

Peningkatan efisiensi lintasan produksi dengan metode *line balancing* Kilbridge & Wester

Juan Rafael Nazareth, Ratna Mustika Dewi*

Departemen Teknik Industri, Universitas Atma Jaya Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia;
email: juanrafaelnazareth7@gmail.com, ratna.mustika.d@uajy.ac.id*

* *Corresponding author*

Abstrak

Dalam industri manufaktur, efisiensi lini produksi merupakan faktor penting untuk memaksimalkan output dan mengurangi penundaan. Salah satu metode yang digunakan untuk mencapai tujuan ini adalah line balancing. Penelitian ini bertujuan untuk memaksimalkan output dan mengurangi balance delay pada sebuah perusahaan elektronik karena perusahaan mengalami beberapa penundaan yaitu conveyor produksi berhenti akibat penumpukan di salah satu proses. Metode Kilbridge & Wester digunakan untuk menganalisis dan menyeimbangkan lini produksi dengan menggabungkan beberapa operasi menjadi satu stasiun kerja, sehingga waktu operasi di setiap stasiun kerja lebih seimbang. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan signifikan pada efisiensi lini produksi. Hasil dari line balancing menunjukkan line efficiency meningkat dari 65,76% menjadi 84,55%, dan smoothest index menurun dari 7,33 menjadi 2,77. Penggabungan beberapa operasi menjadi satu stasiun kerja membuat beban lebih seimbang dalam hal waktu operasi. Proses analisis line balancing yang telah dilakukan menunjukkan peningkatan output dan pengurangan waktu produksi, tetapi masih memerlukan tahap uji coba lanjutan untuk menghitung jumlah operator optimum di setiap stasiun kerja.

Kata Kunci: *line balancing, efisiensi lini produksi, optimasi stasiun kerja*

Abstract

[Increasing production line efficiency with the Kilbridge & Wester line balancing method]
Production line efficiency is important in maximizing output and reducing delays in the manufacturing industry. One of the methods used to achieve this goal is line balancing. This research aims to maximize output and reduce balance delay in an electronic company because the company experienced several delays, namely the production conveyor stopped due to a buildup in one of the processes. The Kilbridge & Wester method is used to analyze and balance the production line by combining several operations into one workstation so that the operating time at each workstation is more balanced. The results showed a significant increase in production line efficiency. The results of line balancing showed that the line efficiency increased from 65.76% to 84.55%, and the smoothest index decreased from 7.33 to 2.77. The merging of several operations into one workstation makes the load more balanced in terms of operating time. The line balancing analysis process that has been carried out shows an increase in output and a reduction in production time but still requires a further trial stage to calculate the optimum number of operators at each workstation.

Keywords: *line balancing, production line efficiency, workstation optimization*

Received: 06-06-2024; Revised: 23-06-2024; Accepted: 26-06-2024

DOI: <https://doi.org/10.24002/jtimr.v2i1.9306>

Saran format untuk sitasi artikel ini:

Nazareth, J. R., dan Dewi, R. M. (2024). Peningkatan efisiensi lintasan produksi dengan metode line balancing Kilbridge & Wester. *Jurnal Teknik Industri dan Manajemen Rekayasa*, 2(1), 17-24.

1. Pendahuluan

Proses operasi yang melebihi *takt time* akan menyebabkan penumpukan pada operasi tersebut. Namun sebaliknya, apabila sebuah proses operasi jauh di bawah *takt time* akan menyebabkan penumpukan di operasi berikutnya. Oleh karena itu, penting untuk menyeimbangkan waktu operasi antar stasiun. Apabila masalah ini terus dibiarkan, hal yang dapat terjadi yaitu penurunan *output* sehingga tidak memenuhi target, memakan waktu produksi lebih banyak, dan juga pemborosan sumber daya (Dharmayanti dan Marliansyah, 2019). *Line balancing* merupakan metode yang digunakan dalam manajemen operasi untuk mengoptimalkan efisiensi (Shobur dkk., 2021). Metode *line balancing* merupakan metode penyeimbangan elemen kerja dari suatu lintasan pada stasiun kerja yang bertujuan untuk memaksimalkan *line efficiency* dengan memperhatikan pengelompokan stasiun kerja (Sitanggang dan Laksono, 2022). Manfaat dari *line balancing* yaitu (Fitri dkk., 2022):

- 1) Dapat meningkatkan efisiensi proses
- 2) Menghindari waktu pada suatu proses atau stasiun yang menganggur
- 3) Mengurangi waktu proses secara keseluruhan
- 4) Meningkatkan rasio pencapaian target produksi
- 5) Meningkatkan profit
- 6) Mengurangi pemborosan dan biaya-biaya yang tidak diperlukan.

