

Efisiensi *Line Balancing* Menggunakan *Framework Precedence Matrix (FPM)*

^{1*}Wildanul Isnaini, ²Siti Nandiroh, ³Halwa Annisa Khoiri

^{1,3} Teknik Industri, Universitas PGRI Madiun

²Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Surakarta

E-mail: ¹wildanulisnaini@unipma.ac.id, ²sn168@ums.ac.id, ³halwaannisa@unipma.ac.id

Penulis Korespondens : Wildanul Isnaini

Abstrak—Keseimbangan lini merupakan aspek penting dalam sistem produksi untuk mendistribusikan beban kerja secara merata antarstasiun kerja sehingga efisiensi produksi dapat ditingkatkan. Berbagai metode telah dikembangkan untuk menyelesaikan permasalahan keseimbangan lini, namun banyak yang masih sulit diterapkan di industri karena kompleksitas penyelesaiannya. Penelitian sebelumnya memperkenalkan *Framework Precedence Matrix (FPM)* berbasis *spreadsheet* sebagai pendekatan yang lebih sederhana, tetapi kajian mengenai metode ini masih terbatas. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja FPM pada data penelitian dan membandingkannya dengan hasil metode *Rank Positional Weight (RPW)*. Evaluasi dilakukan berdasarkan jumlah *station*, *Line Efficiency (LE)*, dan *Smoothness Index (SI)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa FPM menghasilkan kinerja yang lebih baik dengan 4 stasiun kerja, nilai *LE* sebesar 85,97%, dan nilai *SI* sebesar 1281,6 detik. Hasil tersebut menunjukkan bahwa FPM berpotensi menjadi alternatif praktis untuk penyelesaian masalah keseimbangan lini di industri.

Kata Kunci— keseimbangan lini, *line efficiency*, *precedence matrix*, RPW

Abstract— *Line balancing is an important aspect of production systems to evenly distribute workloads among workstations in order to improve production efficiency. Various methods have been developed to solve line balancing problems; however, many remain difficult to implement in industry due to their computational complexity. Previous research introduced the Framework Precedence Matrix (FPM), a spreadsheet-based approach, as a simpler alternative, but studies on this method remain limited. Therefore, this study aims to evaluate the performance of FPM using a research dataset and compare it with the Rank Positional Weight (RPW) method. The evaluation is based on the number of stations, Line Efficiency (LE), and Smoothness Index (SI). The results show that FPM performs better, producing 4 workstations, a Line Efficiency of 85.97%, and a Smoothness Index of 1281.6 seconds. These results indicate that FPM has the potential to be a practical alternative for solving line balancing problems in industry.*

Keywords— *line balancing, line efficiency, precedence matrix, RPW*

This is an open access article under the CC BY-SA License.



I. PENDAHULUAN

Lini produksi merupakan salah satu sistem penting dalam proses manufaktur di perusahaan [1]. Terdapat beberapa entitas yang terlibat dalam sistem tersebut, yaitu operator, *material handling*, dan mesin yang bekerja bersama-sama untuk mencapai satu tujuan, yaitu sistem produksi yang efektif dan efisien [2]. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perbaikan berkelanjutan mulai dari perencanaan, proses, dan pengendalian produksi. Keseimbangan lini kerja pada sebuah sistem produksi merupakan aspek perencanaan yang perlu dicapai [3]. Dengan lini produksi yang seimbang, perusahaan dapat menentukan

pembagian pekerjaan yang proporsional antarstasiun kerja serta kapasitas yang tepat pada setiap stasiun kerja berdasarkan waktu siklus sehingga idle time diminimalkan, *bottleneck* (dika) dihindari, dan efisiensi lini produksi meningkat [4].

