

PENENTUAN KESEIMBANGAN LINTASAN OPTIMAL DENGAN MENGGUNAKAN METODE HEURISTIK

Taufiqur Rachman

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Esa Unggul, Jakarta

Jln Arjuna Utara No.9 Kebon Jeruk Jakarta

taufiqur.rachman@esaunggul.ac.id

Abstract

This research aims to determine the optimal line balancing using heuristic methods, with the object of the research in an automotive component assembly process at PT.CSI, in order to produce optimal output, so it can be achieve the objectives in a timely manner, the right quantity, right quality and cost more efficiently. The method used in this research is line balancing heuristic methods. This method uses logical rules in solving problems. Heuristic methods that used in this research are: Helgesson-Birnie Method/Ranked Positional Weight (RPW), Largest Candidate Rule Method dan J-Wagon Method. Heuristic model does not guarantee optimal results, but this model is designed to produce a relatively better strategy with reference to certain constraints. From this research it can be know that the three heuristic methods are used, resulting potential output are equally optimal, the line efficiency is 85,20%, balanced delay is 14,80%, and total idle time is 340,76 seconds with the number of work stations is 8 work stations. By using the heuristic methods of line balancing, there was an increase in efficiency is 59,17%, and a decrease in balanced delay is 65,17%, and a total reduction of idle time is 5238,6 seconds.

Keywords: Line balancing, heuristic method, Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW) method

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk penentuan keseimbangan lintasan optimal dengan menggunakan metode heuristik, dengan objek penelitian pada sebuah proses perakitan salah satu komponen kendaraan bermotor di PT.CSI agar menghasilkan keluaran secara optimal, sehingga dapat mencapai sasaran secara tepat waktu, tepat jumlah, tepat mutu dengan biaya yang lebih efisien. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah metode heuristik keseimbangan lintasan. Metode ini menggunakan aturan-aturan yang logis dalam memecahkan masalah. Metode heuristik yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu: Metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW), Metode Largest Candidate Rule dan Metode J-Wagon. Model heuristik tidak menjamin hasil optimal, tetapi model ini dirancang untuk menghasilkan strategi yang relatif lebih baik dengan mengacu pada pembatas-pembatas tertentu. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa ketiga metode heuristik yang digunakan menghasilkan keluaran potensial yang sama-sama optimal yaitu efisiensi lini sebesar 85,20%, *balanced delay* sebesar 14,80%, dan total waktu menganggur sebesar 340,76 detik dengan jumlah stasiun kerja sebesar 8 stasiun kerja. Dengan menggunakan metode heuristik keseimbangan lintasan, terjadi peningkatan efisiensi sebesar 59,17%, dan penurunan *balanced delay* sebesar 65,17%, serta pengurangan total waktu menganggur sebesar 5238,6 detik.

Kata kunci: Keseimbangan lintasan, metode heuristik, metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW)

Pendahuluan

Dalam suatu perusahaan yang mempunyai tipe produksi massal, yang melibatkan sejumlah besar komponen yang harus dirakit, perencanaan produksi memegang peranan yang penting dalam membuat penjadwalan produksi, terutama dalam pengaturan operasi-operasi atau penugasan yang harus dilakukan. Karena bila pengaturan dan perencanaannya tidak tepat, maka setiap stasiun kerja dilintas perakitan mempunyai kecepatan produksi yang berbeda. Hal ini akan mengakibatkan lintas perakitan tersebut tidak efisien karena terjadi penumpukan material/produk setengah jadi di antara

stasiun kerja yang tidak berimbang kecepatan produksinya.

Sebagai pemasok salah satu komponen kendaraan bermotor, PT. CSI dituntut untuk memproduksi tepat waktu dengan menggunakan berbagai sumber daya yang ada secara optimal. Oleh sebab itu, PT.CSI menghendaki setiap lini produksi mempunyai tingkat efisiensi yang optimal, dan mencari sistem yang lebih baik dengan pembagian beban kerja yang seimbang.

Salah satu metode yang dapat memberikan solusi dari permasalahan tersebut adalah metode keseimbangan lintasan (*line balancing*) yang merupakan suatu metode penugasan sejumlah

pekerjaan ke dalam stasiun kerja-stasiun kerja yang saling berkaitan dalam satu lini produksi sehingga setiap stasiun kerja memiliki waktu yang tidak melebihi waktu siklus dari stasiun kerja tersebut. (Bedworth, 1982 dan Elsayed, 1985)

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam mengatasi masalah keseimbangan lintasan, yaitu metode analitik (matematika), metode heuristik, dan metode probabilistik. (Rigg, 1976)

Fokus utama keseimbangan lintasan adalah meminimalkan pemborosan yang berhubungan dengan kelebihan produksi, persediaan, cacat, perpindahan/transportasi, pergerakan, dan waktu menunggu. Metode keseimbangan lintasan memiliki prinsip pertukaran dan pembagian kerja dengan tujuan utamanya adalah untuk memperlancar produksi massal, standardisasi, penyederhanaan dan spesialisasi. Selain itu, keseimbangan lintasan juga berguna dalam membagi struktur kerja yang kompleks menjadi sejumlah unsur tugas, yang akan menyederhanakan kompleksitas pekerjaan perakitan. Keseimbangan lintasan juga memberikan fleksibilitas kepada karyawan, sehingga mengurangi aktivitas monoton yang akan meningkatkan kepuasan kerja bagi karyawan. Dari sudut pandang produsen, keuntungan utama dari keseimbangan lintasan adalah kemampuan untuk menjaga tenaga kerja melakukan pekerjaan yang produktif. Umumnya keseimbangan lintasan dirancang untuk produksi volume tinggi item tunggal atau item yang sama jenisnya. (Amardeep. et.al, 2013)

Permasalahan

Berdasarkan uraian pada bagian pendahuluan, maka permasalahan yang dapat dirumuskan sebagai dasar dalam penelitian ini yaitu diperlukannya perbandingan metode keseimbangan lintasan yang dapat digunakan agar menghasilkan keluaran secara optimal, sehingga dapat mencapai sasaran secara tepat waktu, tepat jumlah, tepat mutu dengan biaya yang lebih efisien.

Pembatasan Penelitian

Agar penelitian ini dapat lebih terarah dan sesuai dengan tujuan yang diharapkan, maka terdapat beberapa pembatasan yang digunakan, antara lain:

- 1) Penelitian ini dilakukan pada sebuah proses di PT. CSI yang memproduksi salah satu komponen kendaraan bermotor dimana terlihat adanya ketidakseimbangan beban kerja yang dapat diketahui dari adanya beberapa operator yang menganggur pada saat operator yang lain masih bekerja.
- 2) Tidak dilakukan uji keseragaman data dan uji kecukupan data dari waktu proses yang diperoleh dari PT. CSI dikarenakan sudah

merupakan waktu baku yang ditetapkan melalui pengujian terlebih dahulu.

Untuk mendukung keyakinan terhadap hasil penelitian, ditetapkan asumsi sebagai berikut:

- 1) Waktu proses yang diperoleh dengan kondisi operator bekerja secara normal.
- 2) Operator setiap proses dianggap memiliki keahlian yang memadai dalam pekerjaannya.

Tujuan Penelitian

Dikarenakan terdapat banyak pilihan metode untuk memperbaiki keseimbangan lintasan, sehingga penelitian ini menjadi sangat penting untuk dilakukan karena memiliki tujuan untuk menentukan metode keseimbangan lintasan yang optimal dengan menggunakan metode heuristik.

Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan perubahan untuk perbaikan lintasan, karena dalam penelitian ini akan membandingkan beberapa metode yang terdapat dalam metode heuristik keseimbangan lintasan.

Target luaran yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah penentuan metode keseimbangan lintasan yang optimal berdasarkan nilai peningkatan nilai efisiensi lintasan dan pengurangan waktu menganggur.

Keseimbangan Lintasan (*Line Balancing*)

Istilah keseimbangan Lini/*Line Balancing/Assembly Line Balancing* merupakan suatu metode penugasan sejumlah pekerjaan ke dalam stasiun kerja-stasiun kerja yang saling berkaitan dalam satu lini produksi sehingga setiap stasiun kerja memiliki waktu yang tidak melebihi waktu siklus dari stasiun kerja tersebut.

