

Usulan Jumlah Stasiun Kerja Lintasan Perakitan Excavator 200 Menggunakan Model *Simple Assembly Line Balancing Problem*

Novian Dwi Hidayah^{1*}, Fifi Herni Mustofa, S.T., M.T.¹

¹ Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Nasional Bandung

Email: novianhidayah@gmail.com

Received 02 09 2023 | Revised 09 09 2023 | Accepted 09 09 2023

ABSTRAK

PT. XYZ (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang memproduksi ekskavator. Permasalahan yang terjadi pada lini produksi Excava 200 adalah rendahnya tingkat efisiensi lini karena perbedaan waktu stasiun kerja yang signifikan, saat ini lini perakitan Excava 200 terdapat 15 stasiun kerja. Tujuan dari penelitian ini adalah menyeimbangkan lini perakitan Excava 200 agar lintasan perakitan lebih efisien dengan meminimasi jumlah stasiun kerja. Penelitian ini menggunakan metode analitik model matematik Simple Assembly Line Balancing Problem dengan membatasi fungsi tujuan dan fungsi kendala. Lingo 18.0 sebagai software pengolahan data, efisiensi lini mengalami peningkatan setelah dilakukannya penyeimbangan lintasan yang semula 74,26% menjadi sebesar 92,82%. Balance delay mengalami penurunan semula 25,74% menjadi 7,18% dan nilai indeks kelancaran (smoothness index) yang semula 199,31 menjadi 72,63. Jumlah stasiun kerja semula 15 menjadi 12 stasiun kerja. Berdasarkan perubahan nilai performansi tersebut, dapat disimpulkan bahwa lini perakitan usulan lebih baik dibanding lini perakitan aktual.

Kata Kunci: Keseimbangan Lintasan, Efisiensi Lini, Lingo, Simple Assembly Line Balancing Problem

ABSTRACT

PT. XYZ (Persero) is a State-Owned Enterprise that manufactures excavators. The issue encountered in the Excava 200 production line is the low level of line efficiency due to significant variations in workstation times. Currently, the Excava 200 assembly line consists of 15 workstations. The objective of this research is to balance the Excava 200 assembly line to make the assembly process more efficient by minimizing the number of workstations. This study employs an analytical method using the mathematical model of the Simple Assembly Line Balancing Problem, with constraints on the objective and constraint functions. Lingo 18.0 is used as the data processing software. The line efficiency increased from the initial 74.26% to 92.82% after the line balancing was performed. The balance delay reduced from 25.74% to 7.18%, and the smoothness index value transformed from 199.31 to 72.63. The number of workstations decreased from 15 to 12.

Keywords: Line Balancing, Line Efficiency, Lingo, Simple Assembly Line Balancing Problem

1. PENDAHULUAN

Lini produksi merupakan lini yang sangat penting dalam industri manufaktur. Salah satu permasalahan yang ada dalam lini produksi adalah tidak seimbangnya lintasan. Menurut Fogarty et al (1991) *line balancing* adalah penugasan sejumlah tugas-tugas ke stasiun kerja untuk meminimalkan jumlah stasiun kerja dan meminimalkan total waktu menganggur di setiap stasiun kerja. Fungsi dari line balancing adalah membuat suatu lintasan yang seimbang. PT. XYZ (Persero) merupakan Badan Usaha Milik Negara yang memproduksi ekskavator. Permasalahan yang dialami adalah tidak seimbangnya lintasan perakitan *excavator* 200 pada zona B yaitu perakitan *upperframe*, terdapat pembagian tugas yang tidak merata karena perbedaan waktu stasiun kerja yang berbeda-beda. Perbedaan waktu stasiun kerja yang signifikan dengan waktu terendah sebesar 60 menit pada stasiun kerja 4 sedangkan yang tertinggi sebesar 180 menit pada stasiun kerja 5. Hal ini menyebabkan terjadinya *bottleneck* seperti terjadi pada stasiun kerja 4 dan stasiun kerja 5, beberapa waktu stasiun kerja memiliki waktu yang lebih rendah dibandingkan waktu stasiun kerja sebelumnya.

2. METODOLOGI

2.1. Rumusan Masalah

Permasalahan yang ditemukan di PT. XYZ (Persero) adalah ketidakseimbangan lintasan seperti terjadinya *bottleneck* karena perbedaan waktu stasiun kerja yang signifikan dan tidak seimbangnya beban antar stasiun kerja. Model *Simple Assembly Line Balancing Problem* (SALBP) yang bertujuan untuk minimasi stasiun kerja merupakan permasalahan yang dialami pada lintasan saat ini. Sehingga permasalahan ini dibutuhkan keseimbangan lintasan, agar proses produksi dapat mencapai targetnya.

