

Optimasi Kapasitas Produksi *Assembly Line* LED *Downlight* PT. DEF

Ririn Desfiasri¹, Andira²

^{1,2} Faculty of Engineering, Industrial Engineering Department, President University
Jl. Ki Hajar Dewantara
Kota Jababeka, Cikarang, Bekasi - Indonesia 17550
Email: desfiasri.ririn@gmail.com, andira@president.ac.id, burhanp@president.ac.id

ABSTRACT

PT. DEF is a manufacturing company that produces lighting fixture. Light Emitting Diode (LED) down-light is one of the company flagship products. With the new type (LGB72316 LE1 and LGB72317 LE1) and the company's policy not to add man-power in production units lead automatically in addition of work hours on the production schedule that's resulting in increased overtime. After a series of data collection and testing, as well as the determination of standard time on the assembly line work related, research shows that low line efficiency (66.55%) and the balance delay is high (33.45%). This is an indication of poor performance related on the assembly line. Line balancing would be an alternative problem solving tools to overcome these problems. This study tried to draft a new balancing method Helgeson-Birnei, Moodie Young and Kilbridge-Wester Heuristics. Of a series of procedures that have been performed, the method Kilbridge-Wester Heuristics showed the best results. The method is able to improve performance by reducing cycle time, product of 35.17 seconds / products became 32.88 seconds / products and generate 6 work stations with 6 operators, line efficiency 94.91%, balance delay 5.09%, smoothness index of 6,224 and labor cost saving of Rp 7,215,011.27 per month.

ABSTRAK

PT. DEF merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi *lighting fixture*. *Light Emitting Diode* (LED) *down-light* merupakan salah satu produk andalannya. Dengan adanya tipe baru (LGB72316 LE1 dan LGB72317 LE1) dan kebijakan perusahaan untuk tidak menambah man-power pada unit produksi secara otomatis terjadi penambahan jam kerja pada jadwal produksi yang mengakibatkan meningkatnya *overtime*. Setelah serangkaian pengambilan dan pengujian data, serta penetapan waktu standar kerja pada *assembly line* terkait dilalui, penelitian menunjukkan *line efficiency* yang rendah (66.55 %) dan *balance delay* yang tinggi (33.45 %). Hal ini menjadi indikasi rendahnya performansi *assembly line* terkait. *Line balancing* menjadi salah satu alternatif *problem solving tools* untuk mengatasi permasalahan tersebut. Penelitian ini mencoba membuat rancangan keseimbangan lintasan baru dengan metode *Helgeson-Birnei*, *Moodie Young* dan *Kilbridge-Wester Heuristics*. Dari serangkaian prosedur-prosedur yang telah dilakukan, metode *Kilbridge-Wester Heuristics* memperlihatkan hasil terbaik. Metode tersebut mampu meningkatkan performansi dengan mengurangi *cycle time* produk dari 35.17 detik /produk menjadi 32.88 detik / produk dan menghasilkan 6 stasiun kerja dengan 6 operator, *line efficiency* 94.91%, *balance delay* 5.09%, *smoothness index* 6.224 serta *labor cost saving* sebesar Rp 7.215.011,27 per bulan.

Keywords: *assembly line*, *line balancing*, *line efficiency*, *balance delay*, *smoothness index* dan *labor cost saving*.

