yang tinggi (Baudin, 2002)</p>

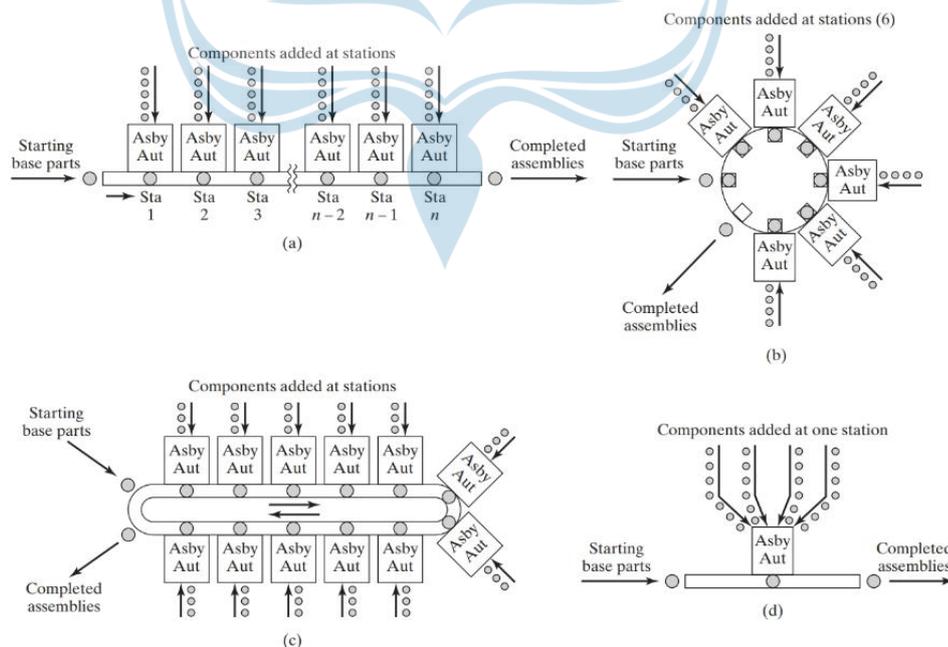
**Tabel 2.2. Lanjutan**

Tipe Jalur Perakitan	Kelebihan	Kekurangan	Resiko
<i>Mixed Model</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Waktu siklus dapat diseimbangkan antar model satu dengan yang lainnya</li> <li>- Menghindari jumlah persediaan yang tinggi</li> <li>- Dapat menyesuaikan fluktuasi tingkat produksi dengan perubahan permintaan tiap modelnya</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Perataan beban kerja antar stasiun kerja yang kompleks,</li> <li>- Penjadwalan/<i>Leveling</i> (penentuan urutan masing-masing model) serta proses logistik (penempatan masing-masing part yang tepat untuk setiap workstation dan varian yang berbeda di tiap stasiunnya) yang lebih sulit dalam jenis jalur ini</li> </ul>	<p>Perubahan sistem logistik secara menyeluruh harus disesuaikan dengan kondisi supplier.</p>
<i>Batch Model</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Biaya Investasi yang rendah dikarenakan perusahaan tidak memerlukan fasilitas yang besar dan berjumlah banyak,</li> <li>- Perataan beban kerja antar stasiun lebih mudah diatur daripada mixed model.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Waktu produksi yang hilang pada jalur <i>batch model</i>, dikarenakan seringnya dilakukan <i>setup</i>.</li> <li>-Harus ada beberapa kesamaan diantara produk dalam satu <i>batch</i> jika tidak maka akan sulit untuk dirakit pada jalur yang sama.</li> </ul>	<p>Banyak waktu yang terbuang dikarenakan lamanya <i>setup</i> mesin, dan terjadinya <i>downtime</i> selama proses <i>changeover</i> atau pergantian produksi varian produk.</p>

Ilustrasi yang ditunjukkan pada gambar 2.1. merupakan konfigurasi dari *Assembly cells* atau sel perakitan yang terdiri atas beberapa stasiun kerja dan dioperasikan oleh operator secara berkelompok dengan proses manual. Pada umumnya jalur perakitan konvensional memiliki konfigurasi yang beraliran garis lurus, tetapi sel terkadang juga berbentuk U. Tata letak ini memungkinkan untuk meningkatkan komunikasi dan kerja tim di antara para pekerja. Kecepatan pekerjaan dikontrol sebagian besar oleh pekerja daripada dari konveyor yang bergerak dengan kecepatan konstan.

c. *Automated assembly line*

Jalur perakitan terotomasi melakukan urutan operasi perakitan secara otomatis untuk merakit beberapa komponen menjadi suatu produk. Produk yang dirakit dapat menjadi produk akhir atau part *sub assembly*. Komponen-komponen yang dirakit biasanya digabung secara satu per satu, sehingga perakitan selesai secara progresif. Jalur perakitan terotomasi dapat diklasifikasikan sesuai dengan konfigurasi fisiknya. Konfigurasi jalur perakitan terotomasi yang ditunjukkan pada Gambar 2.2, terdiri atas (a) *in-line assembly machine*, (b) *dial-type assembly machine*, (c) *carousel assembly system*, dan (d) *single-station assembly machine*



**Gambar 2.2. Tipe-tipe jalur perakitan terotomasi: (a) *in-line*, (b) *dial type*, (c) *carousel*, dan (d) *single station* (Groover, 2015)**

#### 2.2.4. Tipe *Assembly Line* Berdasarkan Variasinya

Tabel 2.3. Tipe *assembly line* berdasarkan variasinya (Groover, 2015)

Tipe <i>Assembly Line</i>	Karakteristik variasi produk	Tipe <i>Assembly Line</i>
<i>Single Model Line</i>	Tdk ada variasi produk	<i>Single Model Line</i>
<i>Batch Model Line</i>	<i>Hard product variety</i>	<i>Batch Model Line</i>
<i>Mixed Model Line</i>	<i>Soft Product variety</i>	<i>Mixed Model Line</i>

Pada Tabel 2.3. tipe jalur perakitan berdasarkan variasi produknya dapat dibedakan menjadi 3 yaitu, *single model*, *batch model*, dan *mixed model*. Jalur perakitan dengan tipe *single model* hanya menghasilkan satu produk dalam jumlah yang besar. Setiap unit yang dikerjakan identic sama dengan yang lainnya, sehingga tugas yang dilakukan di setiap stasiun adalah sama untuk semua produk. Tipe jalur *single model* ini biasanya ditujukan untuk produk dengan permintaan yang tinggi. *Batch model* dan *Mixed Model* dirancang untuk menghasilkan dua atau lebih produk, tetapi pendekatan untuk mengatasi variasi yang digunakan masing-masing tiap model nya itu berbeda. Pada *Batch Model*, produk dirakit dalam ukuran *batch* ketika permintaan untuk setiap produk sedang, dan juga tipe variasi pada model ini diklasifikasikan sebagai *hard product*. Jalur perakitan dapat dikatakan memiliki variasi produk dengan tipe *hard product variety*, ketika produk berbeda secara substansial. Dalam produk hasil rakitan, *hard product variety* memiliki proporsi yang rendah atau bahkan tidak ada untuk suatu part umum yang dapat dirakit di seluruh produk. Pada jalur perakitan dengan tipe *Mixed Model*, produk yang dihasilkan lebih dari satu model atau varian, serta dirakit pada jalur perakitan yang sama dan variasinya diklasifikasi sebagai *soft product variety*. *Soft Product Variety* adalah ketika hanya terdapat perbedaan yang kecil antar varian produknya, seperti perbedaan antara model mobil yang dibuat pada jalur perakitan yang sama, sehingga terdapat proporsi yang tinggi untuk suatu part umum yang dapat dirakit di seluruh produk.

