

ANALISA KESEIMBANGAN LINTASAN DENGAN METODE KILLBRIDGE WESTER DAN HELGESON BIRNIE (STUDI KASUS: LINE WELDING PT SUZUKI INDOMOBIL MOTOR PLANT TAMBUN II)

LINE BALANCING ANALYSIS WITH KILLBRIDGE WESTER AND HELGESON BIRNIE
(CASE STUDY: LINE WELDING PT SUZUKI INDOMOBIL MOTOR PLANT TAMBUN II)

Maria Krisnawati*¹, Nita Pertiwi¹, Suparjiyanto²

*Email: maria.krisnawati@unsoed.ac.id

¹Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Jenderal Soedirman, Purwokerto

²Divisi Welding PT Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II

Abstrak— Penelitian ini merupakan studi kasus yang dilakukan pada *Line Welding* PT Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II. Hasil dari analisis efisiensi lini menunjukkan bahwa lini *rear floor* YR9 memiliki efisiensi paling rendah yaitu 75,16 %. Oleh karena itu, dilakukan analisis pada lini *rear floor* YR9 dengan menggunakan metode *Line Balancing*. Analisa perbaikan lini dilakukan dengan dua metode yaitu *Killbridge Wester* dan *Hegelson Birnie* dengan menggunakan *Cycle Time (CT)* = 20,09 menit dan *CT* = 19 menit untuk *line efficiency*, *balance delay*, dan *smoothness index*. Berdasarkan analisis, metode *Hegelson Birnie* dengan *CT* = 19 menit menghasilkan nilai *line efficiency* yang terbaik yaitu sebesar 94,22%, nilai *balance delay* sebesar 5,70%, dan nilai *smoothness index* sebesar 1,32.

Kata kunci — *Line balancing*, *Cycle time*, Stasiun kerja

Abstract—This research is a case study conducted at the *Line Welding* of PT Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II. The results of line efficiency analysis showed that the YR9 rear floor line had the lowest efficiency of 75.16%. Therefore, the researchers analyzed the YR9 rear floor line with the *Balancing Line* method. The perform line improvement analysis with two methods: *Killbridge Wester* and *Hegelson Birnie* using *Cycle Time (CT)* = 20.09 minutes and *CT* = 19 minutes for *line efficiency*, *balance delay*, and *smoothness index*. Based on the analysis, the *Hegelson Birnie* method with *CT* = 19 minutes resulted in the best *line efficiency* value of 94.22%, the *balance delay* value was 5.70%, and the *smoothness index* value was 1.32.

Keywords — *Line balancing*, *Cycle time*, *Work station*

I. PENDAHULUAN

Lini perakitan mempunyai peranan penting di industri untuk merakit produk standar atau produk dengan efisiensi lebih tinggi [1]. Lini perakitan terdiri dari sekumpulan stasiun kerja yang berurutan dan dihubungkan oleh sistem *material handling*. Produk dirakit dari stasiun kerja pertama hingga stasiun kerja terakhir. Pada *workstation* karyawan melakukan pekerjaan perakitan yang diperlukan untuk menyelesaikan produk *subassembly* dengan proporsi tertentu dari struktur produk, dalam rentang waktu yang ditetapkan [2].

Penyeimbangan lini perakitan (*assembly line balancing*) merupakan salah satu kriteria untuk menentukan efektivitas industri dimana sejumlah elemen pekerjaan perakitan dikelompokkan menjadi beberapa stasiun kerja. Setiap stasiun kerja diharapkan memiliki *cycle time* yang sama meskipun dengan kapasitas yang berbeda sehingga tidak terjadi *idle time* (waktu menganggur) dan *bottleneck* [3].

Bottleneck dapat menyebabkan penurunan efisiensi lini produksi suatu perusahaan [4] yang dapat mengakibatkan tidak tercapainya kapasitas produksi yang diinginkan perusahaan.

Oleh karena itu perlu dilakukan usaha-usaha untuk menyeimbangkan lintasan.

