

## Optimasi *Line Balancing PCB* Televisi *LCD* dengan *Lean Manufacturing* dan *RPW*

Solihin<sup>\*1</sup>, Rifki Muhendra<sup>2</sup>, Murwan Widyantoro<sup>3</sup>, Al Munawir<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> Universitas Bhayangkara Jakarta Raya; Jalan Raya Perjuangan Bekasi

<sup>4</sup>Jurusan Mesin, FTEKNIK UTU, Meulaboh

e-mail: \*[solihin@dsn.ubharajaya.ac.id](mailto:solihin@dsn.ubharajaya.ac.id), [rifki.muhendra@dsn.ubharajaya.ac.id](mailto:rifki.muhendra@dsn.ubharajaya.ac.id),

[murwan@dsn.ubharajaya.ac.id](mailto:murwan@dsn.ubharajaya.ac.id), [almunawir@utu.ac.id](mailto:almunawir@utu.ac.id)

### Abstrak

*Industri manufaktur elektronik, khususnya produksi Printed Circuit Board (PCB) televisi LCD, membutuhkan sistem produksi yang efisien guna memenuhi target output dan meningkatkan produktivitas tenaga kerja. Permasalahan utama yang sering muncul adalah ketidakseimbangan lini produksi, ditandai oleh bottleneck, idle time, dan distribusi beban kerja yang tidak merata. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan line balancing pada PCB televisi LCD Model P14xx melalui integrasi metode Ranked Positional Weight (RPW) dan Lean Manufacturing. Metode meliputi analisis kondisi awal, identifikasi pemborosan, serta optimasi alokasi kerja berbasis precedence. Hasil menunjukkan peningkatan efisiensi lini dari 69% menjadi 82%, penurunan balance delay dari 31% menjadi 18%, pengurangan stasiun kerja, serta peningkatan produktivitas tenaga kerja. Penelitian ini memiliki kebaruan karena belum ada studi di Indonesia yang mengintegrasikan Lean dan RPW pada lini PCB televisi LCD.*

**Kata kunci** – *Line balancing, Ranked Positional Weight, Lean Manufacturing, Efisiensi lini, Produktivitas*

### Abstract

*The electronics manufacturing industry, particularly in the production of Printed Circuit Boards (PCBs) for LCD televisions, requires an efficient production system to meet output targets and improve labor productivity. A common issue is line imbalance, characterized by bottlenecks, idle time, and uneven workload distribution across workstations. This study aims to optimize line balancing for the PCB production of LCD television Model P14xx through the integration of the Ranked Positional Weight (RPW) method and Lean Manufacturing approach. The methodology includes initial condition analysis, waste identification, and workload optimization based on precedence relationships. The results show an increase in line efficiency from 69% to 82%, a reduction in balance delay from 31% to 18%, a decrease in the number of workstations, and an improvement in labor productivity. This study offers novelty, as no prior research in Indonesia has integrated Lean and RPW in LCD TV PCB production lines.*

**Keywords** - *Line balancing, Ranked Positional Weight, Lean Manufacturing, Line efficiency, Productivity*

## 1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur elektronik, khususnya pada produksi *Printed Circuit Board (PCB)* televisi *LCD*, dituntut memiliki sistem produksi yang efisien dan mampu memenuhi target output secara konsisten. Salah satu aspek penting dalam mencapai kinerja optimal adalah keseimbangan lini produksi (*line balancing*), yang bertujuan mendistribusikan beban kerja secara merata antar stasiun kerja guna meminimalkan *idle time* dan menghindari *bottleneck*. Konsep ini terbukti berperan penting dalam meningkatkan efisiensi, utilisasi sumber daya, serta *throughput* produksi. Penelitian terbaru juga menunjukkan bahwa *line balancing* mampu meningkatkan efisiensi lini dan menurunkan biaya operasional melalui integrasi keputusan produksi secara sistematis [1].

Pada lini produksi *PCB* televisi *LCD* Model P14XX di PT XYZ, ditemukan ketidakseimbangan beban kerja dengan variasi waktu siklus antara 5 hingga 18 detik dan nilai *takt time* sebesar 18 detik. Beberapa stasiun kerja memiliki waktu proses mendekati batas maksimum sehingga berpotensi menjadi *bottleneck* yang menghambat aliran produksi. Kondisi ini sejalan dengan penelitian terkini yang menunjukkan bahwa ketidakseimbangan lini menyebabkan *idle time* tinggi, variasi beban kerja, serta penurunan efisiensi sistem produksi. Selain itu, meskipun efisiensi produksi tinggi, produktivitas tenaga kerja masih rendah, yang mengindikasikan distribusi beban kerja belum optimal [2].