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara dan pengamatan secara langsung terkait data yang akan digunakan dalam menyelesaikan penelitian berdasarkan permasalahan yang ada di perusahaan. Data yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut adalah data waktu operasi, kondisi lini perakitan saat ini, jumlah stasiun kerja, data waktu kerja, data hasil produksi, alur proses produksi, dan *precedence diagram*.

2.3. Keseimbangan Lintasan Kondisi Awal

Perhitungan keseimbangan lini perakitan awal sebagai acuan untuk menyeimbangkan lini perakitan sebagai bahan perbandingan. Dengan waktu siklus dan jumlah stasiun kerja yang sesuai dengan kondisi perakitan awal. Tahap ini juga menentukan apakah suatu lintasan menjadi lebih seimbang atau tidak.

2.4. Pembentukan Model Matematik Lintasan Perakitan

Pembentukan model matematik dilakukan dengan beberapa langkah seperti membuat fungsi tujuan, menghitung waktu siklus, dan menghitung stasiun kerja awal dan stasiun kerja akhir. Langkah-langkah pembentukan model dapat dilihat sebagai berikut.

2.4.1 Membuat Fungsi Tujuan dan Fungsi Kendala

Fungsi tujuan dan fungsi kendala ini berfungsi untuk maksimasi atau meminimalkan efisiensi lintasan. Dalam penyeimbangan lini, terdapat fungsi tujuan dan fungsi kendala yang dimodelkan dalam model matematik sebagai berikut (Gocken & Erel, 1998):

1. Fungsi Tujuan meminimumkan stasiun kerja $\text{Min } \sum_{k=1}^K A_k$, A_k adalah stasiun kerja ke- k .
2. Fungsi kendala penugasan (*assignment constraint*) $\sum_{j \in E_i}^{L_i} X_{ik} = 1$, $i = 1, \dots, n$

3. Fungsi kendala waktu siklus (*cycle time constraint*) $\sum_{i=1}^n (t_i \cdot X_{ik}) \leq ct \cdot y_j, i = 1, i = 1, \dots, n, j = 1,$
4. Fungsi kendala keterkaitan (*precedence constraint*) $\sum_{j=E_i}^{L_i} (j \cdot X_{jk}) \leq \sum_{j=E_h}^{L_h} (j \cdot X_{jk}) \leq$
 $\sum_{j=E_i}^{L_i} (j \cdot X_{jk}), (h, i) \in IP$
5. Fungsi kendala biner $X_{ik} = 0$ atau 1 dan $A_k = 0$ atau 1
6. Fungsi kendala tambahan $\sum_{k=1}^k X_{ik} \leq nA_k$

Penelitian ini bertujuan untuk meminimumkan stasiun kerja pada lini perakitan *excavator* 200 agar dapat meningkatkan efisiensi lini perakitan. *Assignment constraint* menjelaskan bahwa setiap elemen kerja harus ditempatkan pada suatu stasiun kerja, *cycle time constraint* membatasi elemen-elemen kerja yang dapat ditugaskan pada suatu stasiun kerja sesuai dengan waktu siklus yang telah ditentukan, *precedence constraint* bertujuan untuk tetap menjaga urutan dan keterkaitan antar elemen kerja berdasarkan *precedence diagram*, fungsi kendala biner menyatakan bahwa nilai tersebut biner.

2.5 Pemecahan Model dengan *Software* Lingo

Model matematika yang telah dibentuk kemudian ditransmisikan ke model bahasa pemrograman agar terbaca oleh komputer dengan bantuan *software* Lingo. Hasil dari pemecahan model ini berupa usulan jumlah stasiun kerja dan jenis operasi apa saja yang masuk dalam suatu stasiun.