Keterkaitan sejumlah pekerjaan dalam suatu lini produksi harus dipertimbangkan dalam menentukan pembagian pekerjaan ke dalam masing-masing stasiun kerja. Hubungan atau saling keterkaitan antara satu pekerjaan dengan pekerjaan lainnya digambarkan dalam suatu precedence diagram atau diagram pendahuluan, sedangkan hubungan itu disebut *precedence job* atau *precedence network*. (Bedworth, 1982 dan Elsayed, 1985)

Persoalan keseimbangan lintasan perakitan bermula dari adanya kombinasi penugasan kerja kepada operator atau grup operator yang menempati tempat kerja tertentu. Karena penugasan elemen kerja (*work elemen*) yang berbeda akan menyebabkan perbedaan dalam sejumlah waktu yang tidak produktif dan variasi jumlah pekerja yang dibutuhkan untuk menghasilkan output produksi tertentu di dalam suatu lintas perakitan.

Masalah utama yang dihadapi dalam lintasan produksi adalah: (Biegel, 1992)

- 1) Kendala sistem yang erat kaitannya dengan *maintenance* (perawatan).
- 2) Menyeimbangkan beban kerja pada beberapa stasiun kerja (*work station*) untuk:
 - a) Mencapai suatu efisiensi yang tinggi
 - b) Memenuhi rencana produksi yang telah dibuat
- 3) Gejala ketidakseimbangan lintasan produksi:
 - a) Adanya stasiun kerja yang sibuk dan *idle* yang menyolok.
 - b) Adanya *work in process* (produk setengah jadi) pada beberapa stasiun kerja.

Pada umumnya, merencanakan suatu keseimbangan di dalam sebuah lintas perakitan meliputi usaha yang bertujuan untuk mencapai suatu kapasitas optimal, dimana tidak terjadi penghambatan fasilitas. Tujuan tersebut dapat tercapai bila:

- 1) Lintas perakitan bersifat seimbang, setiap stasiun kerja mendapat tugas yang sama nilainya diukur dengan waktu.
- 2) Stasiun-stasiun kerja berjumlah minimum.
- 3) Jumlah waktu menganggur di setiap stasiun kerja sepanjang lintas perakitan minimum.

Dengan demikian, kriteria yang umum digunakan dalam suatu keseimbangan lintas perakitan adalah:

- 1) Minimum waktu menganggur.
- 2) Minimum keseimbangan waktu senggang (*balance delay*).

Selain itu ada pula yang menggunakan maksimum efisiensi, tetapi pada prinsipnya ketiga hal tersebut sama. Waktu menganggur biasanya digunakan untuk menyatakan ukuran ketidakseimbangan suatu lintas produksi.

Berdasarkan uraian di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa keseimbangan lintas perakitan tersebut didasarkan pada hubungan antara:

- 1) Kecepatan produksi (*production rate*)
- 2) Operasi-operasi yang diperlukan dan urutan-urutan kebergantungan (*sequence*).
- 3) Waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan setiap operasi (*work element time*).
- 4) Jumlah operator/pekerja yang melakukan operasi tersebut.

Terminologi *Line Balancing*

Beberapa istilah yang ada dalam *line balancing* antara lain:

- 1) *Work Element*, merupakan bagian dari keseluruhan pekerjaan dalam proses assembly. Umumnya, N didefinisikan sebagai jumlah total dari elemen kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu assembly dan *i* adalah elemen kerja.
- 2) *Workstation (WS)*, merupakan lokasi pada lini *assembly* atau pembuatan suatu produk dimana

pekerjaan diselesaikan baik manual maupun otomatis. Jumlah minimum dari stasiun kerja adalah K , dimana K harus $\leq i$.

- 3) *Minimum Rational Work Element* (Elemen Kerja Terkecil), untuk menyeimbangkan pekerjaan dalam setiap stasiun yang ada maka pekerjaan tersebut harus dipecah menjadi elemen-elemen pekerjaan. Elemen kerja minimum adalah elemen pekerjaan terkecil dari suatu pekerjaan yang tidak dapat dibagi-bagi lagi.
- 4) *Total Work Content* (Total Waktu Pengerjaan), merupakan jumlah dari seluruh waktu pengerjaan setiap elemen pekerjaan dari suatu lini.
- 5) *Workstation Process Time* (Waktu Proses Stasiun Kerja), merupakan elemen pekerjaan yang diselesaikan dalam satu stasiun kerja (*work station*) dapat terdiri dari satu elemen pekerjaan atau lebih. Waktu proses dalam stasiun kerja merupakan penjumlahan dari seluruh waktu pengerjaan setiap elemen kerja yang berada di dalam stasiun kerja tersebut.
- 6) *Precedence Constraints* (Pembatas Pendahulu), dalam menyelesaikan suatu elemen pekerjaan seringkali terdapat urutan-urutan teknologi yang harus terpenuhi sebelumnya agar elemen itu dapat dijalankan.
- 7) *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.
- 8) *Negative Zoning Constraint* menyatakan bahwa jika satu elemen pekerjaan dengan elemen pekerjaan lain sifatnya saling mengganggu maka sebaiknya tidak ditempatkan saling berdekatan. Sebagai ilustrasi, suatu elemen pekerjaan dengan elemen pekerjaan membutuhkan koordinasi yang baik dan hati-hati sebaiknya tidak ditempatkan berdekatan dengan stasiun kerja yang menimbulkan kegaduhan dan getaran keras / berat.
- 9) *Precedence Diagram* (Diagram Pendahuluan), adalah suatu gambaran secara grafis dari suatu urutan pekerjaan yang memperlihatkan keseluruhan operasi pekerjaan dan ketergantungan masing-masing operasi pekerjaan tersebut dimana elemen pekerjaan tertentu tidak dapat dikerjakan sebelum elemen pekerjaan yang mendahuluinya dikerjakan lebih dulu.
- 10) *Balance Delay*, merupakan rasio dari total waktu menganggur dengan keterkaitan waktu siklus dan jumlah stasiun kerja atau dengan kata lain jumlah antara *balance delay* dan *line efficiency*

sama dengan 1. Secara matematis, dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\text{Keseimbangan Waktu Senggang} = \frac{n \cdot W_d - \sum_{i=1}^n W_i}{n \cdot W_d} \times 100\%$$

Dimana:

- a. Keseimbangan waktu senggang = *balance delay*
- b. n = jumlah stasiun kerja
- c. Wd = waktu stasiun terbesar/waktu daur (*cycle time*)
- d. Wi = waktu sebenarnya pada setiap stasiun
- e. i = 1,2,3,...,n

atau

BD = 100% - LE

- 11) *Assembled Product*, merupakan produk yang melewati suatu urutan stasiun kerja dimana pekerjaan-pekerjaan diatur dan mencapai pada stasiun akhir.
- 12) *Cycle Time (CT)*, merupakan waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk menyelesaikan produk dari lini perakitan dengan asumsi setiap assembly mempunyai kecepatan yang konstan. Nilai minimum dari waktu siklus \geq waktu stasiun yang terpanjang.

$T_c \geq \max T_{si}$

- 13) *Delay Time of A Station*, merupakan selisih antara waktu siklus dengan waktu stasiun. Perbedaan antara waktu stasiun dengan waktu siklus atau disebut juga idle time.

Waktu Menganggur Stasiun = $W_d - W_i$

Total Waktu Menganggur = $n \cdot W_d - \sum_{i=1}^n W_i$

- 14) *Line Efficiency (Efisiensi Lini)*, merupakan rasio dari total waktu stasiun terhadap keterkaitan waktu siklus dengan jumlah stasiun kerja yang dinyatakan dalam persentase.

$$LE = \frac{\sum T_{Si}}{K(CT)} \times 100\%$$

Dimana:

- a. TSi = station time atau waktu stasiun ke-i
- b. K = jumlah total stasiun kerja
- c. CT = cycle time atau waktu siklus terpanjang

- 15) *Station Efficiency (Efisiensi Stasiun Kerja)*, merupakan rasio dari waktu kerja terhadap waktu siklus atau waktu stasiun kerja terbesar.

$$SE = \frac{T_{Si}}{CT} \times 100\%$$

Langkah-Langkah dalam Line Balancing

Langkah-langkah yang perlu diketahui dalam melakukan penyeimbangan lini adalah: (Chase & Aquilano, 1995)

- 1) Tentukan hubungan antara pekerjaan-pekerjaan yang terlibat dalam suatu lini produksi dan hubungan atau keterkaitan antara pekerjaan tersebut digambarkan dalam precedence diagram.
- 2) Menentukan waktu siklus yang dibutuhkan dengan menggunakan rumus :

$$CT = \frac{\text{production time per hari}}{\text{output per hari (unit)}}$$

- 3) Menentukan jumlah minimum stasiun kerja teoritis yang dibutuhkan untuk memenuhi pembatas waktu siklus dengan menggunakan rumus :

$$N = \frac{\text{jumlah total dari waktu pekerjaan setiap elemen}}{\text{waktu siklus (CT)}}$$

- 4) Memilih metode untuk melakukan penyeimbangan lini.
- 5) Menghitung efisiensi lini, efisiensi stasiun kerja, waktu menganggur dan *balance delay* berdasarkan metode yang dipilih untuk melihat performansi keseimbangan lintasan produksi.

