

## A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW OF LINE BALANCING PRACTICES IN INDUSTRY: A REVIEW AND TRENDS

Christwandy Roland Saerang<sup>1\*</sup>, Bagus Wahyu Nur Pratama<sup>2</sup>, Tito Lukito<sup>3</sup> dan Humiras Hardi Purba<sup>4</sup>

<sup>1,2,3,4</sup>Program Studi Magister Teknik Industri, Universitas Mercu Buana

<sup>1,2,3,4</sup>Jalan Meruya Selatan No.1 Kembangan Jakarta Barat, Jakarta

email: [realbaguswahyunn@gmail.com](mailto:realbaguswahyunn@gmail.com), [humiras.hardi@mercubuana.ac.id](mailto:humiras.hardi@mercubuana.ac.id)

### Abstract

The competition in the evolving industry to improve optimal production line efficiency is becoming increasingly intense. Every industry focuses on reducing waste, enhancing productivity, and utilizing resources more effectively. Line balancing is one of the techniques from lean manufacturing that addresses obstacles to improving productivity performance. Therefore, the aim of this paper is to review the application and trends of the line balancing method in the industrial sector, particularly in manufacturing companies worldwide. The findings from a review of 40 journals on line balancing, including case studies in the industry and literature reviews, show that the success of implementing line balancing depends on key factors that optimize productivity and process flow efficiency. Thus, line balancing is highly beneficial when applied in an industry and is crucial to integrate with emerging technologies, which are expected to bring significant changes to the industry.

**Keywords:** *Line Balancing, Lean, Efisiensi*

### 1. Pendahuluan

Era globalisasi memiliki persaingan yang sangat kompetitif di setiap lini bisnisnya. Industri berkembang dan terus maju untuk dapat meningkatkan kemampuan bisnis dengan tujuan mencapai persaingan perusahaan. Dalam industri manufaktur, produktivitas dan efisiensi memiliki faktor yang dapat menciptakan daya saing pasar yang tinggi. Konsep *line balancing* mempunyai cara dengan meningkatkan efisiensi. *Line balancing* adalah proses mendistribusikan beban kerja secara merata di sepanjang lini produksi untuk mengurangi waktu tunggu dan *idle time*, serta mengoptimalkan penggunaan sumber daya seperti mesin, tenaga kerja, dan waktu (Heizer et al., 2017). *Line balancing* melibatkan penugasan serangkaian tugas atau elemen kerja ke stasiun kerja tertentu dalam lini produksi sambil memenuhi hubungan prioritas dan mengoptimalkan metrik kinerja yang diinginkan (Islam et al., 2019).

*Line balancing* sangat penting dalam industri seperti manufaktur otomotif, garmen, dan elektronik, di mana lini produksi digunakan secara luas (Arifin and Rahman 2020). Di sektor-sektor ini, permintaan untuk menghasilkan produk dalam jumlah besar dengan waktu yang lebih cepat dan kualitas yang tinggi terus

meningkat (MacKelprang and Nair 2010). Hal tersebut merupakan salah satu metode produksi dan manajemen persediaan yang berfokus untuk mengoptimalkan produksi dan meningkatkan efisiensi sehingga dapat mengurangi pemborosan yang implementasi ini merupakan JIT (*Just In Time*) yang mendukung kinerja dari *line balancing* (Agrawal 2021). Para peneliti juga telah menjajaki integrasi *line balancing* dengan teknik *lean manufacturing* lainnya, seperti pemetaan aliran nilai dan diagram Yamazumi, untuk lebih meningkatkan kinerja operasional (Pertiwi and Astuti 2020).

*Line balancing* adalah proses penataan beban kerja secara merata di semua tahap dalam sel atau aliran nilai untuk mengatasi hambatan (*bottleneck*) dan kapasitas yang berlebihan, pembatas (*constraint*) dapat memperlambat jalannya proses dan menyebabkan waktu tunggu pada operasi berikutnya, sementara kapasitas yang berlebihan akan menyebabkan waktu tunggu serta penyerapan biaya tetap (Bagul and Shinde 2019). Dengan demikian, penerapan *line balancing* yang efektif dapat memberikan keunggulan kompetitif yang besar bagi perusahaan. *Line balancing* tidak hanya berfokus pada distribusi tugas yang merata, tetapi juga memperhitungkan faktor-faktor seperti kapasitas masing-masing stasiun kerja, durasi waktu untuk

menyelesaikan setiap tugas, serta perubahan permintaan pasar (Sivasankaran and Shahabudeen 2014).

Namun, penerapan *line balancing* menghadapi berbagai tantangan. Karena itu, penelitian terus dilakukan untuk mengembangkan metode-metode baru dalam *line balancing*, termasuk penerapan otomatisasi dan teknologi berbasis data guna meningkatkan fleksibilitas dan efisiensi yang berkembang dalam konteks produksi modern, *line balancing* tidak hanya melibatkan pembagian tugas secara fisik di stasiun kerja, tetapi juga mempertimbangkan faktor-faktor dinamis seperti kapasitas stasiun, waktu siklus, fluktuasi permintaan, dan integrasi teknologi canggih seperti *Internet of Things (IoT)*, big data, dan *Artificial Intelligence* (Brecher et al. 2021).

Penelitian ini sudah banyak dilakukan di berbagai negara untuk mencari efisiensi terbaik dalam meningkatkan sumber daya serta kualitas dan mengurangi pemborosan. Manfaat dari integrasi ini, Sebagian besar studi yang ada lebih berfokus pada sementara implementasi praktis, tantangan spesifik, serta dampak keberlanjutan masih terbatas dalam literatur. Selain itu, belum ada pendekatan yang sistematis untuk menganalisis pendekatan evaluasi dan tren dalam integrasi *line balancing* di berbagai sektor industri. Hal ini menunjukkan urgensi perlunya kajian literatur sistematis atau *Systematic Literature Review (SLR)* yang dapat menyajikan gambaran menyeluruh tentang perkembangan terkini, tantangan, serta solusi yang relevan dalam penerapan *line balancing* dan rekomendasi kedepannya.

Artikel ini bertujuan mengulas lebih banyak penerapan *line balancing* di industri pada berbagai negara dengan berdasarkan pada tinjauan pustaka yang dipublikasikan. Penggunaan metode yang digunakan pada artikel ini adalah literature review terkait pada artikel-artikel yang membahas penerapan *line balancing* di berbagai negara. Sehingga penerapan ini tidak hanya sebagai penilaian sebuah metrik yang dipandang sebagai strategi, kemudian akan dijadikan sebuah bahasan penting untuk meningkatkan operasional perusahaan sebagai acuan dalam aktivitas kegiatan.