#### 2.2.5. Tipe *Assembly Line* Berdasarkan Konfigurasi Stasiun Kerjanya

Pada kasus *assembly line balancing* atau penyeimbangan jalur perakitan, penggolongan tipe jalur perakitannya dapat diklasifikasikan berdasarkan konfigurasi stasiun kerjanya. Klasifikasi jalur perakitan berdasarkan stasiun kerjanya dibagi menjadi dua tipe yaitu, *Single-sided assembly line* dan *Two-sided assembly line* (Make dkk., 2017).

a. *Single-sided assembly line*

Make dkk (2017) menyebutkan bahwa *single-sided assembly line* atau yang biasa disebut jalur perakitan satu sisi telah diterapkan secara luas dalam beberapa dekade terakhir. Jalur perakitan termasuk dalam sistem produksi *flow-line* dimana serangkaian stasiun diatur di sepanjang jalur konveyor. Stasiun kerja pada jalur perakitan satu sisi sering disiapkan dalam satu jalur yang cukup panjang untuk menyelesaikan produk dengan berbagai jenis proses perakitan dan setiap stasiun seringkali hanya memiliki satu operator untuk mengelola setiap tugas perakitan pada stasiun kerja tersebut seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.3 Contoh jalur perakitan satu sisi (Make dkk., 2017)**

b. *Two-sided assembly line*

Make dkk. (2017) menyebutkan bahwa *two-sided assembly line* atau sering disebut dengan jalur perakitan dua sisi secara konfigurasi sangat berbeda dibandingkan dengan jalur perakitan satu sisi. Pada jalur perakitan dua sisi, operasi perakitan akan dilakukan pada produk yang sama secara parallel di sisi kiri dan sisi kanan pada jalur perakitan. Penempatan operasi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu sisi kiri (L), sisi kanan (R) dan kedua sisi (E). Gambar 2.4. mengilustrasikan contoh jalur perakitan dua sisi. Beberapa operasi perakitan hanya dapat dilakukan di salah satu sisi sementara yang lain dapat dilakukan di kedua sisi jalur perakitan. Jalur perakitan dua sisi dapat digunakan untuk meningkatkan kinerja perakitan pada sistem produksi yang kompleks seperti di industri otomotif.



**Gambar 2.4. Contoh jalur perakitan dua sisi (Make dkk., 2017)**

**2.2.6. Ukuran Performansi Produksi**

Suatu proses produksi memiliki tolak ukur performansi atau metrik performansi produksinya masing-masing. Unsur utama dari matriks performansi ini yaitu waktu siklus untuk unit yang dioperasikan, dimana laju produksi operasi tersebut berasal.

Metrik performansi ini dapat digunakan untuk mengembangkan ukuran kinerja di tingkat pabrik seperti kapasitas produksi, utilisasi, *manufacturing lead time* dan *work in process*. Berikut penjelasan dari berbagai unsur dari metrik performansi produksi tersebut (Groover, 2015) :

a. *Cycle Time, Production Rate*

i. *Cycle Time* (Waktu Siklus)

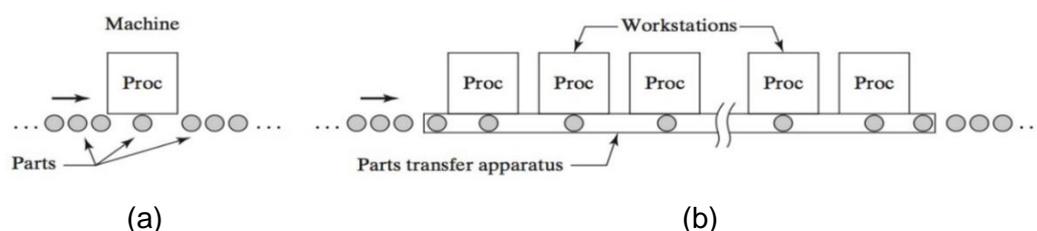
Waktu siklus merupakan lamanya waktu satu unit part atau produk untuk diproses atau dirakit. Waktu siklus juga merupakan waktu antara satu unit yang mulai diproses dengan waktu mulainya unit yang akan diproses selanjutnya. Dalam perumusannya waktu siklus atau *cycle time* biasa disebutkan sebagai  $T_c$ .  $T_c$  terdiri atas waktu proses aktual atau operasi perakitan/waktu operasi ( $T_o$ ), waktu perpindahan dari part yang akan dikerjakan ( $T_h$ ), dan waktu perpindahan *tools* per unit ( $T_t$ ). Berikut rumus dari perhitungan waktu siklus :

$$T_c \text{ (menit/unit)} = T_o \text{ (menit/unit)} + T_h \text{ (menit/unit)} + T_t \text{ (menit/unit)} \quad (2.1)$$

*Cycle Time* merupakan waktu yang dibutuhkan seorang operator untuk menyelesaikan 1 siklus pekerjaannya termasuk untuk melakukan kerja manual dan berjalan. Sedangkan Waktu Operasi ( $T_o$ ) merupakan waktu operasi hanya kerja pokoknya saja tidak termasuk kerja pelengkap.

ii. *Production rate* (Laju produksi)

Untuk unit yang diproduksi, satuan dari laju produksi yaitu unit per jam. Masing-masing sistem manufaktur (*job shop, flow shop, batch shop*) memiliki karakteristik laju produksinya masing-masing. Sedangkan, untuk operasi produksi dari sistem manufaktur yang berbasis *flowshop* dapat dikategorikan menjadi 2 tipe lintasan produksi yaitu *quantity mass production* dan *flow-line mass production*. Tipe lintasan produksi dengan sistem *flow shop* dapat dilihat pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5. Tipe dari lintasan produksi dengan sistem *flow shop*: (a) *quantity mass production*, (b) *flow-line mass production* (Groover, 2015)**

Perbedaan dari kedua tipe lintasan ini yaitu kinerja yang ditentukan secara dominan oleh mesin untuk *quantity mass production*. Sedangkan, tipe *flow-line mass production*, kinerjanya ditentukan secara dominan oleh tenaga manusia. Laju produksi pada tipe *quantity mass production* memiliki nilai yang sama dengan laju siklus mesin setelah produksi sedang berlangsung dan efek dari waktu *setup* menjadi tidak signifikan. Sehingga, ketika jumlah produksi (Q) menjadi sangat besar.  $T_{su}$  (waktu *setup*) dibagi dengan Q akan memiliki nilai nol, dan  $R_p$  (laju produksi per jam) sama dengan  $R_c$  (laju siklus operasi mesin). Berikut rumus perhitungan  $R_c$  :

$$R_c \text{ (unit/jam)} = 60 / T_c \text{ (menit/unit)} \quad (2.2)$$

Untuk *flow-line mass production*, laju produksi mendekati dengan laju siklus dari lini produksi dimana waktu *setup* diabaikan. Tetapi, pengoperasian dari lini produksi dengan tipe *flow-line* tidak mungkin dapat membagi total pekerjaan secara merata diantara semua stasiun kerja yang ada di jalur. Oleh karena itu, terdapat satu stasiun kerja dengan waktu operasi terlama, dan stasiun ini mengatur kecepatan untuk seluruh jalur. Istilah *bottleneck station* terkadang digunakan untuk merujuk ke stasiun kerja ini. Waktu untuk memindahkan suku cadang dari satu stasiun ke stasiun berikutnya di akhir setiap operasi juga termasuk dalam elemen waktu siklus. Dengan mempertimbangkan factor-faktor yang telah disebut, waktu siklus lini produksi untuk *flow-line* ( $T_c$ ) adalah waktu pemrosesan (atau perakitan) terlama ( $MaxT_o$ ) ditambah dengan waktu untuk mentransfer unit kerja antar stasiun ( $T_r$ ), dengan rumus:

$$T_c \text{ (menit/siklus)} = MaxT_o \text{ (menit/siklus)} + T_r \text{ (menit/siklus)} \quad (2.3)$$