Metode Keseimbangan Lini Produksi

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk menyeimbangkan lintasan produksi. Secara umum terdapat tiga metode dasar, yaitu:

1) Metode Analitik (matematik). (Rigg, 1976)

Merupakan metode yang dapat menghasilkan suatu solusi optimal. Metode keseimbangan lini ini, mempunyai karakteristik dalam pemecahan masalah, adalah dalam pendekatan secara kuantitatif atau matematis. Umumnya pendekatan ini menggunakan operation research dalam mengoptimalkan lintasan, seperti penggunaan:

- a) *Linear programming*
- b) *Dynamic programming*

Secara umum metode analitik ini memiliki prosedur yang dijelaskan sebagai berikut: (Buffa, 1984)

- a) Tetapkan keputusan variabel, yaitu variabel x dan y.
- b) Tetapkan fungsi tujuan (Z), yaitu persamaan linear yang berkaitan dengan keputusan variabel, yang menunjukkan tujuan usaha pemecahan persoalan. Persamaan ini menaksir pengaruh tujuan dalam pemilihan nilai keputusan variabel yang berbeda.

Secara umum fungsi tujuan Z dapat dirumuskan sebagai berikut:

Maksimum $Z = ax + by$

Dimana :

a = jumlah kontribusi dari variabel x.

b = jumlah kontribusi dari variabel y.

- c) Tetapkan batasan (*constraints*) sebagai hitungan linear yang meliputi keputusan variabel. Batasan menunjukkan restriksi pada keputusan-keputusan itu. Alternatif-alternatif dapat dibentuk melalui pemilihan nilai-nilai untuk keputusan variabel yang diperlukan untuk tekanan-tekanan itu.

2) Metode Heuristic. (Bedworth, 1982).

Heuristic berasal dari bahasa Yunani yang berarti "menemukan". Metode Heuristic ini pertama kali digunakan oleh Simon and Newll untuk menggambarkan pendekatan tertentu untuk memecahkan masalah dan membuat keputusan. Model Heuristic menggunakan aturan-aturan yang logis dalam memecahkan masalah. Inti dari pendekatan secara heuristic adalah untuk mengaplikasikan rutin secara selektif yang mengurangi bentuk permasalahan. Sebagai contoh, masalah produksi yaitu line balancing yang dapat dipecahkan dengan mengurangi keseluruhan sistem menjadi rangkaian line balancing sederhana yang dapat dipelajari secara analitis. Bentuk lain dari pengurangan adalah digunakan pada aturan yang relatif sederhana yaitu diterapkan secara berulang sampai semua hasil keputusan telah dibuat.

Model heuristic tidak menjamin hasil optimal, tetapi model ini dirancang untuk menghasilkan strategi yang relatif lebih baik dengan mengacu pada pembatas-pembatas tertentu. Model heuristic ini banyak dipakai dalam masalah *line balancing*.

Kriteria pokok pendekatan dengan metode ini adalah:

- a) Pemecahan yang lebih baik dan lebih cepat
- b) Lebih murah daripada metode yang lainnya.
- c) Usaha yang dikeluarkan relatif lebih kecil.

Beberapa metode heuristic yang umum dikenal:

- a) Metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW).
- b) Metode *Region Approach*.
- c) Metode *Largest Candidate Rule*.
- d) Metode J-Wagon.

3) Metode Probabilistik. (Buffa Elwood S, 1984)

Metode probabilistik adalah digunakannya bentuk-bentuk distribusi yang merupakan data aktual dari waktu operasi. Metode-metode line balancing yang sebelumnya dikemukakan menggunakan asumsi waktu bahwa dari setiap elemen-elemen kerja adalah tetap atau konstan, dengan merancang

kapasitas dari stasiun kerja secara deterministik berdasarkan waktu operasi rata-rata, atau menggunakan waktu standart.

Sedangkan model probabilistik mengasumsikan suatu yang lebih realistis, di mana waktu-waktu kegiatan mencerminkan distribusi kemungkinan (*probabilistic distribution*). Kemungkinan distribusi waktu-waktu kegiatan didasarkan atas tiga perkiraan waktu yang disusun untuk setiap kegiatan, yaitu:

- a) Waktu optimis, yang dimaksud dengan waktu optimis (a), ialah waktu tersingkat yang mungkin dapat dimanfaatkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan dengan syarat bahwa segala sesuatunya berjalan dengan lancar.
- b) Waktu pesimis, yang dimaksud dengan waktu pesimis (b), ialah waktu kegiatan yang paling lama dalam kondisi yang tidak menguntungkan, kecuali yang disebabkan oleh alam.
- c) Waktu yang paling mungkin dapat dicapai, yang dimaksud waktu yang paling mungkin (m), ialah waktu pengandaian (modal time) untuk distribusi waktu kegiatan.

Metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW)

Yang dimaksud dengan bobot posisi dari suatu tugas adalah jumlah waktu pelaksanaan semua tugas-tugas yang mengikutinya. Cara penentuan bobot dari *precedence diagram* yang dimulai dari proses akhir.

Bobot (RPW) = waktu proses operasi tersebut + waktu proses operasi-operasi yang berikutnya.

Pengelompokan operasi ke dalam stasiun kerja dilakukan atas dasar urutan RPW (dari yang terbesar) dan juga memperhatikan pembatas berupa waktu siklus.

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 lain 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 diprioritaskan. (Bedworth, 1982).

Adapun metode ini memiliki prosedur yang dapat dijelaskan sebagai berikut: (Bedworth, 1982, Elsayed, 1985, dan Buffa, 1978).

- a) Gambar jaringan *precedence* sesuai dengan keadaan yang sebenarnya.
- b) Tentukan *positional weight* (bobot posisi) untuk setiap elemen pekerjaan dari suatu operasi yang memiliki waktu penyelesaian (waktu baku)

terpanjang mulai dari awal pekerjaan hingga ke akhir elemen pekerjaan yang memiliki waktu penyelesaian (waktu baku) terendah.

- c) Urutkan elemen pekerjaan berdasarkan *positional weight* pada langkah b). Elemen pekerjaan yang memiliki *positional weight* tertinggi diurutkan pertama kali.
- d) Lanjutkan dengan menempatkan elemen pekerjaan yang memiliki *positional weight* tertinggi hingga ke yang terendah ke setiap stasiun kerja.
- e) 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*.
- f) Ulangi langkah d) dan e) di atas sampai seluruh elemen pekerjaan sudah ditempatkan ke dalam stasiun kerja.

Metode *Region Approach*

Pendekatan ini merupakan perbaikan Helgesson-Birnie oleh Mansoor dimana dijamin memberikan hasil yang optimal. Pendekatan ini melibatkan pertukaran antara pekerjaan setelah keseimbangan mula-mula diperoleh. Pendekatan ini tidak layak untuk jaringan yang besar serta kombinasi pekerjaannya yang dapat dipertukarkan dapat menjadi kaku. (Bedworth, 1982).

Metode *Largest Candidate Rule*

Merupakan metode yang paling sederhana. Adapun prosedur tersebut secara detil dapat dijelaskan sebagai berikut:

- a) Urutkan semua elemen kerja dari yang paling besar waktunya hingga yang paling kecil.
- b) Elemen kerja pada stasiun kerja pertama diambil dari urutan yang paling atas. Elemen kerja pindah ke stasiun kerja berikutnya, apabila jumlah elemen kerja telah melebihi waktu siklus.
- c) Lanjutkan proses langkah b), hingga semua elemen kerja telah berada dalam stasiun kerja dan memenuhi \leq waktu siklus (*cycle time*).

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 lain yang memiliki jumlah elemen kerja yang lebih sedikit. (Chase & Aquilano, 1995)

Apabila terdapat dua elemen kerja yang memiliki nilai bobot yang sama, maka prioritas akan diberikan kepada elemen kerja yang memiliki waktu pengerjaan lebih besar. Sedangkan prosedur

selanjutnya, sama dengan metode Helgesson-Birnie (*Ranked Positional Weight*), hanya saja dalam menentukan bobot yang dihitung adalah jumlah operasi (bukan waktu operasi). Bobot (*J-Wagon*) = jumlah proses operasi-operasi yang bergantung pada operasi tersebut.

