

PERBANDINGAN METODE RANKED POSITIONAL WEIGHT (RPW), METODE LARGEST CANDIDATE RULE, DAN METODE J-WAGON UNTUK PENENTUAN KESEIMBANGAN LINTASAN OPTIMAL PRODUKSI SAMPEL SEPATU MODEL SSOW

Taufiqur Rachman, Crystal AviantariSantoso
Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik Universitas Esa Unggul, Jakarta
Jalan Arjuna Utara Nomor 9, Kebon Jeruk, Jakarta Barat - 11510
taufiqur.rahman@esaunggul.ac.id

Abstract

This research aims to determine the optimal line balance using the heuristic method, among others Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW) method, Largest Candidate Rule method, and J-Wagon method, to produce optimal results so that they can reach the target in a timely, exact number, right quality with more efficient costs. This method uses rules that are logical in solving problems. With the object of research on the process of making one of the shoe models, namely the SSOW model at PT.PBI. Line balance needs to be done because of the bottleneck in the sewing process of quarter stretch components to the upper and the shoe cooling process using a Chiller machine. Bottleneck is caused by a significant difference in processing time, which causes idle work processes to operate afterwards. From the research it can be know that the three heuristic methods used resulting potential output are equally optimal, the line efficiency is 85.50%, balanced delay is 14.5%, and total idle time is 292,413 seconds with the number of work stations of 7 work stations. By using the heuristic methods of line balance, there was an increase in efficiency of 69.33%, and a decrease in balance delay of 69.33%, and a reduction in the total idle time of 8640 seconds.

Keywords : bottleneck, line balancing, heuristic method

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan keseimbangan lintasan optimal dengan menggunakan metode Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW), Metode Largest Candidate Rule, dan Metode J-Wagon, agar menghasilkan hasil yang optimal sehingga dapat mencapai sasaran secara tepat waktu, tepat jumlah, tepat mutu dengan biaya yang lebih efisien. Metode ini menggunakan aturan-aturan yang logis dalam memecahkan masalah. Dengan objek penelitian proses pembuatan salah satu model sepatu yaitu model SSOW di PT.PBI. Keseimbangan lini perlu dilakukan karena adanya *bottleneck* pada proses menjahit komponen quarter stretch ke upper dan proses pendinginan sepatu menggunakan mesin Chiller. *Bottleneck* disebabkan karena perbedaan waktu proses yang cukup signifikan, sehingga menyebabkan menganggurnya beberapa proses kerja yang beroperasi setelahnya. Dari hasil penelitian ini dapat diketahui bahwa ketiga metode heuristik yang digunakan menghasilkan keluaran potensial yang sama-sama optimal yaitu efisiensi lini sebesar 85.50%, *balanced delay* sebesar 14.5%, dan total waktu menganggur sebesar 292.413 detik dengan jumlah stasiun kerja sebesar 7 stasiun kerja. Dengan menggunakan metode heuristik keseimbangan lintasan, terjadi peningkatan efisiensi sebesar 69.33%, dan penurunan *balance delay* sebesar 69.33%, serta pengurangan total waktu menganggur sebesar 8640 detik.

Kata kunci : bottleneck, keseimbangan lintasan, metode heuristik

Pendahuluan

Dalam suatu perusahaan yang memproduksi secara massal, perencanaan produksi memegang peranan yang penting dalam membuat penjadwalan produksi. Pengaturan operasi-operasi atau tugas-tugas yang harus dilakukan menjadi acuan pekerjaan yang melibatkan sejumlah besar komponen yang harus dirakit. Jika pengaturan dan kerja dilintas perakitan mempunyai kecepatan produksi yang berbeda. Hal ini akan mengakibatkan lintas perakitan tersebut tidak efisien karena tidak berimbang

kecepatan produksi yang terjadi di antara stasiun kerja yang mengakibatkan penumpukan material atau produk.

PT. PBI merupakan sebuah perusahaan yang bergerak di bidang produksi *sportwear* atau sepatu, yang melakukan produksi sepatu secara perencanaannya tidak tepat, maka setiap stasiun massal yang di tuntutan untuk dapat memproduksi secara optimal dan tepat waktu. Permintaan sampel sepatu yang terus menerus setiap periodenya tidak sebanding dengan jumlah pekerja dan mesin pada

area sampel room yang tidak terlalu banyak. Oleh sebab itu, PT.PBI merencanakan untuk melakukan perbaikan dengan membagi area *sampel room* menjadi beberapa lini, dimana masing-masing lini mempunyai tingkat efisiensi yang optimal dan mencari sistem yang lebih baik dengan pembagian beban kerja yang seimbang.

Salah satu produk sampel yang di produksi adalah sepatu kategori *original* model SSOW. Ketidakseimbangan pembagian beban kerja dalam kegiatan produksi di lantai produksi sampel sepatu ini dapat dilihat dari adanya *bottleneck* pada proses jahit komponen *quarter stretch* ke *upper* dan proses pendinginan sepatu menggunakan mesin *Chiller* yang membuat proses-proses yang berjalan setelahnya menganggur untuk beberapa saat.

