

Metode *Line Balancing Heuristik* untuk Penyelesaian Masalah Terjadinya *Bottleneck* pada Lintasan Produksi

Ari Basuki^{1*)}, Andharini Dwi Cahyani²⁾

¹⁾ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

²⁾ Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Trunojoyo Madura

^{1*)} email: aribasuki@trunojoyo.ac.id

DOI: <https://doi.org/10.21107/rekayasa.v13i3.19765>

Abstrak

Meningkatnya jumlah *Work In Process* (WIP) pada lantai produksi atau *bottleneck* merupakan salah satu permasalahan yang bisa menyebabkan terjadinya keterlambatan suplai produk kepada konsumen. Dampak lain dari terjadinya *bottleneck* yaitu dapat menyebabkan penumpukan bahan baku setengah jadi pada lantai produksi sehingga WIP menjadi tinggi. Kondisi ini merupakan kondisi merugikan yang harus dihindari oleh perusahaan. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan usulan perbaikan pada permasalahan terjadinya *bottleneck* di lintasan produksi dengan menggunakan beberapa metode *line balancing heuristik*, yaitu metode Helgesson-Birnie / Ranked Positional Weight (RPW), metode Region Approach, metode Largest Candidate Rule dan metode J-Wagon yang diterapkan di perusahaan manufaktur (PT.'X') yang memproduksi pallet. Hasil penelitian diketahui bahwa pada penerapannya metode J-Wagon terpilih sebagai metode yang paling optimal diantara metode lainnya tersebut. Rekomendasi untuk PT.'X' dalam mengatasi permasalahan *bottleneck* yaitu dengan pembentukan stasiun kerja yang awalnya memiliki jumlah 5 stasiun kerja diubah menjadi 4 stasiun kerja. Ini menghasilkan perbaikan lini lintasan kerja yang awalnya memiliki *line efficiency* sebesar 69%, *balance delay* sebesar 31%, *smoothness index* sebesar 9.22 dan total waktu menganggur sebesar 3.60 menit menjadi *line efficiency* sebesar 86%, *balance delay* sebesar 14%, *smoothness index* sebesar 0.80 dan total waktu menganggur sebesar 1.28 menit.

Kata Kunci: *Bottleneck*, *line balancing heuristik*, metode Ranked Positional Weight, metode Region Approach, metode Largest Candidate Rule, metode J-Wagon

Abstract

An increase number of *Work in Process* (WIP) on the production floor or *bottleneck* is one of the problems that can cause delays in product supply to consumers. Another impact of the occurrence of a *bottleneck* is that it can cause the accumulation of semi-finished raw materials on the production floor so that WIP becomes high. This condition is a detrimental situation that must be avoided by company. This research aims to propose improvements to the problem of *bottlenecks* in the production line by using several heuristic *line balancing* methods, namely the Helgesson-Birnie/Ranked Positional Weight (RPW) method, the Region Approach method, the Largest Candidate Rule method and the J-Wagon method which implemented in a manufacturing company (PT.'X') that produces pallets. Results of the study show that in practice the J-Wagon method was chosen as the most optimal method among the other methods. Recommendations for PT. 'X' in overcoming *bottleneck* problems, namely by establishing work stations which initially had 5 work stations changed to 4 work stations. This resulted in an improvement in the work path line which initially had a *line efficiency* of 69%, a *balance delay* of 31%, a *smoothness index* of 9.22 and a total idle time of 3.60 minutes to a *line efficiency* of 86%, a *balance delay* of 14%, a *smoothness index* of 0.80 and total idle time of 1.28 minutes.