Line balancing bertujuan meminimumkan waktu menganggur pada lintasan yang telah ditentukan oleh operasi yang paling lambat sehingga dapat meningkatkan efisiensi lintasan dan meningkatkan performa pada lini produksi perusahaan [5]. Tujuan utama *line balancing* adalah bagaimana meminimalkan jumlah stasiun kerja dan meningkatkan tingkat produksi. *Line balancing* juga digunakan untuk mendapatkan minimalisasi waktu siklus, memaksimalkan kelancaran beban kerja, dan maksimalisasi pekerjaan [6]. Waktu siklus merupakan salah satu data penting pada *line balancing* di semua lini produksi. Waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu produk, atau waktu total yang dibutuhkan sebelum produk meninggalkan stasiun kerja dan berpindah ke stasiun kerja selanjutnya [7]. Ada beberapa indikator yang digunakan untuk menentukan kualitas pada *line balancing*, yaitu *line efficiency*, *smoothing index* dan waktu pada *line balancing* [8][9].

Pada umumnya tujuan dari keseimbangan lintasan ini adalah untuk meminimalkan waktu siklus yang digunakan dalam jalur model tunggal (SALBP) [10]. Peningkatan efisiensi lintasan untuk SALBP dapat diselesaikan dengan menggunakan metode heuristik, metode analitis, maupun metode komputerisasi [9]. Metode heuristik *line balancing* terdiri dari *tabu search*, *Helgeson Birnie* atau *Rank Positional Weight (RPW)*, *branch and bound*, *Killbridge Wester*, *Moodie Young*, dll. [9,10,11,12,13].

Kilbridge Wester dan *RPW* adalah metode heuristik yang biasa digunakan untuk mengatur dan mendistribusikan waktu elemen deskripsi di sepanjang stasiun kerja dalam sistem [11]. bahwa kedua metode ini (*Helgeson-Birnie* dan *Killbridge Wester*) memberikan perbaikan efisiensi lintasan produksi [14][15].

Metode *Helgeson Birnie* dan *Killbridge Wester* banyak digunakan dalam penyelesaian masalah *line balancing* diantaranya untuk penentuan peningkatan efisiensi di *line welding* [5], mengukur efisiensi lini perakitan dan keseimbangan lintasan pada lini perakitan *automobile* [14], peningkatan efisiensi stasiun

kerja dengan pendekatan *region approach (Killbridge Wester)* di PT Triangle Motorindo [7], peningkatan desain *assembly line* PT XYZ [16], analisa keseimbangan lintasan dengan menggunakan Metode *Helgeson-Birnie* studi kasus PT D [17], meningkatkan efisiensi lintasan kerja menggunakan metode *RPW* dan *Killbridge western* di PT Sango Ceramic Indonesia [18].

Dari beberapa penelitian yang disebutkan baik metode *Helgeson Birnie* maupun metode *Killbridge Wester* dapat memperbaiki efisiensi lintasan. Metode *Killbridge wester* merupakan metode yang diperkenalkan oleh *Bedword* [19], pada prinsipnya metode ini berusaha membebaskan terlebih dahulu pada operasi yang memiliki tanggungjawab keterdahuluan yang besar [15], sedangkan metode *Helgeson Birnie* atau *Ranked Positional Weight* adalah metode yang diusulkan oleh Helgeson dan Birnie. Konsep dari metode ini adalah menentukan jumlah stasiun kerja minimal dan melakukan pembagian aktivitas pekerjaan ke dalam stasiun kerja dengan cara memberikan bobot posisi kepada setiap aktivitas sehingga semua aktivitas pekerjaan ditempatkan pada sebuah stasiun kerja. Hasil dari kedua metode kemudian dipilih yang terbaik untuk mengetahui jumlah stasiun kerja yang dibutuhkan berdasarkan perhitungan *line efficiency*, *balance delay* dan *smoothness index*.

Line Welding PT. Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II memiliki 4 *line* untuk masing-masing tipe mobil yang diproduksi yaitu *line YR-9*, *YLO*, *Y9J*, dan *line* tipe baru, dari keempat *line* tersebut *line YR9* masih memiliki nilai efisiensi lini yang cenderung lebih kecil dibandingkan dengan dua *line* yang lainnya (*Line YLO* dan *Line Y9J*). Hal tersebut dapat dilihat pada data efisiensi *line welding* pada Tabel-1.

