

# ***Production Path Optimization Using Line Balancing Integration and Arena Simulation in Heat Exchanger Production***

## **[Optimasi Lintasan Produksi Menggunakan Integrasi Line Balancing Dan Simulasi Arena Pada Produksi Heat Exchanger]**

Mochammad Galih Rizki Aminullah<sup>1)</sup>, Indah Apriliana Sari Wulandari<sup>\*2)</sup>

<sup>1)</sup>Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

<sup>2)</sup> Program Studi Teknik Industri, Universitas Muhammadiyah Sidoarjo, Indonesia

\*Email Penulis Korespondensi: [indahapriliana@umsida.ac.id](mailto:indahapriliana@umsida.ac.id)

**Abstract.** *PT. XYZ is a heat exchanger manufacturing company facing workload imbalance problems between production stations. The initial condition of the production line shows a line efficiency of only 53% with a high balance delay reaching 47% and a Smoothness Index value of 298.29 indicating a significant workload imbalance that can cause production delays. This study aims to optimize the production line through the integration of the Line Balancing method with the Ranked Positional Weight (RPW) approach and ARENA software simulation. The results of the RPW calculation show that the merger of 7 to 5 work stations successfully increased line efficiency from 53% to 74% and reduced balance delay from 47% to 26%. These results were confirmed through ARENA simulations where the merger of the Washing station with the Testing Coil and the Final Assembly with the Electric Assembly resulted in an increase in workload balance with a utilization range from 78.79% to 35.66%. The integration of the two methods proved consistent and effective in balancing the workload, reducing idle time and increasing the overall productivity of the production line.*

**Keywords** – *Line Balancing; Ranked Positional Weight (RPW); ARENA Simulation; Line Efficiency*

**Abstrak.** *PT. XYZ merupakan perusahaan manufaktur heat exchanger yang menghadapi permasalahan ketidakseimbangan beban kerja antar stasiun produksi. Kondisi awal lintasan produksi menunjukkan line efficiency hanya sebesar 53% dengan balance delay tinggi mencapai 47% serta nilai Smoothness Index sebesar 298,29 mengindikasikan adanya ketidakseimbangan beban kerja yang signifikan sehingga dapat menyebabkan keterlambatan produksi.. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan lintasan produksi melalui integrasi metode Line Balancing dengan pendekatan Ranked Positional Weight (RPW) dan simulasi software ARENA. Hasil perhitungan RPW menunjukkan bahwa penggabungan dari 7 menjadi 5 stasiun kerja berhasil meningkatkan line efficiency dari 53% menjadi 74% dan menekan balance delay dari 47% menjadi 26%. Hasil ini dikonfirmasi melalui simulasi ARENA di mana penggabungan stasiun Washing dengan Testing Coil serta Final Assembly dengan Electric Assembly menghasilkan peningkatan keseimbangan beban kerja dengan rentang utilisasi dari 78,79% menjadi 35,66%. Integrasi kedua metode terbukti konsisten dan efektif dalam menyeimbangkan beban kerja, mengurangi idle time serta meningkatkan produktivitas lintasan produksi secara keseluruhan.*

**Kata Kunci** - *Line Balancing; Ranked Positional Weight (RPW); Simulasi ARENA; Line Efficiency*

## **I. PENDAHULUAN**

PT. XYZ adalah salah satu perusahaan manufaktur terkemuka di dunia untuk berbagai jenis penukar panas seperti pendingin, kondensor, evaporator, dan komponen pendukung lainnya. Dengan jangkauan global di berbagai negara seperti Meksiko, Rusia, Swiss, Jerman, Hungaria, Cina, Brazil, dan Indonesia, PT. XYZ telah menunjukkan komitmennya untuk menawarkan solusi pertukaran panas berkualitas tinggi ke pasar global. Perusahaan ini beroperasi di bawah perusahaan induk yang berbasis di Jerman dan Hungaria, yang berkontribusi untuk memposisikannya sebagai pemain penting dalam industri ini secara regional dan global. Peningkatan produktivitas merupakan tujuan utama setiap perusahaan dalam menjalankan kegiatan operasionalnya[1]. Terdapat beberapa waste yang menghambat peningkatan produktivitas yaitu menunggu, produksi berlebih, pemrosesan berlebih, cacat, gerakan yang tidak perlu, persediaan berlebih, dan transportasi yang tidak efisien. Namun, PT. XYZ dihadapkan pada berbagai macam tantangan dalam upayanya untuk mempertahankan efisiensi operasional seperti halnya yang dihadapi oleh perusahaan-perusahaan manufaktur lainnya. Berdasarkan pengamatan dan evaluasi di lapangan salah satu rintangan yang menonjol adalah teridentifikasinya ketidakseimbangan beban kerja antar stasiun sehingga dapat menyebabkan keterlambatan produksi. Hal ini teridentifikasi melalui rendahnya nilai *line efficiency* di lini produksi yaitu sebesar 53% dan tingginya nilai *idle time* khususnya pada proses *testing coil* dan *final assembly*.

*Bottleneck* produksi terjadi ketika salah satu stasiun mengalami keterlambatan akibat kapasitas mesin yang terbatas, ketidakmerataan beban kerja, atau permasalahan teknis yang menyebabkan penumpukan material,

Copyright © Universitas Muhammadiyah Sidoarjo. This preprint is protected by copyright held by Universitas Muhammadiyah Sidoarjo and is distributed under the Creative Commons Attribution License (CC BY). Users may share, distribute, or reproduce the work as long as the original author(s) and copyright holder are credited, and the preprint server is cited per academic standards.

Authors retain the right to publish their work in academic journals where copyright remains with them. Any use, distribution, or reproduction that does not comply with these terms is not permitted.

peningkatan waktu tunggu, dan biaya operasional lebih tinggi[2]. Masalah seperti itu tidak hanya mengakibatkan keterlambatan dalam proses produksi, tetapi juga menyebabkan penurunan produktivitas dan peningkatan biaya operasional. PT. XYZ telah memberikan beberapa solusi untuk menangani masalah tersebut seperti penambahan operator tiap stasiun kerja. Tetapi dengan adanya solusi tersebut hasil yang didapatkan oleh perusahaan belum memberikan efisiensi yang maksimal.

Berdasarkan permasalahan yang telah diketahui maka dalam penelitian ini akan memberikan beberapa alternatif yaitu diantaranya dengan mengintegrasikan *line balancing* dengan simulasi arena. Tujuan dari konsep *line balancing* adalah mendapatkan nilai *balance delay/idle time* (waktu menganggur) yang minimum dan efisiensi yang maksimal[3]. Pada dasarnya *line balancing* bertujuan untuk menyeimbangkan lintasan serta beban kerja pada produksi yang berupaya untuk mendistribusikan *cycle time* lebih merata sehingga dapat mengurangi *idle time* tiap stasiun kerja[4]. *Line Balancing* mencakup paduan antara stasiun kerja yang digunakan untuk menghasilkan produk yang berisi banyak area kerja dan diambil alih oleh satu atau lebih operator sehingga berbagai alat dapat digunakan untuk menanganinya[5]. Adapun untuk metode *line balancing* diantaranya yaitu *Ranked Positional Weight* (RPW), *Large Candidate Rule* (LCR). Model *Ranked Positional Weight* akan mengedepankan nilai kondisi setiap proses produksi di mana akan menempatkan workstation diikuti oleh workstation lain yang memiliki waktu siklus terendah[6]. *Largest Candidate Rule* mengurutkan item-item pekerjaan dari waktu yang terlama hingga waktu terpendek[7]. Pada umumnya *line balancing* dengan metode *Region Approach* berupaya memprioritaskan pembebanan pada elemen kerja yang lebih awal[8].