Keseimbangan lini 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. Stasiun kerja tersebut memiliki waktu yang tidak melebihi waktu siklus dan stasiun kerja. Fungsi dari keseimbangan lini adalah membuat suatu lintasan yang seimbang. Tujuan pokok dari penyeimbangan lintasan adalah mengetahui kapasitas masing-masing proses secara benar, kemudian bisa meminimumkan penumpukan produk pada stasiun kerja serta mengetahui jumlah stasiun kerja yang paling efektif. (Rachman, 2015)

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat diketahui masalah dari penelitian ini adalah bagaimana cara mengoptimalkan setiap proses kerja yang ada dengan membandingkan metode keseimbangan lintasan agar dapat menghasilkan *output* yang maksimal, sehingga dapat meningkatkan efisiensi lintasan di lini produksi sampel sepatu SSOW pada PT.PBI.

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan penelitian, antara lain:

1. Metode heuristik yang digunakan untuk penghitungan keseimbangan lintasan lini produksi adalah metode *Helgeson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW)*, metode *Largest Candidate Rule*, dan metode *J-Wagon*.
2. Tenaga kerja mempunyai tingkat keterampilan, kondisi kerja serta konsistensi yang sama.
3. Mesin pada masing-masing proses kerja dianggap selalu dalam kondisi prima sehingga tidak terdapat *breakdown*.
4. Analisa keseimbangan lintasan lini dilakukan khusus hanya di proses produksi sampel sepatu model SSOW.
5. Penelitian lintasan produksi sampel dibatasi hanya mengambil aspek rancangan alur proses

produksi, tidak mengubah tata letak dan fasilitas pabrik.

6. Parameter yang menjadi ukuran performansi adalah jumlah stasiun kerja, efisiensi lini, *balance delay*, total waktu menganggur dan *smoothness index*.
7. Asumsi-asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:
 - a. Tidak terjadi kerusakan mesin/peralatan dan *material handling*.
 - b. Tidak terdapat masalah dalam proses *supply material*.

Dikarenakan terdapat banyak pilihan metode untuk memperbaiki keseimbangan lintasan, maka tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan metode heuristik keseimbangan lintasan yang optimal diantara metode *Helgeson-Birnie*, metode *Largest Candidate Rule* dan metode *J-Wagon*. Selain itu, penelitian ini juga bermanfaat sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan perubahan untuk perbaikan lintasan.

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

Metode Penelitian

Tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Identifikasi proses, tahapan ini merupakan proses identifikasi tentang proses pembuatan sepatu SSOW di area produksi sampel PT.PBI. Identifikasi ini sangat penting karena metode yang digunakan dalam penelitian ini ditujukan untuk melakukan perbaikan di area tersebut.
2. Penentuan sampel dan periode data, bagian ini menjelaskan tentang proses pembuatan sepatu yang akan dijadikan objek penelitian dan periode waktu pengambilan data.
3. Pengumpulan data, tahapan ini dilakukan dengan cara mengamati dan mengambil data secara langsung di lapangan.
4. Formulasi metode keseimbangan lini, metode yang akan digunakan dalam tahapan ini adalah metode *Helgeson-Birnie*, metode *Largest Candidate Rule* dan metode *J-Wagon*.
5. Analisis hasil, pada tahapan ini analisis dilakukan pada hasil yang diperoleh dari penyelesaian masing-masing metode sehingga dapat diketahui metode mana yang optimal. Analisis tersebut berupa analisis terhadap nilai efisiensi lini, *balance delay*, waktu menganggur, dan *smoothness index*.

- Kesimpulan dan saran, tahapan ini berisi kesimpulan dari hasil penelitian yang diperoleh dan saran yang dapat diberikan untuk penelitian selanjutnya.

Hasil dan Pembahasan

Penelitian ini dilakukan pada PT.PBI yang merupakan salah satu perusahaan yang memproduksi sepatu. Dari hasil pengamatan yang dilakukan dilapangan, belum adanya penerapan *line balancing* pada area produksi sampel. Sehingga menyebabkan adanya ketidakseimbangan beban kerja pada area tersebut. Ketidakseimbangan tersebut terlihat dari menganggurnya beberapa operator pada saat operator lainnya bekerja dengan penuh.