Berbagai metode telah dikembangkan untuk mengatasi permasalahan *line balancing*, di antaranya metode heuristik seperti *Ranked Positional Weight (RPW)* yang mampu mengoptimalkan distribusi elemen kerja berdasarkan bobot posisi [3], serta pendekatan *Lean Manufacturing* yang berfokus pada eliminasi pemborosan dan peningkatan aliran proses produksi [4],[5]. Studi terbaru menunjukkan bahwa penerapan *RPW* mampu meningkatkan *line efficiency* secara signifikan serta menurunkan *idle time* dan *balance delay* dalam sistem produksi [6]. Lebih lanjut, penelitian terkini menunjukkan bahwa tren pengembangan *line balancing* mengarah pada pendekatan integratif atau hybrid, di mana pengambilan keputusan produksi dilakukan secara simultan untuk meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan dan menghasilkan penghematan biaya yang signifikan [1].

Namun demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya masih menerapkan *Lean Manufacturing* dan *RPW* secara terpisah atau pada sektor industri yang berbeda, serta belum spesifik pada lini produksi *PCB* televisi *LCD*. Oleh karena itu, penelitian ini mengusulkan integrasi *Lean Manufacturing* dan *RPW* dalam optimasi *line balancing*. Novelty penelitian ini terletak pada belum adanya penelitian yang mengintegrasikan *Lean* dan *RPW* pada lini *PCB* televisi *LCD* di Indonesia, sehingga diharapkan dapat memberikan kontribusi ilmiah dan praktis dalam peningkatan efisiensi serta produktivitas industri manufaktur elektronik nasional.

## 2. METODE PENELITIAN

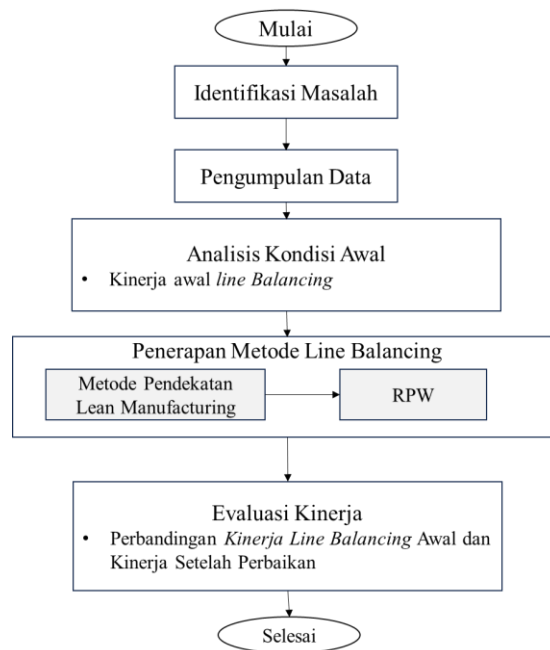
### 2.1 Kerangka Penelitian

Kerangka penelitian disusun untuk menggambarkan alur sistematis dalam menyelesaikan permasalahan ketidakseimbangan lini produksi *PCB* televisi *LCD*. Penelitian ini mengintegrasikan pendekatan analisis kondisi awal, penerapan metode heuristik (*Largest Candidate Rule* dan *Ranked Positional Weight*), serta pengembangan metode hybrid untuk memperoleh solusi optimasi yang optimal (Gambar 1).

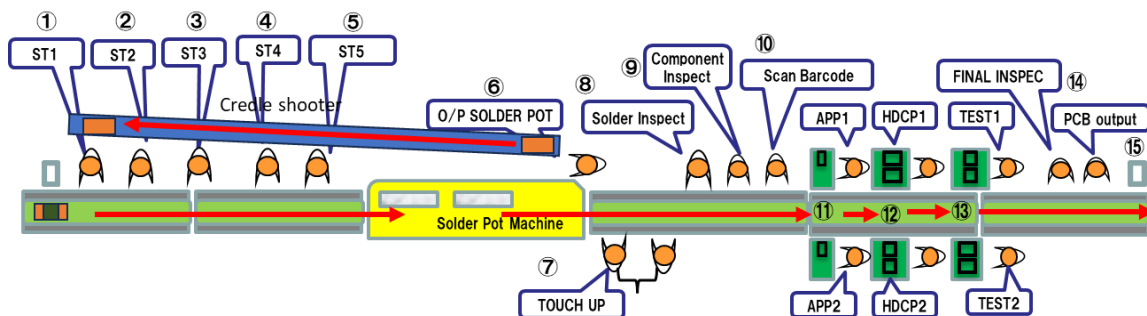
#### 2.1.1 Pengumpulan Data

Tahap pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang akurat terkait kondisi aktual lini produksi *PCB* televisi *LCD* sebelum dilakukan perbaikan (Gambar 2 dan 3). Data yang dikumpulkan meliputi waktu proses (*cycle time*) pada setiap stasiun kerja, jumlah stasiun kerja, urutan proses produksi, jumlah tenaga kerja, serta parameter produksi lainnya. Berdasarkan data yang diperoleh, lini produksi terdiri dari 15 stasiun kerja dengan waktu siklus yang bervariasi