Keywords: *Bottleneck*, *Heuristic line balancing*, *Ranked Positional Weight method*, *Region Approach method*, *Largest Candidate Rule method*, *J-Wagon method*

PENDAHULUAN

Ketepatan waktu pemenuhan permintaan konsumen merupakan salah satu faktor utama dalam memenangkan persaingan bisnis

(Banchuen dkk., 2017). Setiap perusahaan berusaha untuk bisa menghasilkan produk dalam jumlah yang tepat, waktu yang tepat untuk meningkatkan *service level* kepada konsumennya. Upaya untuk bisa mewujudkan ini

bukan merupakan suatu proses yang mudah untuk dicapai, sebab banyak faktor yang berpengaruh, seperti kelancaran pasokan bahan baku, kelancaran aliran proses produksi (Miradji, 2014), kelancaran proses distribusi (Jie dkk., 2015).

Kelancaran proses produksi di suatu perusahaan sangat bervariasi levelnya. Suatu perusahaan yang mampu mengelola sumber daya yang dimiliki dan bisa membuat penjadwalan produksi dengan baik, akan cenderung bisa melakukan proses produksi dengan lancar dan efisiensi biaya (Shrouf dkk., 2014).

PT. 'X' merupakan perusahaan manufaktur yang memproduksi palet. Perusahaan ini sering mengalami kondisi target produksi yang tidak tercapai. Berdasarkan hasil studi awal, diketahui bahwa sebagai penyebab utama terjadinya kondisi itu adalah adanya permasalahan *bottleneck* pada rantai produksi. *Bottleneck* merupakan suatu kondisi atau keadaan dimana pelaksanaan operasi kerja pada beberapa stasiun kerja terjadi dan melakukan proses kerja penuh sedangkan beberapa stasiun kerja yang lainnya dalam kondisi menganggur karena menunggu bahan baku atau input dari stasiun kerja pada operasi sebelumnya (Yulianti., 2018). Meskipun demikian, perusahaan tetap berusaha menjaga *service level* kepada konsumennya dengan cara melakukan *supply* produk yang diambilkan dari perusahaan cabang. Bentuk *supply* yang seperti ini berdampak pada tingkat persediaan produk di perusahaan cabang.

Kondisi *bottleneck* yang terjadi di rantai produksi PT.'X' disebabkan oleh tingginya angka Work In Process (WIP) yang berdampak pada terjadinya ketidakseimbangan lintasan produksi atau aliran produksinya menjadi tidak lancar.

Permasalahan ketidakseimbangan lintasan produksi dapat diselesaikan dengan berbagai metode. Salah satu pendekatan yang dapat digunakan yaitu metode keseimbangan lintasan (*line balancing*). *Line balancing* dilakukan dengan menentukan struktur dari lini produksi dengan merancang kebutuhan sumber daya manusia dan mesin yang digunakan beserta penentuan jumlah tugas yang dilakukan pada masing-masing sumber daya (Gaspersz, 1998).

Heuristik merupakan salah satu metode populer yang sering digunakan dalam menyelesaikan permasalahan permasalahan penyeimbangan lini lintasan perakitan yang sederhana. Penggunaan metode ini dipilih karena dapat dilakukan untuk memberikan usulan perbaikan berdasarkan aturan dan prosedur daripada menggunakan pendekatan matematika yang cukup kompleks (Gozali, 2015). Metode *line balancing heuristik* merupakan salah satu metode penyeimbangan lini yang dilakukan dengan mengurangi keseluruhan sistem untuk diubah menjadi rangkaian *line balancing* yang sederhana dan dapat dipelajari secara analitik (Rachman dkk., 2019). Model heuristik tidak menjamin kalau hasil pemecahan masalah merupakan hasil yang optimal, namun model ini dirancang untuk dapat menghasilkan strategi yang lebih baik dengan mengacu berdasarkan pembatas tertentu (Saiful dkk., 2014) [9]. Kelebihan dari penggunaan metode ini salah satunya adalah dengan mengurangi pemborosan dan biaya yang tidak diperlukan. Hal ini dapat digunakan untuk mengatasi kelemahan dari metode simulasi (Rachman dkk., 2019).