Keseimbangan lini sendiri didefinisikan sebagai teknik pengalokasian tugas atau elemen kerja ke beberapa stasiun kerja pada suatu lini produksi dengan tujuan memperoleh distribusi beban kerja yang seimbang [5]. Metode dan pembahasan terkait keseimbangan lini telah dimulai sejak beberapa dekade yang lalu. Metode penelitian yang digunakan beragam, mulai dari metode heuristik, optimasi eksak, hingga metaheuristik [6]. Pemilihan metode ditentukan berdasarkan kompleksitas sistem yang akan dioptimasi. Salah satu metode heuristik yang banyak digunakan pada penelitian terdahulu adalah *Rank Positional Weight* (RPW) yaitu metode untuk menentukan prioritas penugasan tugas ke stasiun kerja berdasarkan bobot posisi yaitu jumlah waktu suatu tugas ditambah seluruh waktu tugas penerusnya dalam diagram presedensi. Tugas dengan bobot posisi terbesar diprioritaskan untuk ditempatkan terlebih dahulu di stasiun kerja, dengan tetap memperhatikan hubungan precedensi dan batas waktu siklus.

[6] dalam penelitiannya dapat meningkatkan efisiensi lini produksi PT. Vitapharm Surabaya hingga 80.56% dengan RPW. [7] menggunakan RPW untuk menyeimbangkan lini pada industri furnitur dan memberikan perbaikan pada efisiensi dan *balanced delay*. Metode lain yaitu *Largest Candidate Rule* (LCR) digunakan oleh peneliti lain untuk meningkatkan efisiensi lini produksi pada industri manufaktur [8]. Terkait metode optimasi eksak, [9] menerapkan *Mixed-Integer Linear Programming* (MILP) yang terintegrasi dengan prinsip Lean Manufacturing untuk mengatasi masalah keseimbangan lini pada industri garmen. Penelitian menghasilkan optimasi produksi yang mampu menurunkan biaya tenaga kerja lebih dari 50% dengan tetap memenuhi keterbatasan kapasitas dan permintaan. Selain itu, seiring meningkatnya kompleksitas parameter yang dipertimbangkan, penelitian lain mengembangkan model matematis dan algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk menyelesaikan masalah *mixed-model disassembly line balancing* dengan tujuan meminimalkan panjang lini dan jumlah stasiun kerja serta memaksimalkan pemerataan beban kerja, yang terbukti memberikan kinerja lebih baik dibandingkan beberapa metode metaheuristik lainnya [10].

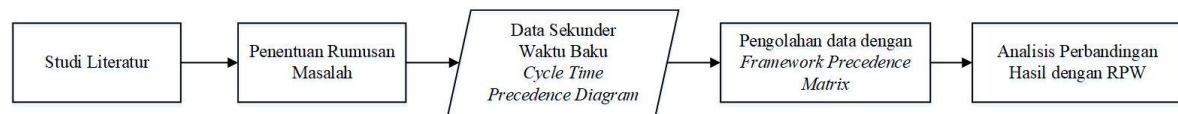
Metode keseimbangan lini yang sudah dikembangkan selama ini dan beragam masih terbatas penerapannya oleh industri. Hal ini disebabkan oleh metode penyelesaian yang sering kali rumit, banyaknya asumsi yang tidak sesuai dengan kondisi nyata, serta beragamnya variasi masalah yang dihadapi perusahaan. Untuk mengatasi hal tersebut, [11] mengusulkan penggunaan *Precedence Matrix* sebagai alat yang lebih sederhana untuk menganalisis dan menyelesaikan masalah keseimbangan lini. Peneliti mengembangkan algoritma untuk membangun matriks precedensi dan menggunakannya dalam menyusun desain lini perakitan yang layak. Penelitian tersebut mengusulkan *framework Precedence Matrix* berbasis *spreadsheet* sebagai metode heuristik yang sederhana dan fleksibel untuk menyelesaikan masalah keseimbangan lini, serta mampu menghasilkan solusi optimal pada lebih dari 60% kasus pengujian.