Metode Penelitian

Metodologi penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini, yaitu:

1. Penentuan topik penelitian, pada tahap ini akan ditetapkan topik utama yang menjadi fokus dalam penelitian. Penentuan topik dilakukan berdasarkan latar belakang permasalahan yang diangkat dalam penelitian, tinjauan terhadap penelitian-penelitian yang telah dilakukan, dan diskusi dengan pihak terkait. Topik penelitian ini adalah penentuan keseimbangan lintasan optimal dengan metode heuristik. Untuk ruang lingkup dan tujuan dari penelitian juga ditetapkan pada tahap ini agar penelitian lebih terarah dan sesuai dengan yang diharapkan.
2. Pendalaman landasan teori, pada tahap ini dilakukan pendalaman lebih lanjut mengenai landasan teori yang akan digunakan dalam penelitian. Landasan teori ini dapat berupa jurnal dari penelitian-penelitian sebelumnya atau teori dasar dari metode-metode yang akan digunakan untuk proses pengolahan data. Beberapa landasan teori yang terkait dengan penelitian ini adalah manajemen produksi dan operasi, keseimbangan lintasan (*line balancing*), serta penelitian-penelitian sebelumnya.
3. Identifikasi proses perakitan (*assembly line*) sebagai obyek utama dalam penelitian, pada tahapan ini peneliti mengidentifikasi proses perakitan (*assembly line*) di PT. CSI. Keberadaan *assembly line* ini sangat penting, karena metode yang digunakan dalam penelitian ini ditujukan penggunaannya untuk melakukan perbaikan dari *assembly line*, yang mengalami ketidakseimbangan lintasan. Selain itu tahap ini juga diperlukan untuk mengetahui gambaran aliran dari proses perakitan tersebut.
4. Penentuan variabel pengukuran keseimbangan lintasan, pada tahap ini peneliti akan menentukan variabel-variabel yang dapat digunakan untuk mengukur keseimbangan lintasan. Tahap ini memerlukan diskusi dengan pihak perusahaan, selain studi literatur.
5. Penentuan model keseimbangan lintasan yang akan digunakan, pada tahap ini akan dijelaskan mengenai metode keseimbangan lintasan yang akan digunakan. Tahapan ini sangat penting dikarenakan banyak metode keseimbangan lintasan yang dapat digunakan. Pertimbangan dalam pemilihan metode tergantung kepada

variabel yang ada dan yang digunakan serta tujuan yang ingin dicapai.

6. Penentuan sampel dan periode data, pada bagian ini akan diuraikan mengenai *assembly line* yang akan dijadikan objek penelitian dan periode yang dijadikan waktu pengambilan data.
7. Pengumpulan data, pada tahap ini akan diuraikan mengenai data dan penyajian data yang telah terkumpul.
8. Formulasi metode heuristik keseimbangan lintasan, setelah semua data yang diperlukan diperoleh, dilanjutkan dengan memformulasikannya kedalam suatu metode yang telah dipilih. Dalam tahap ini terdapat beberapa metode heuristik yang akan digunakan, antara lain: Metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW), Metode *Region Approach*, Metode *Largest Candidate Rule* dan Metode J-Wagon. Masing-masing metode memiliki langkah yang berbeda-beda.
9. Analisis hasil, pada tahap ini akan dianalisa hasil yang diperoleh dari penyelesaian masing metode heuristik sehingga dapat diketahui metode mana yang optimal. Analisa tersebut akan meliputi analisa terhadap peningkatan nilai efisiensi dan pengurangan waktu menganggur yang diperoleh untuk masing-masing metode.

10. Kesimpulan dan saran, pada tahap ini akan disimpulkan hasil penelitian yang diperoleh sebagai jawaban dari tujuan penelitian yang dilakukan dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

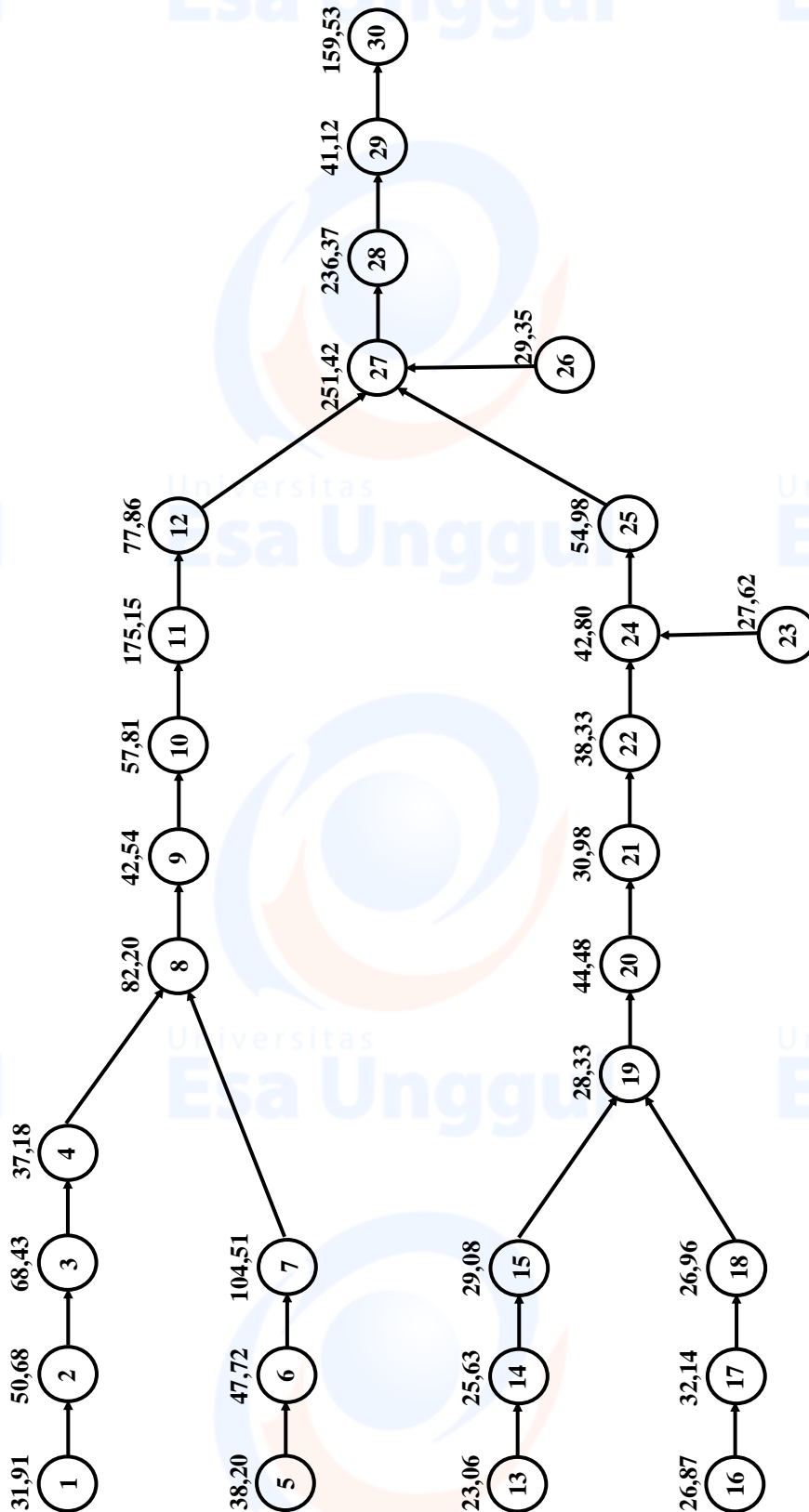
Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan pada PT.CSI yang merupakan salah satu supplier yang memproduksi salah satu komponen kendaraan bermotor. Penelitian ini dibatasi hanya pada lini perakitan MUFFLER dengan tipe VCRM 08-4009. Karena berdasarkan hasil wawancara dengan pihak manajemen dan pengamatan dilapangan, pada lini perakitan ini terlihat adanya ketidakseimbangan beban kerja yang dapat diketahui dengan adanya beberapa operator yang menganggur pada saat operator yang lain masih bekerja.

Proses Perakitan MUFFLER Tipe VCRM 08-4009

Untuk menghasilkan satu unit MUFFLER tipe VCRM 08-4009, berdasarkan data yang diperoleh dari PT. CSI, terdapat 30 proses yang harus dilalui.