Elemen waktu siklus  $T_r$  memiliki karakteristik yang sama dengan  $T_h$  pada rumus (2.1).  $T_i$  pada rumus (2.1) yang digunakan pada *flow-line* biasanya dapat diselesaikan sebagai fungsi *maintenance* dan tidak termasuk dalam perhitungan waktu siklus. Secara teoretis, laju produksi *flow-line* atau laju siklus ( $R_c$ ) dapat ditentukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$R_c \text{ (siklus/jam)} = 60 / T_c \text{ (menit/siklus)} \quad (2.4)$$

b. *Production capacity* (Kapasitas Produksi)

Kapasitas produksi merupakan tingkat maksimum dari output yang fasilitas produksi (atau jalur produksi, atau sekelompok mesin) mampu hasilkan di

bawah kondisi operasi yang dimiliki fasilitas produksi dengan jam kerja dan shift yang disediakan oleh suatu perusahaan. Satuan dari kapasitas produksi yaitu unit per minggu.

c. Utilisasi

Utilisasi merupakan perbandingan antara kuantitas atau jumlah produksi aktual dengan kapasitas produksi yang dimiliki suatu perusahaan (nilainya berkisar dari 0-100%)

d. *Manufacturing Lead Time* (satuan menit)

Berfungsi untuk mengidentifikasi seberapa lama produk akan selesai dibuat. MLT didefinisikan sebagai waktu total yang diperlukan untuk memproses suatu bagian atau produk tertentu melalui instalasi, termasuk setiap waktu karena delay, part yang dipindahkan di antara operasi, waktu yang dihabiskan dalam antrian, dan seterusnya. MLT juga merupakan total waktu yang dibutuhkan untuk memproses part / produk melalui pabrik.

e. *Work In Process* (WIP)

Berfungsi untuk mengidentifikasi seberapa banyak unit yang diproduksi di lantai produksi. WIP merupakan kuantitas dari part atau produk yang saat ini berada di pabrik dan sedang diproses atau berada diantara operasi pemrosesan. WIP merupakan persediaan yang dalam keadaan diubah dari bahan mentah menjadi bagian akhir atau produk jadi.

### 2.2.7. *Cycle Time* dan *Takt Time*

*Cycle time* merupakan waktu aktual yang diperlukan untuk menyelesaikan operasi tertentu. Sedangkan *takt time* merupakan tingkat permintaan untuk suatu produk atau part tertentu yang disesuaikan dengan jam kerja atau shift yang tersedia di pabrik. Berikut rumus dari perhitungan *takt time* (Monden, 2012) :

$$T_{\text{takt}} (\text{min/pc}) = \text{EOT} / Q_{\text{dd}} \quad (2.5)$$

EOT merupakan *effective daily operating time* atau waktu operasi yang tersedia selama jam kerja reguler (menit),  $Q_{\text{dd}}$  merupakan jumlah permintaan per hari (unit). *Takt Time* adalah waktu yang tersedia untuk menghasilkan setiap unit produk untuk memenuhi permintaan pelanggan. *Takt time* berbeda dengan *cycle time* karena *takt time* tidak diukur dengan *time study*, tetapi harus dihitung dengan formula. *Actual Takt Time* merupakan *takt time* yang dihitung berdasarkan jam kerja reguler dan juga jam kerja lembur, karena dipicu oleh adanya *downtime* dan kemampuan lini yang rendah. *Takt time* mengukur permintaan pelanggan

sedangkan *cycle time* tentang sirkulasi proses/kerja. Untuk memenuhi permintaan (*takt time*), perlu juga meningkatkan *cycle time*. Peningkatan kapasitas dapat menambah mesin/operator.

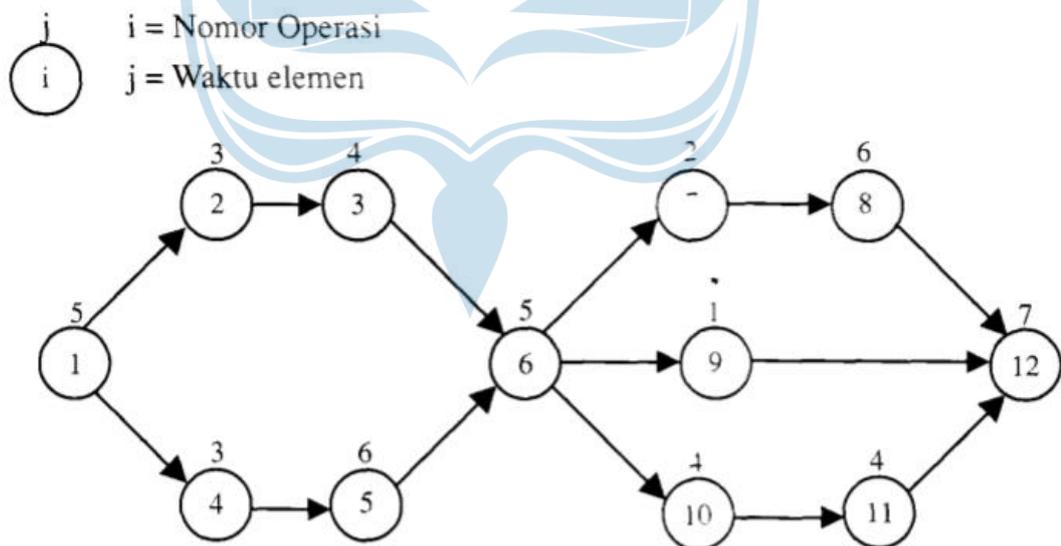
### 2.2.8. Istilah – Istilah dalam *Line Balancing*

Terdapat beberapa istilah yang sering digunakan dalam *line balancing*. Berikut adalah istilah-istilah *line balancing* (Baroto, 2002):

#### a. *Precedence diagram*

*Precedence diagram* merupakan gambaran secara grafis dari urutan operasi kerja, serta ketergantungan pada operasi kerja lainnya yang tujuannya untuk memudahkan pengontrolan dan perencanaan kegiatan yang terkait di dalamnya. Adapun tanda-tanda yang dipakai pada *precedence diagram* ditunjukkan seperti Gambar 2.6.

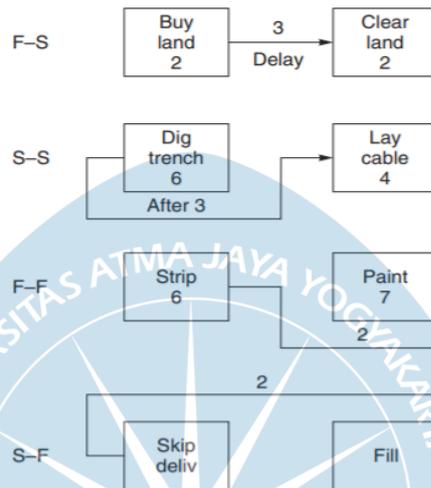
- i. Simbol lingkaran dengan huruf atau nomor di dalamnya (i) untuk mempermudah identifikasi dari suatu proses operasi.
- ii. Tanda panah menunjukkan ketergantungan dan urutan proses operasi. Dalam hal ini, operasi yang berada pada pangkal panah berarti mendahului operasi kerja yang ada pada ujung anak panah.



**Gambar 2.6. Contoh *precedence diagram* (Baroto, 2002)**

- iii. Angka di atas simbol lingkaran (j) adalah waktu standar yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap operasi.

Pada umumnya, kendala yang sering dihadapi pada *precedence diagram* seperti pada contoh Gambar 2.6. yaitu kasus *Finish to Start* (F-S). Namun, dimungkinkan untuk mengklasifikasikan keterkaitan antar aktivitas atau elemen kerja dengan jenis yang lainnya pada *precedence diagram* seperti *Start to Start* (S-S), *Finish to Finish* (F-F), dan *Start to Finish* (S-F) (Lester, 2017). Selain jenis keterkaitan *Finish to Start* (F-S) yang dapat digambarkan seperti pada contoh Gambar 2.7.