Dengan tujuan menghilangkan kesenjangan antara kebutuhan industri untuk mengoptimalkan keseimbangan lini dan sulitnya implementasi metode dalam penelitian keseimbangan lini, penelitian ini membandingkan *framework* yang diusulkan dalam penelitian sebelumnya, yaitu *Precedence Matrix* berbasis *spreadsheet*, dengan metode RPW yang banyak digunakan dalam literatur. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam memperkaya pendekatan penyelesaian permasalahan keseimbangan lini yang lebih praktis dan aplikatif bagi dunia industri.

II. METODE

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang merupakan data dan hasil penelitian dari [12]. Penelitian tersebut menggunakan RPW untuk mengoptimalkan lini produksi tinta pada departemen *silkcare* di perusahaan tinta untuk cetak kemasan. Data sekunder yang digunakan dalam penelitian ini adalah *precedence diagram*, waktu siklus, dan waktu baku stasiun kerja. Data tersebut kemudian diolah kembali menggunakan *framework precedence matrix* yang telah diusulkan oleh [11]. Kemudian, akan dibandingkan

nilai *line efficiency* dan *smoothing index*nya. Gambar 1 merupakan alur dalam penelitian ini dan Gambar 2 merupakan alur dari *framework precedence matrix*.



Gambar 1. Alur Penelitian

Langkah-langkah *framework precedence matrix* antara lain:

a. Penentuan *Immediate* dan *Non-Immediate precedence*

Diperumpamakan bahwa satu lini produksi terdiri dari n elemen pekerjaan. Dalam *precedence matrix*, n elemen pekerjaan tersebut terdiri dari tugas sebelumnya atau *predecessor* (i) dan tugas sesudahnya atau *successor* (j). Elemen matriks M_{ij} menunjukkan apakah tugas i harus dikerjakan sebelum tugas j .

$$M_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika elemen kerja } i \text{ mendahului } j \\ 0, & \text{jika tidak} \end{cases} \quad (1)$$

Successor dibedakan menjadi *followers* dan *immediate followers*. *Followers* adalah seluruh pekerjaan j yang dikerjakan setelah pekerjaan i dikerjakan. *Immediate followers* adalah pekerjaan yang langsung dikerjakan setelah pekerjaan sebelumnya selesai.

b. Penentuan jumlah *followers* (F_i)

Merupakan jumlah seluruh elemen pekerjaan j setelah pekerjaan i dikerjakan.

c. Penentuan jumlah *Immediate followers* (IF_i)

Merupakan jumlah seluruh pekerjaan j yang langsung dikerjakan setelah pekerjaan i

d. Penentuan Jumlah *Non-Immediate followers* (NIF_i)

Merupakan jumlah seluruh pekerjaan j yang dikerjakan setelah IF_i

e. Penentuan *Posisiton Weight* dari elemen pekerjaan (PW)

PW terdiri dari PW pada *task* dan *followers*, dan PW pada *followers* saja. PW *task* and *followers* merupakan total waktu baku elemen pekerjaan i ($\sum t_i$) dan seluruh elemen pekerjaan j . Sedangkan PW *followers* adalah total waktu baku elemen pekerjaan j .

f. Penentuan *Average Position Weight* (APW)

APW merupakan rata-rata dari PW *task* and *followers* dan PW *followers* yaitu total waktu baku dibagi dengan jumlah *followers*.

g. Penentuan urutan elemen pekerjaan berdasarkan *Latest Station* (L_i)

Aturan ini digunakan untuk menentukan prioritas penempatan elemen kerja ke dalam *station*. Elemen kerja dengan nilai L_i yang lebih kecil akan diprioritaskan untuk dialokasikan terlebih dahulu karena memiliki batas penempatan yang lebih ketat dibandingkan dengan elemen kerja lainnya. Sehingga setelah nilai L_i setiap elemen pekerjaan didapatkan, maka langkah selanjutnya adalah mengurutkan L_i dari nilai terkecil.