Setelah setiap proses beserta waktunya diketahui, maka dapat dibuat *precedence diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1
Precedence Diagram Lini Perakitan MUFFLER Tipe VCRM 08-4009

Untuk mengetahui pembebanan kerja dari setiap proses diperlukan data waktu baku yang akan digunakan sebagai waktu operasi standar dari setiap

proses. Berdasarkan data dari PT. CSI, pada Tabel 1 dapat diketahui waktu baku dari setiap proses.

Tabel 1
Data Waktu Baku Proses MUFFLER Tipe
VCRM 08-4009 (Dalam Detik)

Proses	Waktu Baku
1	31,91
2	50,68
3	68,43
4	37,18
5	38,20
6	47,72
7	104,51
8	82,20
9	42,54
10	57,81
11	175,15
12	77,86
13	23,06
14	25,63
15	29,08
16	26,87
17	32,14
18	26,96
19	28,33
20	44,48
21	30,98
22	38,33
23	27,62
24	42,80
25	54,98
26	29,35
27	251,42
28	236,37
29	41,12
30	159,53
TOTAL	1963,24

Sumber: PT. CSI (data diolah)

Perhitungan Keseimbangan Lini Perakitan Awal

Langkah selanjutnya yaitu menghitung keseimbangan lini perakitan awal sebagai bahan acuan untuk menyeimbangkan lini serta sebagai bahan perbandingan.

Untuk waktu siklusnya diambil dari waktu operasi yang terpanjang yaitu 251,42 detik dan jumlah stasiun kerja yaitu 30 stasiun sesuai dengan jumlah proses yang ada. Untuk masing-masing stasiun dikerjakan oleh 1 orang operator.

Berikut ini adalah perhitungan keseimbangan lini perakitan awal:

a. Total waktu operasi seluruh stasiun kerja = 1963,24 detik.

b. Efisiensi Lini (LE):

$$LE = \frac{1963,24}{30(251,42)} \times 100\% = 26,03\%$$

c. *Balanced Delay* (BD):

$$BD = \frac{30(251,42) - 1963,24}{30(251,42)} \times 100\% = 73,97\%$$

d. Total Waktu Menganggur = $(30)(251,42) - 1963,24 = 5579,36$ detik

e. Efisiensi Stasiun Kerja:

$$\text{Efisiensi Stasiun Kerja 1} = \frac{31,91}{251,42} \times 100\% = 12,72\%$$

Untuk efisiensi stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 2.

f. Waktu Menganggur:

$$\text{Waktu Menganggur Stasiun Kerja 1} = 251,42 - 31,91 = 219,51 \text{ detik}$$

Untuk waktu mengangur stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2
Hasil Perhitungan Lini Perakitan Awal

Stasiun Kerja	Waktu Operasi (Detik)	Efisiensi Stasiun Kerja (%)	Waktu Menganggur (Detik)
1	31,91	12,69	219,51
2	50,68	20,16	200,74
3	68,43	27,22	182,99
4	37,18	14,79	214,24
5	38,20	15,19	213,22
6	47,72	18,98	203,70
7	104,51	41,57	146,91
8	82,20	32,69	169,22
9	42,54	16,92	208,88
10	57,81	22,99	193,61
11	175,15	69,66	76,27
12	77,86	30,97	173,56
13	23,06	9,17	228,36
14	25,63	10,19	225,79
15	29,08	11,57	222,34
16	26,87	10,69	224,55
17	32,14	12,78	219,28
18	26,96	10,72	224,46
19	28,33	11,27	223,09
20	44,48	17,69	206,94
21	30,98	12,32	220,44
22	38,33	15,25	213,09
23	27,62	10,99	223,8
24	42,80	17,02	208,62
25	54,98	21,87	196,44
26	29,35	11,67	222,07
27	251,42	100,00	0,00
28	236,37	94,01	15,05
29	41,12	16,36	210,3
30	159,53	63,45	91,89

Menyeimbangkan Lini Perakitan

Penyeimbangan lini perakitan ini dilakukan dengan menggunakan metode heuristik yang terdiri dari beberapa metode, antara lain: Metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW), Metode *Largest Candidate Rule*, dan Metode J-Wagon.

Adapun tujuan dari perhitungan keseimbangan lini ini adalah untuk meratakan distribusi waktu diantara pekerja sehingga setiap pekerja mendapat beban kerja yang merata.

Untuk metode heuristik yang lain yaitu metode *Region Approach* tidak disertakan dalam penelitian ini, karena lini perakitan yang dijadikan obyek penelitian memiliki kombinasi pekerjaan yang besar, sehingga berdasarkan teori pada tinjauan pustka bahwa pendekatan *Region Approach* tidak layak untuk jaringan yang besar serta kombinasi pekerjaannya yang dapat dipertukarkan dapat menjadi kaku.

Metode Helgesson – Birnie / Ranked Positional Weight (RPW)

Dalam perhitungan ini digunakan teori-teori yang telah diuraikan. Langkah-langkahnya menyeimbangkan lintasan dengan metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW) adalah sebagai berikut:

- 1) Membentuk *precedence diagram* dari kegiatan produksi untuk masing-masing elemen pekerjaan. (Lihat Gambar 1)
- 2) Dari *precedence diagram* yang didapat, selanjutnya dapat dihitung nilai bobot posisi setiap elemen kerja.
 - a. Bobot operasi 30 atau $RPW(30) = 159,53$.
 - b. Bobot operasi 29 atau $RPW(29) = 41,12 + RPW(30) = 41,12 + 159,53 = 200,65$
 - c. Bobot operasi 28 atau $RPW(28) = 236,37 + RPW(29) = 236,37 + 200,65 = 437,02$
 - d. Bobot operasi lain dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3
Bobot Posisi dan Operasi yang Mendahului dalam Urutan Proses pada Metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW)

Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Operasi Yang Mendahului	Bobot Posisi
1	31,91	-	1312,20
2	50,68	1	1280,29
3	68,43	2	1229,61
4	37,18	3	1161,18
5	38,20	-	1314,43
6	47,72	5	1276,23
7	104,51	6	1228,51
8	82,20	4, 7	1124,00
9	42,54	8	1041,80
10	57,81	9	999,26
11	175,15	10	941,45
12	77,86	11	766,30
13	23,06	-	1006,11
14	25,63	13	983,05
15	29,08	14	957,42
16	26,87	-	1014,31
17	32,14	16	987,44
18	26,96	17	955,30
19	28,33	15, 18	928,34
20	44,48	19	900,01
21	30,98	20	855,53
22	38,33	21	824,55
23	27,62	-	813,84
24	42,80	22, 23	786,22
25	54,98	24	743,42
26	29,35	-	717,79
27	251,42	12, 24, 26	688,44
28	236,37	27	437,02
29	41,12	28	200,65
30	159,53	29	159,53

- 3) Nilai bobot posisi yang telah didapat, kemudian diranking dari urutan nilai bobot posisi tertinggi sampai nilai bobot posisi terendah. Hasilnya dapat dilihat pad Tabel 4.

Tabel 4
Pengurutan Prioritas Operasi Berdasarkan Nilai Bobot Posisi pada Metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW)

Prioritas	Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Operasi Yang Mendahului	Bobot Posisi
1	5	38,20	-	1314,43
2	1	31,91	-	1312,20
3	2	50,68	1	1280,29
4	6	47,72	5	1276,23
5	3	68,43	2	1229,61
6	7	104,51	6	1228,51
7	4	37,18	3	1161,18
8	8	82,20	4, 7	1124,00
9	9	42,54	8	1041,80
10	16	26,87	-	1014,31
11	13	23,06	-	1006,11
12	10	57,81	9	999,26
13	17	32,14	16	987,44
14	14	25,63	13	983,05
15	15	29,08	14	957,42
16	18	26,96	17	955,30
17	11	175,15	10	941,45
18	19	28,33	15, 18	928,34
19	20	44,48	19	900,01
20	21	30,98	20	855,53
21	22	38,33	21	824,55
22	23	27,62	-	813,84
23	24	42,80	22, 23	786,22
24	12	77,86	11	766,30
25	25	54,98	24	743,42
26	26	29,35	-	717,79
27	27	251,42	12, 24, 26	688,44
28	28	236,37	27	437,02
29	29	41,12	28	200,65
30	30	159,53	29	159,53