Oleh karena itu permasalahan yang terjadi di PT.'X' pada penelitian ini, akan diselesaikan dengan menggunakan pendekatan *line balancing heuristik* dengan beberapa metode yaitu metode Helgesson-Birnie / Ranked Positional Weight (RPW), metode Region Approach, metode Largest Candidate Rule dan metode J-Wagon. Sehingga, diharapkan penggunaan metode *line balancing heuristik* ini mampu digunakan oleh perusahaan untuk menghasilkan solusi yang terbaik pada permasalahan *bottleneck*.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan 4 macam metode *line balancing heuristik*, yaitu (Rachman dkk., 2019):

1. Metode Helgeson-Birnie (Ranked Position Weight/ RPW).
2. Metode Region Approach.
3. Metode Largest Candidate Rule.
4. Metode J-Wagon.

Hasil perhitungan dari setiap metode tersebut akan dibandingkan untuk mencari hasil yang paling optimal.

Secara umum, tahapan metode *line balancing* adalah (Rachman dkk., 2019), (Azwir dan Pratomo, 2017):

1. Menentukan hubungan antara pekerjaan dalam suatu lini produksi berdasarkan pada precedence diagram.
2. Menentukan waktu siklus dalam suatu lini produksi dengan menggunakan rumus:

$$CT = \frac{\text{Total waktu produksi per hari}}{\text{Output per hari (unit)}} \dots\dots\dots (1)$$
3. Menentukan jumlah minimum stasiun kerja secara teoritis yang digunakan berdasarkan waktu siklus dengan menggunakan rumus:

$$N = \frac{\text{Jumlah total waktu pekerjaan pada setiap elemen}}{\text{Waktu siklus (CT)}} \dots\dots\dots (2)$$
4. Menentukan metode yang akan dilakukan dalam penyeimbangan lini.
5. Menghitung nilai efisiensi lini, efisiensi stasiun kerja, balance delay dan waktu menganggur untuk mengetahui tingkat performansi keseimbangan lintasan produksi.

Metode Helgeson-Birne (Ranked Position Weight/ RPW).

Metode ini merupakan metode yang dilakukan dengan pemecahan masalah dari penentuan kebutuhan mesin dan tenaga kerja beserta operasi yang ada pada suatu lintasan produksi sehingga dapat tercapai efisiensi kerja yang tinggi pada setiap stasiun kerjanya (Azwir dan Pratomo, 2017). Langkah-langkah pengerjaannya sebagai berikut (Kristianto dan Kurniawan, 2015):

1. Menentukan matrik operasi pendahulu.
2. Perhitungan bobot posisi untuk tiap operasi.
3. Mendapatkan hasil perhitungan bobot posisi.
4. Pembebanan operasi pada perancangan stasiun kerja.
5. *Precedence diagram* hasil perancangan.

Metode Killbridge-Wester Heuristics (Region Approach)

Metode ini merupakan metode yang dilakukan dengan melakukan pengelompokan operasi ke dalam suatu kelompok atau wilayah yang memiliki tingkat hubungan tertentu. Pengelompokan dilakukan dengan membebaskan terlebih dahulu suatu operasi yang lebih besar (Dharmayanti dan Marliansyah,

2019). Langkah-langkah pengerjaannya sebagai berikut (Yulianti, 2018):

1. Pembebanan awal tiap wilayah.
2. Membuat *precedence diagram* awal.
3. Perancangan penentuan stasiun kerja.
4. Membuat *precedence diagram* hasil perancangan.

Metode Largest Candidate Rule.

Metode ini merupakan metode yang paling sederhana karena melakukan pengurutan terhadap semua elemen kerja dengan ketentuan dari yang memiliki waktu paling besar sampai yang memiliki waktu paling kecil kemudian urutan yang paling atas dikelompokkan untuk membentuk stasiun kerja dengan ketentuan memenuhi \leq waktu siklus (Rachman dkk., 2019). Tahapan pengerjaan metode ini yaitu (Sofyan dkk., 2019):

1. Membuat ringkasan operasi pendahulu dan operasi pengikut.
2. Perancangan penentuan stasiun kerja.
3. Precedence diagram hasil perancangan.