Dalam penelitian ini untuk metode yang digunakan yaitu metode *Ranked Position Weight* (RPW) dikarenakan metode ini dipakai karena dinilai paling baik dari metode lainnya. Simulasi membantu dalam menentukan garis waktu dalam proses produksi yang belum pernah dicatat sebelumnya sekaligus menunjukkan area mana yang perlu ditingkatkan. *Software* yang digunakan untuk melakukan simulasi dalam penelitian ini adalah *software* ARENA. *Software* Arena adalah perangkat lunak simulasi untuk keperluan umum berdasarkan Graphical User Interface (GUI) yang diproduksi oleh *Systems Modeling Corp* di Amerika Serikat [9]. Arena merupakan perangkat lunak untuk melakukan simulasi dan otomatisasi untuk membangun suatu model eksperimen dengan memanfaatkan berbagai pilihan modul yang menggambarkan proses atau suatu logika tertentu [10]. ARENA menjadi salah satu alternatif yang biasa digunakan sebelum dilakukan implementasi perubahan lintasan produksi secara langsung, serta membantu meminimalisasi biaya yang keluar saat melakukan perubahan secara langsung di lintasan produksi [11].

Penelitian serupa juga telah dilakukan contohnya pada perusahaan manufaktur produksi kemasan berbahan *polypropylene*. Pada penelitian tersebut proses produksi mengalami *bottleneck* dan ditindak lanjuti dengan menerapkan *line balancing*. Dalam penelitian tersebut mengindikasikan bahwa dengan menerapkan *line balancing* terbukti efektif dalam menyeimbangkan beban kerja antar stasiun, mengoptimalkan alur proses kerja, dan mendorong peningkatan produktivitas di area produksi [12]. Namun pada penelitian tersebut *output* yang didapatkan hanya berupa data tentang lintasan produksi yang optimal tanpa ada visualisasi dari lintasan produksinya. Seharusnya dengan adanya visualisasi dari lintasan produksi hasil yang didapatkan akan lebih representatif. Maka dari itu, pada penelitian ini diharapkan tidak hanya memberikan hasil lintasan produksi yang optimal berupa data saja tetapi juga memberikan visualisasi dari proses produksi baik berupa kondisi eksisting dan juga dengan solusi alternatif yang diterapkan.

Tujuan utama dari penelitian optimasi lintasan produksi melalui integrasi *line balancing* dan simulasi Arena adalah untuk meningkatkan efisiensi dan *throughput* sistem secara keseluruhan. Hasil penelitian ini menyajikan beberapa alternatif lintasan produksi yang nantinya akan dibuat untuk pengambilan keputusan. Penelitian ini berfokus pada mengidentifikasi dan menghilangkan *bottleneck* dengan menyeimbangkan beban kerja antar stasiun sehingga meminimalkan waktu menganggur.

## II. METODE

### A. Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di PT. XYZ yang bergerak di bidang produksi *heat exchanger* dengan sistem *make to order*. Perusahaan berlokasi di kabupaten Pasuruan, Jawa Timur. Pengambilan data dilakukan pada periode November sampai Desember 2025.

### B. Pengumpulan Data

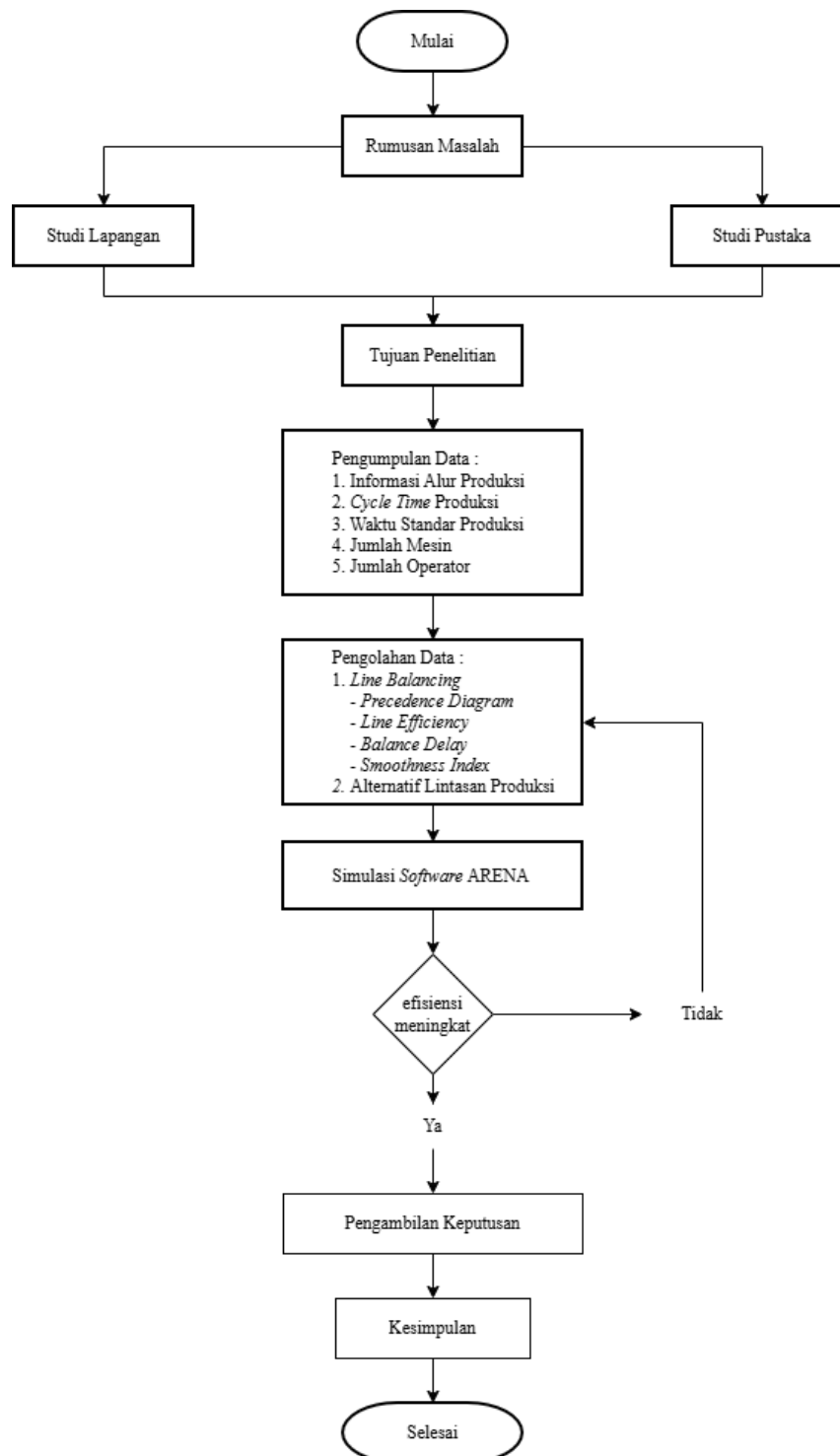
Teknik pengumpulan data yang dilakukan dalam penelitian kali ini dengan mengumpulkan data primer dan data sekunder. Berikut merupakan penjelasan dari tiap data tersebut.

1. Data primer  
Data primer merupakan data mentah yang diperoleh dari hasil pengamatan langsung tentang variabel-variabel yang mempengaruhi lintasan produksi meliputi alur proses produksi, *cycle time* tiap stasiun produksi serta jumlah mesin dan operator pada tiap stasiun.
2. Data Sekunder

Data sekunder dari penelitian ini yaitu berupa informasi hasil wawancara pada pihak perusahaan terkait faktor-faktor keterlambatan dalam lintasan produksi serta kajian literatur berupa jurnal mengenai *line balancing* serta simulasi ARENA untuk mempermudah proses penelitian.