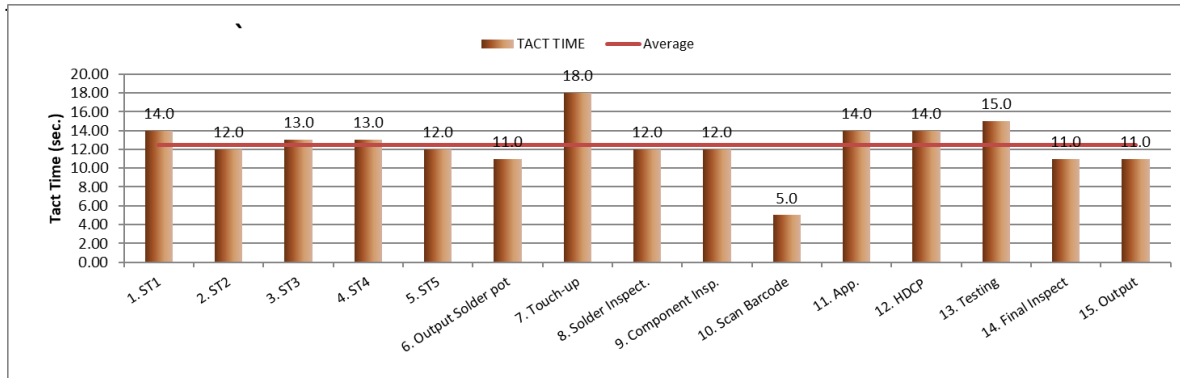
antara 5 detik hingga 18 detik. Data waktu siklus ini diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap aktivitas kerja pada masing-masing stasiun, yang mencakup proses seperti input station, stuffing, soldering, inspection, hingga proses pengujian dan *final inspection*. Data terkait parameter produksi, seperti waktu kerja efektif sebesar 7,75 jam per hari, jumlah tenaga kerja sebanyak 19 orang, serta kapasitas output maksimum sebesar 1.550 unit per hari. Nilai *takt time* yang digunakan dalam sistem produksi ini adalah sebesar 18 detik, diambil berdasarkan nilai *cycle time* terlama. Data lain yang diperoleh adalah nilai produktivitas tenaga kerja sebesar 10,5 set per orang, yang digunakan sebagai indikator awal dalam mengevaluasi kinerja sistem produksi (Tabel 1.).



Gambar 1 Kerangka Penelitian



Gambar 2 Diagram Alir Proses Produksi PCB Sebelum Perbaikan



Gambar 3. Diagram Yamazumi untuk Produksi PCB Model P14xx Sebelum Perbaikan

### 2.1.2 Parameter dan Rumus Perhitungan

Untuk mengevaluasi kinerja line balancing, digunakan beberapa parameter utama dikutip dari beberapa referensi sebagai berikut [3], [5], [7], [8].

#### a. Cycle Time (CT)

CT adalah waktu yang diizinkan untuk setiap stasiun kerja agar dapat memenuhi target produksi.

$$CT = \frac{\text{Waktu Produksi Perhari}}{\text{Rata - Rata Jumlah Produksi}} \quad (1)$$

#### b. Takt Time (TT)

Takt time menunjukkan kecepatan produksi yang harus dicapai agar sesuai dengan permintaan pelanggan, digunakan sebagai batas maksimum waktu tiap stasiun.

$$TT = \frac{\text{Waktu Produksi Tersedia}}{\text{Permintaan Pelanggan}} \text{ detik/unit} \quad (2)$$

#### c. Waktu Siklus Total ( $\sum CT_i$ )

Total waktu siklus total seluruh stasiun kerja adalah waktu keseluruhan waktu stasiun kerja dalam satu lini produksi.

$$\sum CT_i = CT_1 + CT_2 + CT_3 \dots CT_n \quad (3)$$

Keterangan:

$CT_i$  = waktu siklus stasiun kerja ke-i

$n$  = jumlah stasiun kerja

#### d. Line Efficiency (LE)

Line Efficiency (LE) merupakan alat untuk mengukur tingkat efisiensi pemanfaatan waktu pada lini produksi [3].

$$LE = \frac{\sum CT_i}{n \times CT_{max}} \quad (4)$$

Keterangan:

LE = Line efficiency (%)

$n$  = jumlah stasiun kerja

$CT_{max}$  = Waktu siklus maksimal

e. *Balance Delay (BD)*

*Balance Delay (BD)* menunjukkan tingkat ketidakseimbangan lini produksi.

