

BAB 2

LANDASAN TEORI

2.1 Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu ialah kegiatan mengamati dan mencatat waktu-waktu kerja baik setiap elemen kerja maupun siklus dengan menggunakan alat-alat pengukur waktu. Ada dua jenis pengukuran waktu yang dapat dilakukan pada saat melakukan penelitian, yaitu penelitian secara langsung dan pengukuran secara tidak langsung. Pengukuran waktu secara langsung maksudnya ialah pengukuran dilakukan secara langsung di tempat dimana pekerjaan tersebut dilaksanakan. Sedangkan pengukuran secara tidak langsung maksudnya ialah melakukan pengukuran atau melakukan perhitungan waktu tanpa harus berada langsung di lokasi pekerjaan melainkan hanya dengan membaca tabel-tabel yang tersedia dengan syarat harus mengetahui terlebih dahulu jalannya pekerjaan melalui elemen-elemen pekerja atau elemen-elemen gerakan.

Contoh dari pengukuran waktu secara langsung ialah pengukuran waktu dengan menggunakan metode jam henti dan sampling pekerjaan. Pada metode jam henti pengukuran waktu dilakukan dengan menggunakan jam henti (*stopwatch*). Sedangkan contoh dari pengukuran waktu secara tidak langsung ialah pengukuran dengan data waktu gerakan dan data waktu baku.

Adapun tujuan daripada pengukuran waktu ialah untuk mendapatkan waktu baku penyelesaian pekerjaan, yaitu waktu yang dibutuhkan secara wajar oleh seorang

pekerja normal untuk menyelesaikan suatu pekerjaan yang dijalankan dalam sistem kerja terbaik. Pengertian dari waktu baku yang normal, wajar, dan terbaik dimaksudkan untuk menunjukkan bahwa waktu baku yang dicari tidak pada waktu penyelesaian pekerjaan yang dilakukan secara tidak wajar (terlalu lambat atau terlalu cepat) dan tidak ada waktu penyelesaian dengan keterampilan istimewa.

2.1.1 Pengukuran Waktu Jam Henti

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, metode ini menggunakan jam henti (*stopwatch*) sebagai alat utamanya. Cara ini merupakan cara yang paling banyak dipakai karena kesederhanaan aturan-aturannya.

Namun ada beberapa aturan pengukuran yang perlu dijalankan untuk mendapatkan hasil yang baik dalam proses melakukan pengukuran waktu, ada beberapa faktor yang harus diperhatikan agar nantinya dapat diperoleh waktu yang pantas untuk pekerjaan yang bersangkutan seperti yang berhubungan dengan kondisi kerja, cara pengukuran, jumlah pengukuran, dan lain sebagainya. Aturan-aturan tersebut dijelaskan seperti dibawah ini :

1. Penetapan Tujuan Pengukuran

Sebagaimana halnya dengan berbagai kegiatan lain, tujuan melakukan kegiatan harus ditetapkan terlebih dahulu. Dalam pengukuran waktu, hal-hal yang penting diketahui dan ditetapkan adalah untuk apa hasil pengukuran digunakan, beberapa tingkat ketelitian dan tingkat keyakinan yang diinginkan dari hasil pengukuran tersebut.

2. Melakukan Penelitian

Yang dicari dari pengukuran waktu adalah waktu yang pantas diberikan kepada pekerja untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Tentu suatu kondisi yang ada dapat dicari waktu yang pantas tersebut, artinya akan didapat juga waktu yang pantas untuk menyelesaikan pekerjaan dengan kondisi yang bersangkutan.

Tujuan dari melakukan penelitian pendahuluan adalah untuk mempelajari kondisi kerja dan cara kerja kemudian memperbaikinya. Untuk memperbaiki kondisi kerja dan cara kerja diperlukan pengetahuan dan penerapan sistem kerja yang baik.

3. Memilih Operator

Operator yang akan melakukan pekerjaan yang diukur bukanlah orang yang begitu saja diambil dari pabrik. Orang ini harus memenuhi beberapa persyaratan tertentu agar pengukuran dapat berjalan baik, dan hasilnya dapat diandalkan. Syarat-syarat adalah berkemampuan normal dan dapat diajak bekerja sama.

Jika jumlah pekerja yang tersedia ditempat kerja yang bersangkutan banyak maka akan terlihat perbedaan kemampuan diantara mereka, yaitu dari kemampuan rendah sampai tinggi.

Kembali kepada tujuan mengukur waktu yaitu untuk mendapatkan waktu penyelesaian, maka dapat dilihat kenyataan kemampuan pekerja tersebut namun orang dicari bukanlah orang yang berkemampuan tinggi atau rendah, karena orang-orang demikian hanya meliputi sebagian kecil saja

dari seluruh pekerja yang ada. Jadi yang dicari adalah orang yang dapat menyelesaikan pekerjaan yang secara wajar dan berkemampuan rata-rata.

4. Melatih Operator

Walaupun operator yang baik telah didapatkan kadang-kadang masih terdapat kendala-kendala lainnya seperti kondisi kerja dan tata cara kerja yang dipakai tidak sama dengan yang biasa dijalankan operator.

Hal ini terjadi jika pada saat penelitian pendahuluan kondisi kerja atau cara kerja sesudah mengalami perubahan. Dalam keadaan ini operator harus dilatih terlebih dahulu karena sebelum diukur operator harus terbiasa dengan kondisi dan cara kerja yang telah ditetapkan atau dibakukan itu.