Secara umum, lintasan yang baik memiliki kriteria sebagai berikut (Baroto, 2002):

- 1) Adanya pemerataan distribusi kerja yang seimbang pada setiap stasiun kerja yang terdapat dalam suatu lintasan produksi
- 2) Pergerakan aliran benda kerja yang kontinu dan pada kecepatan yang seragam
- 3) Arah material tetap untuk memperkecil daerah penyebaran dan mencegah timbulnya waktu tunggu
- 4) Produksi yang kontinu untuk menghindari adanya penumpukan benda kerja di lain tempat.

Suatu *assembly line* yang telah didesain ulang untuk menyamakan beban kerja di *workstation*, akan mengarah pada pengurangan *cycle time*, *work station*, *balance delay*, peningkatan *efficiency*, dan kelancaran pada *assembly line* (Ayat dkk., 2017; Kumar dkk., 2021). Tujuan dari *line balancing* yaitu untuk meminimalkan waktu tunggu antara stasiun kerja dalam suatu aliran produksi, sehingga mengurangi waktu siklus total dan meningkatkan produktivitas (Ahmed dkk., 2020). *Line balancing* melibatkan penyeimbangan beban kerja di antara stasiun kerja dalam suatu aliran produksi. Hal ini dilakukan dengan memastikan bahwa setiap stasiun kerja memiliki beban kerja yang seimbang, sehingga tidak ada stasiun kerja yang menjadi *bottleneck* dalam proses produksi.

Ketidakseimbangan lintasan dalam kegiatan produksi dapat terlihat dari jumlah stasiun kerja yang menganggur, sedangkan beberapa stasiun kerja lain bekerja secara penuh. Hal ini dikarenakan waktu yang dibutuhkan oleh suatu stasiun kerja untuk menyelesaikan pekerjaan lebih cepat dari kecepatan lintasan (Ponda dkk., 2019). Proses optimalisasi pada *line balancing* untuk produksi daur ulang plastik dapat digunakan untuk menentukan alokasi beban kerja dari setiap operator (Hapid dan Supriyadi, 2021).

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam *line balancing*, seperti metode heuristik, metode matematis, dan metode simulasi. Metode heuristik adalah metode yang didasarkan pada pengalaman dan intuisi, sedangkan metode matematis menggunakan pendekatan matematis untuk menyelesaikan masalah *line balancing* (Ponnambalam dkk., 1999). Metode simulasi, di sisi lain, menggunakan model komputer untuk menyimulasikan aliran produksi dan mengidentifikasi solusi yang optimal (Yemane dkk., 2020). Implementasi *line balancing* melibatkan beberapa langkah, seperti mengidentifikasi stasiun kerja, mengukur waktu siklus, mengidentifikasi waktu siklus terpanjang, dan menyeimbangkan beban kerja di antara stasiun kerja. Analisis *line balancing* dengan menggunakan teknik heuristik *Ranked Positional Weight* pada sebuah departemen *sewing* yang memiliki 34 stasiun kerja dapat meningkatkan efisiensi *line* produksi tersebut sebesar 59,30% (Arum dan Pujiyanto, 2022). Metode *Kilbridge & Wester* adalah metode *line balancing* lain yang banyak digunakan (Celik dan Arslankaya, 2023).

Dalam menghitung efisiensi lintasan produksi, dilakukan penghitungan *idle time*/waktu menganggur yaitu selisih *station time* dan *cycle time*, menghitung waktu senggang/*balance delay*, efisiensi stasiun kerja, efisiensi lintasan produksi/*line efficiency*, juga *smoothest index* (Baroto, 2002). Setelah *line balancing* diimplementasikan, perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi secara teratur untuk memastikan bahwa aliran produksi tetap seimbang.