$$BD = 100\% - LE \tag{5}$$

f. *Smoothness Index (SI)*

*Smoothness Index (SI)* digunakan untuk mengukur tingkat penyebaran beban kerja antar stasiun. Makin kecil nilai SI, maka aliran lintasan makin bagus.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (CT_{max} - CT_i)^2} \tag{6}$$

g. *Human Productivity (P)*

*Human productivity* digunakan untuk mengukur produktivitas tenaga kerja.

$$P = \frac{\text{Jumlah output}}{\text{Jumlah Tenaga Kerja}} \tag{7}$$

Keterangan:

P = *Human Productivity* (unit/orang)

h. Jumlah Stasiun Kerja Teoritis ( $N_{min}$ )

$N_{min}$  digunakan untuk mengetahui jumlah minimum workstation yang dibutuhkan [2].

$$N_{min} = \frac{\sum CT_i}{CT_{max}} \tag{8}$$

2.1.2 Analisis Kondisi Awal

Analisis kondisi awal dilakukan untuk mengevaluasi kinerja lini produksi *PCB* televisi *LCD* sebelum dilakukan optimasi *line balancing*.

Tabel 1. Data *Line Balancing* Sebelum Perbaikan

	Total	I. Insert Komponen																	II. Pemeriksaan penyolderan, testing dan packaging												
No. Elemen	30 elemen	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
Process time	187 detik	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3.5	3.5	3	3	3	9	11	18	12	9	3	5	14	14	15	11	5	6
Stasiun	15 stasiun	1			2			3				4			5		6	7	8	9	10	11	12	13	14	15					
Jumlah MP	19 operator	1			1			1				1			1		1	2	1	1	1	2	2	2	1	1					
Cycle time <sub>(max)</sub>	18 detik	14			12			13				13			12		11	18	12	12	5	14	14	15	11	11					
$(CT_{max} - CT_i)^2$	407	16			36			25				25			36		49	0	36	36	9	16	16	9	49	49					

Berdasarkan data yang diperoleh, lini produksi terdiri dari 19 stasiun kerja dengan variasi waktu siklus (*cycle time*) yang cukup signifikan, yaitu berkisar antara 5 detik hingga 18 detik. Nilai *cycle time* maksimum menjadi nilai takt time yang digunakan sebagai acuan dalam sistem produksi adalah sebesar 18 detik. Hal ini menunjukkan bahwa secara umum seluruh stasiun kerja masih berada dalam batas takt time.

Tabel 2 Kinerja *Line Balancing* Sebelum Perbaikan

Elemen Kinerja	Capaian Kinerja saat ini
Jumlah stasiun mimal teoritis ( $N_{min}$ )	10.4 stasiun kerja
Jumlah aktual stasiun saat ini	15 stasiun kerja
Total Waktu Proses ( $\sum t_i$ )	187 detik
Line Efisiensi	69%
Balance Delay (BD)	31%
Jumlah manpower	19 operator
Human productivity	10,5 set/operator
Smoothness Index (SI)	20.2

Secara kuantitatif, kinerja keseimbangan lini produksi menggunakan rumus (1) sampai (8) ditunjukkan pada Tabel 2. Produktivitas tenaga kerja masih relatif rendah, yaitu sebesar 10,5 set per orang dibandingkan dengan target sebesar 16 set per orang. Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat disimpulkan bahwa permasalahan utama pada kondisi awal lini produksi meliputi adanya

*bottleneck* pada beberapa stasiun kerja. Gambar 3 menunjukkan stasiun kerja 7 mempunyai waktu proses paling tinggi sebesar 18 detik sementara stasiun 10 hanya membutuhkan waktu proses 5 detik. Kondisi ini menunjukkan bahwa sistem produksi belum optimal dan memerlukan penerapan metode *line balancing* yang mampu mendistribusikan beban kerja secara lebih merata, mengurangi *bottleneck*, serta meningkatkan produktivitas tenaga kerja.

### 2.1.3 Penerapan *Line Balancing*

#### 2.1.3.1 Analisis *Lean Manufacturing*

Analisis *Lean Manufacturing* dilakukan untuk mengidentifikasi pemborosan (*waste*) pada lini produksi PCB televisi LCD Model P14xx. Pendekatan ini berfokus pada peningkatan efisiensi proses dengan menghilangkan *muda* yaitu aktivitas yang tidak bernilai tambah (*non-value added*)[1].

