

PENENTUAN KESEIMBANGAN LINTASAN PRODUKSI DENGAN MENGUNAKAN METODE *HELGESON-BIRNIE*

Puji Astuti Saputri, Shantika Martha, Setyo Wira Rizki

INTISARI

Keseimbangan lintasan adalah serangkaian proses penyeimbangan stasiun kerja dengan cara mendistribusikan tiap-tiap elemen kerja ke stasiun kerja agar waktu menganggur dari stasiun kerja pada suatu lintasan produksi dapat seminimal mungkin hingga pemanfaatan dari setiap stasiun kerja dapat digunakan dengan semaksimal mungkin. Sedangkan lintasan produksi merupakan suatu proses kegiatan produksi yang terdiri dari sejumlah area kerja yang ditangani oleh seorang operator atau lebih untuk membuat suatu produk. Teknik keseimbangan lintasan produksi dalam penelitian ini menggunakan metode Helgeson-Birnie. Metode Helgeson-Birnie merupakan metode dengan menentukan bobot posisi dari setiap elemen kerja, menentukan ranking, dan teknik penyusunan stasiun kerja. Tujuan dari penelitian ini adalah menghasilkan kelompok tugas pada stasiun kerja dan meminimasi keseimbangan waktu tunggu (balance delay). Data yang digunakan adalah data waktu proses produksi percetakan koran pada bulan November tahun 2015. Keseimbangan lintasan produksi pada data waktu percetakan menggunakan metode Helgeson-Birnie didapat nilai Balance Delay sebesar 21,03% ini menunjukkan semakin baik keseimbangan lintasan produksi, nilai Efisiensi Lintasan sebesar 78,97%, Smoothes Index sebesar 64,28 menit dan hasil dari jumlah penyusunan stasiun kerja adalah sebanyak 3 stasiun kerja.

Kata Kunci: *Balance Delay, Efisiensi Lintasan, Smoothes Index.*

PENDAHULUAN

Dunia industri semakin hari semakin maju dan tingkat persaingan semakin ketat. Sistem industri yang tidak tepat dapat mengakibatkan ketidakseimbangan waktu operasi pada stasiun kerja. Dibidang industri, ketidakseimbangan lintasan adalah masalah serius yang harus dihindari karena mempengaruhi waktu penyelesaian. Ketidakseimbangan lintasan dalam proses produksi dapat dilihat dari beberapa stasiun kerja yang menganggur, sedangkan beberapa stasiun kerja yang lainnya tetap bekerja secara penuh. Ketidakseimbangan lintasan sering kali terjadi dikarenakan ketidakefisienan lintasan dalam menyelesaikan suatu pekerjaan. Akibatnya terjadi penumpukkan bahan material dalam proses produksi. Agar tidak terjadi penumpukkan bahan material diperlukan suatu sistem keseimbangan lintasan yang dapat meminimasi *balance delay*.

Proses penyeimbangan lintasan produksi dilakukan untuk menciptakan keseimbangan jalur produksi sehingga proses produksi bisa berjalan dengan lancar. Lintasan produksi terdiri dari sejumlah elemen kerja yang dikelompokkan ke dalam beberapa pusat-pusat kerja yang dinamakan stasiun kerja. Keseimbangan lintasan adalah serangkaian proses penyeimbangan stasiun kerja dengan cara mendistribusikan tiap-tiap elemen kerja ke stasiun kerja agar waktu menganggur dari stasiun kerja pada suatu lintasan produksi dapat seminimal mungkin hingga pemanfaatan dari setiap stasiun kerja dapat digunakan dengan semaksimal mungkin [1].