Precedence Diagram

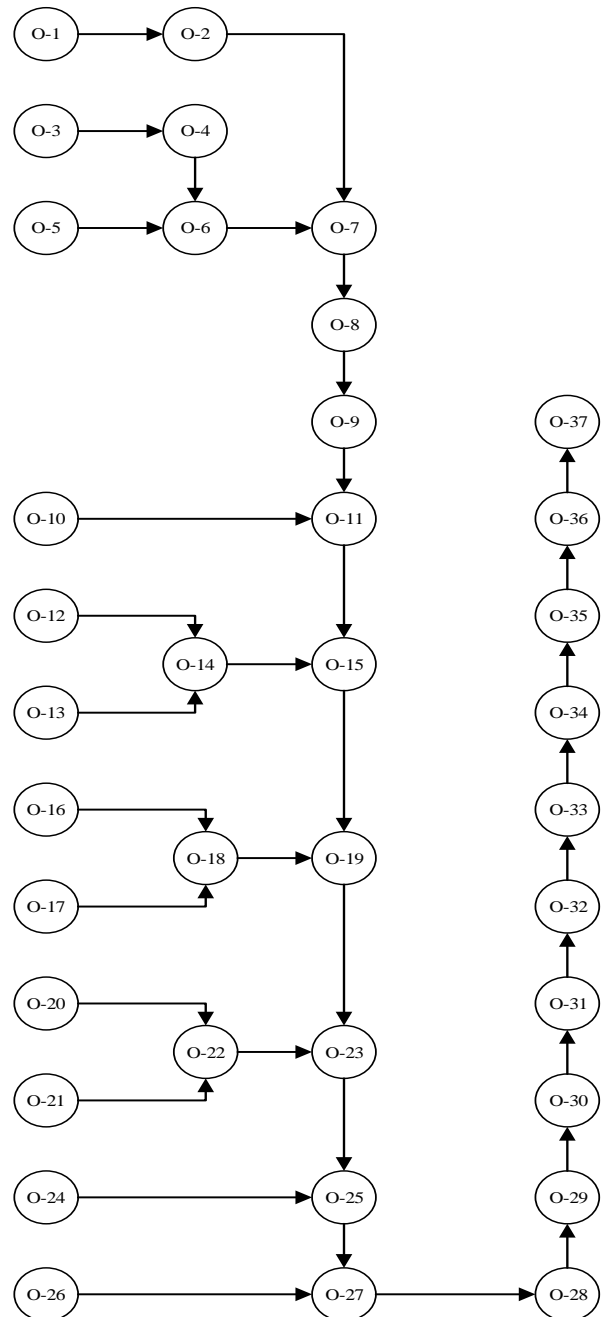
Precedence diagram merupakan gambaran grafis dari hubungan antar elemen kerja, yang memperlihatkan keseluruhan dan ketergantungan dari masing-masing operasi. (Daelima, Febianti, & Ilhami, 2013) Setelah mengetahui proses pembuatan sepatu beserta waktunya, maka dapat dibuat *precedence diagram* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

Sedangkan untuk dapat mengetahui beban kerja dari masing-masing proses diperlukan data waktu baku yang akan digunakan sebagai waktu standar dari setiap proses. Berdasarkan data yang didapat dari PT.PBI, dapat diketahui waktu baku dari masing-masing proses yang tertera pada Tabel 1.

Tabel 1.
Data Waktu Baku Proses Pembuatan Sepatu SSOW

Proses	Waktu Baku (detik)
1	11.816
2	7.520
3	12.301
4	11.694
5	11.582
6	24.990
7	21.950
8	22.316
9	27.498
10	19.300
11	40.635
12	20.950
13	11.759
14	17.770
15	93.532
16	15.020
17	11.302
18	19.276
19	85.908
20	18.270
21	11.597
22	18.943
23	60.829
24	12.521
25	215.041
26	11.572
27	53.625
28	66.462
29	31.710
30	32.923
31	39.474
32	33.116
33	107.056
34	30.367
35	360.000
36	11.836
37	121.126
Total	1723.587

(Sumber: PT.PBI, data diolah, 2019)



Gambar 1.
Precedence Diagram Proses Pembuatan Sepatu SSOW

(Sumber: PT.PBI, data diolah, 2019)

Perhitungan Keseimbangan Lini Perakitan Awal

Untuk jumlah stasiun kerja diasumsikan yaitu 37 stasiun sesuai dengan jumlah proses yang ada, karena untuk proses pembuatan sepatu di area produksi sampel belum menerapkan keseimbangan lini. Dan untuk masing-masing stasiun dikerjakan oleh 1 orang operator.

Berikut ini adalah perhitungan keseimbangan lini perakitan awal pada lini produksi sepatu SSOW dengan jumlah produksi sebesar 100 pcs yang merupakan target dari perusahaan dengan 8

jam kerja.

$$1) \text{ Total waktu operasi seluruh stasiun kerja} \\ = 1723.587 \text{ detik}$$

$$2) \text{ Waktu Siklus yang dibutuhkan (CT)} \\ CT = \frac{8 \times 3600}{100} = 288 \text{ detik}$$

$$3) \text{ Efisiensi Lini (LE)} \\ LE = \frac{1723.587}{(37)(288)} \times 100\% = 16.17\%$$

$$4) \text{ Balance Delay (BD)} \\ BD = \frac{(37 \times 288) - 1723.587}{(37 \times 288)} \times 100 \\ BD = 83.83\%$$

$$5) \text{ Total waktu menganggur} \\ = (37 \times 288) - 1723.587 = 8932.413 \text{ detik}$$

6) Efisiensi stasiun kerja
Dihitung untuk setiap stasiun kerja.

$$- \text{ Untuk efisiensi stasiun kerja 1:} \\ = \frac{11.816}{288} \times 100\% = 4.10\%$$

$$- \text{ Untuk efisiensi stasiun kerja 2:} \\ = \frac{7.520}{288} \times 100\% = 2.61\%$$

$$- \text{ Untuk efisiensi stasiun kerja 3} \\ = \frac{12.301}{288} \times 100\% = 4.27\%$$

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

$$7) \text{ Waktu menganggur} \\ \text{Dihitung untuk setiap stasiun kerja.}$$

- Untuk waktu menganggur stasiun kerja 1:
 $= 288 - 11.816 = 276.184 \text{ detik}$
- Untuk waktu menganggur stasiun kerja 2
 $= 288 - 7.520 = 280.480 \text{ detik}$
- Untuk waktu menganggur stasiun kerja 3
 $= 288 - 12.301 = 275.699 \text{ detik}$