Tabel 3 mengidentifikasi beberapa permasalahan yang berkaitan pemborosan pada proses perakitan PCB model P14xx sebagai berikut :

- a. Stasiun 1 terdapat operasi dengan elemen kerja mengambil *PCB holder (Credle)* dengan ukuran yang lebih besar dari ukuran *PCB* dan mempunyai bobot yang relatif besar sehingga sering menimbulkan kemacetan pada mesin solder pot bahkan jatuh ke dalam bak mesin solder. Untuk menghilangkan permasalahan tersebut *PCB holder* dihilangkan dan *PCB* langsung diletakan di atas conveyor.

Tabel 3. Tabel Analisis Lean Manufaktur

Station	Job element	Jenis Pemborosan	Potensi Perbaikan	Process Time (t <sub>i</sub> )	(CT <sub>i</sub> )	No. of MP
1	1. Mengambil PCB Hoder	Muda	Dihilangkan	4	14	1
	2. Mengambil PCB	N/A	N/A	4		
	3. Insert CN300	N/A	N/A	3		
	4. Insert CN991	N/A	N/A	3		
2	5. Insert CN950	N/A	N/A	3	12	1
	6. Insert CN102	N/A	N/A	3		
	7. Insert PJ603	N/A	N/A	3		
	8. Insert S721	N/A	N/A	3		
3	9. Insert CN740	N/A	N/A	3	13	1
	10. Insert PJ604	N/A	N/A	3		
	11. Insert H7501	N/A	N/A	4		
	12. Insert S722	N/A	N/A	3		
4	13. Insert E100A	N/A	N/A	3.5	13	1
	14. Insert E100B	N/A	N/A	3.5		
	15. Insert S723	N/A	N/A	3		
	16. Insert S727	N/A	N/A	3		
5	17. Insert PJ600	N/A	N/A	3	12	1
	18. Inspect Componen	N/A	N/A	9		
6	Output Solder pot	Muda	Dihilangkan	11	11	1
7	Touch-up	N/A	N/A	18	18	2
8	Solder Inspect	N/A	N/A	12	12	1
9	22. Check Visual komponen	N/A	N/A	9	12	1
	23. Stick Barcode	N/A	N/A	3		
10	Scan Barcode	N/A	N/A	5	5	1
11	App	N/A	N/A	14	14	2
12	HDCCP	Muda	Dipindahkan	14	14	2
13	Testing	NA	NA	15	15	2
14	Final Inspect	Muda	Dihilangkan	11	11	1
15	29. Scan output	N/A	N/A	5	11	1
	30. Packing	N/A	N/A	6		
Total					187	19

- b. Penggunaan *Credle* pada stasiun 1 mengakibatkan operasi pada stasiun 6 tidak diperlukan lagi, karena *PCB* akan langsung mengalir ke konveror inspeksi *PCB*.



a. *Inline Writting HDCP*



b. *Automatic HDCP Writer*

Gambar 4. *HDCP Writting*

- c. Elemen kerja 26 pada stasiun 12 adalah melakukan pengisian program *HDCP* pada *IC memory* yang membutuhkan tenaga kerja 2 orang (Gambar 4a.) Proses kerja ini diperlukan oleh model lain sehingga membutuhkan banyak alat dan tenaga kerja. Untuk mengurangi pemborosan ini, pengisian program *HDCP* dipusatkan pada *Automatic HDCP Writer* untuk semua model. Proses kerja menggunakan alat ini yang hanya membutuhkan 1 operator (Gambar 4b).
- d. Elemen ke 28 pada stasiun kerja 14 melakukan pemeriksaan komponen secara keseluruhan. Pemeriksaan ini telah dilakukan oleh operator pada stasiun 9 elemen ke 22 sehingga stasiun 14 tidak diperlukan lagi.

Berdasarkan analisis lean manufaktur, terdapat pengurangan 4 elemen kerja dari 30 menjadi 26, pengurangan 3 stasiun kerja dari 15 menjadi 12, serta pengurangan tenaga kerja dari 19 operator menjadi 15. Penghapusan elemen pertama mengurangi kelelahan operator karena menghilangkan kebutuhan untuk mengambil *credle* besar dan berat, serta menghapus stasiun kerja output solderpot yang berpotensi membahayakan kesehatan akibat suhu tinggi dan gas berbahaya, sehingga tidak ada operator yang terkena dampak negatif.

### 2.1.3.2 Metode *Ranked Positional Weight (RPW)*

Metode *Ranked Positional Weight (RPW)* merupakan salah satu metode heuristik dalam assembly line balancing yang digunakan untuk mengalokasikan elemen kerja ke dalam stasiun kerja secara optimal dengan mempertimbangkan hubungan urutan pekerjaan (*precedence constraints*). Metode ini bekerja dengan cara menghitung bobot posisi (*positional weight*) dari setiap elemen kerja, yang mencerminkan tingkat kepentingan relatif elemen tersebut dalam keseluruhan sistem produksi [3].