Metode *Helgeson-Birnie* adalah salah satu metode keseimbangan lintasan yang mampu memecahkan permasalahan pada keseimbangan lintasan. Metode *Helgeson-Birnie* biasanya lebih dikenal dengan metode bobot posisi (*Ranked Positional Weight System*) atau sistem RPW [2]. Metode *Helgeson-Birnie* dianggap mampu memecahkan permasalahan pada keseimbangan lintasan dan menemukan solusi dengan cepat dan tepat [3]. Konsep dari metode ini adalah menentukan jumlah stasiun kerja minimal dan melakukan pembagian elemen ke dalam stasiun kerja dengan cara memberikan bobot posisi kepada sebuah stasiun kerja. Menentukan bobot posisi untuk masing-masing elemen kerja yang berkaitan dengan waktu operasi untuk waktu pengerjaan yang terpanjang dari mulai

operasi permulaan hingga sisa operasi sesudahnya. Setelah itu menentukan ranking untuk setiap elemen pengerjaan berdasarkan bobot posisi dilangkah pengerjaan sebelumnya, maka pengerjaan yang mempunyai bobot terbesar diletakkan pada ranking pertama.

Metode *Helgeson-Birnie* lebih mempertimbangkan kriteria waktu tunggu secara langsung dengan bobot. Metode *Helgeson-Birnie* lebih memberikan waktu tunggu antar proses yang lebih kecil, dengan cara menjumlahkan terlebih dahulu waktu pengerjaan pada elemen kerja dengan waktu terpanjang.

Penelitian ini membahas bagaimana penerapan metode *Helgeson-Birnie* untuk meminimasi *balance delay* pada keseimbangan lintasan produksi, sehingga didapat tingkat efisiensi kerja yang tinggi pada setiap stasiun kerja. Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan keseimbangan lintasan pada stasiun kerja sehingga didapat tingkat efisiensi kerja yang tinggi pada setiap stasiun kerja dengan menggunakan metode *Helgeson-Birnie*. Selanjutnya menentukan nilai *balance delay*, nilai efisiensi lintasan dan nilai *smoothes index*.

Penelitian ini dimulai dengan menghitung uji kecukupan data, uji keseragaman data, menghitung waktu rata-rata, nilai faktor penyesuaian, waktu normal, nilai faktor kelonggaran, dan waktu baku. Setelah itu menentukan *precedence diagram* yang digunakan untuk menentukan bobot posisi masing-masing elemen kerja yang berkaitan dengan waktu operasi untuk waktu pengerjaan yang terpanjang dari mulai operasi permulaan hingga sisa operasi sesudahnya dengan menggunakan perhitungan *Helgeson-Birnie*.

UJI KECUKUPAN DATA

Uji pengukuran kerja yang pertama yaitu uji kecukupan data. Uji kecukupan data berfungsi sebagai indikator banyaknya data yang harus dikumpulkan. Idealnya pengumpulan data dilakukan sebanyak-banyaknya hingga batas tak hingga. Namun pengukuran dalam jumlah tak terhingga sulit dilakukan karena terbatas pada jumlah waktu yang diperlukan. Sebaliknya jumlah data yang terlalu sedikit juga kurang baik karena tidak dapat mewakili keadaan yang sebenarnya. Pengujian kecukupan data berpedoman pada konsep statistik yaitu tingkat ketelitian dan keyakinan. Jika dalam uji kecukupan data ternyata belum mencukupi, maka perlu dilakukan penambahan waktu dengan mengukur kembali waktu yang diperlukan. Jumlah data yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 25 data pengamatan. Uji kecukupan data dihitung dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$N'_j = \left(\frac{\frac{k}{s} \sqrt{N \sum_{i=1}^N X_{ij}^2 - (\sum_{i=1}^N X_{ij})^2}}{\sum_{i=1}^N X_{ij}} \right)^2 \quad (1)$$

Dimana :

N'_j : jumlah data teoritis pada operasi kerja ke j , dengan $j = 1, 2, \dots, p$

N : jumlah data pengamatan yang dilakukan

X_{ij} : waktu pengamatan ke i pada operasi kerja ke j , dengan $i = 1, 2, \dots, N$ dan $j = 1, 2, \dots, p$

k : tingkat keyakinan

s : derajat ketelitian

Bila $N'_j \leq N$ maka data dikatakan cukup dan tidak perlu dilakukan penambahan data. Bila $N'_j > N$ maka data dikatakan tidak cukup dan perlu dilakukan penambahan data.