Untuk waktu menganggur 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	11.816	4.10	276.184
2	7.520	2.61	280.480
3	12.301	4.27	275.699
4	11.694	4.06	276.306
5	11.582	4.02	276.418
6	24.990	8.68	263.010
7	21.950	7.62	266.050
8	22.316	7.75	265.684
9	27.498	9.55	260.502
10	19.300	6.70	268.700
11	40.635	14.11	247.365
12	20.950	7.27	267.050
13	11.759	4.08	276.241
14	17.770	6.17	270.230
15	95.532	32.48	194.468
16	15.020	5.22	272.980
17	11.302	3.92	276.698
18	19.276	6.69	268.724
19	85.908	29.83	202.092
20	18.270	6.34	269.730
21	11.597	4.03	276.403
22	18.943	6.58	269.057
23	60.829	21.12	227.171
24	12.521	4.35	275.479
25	215.041	74.67	27.959
26	11.572	4.02	276.428
27	53.625	18.62	234.375
28	66.462	23.08	221.538
29	31.710	11.01	256.290
30	32.923	11.43	255.077
31	39.474	13.71	248.526
32	33.116	11.50	254.884
33	107.056	37.17	180.944
34	30.367	10.54	257.633
35	360.000	125.00	-72.000
36	11.836	4.11	276.164
37	121.126	42.06	166.874

Sumber: Pengolahandata, 2019.

Keseimbangan Lini

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. 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 pustaka bahwa pendekatan *Region Approach* tidak layak untuk jaringan yang besar serta kombinasi pekerjaannya yang dapat dipertukarkan dapat menjadi kaku.

Untuk dapat menyeimbangkan lini perakitan, perlu dilakukan terlebih dahulu perhitungan untuk menentukan waktu siklus dan menentukan jumlah stasiun kerja minimum. Perhitungan dilakukan dengan mengetahui waktu jam kerja perhari dan target produksi perhari.

1. Menentukan Waktu Siklus (CT)

Untuk Stasiun Kerja

- Produksi per hari = 100 unit
- Jam kerja per hari = 8 jam
- Waktu Siklus (CT) yang dibutuhkan

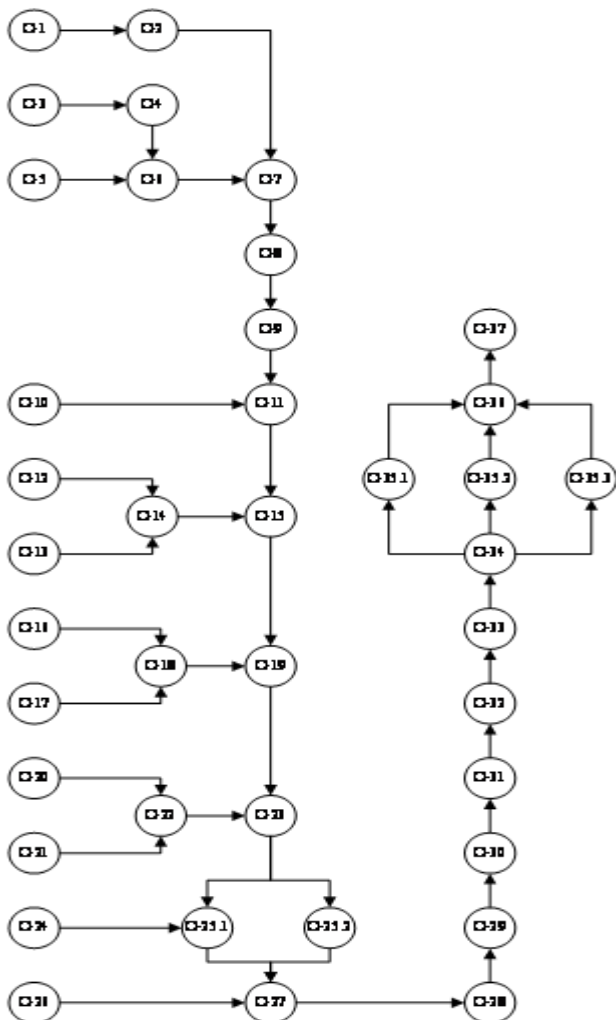
$$CT = \frac{8 \times 3600}{100} = 288 \text{ detik}$$

Artinya untuk satu unit diperlukan waktu pemrosesan pada tiap stasiun kerja sebesar 288 detik.

2. Menentukan Jumlah Stasiun Kerja Minimum (N)

$$N = \frac{1723.587}{288} = 5.984 \approx 6$$

Pembulatan keatas untuk menentukan jumlah stasiun kerja, jadi terdapat 6 stasiun kerja.



Gambar 2.

Precedence Diagram Berdasarkan Hasil Perubahan Stasiun Kerja (Sumber: Pengolahan Data, 2019)

Berdasar Tabel 2 dapat diketahui bahwa terdapat proses yang memiliki waktu menganggur lebih sedikit dari yang lainnya yaitu untuk proses 25, maka untuk proses 25 harus dibuat menjadi beberapa proses. Jika hal tersebut tidak dilakukan maka akan terjadi penumpukan (*bottleneck*) pada proses tersebut. Untuk itu proses 25 akan dibagi menjadi 2 yaitu, 25.1 dengan waktu 107.521 detik dan 25.2 dengan waktu 107.520 detik. Selain itu juga terdapat proses yang memiliki waktu menganggur bernilai minus yang berarti stasiun tersebut memiliki waktu proses yang lebih besar dari waktu siklus yaitu untuk proses 35, sehingga untuk proses 35 akan dibuat

menjadi 3 proses yaitu, 35.1, 35.2, dan 35.3 dengan waktu masing masing sebesar 120 detik. Dari perubahan stasiun kerja tersebut, maka akan terdapat penambahan operator untuk stasiun kerja yang mengalami perubahan tersebut.