**Gambar 2.7. Jenis keterkaitan antar aktivitas atau elemen kerja pada *precedence diagram* (Lester, 2017)**

b. *Assemble product*

*Assemble product* adalah produk yang melewati urutan stasiun kerja dimana tiap stasiun kerja memberikan proses tertentu hingga selesai menjadi produk akhir pada perakitan Akhir.

c. *Work element* (Elemen Kerja)

Elemen kerja merupakan bagian dari seluruh proses perakitan yang dilakukan.

d. *Work station* (Stasiun Kerja)

Stasiun kerja merupakan tempat pada jalur perakitan dimana proses perakitan dilakukan. Setelah menemukan interval waktu siklus, maka jumlah stasiun kerja efisien dapat ditetapkan dengan rumus berikut :

$$K_{\min} = \frac{\sum_{o=1}^n T_o}{T_c} \quad (2.6)$$

- Keterangan :
- $T_o$  = Waktu operasi/elemen ( $o = 1, 2, 3, \dots, n$ )
  - $T_c$  = Waktu siklus stasiun kerja
  - $n$  = Jumlah elemen
  - $K_{\min}$  = Jumlah stasiun kerja minimal

e. *Cycle Time* / Waktu Siklus ( $T_c$ )

Dalam proses perancangan keseimbangan lintasan perakitan untuk sejumlah produksi tertentu, waktu operasi terbesar harus sama atau lebih kecil dari waktu operasi terbesar dan waktu siklus juga harus sama atau lebih kecil dari *takt time*.

f. Waktu stasiun (ST)

Waktu stasiun merupakan jumlah keseluruhan waktu dari aktivitas-aktivitas yang dilakukan oleh operator pada stasiun kerja yang sama.

### 2.2.9. Metode *Line Balancing*

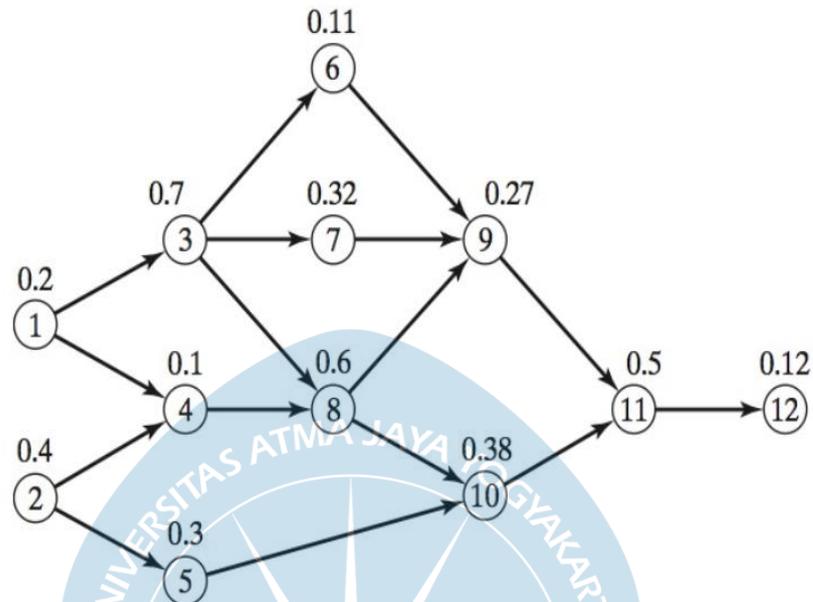
Tujuan dari penyeimbangan lintasan produksi yaitu untuk mendistribusikan total beban kerja di jalur produksi atau perakitan yang terbagi secara merata untuk tiap pekerjanya (Groover, 2015). Terdapat beberapa algoritma yang umum digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *line balancing* yaitu dengan metode *Largest Candidate Rule*, *Killbridge and Wester*, dan *Ranked Positional Weight*. Metode-metode ini bersifat heuristik yang dimana lebih banyak menggunakan logika dan uji coba daripada operasi matematis. Berikut penjelasan dari beberapa metode heuristik yang umum digunakan dalam pemecahan masalah dalam *Line Balancing*:

a. Metode Helgeson dan Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW)

*Line Balancing* dengan metode *Ranked Positional Weight* dikemukakan oleh W. B. Helgeson dan D. P. Birnie. Metode ini menugaskan operasi ke tiap stasiun kerja dalam urutan yang sesuai dengan batasan waktu yang telah ditetapkan. Semua operasi yang terdapat pada jalur perakitan diurutkan berdasarkan peringkat bobotnya masing-masing. Jumlah waktu dari operasi-operasi yang telah diurutkan berdasarkan jaringannya didefinisikan sebagai *positional weight* atau bobot posisional. Pengurutan operasi dilakukan dari yang terbesar ke terkecil sesuai dengan bobot posisional. Pengalokasian aktivitas pada tiap stasiun kerja hasil pengerjaan *line balancing* dengan metode RPW terkadang menghasilkan waktu stasiun kerja yang tidak sama. Langkah-langkah dalam metode ini adalah sebagai berikut (Groover, 2015):

- i. Membuat *precedence diagram* dari awal aktivitas sampai dengan akhir aktivitas. Contoh *precedence diagram* untuk *line balancing* dapat dilihat pada Gambar 2.8.
- ii. Menghitung bobot posisional atau *positional weight* pada tiap aktivitas seperti pada contoh Tabel 2.4. dengan cara menjumlahkan waktu operasi

pada aktivitas yang memiliki waktu pengerjaan yang terpanjang dari mulai aktivitas tersebut hingga sisa operasi sesudahnya mengikuti *precedence diagram* Gambar 2.8.



Gambar 2.8. Contoh *precedence diagram*

Tabel 2.4. Contoh perhitungan bobot posisional masing-masing aktivitas

Aktivitas	Bobot posisional	Predecessors
1	3,30	-
2	2,67	1
3	3,00	-
4	1,97	1, 2
5	1,30	3, 4
6	1,00	2
7	1,21	3
8	1,87	3
9	0,89	5, 8
10	1,00	6, 7, 8
11	0,62	9, 10
12	0,12	11

- iii. Mengurutkan bobot posisional tiap aktivitas berdasarkan bobot posisional yang telah dihitung di langkah ii. Proses pengurutan bobot posisional dilakukan dari bobot yang terbesar sampai dengan terkecil seperti pada contoh Tabel 2.5 .

**Tabel 2.5. Contoh pengurutan bobot posisional**

Aktivitas	Bobot posisional
1	3,30
3	3,00
2	2,67
4	1,97
8	1,87
5	1,30
7	1,21
6	1,00
10	1,00
9	0,89
11	0,62
12	0,12

- iv. Menghitung waktu siklus pembatas ( $T_c$ ) dengan menggunakan rumus sebagai berikut (Chase, Aquilano & Jacobs, 2001) :

$$T_c \left( \frac{\text{menit}}{\text{unit}} \right) = \frac{\text{Jumlah waktu kerja reguler per hari} \left( \frac{\text{menit}}{\text{hari}} \right)}{\text{Jumlah produksi per hari} \left( \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \right)} \quad (2.7)$$

- v. Bentuk stasiun kerja dengan mengalokasikan elemen operasi yang memiliki bobot tertinggi ke suatu stasiun kerja sampai dengan waktu stasiun kerjanya (ST) lebih kecil sama dengan waktu siklus pembatas ( $T_c$ ). Waktu siklus pembatas pada kasus *precedence diagram* Gambar 2.8. yaitu satu menit per unit. Jika waktu stasiun kerjanya lebih kecil dari waktu siklus pembatas, maka alokasikan operasi dengan bobot tertinggi berikutnya, namun operasi yang akan dialokasikan tidak boleh membuat waktu stasiun lebih besar dari  $T_c$ . Contoh hasil pengalokasian elemen-elemen kerja dengan metode RPW dapat dilihat pada Tabel 2.6.