Metode J-Wagon

Metode ini merupakan metode yang mengutamakan elemen kerja pada stasiun kerja dengan jumlah terbanyak. Elemen kerja ini akan diprioritaskan terlebih dahulu untuk dilakukan penempatan dalam perencanaan stasiun kerja dan selanjutnya diikuti oleh elemen kerja lain yang memiliki jumlah lebih sedikit. Cara pengelompokan dilakukan seperti metode Helgeson-Birne (Ranked Position Weight/ RPW) namun memiliki perbedaan yaitu pada penentuan bobot yang dihitung merupakan jumlah operasi bukan waktu dari kegiatan operasi[8]. Tahapan dari metode ini yaitu (Dinanty dan Batubara, 2016):

1. Penentuan bobot dan keterkaitan operasi.
2. Penentuan bobot dan penentuan prioritas.
3. Perancangan penentuan stasiun kerja.
4. Pembuatan precedence diagram hasil perancangan.

Terdapat tiga parameter yang digunakan dalam penilaian line balancing, yaitu (Erwanto dan Adi, 2017):

1. Line efficiency.
2. Balance delay.
3. Smoothness index.

Line Efficiency

Line efficiency merupakan rasio dari waktu total stasiun kerja terhadap waktu siklus dikalikan dengan jumlah stasiun kerja atau work station yang digunakan.

$$LE = \frac{\sum_{i=1}^K ST}{(K)(CT)} \dots\dots\dots (3)$$

Keterangan:

- ST = Waktu stasiun ke-i
- K = Jumlah stasiun kerja
- CT = Waktu siklus atau cycle time

Balance Delay

Balance delay merupakan rasio dari waktu menunggu dalam suatu operasi lintasan perakitan dengan waktu yang tersedia pada lini perakitan.

$$BD = \frac{(K \times CT) \sum_{i=1}^n Ti}{(K \times CT)} \dots\dots\dots (4)$$

Keterangan:

- Ti = Jumlah pada seluruh waktu operasi
- K = Jumlah stasiun kerja
- CT = Waktu siklus atau cycle time
- BD = Balance delay %

Smoothness Index

Smoothness index merupakan suatu perhitungan yang digunakan untuk mengukur waktu tunggu relatif pada lini perakitan. Nilai minimum pada perhitungan smoothness index adalah 0 dimana menunjukkan keseimbangan sempurna.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^K (ST_{max} - ST_i)^2} \dots\dots\dots (5)$$

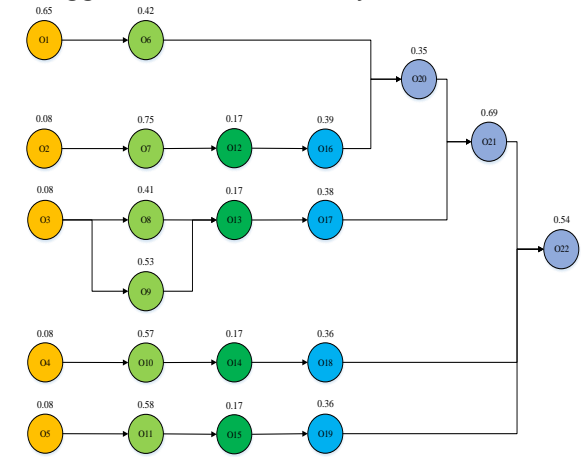
Keterangan:

- STmax = Waktu max stasiun kerja ke-i
- STi = Waktu stasiun di stasiun kerja ke-i
- K = Jumlah stasiun kerja

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perusahaan melakukan aktivitas kerja selama 6 hari setiap minggunya. Setiap hari pekerjaan dilakukan selama 1 shift yang terdiri dari 8 jam kerja, sedangkan untuk jumlah produksi produk pallet (jenis Cargill 1000) setiap harinya sebanyak 207 unit. Pelaksanaan proses produksi dengan menggunakan 5 jenis mesin yang terdiri 2 mesin double planner, mesin cross cut sebanyak 6 mesin, 1 mesin multi rip, 4 mesin amplas dan assembly sebanyak 3 mesin dengan tiap mesin di operasikan 1 operator sehingga operator produksi berjumlah 16 sesuai dengan penggunaan jumlah mesin.