### C. Alur Penelitian

Dalam penelitian ini metode yang akan digunakan yaitu metode *Line Balancing* diintegrasikan dengan *software* ARENA dengan alur penelitian sebagai berikut:



**Gambar 1.** Diagram Alir

Pada penelitian ini untuk mewujudkan lintasan produksi yang optimal terdapat dua metode yang diintegrasikan yaitu metode *line balancing* dan pendekatan simulasi ARENA untuk memvisualisasikan lintasan produksi.

1. Analisis *Line Balancing* dilakukan untuk menyeimbangkan beban kerja di setiap stasiun guna meningkatkan efisiensi dan mengurangi waktu mengganggu sehingga menghasilkan satu atau lebih skenario perbaikan. Skenario perbaikan ini kemudian diuji melalui alternatif simulasi untuk memverifikasi efektivitas dan membandingkan hasilnya dengan kondisi awal. Metode *line balancing* yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode *Ranked Positional Weight* (RPW) yang merupakan metode *line balancing* yang bekerja berdasarkan bobot posisi dan *precedence diagram*. Model *Ranked Positional Weight* akan mengedepankan nilai kondisi setiap proses produksi di mana akan menempatkan workstation diikuti oleh *workstation* lain yang memiliki waktu siklus terendah. Dalam analisis *line balancing* terdapat beberapa istilah yang harus diketahui untuk menunjang terwujudnya lintasan produksi yang optimal yaitu:

a. *Precedence Diagram*

*Precedence diagram* merupakan gambaran secara grafis dari urutan kerja operasi kerja, serta ketergantungan pada operasi kerja lainnya yang tujuannya untuk memudahkan pengontrolan dan perencanaan kegiatan yang terkait di dalamnya [13].

b. *Line Efficiency*

*Line Efficiency* adalah perbandingan antara total waktu stasiun kerja dengan jumlah stasiun kerja dikalikan waktu stasiun kerja terbesar [8].

$$\text{Line Efficiency} = \frac{\sum t_i}{(K \times CT)} \times 100 \% \dots\dots\dots(1)$$

Sumber : [8]

Keterangan :

$\sum t_i$  = Jumlah semua waktu operasi (menit)

K = Jumlah stasiun kerja

CT = Waktu stasiun kerja terbesar (menit)

c. *Balance Delay*

*Balance Delay* merupakan jumlah waktu mengganggu suatu lini proses produksi arena pembagian kerja antar stasiun yang tidak merata [14].

$$D = \frac{(K \times CT) - \sum t_i}{(K \times CT)} \times 100 \% \dots\dots\dots(2)$$

Sumber : [8]

Keterangan :

D = *Balance Delay* (%)

$\sum t_i$  = Jumlah semua waktu operasi (menit)

K = Jumlah stasiun kerja

CT = Waktu stasiun kerja terbesar (menit)

d. *Smoothness Index*

*Smoothness index* merupakan indeks yang menunjukkan kelancaran relatif dari penyeimbangan lini perakitan tertentu [15].

$$SI = \sqrt{\frac{\sum (ST_{\max} - ST_i)^2}{n}} \dots\dots\dots(3)$$

Sumber : [8]

Keterangan :

SI = *Smoothness Index*

$ST_{\max}$  = Waktu maksimum stasiun kerja (menit)

$ST_i$  = Waktu stasiun kerja ke-i (menit)

Adapun untuk data yang digunakan dalam perhitungan *line balancing* dengan menggunakan metode *Ranked Positional Weight* (RPW) adalah sebagai berikut :

a. *Cycle Time*

*Cycle time* adalah jumlah waktu yang dihabiskan tim untuk benar-benar bekerja memproduksi suatu barang hingga produk siap dikirim [16]. Waktu siklus mencakup waktu yang bernilai tambah dan juga waktu yang tidak bernilai tambah.

$$WS = \frac{\sum x}{n} \dots\dots\dots(4)$$

Sumber : [17]

Keterangan :

WS = Waktu Siklus

$\sum x$  = Jumlah waktu penyelesaian yang diamati

n = Jumlah pengamatan yang dilakukan

b. Waktu Standar

Waktu standar merupakan waktu yang dibutuhkan oleh seorang pekerja normal untuk menyelesaikan suatu pekerjaan yang dijalankan dalam sistem kerja terbaik [18]. Berikut ini merupakan perhitungan untuk mencari waktu standar :

$$WN = WS \times \frac{PR}{100\%} \dots\dots\dots (5)$$

Sumber : [18]

Keterangan :

WN = Waktu Normal

WS = Waktu Siklus

PR = *Performance Rating*

Pada penelitian ini juga menggunakan pendekatan simulasi salah satu metode analisis untuk memvisualisasikan kondisi lintasan produksi baik sebelum ataupun setelah perbaikan. Model simulasi merupakan alat yang dapat menggambarkan suatu sistem secara kompleks dan memecahkan masalah yang sulit dipecahkan dengan model matematis biasa dikarenakan cukup fleksibel. Simulasi dapat dilakukan dengan perancangan suatu percobaan yang menirukan semirip mungkin kondisi nyatanya kemudian mengamati perilaku sistem. Analisis model sistem antrian dapat dilakukan menggunakan simulasi software Arena. Software Arena adalah alat yang fleksibel dalam analisis membuat model simulasi dan dapat secara akurat mempresentasikan banyak sistem secara virtual [19]

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Pengumpulan Data

Teknik pengukuran waktu dilakukan dengan observasi proses produksi *heat exchanger* dengan mencatat waktu siklus kerja tiap-tiap mesin dengan menggunakan metode jam henti (*stopwatch*). Adapun hasil pengukuran waktu siklus untuk pembuatan *heat exchanger* dapat dilihat pada *precedence diagram* dan Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Data Cycle Time Produksi Heat Exchanger

| Elemen Kerja               | Waktu Siklus (detik) | Waktu Siklus (Menit) |
|----------------------------|----------------------|----------------------|
| <i>Coil Assembly</i>       | 3248,14              | 54,14                |
| <i>Brazing</i>             | 5371,77              | 89,53                |
| <i>Washing</i>             | 4058,40              | 67,64                |
| <i>Testing Coil</i>        | 1127,82              | 18,80                |
| <i>Final Assembly</i>      | 2176,28              | 36,37                |
| <i>Electrical Assembly</i> | 2703,97              | 45,07                |
| <i>Packing</i>             | 3610,02              | 60,17                |

Berdasarkan tabel diatas diketahui nilai-nilai waktu siklus di setiap stasiun produksi pada *line commercial* di PT. XYZ. Nilai waktu siklus diatas didapatkan melalui hasil pengukuran secara langsung menggunakan *stopwatch* di lini produksi. Adapun perhitungan waktu siklus produksi *heat exchanger* yaitu sebagai berikut:

$$WS = \frac{\sum x}{n} = \frac{54,14 + 89,53 + 67,64 + 18,80 + 36,37 + 45,07 + 60,17}{1} = 371,72 \text{ menit}$$

#### B. Perhitungan Waktu Normal dan Waktu Baku

Waktu baku dapat dikatakan waktu yang dibutuhkan untuk menuntaskan pekerjaan dengan mempertimbangkan faktor kelonggaran dan faktor penyesuaian. Berikut adalah hasil faktor kelonggaran yang didapatkan dari hasil wawancara.