Untuk mendapatkan L_i , perlu dihitung terlebih dahulu nilai m_{max} .

$$m_{max} = \min\left\{n, \left\lceil \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{C+1-t_{max}} + 1 \right\rceil, \left\lceil \frac{2 \times \sum_{i=1}^n t_i}{C+1} + 1 \right\rceil \right\} \quad (2)$$

Dengan, i adalah elemen kerja *task* dan *followrs*, C adalah *cycle time* dan t_{max} adalah waktu maksimal pada *task* dan *followers*.

h. Kelompokkan elemen pekerjaan pada *station* (m_k) berdasarkan *Cycle time* (C)

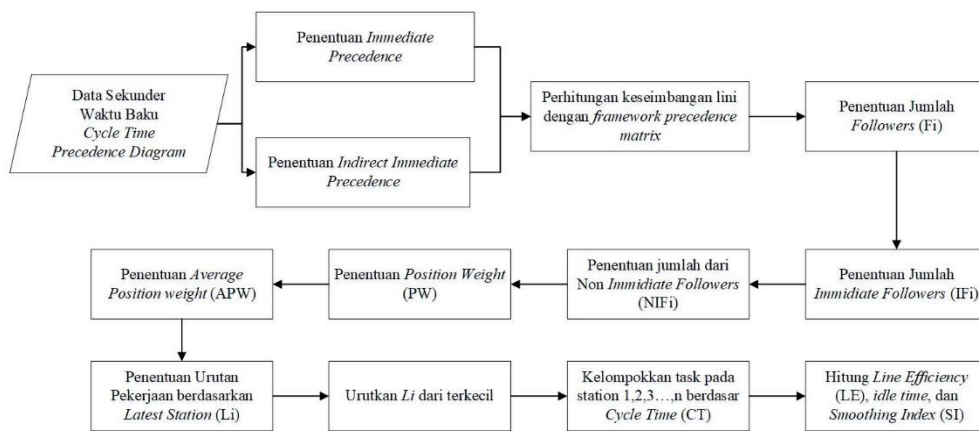
Setelah didapatkan urutan berdasarkan nilai L_i , dilakukan pengelompokan stasiun untuk beberapa elemen pekerjaan. Batas pengelompokan setiap *station* adalah kurang dari *cycle time* yang telah ditentukan pada jurnal rujukan yaitu 6474.6 detik.

- i. Tentukan efisiensi *Line Efficiency (LE)*, *idle time*, dan *smoothing index (SI)*
Setelah langkah i selesai maka nilai LE , *idle time*, dan SI dapat ditentukan.

$$LE = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{m \times C} \quad (3)$$

$$SI = \sqrt{\sum_{k=1}^m (T_{max} - T_k)^2} \quad (4)$$

Dengan m adalah jumlah *station*, k adalah urutan stasiun, dan T_{max} adalah waktu terpanjang elemen kerja pada *station*.



Gambar 2. Framework Precedence Matrix

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

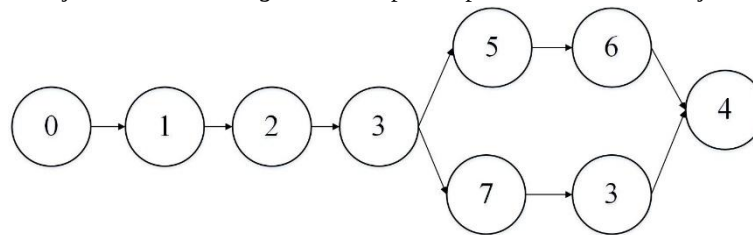
Penelitian ini menggunakan data sekunder dari penelitian [12]. Terdapat beberapa data yang digunakan untuk dapat melakukan perhitungan dengan *Framework Precedence Matrix* yaitu waktu baku, *cycle time*, dan *precedence diagram* yang disajikan pada Tabel 1 dan Gambar 3.