Tabel-1. Perbandingan Efisiensi Lini pada *Line Welding*

No	Line	Efisiensi Lini (%)
1	YR-9	82.34
2	YLO	83.49
3	Y9J	89.87
4	Tipe Baru	-

Dari Tabel-1 dapat dilihat bahwa efisiensi lini terkecil terdapat pada *Line YR9*, dimana *Line YR9* memiliki *subline* yaitu *main body*, *side body*, *rear floor*, *front under*, dan *panel*

door. Dari kelima *subline* tersebut, lini *rear floor* memiliki efisiensi paling rendah yaitu 75,16 %, adapun *line efficiency* untuk *subline* YR9 dapat dilihat pada Tabel-2.

Tabel-2. Efisiensi lini setiap *subline* YR9

<i>Subline</i>	<i>Line efficiency</i>
<i>Main body</i>	81,23%
<i>Side body</i>	89,90%
<i>Rear floor</i>	75,16%
<i>Front under</i>	85,76%
<i>Panel door</i>	83,33%

Dari 5 *subline* (*main body*, *side body*, *rear floor*, *front under*, dan *panel door*) pada *line welding* YR9, *subline rear floor* mempunyai efisiensi terkecil.

Pada penelitian ini menggunakan beberapa asumsi, antara lain:

1. Metode kerja operator sudah baik.
2. Tidak terjadi kerusakan mesin peralatan dan material handling.
3. Satu stasiun kerja dikerjakan oleh satu operator sehingga total jumlah operator sama dengan jumlah stasiun kerja.
4. Analisis keseimbangan lini hanya dilakukan pada *line welding* YR9.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang digunakan dalam penelitian ini adalah:

a. Tahap Identifikasi Awal

Tahap awal yang dilakukan dalam penelitian ini adalah identifikasi masalah dan studi literatur serta menentukan tujuan penelitian.

b. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk pengolahan dan analisis data tahap berikutnya. Data yang dikumpulkan meliputi gambaran umum produk dan subkomponen produk, aktivitas/elemen kerja pada *line welding rear floor* PT Suzuki Indomobil Motor, waktu siklus dan waktu standar elemen kerja, dan *precedence diagram line* YR9 *Rear floor*.

c. Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data terhadap data yang dikumpulkan sebelumnya. Tahap yang dilakukan antara lain:

1. Perhitungan efisiensi lintasan sebelum dilakukan perbaikan.
2. Menetapkan waktu siklus. Waktu siklus ditetapkan dengan batasan antara *ti max* (waktu maksimum di stasiun kerja) dan *tack time*. Perhitungan waktu siklus dan *tack time* didapatkan dengan cara memperhitungkan data permintaan dan waktu kerja efektif pada 7 bulan (bulan April 2017-Januari 2018).
3. Perbaikan keseimbangan lintasan dengan metode *helgeson birnie*. Perbaikan keseimbangan lintasan dengan metode *helgeson birnie* dilakukan dengan tahapan : hitung bobot setiap elemen, tambahkan waktu operasi dan susun *precedence diagram*, hitung posisi peringkat untuk setiap elemen kerja, membuat urutan elemen kerja dari posisi peringkat teratas untuk kemudian dilakukan penempatan elemen - elemen kerja pada stasiun kerja berdasarkan posisi peringkat, total waktu proses tiap stasiun tidak dapat melebihi *cycle time* (CT) yang telah ditentukan, ulangi langkah sebelumnya hingga semua elemen ditugaskan pada semua stasiun kerja [20].
4. Perbaikan keseimbangan lintasan dengan metode *Killbridge western*. Perbaikan keseimbangan lintasan dengan metode *Killbridge western* dilakukan dengan tahapan: mengelompokkan beberapa aktifitas pekerjaan ke dalam kelompok yang sama, selanjutnya adalah menempatkan aktivitas-aktivitas pekerjaan di suatu kelompok, dimulai dari Kelompok 1, gabungkan dalam satu stasiun kerja, dan memilih penggabungan terbaik dimana total semua aktifitas dalam satu stasiun kerja mendekati waktu siklus. Jika penempatan sebuah aktifitas pekerjaan ke dalam stasiun kerja menyebabkan waktu total stasiun kerja bersangkutan melebihi waktu siklus, maka aktifitas ditempatkan pada stasiun berikutnya. Jika terdapat beberapa aktivitas pekerjaan yang belum ditempatkan di suatu stasiun kerja dan waktu totalnya berjumlah kurang dari waktu siklus, lanjutkan penggabungan dengan aktivitas pekerjaan di kelompok selanjutnya, dalam hal ini Kelompok 2. Lakukan kembali hingga