2.6 Perhitungan Performansi Keseimbangan Lintasan

Perhitungan dan hasil yang telah dihitung sesuai dengan kondisi awal dan kondisi setelah penyeimbangan lintasan, kemudian akan dihitung efisiensi lini, balance delay, dan smoothness index. Serta membandingkan hasil perhitungan untuk menganalisis lintasan dari metode keseimbangan yang digunakan pada penelitian ini.

$$(1) \text{ Efisiensi Lini} \quad Eff = \frac{\sum_{i=1}^n ti}{CT \times N} \times 100\%$$

$$(2) \text{ Balance delay} \quad BD = \frac{CT \times N - \sum_{i=1}^n ti}{CT \times N}$$

$$(3) \text{ Smoothness Index} \quad SI = \sqrt{\sum_{i=1}^N (ST_{max} - ST_i)}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Waktu Kerja

Data waktu kerja merupakan jumlah waktu suatu perusahaan untuk melakukan proses produksi dalam sehari. Dalam satu minggu terdapat 5 hari kerja normal mulai dari senin hingga jumat pukul 06.00 – 14.00 (*shift* 1) dan 14.00 – 22.00 (*shift* 2), pada hari sabtu dan minggu biasanya masih terdapat aktivitas produksi tetapi dihitung sebagai kerja lembur, hal ini dilakukan jika target produksi perusahaan belum tercapai.

3.2 Data Kondisi Lini Perakitan Saat ini

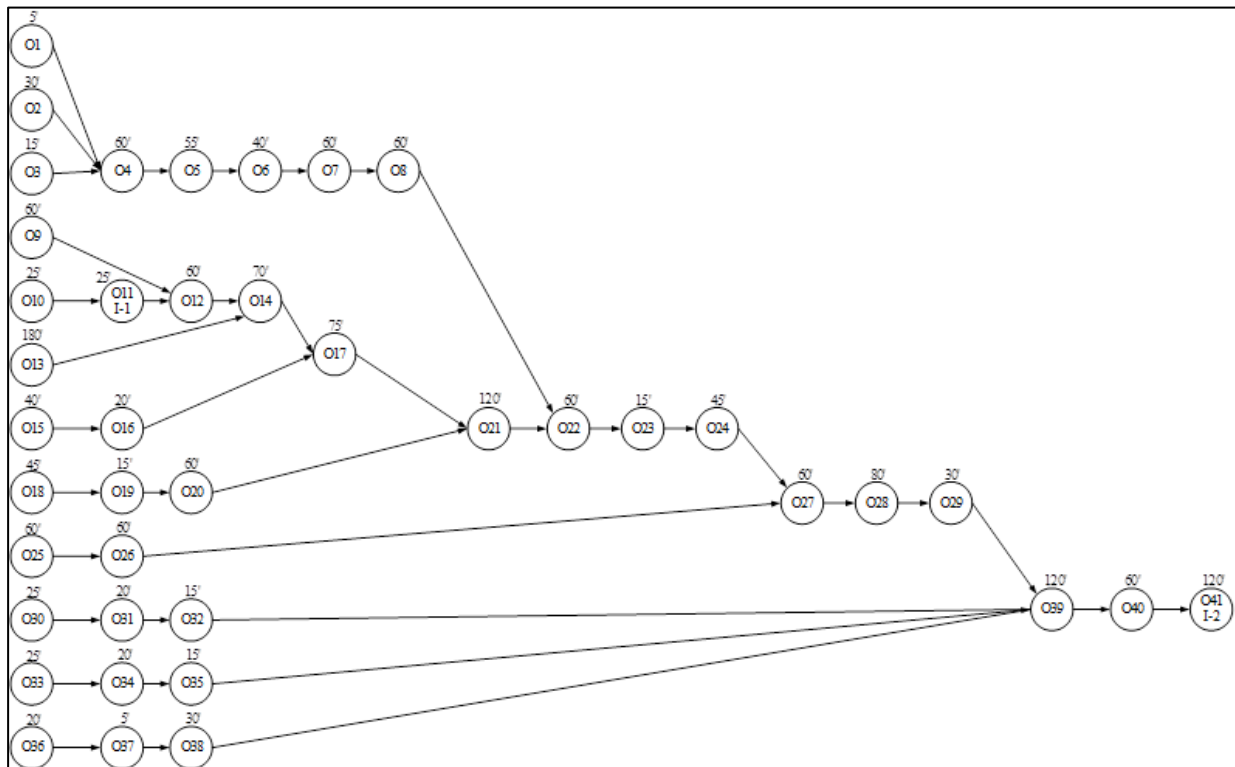
Pada lini perakitan kondisi aktual atau kondisi saat ini memiliki 15 stasiun kerja dengan total waktu 2005 menit. Waktu stasiun kerja beserta alokasi elemen kerja dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah ini.