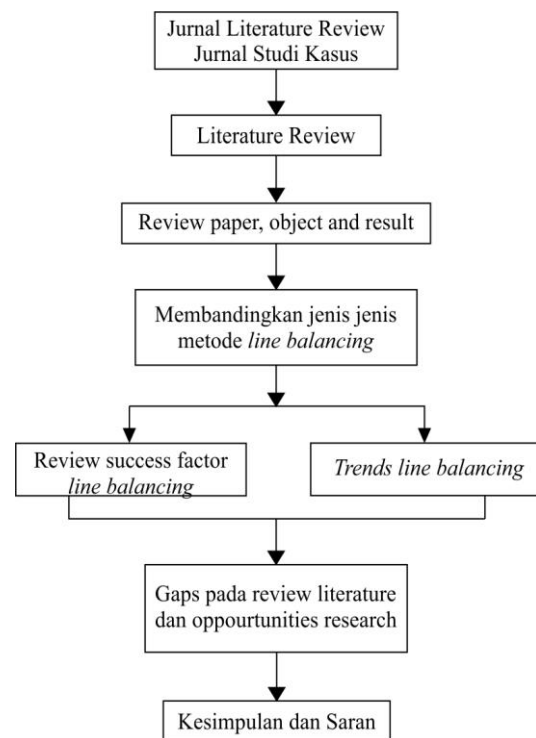
## 2. Metode Penelitian

Selama bertahun-tahun, *line balancing* merupakan teknik yang sudah diterapkan pada metode di berbagai industri dan membantu setiap proses produksi untuk meningkatkan efisiensi, mengoptimalkan aliran produksi, dan mengurangi pemborosan. Namun, hanya sedikit perusahaan yang mengimplementasikan penerapan dari *line balancing* secara efektif sebagai strategi dalam

memperbaiki kelancaran proses produksi. Banyak diantaranya hanya menerapkan elemen *line balancing* dan belum sepenuhnya memanfaatkan *line balancing* dalam kegiatan *lean manufacturing* (Sivasankaran and Shahabudeen 2014).

Makalah ini akan membahas pentingnya implementasi *line balancing* dalam ruang lingkup industri, dimulai dengan kerangka studi dan banyaknya jenis serta metode yang digunakan pada berbagai praktik implementasi *line balancing* di berbagai jenis manufaktur, termasuk hambatan yang dihadapi dan faktor-faktor yang mendukung keberhasilan dan kontribusi dari penerapan *line balancing*.

Literatur mengenai klasifikasi *line balancing* hingga saat ini masih terbatas. Kami melakukan tinjauan terhadap 40 sampel jurnal yang membahas *line balancing*. Artikel ini memberikan ulasan dan gambaran umum tentang berbagai praktik penerapan *line balancing* di berbagai jenis industri manufaktur di seluruh dunia, serta pendekatan praktis dan metode penerapan yang disarankan oleh berbagai peneliti untuk mencapai tingkat keberhasilan yang optimal dan menghindari hambatan yang muncul dalam praktiknya. Selanjutnya, artikel ini membandingkan berbagai perspektif dan memberikan kesimpulan. Informasi lebih lanjut, dapat dilihat pada gambar 1. berikut:



**Gambar 1.** Kerangka Studi  
Sumber : Pengolahan Data

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Ringkasan Jurnal

Berdasarkan peninjauan pencarian literatur terkait pembahasan *line balancing* dalam ruang lingkup industri di berbagai negara dengan mengidentifikasi dan menganalisis studi yang relevan menghasilkan 40 artikel yang dipilih.

Dasar dari pemilihan setiap artikel tersebut yaitu metodeolgi dan jenis yang memiliki konsep dasar dari line balancing serta sesuai dengan tujuan dan hasil yang diinginkan. Sehingga, pemilihan 40 jurnal tersebut adalah dari jurnal nasional maupun jurnal internasional dengan rentang waktu 5 tahun terakhir pada 2019-2024. Hasil pemilihan dari jurnal yang telah dikumpulkan sesuai dengan kriteria, ditunjukkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Ringkasan Artikel *Line Balancing*

No.	Identitas	Tujuan	Hasil Penelitian
1	(Khan et al. 2022)	Penelitian ini bertujuan untuk meminimalkan waktu penyelesaian dan memaksimalkan efisiensi melalui pendekatan heuristik.	Pendekatan heuristik meningkatkan efisiensi lini yang signifikan dan kepuasan pelanggan tercapai dengan mengoptimalkan <i>Total Time</i> , <i>Line Efficiency</i> , dan <i>Customer Satisfaction Index</i> .
2	(Karatepe Mumcu 2024)	Penelitian bertujuan untuk efisiensi lini produksi dan meningkatkan kapasitas produksi.	Metode heuristik mencapai efisiensi lini 93,955%, meningkatkan kapasitas produksi dari 250 menjadi 375 unit. Selain itu, model jaringan mencapai akurasi 99,940%.
3	(Teshome, Meles, and Yang 2024)	Penelitian ini bertujuan untuk menyeimbangkan lini produksi dan meningkatkan kapasitas produksi serta meningkatkan pendapatan.	Penyeimbangan lini dan simulasi Abay output, efisiensi, produktivitas, dan pendapatan meningkat, serta mengurangi biaya tenaga kerja. Output meningkat dari 288 menjadi 381 unit, efisiensi lini naik dari 39,06% menjadi 55,64%.
4	(Oliveira, Prado, and Jesus 2020)	Penelitian ini bertujuan untuk peningkatan efisiensi pada tahap suplai dan pemisahan pada pusat distribusi farmasi dengan klasifikasi ABC untuk penyeimbangan lini.	Peningkatan efisiensi dengan klasifikasi ABC, mencapai peningkatan ergonomis, mengurangi tenaga kerja, meningkatkan ketegasan, dan pengurangan waktu kerja sebesar 25%.
5	(Jirasirilerd et al. 2020)	Penelitian ini bertujuan meminimalkan waktu siklus pada SALBP-2M di industri garmen dengan metode VaNSAS, mempertimbangkan jumlah dan jenis mesin di setiap stasiun kerja.	Metode VaNSAS mengurangi waktu siklus dari 2,00 menit menjadi 1,23 menit, serta meningkatkan efisiensi jalur perakitan dari 41,49% menjadi 70,36%, dengan waktu komputasi lebih rendah.
6	(Bakar et al. 2019)	Penelitian bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dan menyeimbangkan waktu serta mengurangi waktu idle.	Metode heuristik (LCR, RPW, SPT, LPT) mengurangi jumlah stasiun kerja dari 19 menjadi 16-17, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi waktu idle serta <i>balance delay</i> . Diusulkan: Model I dengan perubahan tata letak dan Model II tanpa perubahan tata letak.
7	(Supsombo on 2019)	Penelitian ini berfokus perbaikan proses produksi, dengan mengurangi hambatan dan meningkatkan produktivitas melalui simulasi dan penyeimbangan garis pada pola lilin dan pengecoran.	Penyeimbangan lini dan model simulasi efektif mengurangi kemacetan serta meningkatkan produktivitas dalam produksi, dengan mencapai tingkat produksi target menggunakan pekerja dan mesin minimum.