Tabel 1. Data Waktu Baku dan CT

Elemen Pekerjaan (i)	Waktu Baku (t_i , detik)	Cycle Time (CT, detik)
1	1520	6474.6
2	3180	
3	6051	
4	4920	
5	1180	
6	1961	
7	1421	
8	2031	

Penelitian tersebut menyeimbangkan lini produksi yang terdiri dari 8 elemen pekerjaan. Waktu siklus yang digunakan dalam penelitian tersebut adalah waktu proses yang menjadi acuan perusahaan dalam menjalankan seluruh tahapan produksi tinta cetak kemasan. Waktu baku dihitung dari waktu siklus yang telah dikoreksi dengan faktor penyesuaian, kemudian ditambah *allowance* yang mencakup kebutuhan pribadi, kelelahan operator, serta keterlambatan yang tidak dapat dihindari selama proses produksi.

Precedence diagram digunakan untuk menggambarkan hubungan ketergantungan antarelemen kerja serta urutan proses yang harus dipenuhi sebelum suatu elemen dapat dikerjakan. Diagram ini menjadi dasar dalam analisis keseimbangan lintasan karena menunjukkan batasan dalam pengelompokan elemen kerja pada setiap stasiun kerja. *Precedence diagram* untuk proses pembuatan tinta ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Precedence Diagram*

Dari data-data sekunder tersebut, kemudian perhitungan *LE*, *idle time*, dan *SI* dilakukan menggunakan *framework precedence matrix*. Gambar 4 menunjukkan hasil perhitungan keseimbangan lini kerja menggunakan *framework precedence matrix*.

	1	1	1	1	1	1	1	1520	7	1	6	22264	20744	2783	2963.4286	3
		1	1	1	1	1	1	3180	6	1	5	20744	17564	2963.4286	2927.3333	3
			1	1	1	1	1	6051	5	2	3	17564	11513	2927.3333	2302.6	2
				0	0	0	0	4920	0	0	0	4920	0	4920	N/A	2
					1	0	0	1180	2	1	1	8061	6881	2687	3440.5	3
						0		1961	1	1	0	6881	4920	3440.5	4920	2
							1	1421	2	1	1	8372	6951	2790.6667	3475.5	3
								2031	1	1	0	6951	4920	3475.5	4920	2
1520	3180	6051	4920	1180	1961	1421	2031	22264	Jumlah followers (Fi)	Jumlah Immediete Followers (I Fi)	Jumlah Non Immediete Followers (N I Fi)	PW i: task and followers	PW i: followers only	APW i: task and followers	APW i: followers only	Daftar Li

Station	Elemen Pekerjaan	Waktu	Idle time
Station 1	3	6051	423.6
Station 2	4	4920	1554.6
Station 3	6	1961	
	8	3992	
	1	5512	962.6
Station 4	2	3180	
	5	4360	
	7	5781	693.6
			3634.4
LE	85.97%	S1	1281.6326

Gambar 4. Hasil Perhitungan dengan *Framework Precedence Matrix*

- Penentuan *Immediate* dan *Non-Immediate precedence*
Jumlah elemen pekerjaan berdasarkan *precedence matrix* adalah $n = 8$. Pada elemen pekerjaan 1, nilai 1 diberikann untuk elemen kerja 2,3,4,5,6,,7,8 karena elemen kerja tersebut (i) mendahului pekerjaan 1 (j). *Immediate precedence* pada elemen pekerjaan 1 adalah 2 karena merupakan pekerjaan yang langsung dikerjakan setelah pekerjaan 1. Dan *non-immediate predecessor*-nya adalah 3, 4, 5, 6, 7, 8 yang dikerjakan tidak langsung setelah pekerjaan 1, namun merupakan pekerjaan setelahnya.
- Penentuan jumlah *followers* (F_i)
Sehingga, jumlah keseluruhan F_i elemen pekerjaan 1 adalah 7.
- Penentuan jumlah *Immediate followers* (IF_i)
 IF_i elemen pekerjaan 1 adalah 1
- Penentuan Jumlah Non *Immediate followers* (NIF_i)
Sehingga (NIF_i) pekerjaan 1 adalah 6
- Penentuan *Posisiton Weight* dari elemen pekerjaan (PW)