1. Pendahuluan

PT. DEF merupakan salah satu perusahaan manufaktur yang memproduksi *lighting fixture*. *Light Emitting Diode* (LED) *down-light* merupakan salah satu produk andalannya. Pada tahun 2013 PT. DEF memproduksi beberapa LED *downlight* tipe baru diantaranya LGB72316 LE1 dan LGB72317 LE1. Dengan adanya tipe baru dan kebijakan perusahaan untuk tidak menambah *man-power* pada unit produksi secara otomatis terjadi penambahan jam kerja pada jadwal produksi yang mengakibatkan meningkatnya *overtime*. *Assembly line-3* yang menjadi tempat perakitan produk tipe LGB72316 LE1 dan LGB72317 LE1 memiliki performa yang kurang baik karena sumber daya yang ada belum dikelola secara maksimal. Hal ini diperlihatkan melalui beberapa bukti yang berupa hasil pengolahan data observasi awal. Pertama, hasil pengolahan data *overtime* observasi awal menunjukkan bahwa waktu kerja efektif shift 2 sebesar 8.92% atau sekitar 11 jam per bulan dialokasikan untuk *overtime*. Kedua, hasil pengolahan data pengukuran waktu kerja pada observasi awal. Hal ini dapat dilihat dari beberapa indikator performansi *assembly line* terkait diantaranya, *line efficiency* sebesar 66.55%, *balance delay* sebesar 33.45% dan *smoothness index* sebesar 40.405. Rendahnya *line efficiency*, tingginya *balance delay* dan *smoothness index* merupakan sebuah indikasi bahwa *assembly line*

terkait tidak seimbang. Oleh karena itu dilakukan penelitian yang bertujuan untuk memperbaiki keseimbangan lintasan yang diharapkan dapat mengurangi lembur/*overtime*.

Elsayed dan Boucher (1994) mengungkapkan dua permasalahan utama dalam *assembly line* antara lain penyeimbangan stasiun kerja dan kontinuitas operasi dalam lintasan perakitan. Berdasarkan dua permasalahan utama tersebut dapat disimpulkan bahwa, dalam lingkungan bertipe *repetitive manufacturing* dengan produksi massal, peranan perencanaan produksi sangat penting terutama dalam penugasan kerja pada lintasan perakitan atau biasa disebut *assembly line*.

Salah satu cara untuk mengatasi ketidakseimbangan sebuah *assembly line* adalah dengan melakukan penyeimbangan lini perakitan (*line balancing*). *Line balancing* merupakan metode untuk menyeimbangkan penugasan beberapa elemen kerja dari suatu lintasan perakitan ke stasiun kerja untuk meminimumkan banyaknya stasiun kerja dan meminimumkan total *idle time* pada keseluruhan stasiun kerja pada tingkat output tertentu (Boysen et al, 2007), yang dalam penyeimbangan tugas ini, kebutuhan waktu per unit produk yang dispesifikasikan untuk setiap tugas dan hubungan sekuensial harus dipertimbangkan, sehingga memperoleh suatu arus produksi yang lancar dalam rangka mendapatkan utilisasi yang tinggi atas fasilitas, tenaga kerja maupun peralatan. Selain itu, Purnomo (2004) mengungkapkan bahwa pengaturan dan perencanaan yang tidak tepat mengakibatkan setiap stasiun kerja di lintas perakitan mempunyai kecepatan produksi yang berbeda sehingga terjadi penumpukan material di antara stasiun kerja yang tidak berimbang kecepatannya. Oleh karena itu upaya penyeimbangan lintasan (*line balancing*) perlu dilakukan.

2. Metodologi

2.1 Observasi Awal

Observasi dan pengumpulan data yang dibutuhkan untuk melakukan analisis antara lain, data gambaran produk terkait, data *flow process* perakitan LED, data waktu proses tiap elemen kerja, data target produksi bulanan dan data waktu kerja efektif bulanan. Selain itu penelitian ini juga mengamati kondisi kerja dan operator pada *assembly line* terkait untuk menentukan faktor-faktor penyesuaian dan faktor-faktor kelonggaran.

2.1.1 Gambaran Umum Produk dan *Assembly Line 3*

LED *downlight* tipe LGB72316 LE1 dan LGB72317 LE1 (tipe residensial) merupakan produk baru PT. DEF yang akan dipasarkan di Jepang. Secara fisik kedua produk tersebut sama, perbedaannya hanya pada LED yang digunakan. LED *downlight* tipe LGB72316 LE1 dan LGB72317 LE1 dirakit pada *assembly line 3* dengan 8 stasiun kerja dan satu orang operator pada masing-masing stasiun. Secara garis besar, *assembly line* terkait terdiri atas dua sub bagian. Sub 1 terdiri atas 3 stasiun kerja. Stasiun ini menghasilkan barang setengah jadi yang disimpan pada *WIP box (work in process box)*. Sub 2 terdiri atas 5 stasiun kerja yang menghasilkan *finish good* yang siap dibawa ke gudang.