No.	Identitas	Tujuan	Hasil Penelitian
8	(Çelik and Arslankaya 2023)	Penelitian ini bertujuan untuk memperbaiki masalah keseimbangan jalur perakitan pada perusahaan industri pemasok yang memproduksi kabel.	Waktu siklus dari 170 detik menjadi 142,25 detik dan efisiensi lini dari 82,36% menjadi 98,42%, tanpa perubahan stasiun kerja atau operator. Hasilnya sama, mengurangi waktu tunggu, henti, lembur, dan biaya tenaga kerja.
9	(Kumar and Mishra 2023)	Penelitian ini bertujuan untuk peningkatan efisiensi dan meningkatkan produktivitas lini produksi.	Efisiensi lini produksi meningkat dari 40,5% menjadi 77,09% dengan metode RPW, dan 70,70% dengan metode Kilbridge & Wester Column, meningkatkan produktivitas melalui penyeimbangan lini.
10	(Didden et al. 2023)	Penelitian bertujuan untuk menerapkan pengembangan Genetik Algoritma (GA) otomatisasi penyeimbangan lini perakitan, meningkatkan efisiensi dan mengurangi variasi waktu operasional dibandingkan dengan metode manual.	Genetik Algoritma untuk otomatisasi penyeimbangan lini perakitan, meningkatkan efisiensi dan mengurangi variasi waktu operasional dibandingkan metode manual. GA terbukti efektif sebagai sistem pendukung keputusan yang diterapkan di VDL Nedcar.
11	(Hidayat et al. 2021)	Tujuan dari hasil penelitian ini untuk mengoptimalkan penyeimbangan lini produksi dengan mengurangi jumlah stasiun kerja, meningkatkan efisiensi, dan mengurangi balance delay, sehingga dapat meningkatkan kinerja lini produksi secara keseluruhan.	Jumlah stasiun kerja dari 3 menjadi 2 menggunakan metode <i>Ranked Positional Weight</i> , meningkatkan efisiensi menjadi 62,5%, dan mengurangi <i>balance delay</i> menjadi 37,5%, menunjukkan peningkatan kinerja lini produksi.
12	(Poncotoyo et al. 2020)	Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dan mengidentifikasi metode penyeimbangan lini dengan <i>Ranked Positional Weight</i> , dalam meningkatkan efisiensi lini perakitan dengan mengoptimalkan balance delay, waktu idle, dan output produksi.	Metode <i>Ranked Positional Weight</i> efektif untuk penyeimbangan lini perakitan, dengan efisiensi lini 95,70%, <i>balance delay</i> 4,30%, dan waktu idle 66,84 menit, menghasilkan 5 unit per hari menggunakan 18 stasiun kerja.
13	(Basuki and Cahyani 2020)	Penelitian ini berfokus pada penyelesaian masalah <i>bottleneck</i> pada lini produksi menggunakan metode penyeimbangan lini heuristik.	Metode <i>Region Approach</i> cocok diterapkan dengan efisiensi lini 86%, <i>balance delay</i> 14%, indeks kelancaran 0,80, dan waktu idle total 1,28 menit. Metode ini dipilih karena praktis tanpa kendala operasional,
14	(Kathem et al., 2021)	Tujuan penelitian ini adalah penerapan alat <i>lean manufacturing</i> untuk meningkatkan produktivitas di pabrik sepatu kulit pria 7 (MLSF 7)	Peningkatan produktivitas sebesar 43%, pengurangan waktu <i>non-value-added</i> 36%, pengurangan waktu siklus produksi 31,66%, dan peningkatan produksi sepatu bulanan dari 274 menjadi 393 pasang.
15	(Pham et al. 2023)	Tujuan penelitian ini adalah untuk mengoptimalkan keseimbangan lini dan efisiensi produksi dengan metode <i>Takt Time</i> .	Metode <i>Takt Time</i> mengurangi 9 operator, meningkatkan persentase keseimbangan lini dari 77% menjadi 99%, dan efisiensi keseimbangan lini dari 93% menjadi 99%.
16	(Zhang 2023)	Penelitian ini memiliki tujuan untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas produksi melalui penyeimbangan lini.	Penerapan solusi penyeimbangan lini meningkatkan efisiensi produksi, stabilitas, dan kualitas produk, meskipun ada tantangan dan keterbatasan yang perlu diatasi.

No.	Identitas	Tujuan	Hasil Penelitian
17	(Bongomin et al., 2020)	Penelitian ini berfokus pada peningkatan efisiensi pada lini perakitan menggunakan metode <i>ranked positional weight</i> .	Metode <i>ranked positional weight</i> meningkatkan efisiensi lini menjadi 80,56% tanpa kendala sumber daya, namun kurang efektif pada lini perakitan yang kompleks. rekomendasi optimisasi berbasis simulasi.
18	(Battaia and Dolgui 2022)	Penelitian ini analisis masalah penyeimbangan lini dengan masalah optimisasi lain, serta penerapannya di berbagai industri, perakitan, dan pembongkaran, seperti Industri 4.0, keberlanjutan, dan kustomisasi produk.	Meninjau komprehensif masalah penyeimbangan lini, menyoroti tren hibridisasi dengan masalah optimisasi lain, kemajuan dalam <i>rebalance</i> dan optimisasi robust, serta tren baru terkait Industri 4.0 dan lini produksi fleksibel.
19	(Katirae et al. 2023)	Fokus penelitian ini yaitu <i>Assembly Line Worker Assignment and Rebalancing Problem</i> (ALWARBP), pada integrasi keahlian pekerja, fisik yang dirasakan, dan penggunaan pelatih dalam penyeimbangan lini perakitan.	Pengembangan model matematika dua tujuan untuk penyeimbangan lini perakitan yang mempertimbangkan keahlian pekerja dan upaya fisik yang dirasakan, yang efektif meminimalkan waktu siklus dan penugasan ulang tugas.
20	(Fathi et al. 2019)	Penelitian ini bertujuan untuk penerapan model pemrograman untuk mengoptimalkan konfigurasi lini perakitan dengan waktu stokastik dan batasan, divalidasi melalui studi kasus.	Model lini perakitan lurus maupun berbentuk U dapat memberikan solusi optimal, dengan model U lebih baik untuk meminimalkan jumlah stasiun dan model lurus lebih unggul dalam meminimalkan variasi waktu.
21	(Okayana 2023)	Penelitian ini berfokus pada peningkatan efisiensi dan pencapaian target 80 tiang/hari.	Penelitian ini mengurangi kegiatan NVA dari 14,71% menjadi 4,58% dan menyesuaikan waktu stasiun menjadi kurang dari 15 menit/unit, mencapai target 80 tiang/hari.
22	(Kucukkoc 2020)	Penelitian ini bertujuan untuk mencari masalah pada penyeimbang lini dengan mencoba beberapa metode algoritma.	Masalah penyeimbangan lini pembongkaran dua sisi (TDLBP) dan mengembangkan algoritma genetik (2-GA) unggul metode seperti CPLEX untuk masalah besar.
23	(Dinh et al. 2020)	Penelitian ini bertujuan untuk penyeimbangan lini perakitan di industri meminimalkan waktu siklus, mengurangi jumlah pekerja, dan memaksimalkan efisiensi.	Gabungan algoritma <i>simulated annealing</i> dengan mengoptimalkan waktu siklus, mengurangi jumlah pekerja, dan meningkatkan efisiensi dalam penyeimbangan lini perakitan.
24	(Kim and Kim 2023)	Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan penyeimbangan lini perakitan penugasan kerja campuran dan konsep produksi modular.	Penugasan kerja campuran dalam produksi modular secara signifikan mengurangi waktu produksi dan meningkatkan penyeimbangan lini. Pengurangan waktu 85,7% dengan 41 pekerja dan pengurangan 67,3% dengan hanya 31,7% pekerja yang ditugaskan.
25	(Hazır and Dolgui 2019)	Bertujuan untuk meninjau pendekatan penyeimbangan lini perakitan yang robust, serta memberikan arahan untuk penelitian masa depan dan pentingnya kekokohan dalam optimisasi.	Pendekatan penyeimbangan lini perakitan mengidentifikasi masalah terbuka, dan menyarankan arah penelitian masa depan. Model optimisasi tangguh dan aplikasinya, serta merangkum pendekatan pemodelan dalam literatur.