Gambar 2 merupakan hasil *precedence diagram* yang telah diperbaharui sesuai dengan pemecahan stasiun kerja untuk proses 25 dan 35.

Metode Helgesson – Birnie/Ranked Positional Weight (RPW)

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

1. Dari *precedence diagram* yang didapat (Gambar 2), maka dapat dihitung nilai bobot posisi setiap elemen kerja.
 - a. Bobot operasi 37 atau $RPW(37) = 121.126$
 - b. Bobot operasi 36 atau $RPW(36) = 11.836 + RPW(37) = 11.836 + 121.126 = 132.962$
 - c. Bobot operasi 35 atau $RPW(35.3) = 120 + RPW(36) = 120 + 132.962 = 252.962$
 - d. Bobot operasi lain dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3.

Hasil Perhitungan Bobot Posisi Metode Helgesson-Birnie

Operasi	Waktu Operasi (detik)	Operasi yang Mendahului	Bobot Posisi
1	11.816	-	1567.413
2	7.520	1	1555.997
3	12.301	-	1560.378
4	11.694	3	1548.077
5	11.582	-	1547.965
6	24.990	4, 5	1536.383
7	21.950	2, 6	1511.393
8	22.316	7	1489.443
9	27.498	8	1467.127
10	19.300	-	1458.929
11	40.635	9, 10	1439.629
12	20.950	-	1419.944
13	11.759	-	1410.753
14	17.770	12, 13	1398.994
15	93.532	11, 14	1381.224
16	15.020	-	1302.712
17	11.302	-	1298.994
18	19.276	16, 17	1287.692
19	85.908	15, 18	1268.416
20	18.270	-	1200.778
21	11.597	-	1194.105
22	18.943	20, 21	1182.508
23	60.829	19, 22	1163.565
24	12.521	-	1115.257
25.1	107.521	23, 24	1102.736
25.2	107.520	23, 24	995.215
26	11.572	-	899.267
27	53.625	25, 26	887.695
28	66.462	27	834.070
29	31.710	28	767.608
30	32.923	29	735.898
31	39.474	30	702.975
32	33.116	31	663.501
33	107.056	32	630.385
34	30.367	33	523.329
35.1	120.000	34	492.962
35.2	120.000	34	372.962
35.3	120.000	34	252.962
36	11.836	35.1 dan 35.2	132.962
37	121.126	36	121.126

(Sumber: Pengolahandata, 2019)

2. Nilai bobot posisi yang telah didapat, kemudian diranking dari urutan nilai bobot posisi tertinggi sampai nilai bobot posisi terendah untuk penentuan prioritas pengelompokkan stasiun kerja. Hasilnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4.
Hasil Bobot Posisi Metode Helgesson-Birnie

Prioritas	Bobot Posisi	Operasi	Waktu Operasi (detik)	Operasi Yang Mendahului
1	1567.413	1	11.816	-
2	1560.378	3	12.301	-
3	1555.597	2	7.520	1
4	1548.077	4	11.694	3
5	1547.965	5	11.582	-
6	1536.383	6	24.990	4, 5
7	1511.393	7	21.950	2, 6
8	1489.443	8	22.316	7
9	1467.127	9	27.498	8
10	1458.929	10	19.300	-
11	1439.629	11	40.635	9, 10
12	1419.944	12	20.950	-
13	1410.753	13	11.759	-
14	1398.994	14	17.770	12, 13
15	1381.224	15	93.532	11, 14
16	1302.712	16	15.020	-
17	1298.994	17	11.302	-
18	1287.692	18	19.276	16, 17
19	1268.416	19	85.908	15, 18
20	1200.778	20	18.270	-
21	1194.105	21	11.597	-
22	1182.508	22	18.943	20, 21
23	1163.565	23	60.829	19, 22
24	1115.257	24	12.521	-
25	1102.736	25.1	107.521	23, 24
26	995.215	25.2	107.520	23, 24
27	899.267	26	11.572	-
28	887.695	27	53.625	25, 26
29	834.070	28	66.462	27
30	767.608	29	31.710	28
31	735.898	30	32.923	29
32	702.975	31	39.474	30
33	663.501	32	33.116	31
34	630.385	33	107.056	32
35	523.329	34	30.367	33
36	492.962	35.1	120.000	34
37	372.962	35.2	120.000	34
38	252.962	35.3	120.000	34
39	132.962	36	11.836	35
40	121.126	37	121.126	36

(Sumber: Pengolahandata, 2019)

3. Menempatkan atau mengelompokkan elemen-elemen kerja tersebut ke dalam stasiun kerja dengan memperhatikan prioritas urutan nilai bobot posisi dan waktu siklus yang sebelumnya telah dihitung terlebih dahulu. Alokasikan operasi, mulai dari prioritas bobot tertinggi stasiun kerja, kemudian hitung jumlah waktu operasi mulai dari prioritas bobot tertinggi hingga waktu operasi stasiun memenuhi waktu siklus yang ditentukan, yaitu sebesar 288 detik. Tabel 5 merupakan hasil pengelompokkan stasiun kerja.