UJI KESERAGAMAN DATA

Uji keseragaman data berfungsi untuk menyamakan asal data yang terkumpul dan memisahkan data yang memiliki karakteristik yang berbeda. Data yang tidak seragam dapat dipengaruhi oleh konsentrasi dan kebugaran seorang operator.

Jika operator dalam kondisi yang tidak fit (mengantuk dan kelelahan) maka operator tersebut dikategorikan bekerja terlalu lambat. Akibatnya data yang terkumpul dapat berbeda dengan data yang sebelumnya. Uji keseragaman data dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut [4]:

$$\sigma_j = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_{ij})^2}{N - 1}} \quad (2)$$

Rumus standar deviasi digunakan untuk menghitung nilai batas kontrol atas dan nilai batas kontrol bawah. Nilai standar deviasi yang telah didapat dimasukkan pada rumus batas kontrol atas dan batas kontrol bawah.

$$(BKA)_j = (\bar{X})_j + k\sigma_j \text{ dan } (BKB)_j = (\bar{X})_j - k\sigma_j \quad (3)$$

Dimana :

$(BKA)_j$: Batas kontrol atas pada operasi kerja ke j

$(BKB)_j$: Batas kontrol bawah pada operasi kerja ke j

$(\bar{X})_j$: Nilai rata-rata waktu pengamatan pada operasi kerja ke j

σ_j : Standar deviasi pada operasi kerja ke j

k : Tingkat keyakinan

WAKTU NORMAL

Waktu normal (W_n) menunjukkan bahwa seorang operator yang baik akan bekerja menyelesaikan pekerjaan dengan kecepatan kerja yang normal. *Rating factor* (RF) digunakan untuk menormalkan waktu kerja yang diperoleh dari pengukuran kerja yang mengakibatkan kecepatan kerja pada operator berbeda-beda. Waktu normal didapatkan dari rata-rata waktu pengamatan dikali dengan *rating factor*, adapun rumus sebagai berikut [3]:

$$(W_n)_j = (\bar{X})_j \times (RF)_j \quad (4)$$

Dimana :

$(W_n)_j$: Waktu normal pada operasi kerja ke j

$(RF)_j$: *Rating factor* pada operasi kerja ke j

WAKTU BAKU

Waktu baku (W_b) adalah waktu normal yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan yang dipengaruhi oleh tenaga kerja secara wajar sesuai dengan situasi dan kondisi yang normal (faktor kelonggaran). Waktu baku dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut [4]:

$$(W_b)_j = (W_n)_j \times \frac{100}{100 - (All)_j} \quad (5)$$

Dimana :

$(W_b)_j$: Waktu baku pada operasi kerja ke j

$(All)_j$: *Allowance factor* (kelonggaran) pada operasi kerja ke j

KESEIMBANGAN LINTASAN (*LINE BALANCING*)

Keseimbangan lintasan adalah serangkaian proses penyeimbangan stasiun kerja dengan cara mendistribusikan tiap-tiap elemen kerja ke stasiun kerja agar waktu menganggur dari stasiun kerja pada suatu lintasan produksi dapat seminimal mungkin hingga pemanfaatan dari setiap stasiun kerja dapat digunakan dengan semaksimal mungkin. Keseimbangan lintasan biasanya terdiri dari

dinamakan stasiun kerja yang ditangani seorang operator atau lebih dan kemungkinan menggunakan bermacam-macam alat. Tujuan utama dalam keseimbangan lintasan adalah untuk membentuk dan menyeimbangkan beban kerja pada tiap-tiap stasiun kerja dan menjaga lintasan produksi agar bergerak secara berkelanjutan. Jika tidak dilakukan keseimbangan, maka dapat mengakibatkan ketidakefisienan kerja di beberapa stasiun kerja, dimana antara stasiun kerja yang satu dengan lainnya tidak seimbang [3].