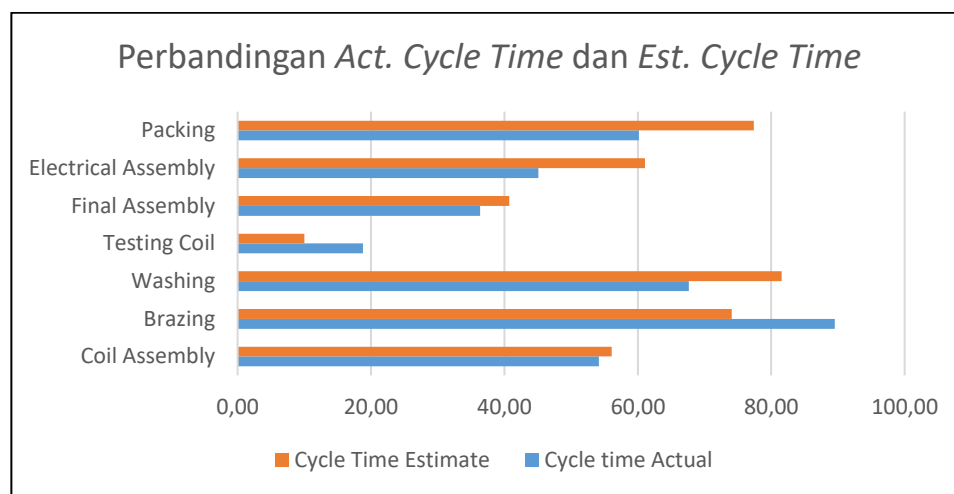
Tabel 2. Allowance

| Faktor-Faktor Kelonggaran | Keterangan                       | %  |
|---------------------------|----------------------------------|----|
| Tenaga                    | Bekerja dengan alat bantu ringan | 2  |
| Sikap Pekerja             | Berdiri                          | 2  |
| Lelah pada Mata           | Pemeriksaan Teliti               | 2  |
| Kebutuhan Pribadi         | Operator Pria                    | 3  |
| Kondisi Ruang Kerja       | Suhu ruang kerja normal          | 1  |
| Total Allowance           |                                  | 10 |

Nilai- nilai *allowance* diatas didapatkan melalui hasil wawancara secara langsung pada perusahaan tepatnya pada departemen yang bertanggung jawab dalam mengatur waktu produksi. Adapun untuk *performance rating* didapatkan melalui perbandingan dari *cycle time actual* dengan *estimate cycle time* dari perusahaan. Berikut merupakan tabel serta grafik perbandingan dari data tersebut.

**Tabel 3.** Perbandingan *Act. Cycle Time* dan *Est. Cycle Time*

| Stasiun Kerja        | <i>Cycle time Actual</i> | <i>Cycle Time Estimate</i> |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|
| <i>Coil Assembly</i> | 54,14                    | 56,08                      |
| <i>Brazing</i>       | 89,53                    | 74,08                      |
| <i>Washing</i>       | 67,64                    | 81,55                      |
| <i>Testing Coil</i>  | 18,80                    | 10                         |
| Final Assembly       | 36,37                    | 40,71                      |
| Electrical Assembly  | 45,07                    | 61,06                      |
| <i>Packing</i>       | 60,17                    | 77,38                      |



**Gambar 2.** Grafik Perbandingan *Act. Cycle Time* dan *Est. Cycle Time*

*Cycle time actual* dengan *cycle time estimate* dari perusahaan yang terdapat pada tabel diatas digunakan untuk menentukan nilai dari *performance rating* yang nantinya akan digunakan untuk menghitung waktu normal dan waktu baku. *Performance Rating* didapatkan melalui perhitungan rasio dari kedua *cycle time* yaitu dengan rumus berikut :

$$\text{Performance Rating} = \frac{\text{Act.Cycle Time}}{\text{Est.Cycle Time}}$$

Dalam hal ini terdapat 3 kategori pengerjaan dalam tiap elemen kerja yaitu kategori *fast*, *normal* dan *late* dengan rincian sebagai berikut :

- **FAST** : Rating Faktor < 0.90 (Aktual lebih cepat dari estimasi)
- **NORMAL** : Rating Faktor 0.90 - 1.10 (Aktual sesuai dengan estimasi)
- **LATE** : Rating Faktor > 1.10 (Aktual lebih lambat dari estimasi)

**Tabel 4.** Nilai Rating Faktor

| Stasiun Kerja        | <i>Cycle time Actual</i> | <i>Cycle Time Estimate</i> | <i>Performanve Rating</i> | Kategori |
|----------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|----------|
| <i>Coil Assembly</i> | 54,14                    | 56,08                      | 0,97                      | Normal   |
| <i>Brazing</i>       | 89,53                    | 74,08                      | 1,21                      | Late     |
| <i>Washing</i>       | 67,64                    | 81,55                      | 0,83                      | Fast     |
| <i>Testing Coil</i>  | 18,80                    | 10                         | 1,88                      | Late     |
| Final Assembly       | 36,37                    | 40,71                      | 0,89                      | Fast     |
| Electrical Assembly  | 45,07                    | 61,06                      | 0,74                      | Fast     |
| <i>Packing</i>       | 60,17                    | 77,38                      | 0,78                      | Fast     |

Setelah menentukan *allowance* dan *performance rating* maka langkah selanjutnya yaitu menghitung waktu normal dan waktu baku di tiap stasiun kerja. Waktu normal dan waktu baku bisa dihitung menggunakan rumus berikut.

- $W_n = W_s (1 + \text{Performance Rating})$   
 $W_b = W_n + (W_n \times \text{Allowance})$
- **Coil Assembly**
    - $W_n = W_s (1 + \text{Performance Rating})$   
 $= 54,14 (1 + 0,97)$   
 $= 106,41$
    - $W_b = W_n + (W_n \times \text{Allowance})$   
 $= 106,41 + (106,41 \times 0,10)$   
 $= 117,05$
  - **Brazing**
    - $W_n = W_s (1 + \text{Performance Rating})$   
 $= 89,53 (1 + 1,21)$   
 $= 197,73$
    - $W_b = W_n + (W_n \times \text{Allowance})$   
 $= 197,73 + (197,73 \times 0,10)$   
 $= 217,51$

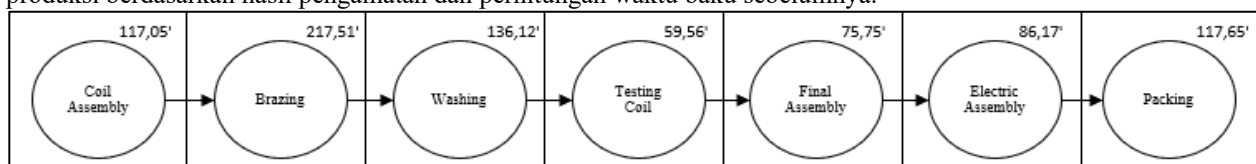
Berikut Tabel 5 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan waktu baku dan waktu normal untuk tiap-tiap stasiun kerja.

**Tabel 5.** Nilai Waktu Normal dan Waktu Baku

| Stasiun Kerja       | W <sub>n</sub> | W <sub>b</sub> |
|---------------------|----------------|----------------|
| Coil Assembly       | 106,41         | 117,05         |
| Brazing             | 197,73         | 217,51         |
| Washing             | 123,74         | 136,12         |
| Testing Coil        | 54,14          | 59,56          |
| Final Assembly      | 68,86          | 75,75          |
| Electrical Assembly | 78,34          | 86,17          |
| Packing             | 106,96         | 117,65         |
| Total               | 736,18         | 809,80         |

### C. Perhitungan Kondisi Awal Lintasan Produksi

Setelah diketahui berapa nilai dari waktu baku di tiap stasiun produksi yang terdapat di proses produksi *heat exchanger* khususnya di *line commercial* PT. XYZ. Berikut merupakan *precedence diagram* kondisi awal lintasan produksi berdasarkan hasil pengamatan dan perhitungan waktu baku sebelumnya.