semua aktifitas pekerjaan telah tergabung dalam suatu stasiun kerja [21].

d. Analisis Data.

Setelah data yang dibutuhkan diolah dengan metode yang dipilih, maka selanjutnya dilakukan analisis data mengenai hasil olahan data.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengumpulan Data

Data Tabel-3 di bawah ini merupakan data waktu siklus baku yang telah ditetapkan manajemen PT Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II yang diambil perhitungannya oleh pihak departemen *welding* PT Suzuki Indomobil Motor Plant Tambun II (dalam satuan menit).

Tabel-3 Spesifikasi pekerjaan dan waktu penyelesaian

Task	Spesifikasi Pekerjaan	Task time (menit)	Task that must precede
1	Melakukan <i>assembly</i> Pannel, Rear Floor dan Bolt, Brake Pipe dengan cara <i>welding</i>	2,19	-
2	Melakukan <i>assembly</i> Pannel, Rear Floor' dan Reinf, RR Seat Belt dengan cara <i>welding</i>	2,12	1
3	Melakukan <i>assembly</i> dengan Bracket, Spare Tire dengan cara <i>welding</i>	2,31	2
4	Melakukan <i>assembly</i> Panel, RR Wheel House Inner, R dengan cara <i>welding</i>	2,32	3
5	Melakukan <i>assembly</i> Panel, RR Wheel House Inner, L dengan cara <i>welding</i>	2,11	4
6	Melakukan <i>assembly</i> Reinf, RR Seat Belt Side R dengan cara <i>welding</i>	2,11	5
7	Melakukan <i>assembly</i> Reinf, RR Seat Belt Side L dengan cara <i>welding</i>	2,31	6
8	Melakukan <i>assembly</i> Bracket, RR Seat Leg dengan cara <i>welding</i>	1,91	7
9	Melakukan <i>assembly</i> Crossmember, RR Floor dengan Bolt, Proportioning	1,04	-
10	Melakukan <i>assembly</i> dengan Nut, Parking Cable	1,6	9
11	Melakukan <i>Assembly</i> dengan Nut Proportioning Valve	1,7	10
12	Melakukan <i>assembly</i> dengan Nut, Fuel tank	1,98	11
13	Melakukan <i>assembly</i> hanger comp muffler front	1,2	12
14	Melakukan <i>assembly</i> dengan Locker comp, R	1,55	13
15	Melakukan <i>assembly</i> dengan Locker comp, L	1,92	14

16	Melakukan <i>assembly</i> dengan Crossmember comp, RR Floor 2 nd	1,24	15
17	Melakukan <i>assembly</i> dengan Crossmember Comp, RR Floor 3rd	1,6	16
18	Melakukan <i>assembly</i> dengan Member Comp, RR Floor Side, R	1,28	17
19	Melakukan <i>assembly</i> dengan Member Comp, RR Floor Side, L	1,55	18
20	Melakukan <i>assembly</i> dengan Crossmember Comp, RR Floor Front	1,2	19
21	Melakukan <i>Assembly</i> Member Comp R Floor dengan Pan comp rear floor	4,85	8, 20
22	Melakukan <i>assembly</i> dengan Panel Comp, Rear Skirte	6,324	21
23	Melakukan pengelasan di seluruh titik produk rear floor yang sudah ter-assembly.	7,296	22
Total		53,71	

Selain data waktu baku, diperlukan juga data permintaan untuk perancangan *line balancing*. Data di bawah ini merupakan data permintaan produksi *line welding rear floor*.