2.1.2 Waktu Kerja Efektif

Stop line dan waktu kerja aktual merupakan beberapa aspek yang perlu diperhitungkan untuk mendapatkan *cycle time* produk yang akurat selama satu bulan. Selain itu PT. DEF juga menetapkan kebijakan libur inventori. Kebijakan libur inventori merupakan kebijakan dimana perusahaan meliburkan karyawan dan hanya mempekerjakan karyawan yang bertugas melakukan pemeriksaan inventori perusahaan pada hari kerja kalender nasional, sehingga tidak ada kegiatan kerja atau produksi normal (jika ada diperhitungkan sebagai *overtime*). Beberapa data terkait dengan waktu kerja efektif, antara lain:

- a. Waktu kerja efektif hari senin hingga kamis *shift 1* adalah 465 menit (total waktu kerja dikurangi *stop line* terencana 80 menit) sedangkan hari jumat adalah 450 menit (total waktu kerja dikurangi *stop line* terencana 95 menit).
- b. Waktu kerja efektif *shift 2* dari senin hingga Jumat adalah 370 menit (total waktu kerja dikurangi *stop line* terencana 70 menit)
- c. Dengan adanya kebijakan libur inventori dan hari libur nasional yang lain target produksi perusahaan, waktu kerja efektif dan target produksi *assembly line* terkait dalam satu bulan dapat dirangkum ke dalam Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Total Waktu Kerja Efektif dan Target Produksi LGB7231 Series Assembly Line-3 Shift 1 dan Shift 2

Bulan	Tahun	Senin-Kamis	Jumat	Total waktu Kerja (menit)		Target	Tipe Produk
				Shift 1	Shift 2		
Januari	2014	16	4	Shift 1	9240	11168	LGB72316 LE1
				Shift 2	7400	5692	LGB72317 LE1
Februari	2014	16	4	Shift 1	9240	11168	LGB72316 LE1
				Shift 2	7400	5692	LGB72317 LE1
Maret	2014	16	4	Shift 1	9240	11168	LGB72316 LE1
				Shift 2	7400	5692	LGB72317 LE1

2.1.3 Waktu Standar Elemen kerja

Data waktu proses elemen kerja yang telah diperoleh kemudian mengalami serangkaian proses pengolahan mulai dari uji normalitas, uji keseragaman dan uji kecukupan data. Setelah data dinyatakan layak untuk diproses faktor penyesuaian dan kelonggaran kemudian ditambahkan untuk memperoleh waktu standar tiap elemen kerja. Langkah-langkah di bawah ini akan memperlihatkan bagaimana waktu standar elemen kerja dapat diperoleh.

A. Uji keseragaman data

Uji keseragaman data dilakukan untuk memastikan data yang diperoleh berasal dari sistem kerja yang sama. Wignjosoebroto (2008) menjelaskan uji keseragaman data melalui tahap-tahap berikut:

- a. Menghitung waktu rata-rata elemen kerja

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{n} \quad (1)$$

- b. Menghitung standar deviasi

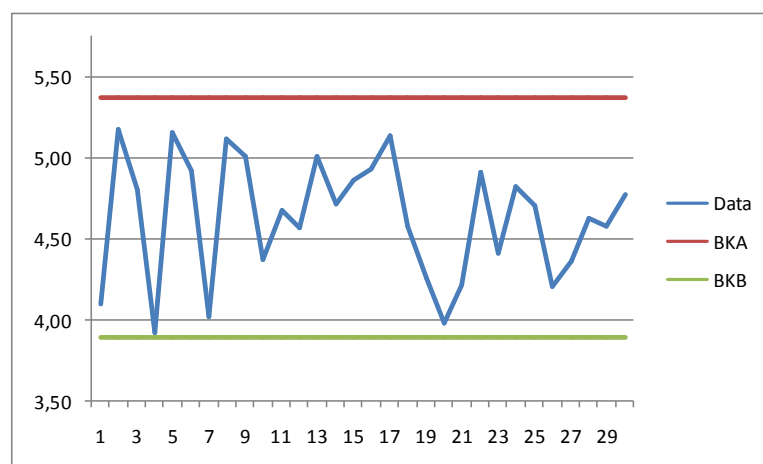
$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{N-1}} \quad (2)$$