Tabel 3. 1 Stasiun Kerja dan Alokasi Elemen Kerja

Stasiun Kerja	Zona	Elemen Kerja
1	A	1,2,3,4,5
2		6,7,8
3	B	9,10,11
4		12
5		13
6		14,15,16
7		17,18
8		19,20
9		25,26
10		21
11		23,24,27
12		28,29
13	C	30,31,32,33,34,35,36,37,38
14		39,40
15		41

3.3 Precedence Diagram

Precedence diagram merupakan data yang menunjukkan urutan proses operasi berdasarkan keterkaitan atau hubungan antar operasinya. Data ini memudahkan untuk mengetahui proses operasi sebelum dan sesudahnya sehingga tidak ada proses operasi yang terlewat. Keterkaitan antar operasi sesuai dengan peta proses operasi dapat dilihat pada Gambar 3.1.

**Gambar 3. 1 Precedence Diagram**

3.4 Menghitung Keseimbangan Lintasan Kondisi Aktual

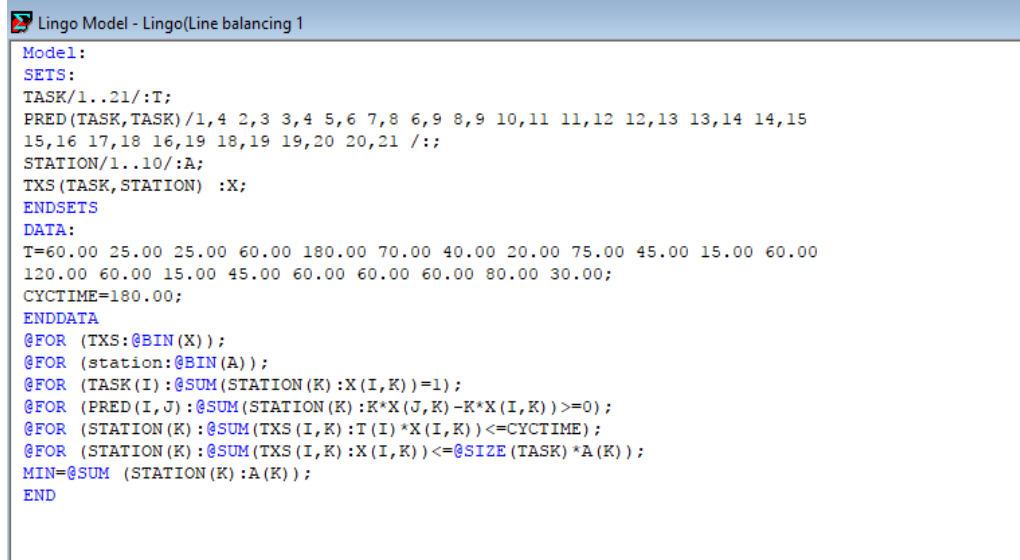
Menghitung keseimbangan lini perakitan awal sebagai acuan untuk menyeimbangkan lini perakitan sebagai bahan perbandingan. Waktu siklus diambil dari waktu operasi terpanjang yaitu 180 menit dan jumlah stasiun kerja yaitu 15 sesuai dengan jumlah proses yang ada. Rangkuman hasil perhitungan keseimbangan lintasan kondisi aktual dapat dilihat pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Hasil Perhitungan Keseimbangan Lintasan Aktual

SK	Zona	Operasi	Waktu Baku	Waktu SK	Eff SK	Eff Lini	Balance Delay	Smoothness Index
1	A	O-1	5	165	91.67%	74.26%	25.74%	229.73
		O-2	30					
		O-3	15					
		O-4	60					
		O-5	55					
2		O-6	40	160	88.89%			
		O-7	60					
		O-8	60					
3	B	O-9	60	110	61.11%			
		O-10	25					
		O-11	25					
4		O-12	60	60	33.33%			
5		O-13	180	180	100.00%			
6		O-14	70	130	72.22%			
		O-15	40					
		O-16	20					
7		O-17	75	120	66.67%			
		O-18	45					
8		O-19	15	75	41.67%			
		O-20	60					
9		O-25	60	120	66.67%			
		O-26	60					
10		O-21	120	120	66.67%	74.26%	25.74%	229.73
11		O-23	15	180	100.00%			
		O-24	45					
		O-27	60					
		O-22	60					
12		O-28	80	110	61.11%			
	O-29	30						
	13	C	O-30					
O-31			20					
O-32			15					
O-33			25					
O-34			20					
O-35			15					
O-36			20					
O-37			5					
O-38			30					
14	O-39		120	180	100.00%			
	O-40	60						
15	O-41	120	120	66.67%				