Tabel-4 Data permintaan *line welding rear floor*

Bulan	Tahun	Jumlah Hari Kerja	Total waktu kerja efektif (menit)	Demand
April	2017	18	8640	407
Mei		20	9600	456
September		11	5280	187
Oktober		22	10560	630
November	2018	22	10560	650
Desember		18	8640	472
Januari		19	9120	479

Analisa Kondisi Awal

Line Welding Rear floor YR9 pada sistem terpasang saat ini terdapat 4 stasiun kerja dimana pada masing-masing stasiun kerja terdapat 1 operator yang bekerja, sehingga jumlah operator yang bekerja adalah 4 operator. Jumlah elemen kerja untuk melakukan proses *welding rear floor* dari awal hingga selesai adalah 23 elemen kerja. Berdasarkan hasil waktu standar yang ada, maka total waktu yang dibutuhkan untuk 23 elemen kerja adalah 53,71 menit. Berikut adalah alokasi elemen kerja untuk masing-masing stasiun kerja pada sistem terpasang saat ini.

Untuk mengetahui tingkat performansi pada sistem saat ini, maka dilakukan perhitungan performansi yang terdiri dari efisiensi lintasan, *balance delay*, dan *smoothing index*. Berikut

adalah perhitungan kriteria performansi pada sistem saat ini.

Tabel-5 Alokasi elemen kerja sebelum perbaikan

Stasiun Kerja	Ws stasiun Kerja (menit/unit)	Idle time
1	17.38	0.48
2	17.86	0
3	11.17	6.69
4	7.29	10.57

Efisiensi lintasan:

$$\begin{aligned}
 Eff &= \frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \times 100\% \\
 &= \frac{17,38+17,86+11,17+7,29}{17,86 \times 4} \times 100\% \\
 &= 75,16\%
 \end{aligned}$$

Balance delay:

$$\begin{aligned}
 BD &= \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n ti}{(n \times CT)} \times 100\% \\
 &= \frac{(4 \times 17,86) - 53,7}{(4 \times 17,86)} \times 100\% \\
 &= 24,83\%
 \end{aligned}$$

Menghitung *Smoothing Index*:

$$\begin{aligned}
 SI &= \sqrt{\sum_{t=1}^n (ST_{imax} - ST_i)^2} \\
 &= \sqrt{0,48^2 + 0^2 + 6,69^2 + 10,57^2} \\
 &= 12,51
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa performansi line *rear floor* YR 9 pada saat dilakukan pengamatan memiliki kondisi yang belum optimal. Sebagaimana yang telah diketahui bahwa lintasan produksi yang baik memiliki efisiensi lintasan yang tinggi, *balance delay* yang rendah, dan *smoothing index* yang mendekati angka 0. Sementara itu hasil perhitungan terhadap sistem yang ada saat ini menunjukkan efisiensi yang rendah, *balance delay* dan *smoothing index* yang tinggi.

Berdasarkan identifikasi penyebab masalah yang telah dijelaskan dapat disimpulkan bahwa untuk memperbaiki performansi *line welding rear floor* YR9 maka diperlukan metode *line balancing* yang dapat mengoptimalkan performansi *line welding rear floor* YR9.

Perhitungan Waktu Siklus Lintasan

Syarat waktu siklus lintasan:

$$ti \max \leq CT \leq takt \ time$$

Waktu siklus ditetapkan dengan batasan antara *ti max* (waktu maksimum di stasiun kerja) dan *takt time*. Rasio antara total waktu kerja efektif dengan permintaan disebut dengan *Takt Time* yang menunjukkan kecepatan waktu yang dibutuhkan untuk dapat menghasilkan sejumlah unit sesuai dengan permintaan pelanggan [5].

$$Takt \ time = \frac{Total \ waktu \ kerja \ efektif}{Permintaan} \quad (1)$$

Sehingga, berdasarkan persamaan tersebut didapatkan hasil *takt time* setiap bulannya seperti pada Tabel-6.