Terdapat beberapa faktor yang dapat mempengaruhi tingkat keseimbangan pada lintasan produksi, yaitu keterlambatan bahan baku, terjadinya kerusakan mesin yang tidak disengaja, kondisi mesin yang sudah tua, adanya penumpukan barang dalam proses pada tingkat proses tertentu dan tata letak yang kurang baik. Dalam lintasan produksi, keseimbangan sempurna dilakukan dengan menggabungkan elemen-elemen kerja menjadi beberapa stasiun kerja sampai waktu pengerjaan tiap stasiun kerja relatif sama. Waktu yang diperlukan untuk membuat satu unit produk pada kondisi normal disebut waktu siklus. Waktu siklus diasumsikan dengan waktu stasiun kerja yang paling besar. Waktu mengganggu terjadi jika jumlah waktu stasiun kerja lebih sedikit daripada waktu siklus yang telah diberikan. Selain untuk membentuk dan menyeimbangkan beban kerja, keseimbangan lintasan bertujuan juga untuk meminimasi waktu mengganggu pada setiap stasiun kerja yang berlangsung sesuai prosesnya sehingga pemanfaatan dari peralatan maupun operator dapat digunakan semaksimal mungkin [1].

METODE HELGESON-BIRNIE

Metode *Helgeson-Birnie* adalah metode keseimbangan lintasan yang menentukan bobot posisi sehingga lebih dikenal dengan metode bobot posisi. Metode *Helgeson-Birnie* dianggap mampu memecahkan permasalahan pada keseimbangan lintasan, sehingga dapat menemukan solusi dengan cepat dan tepat. Metode *Helgeson-Birnie* lebih mempertimbangkan kriteria waktu tunggu secara langsung dengan bobot. Metode *Helgeson-Birnie* lebih memberikan waktu tunggu antar proses yang lebih kecil, dengan cara menjumlahkan terlebih dahulu waktu pengerjaan pada elemen kerja dengan waktu terpanjang.

Metode *Helgeson-Birnie* mempunyai beberapa tahap dalam penyelesaian. Pertama-tama menentukan *precedence diagram* yang digunakan untuk menentukan bobot posisi masing-masing elemen kerja yang berkaitan dengan waktu operasi untuk waktu pengerjaan yang terpanjang dari mulai operasi permulaan hingga sisa operasi sesudahnya dengan menggunakan perhitungan *Helgeson-Birnie*. Selanjutnya, membuat ranking tiap elemen pengerjaan berdasarkan bobot posisi, menentukan waktu siklus yang diasumsikan dari waktu baku terbesar, menentukan pengelompokan stasiun kerja, sehingga didapat nilai *balance delay*, efisiensi lintasan dan *smoothes index* sehingga keseimbangan lintasan produksi menjadi seimbang.

BALANCE DELAY (D)

Balance delay merupakan ukuran dari ketidakefisienan lintasan yang dihasilkan dari waktu mengganggu sebenarnya yang disebabkan karena pengalokasian yang kurang sempurna diantara stasiun-stasiun kerja. Lintasan produksi yang baik memiliki nilai *balance delay* sebesar nol, yang berarti tidak ada waktu mengganggu pada seluruh stasiun kerja. Semakin kecil nilai *balance delay* maka semakin baik. *Balance delay* dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$D = \frac{(K \times CT) - \sum_{j=1}^p t_j}{(K \times CT)} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan :

K = Jumlah stasiun kerja yang terbentuk

CT = Waktu siklus (waktu operasi terbesar dalam stasiun kerja)

t_j = Waktu operasi elemen kerja pada operasi kerja ke j

D = *Balance delay* (%)

EFISIENSI LINTASAN (EL)