4) Menempatkan elemen-elemen kerja tersebut kedalam stasiun kerja dengan memperhatikan urutan nilai bobot posisi dan waktu siklus yang sebelumnya harus dihitung terlebih dahulu. (Tabel 5)

a) Menentukan Waktu Siklus (CT) Untuk Stasiun Kerja

Waktu siklus (CT) adalah waktu rata-rata yang dibutuhkan untuk menyelesaikan produk dari lini perakitan. Berikut ini adalah menentukan waktu siklus sesuai dengan rumus pada bab II.

g. Produksi per hari = 100 unit

h. Jam kerja per hari = 8 jam

i. Waktu Siklus Yang dibutuhkan:

$$CT = \frac{8 \times 3600}{100} = 288 \text{ detik}$$

Ini artinya untuk satu unit diperlukan waktu pemrosesan pada tiap stasiun kerja yaitu 288 detik.

b) Menentukan Jumlah Stasiun Kerja Minimum

Adapun jumlah stasiun kerja minimum ditentukan sesuai dengan rumus

pada bab II. Jumlah Minimum Stasiun Kerja (N):

$$N = \frac{1963,24}{288} = 6,816 \approx 7 \text{ stasiun kerja}$$

c) Mengelompokkan Tugas-Tugas Dalam Stasiun

Pengelompokkan ini bukan berdasarkan jenis pekerjaan atau jenis mesin, tetapi pengelompokkan ini berdasarkan kepada lamanya waktu pengerjaan. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

i. Pilih operasi dengan nilai bobot terbesar.

ii. Hitung waktu menganggur stasiun tersebut dengan mengurangi waktu siklus dengan jumlah waktu dari operasi yang ada dalam stasiun tersebut.

iii. Pilih operasi yang mempunyai nilai bobot posisi terbesar berikutnya, dan diperiksa sebagai berikut:

- Apakah dengan memasukkan operasi ini tidak menyebabkan waktu stasiun lebih besar dari waktu siklus?

- Jika kondisi ini tidak menyebabkan waktu stasiun lebih besar dari waktu siklus maka operasi tersebut dapat dimasukkan dalam stasiun ini, ulangi langkah 3.

- Sedangkan jika kondisi ini dapat menyebabkan waktu stasiun lebih besar dari waktu siklus maka operasi tersebut tidak dapat dimasukkan dalam stasiun ini, pilih operasi dengan bobot posisi berikutnya tetapi jangan sampai menyalahi precedence diagram.

iv. Pengulangan langkah 3 dilakukan hingga waktu stasiun lebih kecil atau sama dengan waktu siklus

v. Jika langkah 4 telah dilakukan, bentuk stasiun baru berikutnya, dan ulangi langkah 1 sampai seluruh operasi telah dialokasikan.

Untuk hasil pengelompokkan tugas-tugas ke dalam stasiun dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5
Penempatan Proses (Operasi) Kedalam Stasiun Kerja Dengan Metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW)

Stasiun	Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Waktu Stasiun Kerja (Detik)
1	5	38,20	274,12
	1	31,91	
	2	50,68	
	6	47,72	
	3	68,43	
	4	37,18	
	7	104,51	
2	8	82,20	279,18
	9	42,54	
	16	26,87	
	13	23,06	
	10	57,81	
	17	32,14	
	14	25,63	
3	15	29,08	275,41
	18	26,96	
	19	28,33	
	20	44,48	
	21	30,98	
	11	175,15	
	22	38,33	
4	23	27,62	241,10
	24	42,80	
	12	77,86	
5	25	54,98	204,99
	26	29,35	
	27	251,42	
7	28	236,37	236,37
8	29	41,12	200,65
	30	159,53	

Tabel 6
Hasil Perhitungan Keseimbangan Lini Metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW)

Stasiun Kerja	Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Waktu Stasiun Kerja (Detik)	Efisiensi Stasiun Kerja (%)	Waktu Mengganggu (Detik)
1	5	38,20	274,12	95,18	13,88
	1	31,91			
	2	50,68			
	6	47,72			
	3	68,43			
	4	37,18			
	7	104,51			
2	8	82,20	279,18	96,93	8,82
	9	42,54			
	16	26,87			
	13	23,06			
	10	57,81			
	17	32,14			
	14	25,63			
3	15	29,08	275,41	95,62	12,59
	18	26,96			
	19	28,33			
	20	44,48			
	21	30,98			
	11	175,15			
	22	38,33			
4	23	27,62	241,10	83,71	46,90
	24	42,80			
	12	77,86			
5	25	54,98	204,99	71,18	83,01
	26	29,35			
	27	251,42			
6	27	251,42	251,42	87,29	36,58
7	28	236,37	236,37	82,07	51,63
8	29	41,12	200,65	69,67	87,35
	30	159,53			

5) Menghitung Keluaran Potensial

Berikut ini adalah hasil keluaran potensial lintasan yang telah diseimbangkan dengan metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW).

a. Efisiensi Lini:

$$LE = \frac{1963,24}{8(288)} \times 100\% = 85,2\%$$

b. *Balanced Delay*:

$$BD = \frac{8(288) - 1963,24}{8(288)} \times 100\% = 14,8\%$$

c. Total Waktu Mengganggu = $(8)(288) - 1963,24 = 340,76$ detik

d. Efisiensi Stasiun Kerja:

$$\text{Efisiensi Stasiun Kerja 1} = \frac{274,12}{288} \times 100\% = 95,18\%$$

Untuk efisiensi stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 6.

e. Waktu Mengganggu:

$$\text{Waktu Mengganggu Stasiun Kerja 1} = 288 - 274,12 = 13,88 \text{ detik}$$

Untuk waktu mengganggu stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 6.

Metode *Largest Candidate Rule*.

Prosedur metode *Largest Candidate Rule* secara detil dapat dijelaskan sebagai berikut:

- 1) Urutkan semua elemen kerja dari yang paling besar waktunya hingga yang paling kecil.
- 2) Elemen kerja pada stasiun kerja pertama diambil dari urutan yang paling atas. Elemen kerja pindah ke stasiun kerja berikutnya, apabila jumlah elemen kerja telah melebihi waktu siklus.
- 3) Lanjutkan proses langkah 2, hingga semua elemen kerja telah berada dalam stasiun kerja dan memenuhi \leq waktu siklus (*cycle time*).

Untuk waktu siklus (*cycle time*) digunakan perhitungan yang sama dengan metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW) yaitu sebesar 288 detik.

Berdasarkan prosedur metode *Largest Candidate Rule* diperoleh hasil yang dikelompokkan elemen kerja seperti yang tertera pada Tabel 7.

Tabel 7

Hasil Prosedur Metode *Largest Candidate Rule*

Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Stasiun Kerja	Waktu Stasiun Kerja (Detik)
27	251,42	1	251,42
28	236,37	2	236,37
11	175,15	3	175,15
30	159,53	4	264,04
7	104,51		
8	82,20		
12	77,86	5	286,30
3	68,43		
10	57,81		
25	54,98		
2	50,68		
6	47,72	6	283,20
20	44,48		
24	42,80		
9	42,54		
29	41,12		
22	38,33		
5	38,20		
4	37,18	7	279,21
17	32,14		
1	31,91		
21	30,98		
26	29,35		
15	29,08		
19	28,33		
23	27,62		
18	26,96	8	187,55
16	26,87		
14	25,63		
13	23,06		

Tabel 8

Hasil Perhitungan Keseimbangan Lini Metode *Largest Candidate Rule*

Stasiun Kerja	Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Waktu Stasiun Kerja (Detik)	Effisiensi Stasiun Kerja (%)	Waktu Mengganggu (Detik)
1	27	251,42	251,42	87,30	36,58
2	28	236,37	236,37	82,07	51,63
3	11	175,15	175,15	60,82	112,85
4	30	159,53	264,04	91,68	23,96
5	7	104,51			
	8	82,20			
	12	77,86	286,30	99,41	1,70
	3	68,43			
	10	57,81			
	25	54,98			
	2	50,68			
6	6	47,72	283,20	98,33	4,80
	20	44,48			
	24	42,80			
	9	42,54			
	29	41,12			
	22	38,33			
	5	38,20			
	4	37,18	279,21	96,95	8,79
	17	32,14			
	1	31,91			
	21	30,98			
	26	29,35			
	15	29,08			
	19	28,33			
	23	27,62			
8	18	26,96	187,55	65,12	100,45
	16	26,87			
	14	25,63			
	13	23,06			

Setelah lini perakitan dilakukan penyeimbangan, maka hasil keluaran potensial lintasan yang telah diseimbangkan dengan metode metode *Largest Candidate Rule* dapat diperoleh.

f. Efisiensi Lini:

$$LE = \frac{1963,24}{8(288)} \times 100\% = 85,2\%$$

g. *Balanced Delay*:

$$BD = \frac{8(288) - 1963,24}{8(288)} \times 100\% = 14,8\%$$

h. Total Waktu Mengganggu = $(8)(288) - 1963,24 = 340,76$ detik

i. Efisiensi Stasiun Kerja:

$$\text{Efisiensi Stasiun Kerja 1} = \frac{251,42}{288} \times 100\% = 87,30\%$$

Untuk efisiensi stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 48.

j. Waktu Mengganggu:

$$\text{Waktu Mengganggu Stasiun Kerja 1} = 288 - 274,12 = 36,58 \text{ detik}$$

Untuk waktu mengganggu stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 8

Metode J-Wagon.