3.5 Pemecahan Model dengan *Software* Lingo

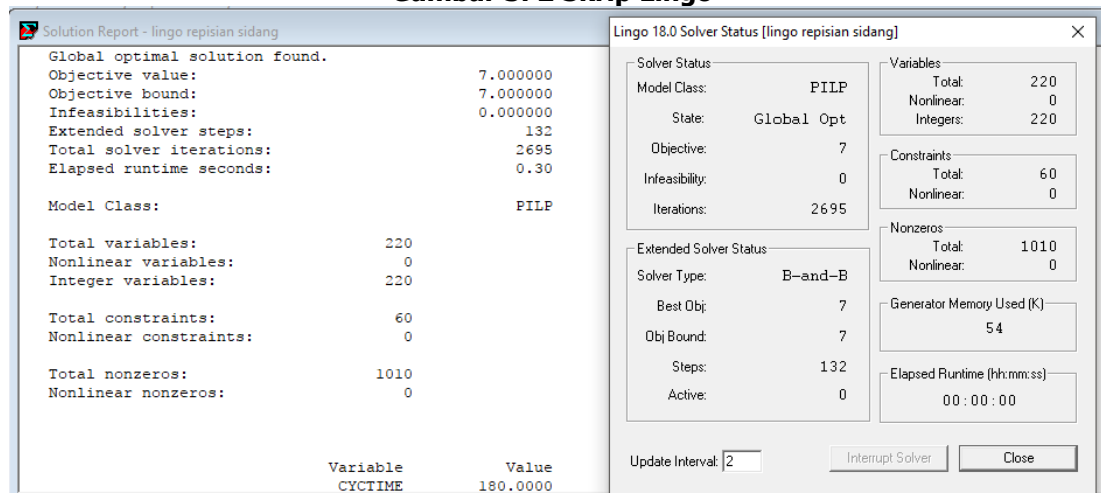
Model matematika yang telah dibentuk perlu diubah menjadi fungsi biner untuk dapat diproses oleh komputer. Fungsi biner ini digunakan untuk merubah variabel keputusan apabila suatu tugas atau elemen kerja dialokasikan pada stasiun kerja maka bernilai 1 sedangkan tugas yang tidak teralokasi pada stasiun kerja maka bernilai 0. Pemecahan model matematika ini akan diolah menggunakan software Lingo versi 18.0 untuk memperoleh solusi optimal dengan constraint yang digunakan. Berikut merupakan skrip dan data ringkasan hasil pencarian solusi yang dapat dilihat pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2.



```

Model:
SETS:
TASK/1..21/:T;
PRED(TASK,TASK)/1,4 2,3 3,4 5,6 7,8 6,9 8,9 10,11 11,12 12,13 13,14 14,15
15,16 17,18 16,19 18,19 19,20 20,21 /::
STATION/1..10/:A;
TXS(TASK,STATION) :X;
ENDSETS
DATA:
T=60.00 25.00 25.00 60.00 180.00 70.00 40.00 20.00 75.00 45.00 15.00 60.00
120.00 60.00 15.00 45.00 60.00 60.00 60.00 80.00 30.00;
CYCTIME=180.00;
ENDDATA
@FOR (TXS:@BIN(X));
@FOR (station:@BIN(A));
@FOR (TASK(I) :@SUM(STATION(K) :X(I,K))=1);
@FOR (PRED(I,J) :@SUM(STATION(K) :K*X(J,K)-K*X(I,K))>=0);
@FOR (STATION(K) :@SUM(TXS(I,K) :T(I)*X(I,K))<=CYCTIME);
@FOR (STATION(K) :@SUM(TXS(I,K) :X(I,K))<=@SIZE(TASK)*A(K));
MIN=@SUM (STATION(K) :A(K));
END
  
```

Gambar 3. 2 Skrip Lingo



Solution Report - lingo repisian sidang		Lingo 18.0 Solver Status [lingo repisian sidang]	
Global optimal solution found.		Solver Status Model Class: PIIP State: Global Opt Objective: 7 Infeasibility: 0 Iterations: 2695	
Objective value:	7.000000	Variables	
Objective bound:	7.000000	Total: 220	
Infeasibilities:	0.000000	Nonlinear: 0	
Extended solver steps:	132	Integers: 220	
Total solver iterations:	2695	Constraints	
Elapsed runtime seconds:	0.30	Total: 60	
		Nonlinear: 0	
Model Class:	PIIP	Nonzeros	
Total variables:	220	Total: 1010	
Nonlinear variables:	0	Nonlinear: 0	
Integer variables:	220	Generator Memory Used (K)	
Total constraints:	60	54	
Nonlinear constraints:	0	Elapsed Runtime (hh:mm:ss)	
Total nonzeros:	1010	00:00:00	
Nonlinear nonzeros:	0	Update Interval: 2	
		Interrupt Solver	
		Close	