Pembuatan produk terdiri dari 22 operasi kerja (gambar 1). Penggunaan jumlah stasiun kerja pada proses produksi dilakukan dengan menggunakan 5 stasiun kerja dimana setiap stasiun kerja ditentukan berdasarkan jenis mesin yang digunakan dalam proses produksinya. Penggunaan stasiun kerja ini terdiri dari beberapa elemen kerja pada setiap penggunaan mesinnya. Stasiun kerja 1 digambarkan dengan warna operasi oren yang terdiri dari 5 proses yang menggunakan mesin double planner, stasiun kerja 2 digambarkan dengan warna operasi hijau muda yang terdiri dari 6 proses yang menggunakan mesin cross cut, stasiun kerja 3 digambarkan dengan warna operasi hijau tua yang terdiri dari 4 proses yang menggunakan mesin multi rip, stasiun kerja 4 digambarkan dengan warna operasi biru muda yang terdiri dari 4 proses yang menggunakan mesin amplas dan stasiun kerja 5 digambarkan dengan warna operasi abu-abu yang terdiri dari 3 proses yang menggunakan mesin assembly.



Gambar 1. Precedence diagram awal operasi kerja

Pada kondisi awal operasi kerja, diperoleh nilai beberapa parameter line balancing, yakni:

- 1) Waktu siklus = 2.32 menit
- 2) Line efficiency = 69%
- 3) Balance delay = 31%
- 4) Smoothness index = 9.02
- 5) Total waktu menganggur = 3.60 menit

Jika waktu siklusnya sebesar 2,32 menit/unit, maka jumlah stasiun kerja minimum yang dapat dibentuk untuk penerapan metode *line balancing heuristik* yaitu:

$$N = \frac{\text{Jumlah total waktu pekerjaan pada setiap elemen}}{\text{Waktu siklus (CT)}} \dots\dots\dots (6)$$

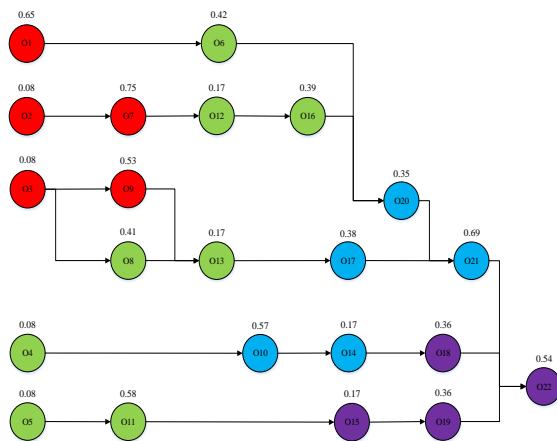
$$N = \frac{0.65+0.08+0.08+0.08+0.08+0.42+0.75+0.41+0.53+0.57+0.58+0.17+0.17+0.17+0.17+0.39+0.38+0.36+0.36+0.35+0.69+0.54}{2.32}$$

$$N = \frac{8.00}{2.32}$$

$$N = 3.4491$$

$N \approx 4$ stasiun kerja

Metode Helgeson-Birne (Ranked Position Weight/ RPW)