Langkah pertama metode J-Wagon adalah menghitung bobot posisi dari setiap operasi. Berikut diberikan hasil perhitungan bobot dengan menggunakan metode J-Wagon:

- Bobot operasi 30 = 0.
- Bobot operasi 29 = 1 (yaitu proses 30).
- Bobot operasi 28 = 2 (yaitu proses 29 dan 30).
- Bobot operasi lain dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 9
Bobot Posisi Dan Operasi Sesudahnya Pada Metode J-Wagon

Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Operasi Sesudahnya	Bobot Posisi
1	31,91	2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	12
2	50,68	3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	11
3	68,43	4, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	10
4	37,18	8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	9
5	38,20	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	11
6	47,72	7, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	10
7	104,51	8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	9
8	82,20	9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	8
9	42,54	10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	7
10	57,81	11, 12, 27, 28, 29, 30	6
11	175,15	12, 27, 28, 29, 30	5
12	77,86	27, 28, 29, 30	4
13	23,06	17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	12
14	25,63	18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	11
15	29,08	19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	10
16	26,87	17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	12
17	32,14	18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	11
18	26,96	19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	10
19	28,33	20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	9
20	44,48	21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	8
21	30,98	22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	7
22	38,33	24, 25, 27, 28, 29, 30	6
23	27,62	24, 25, 27, 28, 29, 30	6
24	42,80	25, 27, 28, 29, 30	5
25	54,98	27, 28, 29, 30	4
26	29,35	27, 28, 29, 30	4
27	251,42	28, 29, 30	3
28	236,37	29, 30	2
29	41,12	30	1
30	159,53	-	0

bobot posisi terendah, yang hasilnya dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10
Pengurutan Prioritas Operasi Berdasarkan Nilai Bobot Posisi Metode J-Wagon

Prioritas	Operasi	Waktu Operasi (Detik)	Operasi Sesudahnya	Bobot Posisi
1	1	31,91	2, 3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	12
2	16	26,87	17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	12
3	13	23,06	17, 18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	12
4	2	50,68	3, 4, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	11
5	5	38,20	6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	11
6	17	32,14	18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	11
7	14	25,63	18, 19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	11
8	3	68,43	4, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	10
9	6	47,72	7, 8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	10
10	15	29,08	19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	10
11	18	26,96	19, 20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	10
12	7	104,51	8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	9
13	4	37,18	8, 9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	9
14	19	28,33	20, 21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	9
15	8	82,20	9, 10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	8
16	20	44,48	21, 22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	8
17	9	42,54	10, 11, 12, 27, 28, 29, 30	7
18	21	30,98	22, 24, 25, 27, 28, 29, 30	7
19	10	57,81	11, 12, 27, 28, 29, 30	6
20	22	38,33	24, 25, 27, 28, 29, 30	6
21	23	27,62	24, 25, 27, 28, 29, 30	6
22	11	175,15	12, 27, 28, 29, 30	5
23	24	42,80	25, 27, 28, 29, 30	5
24	12	77,86	27, 28, 29, 30	4
25	25	54,98	27, 28, 29, 30	4
26	26	29,35	27, 28, 29, 30	4
27	27	251,42	28, 29, 30	3
28	28	236,37	29, 30	2
29	29	41,12	30	1
30	30	159,53	-	0

Setelah bobot posisi diketahui, langkah selanjutnya sama dengan metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW) yaitu nilai bobot posisi yang telah didapat, kemudian diranking dari urutan nilai bobot posisi tertinggi sampai nilai

Langkah selanjutnya yaitu menempatkan dan mengelompokkan elemen-elemen kerja kedalam stasiun kerja dengan memperhatikan urutan nilai bobot posisi dan waktu siklus yang sudah dihitung pada metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional Weight* (RPW) yaitu

sebesar 288 detik. Hasil penempatan dan pengelompokkan elemen-elemen kerja kedalam stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11
Penempatan Proses (Operasi) Kedalam Stasiun Kerja Pada Metode J-Wagon

Ope-rasi	Waktu Operasi (Detik)	Bobot Posisi	Stasiun Kerja	Waktu Stasiun Kerja (Detik)
1	31,91	12		
16	26,87	12		
13	23,06	12		
2	50,68	11	1	276,21
5	38,20	11		
17	32,14	11		
14	25,63	11		
6	47,72	10		
3	68,43	10		
15	29,08	10		
18	26,96	10	2	266,16
7	104,51	9		
4	37,18	9		
19	28,33	9		
8	82,20	8		
20	44,48	8	3	286,34
9	42,54	7		
21	30,98	7		
10	57,81	6		
22	38,33	6		
23	27,62	6	4	283,90
11	175,15	5		
24	42,80	5		
12	77,86	4		
25	54,98	4	5	162,19
26	29,35	4		
27	251,42	3	6	251,42
28	236,37	2	7	236,37
29	41,12	1		
30	159,53	0	8	200,65

Untuk waktu mengganggu stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12
Hasil Perhitungan Keseimbangan Lini Metode J-Wagon

Stasi-un Kerja	Ope-rasi	Waktu Operasi (Detik)	Waktu Stasiun Kerja (Detik)	Effisie-nsi Stasiun Kerja (%)	Waktu Mengan-ggur (Detik)
	1	31,91			
	16	26,87			
	13	23,06			
1	2	50,68	276,21	95,91	11,79
	5	38,20			
	17	32,14			
	14	25,63			
	6	47,72			
	3	68,43			
	15	29,08			
2	18	26,96	266,16	92,42	21,84
	7	104,51			
	4	37,18			
	19	28,33			
	8	82,20			
3	20	44,48	286,34	99,42	1,66
	9	42,54			
	21	30,98			
	10	57,81			
	22	38,33			
4	23	27,62	283,90	98,58	4,10
	11	175,15			
	24	42,80			
	12	77,86			
5	25	54,98	162,19	56,32	125,81
	26	29,35			
6	27	251,42	251,42	87,30	36,58
7	28	236,37	236,37	82,07	51,63
	29	41,12			
8	30	159,53	200,65	69,67	87,35

Setelah setiap operasi di tempatkan dan dikelompokkan, maka dapat di hitung hasil keluaran potensial lintasan yang telah diseimbangkan dengan metode J-Wagon, adalah sebagai berikut:

a. Efisiensi Lini:

$$LE = \frac{1963,24}{8(288)} \times 100\% = 85,2\%$$

b. *Balanced Delay*:

$$BD = \frac{8(288) - 1963,24}{8(288)} \times 100\% = 14,8\%$$

c. Total Waktu Mengganggu = $(8)(288) - 1963,24 = 340,76$ detik

d. Efisiensi Stasiun Kerja:

$$\text{Efisiensi Stasiun Kerja 1} = \frac{276,21}{288} \times 100\% = 95,91\%$$

Untuk efisiensi stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 12.

e. Waktu Mengganggu:

$$\text{Waktu Mengganggu Stasiun Kerja 1} = 288 - 276,21 = 11,79 \text{ detik}$$

Analisa Keseimbangan Lini Pada Kondisi Awal

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa efisiensi lini sangat kecil yaitu 26,03% dan *balanced delay* sebesar 73,97%, sehingga memungkinkan terjadi kemacetan dalam lini produksi (*bottle neck*) dan tingginya waktu mengganggu dalam proses pembuatan Muffler tipe VCRM 08-4009 yaitu sebesar 5579,36 detik. Hal ini menunjukkan bahwa pada lini produksi ini tidak ada keseimbangan kerja kerana tidak meratanya distribusi waktu diantara pekerja.