Pada kasus yang diamati pada penelitian ini, *conveyor* produksi di sebuah perusahaan elektronik sering kali berhenti karena ada penumpukan di salah satu proses operasi. Penumpukan terjadi karena adanya ketidak seimbangan pembagian beban kerja antar stasiun kerja. Stasiun kerja dengan beban yang lebih kecil akan lebih banyak menghasilkan *output* dalam waktu yang singkat, sedangkan stasiun kerja dengan beban yang besar memerlukan waktu lebih banyak untuk menghasilkan *output*. Hal ini dibuktikan dengan perhitungan efisiensi lintasan dengan kondisi aktual yang hanya berada di angka 65,76%. Bukan hanya efisiensi lintasan yang rendah, *smoothest index* pada kedua lini produksi perusahaan pun tinggi. *Smoothest index* pada lini produksi produk tersebut yaitu 7,33. Berbeda dengan efisiensi lintasan yang semakin tinggi semakin baik, *smoothest index* yang semakin rendah akan semakin baik. Pada penelitian ini akan dilakukan analisis *line balancing* dengan metode matematis untuk meningkatkan efisiensi lintasan dan mengurangi *smoothest index* pada lini produksi.

2. Metode

Pada proses pengambilan data, dilakukan pengamatan terhadap 19 operator dengan waktu pengambilan operator selama 3 menit. Proses pengamatan dilakukan untuk mendapatkan data waktu siklus, kapasitas produksi, target produksi, dan juga waktu yang tersedia untuk produksi.

Dalam *line balancing* akan dilakukan proses penyeimbangan beban kerja di antara stasiun kerja dalam suatu aliran produksi. Tahap yang diperlukan dalam proses *line balancing* terdapat 10 langkah (Dharmayanti dan Marliansyah, 2019) yaitu:

- 1) Identifikasi tugas/aktivitas
- 2) Penentuan waktu pengerjaan setiap tugas/aktivitas
- 3) Penentuan *precedence constraints* (jika ada keterkaitan tugas)
- 4) Penentuan *output* dari *assembly line*
- 5) Penentuan waktu total

- 6) Penghitungan *cycle time*
- 7) Penugasan setiap mesin/pekerja
- 8) Penentuan jumlah minimum *work stations*
- 9) Penilaian efektivitas dan efisiensi solusi
- 10) *Continuous process improvement*.

Line balancing dilakukan dengan menggunakan metode yang dikembangkan oleh Kilbridge dan Wester (1961). Perhitungan matematis yang dilakukan yaitu menghitung efisiensi stasiun kerja, jumlah stasiun kerja optimum, efisiensi lintasan, serta *smoothest index* dengan persamaan (1), (2), (3), (4) sebagai berikut:

$$Efisiensi\ WS = \frac{ST_i}{ST_{maks}} \times 100\% \quad (1)$$

$$WS_{min} = \frac{\sum ST}{ST_{maks}} \quad (2)$$

$$LE = \frac{\sum ST}{(k)(ST_{maks})} \times 100\% \quad (3)$$

$$SI = \sqrt{\sum (ST_i - ST_{maks})^2} \quad (4)$$

dengan,

- ST_i = waktu operasi stasiun i
- ST_{maks} = waktu stasiun kerja maksimal
- WS_{min} = jumlah stasiun kerja minimal
- k = jumlah stasiun (WS)
- LE = *line efficiency*
- SI = *smoothest index*

Setelah *line balancing* diimplementasikan, perlu dilakukan pemantauan dan evaluasi secara teratur untuk memastikan bahwa aliran produksi tetap seimbang. Terdapat beberapa model aliran yang dapat digunakan dalam *line balancing*, seperti model *straight-line*, model *U-line*, dan model *mixed-model*. Model yang diamati pada penelitian ini yaitu model *straight-line*. Model *straight-line* adalah model yang paling sederhana, yaitu produk bergerak secara linier dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja berikutnya.