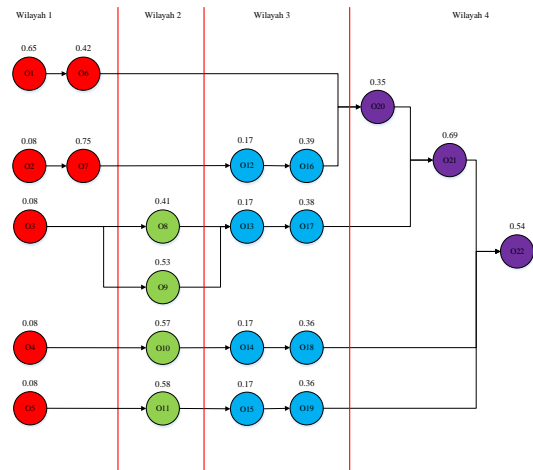


Gambar 2. Precedence diagram metode Helgeson-Birne (Ranked Position Weight/ RPW)

Dengan menggunakan metode ini, maka nilai dari parameter keseimbangan lintasan produksinya dengan metode RPW yaitu:

- 1) Line efficiency = 86%
- 2) Balance delay = 14%
- 3) Smoothness index = 0.93
- 4) Total waktu mengganggu = 1.28 menit.

Metode Killbridge-Wester Heuristics (Region Approach)

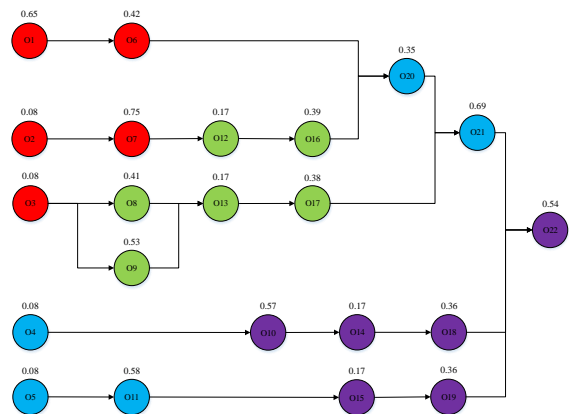


Gambar 3. Precedence diagram metode Killbridge-Wester Heuristics (Region Approach)

Nilai keseimbangan lini lintasan hasil perancangan metode Killbridge-Wester Heuristics (Region Approach) sebagai berikut:

- 1) Line efficiency = 86%
- 2) Balance delay = 14%
- 3) Smoothness index = 0.80
- 4) Total waktu mengganggu = 1.28 menit.

Metode Largest Candidate Rule

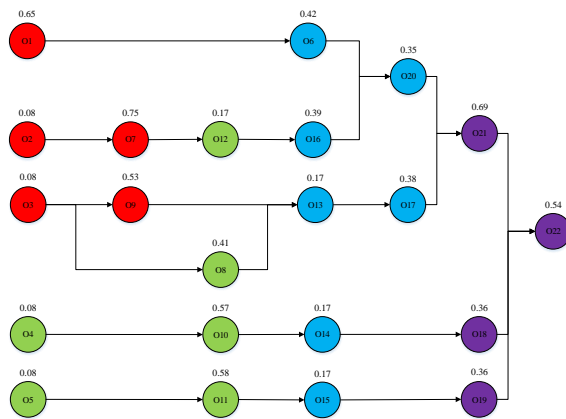


Gambar 4. Precedence diagram metode Largest Candidate Rule

Hasil perancangan metode Largest Candidate Rule adalah sebagai berikut:

- 1) Line efficiency = 86%
- 2) Balance delay = 14%
- 3) Smoothness index = 0.69
- 4) Total waktu mengganggu = 1.28 menit.

Metode J-Wagon



Gambar 5. Precedence diagram metode J-Wagon

Hasil perancangan line balancing dengan metode J-Wagon adalah:

- 1) Line efficiency = 86%
- 2) Balance delay = 14%
- 3) Smoothness index = 0.66
- 4) Total waktu menganggur = 1.28 menit.

Analisa Keseimbangan Lintasan Setelah Perbaikan.