#### 2.1.4.1 Prinsip Dasar Metode *RPW*

Prinsip utama metode *RPW* adalah memberikan prioritas pada elemen kerja yang memiliki bobot posisi terbesar. Bobot posisi dihitung sebagai jumlah waktu elemen kerja tersebut ditambah dengan seluruh waktu elemen kerja yang mengikutinya (*successor*).

$$PW_i = t_i + \sum t_{successor} \quad (9)$$

$PW_i$  = Bobot posisi elemen kerja ke-i

$t_i$  = waktu proses elemen kerja ke-i

$t_{successor}$  = waktu elemen kerja yang mengikuti

#### 2.1.4.2 Data Awal dan Parameter

Berdasarkan data kondisi awal menunjukkan jumlah stasiun kerja sebanyak 15 stasiun, dengan total waktu kerja :

$$\sum CT_i = 147 \text{ detik}$$

Waktu siklus maksimal ( $CT_{max}$ ) :

$$CT_{max} = 18 \text{ detik}$$

2.1.4.3 Penentuan Jumlah Minimum Stasiun Kerja ( $N_{min}$ ) menggunakan rumus (8).

$$N_{min} = \frac{\sum CT_i}{CT_{max}} = \frac{247,2}{18} = 13,7 \approx 14 \text{ stasiun kerja}$$

### 2.1.5 Langkah-langkah Penerapan RPW

a. Menentukan urutan proses produksi PCB

Urutan proses pada metode RPW (Tabel 4) menggunakan urutan proses hasil analisis lean manufaktur. Hasil dari analisis lean manufaktur terdapat pengurangan elemen kerja dari 30 menjadi 26 elemen kerja dan pengurangan stasiun kerja dari 15 menjadi 12 stasiun kerja. Total waktu proses berkurang dari 187 menjadi 147 detik.

b. Menghitung bobot setiap elemen kerja ( $PW_i$ )

Tabel 5 merupakan perhitungan bobot posisi untuk setiap elemen menggunakan persamaan (9).

c. Alokasi ke Workstation

Elemen kerja dialokasikan ke stasiun kerja berdasarkan prioritas nilai  $PW_i$  tertinggi sampai komposisi elemen kerja pada satu stasiun mendekati nilai CT maksimum (Tabel 6). Penyusunan alokasi stasiun kerja (Workstation) mempertimbangkan 2 kelompok pekerjaan (pemasangan komponen dan pemeriksaan hasil penyolderan, testing dan packaging). Alokasi stasiun kerja menggunakan RPW 10 stasiun kerja Gambar 5, terjadi penurunan 2 stasiun kerja dari hasil lean manufaktur.

Tabel 4. Urutan Proses Produksi Hasil Analisis Lean Manufaktur

Station	Job element	Process Time	No. of MP
1	1. Mengambil PCB	4	10
	2. Insert CN300	3	
	3. Insert CN991	3	
2	4. Insert CN950	3	12
	5. Insert CN102	3	
	6. Insert PJ603	3	
	7. Insert S721	3	
3	8. Insert CN740	3	13
	9. Insert PJ604	3	
	10. Insert H7501	4	
	11. Insert S722	3	
4	12. Insert E100A	3.5	13
	13. Insert E100B	3.5	
	14. Insert S723	3	
	15. Insert S727	3	
5	16. Insert PJ600	3	12
	17. Inspect Componen	9	
6	18. Touch-up solder	18	18
7	19. Check Visual solder	12	12
8	20. Check Visual komponen	9	12
	21. Stick Barcode	3	
9	22. Scan 2D barcode	5	5
10	23. Memprogram APP	14	14
11	24. A/D Adjust & Check HDCP	15	15
12	25. Scan output	5	11
	26. Packing	6	
Total		147	15

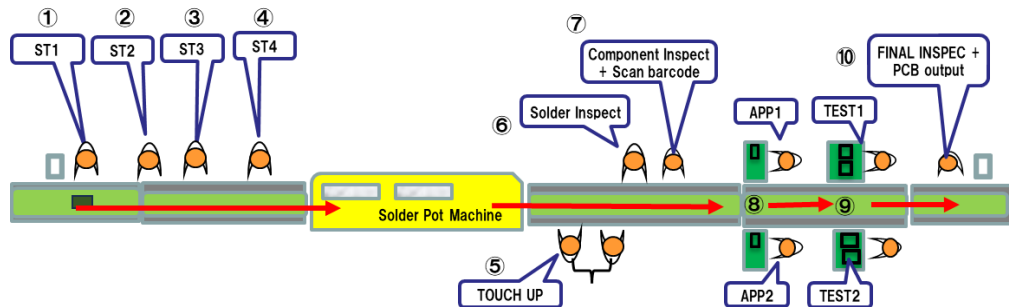
Tabel 5. Perhitungan bobot posisi ( $PW_i$ ).