Tabel 5.
Hasil Pengelompokkan Stasiun Kerja Metode Helgesson-Birnie

Stasiun	Waktu Stasiun Kerja (detik)	Operasi	Waktu Operasi (detik)
		1	11.816
		3	12.301
		2	7.520
		4	11.694
		5	11.582
		6	24.990
		7	21.950
1	262.081	8	22.316
		9	27.498
		10	19.300
		11	40.635
		12	20.950
		13	11.759
		14	17.770
		15	93.532
		16	15.020
		17	11.302
		18	19.276
2	273.848	19	85.908
		20	18.270
		21	11.597
		22	18.943
		23	60.829
3	180.871	24	12.521
		25.1	107.521
		25.2	107.520
		26	11.572
4	270.889	27	53.625
		28	66.462
		29	31.710
		30	32.923
		31	39.474
5	242.936	32	33.116
		33	107.056
		34	30.367
		35.1	120.000
6	240.000	35.2	120.000
		35.3	120.000
7	252.962	36	11.836
		37	121.126

(Sumber: Pengolahandata, 2019)

Berdasarkan Tabel 5 dapat diketahui bahwa dengan menggunakan metode Helgesson-Birnie dibutuhkan 7 stasiun kerja di lini produksi sepatu SSOW, dan untuk mengetahui tingkat performansinya maka dilakukan perhitungan kriteria performansi yang terdiri dari efisiensi lini, *balance delay*, total waktu menganggur, efisiensi stasiun kerja, dan waktu menganggur stasiun kerja. Performansi dari lini produksi sepatu SSOW dapat diuraikan sebagai berikut.

1. Efisiensi Lini (LE)
$$LE = \frac{1723.587}{7 \times 288} \times 100\%$$

$$LE = 85.50\%$$
2. *Balance Delay* (BD)
$$BD = \frac{(7 \times 288) - 1723.587}{7 \times 288} \times 100\%$$

$$BD = 14.50\%$$
3. Total waktu menganggur
$$= (7 \times 288) - 1723.587 = 292.413 \text{ detik}$$

4. Efisiensi stasiun kerja
 Untuk efisiensi stasiun kerja 1

$$= \frac{262.081}{288} \times 100\% = 91.00\%$$

5. Waktu mengganggu
 Untuk waktu mengganggu stasiun kerja 1
 $288 - 262.081 = 25.919 \text{ detik}$

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

Tabel 6.

Hasil Performansi Stasiun Kerja Metode Helgesson-Birnie

Stasiun	Waktu Stasiun Kerja (detik)	Efisiensi Stasiun Kerja (%)	Waktu Mengganggu (detik)
1	262.081	91.00	25.919
2	273.848	95.09	14.152
3	180.871	62.80	107.129
4	270.889	94.06	17.111
5	242.936	84.35	45.064
6	240.000	83.33	48.000
7	252.962	87.83	35.038
Total	1723.587	-	292.413

(Sumber: Pengolahandata, 2019)

Metode *Largest Candidate Rule*

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

- Urutkan semua elemen kerja dari yang paling besar waktunya hingga yang paling kecil.
- 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.
- 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* maka diperoleh hasil pengelompokkan elemen kerja seperti yang tertera pada Tabel 7.

Tabel 7.
 Pengelompokkan Stasiun Kerja Metode *Largest Candidate Rule*

Operasi	Waktu Operasi (detik)	Stasiun Kerja	Waktu Stasiun Kerja (detik)
37	121.126	1	241.126
35.1	120.000		
35.2	120.000		
35.3	120.000	2	240.000
25.1	107.521		
25.2	107.520		
33	107.056	3	215.041
15	93.532		
19	85.908		
28	66.462	4	286.496
23	60.829		
27	53.625		
11	40.635	5	261.025
31	39.474		
32	33.116		
30	32.923	6	284.396
29	31.710		
34	30.367		
9	27.498	7	195.503
6	24.990		
8	22.316		
7	21.950	-	-
12	20.950		
10	19.300		
18	19.276	-	-
22	18.943		
20	18.270		
14	17.770	-	-
16	15.020		
24	12.521		
3	12.301	-	-
36	11.836		
1	11.816		
13	11.759	-	-
4	11.694		
21	11.597		
5	11.582	-	-
26	11.572		
17	11.302		
2	7.520	-	-

(Sumber: Pengolahan data, 2019)

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

- Efisiensi Lini (LE)

$$LE = \frac{1723.587}{7 \times 288} \times 100\%$$
 $LE = 85.50\%$
- Balance Delay (BD)*

$$BD = \frac{(7 \times 288) - 1723.587}{7 \times 288} \times 100\%$$
 $BD = 14.50\%$
- Total waktumengganggu
 $= (7 \times 288) - 1732.587 = 292.413 \text{ detik}$
- Efisiensi stasiun kerja
 Untuk efisiensi stasiun kerja 1

$$= \frac{241.126}{288} \times 100\% = 83.72\%$$
- Waktu mengganggu
 Untuk waktu mengganggu stasiun kerja 1
 $288 - 241.126 = 46.874 \text{ detik}$