Gambar 3. 3 Hasil Pencarian Skrip Lingo

Waktu yang diperlukan pencarian hasil optimal menggunakan *software* Lingo 18.0 terkait keseimbangan lintasan Excava 200 yaitu selama 3.24 menit. Solusi optimal tersebut berupa usulan penugasan elemen kerja ke stasiun kerja sesuai dengan ketentuan constraint yang telah dibuat. Hasil dan alokasi operasi dapat dilihat pada Tabel 3.3

Tabel 3. 3 Hasil Keseimbangan Lintasan dan Alokasi Elemen Kerja

SK	Zona	Operasi	Waktu Baku	Waktu SK	Eff SK	Eff Lini	Balance Delay	Smoothness Index
1	A	O-1	5	165	91.67%	92.82%	7.18%	77.94
		O-2	30					
		O-3	15					
		O-4	60					
		O-5	55					
2		O-6	40	160	88.89%			
		O-7	60					
		O-8	60					
3	B	15	40	180.00	100.00%			
		16	20					
		18	45					
		19	15					
		20	60					
4		21	120	180	100.00%			
		25	60					
5		13	180	180	100.00%			
6		10	25	180	100.00%			
		11	25					
		14	70					
		26	60					
7		22	60	180	100.00%			
		23	15					
		24	45					
		27	60					
8		9	60	140	77.78%			
		28	80					
9		12	60	165	91.67%			
		29	30					
		17	75					
10	C	O-30	25	175	97.22%			
		O-31	20					
		O-32	15					
		O-33	25					
		O-34	20					
		O-35	15					
		O-36	20					
		O-37	5					
11		O-38	30	180	100.00%			
		O-39	120					
12		O-40	60	180	100.00%			
		O-41	120			120	66.67%	

3.6 Analisis

Setelah melakukan perhitungan performansi lini perakitan awal dan performansi lini perakitan setelah penyeimbangan lintasan. Terdapat beberapa elemen kerja yang dialokasikan ke stasiun kerja lainnya. Pada kondisi awal terdapat 15 stasiun kerja dan terdapat 10 stasiun kerja pada zona B. Setelah penyeimbangan lintasan perakitan excavator 200 pada zona B menjadi 7 stasiun kerja pada zona B. keseluruhan stasiun kerja saat ini terdapat 12 stasiun kerja. Berikut merupakan rangkuman hasil perbaikan keseimbangan lintasan yang dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Hasil Perbaikan Stasiun kerja dan Alokasi Elemen Kerja

Perbaikan	Sebelum	Sesudah	Keterangan
Stasiun Kerja B (Zona B)	10	7	Terdapat beberapa operasi yang terdapat pada Zona B dialokasikan ke stasiun kerja lainnya. SK 3 (O15,O16,O18,O19,O20), SK 4 (O21,O25), SK 5 (O13), SK 6 (O10,O11,O14,O26), SK 7 (O22,O23,O24,O27), SK 8 (O9,O28), SK 9 (O12,O29,O17).

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dihasilkan berdasarkan hasil dan pembahasan pada penelitian ini diantaranya sebagai berikut.

1. Usulan lintasan perakitan memberikan peningkatan efisiensi lintasan semula 74,46% menjadi 92,82%, *balance delay* menurun dari 25,74% menjadi 7,18%, dan nilai *smoothness index* menurun dari 214,88 menjadi 72,63.
2. Kondisi perakitan semula terdiri dari 41 operasi yang terbagi menjadi 15 stasiun kerja, setelah dilakukan penyeimbangan lintasan menjadi 12 stasiun kerja.

DAFTAR PUSTAKA

Fogarty, D., Blackstone, J., & Hoffmann, T. (1991). *Production & Inventory Management*.

United States of America: Roger L. Ross.

Gokcen, H., & Erel, E. (1998). *BINARY INTEGER FORMULATION FOR MIXED-MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM*.

Wibiatmoko, D. (2022). PENINGKATAN EFISIENSI LINTASAN PENJAHITAN SEBAGAI UPAYA PENCAPAIAN TARGET PRODUKSI DENGAN METODE SIMPLE ASSEMBLY LINE BALANCING PROBLEM (SALBP) TYPE E .