5. Menguraikan Pekerjaan Atas Elemen Pekerjaan

Disini pekerjaan dipecah menjadi elemen pekerjaan yang merupakan gerakan bagian dari pekerjaan yang bersangkutan, elemen-elemen inilah yang diukur waktu siklusnya. Waktu siklus adalah waktu penyelesaian satu satuan produksi sejak bahan baku mulai diproses ditempat kerja yang bersangkutan.

Ada beberapa alasan yang menyebabkan pentingnya melakukan penguraian pekerjaan atas elemen-elemennya. Pertama untuk menjelaskan catatan tentang tata cara kerja yang dibakukan. Pada langkah pertama telah dikemukakan bagaimana kondisi dan cara kerja yang dianggap baik dibakukan, yaitu menyatakan secara tertulis untuk kemudian digunakan sebagai pegangan sebelum, pada saat-saat, dan sesudah pengukuran

waktu. Salah satu cara membakukan cara kerja adalah dengan membakukan pekerjaan berdasarkan elemen-elemennya.

Kedua adalah untuk memungkinkan melakukan penyesuaian bagi setiap elemen karena keterampilan bekerjanya operator belum tentu sama untuk semua bagian dari gerakan-gerakan kerjanya.

Sebab ketiga melakukan pembagian kerja menjadi elemen-elemen pekerjaan adalah untuk memudahkan mengamati terjadinya elemen yang tidak baku yang mungkin saja dilakukan pekerja.

Dan alasan yang keempat adalah untuk memungkinkan dikembangkannya data waktu standar atau tempat kerja yang bersangkutan, ini merupakan sebab maka pembagian pekerjaan atas elemen-elemennya harus mengikuti aturan khusus.

Sehubungan dengan langkah-langkah ini, ada beberapa pedoman penguraian pekerjaan atas elemen-elemennya, yaitu :

- a) Sesuai dengan ketelitian yang diinginkan, uraikan pekerjaan menjadi elemen-elemennya seterperinci mungkin, tetapi masih dapat diamati oleh indera pengukur dan dapat direkam waktunya oleh jam henti yang digunakan.
- b) Untuk memudahkan, elemen-elemen pekerjaan hendaknya berupa satu atau beberapa elemen gerakan misalnya seperti yang dikembangkan oleh gilberth.
- c) Jangan sampai ada elemen yang tertinggal, jumlah dari semua elemen harus tepat sama dengan satu pekerjaan yang bersangkutan.

d) Elemen yang satu hendaknya dipisahkan dari elemen yang lain secara jelas. Batas-batas diantaranya harus dapat dengan mudah diamati agar tidak ada keragu-raguan dalam menentukan bagaimana suatu elemen berakhir dan bilamana elemen berikutnya bermula.

6. Menyiapkan alat-alat pengukuran

Menyiapkan alat-alat pengukuran merupakan langkah terakhir sebelum melakukan pengukuran yaitu menyiapkan alat-alat yang diperlukan. Alat-alat tersebut adalah :

- Jam henti
- Lembaran-lembaran pengamatan
- Pena atau pensil
- Papan pengamatan

2.2 Pengujian Data

2.2.1 Uji Kenormalan Data

Uji kenormalan data bertujuan untuk menentukan apakah data-data yang diperoleh telah terdistribusi normal atau tidak. Uji yang dipakai adalah uji kebaikan suai (*Goodness of Fit Test*), uji kebaikan suai digunakan untuk mengetahui apakah suatu populasi mengikuti suatu distribusi teoritik tertentu. Uji ini didasarkan pada seberapa baik kesesuaian antara frekuensi yang teramati dalam sampel dengan frekuensi harapan yang didasarkan pada distribusi yang dihipotesiskan (Riduwan, 2003, hal 187).

2.2.2 Uji Keseragaman Data

Uji keseragaman data bertujuan untuk mengetahui apakah hasil pengukuran waktu cukup seragam. Suatu data dikatakan seragam apabila data tersebut berada dalam rentang batas-batas kontrol tertentu, yaitu Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB). dimana langkah-langkah melakukan uji keseragaman data (Sutalaksana et al, 1979 hal 132) adalah sebagai berikut :

1. Hitung rata-rata sub group

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (2-1)$$

Dimana :

\bar{x} = Harga nilai rata-rata dari sub group ke-i

n = Besarnya sub group

2. Hitungan harga rata-rata dari rata-rata sub group

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad (2-2)$$

Dimana :

N = Jumlah pengamatan

3. Hitung standar deviasi

$$\delta = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}} \quad (2-3)$$

4. Hitung standar deviasi dari distribusi harga rata-rata sub group

$$\delta_x = \frac{\delta}{\sqrt{n}} \quad (2-4)$$

5. Penentuan batas-batas kontrol

$$BKA = \bar{x} + 2\delta_x \quad (2-5)$$

$$BKA = \bar{x} - 2\delta_x \quad (2-6)$$

Batas-batas kontrol tersebut menunjukkan batas keseragaman atau tidaknya suatu sub group. Dalam perhitungan selanjutnya data yang akan digunakan adalah data-data yang berada dalam batas kontrol tersebut.

2.2.3 Uji Kecukupan Data

Hal yang terakhir dalam pengujian data pengukuran adalah uji kecukupan data. Jumlah pengukuran yang diperlukan sangat berkaitan erat dengan tingkat ketelitian dan tingkat keyakinan yang dikehendaki. Sedangkan data dan jumlah pengukuran yang dipergunakan dalam uji kecukupan data merupakan data merupakan data dan jumlah dari pengukuran yang seragam.