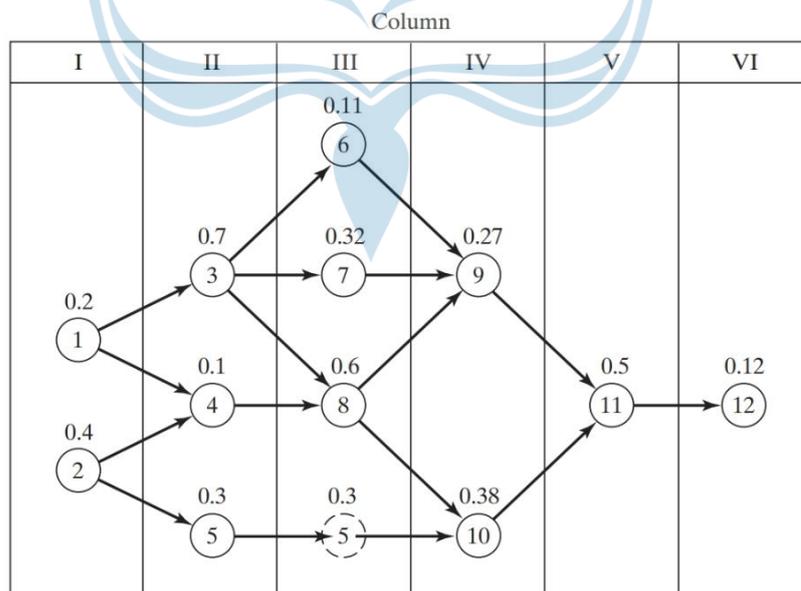
**Tabel 2.6. Contoh hasil pengalokasian elemen-elemen kerja**

Stasiun Kerja	Aktivitas	Waktu Operasi (menit/unit)	Waktu Stasiun Kerja/ST (menit/unit)
1	1	0,20	0,90
	3	0,70	
2	2	0,40	0,91
	4	0,10	
	5	0,30	
	6	0,11	
3	8	0,60	0,92
	7	0,32	
4	10	0,38	0,65
	9	0,27	
5	11	0,50	0,62
	12	0,12	

- vi. Jika terdapat stasiun kerja yang waktu stasiunnya masih lebih kecil dari waktu siklus pembatas, maka aktivitas selanjutnya yang terdapat pada stasiun kerja tersebut dapat mengikuti *precedence diagram* dengan syarat *predecessors* yang dimiliki oleh aktivitas tersebut telah dikerjakan di operasi sebelumnya penambahannya tidak membuat waktu stasiun lebih besar dari waktu siklus pembatas
- vii. Jika aktivitas yang dialokasikan untuk membuat waktu stasiun kerja lebih kecil sama dengan dari waktu siklus pembatas sudah tidak ada, maka kembali ke langkah v sampai seluruh aktivitas telah teralokasikan di semua stasiun kerja.
- viii. Menghitung performansi keseimbangan lintasan perakitan.
- b. Metode Heuristik Kilbridge dan Wester (*Region Approach*)
- Metode ini dikemukakan oleh M. D. Killbridge dan L. Wester. Metode ini melibatkan penukaran aktivitas yang dilakukan setelah penyeimbangan tahap inisiasi. Karena metode ini lebih menjamin hasilnya lebih optimal daripada metode RPW, kombinasi aktivitas yang memenuhi syarat untuk ditukar dapat menjadi sangat rumit dan tidak cocok untuk *precedence diagram* yang

cakupannya sangat luas. Langkah-langkah penyeimbangan lintasan menggunakan metode *Region Approach* sebagai berikut (Groover, 2015):

- i. Buat *precedence diagram* dari data *precedence* yang ada seperti pada Gambar 2.8,
- ii. Tetapkan wilayah *precedence* yang memuat awal aktivitas sampai dengan aktivitas paling kanan secara berurutan. Gambar ulang *precedence diagram* dengan semua aktivitas yang telah dialokasikan ke wilayah *precedence* (*region*). Aktivitas dengan sedikit ketergantungan akan dipertimbangkan di akhir proses penukaran aktivitas. Contoh hasil penggambaran ulang *precedence diagram* sehingga teralokasikan pada masing-masing *region*-nya dapat dilihat pada Gambar 2.9.
- iii. Menghitung waktu siklus pembatas ( $T_c$ ) dengan rumus 2.7.
- iv. Pada setiap wilayah *precedence*, prioritaskan aktivitas yang memiliki waktu operasi tertinggi sampai dengan terendah (dari kiri ke kanan). Hal ini akan memastikan bahwa aktivitas yang memiliki waktu operasi tertinggi akan dipertimbangkan terlebih dahulu, dan memberikan peluang untuk dikombinasikan dengan aktivitas-aktivitas yang memiliki waktu operasi yang rendah sehingga akan menghasilkan urutan aktivitas yang lebih baik.



**Gambar 2.9. Pembagian *precedence diagram* berdasarkan *region*nya**

Pengalokasian aktivitas yang memiliki waktu operasi yang rendah tersebut sampai dengan memenuhi waktu siklus pembatas memakai cara yang

sama dengan langkah iv pada metode RPW. Contoh tahap prioritas aktivitas pada tiap wilayah (*region*) dapat dilihat pada Tabel 2.7.

**Tabel 2.7. Contoh prioritas aktivitas pada tiap wilayah (*region*)**

Wilayah ( <i>Region</i> )	Aktivitas
I	2, 1
II	3, 5
III	5, 8, 7, 6
IV	10, 9
V	11
VI	12

- v. Alokasikan aktivitas pada stasiun kerja dengan memprioritaskan wilayah (*region*) paling kiri terlebih dahulu, dan pada suatu wilayah (*region*) yang diprioritaskan terlebih dahulu yaitu aktivitas yang memiliki waktu operasi terbesar. Pengalokasian tersebut dilakukan sampai dengan memenuhi syarat yaitu waktu stasiun kerjanya lebih kecil sama dengan waktu siklus pembatas.
- vi. Ulangi langkah v sampai semua aktivitas telah teralokasikan pada stasiun kerjanya masing-masing,
- vii. Pada akhir setiap alokasi aktivitas yang ada di stasiun kerja, periksa apakah semua *predecessor* yang dimiliki tiap aktivitasnya telah terpenuhi. Jika terdapat aktivitas yang memiliki *predecessor* yang sama tetapi lebih menghasilkan hasil yang optimal pada suatu stasiun kerja, maka aktivitas tersebut dapat ditukar dan dialokasikan untuk stasiun kerja tersebut. Contoh pengalokasian aktivitas tahap inisiasi pada tiap stasiun kerja dengan metode *Region Approach* dapat dilihat pada Tabel 2.8.

**Tabel 2.8. Contoh pengalokasian aktivitas tahap inisiasi pada tiap stasiun kerja dengan metode *region approach***

Stasiun Kerja	Aktivitas	Waktu Stasiun Kerja (ST (menit/unit))
1	2, 1, 5, 4	1,00
2	3, 6	0,81
3	8, 7	0,92

**Tabel 2.8. Lanjutan**

Stasiun Kerja	Aktivitas	Waktu Stasiun Kerja (ST (menit/unit))
4	10, 9	0,65
5	11, 12	0,62

viii. Menghitung performansi keseimbangan lintasan perakitan.

c. Metode Moodie Young/*Largest Candidate Rules*

**Tabel 2.9. Pengurutan elemen kerja berdasarkan waktu operasinya untuk *line balancing* dengan metode *largest candidate rules* (Groover, 2015)**

Elemen Kerja	Waktu Operasi (menit/unit)	<i>Predecessors</i>
3	0,70	1
8	0,60	3, 4
11	0,50	9, 10
2	0,40	-
10	0,38	5, 8
7	0,32	3
5	0,30	2
9	0,27	6, 7, 8
1	0,20	-
12	0,12	11
6	0,11	3
4	0,10	1, 2