No.	Identitas	Tujuan	Hasil Penelitian
26	(Gustavo and Sikora 2020)	Penelitian ini berfokus untuk mengkaji masalah integrasi penyeimbangan dan penjadwalan permintaan stokastik lini perakitan model campuran.	Dekomposisi Benders meningkatkan ketangguhan lini perakitan, mengurangi kerja utilitas yang diharapkan, dan efektif untuk instance kecil hingga menengah, dengan peningkatan antara 1,0% hingga 22,0%.
27	(Karas and Ozelik 2021)	Bertujuan untuk membandingkan kinerja algoritma ABC dengan model MILP dalam menyelesaikan ALWARBP, dengan fokus pada efisiensi untuk masalah besar.	Model MILP dan algoritma ABC dapat mencapai solusi optimal untuk instance kecil, namun algoritma ABC lebih unggul pada instance besar dalam kualitas solusi dan waktu komputasi.
28	(Mirzaei et al., 2021)	Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan konfigurasi lini produksi (lini lurus dan berbentuk U) untuk produk tunggal	Konfigurasi lini berbentuk U memiliki laju throughput lebih tinggi dan efisiensi lebih baik, namun waktu throughput lebih lama. Simulasi untuk mempertimbangkan waktu tugas stokastik dalam penyeimbangan lini.
29	(Boysen et al., 2022)	Penelitian ini bertujuan untuk memperbarui survei sebelumnya tentang penyeimbangan lini perakitan (ALB) sejak 2006-2007, mencakup metode, varian masalah, model, dan perkembangan algoritma. dan menggarisbawahi arah penelitian masa depan.	Survei komprehensif tentang penyeimbangan lini perakitan sejak 2006/2007, mengidentifikasi kesenjangan antara penelitian dan praktik, serta merumuskan agenda penelitian masa depan. berfokus pada model gabungan, kustomisasi untuk fase siklus hidup, dan aplikasi pabrik cerdas.
30	(Can and Öner 2021)	Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses produksi, meningkatkan efisiensi lini perakitan dengan metode RPW untuk mengurangi keterlambatan, waktu idle, dan jumlah workstation untuk proses lebih efisien.	Peningkatan efisiensi lini perakitan keseimbangan dari 65% menjadi 91,52%, mengurangi keterlambatan keseimbangan dari 34,62% menjadi 8,47%, dan mengurangi jumlah workstation dari 7 menjadi 5.
31	(Siregar 2020)	Penelitian ini juga bertujuan mengurangi keterlambatan, waktu idle, serta mengoptimalkan indeks pemuluan dengan metode RPW.	Penerapan metode RPW meningkatkan lini produksi, jumlah <i>workstation</i> dari 9 > 8, efisiensi lini 86,09%, menurunkan keterlambatan 13,91%, mengurangi waktu idle dari 10441 menjadi 3286, dan mencapai indeks pemuluan 1418,45.
32	(Bongomin et al., 2020)	Penelitian ini mengkaji <i>assembly line balancing problem</i> (ALBP) pada lini perakitan celana di Southern Range Nyanza Limited (NYTIL) dengan 69 <i>workstation</i> menggunakan optimisasi berbasis simulasi (SBO).	Peningkatan throughput rata-rata sebesar 30% untuk penyeimbangan lini lokal optimal dan 55% untuk penyeimbangan lini global optimal, dengan pengurangan waktu siklus sebesar 23% dan 36%.
33	(Pulansari and Isna 2023)	Tujuan penelitian untuk optimalkan penyeimbangan lini produksi dengan metode Ranked Positional Weight (RPW) untuk efisiensi linimengurangi keterlambatan keseimbangan, dan meminimalkan waktu idle, perbandingan metode lainnya.	Metode RPW paling efisien untuk penyeimbangan lini produksi dengan efisiensi lini 96,67%, keterlambatan keseimbangan 3,33%, dan waktu <i>idle</i> total 4936,8 detik menggunakan 15 <i>workstation</i> , mengungguli metode LCR dan J-Wagon.