Dimana langkah-langkah melakukan uji kecukupan data adalah sebagai berikut :

1. Tentukan tingkat ketelitian dan tingkat keyakinan yang dikehendaki
2. Tentukan rumus untuk menghitung N'

$$N' = \left[\frac{K / S \sqrt{N(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2}}{\sum Xi} \right]^2 \quad (2-7)$$

Dimana :

N' = Jumlah pengamatan minimum

N = Jumlah pengamatan yang telah dilakukan

K = Tingkat keyakinan

S = Tingkat ketelitian

Jika $N' < N$, maka pengamatan yang dilakukan dianggap cukup dan dilanjutkan dengan perhitungan waktu baku. Tetapi jika $N' > N$, maka dengan tingkat keyakinan dan ketelitian yang demikian perlu dilakukan pengamatan lagi sebanyak N' dikurangi N .

2.3 Penyesuaian

Penyesuaian adalah proses dimana analisa pengukuran waktu membandingkan penampilan operator (kecepatan atau tempo) dalam pengamatan dengan konsep pengukuran sendiri tentang bekerja secara wajar. (Sutalaksana, 1979 hal 183)

Ketidakwajaran dapat saja terjadi, misalnya bekerja tanpa kesungguhan, sangat lamban karena disengaja, sangat cepat seolah dikejar waktu atau menjumpai kesulitan seperti kondisi ruang yang buruk. Hal-hal inilah yang mempengaruhi kecepatan kerja yang berakibat terlalu cepat atau terlalu lambat dalam menyelesaikan suatu pekerjaan.

Biasanya penyesuaian dilakukan dengan mengalikan waktu siklus rata-rata atau waktu elemen rata-rata dengan suatu harga "**p**" yang disebut faktor penyesuaian. Besarnya harga "**p**" tentunya sedemikian rupa sehingga hasil perkalian yang diperoleh mencerminkan waktu yang sewajarnya atau yang normal.

Waktu baku yang telah kita cari adalah waktu yang diperoleh dari kondisi dan cara kerja yang diselesaikan secara wajar dan benar oleh operator. Bila ketidakwajaran terjadi, maka pengukur harus menilainya dan berdasarkan penilaian inilah penyesuaian dilakukan.

Beberapa metode yang digunakan dalam menentukan faktor penyesuaian ialah:

a) Metode Persentase

Metode ini merupakan cara yang paling awal digunakan dalam melakukan penyesuaian dan merupakan cara yang paling mudah dan sederhana. Pada metode ini faktor penyesuaian sepenuhnya ditentukan oleh si pengukur melalui pengamatannya selama melakukan pengukuran.

b) Metode Schumard

Schumard memberikan batasan penilaian melalui kelas-kelas performansi kerja dimana setiap kelas mempunyai nilai sendiri-sendiri. Seseorang yang dianggap bekerja secara normal diberi nilai 60, dimana performansi kerja yang lain dibandingkan untuk menghitung faktor penyesuaian. Berikut ini adalah kelas-kelas dengan nilai penyesuaiannya sendiri-sendiri :

Tabel. 2.1 Penyesuaian menurut cara *Shumard*

Kelas	Penyesuaian	Kelas	Penyesuaian
Super fast	100	Good -	65
Fast +	95	Normal	60
Fast	90	Fair +	55
Fast -	85	Fair	50
Excellent	80	Fair -	45
Good +	75	Poor	40
Good	70		

c) Metode *Westinghouse*

Metode ini terdiri dari 4 faktor yang menentukan kewajaran dan ketidakwajaran dalam bekerja, yaitu keterampilan, usaha, kondisi kerja, dan konsistensi.

Keterampilan atau skill merupakan kemampuan mengikuti cara kerja yang ditetapkan.

Usaha atau effort merupakan kondisi fisik lingkungannya seperti keadaan pencahayaan, temperatur, dan kebisingan ruangan kerja.

Dalam kewajaran faktor penyesuaian diberi nilai 1, sedangkan terhadap penyimpangan dari keadaan ini, harga penyesuaian ditambah dengan angka-angka yang sesuai dengan keempat faktor di atas.

Nilai-nilai faktor penyesuaian berdasarkan metode *Westinghouse* dapat dilihat pada table 2.2 dibawah ini :

Tabel 2.2. Penyesuaian berdasarkan metode *Westinghouse*

Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian
Keterampilan	Superskill	A1	+ 0.15
		A2	+ 0.13
	Excellent	B1	+ 0.11
		B2	+ 0.08
	Good	C1	+ 0.06
		C2	+0.03
	Average	D	0.00
	Fair	E1	- 0.05
		E2	- 0.10
	Poor	F1	- 0.16
F2		- 0.22	
Usaha	Excessive	A1	+ 0.13
		A2	+ 0.12
	Excellent	B1	+0.10
		B2	+0.08
	Good	C1	+ 0.05
		C2	+ 0.02
	Average	D	0.00
	Fair	E1	- 0.04
		E2	- 0.08
	Poor	F1	- 0.12
F2		- 0.17	
Kondisi Kerja	Ideal	A	+ 0.06
	Excellent	B	+ 0.04
	Good	C	+ 0.02
	Average	D	0.00

	Fair	E	- 0.03
	Poor	F	- 0.07
Konsistensi	Perfect	A	+ 0.04
	Excellent	B	+ 0.03
	Good	C	+ 0.01
	Average	D	0.00
	Fair	E	- 0.02
	Poor	F	- 0.04

Dalam perhitungan nilai penyesuaian dengan metode *Westinghouse* dipengaruhi oleh 2 faktor yaitu bagi keadaan yang dianggap wajar diberi $p = 1$, sedangkan terhadap penyimpangan dari keadaan ini harga p -nya ditambah dengan angka-angka yang sesuai dengan keempat faktor di atas.

d) Metode Objektif

Metode ini memperhatikan 2 faktor, yaitu faktor kecepatan dan tingkat kesulitan pekerjaan. Kecepatan kerja adalah kecepatan dalam melakukan pekerjaan dalam pengertian biasa.