Efisiensi lintasan adalah rasio antara waktu yang digunakan dengan waktu yang tersedia. Lintasan produksi yang baik memiliki nilai efisiensi lintasan yang tinggi yang menunjukkan bahwa seluruh stasiun kerja memiliki waktu yang mendekati waktu siklus yang telah ditetapkan. Sehingga dapat dikatakan bahwa semakin tinggi nilai efisiensi lintasan, maka lintasan tersebut semakin baik. Secara matematis dapat dinyatakan sebagai berikut [1]:

$$EL = \frac{\sum_{q=1}^K (ST)_q}{(K)(CT)} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan :

$(ST)_q$ = Waktu stasiun di stasiun kerja

SMOOTHES INDEX (SI)

Smoothes index adalah suatu indeks yang mempunyai kelancaran relatif dari penyeimbangan lintasan produksi tertentu. Lintasan produksi yang baik memiliki nilai *smoothes index* yang mendekati angka nol. Dengan kata lain semakin kecil nilai *smoothes index* maka semakin baik. *Smoothes index* dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$SI = \sqrt{\sum_{q=1}^K ((ST)_{max} - (ST)_q)^2} \quad (8)$$

Keterangan

$(ST)_{max}$ = Waktu maksimum dari stasiun kerja

KESEIMBANGAN LINTASAN DENGAN METODE HELGESON-BIRNIE

Metode *Helgeson-Birnie* adalah metode keseimbangan lintasan yang menentukan bobot posisi sehingga lebih dikenal dengan metode bobot posisi. Metode *Helgeson-Birnie* dianggap mampu memecahkan permasalahan pada keseimbangan lintasan, sehingga dapat menemukan solusi dengan cepat dan tepat. Konsep dari metode ini adalah menentukan jumlah stasiun kerja minimum dan melakukan pembagian elemen ke dalam stasiun kerja. Penelitian ini dilakukan pada percetakan koran di Pontianak. Produk yang dihasilkan berupa surat kabar atau koran, percetakan koran ini memproduksi koran sesuai dengan permintaan pelanggan. Pengamatan dilakukan selama 25 hari pada masing-masing elemen kerja, dimana terdapat bagian-bagian yang terdiri dari 6 stasiun kerja dan 13 elemen kerja. Waktu operasi masing-masing elemen kerja dihitung dari hasil rata-rata 25 kali pengukuran.

Ada beberapa langkah dalam penyelesaian keseimbangan lintasan produksi ini. Langkah pertama yang dilakukan dalam metode ini adalah membuat *precedence diagram*. *Precedence diagram* merupakan alur kerja dari proses produksi yang diamati dan dibentuk dari pengamatan pada stasiun kerja dan elemen kerja. Dari *precedence diagram* dapat dihitung bobot elemen kerja dari setiap elemen

kerja pada seluruh stasiun kerja yang berhubungan. Adapun bagian-bagian dari stasiun kerja dan elemen kerja dapat dilihat dalam Tabel 1 dibawah ini:

Tabel 1 Bagian-bagian Stasiun Kerja dan Elemen Kerja (menit)

Stasiun Kerja (SK)	Elemen Kerja (EK)	Waktu Baku (W_b)
Penerimaan File (SK I)	Penerimaan file	80,36
	hal 1 dan 8	3,26
	hal 2 dan 7	3,21
	hal 3 dan 6	3,07
Penggabungan File (SK II)	hal 4 dan 5	3,34
	hal 9 dan 16	3,26
	hal 10 dan 15	3,13
	hal 11 dan 14	3,21
	hal 12 dan 13	3,18
Pembuatan Plate (SK III)	Mencetak <i>plate</i>	114,62
Pemasangan Plate (SK IV)	Pemasangan <i>plate</i>	11,10
Pencetakan (SK V)	Mencetak Koran	20,00
Finishing (SK VI)	Penyisipan hal koran	19,82