Operasi Pendahulu	Waktu Proses detik	Operasi Successor (Waktu Proses - detik)																								Bobot		
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24		25	26
1. Mengambil PCB	4	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	147
2. Insert CN300	3		-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	143
3. Insert CN991	3			-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	140
4. Insert CN950	3				-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	137
5. Insert CN102	3					-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	134
6. Insert PJ603	3						-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	131
7. Insert S721	3							-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	128
8. Insert CN740	3								-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	125
9. Insert PJ604	3									-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	122
10. Insert H7501	4										-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	119
11. Insert S722	3											-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	115
12. Insert E100A	3.5												-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	112
13. Insert E100B	3.5													-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	108.5
14. Insert S723	3														-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	105
15. Insert S727	3															-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	102
16. Insert PJ600	3																-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	99
17. Inspect Componen	9																	-	3	3	3	3	3	3	3	3	3	96
18. Touch-up solder	18																		-	3	3	3	3	3	3	3	3	87
19. Check Visual solder	12																			-	3	3	3	3	3	3	3	69
20. Check Visual komponen	9																				-	3	3	3	3	3	3	57
21. Stick Barcode	3																					-	3	3	3	3	3	48
22. Scan 2D barcode	5																						-	3	3	3	3	45
23. Memprogram APP	14																							-	3	3	3	40
24. Testing	15																								-	3	3	26
25. Scan output	5																									-	3	11
26. Packing	6																										-	6

Tabel 6. Alokasi Stasiun Kerja dengan RPW

No. Elemen	Total	I. Insert Komponen																Pemeriksaan penyolderan, testing dan packag									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
Urutan prioritas	147	143	140	137	134	131	128	125	122	119	115	112	108.5	105	102	99	96	87	69	57	48	45	40	26	11	6	
Process time	147 detik	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3.5	3.5	3	3	3	9	18	12	9	3	5	14	15	5	6
Stasiun	10 stasiun	1					2					3				4	5	6		7		8	9	10			
Jumlah MP	13 operator	1					1					1				1	2	1		1		2	2	1			
Cycle time	147 detik		16				16					16				12	18	12		17		14	15				11
$(CT_{max}-CT_i)^2$	159		4				4					4				36	0	36		1		16	9				49



Gambar 5 Diagram Alir Proses Produksi Setelah Optimasi dengan RPW

Alokasi stasiun kerja menggunakan RPW menghasilkan kinerja line produksi ditunjukkan pada Tabel 7.

Tabel 7. Kinerja Line Balancing Hasil Metode RPW.

Elemen Kinerja	Hasil
Jumlah stasiun mimal teoritis (Nmin)	8,2 stasiun kerja
Jumlah stasiun hasil simulasi RPW	10 stasiun kerja
Total waktu proses ( $\sum t_i$ )	147 detik
Line Efisiensi	82%
Balance Delay (BD)	18%

Jumlah manpower	13 operator
Human productivity	15,4 set/orang
Smoothness Index (SI)	12,6

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Interpretasi Hasil

Kondisi awal lini produksi menunjukkan ketidakseimbangan beban kerja, dengan line efficiency 69% dan *balance delay* 31%. *Bottleneck* teridentifikasi pada stasiun dengan waktu siklus tertinggi (18 detik), yang menghambat aliran produksi. Metode *Ranked Positional Weight (RPW)* diimplementasikan untuk meratakan distribusi beban kerja, sementara *Lean Manufacturing* mengeliminasi pemborosan dan meningkatkan efisiensi [5]. Integrasi kedua metode menghasilkan keseimbangan lini produksi yang lebih baik, dengan line efficiency meningkat menjadi 82%, *balance delay* turun menjadi 18%, serta produktivitas tenaga kerja meningkat dari 10,5 menjadi 15,4 unit per orang, menunjukkan keberhasilan optimasi keseluruhan.

Metode *RPW* efektif untuk menyelesaikan masalah penyeimbangan jalur rakitan, menghasilkan solusi efisien dengan mempertimbangkan hubungan antar tugas [9]. Optimasi penyeimbangan jalur berkontribusi pada peningkatan produktivitas tenaga kerja dengan mengurangi waktu menganggur dan meningkatkan utilisasi sumber [10].

#### 3.2 Membandingkan Hasil Sebelum dan Sesudah Perbaikan

Untuk mengevaluasi efektivitas metode yang diusulkan, dilakukan perbandingan kinerja antara kondisi sebelum dan sesudah perbaikan (Tabel 8). Berdasarkan Tabel 8, terlihat bahwa penerapan integrasi metode *RPW* dan *Lean Manufacturing* memberikan peningkatan signifikan pada seluruh indikator kinerja. Penurunan jumlah stasiun kerja menunjukkan bahwa sistem produksi menjadi lebih ringkas dan efisien. Hasil ini konsisten dengan studi Battaia & Dolgui [11].