Jika operator bekerja normal maka $p=1$. Bila kecepataannya terlalu tinggi maka harga $p > 1$, dan apabila kecepataannya terlalu lambat maka harga $p < 1$. Cara menentukan nilai p ini sama dengan cara menentukan faktor penyesuaian dengan persentase. Untuk tingkat kesulitan kerja, faktor penyesuaiannya disebut p_2 , dimana menunjukkan berbagai keadaan kesulitan kerja. (Sutalaksana, 1979, hal 138 – 147)

2.4 Kelonggaran

Satu hal yang tidak mungkin terjadi ialah bahwa seseorang bekerja seharian tanpa ada gangguan. Operator mungkin membutuhkan waktu untuk kebutuhan pribadi, untuk istirahat dan hambatan-hambatan lain yang tidak dapat dihindarkan.

2.4.1 Kelonggaran Untuk Kebutuhan Pribadi

Yang termasuk dalam kelonggaran kebutuhan pribadi ialah hal-hal seperti minum sekedar hanya untuk menghilangkan rasa haus, untuk menghilangkan ketegangan atau kejenuhan dalam bekerja.

Kebutuhan seperti ini ialah hal yang mutlak, bila dilarang akan mengakibatkan pekerja stress dan tidak dapat bekerja dengan sebaik-baiknya sehingga produktivitas dapat menurun.

2.4.2 Kelonggaran Untuk Menghilangkan Rasa Fatigue

Rasa *fatigue* tercermin bila menurunnya hasil produksi baik jumlah maupun kualitas. Bila rasa *fatigue* telah datang dan pekerja harus bekerja untuk menghasilkan performansi normalnya, maka usaha yang dikeluarkan pekerja lebih besar dari keadaan normal dan hal ini akan menambahkan rasa *fatigue*.

2.4.3 Kelonggaran Untuk Hambatan Yang Tak Terhindarkan

Yang termasuk dalam hambatan yang tak terhindarkan adalah menerima atau meminta petunjuk pengawas, melakukan penyesuaian mesin, memperbaiki kemacetan-kemacetan singkat, mengasah peralatan grinda, dan lain-lain. Hal-hal

seperti ini hanya dapat diusahakan serendah mungkin. (Sutalaksana, 1979, hal 149 – 150)

Besarnya kelonggaran yang diberikan untuk kebutuhan pribadi dan untuk menghilangkan rasa *fatigue* dapat ditentukan dengan memperhatikan faktor-faktor yang berpengaruh didalamnya.

2.5 Menghitung Waktu Baku

Kegiatan pengukuran waktu dikatakan selesai apabila semua data yang diperoleh telah seragam dan jumlahnya telah memenuhi tingkat ketelitian dan tingkat keyakinan yang diinginkan. Proses selanjutnya ialah mengolah data tersebut untuk menghitung waktu baku dengan mengikuti langkah-langkah sebagai berikut :

1. Menghitung waktu siklus

Waktu siklus adalah waktu penyelesaian satu satuan produk sejak bahan baku mulai diproses sampai menjadi barang jadi. (Sutalaksana, 1979, hal 137)

Waktu siklus biasanya dipengaruhi oleh *output* yang dikehendaki selama periode waktu operasi, dimana rumus perhitungan waktu siklus adalah :

$$W_s = \frac{\sum X_i}{N} \quad (2-8)$$

Dimana :

X_i = Waktu penyelesaian yang teramati selama pengukuran

2. Menghitung waktu normal

Waktu normal siklus adalah waktu siklus dikalikan dengan faktor penyesuaian. (Sutalaksana, 1979, hal 137) Rumusnya perhitungan waktu normal adalah :

$$W_n = W_s \times P \quad (2-9)$$

Dimana :

W_n = Waktu normal

W_s = Waktu siklus

P = Faktor Penyesuaian

3. Menghitung waktu baku

Waktu baku adalah waktu total yang diperlukan oleh operator untuk melakukan pekerjaannya ditambah faktor kelonggaran. (Sutalaksana, 1979, hal 137) Rumusnya perhitungan waktu baku adalah :

$$\text{Waktu baku} = \frac{\text{waktu normal} \times 100\%}{100\% - \text{Allowance}} \quad (2-10)$$

2.6 Keseimbangan Lini (*Line Balancing*)

2.6.1 Definisi Keseimbangan Lini (*line balancing*)

Line Balancing adalah suatu keadaan proses operasi produksi yang saling bergantung dan mempunyai waktu penyelesaian pada setiap stasiun kerja yang sama atau kira-kira sama, sehingga diharapkan penyelesaian proses produksi dari stasiun kerja ke stasiun kerja lainnya berjalan dengan lancar dan dengan kecepatan yang tetap atau seimbang. Keseimbangan lini produksi bermula dari lini produksi massal, dimana dalam proses produksinya harus dibagikan kepada seluruh operator sehingga beban kerja operator merata. Jadi dalam *line balancing* mempelajari bagaimana kita merancang suatu lintasan produksi agar tercapai keseimbangan beban yang dialokasikan pada setiap stasiun kerja dalam menghasilkan produk.