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

Tabel 8.
Hasil Performansi Stasiun Kerja Metode Largest Candidate Rule

Stasiun	Waktu Stasiun Kerja (detik)	Efisiensi Stasiun Kerja (%)	Waktu Mengganggu (detik)
1	241.126	83.72	46.874
2	240.000	83.33	48.000
3	251.041	74.67	72.959
4	286.496	99.48	1.504
5	261.025	90.63	26.975
6	284.396	98.75	3.604
7	195.503	67.88	92.497
Total	1723.587	-	292.413

(Sumber: Pengolahandata, 2019)

Metode J-Wagon

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

1. Bobot operasi 37 = 0
2. Bobot operasi 36 = 1 (yaitu proses 37)
3. Bobot operasi 35.3 = 2 (yaitu proses 36 dan 37)

Tabel 9.
Bobot Posisi dan Urutan Prioritas Metode J-Wagon

Prioritas	Operasi	Waktu Operasi (detik)	Bobot Posisi
1	3	12.301	24
2	1	11.816	23
3	4	11.694	23
4	5	11.582	23
5	2	7.520	22
6	6	24.990	22
7	7	21.950	21
8	8	22.316	20
9	9	27.498	19
10	10	19.300	19
11	12	20.950	19
12	13	11.759	19
13	11	40.635	18
14	14	17.770	18
15	16	15.020	18
16	17	11.302	18
17	15	93.532	17
18	18	19.276	17
19	20	18.270	17
20	21	11.597	17
21	19	85.908	16
22	22	18.943	16
23	23	60.829	15
24	24	12.521	15
25	25.1	107.521	13
26	25.2	107.520	13
27	26	11.572	13
28	27	53.625	12
29	28	66.462	11
30	29	31.710	10
31	30	32.923	9
32	31	39.474	8
33	32	33.116	7
34	33	107.056	6
35	34	30.367	5
36	35.1	120.000	2
37	35.2	120.000	2
38	35.3	120.000	2
39	36	11.836	1
40	37	121.126	0

(Sumber: Pengolahan data, 2019)

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 bobot posisi terendah. Untuk bobot operasi lainnya dan urutan prioritas dapat dilihat pada Tabel 9.

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 10.

Tabel 10.
Pengelompokkan Stasiun Kerja Metode J-Wagon

Stasiun Kerja	Waktu Stasiun Kerja (detik)	Operasi	Waktu Operasi (detik)
1	277.101	3	12.301
		1	11.816
		4	11.694
		5	11.582
		2	7.520
		6	24.990
		7	21.950
		8	22.316
		9	27.498
		10	19.300
2	258.828	12	20.950
		13	11.759
		11	40.635
		14	17.770
		16	15.020
		17	11.302
		15	93.532
		18	19.276
		20	18.270
		21	11.597
3	180.871	19	85.908
		22	18.943
		23	60.829
		24	12.521
		25.1	107.521
		25.2	107.520
		26	11.572
		27	53.625
		28	66.462
		29	31.710
4	270.889	30	32.923
		31	39.474
		32	33.116
		33	107.056
		34	30.367
		35.1	120.000
		35.2	120.000
		35.3	120.000
		36	11.836
		37	121.126

(Sumber: Pengolahandata, 2019)

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.

1. Efisiensi Lini (LE)

$$LE = \frac{1723.587}{7 \times 288} \times 100\%$$

$$LE = 85.50\%$$
2. Balance Delay (BD)

$$BD = \frac{(7 \times 288) - 1723.587}{7 \times 288} \times 100\%$$

$$BD = 14.50\%$$

3. Total waktu mengganggu
 $= (7 \times 288) - 1732.587 = 292.413 \text{ detik}$
4. Efisiensi stasiun kerja
 Untuk efisiensi stasiun kerja 1
 $= \frac{277.101}{288} \times 100\% = 96.02\%$
5. Waktu mengganggu
 Untuk waktu mengganggu stasiun kerja 1
 $288 - 277.101 = 10.899 \text{ detik}$

Untuk efisiensi stasiun kerja dan waktu mengganggu stasiun kerja yang lain dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11.
 Hasil Performansi Stasiun Kerja Metode J-Wagon

Stasiun	Waktu Stasiun Kerja (detik)	Efisiensi Stasiun Kerja (%)	Waktu Mengganggu (detik)
1	277.101	96.22	10.899
2	258.828	89.87	29.172
3	180.871	62.8	107.129
4	270.889	94.06	17.111
5	242.936	84.35	45.064
6	240	83.33	48
7	252.962	87.83	35.038
Total	1723.587	-	292.413

(Sumber: Pengolahan data, 2019)