PW task dan *followers* elemen pekerjaan 1 didapatkan dari penjumlahan 1520, 3180, 6051, 4920, 1180, 1961, 1421, dan 2031. Sedangkan *PW followers* didapatkan dari penjumlahan waktu pada *followers* saja yaitu 3180, 6051, 4920, 1180, 1961, 1421, dan 2031

f. Penentuan *Average Position Weight (APW)*

PW task and *followers* pada elemen pekerjaan 1 didapatkan dari:

$$\frac{1520 + 3180 + 6051 + 4920 + 1180 + 1961 + 1421 + 2031}{8}$$

Sedangkan, *PW followers* pada elemen pekerjaan 1 didapatkan dari:

$$\frac{1520 + 3180 + 6051 + 4920 + 1180 + 1961 + 1421 + 2031}{7}$$

g. Penentuan urutan elemen pekerjaan berdasarkan *Latest Station (Li)*

Untuk dapat mengurutkan L_i , perlu ditentukan dulu nilai m_{max} dari elemen pekerjaan 1, yaitu:

$$m_{max} = \text{Min}\{8, 4.5, 8.9\}$$

Sehingga nilai min dari m_{max} adalah 4.5 yang kemudian dibulatkan ke atas menjadi 5. Seluruh hasil desimal pada L_i dibulatkan keatas. Kemudian setelah L_i didapatkan dari seluruh elemen kerja, urutkan nilai tersebut dari yang terkecil, dan didapatkan hasil pengurutan elemen pekerjaan menjadi 3,4,6,8,1,2,5,7

h. Kelompokkan elemen pekerjaan pada station (m_k) berdasarkan *Cycle time (C)*

Setelah didapatkan urutan L_i Maka dilakukan pengelompokan stasiun dengan batas maksimal C .

Pekerjaan 3 mempunyai waktu baku 6051. Sisa C pekerjaan 3 pada stasiun 1 adalah 423.6 detik yang nilainya kurang dari waktu baku elemen pekerjaan 4. Sehingga, selanjutnya elemen pekerjaan 4 diletakkan pada station 2.

i. Tentukan efisiensi (*LE*), idle time, dan *smoothing index (SI)*

$$LE = \frac{22264}{4 \times 6474.6} = 85.97\%, \text{ sedangkan nilai } SI \text{ didapatkan berdasarkan persamaan (4) yaitu } 1281.6$$

Dari perhitungan ini juga dapat diketahui *idle time* yaitu sebesar 3634.4 detik.

Hasil dari *framework precedence matrix (FPM)* dibandingkan dengan sistem eksisting dan metode RPW yang sebelumnya digunakan pada penelitian sebelumnya. Tabel 2 menunjukkan bahwa FPM memberikan peningkatan *LE* dan penurunan *SI* dibandingkan dengan RPW.

Tabel 2. Perbandingan Jumlah *Station*, *LE*, dan *SI* pada ketiga metode

Metode	Jumlah <i>Station</i>	LE (%)	SI (detik)
Sistem Eksisting	8	45.89	11146.4
RPW	6	61.19	8516.5
Framework Precedence Matrix (FPM)	4	85.97	1281.6

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, FPM memberikan hasil paling optimal dibandingkan dengan RPW pada penelitian sebelumnya. Hal ini ditunjukkan oleh jumlah *station* yang paling sedikit (4 stasiun), nilai *LE* tertinggi sebesar 85.97%, serta nilai *SI* yang paling rendah yaitu 1281.6 detik. Kondisi tersebut mengindikasikan bahwa FPM mampu menghasilkan pembagian beban kerja yang lebih merata serta aliran