Tujuan dari penyeimbangan lintasan perakitan ialah :

1. Membagi elemen-elemen kerja secara merata sehingga tidak ada stasiun kerja yang melakukan pekerjaan lebih lama dibanding stasiun kerja lainnya.
2. Menyeimbangkan beban kerja pada setiap stasiun-stasiun kerja.
3. Menjaga lini perakitan agar tetap lancar dan kontinu. (Elsayed,E, 1985, hal 344)

Dengan demikian kriteria yang umum digunakan dalam suatu Keseimbangan lini perakitan ialah :

1. Minimum waktu menggangur berdasarkan kendala-kendala yang ada.

2. Minimum keseimbangan waktu mengganggu (*balance delay*) atau maksimum efisiensi lini (*line efficiency*) berdasarkan kendala-kendala yang ada.

2.6.2 Bagian-bagian Keseimbangan Lini (*line balancing*)

1. *Work Elemen*

Merupakan bagian dari keseluruhan pekerjaan dalam proses perakitan. Umumnya digunakan symbol N dalam mendefinisikan jumlah total dari elemen kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu perakitan dan simbol i untuk elemen kerjanya.

2. *Workstation (WS)*

Adalah lokasi pada lini perakitan atau pembuatan suatu produk dimana pekerjaan diselesaikan baik dengan manual maupun otomatis

3. *Cycle Time (CT)*

Cycle Time atau waktu siklus adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk menghasilkan sebuah unit pada tiap stasiun. Jika waktu yang dibutuhkan untuk elemen-elemen kerja pada satu stasiun melampaui waktu siklus lini, maka stasiun tersebut mengalami keterlambatan. *Cycle Time* dinyatakan dalam :

$$CT = \frac{\text{Waktu Pr oduksi Perhari}}{\text{Output Perhari}} \quad (2-11)$$

4. *Station Time (ST)*

Station Time atau waktu stasiun adalah jumlah waktu dari elemen-elemen kerja yang ditunjukkan pada stasiun kerja yang sama. Waktu stasiun tidak boleh melampaui waktu siklus.

5. Waktu Menganggur

Waktu Menganggur adalah selisih antara waktu stasiun dengan waktu perstasiun kerja. Perbedaan antara waktu stasiun dengan waktu siklus disebut juga dengan *idle time* (ID).

6. *Precedence constrains*

Merupakan suatu aturan dimana suatu elemen kerja dapat dikerjakan apabila satu atau beberapa elemen kerja telah dikerjakan terlebih dahulu.

7. *Precedence Diagram*

Merupakan suatu aturan kerja pada *Precedence constrains* yang dituangkan dalam bentuk gambar.

8. Efisiensi Lini (*line efficiency*)

Adalah perbandingan dari total waktu perstasiun kerja terhadap keterkaitan waktu siklus dengan jumlah stasiun kerja, yang dinyatakan dalam persentase.

$$LE = \frac{\sum ST_k}{(k)(W_{maks})} \times 100 \% \quad (2-12)$$

Dimana :

ST_k = Total waktu baku di stasiun kerja ke-k

W_{maks} = Waktu baku terbesar di stasiun kerja

CT_R = ST_k terbesar

9. *Balance Delay*

Merupakan perbandingan antara waktu mengganggu dengan waktu siklus dan jumlah stasiun kerja, atau dengan kata lain jumlah antara *balance delay* dan *line efficiency* sama satu.

$$BD = \frac{(k)(W_{maks}) - \sum ST_k}{(k)(W_{maks})} \times 100\% \quad (2-13)$$

10. *Smoothness Index*

Merupakan suatu index yang menunjukkan kelancaran relative dari suatu keseimbangan lini perakitan. Rumus perhitungan *smoothness index* adalah :

$$SI = \sqrt{\sum (CT_R - ST_k)^2} \quad (2-14)$$

Beberapa tipe pembatas dalam keseimbangan lini adalah :

- Pembatas Teknologi

Pembatas teknologi adalah proses pengerjaan yang sudah tertentu, misalnya suatu proses tidak mungkin dikerjakan bila proses sebelumnya belum dikerjakan atau suatu proses harus dilakukan langsung segera setelah penyelesaian suatu proses tertentu.

- Pembatas Fasilitas

Pembatas ini adalah akibat adanya fasilitas / mesin yang tidak dapat dipindahkan (fasilitas tetap).

- Pembatas Posisi

Membatasi pengelompokan elemen-elemen kerja karena orientasi produk terhadap operator yang sudah tertentu.

- *Zoning Constraint*

Zoning Constraint terdiri atas *positive zoning constraint* dan *negative zoning constraint*

Positive zoning constraint berarti bahwa elemen-elemen pekerjaan tertentu harus ditempatkan saling berdekatan dalam stasiun kerja yang sama.

Negative zoning constraint menyatakan bahwa jika satu elemen pekerjaan dengan elemen pekerjaan lain sifatnya saling mengganggu maka sebaiknya tidak ditempatkan saling berdekatan.