3. Hasil dan Pembahasan

Pengamatan pada tanggal 6 September 2023 menghasilkan informasi target produksi sebesar 2.280 unit per hari dan *output* 2.313 unit sehingga diketahui bahwa perusahaan memenuhi target produksi. Selain itu juga didapatkan data waktu stasiun kerja yang kemudian digunakan untuk menghitung efisiensi setiap stasiun kerja dengan menggunakan persamaan (1) seperti ditunjukkan pada Tabel 1. Selanjutnya dilakukan perhitungan LE dan SI yang diperoleh dari persamaan (3) dan (4).

Tabel 1. Rekapitulasi data waktu stasiun kerja dan perhitungan efisiensi.

WS	Elemen kerja	T_i	ST_i	Efisiensi
1	O-1	5,12	5,12	85,62
2	A-1	4,59	4,59	76,76
3	A-2	3,37	3,37	56,35
4	A-3	1,9	1,9	31,77
5	O-2	4,29	4,29	71,79
6	O-3	4,97	4,97	83,11
7	I-1	5,98	5,98	100
8	O-4 & I-2	3,14	3,14	52,51
9	O-5	2,03	2,03	33,95

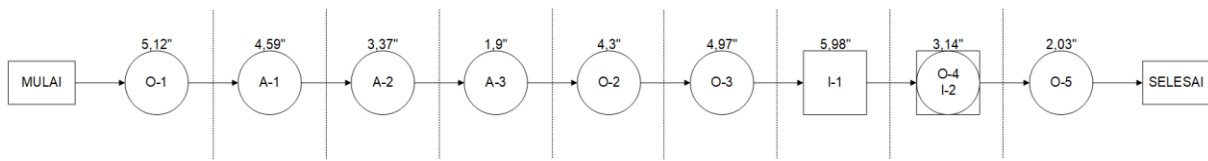
Dari Tabel 1 diketahui $\Sigma ST = 35,39$, $ST_{maks} = 5,98$, dan $k = 9$ sehingga $LE = 65,76\%$ dan $SI = 7,33$. Diketahui bahwa efisiensi stasiun kerja masih sangat bervariasi mulai dari 31,77 (rendah) hingga 100 (tinggi). Dengan menggunakan persamaan (2) kemudian didapatkan $WS_{min} = 6$.

Setelah didapatkan jumlah stasiun kerja minimum, berikutnya dilakukan penyusunan ulang stasiun kerja. Untuk itu dilakukan penggabungan beberapa operasi menjadi satu stasiun kerja dengan ketentuan ST tidak boleh melebihi 5,98. Selain itu, ketentuan lainnya adalah penggabungan harus dilakukan tanpa mengubah urutan proses operasi. Hal ini penting karena lini produksi menggunakan *belt conveyor* satu arah. Dengan demikian, benda kerja tidak akan bisa bergerak bolak-balik. Hasil penggabungan dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perbaikan dengan metode *Kilbridge & Wester*.

WS	Elemen kerja	T_i	ST	Efisiensi
1	O-1	5,12	5,12	85,62
2	A-1	4,59	4,59	76,76
3	A-2	3,37	5,27	88,13
4	A-3	1,9		
5	O-2	4,29	4,29	71,79
6	O-3	4,97	4,97	83,11
7	I-1	5,98	5,98	100
	O-4 & I-2	3,14	5,17	86,45
	O-5	2,03		

Dari penyusunan ulang didapatkan 7 stasiun kerja dengan beberapa penggabungan. Setelah digabung, efisiensi lintasan dan *smoothest index* kembali dihitung dengan data stasiun kerja perbaikan. Perhitungan dilakukan dengan rumus yang sama seperti sebelumnya. Setelah dilakukan perbaikan, nilai LE mengalami peningkatan dan nilai SI mengalami penurunan. LE naik dari 65,76% menjadi 84,55% yang berarti mengalami peningkatan sebesar 18,79%, sedangkan SI turun dari 7,33 menjadi 2,77 yang berarti perbedaan waktu antar stasiun menurun 4,56%. Selanjutnya dilakukan perhitungan efisiensi lintasan dengan menggunakan metode *Ranked Positional Weight* (RPW). Langkah diawali dengan pembuatan *precedence diagram* seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Precedence diagram.

Selanjutnya dibuat tabel *precedence* dan juga tabel pembobotan seperti pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. *Precedence* antar operasi.