No.	Identitas	Tujuan	Hasil Penelitian
34	(Sawal and Hamzah 2020)	Penelitian ini mengkaji lini produksi untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi waktu idle dalam pengolahan udang menggunakan metode heuristik.	Penerapan metode RPW meningkatkan efisiensi lini dari 25,48% menjadi 83,33%, mengurangi keterlambatan keseimbangan, dan waktu idle, serta meningkatkan kapasitas produksi dari 521,23 kg menjadi 1.022 kg.
35	(Ahmed et al. 2020)	Tujuan penelitian di atas adalah untuk meningkatkan produktivitas dengan metode <i>Ranked Positional Weight</i> (RPW) untuk meningkatkan efisiensi penyeimbangan lini, mengurangi <i>workstation</i> , mengurangi waktu idle, menurunkan kebutuhan tenaga kerja.	Metode RPW meningkatkan produktivitas dengan peningkatan produksi dari 990 menjadi 1000 potong per hari, <i>workstation</i> dari 62 menjadi 28, efisiensi lini 37,69% menjadi 83,45%, dan tenaga kerja dari 62 menjadi 54.
36	(Brás and Moura 2021)	Penelitian ini bertujuan untuk merancang layout lini produksi meningkatkan kinerja lini produksi dalam hal waktu produksi, dibandingkan dengan metode lainnya.	Pendekatan <i>Production Line Balancing</i> (PLB), BM lebih efektif dalam merancang layout lini produksi, dengan kinerja lebih baik dalam waktu produksi, efisiensi lini, keterlambatan keseimbangan, dan indeks pemulusan dibandingkan (EM) & (SLP).
37	(Lopes et al. 2019)	Tujuan penelitian di atas adalah untuk mengembangkan model Mixed-Integer Linear Programming dan Algoritma Benders' Decomposition yang lebih efektif	Penyelesaian masalah <i>Multi-manned Assembly Line Balancing</i> , mencapai 117 solusi optimal dari 131 instance, dengan 42 solusi optimal baru serta perbaikan dalam kualitas solusi dan waktu pemrosesan.
38	(Yilmazlar et al. 2020)	Penelitian ini mengkaji masalah penyeimbangan lini perakitan (ALB) bertujuan mengoptimalkan alokasi tugas menggunakan pemrograman integer dan metode metaheuristik untuk meningkatkan efisiensi produksi.	Metode pemrograman integer dan metaheuristik meningkatkan penyeimbangan lini perakitan dibandingkan sistem saat ini, dengan pengurangan <i>workstation</i> masing-masing 19% dan 8%, serta peningkatan <i>throughput</i> per jam.
39	(Sarmah and Gogoi 2019)	Penelitian ini mengkaji penyeimbangan lini perakitan dan teknik optimasi untuk meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam proses manufaktur.	Identifikasi berbagai teknik optimasi lini perakitan, seperti model simulasi, algoritma genetika, algoritma PSO, dan penggunaan Yamazumi Charts, yang meningkatkan produktivitas dan efisiensi.
40	(Fathi et al. 2024)	Penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran literatur yang ada, mengidentifikasi gaps penelitian, dan membimbing praktisi di industri manufaktur menuju strategi jalur perakitan yang efektif.	Mengidentifikasi jalur perakitan manusia dan robot tren dan kontribusi dalam bidang ini, dengan fokus pada tujuan umum seperti meminimalkan waktu siklus, biaya total, dan konsumsi energi.

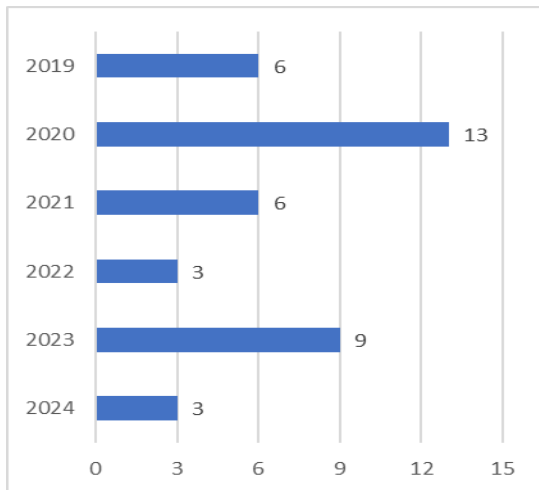
Sumber: Pengolahan data

Berikut ini adalah gambaran umum terkait penerapan *line balancing* di berbagai industri pada beberapa negara dari 40 jurnal yang ada dalam pembahasan detail. Dalam tabel tersebut menampilkan hasil dari penerapan setiap artikel yang membahas bagaimana meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan. Tabel ini

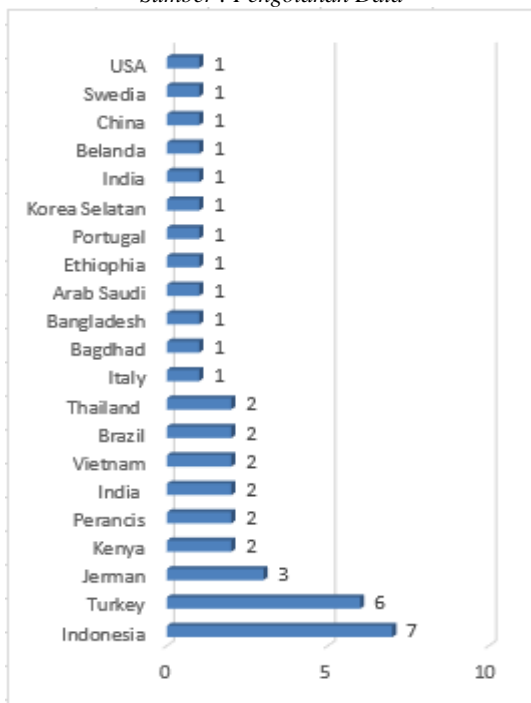
menyajikan metode dan berbagai macam jenis dari penerapan metode *line balancing*.

*Line balancing* merupakan metode yang digunakan pada suatu proses produksi dengan membagi secara merata beban kerja pada stasiun kerja di bagian lini produksi. Berdasarkan literatur yang beredar mengidentifikasi penetapan stasiun kerja dengan meminimalkan jumlahnya

dan memaksimalkan tingkat produksi dengan memerhatikan dari siklus waktu kerja dan biaya peralatan (Bagul and Shinde 2019). Artikel ini akan menyajikan penjelasan menyeluruh mengenai metode-metode yang sering diterapkan di berbagai negara dalam penerapan line balancing.



**Gambar 2.** Tahun Publikasi  
Sumber : Pengolahan Data



**Gambar 3.** Asal Negara Penulis  
Sumber : Pengolahan Data

Gambar 2 menggambarkan publikasi yang dipilih berdasarkan rentang lima tahun, dengan tahun publikasi yang terbanyak pada tahun 2020 (13 artikel) dan 2023 (9 artikel). Tahun 2019 dan 2021 masing-masing memiliki 6 artikel,

sedangkan tahun 2022 dan 2024 memiliki 3 artikel.

Gambar 3 menunjukkan bahwa Indonesia merupakan salah satu negara yang paling banyak melakukan penelitian terkait *line balancing*, dengan kontribusi sebesar 17,5% dari sampel yang diambil, diikuti oleh Turkey (15%), Jerman (7,5%) dan negara lainnya masing-masing menyumbang 5% dan 2,5%.