2.6.3 Metode Keseimbangan Lini (*line balancing*)

Dalam menyeimbangkan suatu lini produksi terdapat beberapa metode yang dapat digunakan, salah satunya adalah metode *heuristic*. Model *heuristic* ini menggunakan aturan-aturan yang logis dalam memecahkan masalah. Inti dari pendekatan secara *heuristic* ini adalah untuk mengaplikasikan kegiatan yang dapat mengurangi bentuk permasalahan secara efektif, sehingga model ini dirancang untuk menghasilkan strategi yang relative baik dengan dengan mengacu pada batasan-batasan tertentu. Model *heuristic* ini banyak digunakan dalam masalah yang berkaitan dengan keseimbangan lini produksi. Kriteria pokok pendekatan dengan metode ini adalah pemecahan yang lebih baik dan lebih cepat.

Berikuti ini adalah beberapa metode *heuristic* yang umum dikenal dalam menyelesaikan masalah keseimbangan lini, yaitu :

2.6.3.1 Metode *Ranked Positional Weight* (RPW)

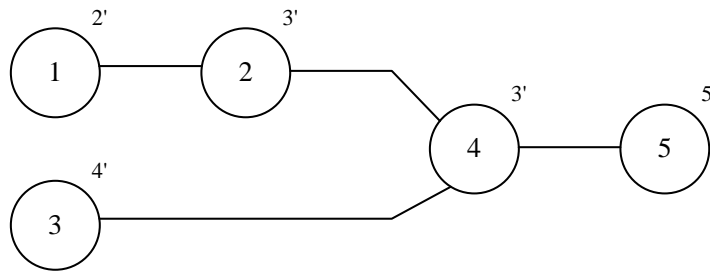
Pendekatan ini menggunakan cara penjumlahan waktu dari operasi-operasi yang terkontrol dalam sebuah stasiun kerja dengan operasi tertentu yang disebut sebagai bobot posisi. Pengurutan operasi yang menurun dilakukan menurut bobot posisinya yang mengarah. Pada teknik perancangan dari teknik pengurutan bobot posisi (*ranked positional weight technique*). Metode *heuristic* ini mengutamakan waktu elemen kerja yang terpanjang, dimana elemen kerja ini akan diprioritaskan terlebih dahulu untuk ditempatkan dalam stasiun kerja yang kemudian diikuti oleh elemen kerja yang lain yang memiliki waktu elemen yang lebih rendah.

Berikut ini adalah tahapan-tahapan yang perlu dilakukan dalam menyelesaikan keseimbangan lini dengan metode ini :

1. Tentukan *precedence diagram* sesuai dengan keadaan yang sebenarnya
2. Tentukan *positional weight* (bobot posisi) untuk setiap elemen pekerjaannya dari suatu operasi dengan memperhatikan *precedence diagram*. Cara penentuan bobot posisinya adalah sebagai berikut :

$\text{Bobot (RPW)} = \text{Waktu Proses Operasi Tersebut} + \text{Waktu Proses Operasi}$ <p style="text-align: center;">Berikutnya</p>

Contoh :



Gambar 2.1. Contoh Penentuan Bobot Posisi

Berarti :

- Bobot untuk operasi 1 adalah $2+3+4+5 = 13$
 - Bobot untuk operasi 2 adalah $3+3+5 = 11$
 - Bobot untuk operasi 3 adalah $4+3+5 = 12$; dan seterusnya
3. Urutkan elemen operasi berdasarkan bobot posisi yang telah didapatkan pada langkah kedua. Pengurutannya dimulai dari elemen operasi yang memiliki bobot posisi yang terbesar.
 4. Lanjutkan dengan penempatan elemen pekerjaan yang memiliki bobot posisi terbesar sampai yang terkecil ke setiap stasiun kerja.
 5. Jika pada setiap stasiun kerja terdapat waktu yang berlebihan (dalam hal ini waktu tiap stasiun kerja melebihi waktu maksimumnya), maka ganti elemen kerja yang dalam stasiun kerja tersebut ke stasiun kerja berikutnya selama tidak menyalahi diagram *precedence*.
 6. Ulangi lagi langkah ke-4 dan ke-5 diatas sampai seluruh elemen pekerjaan telah ditempatkan ke dalam stasiun kerja.

2.6.3.2 Metode J – Wagon

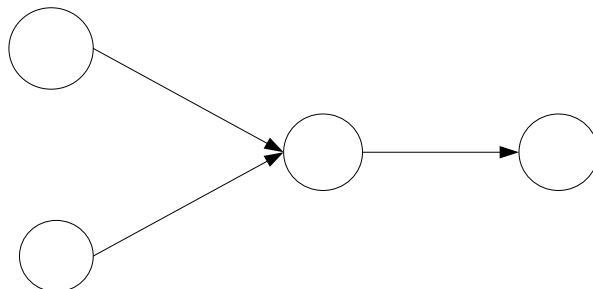
Metode *heuristic* ini mengutamakan jumlah elemen kerja yang terbanyak, dimana elemen kerja tersebut akan diprioritaskan terlebih dahulu untuk ditempatkan dalam stasiun kerja dan diikuti oleh elemen kerja yang lain yang memiliki jumlah elemen kerja yang lebih sedikit . Apabila terdapat dua elemen kerja yang memiliki nilai bobot yang sama, maka prioritas akan diberikan kepada elemen kerja yang memiliki waktu pengerjaan lebih besar.