Operasi yang mendahului	Operasi yang mengikuti								
	O-1	A-1	A-2	A-3	O-2	O-3	I-1	O-4 & I-2	O-5
O-1 (5,12)	-	1	1	1	1	1	1	1	1
A-1 (4,59)		-	1	1	1	1	1	1	1
A-2 (3,37)			-	1	1	1	1	1	1
A-3 (1,9)				-	1	1	1	1	1
O-2 (4,29)					-	1	1	1	1
O-3 (4,97)						-	1	1	1
I-1 (5,98)							-	1	1
O-4 & I-2 (3,14)								-	1
O-5 (2,03)									-

Tabel 4. Pembobotan dengan metode *Ranked Positional Weight*.

Ti	Operasi yang mendahului	Operasi yang mengikuti									Bobot	Rank
		O-1	A-1	A-2	A-3	O-2	O-3	I-1	O-4 & I-2	O-5		
5,12	O-1 (5,12)	-	4,59	3,37	1,9	4,29	4,97	5,98	3,14	2,03	35,393	1
4,59	A-1 (4,59)		-	3,37	1,9	4,29	4,97	5,98	3,14	2,03	30,273	2
3,37	A-2 (3,37)			-	1,9	4,29	4,97	5,98	3,14	2,03	25,683	3
1,9	A-3 (1,9)				-	4,29	4,97	5,98	3,14	2,03	22,313	4
4,293	O-2 (4,29)					-	4,97	5,98	3,14	2,03	20,413	5
4,97	O-3 (4,97)						-	5,98	3,14	2,03	16,12	6
5,98	I-1 (5,98)							-	3,14	2,03	11,15	7
3,14	O-4 & I-2								-	2,03	5,17	8
2,03	O-5 (2,03)									-	2,03	9

Prioritas	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Operasi	O-1	A-1	A-2	A-3	O-2	O-3	I-1	O-4 & I-2	O-5
Bobot	35,393	30,273	25,683	22,313	20,413	16,12	11,15	5,17	2,03

Dari Tabel 4 diketahui bahwa urutan operasi aktual sudah sesuai dengan pembobotan dan tidak diperlukan perombakan urutan proses operasi. Langkah berikutnya adalah mengelompokkan stasiun kerja supaya lebih efisien. Syarat pengelompokan masih sama,

yaitu waktu kerja tidak boleh melebihi waktu proses maksimum yaitu 5,98. Tabel 5 merupakan hasil pengelompokan stasiun kerja.

Tabel 5. Pengelompokan stasiun kerja dengan RPW.

WS	Elemen kerja	ST	CT	CT-ST	(CT-ST) ²
1	O-1	5,12	5,98	0,86	0,740
2	A-1	4,59	5,98	1,39	1,932
3	A-2, A-3	5,27	5,98	0,71	0,504
4	O-2	4,29	5,98	1,68	2,846
5	O-3	4,97	5,98	1,01	1,020
6	I-1	5,98	5,98	0	0
7	O-4 & I-2, O-5	5,17	5,98	0,81	0,656

$$LE = 84,55\%$$

$$SI = 2,77$$

Dari Tabel 5, didapatkan *LE* dan *SI* dari pengelompokan yang sudah dilakukan menggunakan metode RPW. Diketahui bahwa nilai *LE* dan *SI* yang dihasilkan dari metode RPW memiliki nilai yang sama dengan metode *Kilbridge & Wester*. Hasil yang sama dari kedua metode juga didapatkan pada Celik & Arslankaya (2023).

4. Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan beberapa operasi yang semula terbagi menjadi 9 stasiun kerja menjadi 7 stasiun kerja berhasil menciptakan keseimbangan waktu operasi di setiap stasiun kerja. Hasil perbaikan menggunakan *line balancing* metode *Kilbridge & Wester* memberikan peningkatan *LE* yang semula 65,76% menjadi 84,55%. *Smoothest Index* pun mengalami penurunan yang semula 7,33 menjadi 2,77. Hasil dengan metode RPW juga sama dengan hasil metode *Kilbridge & Wester*. Meskipun demikian, hasil *line balancing* yang telah dilakukan masih memerlukan tahap uji coba lanjutan untuk menentukan jumlah operator yang optimal pada setiap stasiun kerja. Hasil penelitian ini juga membuktikan bahwa penerapan *line balancing* dapat mengurangi waktu produksi secara signifikan. Selain itu, pendekatan *line balancing* yang diterapkan dalam penelitian ini menggunakan model matematis, yang memberikan dasar yang kuat untuk optimasi lebih lanjut dalam proses produksi.