Dengan menganalisis sampel 40 jurnal ini, kita dapat menentukan variabel yang paling sesuai untuk diterapkan di organisasi kita dan memprediksi metode serta hasil yang dapat dicapai. Mengingat setiap negara memiliki cara kerja yang berbeda namun memiliki tujuan yang sama seperti meningkatkan efisiensi dan memaksimalkan produktivitas, hal ini tentu mempengaruhi dari program *line balancing*. Literatur ini akan memberikan wawasan mendalam mengenai variabel-variabel yang umum digunakan di negara-negara tersebut. Penjelasan lebih rinci dapat dilihat pada bagian pembahasan selanjutnya.

### 3.2. Implikasi Penerapan *Line Balancing*

*Line balancing* merupakan praktik penting dalam manufaktur yang berdampak signifikan pada efisiensi produksi, kualitas, dan kinerja operasional secara keseluruhan. Implikasi dari praktik *line balancing* yang efektif bersifat multifaset dan dapat mengarah pada peningkatan substansial dalam berbagai industri. Salah satu implikasi utama *line balancing* adalah peningkatan efisiensi produksi. Misalnya, penerapan teknik seperti *Value Stream Mapping* (VSM) dan *Ranked Positional Weight* (RPW) telah terbukti meningkatkan waktu tunggu dan pengiriman tepat waktu dalam pengaturan manufaktur. Sebuah studi dalam industri pertahanan menunjukkan bahwa teknik ini dapat mengurangi waktu tunggu hingga 50% dan meningkatkan pengiriman tepat waktu hingga 15% dalam industri camshaft di India (Achmad, Harsanto, and Yunani 2023). Hal ini sejalan dengan temuan yang menunjukkan bahwa lini perakitan yang seimbang menghasilkan efisiensi yang lebih tinggi ketika kendala sumber daya tidak ada (Achmadi et al. 2023).

Penerapan *line balancing* di sektor industri merupakan strategi penting yang bertujuan untuk mengoptimalkan efisiensi produksi, mengurangi biaya, dan meningkatkan produktivitas secara keseluruhan. Pendekatan sistematis ini melibatkan alokasi tugas ke stasiun kerja dengan cara yang meminimalkan waktu menganggur dan memaksimalkan pemanfaatan sumber daya (Ahmad 2024; Marzoog, Al-Zubaidy, and Al-Duroobi 2020).

### 3.3. Review Success Factor Line Balancing

Literatur *line balancing* yang disajikan dalam makalah ini merangkum beberapa kriteria keberhasilan dalam menerapkan *line balancing* di berbagai industri. Keberhasilan penerapan *line balancing* tergantung pada beberapa faktor kunci. Efisiensi lini produksi yang tinggi menunjukkan distribusi pekerjaan yang baik antar stasiun. Pengurangan waktu idle dan biaya produksi juga menunjukkan penurunan pemborosan dan peningkatan produktivitas. Kapasitas produksi yang lebih tinggi tercapai dengan pembagian beban kerja yang merata. Selain itu, waktu siklus yang lebih singkat mempercepat proses produksi, sementara kepuasan karyawan meningkat karena beban kerja yang lebih seimbang. Kualitas produk juga terjaga dengan penyeimbangan yang tepat, sementara fleksibilitas sistem memungkinkan penyesuaian dengan perubahan permintaan. Efisiensi dalam pengelolaan waktu dan sumber daya juga penting, dan dukungan pekerja dan manajemen sangat mempengaruhi keberhasilan implementasi. Semua ini saling mendukung untuk mencapai sistem produksi yang lebih efisien dan produktif.

### 3.4. Trends Line Balancing

Tren *line balancing* di industri terus berkembang dengan tujuan meningkatkan efisiensi dan mengurangi pemborosan. Penggunaan automasi dan teknologi cerdas, seperti robot dan AI, membantu mengoptimalkan pembagian tugas, sementara sensor cerdas memantau kinerja mesin secara langsung. Metode seperti algoritma genetika dan pemrograman dinamis diterapkan untuk meningkatkan efisiensi. Penerapan prinsip *lean manufacturing* bertujuan mengurangi waktu setup dan pemborosan. Selain itu, integrasi dengan teknologi Industri 4.0, seperti IoT dan big data, memungkinkan pemantauan serta optimasi produksi secara real-time. Data yang dikumpulkan dari sensor di mesin digunakan untuk menganalisis dan memecahkan masalah produksi dengan lebih cepat. Fokus utama dalam penerapan *line balancing* adalah mengurangi waktu idle di setiap *workstation*, serta memastikan peningkatan kinerja produksi yang berkelanjutan berperan penting dalam keberhasilan *line balancing*, yang pada akhirnya meningkatkan produktivitas dan efisiensi.

### 3.5. Opportunities & Gaps Research for Line Balancing

Literatur *line balancing* yang dibahas banyak membahas dalam pencapaian dan tujuan pada penerapan metode untuk di ruang lingkup industri. Namun, dalam pembahasannya tidak menjelaskan bagaimana metode pengumpulan data dilakukan dan menggunakan apa saja alat yang digunakan. Saat ini, data dapat dikumpulkan secara lebih efisien dengan bantuan jaringan internet yang sudah dikenal dalam Industri 4.0 yang segala informasinya bisa didapatkan secara *real-time*.

Revolusi Industri 4.0 adalah terobosan besar dalam sektor manufaktur yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk meningkatkan efisiensi, menciptakan model bisnis digital, dan mengoptimalkan proses seperti *line balancing*. Dengan mengintegrasikan teknologi ini, proses *line balancing* dapat lebih efisien, mengurangi pemborosan, dan meningkatkan kinerja produksi secara keseluruhan, yang diperkirakan akan membawa banyak perubahan dalam industri.

Pemanfaatan *big data* dan *Internet of Things* (IoT), produsen dapat mengumpulkan dan menganalisis data kinerja dari lini perakitan mereka, yang memungkinkan peningkatan berkelanjutan dalam praktik *line balancing*. Pendekatan berbasis data ini memungkinkan penyesuaian cepat dilakukan sebagai respons terhadap varians produksi, yang memastikan bahwa lini perakitan tetap seimbang dan efisien (Teixeira 2023).

## 4. Kesimpulan

Industri semakin berkembang dan semakin memiliki daya saing yang tinggi hingga kompetitif di setiap sektor. Arah optimalisasi saat ini sudah berbasis teknologi mempunyai peran yang penting di berbagai sektor industri dalam efisiensi lini proses produksi dan peningkatan produktivitas. Review yang dihasilkan dari 40 artikel didapatkan bahwa efisiensi lini dan peningkatan produktivitas serta pengurangan pemborosan merupakan sebuah kunci keberhasilan dari penerapan *line balancing*. *Line balancing* sebuah proses penataan beban kerja yang merata dan merupakan sebuah metode untuk menghilangkan hambatan. Metode ini diterapkan pada konsep *lean manufacturing* yang sangat berguna untuk meningkatkan efisiensi lini pada industri. Penerapan *line balancing* juga dapat mengidentifikasi keseimbangan pada proses produksi yang berguna untuk mengurangi pemborosan sehingga dapat diidentifikasi permasalahan yang ada. Penerapan *line balancing*

sangat penting untuk diintegrasikan mengikuti teknologi ini, yang diperkirakan akan membawa banyak perubahan dalam industri.