Pada metode ini, aktivitas atau elemen-elemen kerja disusun berdasarkan nilai waktu operasinya dalam urutan terbesar sampai terkecil seperti pada contoh Tabel 2.9, berikut langkah-langkah pengolahan *Line Balancing* menggunakan metode *Largest Candidate Rules* (Groover, 2015) :

i. Alokasikan aktivitas atau elemen-elemen kerja ke operator atau stasiun kerja pertama dengan dimulai dari baris pertama pada Tabel 2.9. dan pilih elemen pertama yang memenuhi persyaratan *predecessors* dimana aktivitas tersebut sudah memiliki *predecessors* yang telah dikerjakan di operasi sebelumnya atau aktivitas tersebut tidak memiliki *predecessors*

dan tidak menyebabkan jumlah total waktu operasinya melebihi waktu siklus pembatas,

- ii. Setelah elemen pertama telah diilih, kembalilah pilih elemen kerja berikutnya mulai dari baris pertama pada Tabel 2.9. seperti pada langkah i. Lakukanlah tahap ini sampai dengan jumlah total waktu operasinya kurang dari sama dengan atau tidak melebihi dari waktu siklus pembatas,
- iii. Ketika sudah tidak ada elemen kerja yang dapat dialokasikan pada operator atau stasiun kerja, maka alokasikan elemen kerja untuk stasiun berikutnya menggunakan langkah i dan ii sampai semua elemen kerja telah teralokasikan di masing-masing operator atau stasiun kerja. Contoh alokasi elemen kerja pada masing-masing operator atau stasiun kerja menggunakan metode *Largest Candidate Rules* dapat dilihat pada Tabel 2.10.

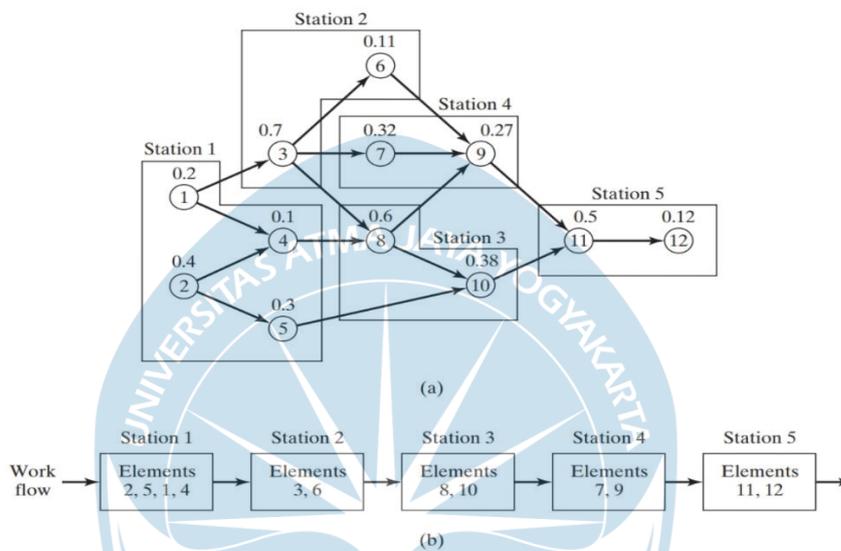
Pada metode ini, pengalokasian elemen kerja pada masing-masing operator atau stasiun kerja juga dalam bentuk pengelompokan dari beberapa elemen kerja yang kemudian diurutkan aliran kerjanya dalam bentuk diagram seperti pada contoh Gambar 2.10

**Tabel 2.10. Contoh alokasi elemen kerja pada masing-masing operator atau stasiun kerja menggunakan metode *largest candidate rules***

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Operasi (menit/unit)	Total Waktu Operasi / Waktu Stasiun Kerja (menit/unit)
1	2	0,40	1,00
	5	0,30	
	1	0,20	
	4	0,10	
2	3	0,70	0,81
	6	0,11	
3	8	0,60	0,98
	10	0,38	
4	7	0,32	0,59
	9	0,27	

**Tabel 2.10. Lanjutan**

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Waktu Operasi (menit/unit)	Total Waktu Operasi / Waktu Stasiun Kerja (menit/unit)
5	11	0,50	0,62
	12	0,12	

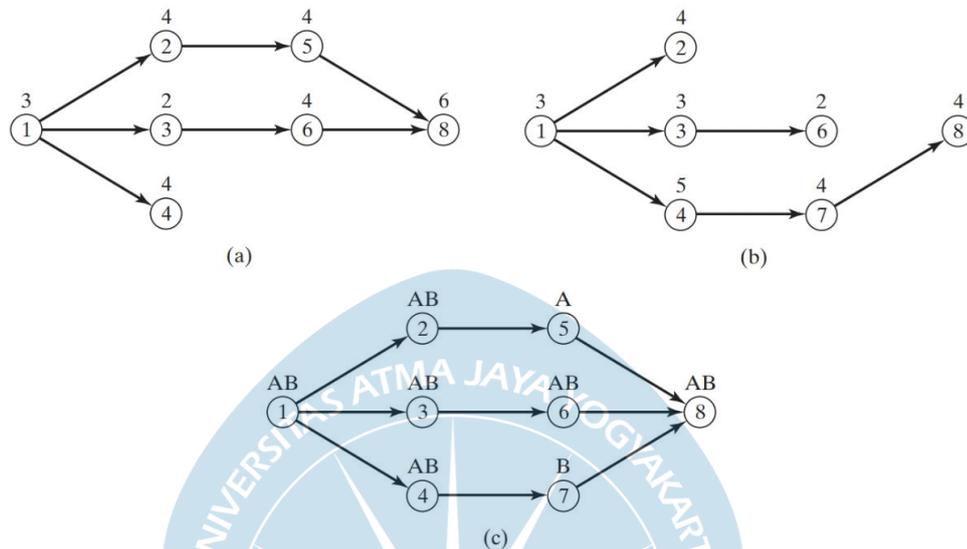


**Gambar 2.10** Contoh hasil *line balancing* dengan metode *largest candidate rules* dalam bentuk: (a) pengelompokan elemen kerja pada *precedence diagram*, dan (b) aliran kerja pada masing-masing operator atau stasiun kerja

**2.2.10. Mixed Model Line Balancing**

Ketika produk yang berbeda menggunakan jalur produksi yang sama, mayoritas elemen kerja yang ada pada jalur produksi tersebut memiliki kesamaan antar varian produk. Efisiensi pada tiap stasiun akan berbeda dan menyesuaikan dengan produk yang diproduksi. Jaringan *precedence* pada jalur *mixed model* antar varian produk akan memiliki perbedaan. Walaupun *precedence* antar varian produk berbeda, tetapi jaringan *precedence* harus dibuat secara umum. Contoh *precedence diagram* pada jalur *mixed model* dapat dilihat pada Gambar 2.11. Jika terdapat elemen kerja yang memiliki *predecessors* yang berbeda pada varian yang berbeda, maka *precedence diagram* yang dibuat juga harus dapat menggambarkan kondisi tersebut. Jika terdapat perbedaan waktu operasi elemen

kerja pada varian yang berbeda, maka waktu operasi tersebut harus dikhususkan untuk masing-masing varian dan perhitungan efisiensinya tidak digabung melainkan dipisahkan untuk masing-masing varian karena masing-masing varian produk tidak dikerjakan pada semua stasiun dalam waktu yang sama.