Tabel 1 merupakan bagian-bagian dari stasiun kerja, elemen kerja dan waktu baku. Waktu baku merupakan waktu normal yang dipengaruhi oleh faktor kelonggaran. Waktu baku ini yang akan digunakan dalam proses perhitungan selanjutnya untuk menentukan keseimbangan lintasan pada proses percetakan ini. Setelah waktu baku diketahui, maka langkah selanjutnya menentukan bobot dari elemen kerja. Bobot merupakan penjumlahan dari waktu pada setiap elemen kerja. Setelah mendapatkan nilai dari bobot elemen kerja, maka selanjutnya diranking berdasarkan bobot elemen kerja dari bobot tertinggi hingga bobot terendah. Adapun nilai bobot elemen kerja dan nilai bobot yang telah diranking dapat dilihat dalam Tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2 Bobot Elemen Kerja (menit)

Stasiun Kerja (SK)	Elemen Kerja (EK)	Bobot	Ranking
SK I	EK 1	249,24	1
	EK 2	168,80	3
	EK 3	168,75	5
	EK 4	168,61	9
SK II	EK 5	168,88	2
	EK 6	168,80	4
	EK 7	168,67	8
	EK 8	168,75	6
	EK 9	168,72	7
SK III	EK 10	165,54	10
SK IV	EK 11	50,92	11
SK V	EK 12	39,82	12
SK VI	EK 13	19,82	13

Tabel 2 merupakan nilai ranking dari setiap elemen kerja, didapat nilai ranking tertinggi sebesar 249,24 menit dan ranking terendah sebesar 19,82 menit. Selanjutnya menghitung nilai *balance delay* (D), efisiensi lintasan (EL) dan *smoothes index* (SI) menggunakan metode *Helgeson-Birnie* untuk melihat sejauh mana lintasan produksi dikatakan seimbang sebagai berikut:

1. Menghitung *Balance Delay* (D) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} D &= \frac{(K \times CT) - \sum_{j=1}^p t_j}{(K \times CT)} \\ &= \frac{(6 \times 114,62) - 271,56}{(6 \times 114,62)} \times 100\% \\ &= \frac{687,72 - 271,56}{687,72} \times 100\% \\ &= \frac{416,16}{687,72} \times 100\% \\ &= 60,51\% \end{aligned}$$

Nilai *balance delay* pada 6 stasiun kerja yaitu antara proses awal hingga proses terakhir pada lintasan produksi nilainya sebesar 60,51%.

2. Menghitung Efisiensi Lintasan (EL) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} EL &= \frac{\sum_{q=1}^K (ST)_q}{(K)(CT)} \times 100\% \\ &= \frac{(80,36 + 25,66 + 114,62 + 11,10 + 20,00 + 19,82)}{(6)(114,62)} \times 100\% \\ &= \frac{271,56}{687,72} \times 100\% \\ &= 39,48\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi lintasan pada 6 stasiun kerja sebesar 39,48% artinya belum seimbang, karena suatu lintasan dikatakan seimbang bila nilai efisiensi lintasan mendekati 100% dan nilai *balance delay* tidak boleh melebihi dari nilai efisiensi lintasan.

3. Menghitung *Smoothes Index* (SI) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SI &= \sqrt{\sum_{q=1}^K ((ST)_{max} - (ST)_q)^2} \\ &= \sqrt{(34,26^2 + 88,96^2 + 0^2 + 103,52^2 + 94,62^2 + 94,80^2)} \\ &= \sqrt{(1173,75 + 7913,88 + 0 + 10716,39 + 8952,94 + 8987,04)} \\ &= \sqrt{37744} \\ &= 194,28 \text{ menit} \end{aligned}$$

Nilai *smoothes index* pada 6 stasiun kerja sebesar 194,28 menit artinya kelancaran dalam menyelesaikan pekerjaan antara proses awal hingga proses terakhir pada lintasan produksi belum dikatakan berjalan dengan lancar karena waktu penyelesaian masih besar karena masih membutuhkan waktu penyelesaian sebesar 194,28 menit.