Penggunaan keempat metode tersebut apabila dilakukan perbandingan memiliki beberapa faktor/parameter dengan nilai yang sama yaitu pada hasil line efficiency, balance delay dan total waktu menganggur dengan nilai 86%, 14% dan 1.28 menit. Ringkasan secara rinci mengenai hasil perbandingan antar metode dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Ringkasan analisa keseimbangan lini

Keluaran Potensial	Lini Awal	Metode Line Balancing Heuristic			
		Ranked Position Weight	Region Approach	Largest Candidate Rule	J-Wagon
Jumlah Stasiun Kerja	5	4	4	4	4
Line Efficiency	69%	86%	86%	86%	86%
Balance Delay	31%	14%	14%	14%	14%
Smoothness Indeks	9,22	0,93	0,80	0,69	0,66
Total Waktu Menganggur	3,60	1,28	1,28	1,28	1,28

Hasil pelaksanaan penelitian yang telah dilakukan diketahui hampir semua faktor memiliki nilai yang sama, sehingga untuk penentuan metode optimal yang dapat digunakan oleh perusahaan akan ditentukan berdasarkan nilai *smoothness index*. Nilai *smoothness index* menunjukkan tingkat kelancaran dari lini perakitan, semakin mendekati nilai 0 maka semakin seimbang lini perakitan tersebut dimana hal ini menunjukkan bahwa pembagian operasi elemen kerja cukup merata pada lini perakitan yang diamati.

Metode J-Wagon memiliki hasil yang paling optimal dengan hasil *smoothness index* terkecil dengan nilai sebesar 0.66 dan total waktu menganggur sebesar 1.28 menit namun metode ini apabila diaplikasikan dalam pelaksanaan kerja di perusahaan, akan sulit untuk diterapkan. Ini dikarenakan terdapat pelaksanaan operasi kerja yang tidak dapat dilakukan yaitu pada stasiun kerja 2 dan stasiun kerja 3 yang menggunakan mesin multi rip. Hal

ini tidak dapat diaplikasikan karena hanya terdapat 1 mesin multi rip sehingga perlu diperhatikan lagi penentuan metode mana yang akan diaplikasikan dalam perusahaan.

Metode Region Approach merupakan metode yang dapat diaplikasikan dalam pelaksanaan operasi kerja perusahaan, karena tidak terdapat kendala dalam pelaksanaannya baik dalam penggunaan mesin dan susunan operasi kerja yang direncanakan. Metode ini juga memenuhi kriteria dalam perbaikan lini lintasan dimana memiliki line efficiency sebesar 86%, balance delay sebesar 14%, smoothness index sebesar 0.80 dan total waktu menganggur sebesar 1.28 menit

KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

Kesimpulan yang diperoleh dari penelitian ini adalah hasil pada perhitungan beberapa metode line balancing heuristik dapat diketahui bahwa metode yang memiliki hasil paling optimal dengan membandingkan beberapa

faktor terpilih metode Region Approach memiliki hasil nilai line efficiency sebesar 86%, balance delay sebesar 14%, smoothness index sebesar 0.80 dan total waktu menganggur sebesar 1.28 menit. Metode terpilih ini bukan merupakan hasil paling kecil dalam perhitungan matematis namun dalam pelaksanaannya metode ini yang memungkinkan untuk dilakukan sehingga dipilih dalam perbaikan lini lintasan produksi.

Perencanaan yang diperoleh diketahui bahwa stasiun kerja yang awalnya memiliki jumlah 5 stasiun kerja diubah menjadi 4 stasiun kerja dengan pembagian stasiun kerja 1 meliputi operasi 1, 2, 3, 4, 5, 6 dan 7, pada stasiun kerja 2 meliputi operasi 8, 9, 10 dan 11, pada stasiun kerja 3 meliputi operasi 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 dan 19 serta pada stasiun kerja 4 meliputi operasi 20, 21 dan 22 dengan efisiensi stasiun kerja berurut yaitu sebesar 93%, 91%, 93% dan 69%.