**Gambar 2.11 Contoh precedence diagram untuk jalur dua produk: (a) produk A; (b) produk B; (c) kombinasi produk A dan produk B**

### 2.2.11. Performansi Keseimbangan Lintasan Produksi

Dalam proses penyeimbangan lintasan produksi terdapat beberapa performansi yang dapat digunakan untuk membandingkan tingkat efisiensi dari metode *line balancing* yang digunakan dengan kondisi sistem yang berjalan saat ini. Berikut adalah performansi-performansi keseimbangan lintasan produksi (Baroto, 2002) :

a. *Idle Time* / Waktu menganggur (I)

*Idle time* terjadi jika dari stasiun pekerjaan yang ditugaskan padanya membutuhkan waktu yang sedikit daripada waktu siklus yang telah diberikan. Sehingga, jika dirumuskan maka *Idle time* merupakan selisih atau perbedaan antara waktu siklus ( $T_c$ ) dan *Station Time* (ST) atau  $T_c$  dikurangi dengan ST.

$$Idle\ time = n \cdot W_s - \sum_{i=1}^n W_i \quad (2.8)$$

- Keterangan :
- n = Jumlah stasiun kerja.
  - $W_s$  = Waktu stasiun kerja terbesar.
  - $W_i$  = Waktu aktual pada stasiun kerja.
  - i = 1,2,3,...,n.

b. Efisiensi stasiun kerja

Perbandingan antara waktu operasi aktual pada setiap stasiun kerja ( $W_i$ ) dengan waktu operasi stasiun kerja yang terbesar ( $W_s$ ), Efisiensi stasiun kerja dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{Efisiensi Stasiun Kerja} = \frac{W_i}{W_s} \times 100\% \quad (2.9)$$

c. *Line Efficiency* / Efisiensi Lintasan (LE)

*Line efficiency* merupakan perbandingan dari jumlah keseluruhan waktu di stasiun kerja dibagi dengan jumlah stasiun kerja dikalikan dengan waktu siklus.

$$LE = \frac{\sum_{i=1}^K ST_i}{K \cdot T_c} \times 100\% \quad (2.10)$$

Keterangan :  $ST_i$  = Waktu stasiun dari stasiun ke-1  
 $K$  = Jumlah (banyaknya) stasiun kerja  
 $T_c$  = Waktu Siklus

d. *Balance delay* / Keseimbangan waktu senggang (D)

Biasa disebut dengan *balancing loss* yang merupakan ukuran dari ketidakefisienan jalur perakitan yang dihasilkan dari waktu menganggur yang disebabkan oleh pengalokasian aktivitas yang kurang optimal diantara stasiun-stasiun kerja. *Balance delay* ini memiliki nilai dalam bentuk persentase, berikut perhitungan *Balance delay*.

$$D = \frac{(n \times C) - \sum_{i=1}^n T_o}{(n \times C)} \times 100\% \quad (2.11)$$

Keterangan :  $n$  = Jumlah stasiun kerja  
 $C$  = Waktu siklus terbesar dalam stasiun kerja  
 $\sum T_o$  = Jumlah waktu operasi dari semua operasi  
 $T_o$  = Waktu Operasi

e. *Smoothing Index* (SI)

Merupakan suatu indeks yang menunjukkan kelancaran relative dari penyeimbangan lini perakitan tertentu. Berikut perhitungan dari *Smoothing index*:

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^K (ST_{i\max} - ST_i)^2} \quad (2.12)$$

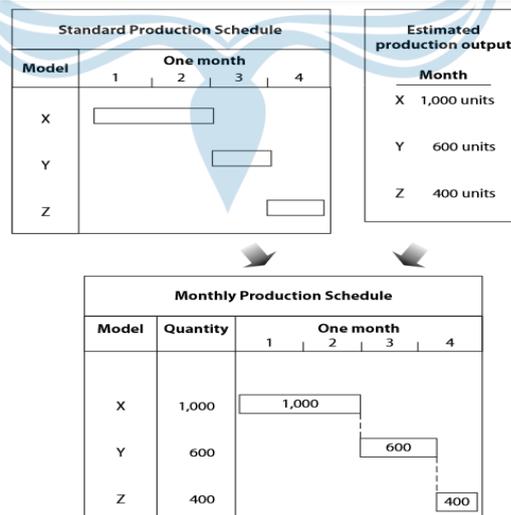
Keterangan :  $ST_{\max}$  = Maksimum waktu di stasiun  
 $ST_i$  = Waktu stasiun di stasiun kerja ke-i

### 2.2.12. Leveling (Metode Level Production)

*Leveling* merupakan metode perencanaan produksi yang mengatur jadwal produksi dengan model produk bervariasi dan volume produksinya secara merata (Hirano, 2009). Konsep dasar dari *Level production* yaitu kegiatan produksi dengan model produk bervariasi secara merata untuk memenuhi kecenderungan tingkat penjualan, dan juga memerlukan penyesuaian terhadap laju produksi (*production pitch, cycle time, takt time*) yang stabil terhadap ragam tingkat inventori. Lini produksi pada *level production* cenderung bersifat *mixed model production*, sehingga penjadwalan produksi yang digunakan juga berbasis pada *mixed model production*. Secara umum, terdapat empat metode utama penjadwalan produksi, masing-masing didasarkan pada jumlah produksi per bulannya (Hirano, 2011) :

#### a. *Once-a-Month Production*

Penjadwalan produksi *once a month* atau sebulan sekali sering terjadi ketika produk tertentu memiliki permintaan yang rendah. Metode ini membutuhkan data berapa banyak produk yang harus dibuat dalam sebulan, kemudian dilakukan penghitungan output harian standar yang akan bertambah per harinya hingga total produksi per bulan yang diinginkan terpenuhi. Contoh penjadwalan produksi *once a month* dapat dilihat pada Gambar 2.12.

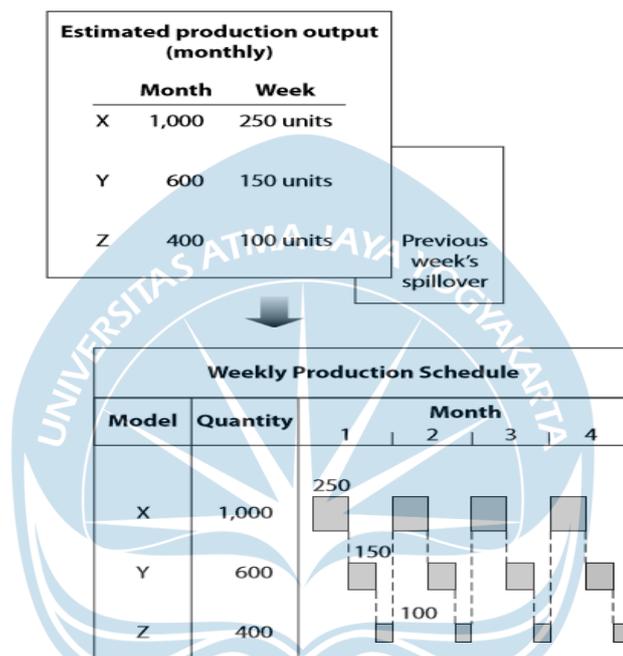


**Gambar 2.12** Contoh penjadwalan produksi *once-a-month* (Hirano, 2011)

#### b. *Once-a-Week Production*

Produksi berbasis *once a week* atau seminggu sekali dengan sebulan sekali memiliki pengertian dasar yang sama, perbedaannya terdapat pada gudang

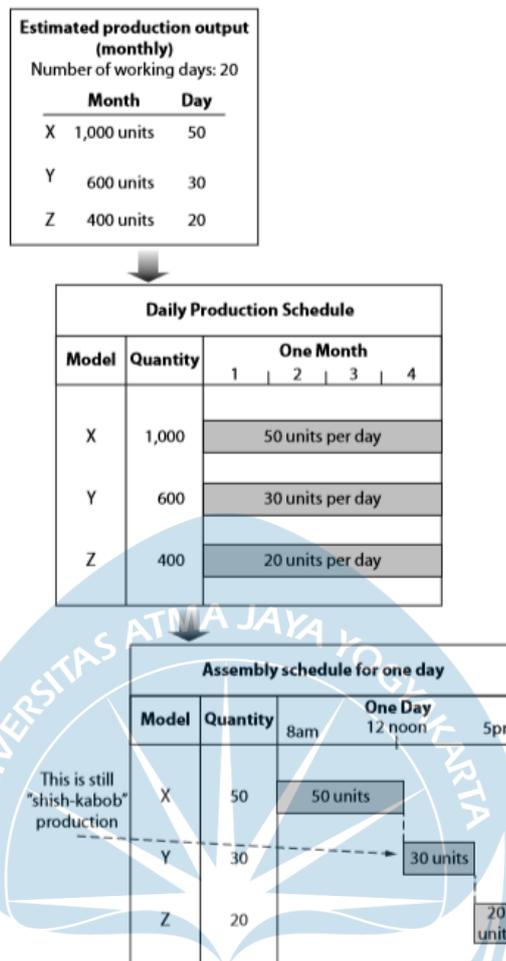
produk dan jumlah produksi pada produksi berbasis seminggu sekali memiliki peluang produksi hanya seperempat dari total produksi per bulan. Gambar . menunjukkan contoh penjadwalan produksi berbasis *once a week* atau seminggu sekali. Seperti dapat dilihat pada contoh Gambar 2.13., jumlah output produksi per bulan dibagi menjadi empat total produksi mingguan yang sama dengan jadwal produksi terpisah dan dibuat untuk setiap minggu hingga total produksi per bulan yang diinginkan dapat terpenuhi.