Daftar Pustaka

- Ahmed, T., Sakib, N., Hridoy, R. M., & Shams, A. T. (2020). Application of line balancing heuristics for achieving an effective layout: A case study. *International Journal of Research in Industrial Engineering*, 9(2), 114-129. <https://doi.org/10.22105/riej.2020.234612.1134>
- Arum, A. U., & Pujiyanto, E. (2022). Analisis line balancing Line 9B S22 Departemen Sewing PT XYZ dengan menggunakan metode Ranked Positional Weight. *Prosiding Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2022*, (hal. B10.1-B10.10). Surakarta.

- Ayat, M., Sarfraz, T., Ilyas, M., Elmahi, A., & Ibrahim, M. (2017). A case study of line balancing using Largest Candidate Rule algorithm in manufacturing industry. *Proceeding of the International Conference of Management Research ICMR 2017* (hal. 14-28). Lahore: Superior University Lahore.
- Baroto, T. (2002). *Perencanaan dan pengendalian produksi*. Jakarta: Ghalia Indonesia.
- Celik, M. T., & Arslankaya, S. (2023). Solution of the assembly line balancing problem using the Rank Positional Weight method and Kilbridge and Wester heuristics method: An application in the cable industry. *Journal of Engineering Research*, 11(3), 182-191. <https://doi.org/10.1016/j.jer.2023.100082>
- Dharmayanti, I., & Marliansyah, H. (2019). Perhitungan efektifitas lintasan produksi menggunakan metode line balancing. *Jurnal Manajemen Industri dan Logistik*, 3(1), 45-56. <https://doi.org/10.30988/jmil.v3i1.63>
- Fitri, M., Adelino, M. I., & Apuri, M. L. (2022). Analisis line balancing untuk meningkatkan efisiensi lintasan produksi perakitan. *Rang Teknik Jurnal*, 5(2), 295-300. <https://doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3223>
- Hapid, Y., & Supriyadi, S. (2021). Optimalisasi keseimbangan lintasan produksi daur ulang plastik dengan pendekatan Ranked Positional Weight. *Jurnal INTECH Teknik Industri*, 7(1), 65-72. <https://doi.org/10.30656/intech.v7i1.3305>
- Kilbridge, M. D., & Wester, L. (1961). A heuristic method of assembly line balancing. *The Journal of Industrial Engineering*, 12(4), 292-298.
- Kumar, R. N., Mohan, R., & Gobinath, N. (2021). Improvement in production line efficiency of hemming unit using line balancing techniques. *Materials Today: Proceedings*, 46(2), 1459-1463. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.03.020>
- Ponnambalam, S. G., Aravindan, P., & Naidu, G. M. (1999). A comparative evaluation of assembly line balancing heuristics. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 15(8), 577-586. <https://doi.org/10.1007/s001700050105>
- Ponda, H., Hardono, J., & Pikri, S. K. (2019). Analisa keseimbangan lintasan produksi pada pembuatan radiator Mitsubishi PS 220 dengan metode Ranked Positional Weight (RPW). *Journal of Industrial Manufacturing*, 4(1), 77-92. <http://dx.doi.org/10.31000/jim.v4i1.1251>
- Shobur, M., Alfatiyah, R., Dahniar, T., & Supriyadi, E. (2021). *Sistem produksi LEAN*. Tangerang Selatan: UNPAM Press.
- Sitanggang, F. V., & Laksono, P. W. (2022). Penerapan line balancing pada PT. XYZ dengan metode Largest Candidate Rule dan Ranked Positional Weight. *Prosiding Seminar dan Konferensi Nasional IDEC 2022*, (hal. B11.1-B11.10). Surakarta.
- Yemane, A., Gebremicheal, G., Meraha, T., & Hailemicheal, M. (2020). Productivity improvement through line balancing by using simulation modeling. *Journal of Optimization in Industrial Engineering*, 13(1), 153-165. <https://doi.org/10.22094/joie.2019.567816.1565>