Tidak meratanya distribusi waktu ini akan menyebabkan terjadinya penumpukan material/produk setengah jadi. Ini dapat diketahui pada proses 27 yang merupakan operasi dengan waktu terlalu lama yaitu sebesar 251,42 detik, yang menyebabkan penumpukan pada proses sebelumnya yaitu proses 12, proses 25 dan proses 26, sehingga terjadi penundaan pada proses berikutnya yaitu

proses 28 dimana proses ini belum bisa berjalan karena harus menunggu selesainya proses 27 tersebut. Hal tersebut juga terjadi pada proses 30 dengan waktu 159,53 detik, proses 11 dengan waktu 175,15 detik dan pada proses 7 dengan waktu 104,51 detik.

Analisa Keseimbangan Lini Setelah Perbaikan

Untuk meratakan distribusi waktu pekerja, maka operasi-operasi yang ada dikelompokkan ke dalam stasiun-stasiun kerja, dimana stasiun kerja tersebut memiliki waktu siklus sebesar 288 detik. Jadi operasi-operasi yang dikelompokkan tersebut tidak boleh melebihi waktu siklus yang telah ditentukan.

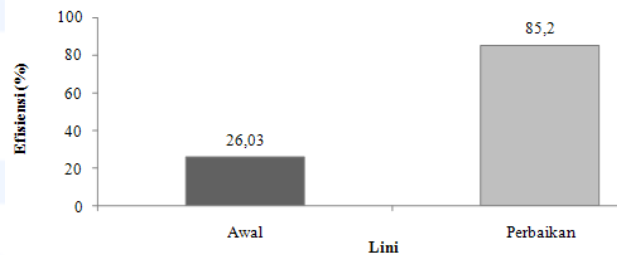
Untuk menyeimbangkan beban kerja dari lini perakitan digunakan tiga metode metode heuristik yaitu metode Helgesson-Birnie, metode *Largest Candidate Rule*, dan metode J-Wagon. Setelah dilakukan perhitungan, ketiga metode tersebut menghasilkan keluaran potensial yang sama seperti yang ditunjukkan pada Tabel 13.

Tabel 13
Hasil Keluaran Potensial Tiga Metode Heuristik Keseimbangan Lini

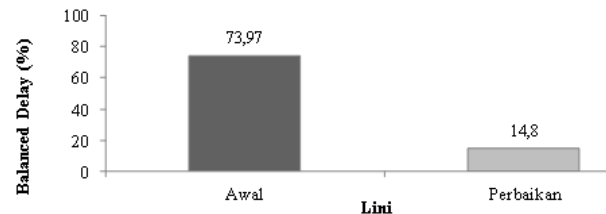
Keluaran Potensial	Metode Helgesson Birnie	Metode Largest Candidate Rule	Metode J-Wagon
Jumah Stasiun Kerja	8	8	8
Efisiensi Lini	85,2%	85,2%	85,2%
Balanced Delay	14,8%	14,8%	14,8%
Total Waktu Mengganggu	340,76 detik	340,76 detik	340,76 detik

Setelah dilakukan perbaikan keseimbangan lini, dapat diketahui bahwa efisiensi lini mengalami peningkatan sebesar 59,17% dan terjadi penurunan total waktu mengganggu sebesar 5238,6 detik. Hal ini jelas akan membuat produksi berjalan dengan baik dan lancar.

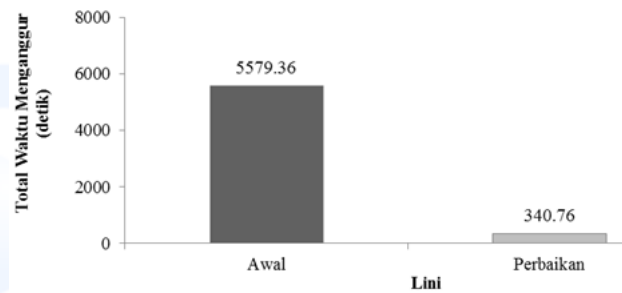
Pada Grafik di bawah berikut akan diperlihatkan perbedaan efisiensi, *balanced delay* dan total waktu mengganggu antara kondisi lini awal dengan kondisi lini setelah perbaikan.



Gambar 5
Grafik Perbandingan Efisiensi



Gambar 6
Grafik Perbandingan *Balanced Delay*



Gambar 7
Grafik Perbandingan Total Waktu Mengganggu

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisa dan pembahasan dari hasil perhitungan keseimbangan lini, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Lini perakitan Muffler tipe VCRM 08-4009 di PT. CSI memperlihatkan belum adanya keseimbangan beban kerja karena masih terjadi kemacetan (*bottle neck*) yang dapat diketahui dari perhitungan lini perakitan awal yang diperoleh efisiensi lini sebesar 26,03%, *balanced delay* sebesar 73,97%, dan total waktu mengganggu sebesar 5579,36 detik.
2. Agar terjadi keseimbangan beban kerja dalam suatu lini produksi maka diperlukan metode keseimbangan lini dengan mengelompokkan operasi-operasi ke dalam stasiun-stasiun kerja yang memiliki waktu siklus dan waktu stasiun tidak boleh melebihi waktu siklus yang telah ditetapkan dari hasil perhitungan sebesar 288 detik.
3. Metode Heuristik keseimbangan lini dapat digunakan untuk menyeimbangkan beban kerja, yang terdiri dari beberapa metode yaitu: metode Helgesson-Birnie/*Ranked Positional*

Weight (RPW), metode *Largest Candidate Rule*, dan metode J-wagon, dengan hasil perhitungan dari ketiga metode tersebut menghasilkan keluaran potensial yang sama-sama optimal yaitu efisiensi lini sebesar 85,20%, *balanced delay* sebesar 14,80%, dan total waktu menganggur sebesar 340,76 detik dengan jumlah stasiun kerja sebesar 8 stasiun kerja.

4. Dengan lini produksi yang telah diseimbangkan, terjadi peningkatan efisiensi sebesar 59,17%, dan penurunan *balanced delay* sebesar 65,17%, serta pengurangan total waktu menganggur sebesar 5238,6 detik.

Daftar Pustaka

- Amardeep., Rangaswamy, T. M., & Gautham, J. (2013, May). Line Balancing Of Single Model Assembly Line. *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, 2, Issue 5.
- Assauri, S. (1978), Management produksi dan operasi. *Lembaga penerbit FEUI*, Jakarta
- Bedworth, D., David & James, E. B. (1982), *Integrated Production And Control System*. New York: John Wiley & Sons.
- Buffa, E. S. (1973). *Operation Management: Problem and Model*, (4th edition). New York: John Wiley & Sons.
- Buffa, E. S. (1984). *Manajemen Produksi/Operasi*, (Jilid 2, Edisi keenam). Jakarta: Erlangga
- Chase, R. B., & Aquilano, N. J. (1995), *Production and Management Manufacturing and Services*, (7th edition). Irwin
- Elsayed, A. Elsayed, Thomas, D. Bourder. (1994). *Analysis and control of production system*. Prentice Hall International, Inc
- Eryuruk, S. H., Kalaoglu, F. & Baskak, M. (January/March, 2008). Assembly Line Balancing in a Clothing Company. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*, 16(1) (66).
- Fogarty, Hoffman, & Stonebroker. (1989), *Production and Operation Management*. South Western Publishing.
- Gaspersz, V. (1998). *Manajemen Produktivitas Total*. PT. Gramedia Pustaka Utama
- Ghutukade, S. T., & Sawant, S. M. (2013). Use of Ranked Position Weighted Method for Assembly Line Balancing. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*
- James, A. F. Stone & Wenkel, C. (1986). *Management*, (edisi III, jilid I). Jakarta
- John, E. B. (1992). *Pengendalian Produksi: Suatu Pendekatan Kuantitatif*, (Cetakan Pertama). Jakarta: Penerbit Akademika Pressindo
- Pratikto, T. O. (2009, Juni). Keseimbangan Lintasan Tipe U- Line Assembly Pada Perakitan Pompa Air. *Jurnal Teknik Industri*, 11(1), pp. 43-50.
- Reksohadiprojo, S. & Sudarmo, I. G. (1986), *Management produksi*, (edisi ketiga) Yogyakarta: BPF
- Rigg, J. L. (1976). *Production System, Planning, Analysis and Control*, (2nd edition). New York: John Wiley & Sons.
- Roy, D. & Khan, D. (2010). Assembly line balancing to minimize balancing loss and system loss. *Journal Industrial Engineering International*, 6 (11): 1-5, Spring
- Wild, R. (1983). *Production And Operation Management*, (3rd Edition). New York: McGraw Hill.