Tabel 8 Perbandingan Kinerja Line Balancing

Parameter	Sebelum	Sesudah	Peningkatan
Jumlah Stasiun	15 stasiun	10 stasiun	↓
Line Efficiency	69%	82%	↓
Balance Delay	31%	18%	↓
Smoothness Index	20,2	12,6	↑
Manpower	19 operator	13 operator	↓

### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, kondisi awal lini produksi PCB televisi LCD Model P14xx menunjukkan ketidakseimbangan beban kerja dengan line efficiency 69% dan *balance delay* 31%, serta adanya *bottleneck* pada stasiun dengan waktu siklus tertinggi. Penerapan metode *Ranked Positional Weight (RPW)* berhasil meratakan distribusi beban kerja, sementara *Lean Manufacturing* mengeliminasi pemborosan proses. Integrasi kedua metode ini terbukti meningkatkan kinerja lini produksi secara signifikan, ditunjukkan oleh peningkatan efisiensi menjadi 82%, penurunan *balance delay* menjadi 18%, serta kenaikan produktivitas tenaga kerja. Penelitian ini memiliki novelty karena belum ada studi di Indonesia yang mengintegrasikan *Lean* dan *RPW* pada lini PCB televisi LCD.

### 5. SARAN

Penelitian selanjutnya disarankan mengintegrasikan metode dengan simulasi, seperti *discrete event simulation (Arena)*, untuk hasil lebih optimal. Selain itu, pendekatan kecerdasan buatan atau metaheuristik seperti *Genetic Algorithm* dapat digunakan, serta diperluas pada sistem multi-line atau multi-product guna menguji fleksibilitas dan skalabilitas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] N. André, B. Montreuil, and V. Limère, “Modeling and solving integrated assembly line balancing , assembly line feeding , and facility sizing problems,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 277, no. August, p. 109354, 2024, doi: 10.1016/j.ijpe.2024.109354.
- [2] J. El Alami, “Optimisation Of Simple Assembly Line Balancing Problem Type E: A Systematic Literature Review,” *Manag. Syst. Prod. Eng.*, vol. 0, 2024, doi: 10.2478/mspe-2024-0016.
- [3] M. A. Ara, N. Anjum, D. Ahabab, M. Takia, S. Risat, and R. Chowdhury, “Productivity Improvement of Garments Industry by Implementing Line Balancing Algorithms — A Case Study,” *Eng. Reports*, pp. 1–16, 2025, doi: 10.1002/eng2.70125.
- [4] R. N. Kumar, R. Mohan, and N. Gobinath, “Materials Today : Proceedings Improvement in production line efficiency of hemming unit using line balancing techniques,” *Mater. Today Proc.*, no. xxxx, pp. 3–7, 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.03.020.
- [5] T. K. Ramasu and M. G. Kanakana-Katumba, “Implementation of a Lean Manufacturing Approach to Improving Productivity in SMEs: A Case Study in a Cloth Manufacturing Company,” *South African J. Ind. Eng.*, vol. 36, no. December, pp. 73–87, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.7166/36-4-3238> This.
- [6] M. F. Sugianto and Rusindiyanto, “Line Balancing Analysis with Ranked Positional Weight ( RPW ) and Region Approach ( RA ) Methods on the Production Line at,” *Electron. J. Educ. Soc. Econ. Technol.*, vol. 6, no. 1, pp. 558–565, 2025.
- [7] A. Nur, L. Afifah, and E. R. Lestari, “Line Balancing Analysis in Ribbed Smoked Sheet Production Using Heuristics Methods ( Study at PT . Wabin Jayatama , Serang , Banten , Indonesia ),” *BIO Web Conf.*, vol. 03004, 2024, doi: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20249003004>.
- [8] F. Achmadi and B. Harsanto, “Improvement of Assembly Manufacturing Process through Value Stream Mapping and Ranked Positional Weight : An Empirical Evidence from the Defense Industry,” *Processes*, 2023.
- [9] S. El Machouti, “Analysis of Balancing Solutions for Simple Assembly Lines,” *J. Ind. Eng. Manag.*, vol. 17, no. 3, pp. 828–852, 2024.
- [10] J. Huo and C. K. M. Lee, “Intelligent workload balance control of the assembly process considering condition-based maintenance,” *Adv. Eng. Informatics*, vol. 49, p. 101341, 2021, doi: <https://doi.org/10.1016/j.aei.2021.101341>.
- [11] O. Battaïa and A. Dolgui, “Hybridizations in line balancing problems: A comprehensive review on new trends and formulations,” *Int. J. Prod. Econ.*, vol. 250, p. 108673, 2022, doi: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108673>.