Setelah melakukan perhitungan *balance delay*, efisiensi lintasan dan *smoothes index* dengan 6 stasiun kerja dapat dilihat bahwa nilai-nilai tersebut belum dapat dikatakan seimbang. Karena nilai efisiensi lintasannya belum mendekati 100%. Oleh karena itu perlu dilakukan perhitungan lebih lanjut agar lintasan produksinya lebih seimbang dengan cara meminimumkan jumlah stasiun kerjanya.

Untuk menentukan jumlah stasiun kerja minimum yang dibutuhkan, maka jumlah dari stasiun kerja yang efisien dapat ditentukan sebagai berikut:

$$K_{min} = \frac{\sum_{j=1}^p t_j}{CT} = \frac{271,56}{114,62} = 2,37 = 3 \quad (9)$$

Didapatlah K_{min} sebesar 2,37 maka dibulatkan menjadi 3. Jadi jumlah stasiun kerja yang optimal untuk memenuhi target produksi yang telah ditetapkan adalah 3 stasiun kerja.

Langkah selanjutnya penyusunan stasiun elemen kerja. Contoh perhitungan untuk penyusunan stasiun elemen kerja adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SK I &= CT_{maks} - (EK 1 + EK 2 + EK 3 + \dots + EK 9) \\ &= 114,62 - (106,02) \\ &= 8,60 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SK II &= CT - (EK 10) \\ &= 114,62 - (114,62) \\ &= 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} SK III &= CT - (EK 11 + EK 12 + EK 13) \\ &= 114,62 - (50,92) \\ &= 63,70 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan stasiun elemen kerja didapat nilai $SK I = 8,60$, $SK II = 0$ dan $SK III = 63,70$ kurang dari waktu siklus sebesar 114,62, karena nilai dari waktu stasiun kerja tidak boleh melebihi dari waktu siklus. Nilai waktu siklus diasumsikan pada waktu baku yang terbesar, kemudian penyusunan stasiun kerja dengan metode *Helgeson-Birnie*. Penyusunan stasiun kerja didapat dari waktu siklus dikurangi dengan waktu pada elemen kerja. Adapun penyusunan stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3 Penyusunan Stasiun Kerja dengan Metode *Helgeson-Birnie*

Stasiun kerja (SK)	Elemen Kerja (EK)	Waktu Baku (W_b)	STk	Idle
SK I	EK 1	80,36	106,02	8,60
	EK 2	3,26		
	EK 3	3,21		
	EK 4	3,07		
	EK 5	3,34		
	EK 6	3,26		
	EK 7	3,13		
	EK 8	3,21		
	EK 9	3,18		
SK II	EK 10	114,62	114,62	0
SK III	EK 11	11,10	50,92	63,70
	EK 12	20,00		
	EK 13	19,82		

Tabel 3 menunjukkan bahwa terdapat penyusunan 3 stasiun kerja dimana nilai stasiun kerja tidak boleh melebihi dari waktu siklus. Penyusunan 3 stasiun kerja berdasarkan dari perhitungan K_{min} . Selisih antara waktu siklus dan nilai dari stasiun kerja itu dialokasikan sebagai nilai *idle*. *Idle* merupakan waktu menganggur yang terjadi di setiap elemen kerja.

Setelah meminimumkan jumlah stasiun kerja terdapat penyusunan 3 stasiun kerja. Kemudian menghitung nilai *balance delay*, efisiensi lintasan, dan *smoothes index* pada 3 stasiun kerja yang merupakan parameter untuk melihat sejauh mana lintasan produksi dikatakan seimbang. Rumus untuk menghitung nilai *balance delay* (D), efisiensi lintasan (EL) dan *smoothes index* (SI) sebagai berikut:

1. Menghitung *Balance Delay* (D) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} D &= \frac{(K \times CT) - \sum_{j=1}^p t_j}{(K \times CT)} \times 100\% \\ &= \frac{(3 \times 114,62) - 271,56}{(3 \times 114,62)} \times 100\% \\ &= \frac{343,86 - 271,56}{343,86} \times 100\% \\ &= \frac{72,30}{343,86} 100\% \\ &= 21,03\% \end{aligned}$$

Nilai *balance delay* pada 3 stasiun kerja yaitu antara proses awal hingga proses terakhir pada lintasan produksi nilainya sebesar 21,03%.