**Gambar 3.** Precedence Diagram Kondisi Awal Lintasan Produksi

Maka, langkah selanjutnya yaitu menghitung nilai *line efficiency*, *balance delay* serta *smoothness index* pada kondisi awal lintasan produksi. Dalam menghitung efisiensi lintasan ada beberapa hal yang diketahui dan dihitung yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan Jumlah Minimum *Workstation*

$$\text{Workstation Minimum} = \frac{\sum W_b}{W_b \text{ max}} \dots\dots\dots (6)$$

Sumber : [6]

Keterangan :

$\sum W_b$  = Jumlah Waktu Baku

$W_b \text{ max}$  = Waktu Baku Terbesar

$$\text{Workstation Minimum} = \frac{\sum W_b}{W_b \text{ max}} = \frac{809,80}{217,51} = 3,72 \approx 4 \text{ Workstation.}$$

2. Menghitung Efisiensi *Workstation* dan *Idle Time*

$$\text{Efisiensi Workstation} = \frac{W_{bi}}{W_b \text{ max}} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Sumber : [6]

Keterangan :

$W_{bi}$  = Waktu Baku ke-i

$$\begin{aligned} Wb \text{ max} &= \text{Waktu Baku Terbesar} \\ Idle \text{ Time} &= Wb \text{ max} - Wb_i \dots\dots\dots(8) \end{aligned}$$

Sumber :[6]

Keterangan :

 $Wb_i$  = Waktu Baku ke-i $Wb \text{ max}$  = Waktu Baku Terbesar• *Coil Assembly*

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Workstation} &= \frac{Wb_i}{Wb \text{ max}} \times 100\% \\ &= \frac{117,05}{217,51} \times 100\% \\ &= 54\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Idle Time} &= Wb \text{ max} - Wb_i \\ &= 217,51 - 117,05 \\ &= 100,46 \end{aligned}$$

• *Brazing*

$$\begin{aligned} \text{Efisiensi Workstation} &= \frac{Wb_i}{Wb \text{ max}} \times 100\% \\ &= \frac{217,51}{217,51} \times 100\% \\ &= 100\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Idle Time} &= Wb \text{ max} - Wb_i \\ &= 217,51 - 217,51 \\ &= 0,00 \end{aligned}$$

Berikut Tabel 6 merupakan rekapitulasi hasil perhitungan efisiensi dan *idle time* untuk tiap-tiap stasiun kerja.**Tabel 6.** Perhitungan Efisiensi *Work Station* dan *Idle Time*

| Stasiun Kerja        | Wb     | Efisiensi Workstation | Idle Time |
|----------------------|--------|-----------------------|-----------|
| <i>Coil Assembly</i> | 117,05 | 54%                   | 100,46    |
| <i>Brazing</i>       | 217,51 | 100%                  | 0,00      |
| <i>Washing</i>       | 136,12 | 63%                   | 81,39     |
| <i>Testing Coil</i>  | 59,56  | 27%                   | 157,95    |
| Final Assembly       | 75,75  | 35%                   | 141,76    |
| Electrical Assembly  | 86,17  | 40%                   | 131,33    |
| <i>Packing</i>       | 117,65 | 54%                   | 99,85     |
| Total                | 809,80 | 3,72                  | 712,74    |

$$\begin{aligned} 1. \text{ Line Efficiency} &= \frac{\sum t_i}{(K \times CT)} \times 100\% \\ &= \frac{809,80}{(7 \times 217,51)} \times 100\% = 53\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. \text{ Balance Delay} &= \frac{(K \times CT) - \sum t_i}{(K \times CT)} \times 100\% \\ &= \frac{(7 \times 217,51) - 809,80}{(7 \times 217,51)} \times 100\% = 47\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. \text{ Smoothness Index} &= \sqrt{\sum (ST_{max} - ST_i)} \\ &= \sqrt{88977,15} = 298,29 \end{aligned}$$

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| <i>Line Efficiency</i>  | 53%    |
| <i>Balance Delay</i>    | 47%    |
| <i>Smoothness Index</i> | 298,29 |

Berdasarkan tabel hasil perhitungan performansi lintasan saat ini (*existing*) diperoleh nilai *Line Efficiency* sebesar 53%. Angka ini menunjukkan bahwa pemanfaatan waktu pada lintasan produksi belum optimal yang diperkuat dengan tingginya nilai *Balance Delay* mencapai 47%. Tingginya persentase tersebut mengindikasikan adanya ketidakseimbangan beban kerja yang cukup besar antar stasiun kerja. Adapun untuk nilai *Smoothness Index* sebesar 298,29 menunjukkan tingkat kelancaran produksi yang masih rendah. Oleh karena itu, diperlukan perancangan ulang

susunan lintasan menggunakan metode RPW untuk meminimalkan *Balance Delay* dan meningkatkan efisiensi lintasan secara keseluruhan.

#### D. Perhitungan Alternatif Lintasan Produksi dengan Metode *Ranked Positional Weight*.

Dalam mencari alternatif lintasan produksi dengan metode RPW langkah pertama yang dilakukan yaitu dengan menentukan ketergantungan dari tiap stasiun kerja. Berikut merupakan tabel 7 yang menunjukkan ketergantungan dari tiap stasiun kerja.

**Tabel 7.** Ketergantungan Tiap Stasiun Kerja

| Stasiun Kerja            | Stasiun Kerja Pengikut |                |                |                     |                       |                          |                |
|--------------------------|------------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|
|                          | <i>Coil Assembly</i>   | <i>Brazing</i> | <i>Washing</i> | <i>Testing Coil</i> | <i>Final Assembly</i> | <i>Electric Assembly</i> | <i>Packing</i> |
| <i>Coil Assembly</i>     | -                      | 1              | 1              | 1                   | 1                     | 1                        | 1              |
| <i>Brazing</i>           | 0                      | -              | 1              | 1                   | 1                     | 1                        | 1              |
| <i>Washing</i>           | 0                      | 0              | -              | 1                   | 1                     | 1                        | 1              |
| <i>Testing Coil</i>      | 0                      | 0              | 0              | -                   | 1                     | 1                        | 1              |
| <i>Final Assembly</i>    | 0                      | 0              | 0              | 0                   | -                     | 1                        | 1              |
| <i>Electric Assembly</i> | 0                      | 0              | 0              | 0                   | 0                     | -                        | 1              |
| <i>Packing</i>           | 0                      | 0              | 0              | 0                   | 0                     | 0                        | -              |

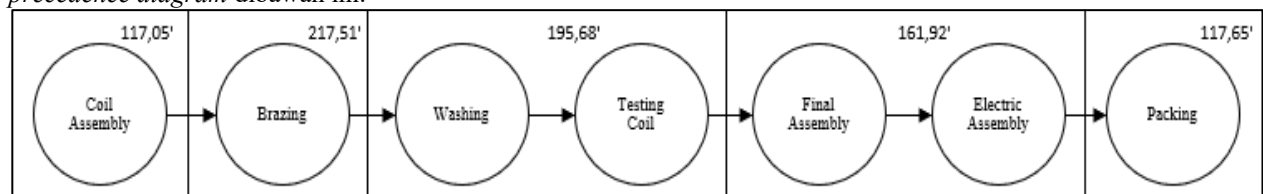
Setelah itu dibuat prioritas bobot posisi dengan memakai metode RPW (*Ranked Positional Weight*) dengan memasukkan waktu baku setiap *Workstation*