**Gambar 2.13 Contoh penjadwalan produksi *once-a-week* (Hirano, 2011)**

c. *Once-a-Day Production*

Pada penjadwalan produksi berbasis *once a day* atau sekali sehari, jumlah produksi per hari didapatkan dari hasil pembagaian antara jumlah produksi per bulan dengan jumlah hari kerja yang dibutuhkan selama sebulan. Sehingga, produksi dari berbagai macam model varian dilakukan sekali sehari. Gambar . menunjukkan contoh penjadwalan produksi berbasis *once a day* atau sehari sekali. Penjadwalan produksi berbasis *once a day* tidak sama dengan *level production*. Jika dilihat pada contoh Gambar 2.14. dapat ditemukan bahwa pabrik melakukan produksi untuk produk X selama pagi hari, produk Y diproduksi pada siang hari dan produk Z diproduksi selama jam kerja yang masih tersisa. Jenis produksi inilah yang masih tergolong dalam *shish-kabob*.

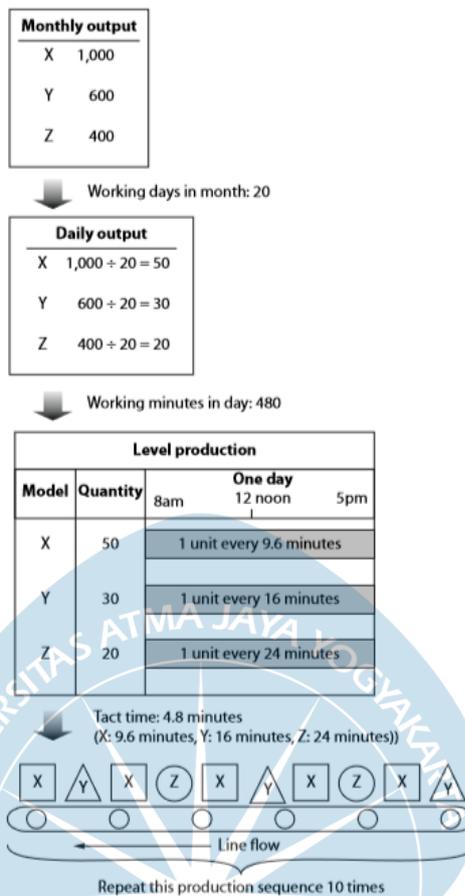


**Gambar 2.14** Contoh penjadwalan produksi *once-a-day* (Hirano, 2011)

d. *Level Production*

Gambar 2.15. menunjukkan contoh penjadwalan *level production*. Penjadwalan *level production* dengan *once a day* memiliki total output harian yang sama. Tetapi, pada penjadwalan *level production*, proses produksi dilakukan secara *one piece flow* atau lot kecil dimana dengan satu unit varian produk yang harus selesai diproduksi selama satu waktu siklus. Perhitungan waktu siklus tiap varian produk pada *level production* dapat dilihat pada Rumus 2.13.

$$\text{Waktu siklus} \left( \frac{\text{menit}}{\text{unit}} \right) = \frac{\text{Jumlah Jam Kerja per hari} \left( \frac{\text{menit}}{\text{hari}} \right)}{\text{Jumlah Produksi per hari} \left( \frac{\text{unit}}{\text{hari}} \right)} \quad (2.13)$$



**Gambar 2.15** Contoh penjadwalan *level production* (Hirano, 2011)

Waktu siklus dihitung pada masing-masing model produk atau varian produk. Waktu siklus ini digunakan sebagai penentu lamanya satu unit varian produk diproduksi, dan penentu waktu pengulangan produksi atau siklus unit yang didapatkan dari hasil pembagian waktu siklus masing-masing varian produk dengan *takt time*. Seperti pada contoh Gambar 2.15., varian X diproduksi sebanyak satu unit setiap 9,6 menit per unit dengan *takt time* 4,8 menit per unit, sehingga varian X dapat diproduksi kembali setelah satu varian model lain selesai diproduksi.

### 2.2.13. *Shish-Kabob Production vs Level Production*

Karakteristik utama dari *level production* yaitu pada bulan tertentu, produk yang sama diproduksi dalam jumlah yang sama setiap hari dan dalam setiap rentang waktu pada hari yang sama, sedangkan *shish kabob* akan memproduksi produk yang sama secara berurutan dalam lot yang besar. Perbedaan antara *shish kabob* dengan *level production* dapat dilihat pada Tabel 2.12.

**Tabel 2.11. Perbandingan antara *shish kabob production* dengan *level production* (Hirano, 2011)**

	<i>Shish Kabob Production</i>	<i>Level Production</i>
Filosofi Produksi	<b>Product-out (Production-centered)</b> “Memproduksi apa, kapan saja dan hanya dalam jumlah yang mudah untuk dibuat”	<b>Market-in (Market-centered)</b> “Memproduksi apa saja yang dibutuhkan, tepat waktu dan dalam jumlah yang dibutuhkan saja”
Metode Produksi	<b>Pengaturan Lot (Shish-Kabob)</b> Mengatur produksi beberapa produk menjadi lot berukuran besar untuk meminimalkan proses <i>setup</i>	<b>Pengaturan waktu siklus</b> Mengatur produksi menjadi bermacam-macam produk yang sesuai dengan kebutuhan pasar dan dapat diproduksi dalam waktu siklus yang sesuai dengan konfigurasi jalur produksi
Pendekatan Efisiensi	<b>Efisiensi pada proses individu</b> Laju produksi didasarkan pada proses individu produk dengan efisiensi maksimum yang dicari pada masing-masing proses individu produk	<b>Efisiensi pada jalur produksi secara keseluruhan</b> Peningkatan efisiensi dilakukan untuk seluruh lini produksi dalam kerangka waktu siklus
Pendekatan Mesin	<b>Mesin berkecepatan tinggi, besar dan mahal</b> Membutuhkan mesin yang lebih cepat untuk menangani volume lot yang besar dan serbaguna sehingga mesin memiliki harga yang mahal	<b>Mesin berkecepatan sedang, khusus, kecil dan lebih murah</b> Membutuhkan mesin yang cukup cepat untuk mempertahankan waktu siklus, mesin mencukupi area jalur produksi dan mampu menangani operasi <i>one piece flow</i>
<i>Inventory dan Lead Time</i>	<b>Persediaan besar dan <i>lead time</i> yang lama</b> Benda kerja yang dikerjakan dalam banyak dapat menyebabkan penumpukan WIP dan menghasilkan <i>lead time</i> yang lebih lama dan kebutuhan yang lebih besar untuk pengangkutan benda kerja	<b>Persediaan kecil dan <i>lead time</i> yang singkat</b> Benda kerja mengalir secara <i>one piece flow</i> dalam waktu siklus, sehingga persediaan WIP hanya membutuhkan jumlah yang sedikit dan <i>lead time</i> dapat lebih pendek dan hamper tidak perlu pengangkutan benda kerja