Analisa Keseimbangan Lini Kondisi Awal

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, dapat diketahui bahwa untuk keseimbangan lini awal didapat efisiensi lini sangat kecil yaitu 16.17% dan *balanced delay* sebesar 83.83%. Operasi yang waktu bakunya lebih besar dari yang lainnya adalah operasi 25 dan 35, dimana kedua operasi tersebut membutuhkan waktu sebesar 215.041 dan 360 detik. Operasi tersebut juga menghasilkan waktu mengganggu yang paling sedikit yaitu, operasi 25 dengan waktu mengganggu sebesar 27.959, dan operasi 35 dengan waktu mengganggu sebesar 75 detik yang berarti waktu operasi 35 melebihi dari waktu siklus yang ditetapkan. Dilihat dari sedikitnya waktu mengganggu untuk kedua operasi tersebut dibandingkan dengan operasi lainnya, maka akan terjadi penumpukan (*bottleneck*) pada operasi tersebut. Oleh sebab itu operasi tersebut akan dibagi agar waktu bakunya tidak terlalu lama dan mengurangi adanya penumpukan (*bottleneck*). Operasi 25 dibagi menjadi 2 operasi dengan waktu baku sebesar 107.521 detik untuk operasi 25.1, dan 107.520 detik untuk operasi 25.2. Sedangkan untuk operasi 35, dibagi menjadi 3 operasi yaitu 35.1, 35.2 dan 35.3 dengan waktu baku masing-masing sebesar 120 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 yaitu metode Helgesson-Birnie, metode *Largest Candidate Rule*, dan metode J-Wagon. Setelah dilakukan perhitungan, ketiga metode tersebut menghasilkan keluaran potensial (performansi) yang sama seperti yang ditunjukkan pada Tabel 12.

Tabel 12.
 Performansi Line Balancing

Keluaran Potensial	Metode Helgesson-Birnie	Metode Largest Candidate Rule	Metode J-Wagon
Jumlah Stasiun Kerja	7	7	7
Efisiensi Lini	85.50%	85.50%	85.50%
Balance Delay	14.5%	14.5%	14.5%
Total Waktu Mengganggu	292.413	292.413	292.413
Smoothness Index	134.92	138.28	135.28

(Sumber: Pengolahan data, 2019)

Dari Tabel 12 dapat diketahui bahwa performansi keseimbangan lintasan menunjukkan bahwa ketiga metode yaitu, metode Helgesson-Birnie, metode *Largest Candidate Rule*, dan metode J-wagon menghasilkan perbaikan performansi lini. Diantara ketiga metode tersebut apabila dilakukan perbandingan secara teoritis memiliki nilai yang sama, yaitu terbagi kedalam 7 stasiun, efisiensi lini sebesar 85.50%, *balance delay* sebesar 14.5%, waktu mengganggu sebesar 292.413 detik.

Dengan hasil yang sama pada hampir semua faktor, maka yang dapat menentukan metode yang optimal adalah nilai *smoothness index*.

Nilai ini menunjukkan tingkat kemulusan dari suatu lini perakitan. Karena semakin kecil nilai dari *smoothness index*, maka semakin baik performansi lini tersebut. Berdasarkan faktor tersebut dapat disimpulkan bahwa metode Helgesson-Birnie merupakan metode yang optimal diantara kedua metode lainnya, dengan nilai *smoothness index* terkecil yaitu 134.92.

Untuk mengetahui apakah pengelompokkan stasiun kerja tersebut dapat digunakan atau tidak maka pengelompokkan digambarkan pada *precedence diagram*.

Kesimpulan

Dari hasil perhitungan dengan menggunakan data-data yang telah dikumpulkan dalam memecahkan masalah keseimbangan lintasan pada penelitian ini, dapat diambil beberapakesimpulan, antara lain:

1. Jumlah stasiun kerja di lintasan lini produksi yang optimal pada lini produksi sampel sepatu SSOW adalah 7 stasiun kerja.
2. Setelah dilakukan perbaikan dengan metode Helgeson-Birnie, Largest Candidate Rule, dan J-Wagon, diperoleh bahwa ketiga metode memperlihatkan peningkatan performansi lini yang lebih baik daripada lini perakitan sebelumnya.
3. Performansi dari lini awal adalah *line efficiency* sebesar 16.17%, *balance delay* sebesar 83.83%, dan waktu menganggur sebesar 8932.413 detik. Hasil performansi lini awal menunjukkan bahwa lini perakitan masih belum lancar aliran produksinya, karena memiliki waktu menganggur yang besar pada sebagian besar stasiun kerjanya sementara sebagian kecil stasiun lainnya sibuk.
4. Metode yang optimal digunakan adalah metode Helgeson-Birnie dengan nilai *smoothness index* paling rendah yaitu 134.92.
5. Performansi dari lini setelah perbaikan adalah *line efficiency* sebesar 85.50%, *balance delay* sebesar 14.5%, dan waktu menganggur sebesar 292.413 detik.

Daftar Pustaka

- Baroto, Teguh. (2002). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*, Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Bedworth, D. (1982). *Integrated Production Control System*, New York: John Willey and Sons Inc.
- Daelima, V. F., Febianti, E., & Ilhami, M. A. (2013). *Analisis Keseimbangan Lintasan untuk Meningkatkan Kapasitas Produksi dengan Pendekatan Line Balancing dan Simulasi*, 1(2), 107–113.
- Helgeson, W. P., & Birnie, D. P. (1961). Assembly Line Balancing Using the Ranked Positional Weight Technique. *Journal of Industrial Engineering*,.

Nurhasanah, N., & Simanjutak, J. P. (n.d.). *Menggunakan Metode Line Balancing*, 109–123.

Rachman, T. (2015). Penentuan keseimbangan lintasan optimal dengan. Jakarta: Univesitas Esa Unggul, *Jurnal Inovisi*, volume 11.

Tam, P. W. M., & Dissanayake, P. B. G. (2011). Construction project scheduling by ranked positional weight method. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 25(3), 424–436.