**Tabel 8.** Perhitungan Nilai Bobot Posisi Metode RPW

| Stasiun Kerja            | Wb     | Stasiun Kerja Pengikut |                |                |                     |                       |                          |                | Bobot Posisi | Rank |
|--------------------------|--------|------------------------|----------------|----------------|---------------------|-----------------------|--------------------------|----------------|--------------|------|
|                          |        | <i>Coil Assembly</i>   | <i>Brazing</i> | <i>Washing</i> | <i>Testing Coil</i> | <i>Final Assembly</i> | <i>Electric Assembly</i> | <i>Packing</i> |              |      |
| <i>Coil Assembly</i>     | 117,05 | -                      | 217,51         | 136,12         | 59,56               | 75,75                 | 117,65                   | 117,65         | 841,28       | 1    |
| <i>Brazing</i>           | 217,51 | 0                      | -              | 136,12         | 59,56               | 75,75                 | 117,65                   | 117,65         | 724,24       | 2    |
| <i>Washing</i>           | 136,12 | 0                      | 0              | -              | 59,56               | 75,75                 | 117,65                   | 117,65         | 506,73       | 3    |
| <i>Testing Coil</i>      | 59,56  | 0                      | 0              | 0              | -                   | 75,75                 | 117,65                   | 117,65         | 370,61       | 4    |
| <i>Final Assembly</i>    | 75,75  | 0                      | 0              | 0              | 0                   | -                     | 117,65                   | 117,65         | 311,06       | 5    |
| <i>Electric Assembly</i> | 86,17  | 0                      | 0              | 0              | 0                   | 0                     | -                        | 117,65         | 203,82       | 6    |
| <i>Packing</i>           | 117,65 | 0                      | 0              | 0              | 0                   | 0                     | 0                        | -              | 117,65       | 7    |

Berdasarkan hasil pengolahan data pada tabel di atas yaitu perhitungan bobot posisi untuk setiap stasiun kerja dengan menggunakan metode *Ranked Positional Weight* (RPW). Nilai bobot posisi ini diperoleh dari penjumlahan waktu elemen kerja pada stasiun tersebut (*Wb*) dengan waktu stasiun kerja pengikutnya. Dari tabel tersebut diketahui bahwa stasiun kerja 1 memiliki nilai bobot posisi terbesar yaitu 841,28. Hal ini menunjukkan bahwa Stasiun Kerja 1 memiliki beban urutan yang paling panjang karena merupakan awal dari rangkaian proses produksi *heat exchanger*. Sebaliknya, stasiun kerja 7 memiliki nilai bobot posisi terendah yaitu 203,82 hal tersebut dikarenakan stasiun tersebut merupakan tahap akhir yang tidak lagi memiliki stasiun kerja pengikut.

Selanjutnya melakukan penggabungan *Workstation* sesuai dengan prioritas bobot posisi. Perhitungan waktu baku, efisiensi *Workstation* dan waktu menganggur setelah menggabungkan *Workstation* dapat dilihat pada tabel dan *precedence diagram* dibawah ini.



**Gambar 4.** *Precedence Diagram* Alternatif Lintasan Produksi

**Tabel 9.** Alternatif Lintasan Produksi

| Stasiun Kerja | Operasi              | Jumlah Wb | Idle Time | Efisiensi Stasiun Kerja |
|---------------|----------------------|-----------|-----------|-------------------------|
| 1             | <i>Coil Assembly</i> | 117,05    | 100,46    | 54%                     |
| 2             | <i>Brazing</i>       | 217,51    | 0,00      | 100%                    |
| 3             | <i>Washing</i>       | 195,68    | 21,83     | 90%                     |

| Testing Coil |                   |        |       |     |
|--------------|-------------------|--------|-------|-----|
| 4            | Final Assembly    | 161,92 | 55,59 | 74% |
|              | Electric Assembly |        |       |     |
| 5            | Packing           | 117,65 | 99,85 | 54% |
|              | Total             |        |       |     |

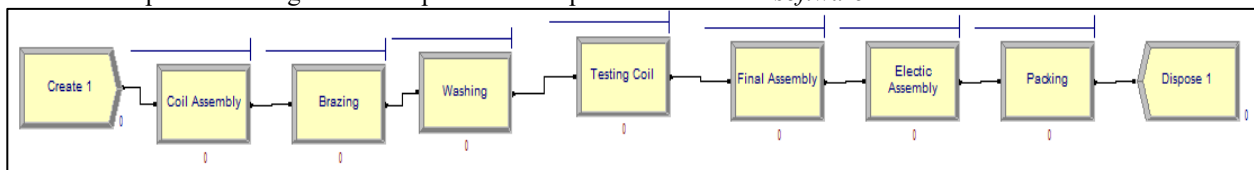
1. *Line Efficiency* =  $\frac{\sum t_i}{(K \times CT)}$   
 $= \frac{809,80}{(5 \times 217,51)} \times 100\% = 74\%$
2. *Balance Delay* =  $\frac{(K \times CT) - \sum t_i}{(K \times CT)} \times 100\%$   
 $= \frac{(5 \times 217,51) - 809,80}{(5 \times 217,51)} \times 100\% = 26\%$
3. *Smoothness Index* =  $\sqrt{\sum (ST_{max} - ST_i)}$   
 $= \sqrt{23628,46} = 153,72$

|                  |        |
|------------------|--------|
| Line Efficiency  | 74%    |
| Balance Delay    | 26%    |
| Smoothness Index | 153,72 |

Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode RPW terjadi peningkatan performansi yang signifikan di mana *Line Efficiency* naik menjadi 74%. Sehingga *Balance Delay* berhasil ditekan hingga 26% dan nilai *Smoothness Index* menurun menjadi 153,72. Hal tersebut mengindikasikan bahwa penerapan metode RPW terbukti efektif dalam menyeimbangkan beban kerja, mengurangi penumpukan material (*bottleneck*), dan meningkatkan produktivitas lintasan produksi secara keseluruhan.

**E. Simulasi Kondisi Awal Lintasan Produksi dengan Software ARENA.**

Untuk langkah selanjutnya yaitu melakukan visualisasi kondisi lintasan produksi dengan simulasi ARENA. Berikut merupakan rancangan lintasan produksi berupa lintasan awal di software simulasi ARENA.



**Gambar 4.** Kondisi Awal Lintasan Produksi di software ARENA

|   | Name                       | Type           | Capacity | Busy / Hour | Idle / Hour | Per Use | StateSet Name | Failures | Report Statistics |
|---|----------------------------|----------------|----------|-------------|-------------|---------|---------------|----------|-------------------|
| 1 | Operator Coil Assembly     | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 2 | Operator Brazing           | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 3 | Operator Washing           | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 4 | Operator Testing coil      | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 5 | Operator Final Assembly    | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 6 | Operator Electric Assembly | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 7 | Operator Packing           | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |

**Gambar 5.** Display Resource kondisi awal di software ARENA

Gambar 4 menunjukkan model simulasi sistem produksi sebelum dilakukan perbaikan. Model terdiri dari tujuh stasiun kerja yang merepresentasikan setiap stasiun kerja pada proses produksi *heat exchanger* sesuai kondisi nyata di lapangan. Setiap stasiun menggunakan modul process dengan waktu pengerjaan sesuai data aktual. Model ini digunakan untuk menggambarkan performansi awal sistem sebelum dilakukan penyeimbangan lintasan menggunakan metode RPW. Simulasi dijalankan selama 84 jam dengan 5 replikasi untuk memperoleh hasil yang stabil dan representatif. Pola kedatangan entitas diatur menggunakan distribusi constant sebesar 84 menit yang didapatkan dari nilai *takt*. Adapun untuk setiap stasiun menggunakan satu *resource* (operator) dengan kapasitas 1 seperti pada gambar 4.