Kemudian dalam hal penentuan bobot, berbeda dengan metode *ranked positional weight*, pada metode J – Wagon ini bobot yang dihitung adalah jumlah operasi (bukan waktu operasi).

Cara perhitungan bobot (J – Wagon) adalah sebagai berikut :

Bobot (J – Wagon) = jumlah proses operasi-operasi yang bergantung pada operasi tersebut.

Contoh :



Gambar 2.2 Contoh Penentuan Bobot Posisi

Dari contoh *precedence* diagram diatas, berarti :

- Bobot untuk operasi 4 adalah 0
- Bobot untuk operasi 3 adalah 1 yaitu operasi 4
- Bobot operasi 2 adalah 2 yaitu operasi 3 dan 4
- Bobot operasi 1 adalah 2 yaitu operasi 3 dan 4

Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam melakukan penyeimbangan lini dengan metode J – Wagon, adalah sebagai berikut :

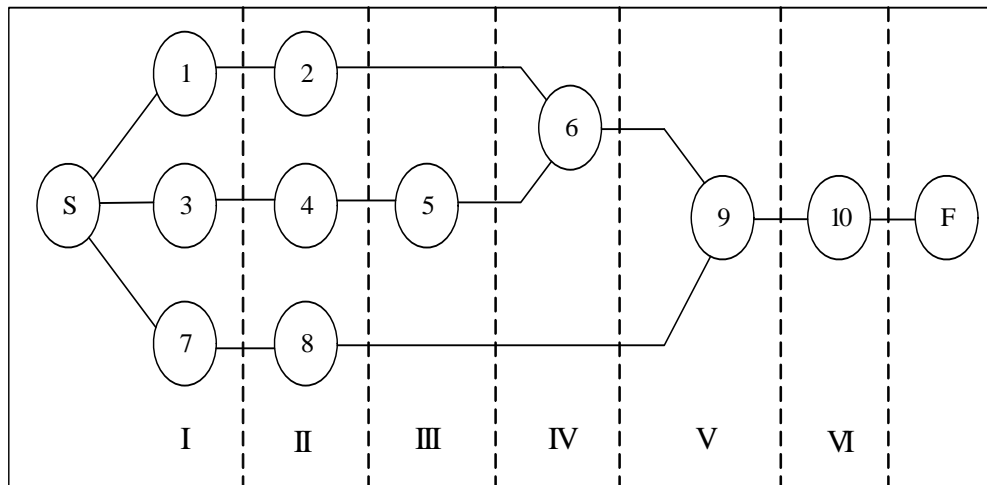
1. Urutkan elemen-elemen pekerjaan dari yang memiliki jumlah elemen kerja paling banyak sampai yang memiliki elemen kerja paling sedikit. Proses ini dinamakan proses pemberian bobot (J – Wagon). Pemberian bobot (J – Wagon) didasarkan pada jumlah operasi (bukan waktu operasi).
2. Apabila terdapat dua elemen kerja yang memiliki nilai bobot yang sama, maka prioritas akan diberikan kepada elemen kerja yang memiliki waktu pengerjaan lebih besar.
3. Tempatkan elemen pekerjaan yang memiliki bobot (J – Wagon) tertinggi hingga yang terendah ke setiap stasiun kerja.
4. Jika pada setiap stasiun kerja terdapat kelebihan waktu, dalam hal ini waktu stasiun melebihi waktu siklus, tukar atau ganti elemen pekerjaan yang ada dalam stasiun kerja tersebut ke stasiun kerja berikutnya selama tidak menyalahi *precedence diagram*.

5. Ulangi langkah ke-3 dan ke-4 di atas sampai seluruh elemen pekerjaan sudah ditempatkan ke dalam stasiun kerja.

2.6.3.3 Metode Region Approach

Pendekatan ini melibatkan pertukaran antara pekerjaan setelah diperoleh keseimbangan lintasan mula-mula. Dengan pendekatan ini kombinasi dari pekerjaan yang sesuai untuk pertukaran akan menjadi sangat kaku dan tidak layak untuk jaringan yang besar. Sebagai dasar pembobotannya adalah OPC yang ditransformasikan menjadi *precedence diagram* dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Tentukan *precedence diagram* sesuai dengan keadaan yang sebenarnya
2. Pembagian operasi kedalam *precedence diagram* dalam beberapa *region* atau daerah dari kiri kekanan, dengan syarat dalam satu daerah tidak boleh ada operasi yang saling bergantung. Kumpulkan semua pekerjaan ke wilayah *precedence* yang terakhir. Hal ini akan menjamin bahwa pekerjaan dengan sedikit ketergantungan akan paling sedikit dipertimbangkan untuk pekerjaan yang paling akhir dalam penjadwalannya.



Gambar 2.3. Pembagian Wilayah Pada Metode *Region Approach*

3. Pengurutan waktu pekerjaan dari yang paling maksimum ke yang paling minimum kedalam setiap wilayah *precedence*. Ini akan menjamin pekerjaan terbesar akan diprioritaskan terlebih dahulu, memberikan kesempatan untuk memperoleh kombinasi yang paling baik dengan pekerjaan-pekerjaan yang lebih kecil.