Tabel-6 Takt time setiap bulan produksi

Tahun	Bulan	Takt time (menit/unit)
2017	April	20,72
	Mei	21,24
	September	28,24
	Oktober	16,74
	November	16,31
	Desember	17,93
2018	Januari	19,45

Maka, acuan *tack time* yang diambil adalah rata-rata *tack time* pada 7 bulan.

$$\begin{aligned}
 T \text{ (rata-rata)} &= \frac{T_1+T_2+T_3+T_4+T_5+T_6+T_7}{7} \\
 &= \frac{140,61}{7} \\
 &= 20,09 \text{ menit/unit}
 \end{aligned}$$

Sehingga waktu siklus adalah:

$$7,29 \leq CT \leq 20,09$$

Melalui perhitungan yang diperoleh maka waktu siklus yang akan digunakan adalah 20,09 menit. Selain itu, peneliti juga akan membandingkan dengan *cycle time* berbeda yaitu 19 menit dengan tujuan untuk membandingkan hasil efisiensi lini terbesar, *balance delay* terkecil dan nilai *smoothness index* tekecil.

B. Pengolahan Data

Metode Helgeson-Birnie

Hasil perhitungan parameter performansi line dari metode *Helgeson-Birnie* dengan $CT=20,09$ menit adalah sebagai berikut dengan Nilai ST_i diperoleh berdasarkan pengelompokan elemen kerja dalam setiap stasiun kerja. Nilai ST_i akan berbeda untuk setiap CT tergantung aktivitas yang dapat dikelompokkan dalam stasiun kerja.

Efisiensi lintasan:

$$Eff = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \right) \times 100\%$$

$$= \frac{19.93+15.31+18.47}{20.09 \times 3} \times 100\%$$

$$= 89,09 \%$$

Balance Delay:

$$BD = \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n ti}{(n \times CT)} \times 100\%$$

$$= \frac{(3 \times 20.09) - 53.7}{(3 \times 20.09)} \times 100\%$$

$$= 10,88 \%$$

Menghitung *Smoothing Index*:

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_i \text{ Max} - ST_i)^2}$$

$$= \sqrt{0^2 + 4.62^2 + 1.46^2}$$

$$= 4,84$$

Hasil perhitungan parameter performansi line dari metode *Helgeson-Birnie* dengan CT=19 menit adalah:
Efisiensi lini:

$$Eff = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \right) \times 100\%$$

$$= \frac{18.01+17.23+18.47}{19 \times 3} \times 100\%$$

$$= 94,22 \%$$

Balance delay:

$$BD = \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n ti}{(n \times CT)} \times 100\%$$

$$= \frac{(3 \times 19) - 53.7}{(3 \times 19)} \times 100\%$$

$$= 5,7 \%$$

Smoothness index:

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_i \text{ Max} - ST_i)^2}$$

$$= \sqrt{0.46^2 + 1.24^2 + 0^2}$$

$$= 1,32$$

Metode *Killbridge-Wester*

Hasil perhitungan parameter performansi line dari metode *Killbridge-Wester* dengan CT=20,09 menit sebagai berikut:

$$Eff = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \right) \times 100\%$$

$$= \frac{20.02+20.07+13.62}{20.09 \times 3} \times 100\%$$

$$= 89,11 \%$$

Balance delay:

$$BD = \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n ti}{(n \times CT)} \times 100\%$$

$$= \frac{(3 \times 20.09) - 53.71}{(3 \times 20.09)} \times 100\%$$

$$= 10,88\%$$

Smoothness index:

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_i \text{ Max} - ST_i)^2}$$

$$= \sqrt{0.05^2 + 0^2 + 6.45^2}$$

$$= 6,45$$

Hasil perhitungan parameter performansi line dari metode *Killbridge-Wester* dengan CT=19 menit sebagai berikut:

Efisiensi Lintasan:

$$Eff = \left(\frac{\sum_{i=1}^n ST_i}{CT \times n} \right) \times 100\%$$

$$= \frac{18.42+16.82+18.47}{19 \times 3} \times 100\%$$

$$= 94,22\%$$

Balance delay:

$$BD = \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n ti}{(n \times CT)} \times 100\%$$

$$= \frac{(3 \times 19) - 53.71}{(3 \times 19)} \times 100\%$$

$$= 5,7\%$$

Menghitung *Smoothing index*:

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (ST_i \text{ Max} - ST_i)^2}$$

$$= \sqrt{0.05^2 + 1.65^2 + 0^2}$$

$$= 1,65$$

Peningkatan performansi *line welding rear floor* YR9 merupakan hasil dari penelitian yang menggunakan beberapa indikator performansi untuk melihat hasil terbaik dari kedua metode usulan. Tabel-7 merupakan hasil perbandingan indikator performansi awal dan performansi usulan pembentukan rancangan keseimbangan masing-masing metode.

Tabel-7 Hasil perbandingan indikator performansi awal dan performansi usulan

Performansi	Kondisi Aktual	Hasil Rancangan Helgeson Birnie		Hasil Rancangan Killbridge Wester	
		CT=	CT=1	CT=	CT=1
		20,09	9	20,09	9
Efisiensi lintasan (%)	75,16	89,11	94,22	89,11	94,22
Balance delay (%)	24,83	10,88	5,70	10,88	5,70
Smoothness index	12,51	4,84	1,32	6,45	1,65
Stasiun kerja	4	3	3	3	3

Berdasarkan hasil Tabel-7, perbandingan seluruh indikator performansi pada kondisi awal lebih kecil dari pada kedua metode usulan dimana kedua metode usulan tersebut mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Kedua metode usulan mempunyai hasil yang sama besar pada indikator performansi *efficiency line* dan *balance delay*, akan tetapi mempunyai hasil yang berbeda jika dilihat dari hasil *smoothness index*. Hasil *smoothness index* pada metode *Helgeson-Birnie* dengan CT=19 menit mempunyai hasil yang paling baik sehingga hasil pengelompokan aktivitas pada stasiun kerja dengan metode *Helgeson Birnie* dengan CT=19 menit menjadi alternatif perbaikan selanjutnya.

IV. KESIMPULAN DAN SARAN

Setelah dilakukan perbaikan, didapatkan metode rancangan terbaik yaitu dengan metode *Helgeson Birnie* dengan *Cycle Time*=19 menit didapatkan efisiensi lintasan baru sebesar 94,22%, *balance delay* sebesar 5,7% dan *smoothing index* sebesar 1,32%. Jumlah stasiun kerja yang dibutuhkan setelah perbaikan adalah 3 stasiun kerja dengan 3 operator, sedangkan sebelum perbaikan jumlah operator pada *line welding rear floor YR9* adalah 4 stasiun kerja dengan 4 operator dengan peningkatan efisiensi sebesar 19,06% dari kondisi aktual.

Saran untuk penelitian selanjutnya adalah untuk mendapatkan hasil *line efficiency*, *balance delay*, dan *smoothness index* yang optimum maka harus dilakukan *trial and error* dengan mencoba *cycle time* yang berbeda-beda berdasarkan ketentuan $ti\ max \leq CT \leq takt\ time$.

DAFTAR PUSTAKA

[1] Jaganathan P, Hamzah M, Subramaniam I. An analysis of Google Translate use in decoding contextual semanticity among EFL learners. *Asian*

Journal of Research in Social Sciences and Humanities. 2014; 4(8): 413-425.

[2] Sathish S, dan Lakshmanan A R. Assembly line efficiency measurement and line balancing a case study on automobile cluster assembly line. *Research Journal of Applied Sciences, Engineering And Technology*, 2015; 8, 651-654.

[3] Gjeldum N, Salah B, Aljinovic A, Khan S. Utilization of industry 4.0 related equipment in assembly line balancing procedure. *MDPI Processes*. 2020; 8(7): 864.

[4] Li Z, Kucukkoc I, Tang Q. Enhanced branch-bound-remember and iterative beam search algorithms for type II assembly line balancing problem. *Computers & Operations Research*. 2021; 131(2): 105-235.