**Tabel 10.** Output Simulasi Kondisi Awal Lintasan Produksi

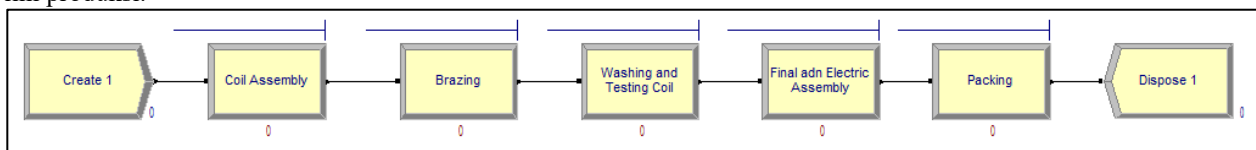
| Indikator           | Nilai |
|---------------------|-------|
| Jumlah Stasiun      | 7     |
| Output (Number Out) | 53    |

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Rata-Rata WIP       | 5,8876                |
| Utilisasi Tertinggi | 98,93% (Brazing)      |
| Utilisasi Terendah  | 20,14% (Testing Coil) |
| Rentang Utilisasi   | 78,79%                |

Berdasarkan tabel indikator awal, sistem produksi memiliki 7 stasiun dengan output sebesar 53 unit, yang menunjukkan kapasitas produksi sudah baik. Namun, rata-rata WIP sebesar 5,8876 unit mengindikasikan adanya penumpukan material dan aliran produksi yang belum optimal. Dari sisi utilisasi terdapat ketimpangan yang signifikan, di mana proses Brazing memiliki utilisasi sangat tinggi (98,93%) sedangkan *Testing Coil* sangat rendah (20,14%) yang menunjukkan adanya pemborosan sumber daya sehingga menyebabkan tingginya nilai *idle time*. Secara keseluruhan sistem masih belum efisien karena ketidakseimbangan beban kerja sehingga diperlukan perbaikan melalui line balancing dan optimalisasi sumber daya.

#### F. Simulasi Alternatif Lintasan Produksi dengan Software ARENA

Model alternatif dirancang mengacu pada hasil metode *Ranked Positional Weight* (RPW) dengan cara menggabungkan beberapa stasiun kerja dari yang awalnya 7 menjadi 5 stasiun kerja guna meningkatkan keseimbangan lini produksi.



Gambar 6. Display Simulasi Alternatif Lintasan

|   | Name                                 | Type           | Capacity | Busy / Hour | Idle / Hour | Per Use | StateSet Name | Failures | Report Statistics |
|---|--------------------------------------|----------------|----------|-------------|-------------|---------|---------------|----------|-------------------|
| 1 | Operator Coil Assembly               | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 2 | Operator Brazing                     | Fixed Capacity | 2        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 3 | Operator Washing and Testing Coil    | Fixed Capacity | 2        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 4 | Operator Final and Electric Assembly | Fixed Capacity | 2        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |
| 5 | Operator Packing                     | Fixed Capacity | 1        | 0.0         | 0.0         | 0.0     |               | 0 rows   | ✓                 |

Gambar 7. Display Resource Alternatif Lintasan di software ARENA

Gambar 6 menunjukkan model simulasi alternatif lintasan produksi sesuai dengan perhitungan *Ranked Positional Weight* (RPW) sebelumnya. Model terdiri dari lima stasiun kerja yang didapatkan melalui penggabungan beberapa stasiun yaitu *washing* dengan *testing coil* dan *final assembly* dengan *electric assembly*. Penggabungan ini didasarkan untuk mendapatkan lintasan produksi yang lebih seimbang. Setiap stasiun menggunakan modul process dengan waktu pengerjaan sesuai data aktual. Simulasi dijalankan selama 84 jam dengan 10 replikasi sama seperti sebelumnya untuk memperoleh hasil yang stabil dan representatif. Pola kedatangan entitas diatur menggunakan distribusi constant sebesar 84 menit yang didapatkan dari nilai *takt*. Adapun untuk setiap stasiun menggunakan tetap menggunakan satu *resource* (operator) dengan kapasitas 1 seperti pada gambar 6.

Tabel 11. Output Simulasi Alternatif Lintasan Produksi

| Indikator Awal      | Nilai            |
|---------------------|------------------|
| Jumlah Stasiun      | 5                |
| Output (Number Out) | 53               |
| Rata-Rata WIP       | 5,8876           |
| Utilisasi Tertinggi | 98,93% (Brazing) |
| Utilisasi Terendah  | 63,27% (Packing) |
| Rentang Utilisasi   | 35,66%           |

Tabel 11 menunjukkan hasil setelah dilakukan penyeimbangan lini menggunakan metode *Ranked Positional Weight* (RPW) jumlah stasiun kerja berkurang menjadi 5 stasiun. Hasil simulasi menunjukkan bahwa *output* sistem tetap 53 unit dengan rata-rata WIP sebesar 5,8876 unit. Perubahan signifikan terlihat pada distribusi utilisasi. Tingkat utilisasi menjadi lebih merata dengan rentang antara 63,27% hingga 98,93%. Hal ini menunjukkan bahwa beban kerja antar stasiun telah terdistribusi secara lebih seimbang dibandingkan kondisi awal lintasan produksi.

| Indikator           | Kondisi Awal | Alternatif | Keterangan    |
|---------------------|--------------|------------|---------------|
| Jumlah Stasiun      | 7            | 5          | Lebih Efisien |
| Output (Number Out) | 53           | 53         | Tetap         |

|                     |        |        |                |
|---------------------|--------|--------|----------------|
| Rata-Rata WIP       | 5,8876 | 5,8876 | Tetap          |
| Utilisasi Tertinggi | 98,93% | 98,93% | Tetap          |
| Utilisasi Terendah  | 20,14% | 63,27% | Meningkat      |
| Rentang Utilisasi   | 78,79% | 35,66% | Lebih Seimbang |

Berdasarkan tabel perbandingan antara kondisi awal dan kondisi alternatif, dapat diketahui bahwa terdapat sejumlah perubahan signifikan yang terjadi setelah dilakukan perbaikan. Dari sisi jumlah stasiun kerja, kondisi awal menggunakan 7 stasiun kerja, sedangkan pada kondisi alternatif berhasil direduksi menjadi 5 stasiun kerja, yang menunjukkan bahwa lini produksi menjadi lebih efisien. Meskipun jumlah stasiun berkurang, *output* yang dihasilkan tetap sama, yakni sebesar 53 unit sehingga pengurangan stasiun tidak berdampak negatif terhadap produktivitas.

Nilai rata-rata *Work In Process* (WIP) juga tidak mengalami perubahan, yaitu tetap sebesar 5,8876 pada kedua kondisi yang mengindikasikan bahwa aliran material dalam lini produksi berjalan secara konsisten. Begitu pula dengan utilisasi tertinggi yang tetap berada di angka 98,93% menandakan bahwa stasiun kerja dengan beban terbesar masih beroperasi pada tingkat yang sama. Perbedaan yang cukup mencolok terlihat pada utilisasi terendah di mana kondisi awal hanya mencapai 20,14%, sedangkan pada kondisi alternatif meningkat menjadi 63,27%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa stasiun kerja yang sebelumnya kurang terbebani kini memiliki beban kerja yang lebih proporsional. Hal ini juga tercermin dari rentang utilisasi yang menyempit dari 78,79% pada kondisi awal menjadi 35,66% pada kondisi alternatif, yang berarti distribusi beban kerja antar stasiun menjadi jauh lebih seimbang.