Tabel 2.3. Pengurutan Waktu Pekerjaan

Elemen Kerja	Region	Wb (dt)	Elemen Pendahulu
1	I	5	-
2	I	4	-
3	I	3	-
4	II	5	3
5	II	4	7
6	II	3	1
7	III	2	4
8	IV	3	2,5
9	V	6	6,8
10	VI	5	9

4. Pengelompokkan pekerjaan-pekerjaan dengan urutan sebagai berikut :
 - Mula-mula wilayah paling kiri
 - Dalam sebuah wilayah, mula-mula dikerjakan pekerjaan yang mempunyai waktu yang terbesar
5. Pengelompokkan operasi kedalam stasiun kerja berdasarkan syarat yang tidak melebihi waktu maksimum yang telah ditetapkan. Pada akhir setiap stasiun kerja, harus diputuskan apakah penggunaan waktunya dapat diterima atau tidak. Jika tidak, periksa semua pekerjaan yang memiliki hubungan *precedence*. Tentukkanlah apakah penggunaan akan meningkat bila dilakukan pertukaran pekerjaan yang berada dalam wilayah yang sama atau sebelumnya dengan pekerjaan yang sedang dipertimbangkan. Bila ya, lakukan pertukaran.
6. Teruskan hingga semua elemen operasi ditempatkan pada semua stasiun kerja.

2.6.3.4 Metode *Largest Candidate Rule* (LCR)

Metode *Largest Candidate Rule* merupakan metode yang mengurutkan T_{ek} dari besar ke kecil. Adapun langkah-langkah yang harus dilakukan dalam melakukan penyeimbangan lini dengan metode *Largest Candidat Rule*, adalah sebagai berikut :

1. Tentukan *precedence diagram* sesuai dengan keadaan yang sebenarnya

2. Urutkan semua elemen operasi dari yang paling besar waktunya hingga yang paling kecil.
3. Elemen kerja pada stasiun kerja pertama diambil dari urutan yang paling atas. Elemen kerja dapat diganti atau dipindahkan ke stasiun berikutnya, apabila jumlah elemen kerja telah melebihi batas waktu siklusnya.
4. Lanjutkan proses langkah kedua, hingga semua elemen kerja telah berada dalam stasiun kerja dan memenuhi atau lebih kecil atau sama dengan waktu siklus (*cycle time*).

2.6.3.5 Metode *Reversed Ranked Positional Weight (Reversed RPW)*

Sebelum masuk metode *reversed ranked positional weight (Reverse RPW)*, kita harus mengenal metode *ranked positional weight (RPW)* terlebih dahulu. Cara penentuan bobot dari *reversed RPW* dimulai dari proses akhir.

$\text{Bobot (RPW)} = \text{Waktu Proses Operasi Tersebut} + \text{Waktu Proses Operasi-Operasi Yang Mengikutinya}$

Pengelompokkan operasi ke dalam stasiun kerja dilakukan atas dasar urutan RPW (dari yang terbesar) dan juga memperhatikan pembatas berupa waktu siklus dan elemen pendahulunya. Metode *heuristic* ini mengutamakan waktu elemen kerja yang terpanjang, dimana elemen kerja ini akan diprioritaskan terlebih dahulu untuk ditempatkan dalam stasiun kerja dan diikuti oleh elemen kerja yang memiliki waktu elemen yang lebih rendah. Proses ini dilakukan dengan memberikan bobot. Bobot ini

diberikan pada setiap elemen kerja dengan memperhatikan diagram *precedence*. Dengan sendirinya elemen pekerjaan yang memiliki ketergantungan yang besar akan memiliki bobot yang semakin besar pula. Dengan kata lain, akan lebih diprioritaskan (Bedworth, 1997, hal 364).

Metode *reversed RPW* memiliki cara pengerjaan yang hampir sama dengan metode *RPW*, hanya saja pengerjaannya dibalik. Metode ini memberikan prioritas bagi operasi-operasi kerja yang lebih lama berada di lintasan lini. Berikut ini adalah langkah-langkah yang harus dilakukan dalam melakukan penyeimbangan lini dengan metode *reversed ranked positional weight (Reverse RPW)* :

1. Gambarkan jaringan *precedence* sesuai dengan keadaan sebenarnya, kemudian diagram *precedence* dibalik atau dicerminkan dengan urutan sebagai berikut :
 - a. elemen kerja terakhir menjadi elemen kerja pertama pada diagram baru.
 - b. elemen kerja terakhir kedua menjadi elemen kerja kedua pada diagram baru.
 - c. dan seterusnya.
2. Tentukan *positional weight* (bobot posisi) untuk setiap elemen pada diagram *precedence* baru sesuai dengan aturan rumus yang telah dipaparkan diatas.

3. Urutkan elemen pekerjaan berdasarkan *positional weight* pada langkah kedua diatas, elemen pekerjaan yang memiliki *positional weight* tertinggi diurutkan pertama kali.
4. Lanjutkan penempatan elemen pekerjaan yang memiliki *positional weight* tertinggi hingga terendah kesetiap stasiun kerja.
5. Jika pada stasiun kerja terdapat kelebihan waktu dalam hal ini waktu stasiun melebihi waktu siklus, tukar atau ganti elemen pekerjaan yang ada dalam stasiun kerja tersebut ke stasiun kerja berikutnya selama tidak menyalahi diagram *precedence*.
6. Ulangi langkah ke-4 dan ke-5 diatas sampai seluruh elemen pekerjaan sudah ditempatkan kedalam stasiun kerja.
7. Setelah didapatkan pembagian stasiun kerja yang baru, kemudian stasiun kerja pertama menjadi yang terakhir, stasiun kerja kedua menjadi kedua terakhir, dan seterusnya. Elemen-elemen yang ada didalamnya juga dikembalikan ke posisi awal.