produksi yang lebih efisien. Selain itu, metode FPM relatif lebih sederhana, namun mampu memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode heuristik yang umum digunakan dalam keseimbangan lini, seperti RPW. Dengan demikian, metode ini dapat dijadikan alternatif dalam penyelesaian masalah *line balancing*, baik bagi akademisi maupun praktisi industri.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. R. Nazareth and R. M. Dewi, "Peningkatan efisiensi lintasan produksi dengan metode line balancing Kilbridge & Wester," *J. Tek. Ind. dan Manaj. Rekayasa*, vol. 2, no. 1, pp. 17–24, 2023.
- [2] A. Musthofa and K. Muhammad, "Analisis Line Balancing Pada Produksi Produk F2ad06 – 002as di PT XYZ (Studi Kasus : Departemen Produksi) E -ISSN : 2746-0835 Volume 4 No 4 (2024) JUSTI (Jurnal Si," vol. 4, no. 4, pp. 460–469, 2024.
- [3] M. Djunaidi and . A., "Analisis Keseimbangan Lintasan (Line Balancing) Pada Proses Perakitan Body Bus Pada Karoseri Guna Meningkatkan Efisiensi Lintasan," *J. Ilm. Tek. Ind.*, vol. 5, no. 2, pp. 77–84, 2018, doi: 10.24912/jitiuntar.v5i2.1788.
- [4] A. Kusuma, P. Universitas, T. Yogyakarta, A. Z. Al, and F. Universitas, "Optimalisasi Penyeimbangan Proses Produksi Pada Pt. Xyz Dengan Pendekatan Lean Manufacturing Dan Metode Value Stream Mapping (Vsm)," *J. Multidisiplin Ilmu Akad.*, vol. 2, no. 6, pp. 831–841, 2025, [Online]. Available: <https://doi.org/10.61722/jmia.v2i6.7325>.
- [5] M. R. F. Sidiq and R. A. Darajatun, "Analisis Line Balancing Menggunakan Ranked Positional Weight pada Proses Produksi X di PT XYZ," *J. Tek. Ind. Terintegrasi*, vol. 6, no. 4, pp. 1579–1584, 2023, doi: 10.31004/jutin.v6i4.21947.
- [6] G. A. Widyadana, "Multi Objective Model for Balancing U-Type Assembly Line With Permanent and Temporary Workers," *J. Tek. Ind.*, vol. 11, no. 1, pp. 33–42, 2009, doi: 10.9744/jti.11.1.33-42.
- [7] M. Fitri, M. I. Adelino, and M. L. Apuri, "Analisis Line Balancing Untuk Meningkatkan Efisiensi Lintasan Produksi Perakitan," vol. 5, no. 2, pp. 295–300, 2022.
- [8] W. W. Vonny Adelia, "Peningkatan Produktivitas IKM melalui Perbaikan Keseimbangan Lintasan Produksi (Studi Kasus: IKM Mebel di Solo)," *Senopati*, vol. 5, no. 1, pp. 56–68, 2023.
- [9] D. Ning and T. H. Kong, "Mixed-Integer Linear Programming (MILP) for Garment Line Balancing," *Int. J. Sci. Res. Mod. Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 64–77, 2025, [Online]. Available: <https://ijsrmt.com/index.php/ijsrmt/article/view/325>.
- [10] Arnat Watanasungsuit, Peerapop Jomtong, C. Inthawongse, and C. pornsing, "Disassembly Line Balancing Design for Mixed-Model Disassembly Process Using a Modified Metaheuristic Approach," *Sci. Technol. Asia*, vol. 30, no. 4 SE-, pp. 303–322, Dec. 2025, [Online]. Available: <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/SciTechAsia/article/view/257843>.
- [11] M. Helal, K. Nag, and R. Ozdemir, "on the Assembly Line Balancing Problem: a Simplified Perspective With the Precedence Matrix," *J. Appl. Eng. Technol. Sci.*, vol. 6, no. 1, pp. 1–20, 2024, doi: 10.37385/jaets.v6i1.5597.
- [12] N. A. Syafitrah and M. R. Faturrahman, "Analisis line balancing produksi tinta untuk meningkatkan efisiensi lini dengan metode ranked positional weight (RPW) Line balancing analysis of ink production to improve line efficiency using the ranked positional weight (RPW) method," vol. 7, pp. 466–475, 2026, doi: 10.37373/jenius.v7i2.2279.