2. Menghitung Efisiensi Lintasan (EL) adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} EL &= \frac{\sum_{q=1}^K (ST)_q}{(K)(CT)} \times 100\% \\ &= \frac{271,56}{(3 \times 114,62)} \times 100\% \\ &= \frac{271,56}{343,86} 100\% \\ &= 78,97\% \end{aligned}$$

Nilai efisiensi lintasan pada 3 stasiun kerja sebesar 78,97% artinya sudah seimbang, karena nilainya lebih besar dari nilai *balance delay*. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan lintasan telah tercapai.

3. Menghitung *Smoothes Index* (SI) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} SI &= \sqrt{\sum_{q=1}^K ((ST)_{max} - (ST)_q)^2} \\ &= \sqrt{(8,60^2 + 0^2 + 63,70^2)} \\ &= \sqrt{(73,96 + 0 + 4057,69)} \\ &= \sqrt{4131,65} \\ &= 64,28 \text{ menit} \end{aligned}$$

Nilai *smoothes index* pada 3 stasiun kerja sebesar 64,28 menit artinya kelancaran dalam menyelesaikan pekerjaan antara proses awal hingga proses terakhir pada lintasan produksi sudah lancar karena waktu penyelesaiannya sudah lebih kecil dibandingkan pada 6 stasiun kerja.

Setelah meminimumkan jumlah stasiun kerja dan melakukan perhitungan *balance delay* (D), efisiensi lintasan (EL) dan *smoothes index* (SI) dengan 3 stasiun kerja dapat dilihat bahwa nilai-nilai tersebut sudah dapat dikatakan seimbang. Karena nilai efisiensi lintasan dikatakan seimbang bila nilainya mendekati 100% dan nilai dari *smoothes index* lebih kecil dibandingkan perhitungan sebelumnya pada 6 stasiun kerja.

PENUTUP

Berdasarkan hasil penelitian dengan menggunakan metode *Helgeson-Birnie* terdapat perubahan pada jumlah stasiun kerja pada keseimbangan lintasan produksi yaitu dari 6 stasiun kerja berkurang menjadi 3 stasiun kerja. Dengan berkurangnya jumlah stasiun kerja maka didapat tingkat efisiensi kerja yang tinggi pada setiap stasiun kerja, dikarenakan nilai efisiensi lintasan mendekati 100% dan nilai *balance delay* lebih kecil dari nilai efisiensi lintasan. Keseimbangan lintasan dikatakan seimbang bila nilai *balance delay* pada lintasan produksi lebih kecil dari nilai efisiensi lintasan.

Nilai *balance delay* (waktu tunggu) yang diperoleh adalah sebesar 21,03%, efisiensi lintasan sebesar 78,97% dan *smoothes index* sebesar 64,28 menit. Hal ini menunjukkan bahwa keseimbangan lintasan produksi telah tercapai dengan meminimumkan waktu *balance delay*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Baroto, T. *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Jakarta: Ghalia Indonesia; 2002.
- [2]. Gozali L, dkk. Penentuan Jumlah Tenaga Kerja Dengan Metode Keseimbangan Lini Pada Divisi Plastic Painting PT. XYZ. *Jurnal Teknik Industri*. 2015; Vol 3:10-17.
- [3]. Ginting, R. *Sistem Produksi*. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2007.
- [4]. Purnomo, H. *Pengantar Teknik Industri*. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2004.

PUJI ASTUTI SAPUTRI : FMIPA Untan Pontianak, pujie.saputri@gmail.com
SHANTIKA MARTHA : FMIPA Untan Pontianak, shantika.martha@gmail.com
SETYO WIRA RIZKI : FMIPA Untan Pontianak, setyo.wirarizki@math.untan.ac.id