### Daftar Referensi

- Achmadi, Fandi, Budi Harsanto, and Akhmad Yunani. 2023. "Improvement of Assembly Manufacturing Process Through Value Stream Mapping and Ranked Positional Weight: An Empirical Evidence From the Defense Industry." *Processes* 11(5):1334.
- Agrawal, Manoj Kumar. 2021. "Applications of Just in Time in Manufacturing Industry." *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1116(1):012085.
- Ahmad, Aida H. 2024. "A Comprehensive Review: Analysing the Pros and Cons of Assembly Line Balancing Methods." *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology* 44(2):72–88.
- Ahmed, T., N. Sakib, R. M. Hridoy, and A. T. Shams. 2020. "Application of Line Balancing Heuristics for Achieving an Effective Layout : A Case Study." *International Journal of Research in Industrial Engineering* 9(2):114–29.
- Arifin, Mohamad Hafizdudin bin Tajul, and W. Rahman. 2020. "Process Improvement at Automotive Assembly Line Using Line Balancing and Lean Manufacturing Approach." *Applied Mechanics and Materials* 899:268–74.
- Bagul, Hrishikesh N., and Dnyandeo Shinde. 2019. "A Review on Assembly Line Balancing." *Journal of Emerging Technologies and Innovative Research (JETIR)* 6(4):233–35.
- Bakar, Nurhanani Abu, Mohammad Fadzli Ramli, Mohd Zakimi Zakaria, Tan Chan Sin, and Hafiz Masran. 2019. "Solving Assembly Line Balancing Problem Using Heuristic: A Case Study of Power Transformer in Electrical Industry." *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science* 17(2):850–57.
- Basuki, Ari, and Andharini Dwi Cahyani. 2020. "Metode Line Balancing Heuristik Untuk Penyelesaian Masalah Terjadinya Bottleneck Pada Lintasan Produksi." *Rekayasa* 13(3):317–23.
- Battaia, Olga, and Alexandre Dolgui. 2022. "Hybridizations in Line Balancing Problems: A Comprehensive Review on New Trends and Formulations." *International Journal of Production Economics* 250(November).
- Bongomin, Ocident, Igadwa Josphat Mwasiagi, Eric Oyondi Nganyi, and Ildephonse Nibikora. 2020. "A Complex Garment Assembly Line Balancing Using Simulation-Based Optimization." *Engineering Reports*.
- Bongomin, Ocident, Josphat I. Mwasiagi, Eric O. Nganyi, and Ildephonse Nibikora. 2020. "Improvement of Garment Assembly Line Efficiency Using Line Balancing Technique." *Engineering Reports* 2(4).
- Boysen, Nils, Philipp Schulze, and Armin Scholl. 2022. "Assembly Line Balancing : What Happened in the Last Fifteen Years ?" *European Journal of Operational Research* 301(3):797–814.
- Brás, Marlene, and Ana Moura. 2021. "A Layout Design Using a Production Line Balancing Approach." *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management: IEOM Society International* 830–41.
- Brecher, Christian, Aleksandra Müller, Yannick Dassen, and Simon Storms. 2021. "Automation Technology as a Key Component of the Industry 4.0 Production Development Path." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 117(7–8):2287–95.
- Can, Esra, and Adalet Öner. 2021. "Analysis and Balancing of Assembly Line in a Machine Molding Factory." *International Advanced Researches and Engineering Journal* 05(01):87–96.
- Çelik, Miraç Tuba, and Seher Arslankaya. 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 (Kuwait)* 11(3):182–91.
- Didden, J. B. H. C., E. Lefeber, I. J. B. F. Adan, and I. W. F. Panhuijzen. 2023. "Genetic Algorithm and Decision Support for Assembly Line Balancing in the Automotive Industry." *International Journal of Production Research*

- 61(10):3377–95.
- Dinh, Mai Huong, Viet Dung Nguyen, Van Long Truong, Phan Thuan Do, Thanh Thao Phan, and Duc Nghia Nguyen. 2020. "Cycle Time Enhancement by Simulated Annealing for a Practical Assembly Line Balancing Problem." *Informatica* 44:127–38.
- Fathi, Masood, Amir Nourmohammadi, Amos H. C. Ng, and Anna Syberfeldt. 2019. "An Optimization Model for Balancing Assembly Lines with Stochastic Task Times and Zoning Constraints." *IEEE Access* 7:32537–50.
- Fathi, Masood, Arash Sepehri, Morteza Ghobakhloo, Mohammad Iranmanesh, and Ming Lang Tseng. 2024. "Balancing Assembly Lines with Industrial and Collaborative Robots: Current Trends and Future Research Directions." *Computers and Industrial Engineering* 193(May):110254.
- Gustavo, Celso, and Stall Sikora. 2020. "Benders' Decomposition for the Balancing of Assembly Lines with Stochastic Demand." *European Journal of Operational Research*.
- Hazır, Oncu \_\_, and Alexandre Dolgui. 2019. "A Review on Robust Assembly Line Balancing Approaches." *IFAC PapersOnLine* 52(13):987–91.
- Heizer, Jay, Barry Render, and Chuck Munson. 2017. "Operations Management: Sustainability and Supply Chain Management." P. 918 in *Pearson*. Pearson.
- Hidayat, Rachmad, Shofi Fitrotis Salimah, Moh Jufriyanto, and M. Firman Khaqiqi. 2021. "Line Balancing Analysis of Hollow Dakota 1730 Manufacturing Process in PT XYZ." *E3S Web of Conferences* 328.
- Islam, Md. S., Shipra Sarker, and M. S. Parvez. 2019. "Production Efficiency Improvement by Using Tecnomatix Simulation Software and RPWM Line Balancing Technique: A Case Study." *American Journal of Industrial and Business Management* 09(04):809–20.
- Jirasirilerd, Ganokgarn, Rapeepan Pitakaso, Kanchana Sethanan, Sasitorn Kaewman, Worapot Sirirak, and Monika Kosacka-Olejnik. 2020. "Simple Assembly Line Balancing Problem Type 2 by Variable Neighborhood Strategy Adaptive Search: A Case Study Garment Industry." *Journal of Open Innovation: Technology, Market, and Complexity* 6(1).
- Karas, Aslihan, and Feristah Ozcelik. 2021. "Computers & Industrial Engineering Assembly Line Worker Assignment and Rebalancing Problem : A Mathematical Model and an Artificial Bee Colony Algorithm." *Computers & Industrial Engineering* 156(February):107195.
- Karatepe Mumcu, Yelda. 2024. "Solution Approach Using Heuristic and Artificial Neural Networks Methods in Assembly Line Balancing Problems: A Case Study in the Lighting Industry." *Heliyon* 10(5):e26950.
- Kathem, Ayat Sabah, Ass. Prof. Dr. Luma A. H. Al-Kindi, and Ass. Prof. Zainab Al-Baldawi. 2021. "Integration of Lean Concepts and Line Balancing Focusing on Value Adding Activities." *Design Engineering* (6):6263–75.
- Katirae, Niloofar, Martina Calzavara, Serena Finco, Olga Battaia, and Daria Battini. 2023. "Assembly Line Balancing and Worker Assignment Considering Workers' Expertise and Perceived Physical Effort." *International Journal of Production Research* 61(20):6939–59.
- Khan, Abdul Salam, Razaullah Khan, Waqas Saleem, Bashir Salah, and Soliman Alkhatib. 2022. "Modeling and Optimization of Assembly Line Balancing Type 2 and E (SLBP-2E) for a Reconfigurable Manufacturing System." *Processes* 10(8).
- Kim, Minsuk, and Sungmin Kim. 2023. "Effects of Step-by-Step Line Balancing in Apparel Assembly Line." *Journal of Engineered Fibers and Fabrics* 18:1–10.
- Kucukkoc, Ibrahim. 2020. "Computers and Operations Research Balancing of Two-Sided Disassembly Lines : Problem Definition , MILP Model and Genetic Algorithm Approach." *Computers and Operations Research* 124:105064.
- Kumar Sidar, Tilesh, and Sandeep Kumar Mishra. 2023. "Small Scale Industry for Improvement of Production Rate With Line Balancing-a Case Study." *International Journal of Progressive Research in Engineering Management and Science*