[5] Hery,H dan Harry, W. Implementasi Line Balancing untuk Peningkatan Efisiensi di Line Welding Studi Kasus: PT X. Jurusan Teknik Industri, Universitas President. *Jurnal Rekayasa Sistem Industri*, 2017; 6(1): 57- 63.

[6] Oktian A Y. *Analisa Peningkatan Kapasitas Produksi Pada Line Assembling LED TV PT. X Dengan Metode Line Balancing*. Doctoral dissertation, Fakultas Teknik Unpas. 2016.

[7] Santoso H. 2012. Peningkatan Efisiensi Stasiun Kerja dengan Pendekatan Region Line Balancing (Studi Kasus di PT. Triangle Motorindo). *ROTASI*. 2012; 8 (1): 8-14.

[8] Kumar N, and Mahto D. Assembly line balancing: a review of developments and trends in approach to industrial application. *Global Journal of Research In Engineering*, 2013; 13(2).

[9] Santosh T, Ghutukade, Suresh M, Sawant. Use of Ranked Position Weighted Method for Assembly Line Balancing. *International Journal of Advanced Engineering Research and Studies*. 2013; 2(4).

[10] Parvez M, Amin F, Akter F. Line Balancing Techniques To Improve Productivity Using Work Sharing Method. *IOSR Journal of Research and Method in Education (IOSRJRME)*. 2017; 7(03): 07-14.

[11] Afifuddin, M. Penerapan Line Balancing Menggunakan Metode Ranked Position Weight (RPW) untuk Meningkatkan Output Produksi pada Home Industri Pembuatan Sepatu Bola. *JIEM*, 2019; 12(1): 38-46.

[12] Abdeljaouad M A, and Klement N. *Tabu search algorithm for single and multi-model line Balancing problems*. In IFIP International Conference on Advances in Production Management Systems. 2021; 409-415. Springer, Cham.

[13] Li Z, Kucukkoc I, and Tang Q. Enhanced branch-bound-remember and iterative beam search algorithms for type II assembly line balancing problem. *Computers and Operations Research*, 2021; (131): 105-235.

[14] Syahputri K, Sari R M., Anizar, Rizkya I, Leviza J, Siregar I. *Improving assembly line balancing using moodie young methods on dump truck production*. IOP Conference Series Materials Science and Engineering. 2018; 288.

[15] Ekoanindiyo F A, dan Helmy L, Meningkatkan Efisiensi Lintasan Kerja Menggunakan Metode RPW dan Killbridge-Western. *Jurnal Ilmiah Dinamika Teknik*. 2017; 10 (1): 16-26.

[16] Suyono A M, dan Ferdian R. Improvement of PT XYZ Assembly Line Design Using Helgeson Birnie

- method. *PalArch's Journal of Archaeology of Egypt/Egyptology*, 2020; 17(10): 3183-3192.
- [17] Kristianto A, dan Kurniawan V R B. Analisa Keseimbangan Lintasan Dengan Menggunakan Metode Helgeson-Birnie (Ranked Positional Weight) Studi Kasus PT. D. *Journal Industrial Servicsess*, 2015; 1(1).
- [18] Pradesi J, Yaqin N A, Yahya R. Meningkatkan efisiensi lintasan kerja menggunakan metode RPW dan Killbridge western di PT. Sango Ceramic Indonesia. *Jurnal Sains Indonesia*, 2021; 2(1): 20-27.
- [19] A Bedworth, David D, dan Bailey, James E. 1987. *Integrated Production Control Systems*. New York: John Wiley & Sons. 1987.
- [20] Dolgui A, Gafarov, E. Can a Branch and Bound algorithm solve all instances of SALBP-1 efficiently. *IFAC-Papers OnLine*, 2019; 52(13): 2788-2791.
- [21] Saptono H, Wardani A. Analisis assembly line balancing produk head lamp Type K59A dengan pendekatan metode helgeson-birnie studi kasus PT. Indonesia Stanley electric. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 2017; 12(1): 7-14.