#### IV. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian kondisi awal menunjukkan performa lintasan yang belum optimal, ditandai dengan nilai *line efficiency* sebesar 53%, *balance delay* yang tinggi mencapai 47%, serta *Smoothness Index* sebesar 298,29 yang mengindikasikan adanya ketimpangan beban kerja yang cukup signifikan antar stasiun. Melalui integrasi metode *Line Balancing* dengan pendekatan *Ranked Positional Weight* (RPW) dan simulasi *software* ARENA, dilakukan penggabungan stasiun kerja dari yang semula berjumlah 7 menjadi 5 stasiun, yaitu dengan menyatukan stasiun *Washing* dengan *Testing Coil* serta *Final Assembly* dengan *Electric Assembly*. Hasilnya, *line efficiency* meningkat menjadi 74%, *balance delay* berhasil ditekan menjadi 26%, dan *Smoothness Index* menurun menjadi 153,72. Simulasi ARENA turut mengkonfirmasi peningkatan tersebut dengan *line efficiency* mencapai 75% serta distribusi utilisasi antar stasiun yang jauh lebih merata yakni berkisar antara 63,27% hingga 98,93%. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa integrasi metode *Ranked Positional Weight* (RPW) dan simulasi ARENA terbukti konsisten dan efektif dalam menyeimbangkan beban kerja, mengurangi *idle time*, serta meningkatkan produktivitas lintasan produksi secara keseluruhan tanpa mengurangi output yang dihasilkan.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Universitas Muhammadiyah Sidoarjo dan PT. XYZ yang telah memberikan izin penelitian serta menyediakan data produksi yang diperlukan dalam penyusunan karya ilmiah ini. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi perusahaan dan menjadi referensi dalam pengembangan penelitian selanjutnya.

#### REFERENSI

- [1] H. C. Wahyuni, P. T. Industri, F. Teknik, and U. M. Sidoarjo, "Implementasi Metode Objective Matrix (OMAX) Untuk Pengukuran Produktivitas Pada PT.ABC," vol. 1, no. 1, pp. 17–21, 2017, doi: 10.21070/prozima.v1i1.702.
- [2] W. Rpw et al., "Optimasi Lintasan Produksi dengan Metode Ranked Positional Weight ( RPW ) dan Algoritma Genetik ( GA ) TALENTA Conference Series Optimasi Lintasan Produksi dengan Metode Ranked Positional," vol. 8, no. 1, 2025, doi: 10.32734/ee.v8i1.2650.
- [3] A. B. Sulisty, "PERENCANAAN LINE BALANCING PROSES PRODUKSI PADA SHEARING LINE PLANT DENGAN MENGGUNAKAN METODE," vol. XVI, no. 1, pp. 49–60, 2022.
- [4] C. W. Oktavia et al., "Pendekatan Studi Waktu Dan Line Balancing Dalam Permasalahan Bottleneck di PT. XYZ," *J. Tiarsie*, vol. 22, no. 1, 2025.
- [5] E. Elfandry and dkk, "Pendekatan Line Balancing dalam Pembuatan Ragum Menggunakan TALENTA Conference Series Pendekatan Line Balancing dalam Pembuatan Ragum Menggunakan Metode Helgeson-," *Talent. Conf. Ser.*, vol. 3, no. 2, pp. 210–217, 2020, doi: 10.32734/ee.v3i2.995.
- [6] E. Novianti and D. Herwanto, "Penerapan Line Balancing Produksi Arm Rear Brake dengan Metode Ranked Positional Weight di PT. Ciptaunggul Karya Abadi," *J. Serambi Eng.*, vol. 8, no. 2, pp. 5875–5882, 2023, doi:

- 10.32672/jse.v8i2.5977.
- [7] P. Yolanda, K. Panggabean, I. G. Pasaribu, D. C. Atania, A. B. Tarigan, and T. R. Manalu, "Pendekatan Line Balancing Menggunakan Metode Largest Candidate Rule untuk Memperoleh Efisiensi Lintasan Produksi Ragum," *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 8, no. 1, 2025, doi: 10.32734/ee.v8i1.2571.
- [8] I. J. Saifudin, "Analisis Line Balancing Menggunakan Metode Region Approach di PT. XYZ," *J. Manaj. Ind. dan Teknol.*, vol. 03, no. 03, pp. 49–60, 2022.
- [9] N. Hasanah, "Analisis Beban Kerja Karyawan Produksi GRC dengan Metode Full Time Equivalent dan," vol. 2, no. 2, pp. 21–29, 2021.
- [10] U. S. Utara, "Perancangan Sistem Pelayanan pada UMKM X Menggunakan Simulasi dengan Software ARENA," *Talent. Conf. Ser. Energy Eng.*, vol. 7, no. 1, 2024, doi: 10.32734/ee.v7i1.2316.
- [11] F. Wijaya and H. Setiawan, "Penggunaan Software Arena Untuk Meminimalisasi Waktu Tunggu Antrian Air Mineral Galon," pp. 636–644, 2025.
- [12] A. F. Fauzi and J. A. S. Z.S, "Productivity Improvement through Line Balancing Measurement in the Loom Section Using the Ranked Positional Weight (RPW) Method," *Indones. J. Innov. Stud.*, vol. 26, no. 4, pp. 1–9, 2025, doi: 10.21070/ijins.v26i4.1581.
- [13] Esa Pratiwi and Agus Nurrokhman, "Perbaikan keseimbangan lini produksi dengan metode regional approach, largest candidate rule dan ranked positional weight," *JENIUS J. Terap. Tek. Ind.*, vol. 6, no. 2, pp. 177–188, 2025, doi: 10.37373/jenius.v6i2.1698.
- [14] F. Processing, "LINE BALANCING ANALYSIS OF FISH MEATBALL PRODUCTION PROCESS AT," vol. 5, no. 2, pp. 53–61, 2023.
- [15] W. Sabardi, R. Pramanda, and D. Suhandi, "PERANCANGAN EFISIENSI LINTASAN PRODUKSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE HELGESON-BIRNIE ( RANKED POSITIONAL WEIGHT ) UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS PRODUKSI ( STUDI KASUS PADA UNIT PRODUKSI I SHIFT I PT . SUMBETRI MEGAH )," *J. Ilm. Jurutera*, vol. 08, 2021.
- [16] S. N. Aftori and E. Krisnawati, "Reduksi Waktu Siklus Produksi Bawang Goreng dengan Pendekatan Lean Manufacturing," *Prosida of Engineering*, vol. 1, 2023.
- [17] O. Waktu, S. Kerja, M. Metode, and T. Study, "Optimasi Waktu Standar Kerja Menggunakan Metode Stopwatch," vol. 5, no. 1, 2023.
- [18] M. Nevenda, L. Mei, C. Wulandari, U. Katolik, and D. Cendika, "MENENTUKAN JUMLAH TENAGA KERJA OPTIMAL PADA PROSES PRODUKSI PT . NRZ PRIMA GASKET," *J. Sains, Tek. dan Stud. Kemasyarakatan*, vol. 1, no. 5, pp. 211–222, 2023.
- [19] Y. Wulandari, T. Wahyudi, R. Rahmahwati, S. Uslianti, and F. Prima, "Simulation of Queue System of Retirement Fund Retrieval at The Sanggau Post Office During the Covid-19 Pandemic Using Arena Software Simulasi Sistem Antrian Pengambilan Dana Pensiun di Kantor Pos Sanggau Saat Pandemi Covid-19 Menggunakan Software Arena," vol. 14, no. 1, pp. 89–95, 2021.

**Conflict of Interest Statement:**

*The author declares that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.*