DAFTAR PUSTAKA

- Azwir, H. H., & Pratomo, H. W., (2017). "Implementasi Line Balancing untuk Peningkatan Efisiensi di Line Welding Studi Kasus: PT X". *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 6(1), 57-64.
- Banchuen, P., Sadler, I., & Shee, H., (2017). "Supply Chain Collaboration Aligns Order-Winning Strategy With Business Outcomes". *IIMB Management Review*, 29(2), 109-121.
- Dharmayanti, I., & Marliansyah, H., (2019). "Perhitungan Efektifitas Lintasan Produksi Menggunakan Metode Line Balancing". *J. Manaj. Ind. Dan Logist*, 3(1), 45-56.
- Dinanty, Y. D., & Batubara, S., (2016). "Perancangan Sistem P-Kanban dan C-Kanban Untuk Meminimasi Keterlambatan Material Pada Lini Produksi Perakitan Laundry System Business Unit (LSBU) di PT. Y". *Jurnal Teknik Industri*, 6(3).
- Erwanto, I. M., & Adi, P. (2017). Perbaikan Lintasan CU dengan Metode Line Balancing. *Jurnal Titra*, 5(2), 387-392.
- Gaspersz, Vincent, (1998). *Production Planning And Inventory Control Berdasarkan Pendekatan Sistem Terintegrasi MRP II dan JIT Menuju Manufaktur 21*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Gozali, L. (2015). Penentuan Jumlah Tenaga Kerja dengan Metode Keseimbangan Lini pada Divisi Plastic Painting PT. XYZ. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, 3(1).
- Jie, Y. U., Subramanian, N., Ning, K., & Edwards, D., (2015). "Product delivery service provider selection and customer satisfaction in the era of internet of things: A Chinese e-retailers' perspective". *International Journal of Production Economics*, 159, 104-116.
- Kristianto, A., & Kurniawan, V. R. B., (2015). "Analisa Keseimbangan Lintasan Dengan Menggunakan Metode Helgeson-Birnie (Ranked Positional Weight) Studi Kasus PT. D." *Journal Industrial Services*, 1(1).
- Miradji, M. A., (2014). "Analisis Supply Chain Management Pada PT. Monier Di Sidoarjo". *BALANCE: Economic, Business, Management and Accounting Journal*, 11(02).
- Rachman, Taufiqur, dan Crystal Aviantari Santoso, (2019). "Penerapan Metode Heuristik Line Balancing Untuk Penentuan Keseimbangan Lintasan Optimal Pada Produksi Sampel Sepatu Di PT. PBI." Universitas Esa Unggul Jakarta.
- Saiful, S., Hambali, M., & Rahman, T. M., (2014). "Penyeimbangan Lintasan Produksi Dengan Metode Heuristik (Studi Kasus PT. XYZ Makassar)". *Jurnal Teknik Industri*, 15(2), 182-189.
- Shrouf, F., Ordieres-Meré, J., García-Sánchez, A., & Ortega-Mier, M., (2014). "Optimizing the production scheduling of a single machine to minimize total energy consumption costs". *Journal of Cleaner Production*, 67, 197-207.
- Sofyan, D. K., Syarifuddin, S., Meutia, S., & Islamiyati, I., (2019). Penyeimbangan Lintasan Produksi Vulkanisir Ban Dengan Metode Large Candidate Rule (LCR). *Jurnal Optimalisasi*, 5(1), 32-44.
- Yulianti, D. (2018). Analisa Penyeimbangan Lintasan Perakitan Pada Proses Pembuatan T-Shirt Di Departemen Assembling Dengan Menggunakan Metoda Helgeson-Birnie Dan Metoda Killbridge-Wester Pt. Caladi Lima Sembilan (C-59) BANDUNG. *Jurnal Tekno Insentif*, 12(2), 13-20.