(*Ijprems*) 03:168–77.

- Lopes, Thiago Cantos, Celso Gustavo, Stall Sikora, and Adalberto Sato Michels. 2019. "An Iterative Decomposition for Asynchronous Mixed-Model Assembly Lines : Combining Balancing , Sequencing , and Buffer Allocation." *International Journal of Production Research* 7543.
- MacKelprang, Alan W., and Anand Nair. 2010. "Relationship between Just-in-Time Manufacturing Practices and Performance: A Meta-Analytic Investigation." *Journal of Operations Management* 28(4):283–302.
- Marzoog, Rasha J., Sawsan S. Al-Zubaidy, and Ahmed A. A. Al-Duroobi. 2020. "Study the Effect of Machine Efficiency in Production Lines Balancing." *Engineering and Technology Journal* 38(9):1283–92.
- Mirzaei, N., M. G. Nejad, and N. O. Fernandes. 2021. "Combining Line Balancing Methods and Discrete Event Simulation : A Case Study from a Metalworking Company." *International Journal of Industrial Engineering and Management* 12(1):14–24.
- Okayana, Andika. 2023. "Evaluation on Production Flow Using Line Balancing Method to Increase the Production Capacity of Spun Pile at PT. Adhi Persada Beton Plant Mojokerto - East Java." *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management* (2):2399–2408.
- Oliveira, N. P., D. G. O. Prado, and R. H. G. Jesus. 2020. "Use of the ABC Curve in Medicine Line Balancing: A Case Study at a Brazilian Pharmaceutical Distribution Center." *International Journal of Production Management and Engineering* 8(1):13–19.
- Pertiwi, Asariella F. O., and Rahmanyah D. Astuti. 2020. "Increased Line Efficiency by Improved Work Methods With the ECRS Concept in a Washing Machine Production: A Case Study." *Jurnal Sistem Dan Manajemen Industri* 4(1):13–29.
- Pham, Cao Van, Thanh Truc Tra, Hoang Manh Cuong Vu, Huu Cong Tu, and Trong Cang Vo. 2023. "Increasing Line Efficiency By Using Line Balancing In A Steel Manufacturing Company." *Journal of Science and Technology* 6(2).
- Poncotoyo, Wahyu, Sesaria Mardhiani, Rachma Puspita, Muammar Fuad Zain, and Sita Anisah Sholihah. 2020. "Penerapan Metode Line Balancing Dengan Pendekatan Ranked Position Weight, Regional Approach, Dan Largest Candidate Rules." *Jurnal Sistem Transportasi & Logistik* 2(1):32–38.
- Pulansari, Farida, and Nugraha Isna. 2023. "Analysis of Line Balancing Using Ranked Positional Weight (RPW), Largest Candidate Rule (LCR), and J-Wagon Methods in Crane Girder Production at PT MHE Demag Surabaya, Indonesia." *Technium: Romanian Journal of Applied Sciences and Technology* 16:341–49.
- Sarmah, Richa Rashmi, and Debashish Gogoi. 2019. "A Review on Assembly Line Balancing." *Intenational Journal of Advanced Research (IJAR)* 7(9):465–70.
- Sawal, Ahmad, and Ainun Jariah Hamzah. 2020. "Application of Line Balancing Using the Heuristic Method to Equalize the Production Line at PT.Bogatama Marinusa Makassar." *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 1–8.
- Siregar, Ikhsan. 2020. "Application of Ranked Positional Weights Method in Springbed Production Line Balancing." *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 0–6.
- Sivasankaran, P., and P. Shahabudeen. 2014. "Literature Review of Assembly Line Balancing Problems." *International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 73(9–12):1665–94.
- Supsomboon, Srisawat. 2019. "Simulation for Jewelry Production Process Improvement Using Line Balancing: A Case Study." *Management Systems in Production Engineering* 27(3):127–37.
- Teixeira, Ricardo L. P. 2023. "Exploring Sustainable Human Manufacturing: Industry 4.0, Manufacturing, and Green Marketing for a Balanced Future." *Concilium* 23(15):772–90.
- Teshome, Melkamu Mengistnew, Tamrat Yifter Meles, and Chao Lung Yang. 2024. "Productivity Improvement through Assembly Line Balancing by Using Simulation Modeling in Case of Abay Garment Industry Gondar." *Heliyon*

10(1):e23585.

Yilmazlar, I. Ozan, Adarsh Jeyes, Alexis Fiore, Apurva Patel, Chelsea Spence, Chase Wentzky, Nicole Zero, Mary E. Kurz, Joshua D. Summers, and Kevin M. Taaffe. 2020. "A Case Study in Line Balancing and Simulation." *Procedia Manufacturing* 48:71–81.

Zhang, Yuanliang. 2023. "Line Balancing Studies in Chinese Manufacturing Enterprises." *Academic Journal of Management and Social Sciences* 4(3):7–9.