- c. Menentukan BKA dan BKB dengan $K = 2$ (confidence level 95%)

$$BKA = \bar{x} + K\sigma \quad (3)$$

$$BKB = \bar{x} - K\sigma \quad (4)$$

- d. Memeriksa keseragaman data dengan ketentuan data berada di dalam rentang BKA dan BKB. Grafik di bawah ini menjadi contoh uji keseragaman data sebuah elemen kerja.



Gambar 1. Grafik Uji Keseragaman Data Elemen Kerja 1

Dimana :

\bar{x} = Nilai rata-rata

BKA = Batas kontrol atas

BKB = Batas kontrol bawah

σ = Standar deviasi

k = tingkat keyakinan (99% = 3, 95% = 2)

B. Uji kecukupan data

Uji kecukupan data dilakukan untuk memastikan apakah data yang diambil sudah mencukupi jumlah minimal data yang dibutuhkan dalam suatu penelitian. Jika $N' < N$ maka jumlah observasi aktual dianggap cukup. Wignjosoebroto (2008) menggunakan rumus di bawah ini untuk menguji kecukupan data suatu penelitian.

$$N' = \frac{\frac{k}{s} N x^2 - (\sum x)^2}{x} \quad (5)$$

Dimana: N' = jumlah observasi yang diperlukan
 N = jumlah observasi yang dilakukan
 k = tingkat keyakinan (99% = 3, 95% = 2)
 s = Derajat ketelitian

C. Uji normalitas data

Penelitian ini menggunakan uji normalitas *Anderson Darling* (AD) dengan bantuan *statistical software* untuk membantu proses kalkulasi pada data terkait. Grous (2013) mendefinisikan uji AD sebagai,

$$A^2 = - N + S \quad (6)$$

dimana

$$S = \sum_{k=1}^n \frac{2k-1}{n} [\ln F Y_k + \ln 1 - F Y_{n+1-k}] \quad (7)$$

F = Fungsi kumulatif distribusi dari sebuah distribusi spesifik.

A = nilai Anderson Darling

Yi = data yang diurutkan.

N = jumlah sampel

Confidence Interval penelitian ini adalah 95% sehingga jika *p-value* hasil pengujian lebih besar dari 0.05 berarti data berdistribusi normal.

D. Memasukkan faktor penyesuaian dan faktor kelonggaran

Penelitian ini menggunakan penyesuaian *Westinghouse System* yang direkomendasikan Niebel dan Freivalds (2009) karena memungkinkan analisis yang lebih detail pada faktor-faktor penyebab ketidakwajaran dan kewajaran dalam bekerja antara lain, keterampilan, usaha, kondisi dan konsistensi. Pemberian nilai dari faktor-faktor penyesuaian dilakukan berdasarkan pengamatan dan data waktu kerja serta lisensi yang dimiliki oleh pekerja.

Tabel 3. Faktor-faktor Penyesuaian Operator *Assembly Line-3*

Operator	Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian	Jumlah	Operator	Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian	Jumlah
1	Keterampilan	Good	C2	+0.03	+0.03	5	Keterampilan	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00			Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00			Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00			Konsistensi	Average	D	0.00	
2	Keterampilan	Average	D	0.00	0.00	6	Keterampilan	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00			Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00			Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00			Konsistensi	Average	D	0.00	
3	Keterampilan	Average	C2	+0.03	+0.03	7	Keterampilan	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00			Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00			Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00			Konsistensi	Average	D	0.00	
4	Keterampilan	Good	D	0.00	0.00	8	Keterampilan	Average	D	0.00	0.00
	Usaha	Average	D	0.00			Usaha	Average	D	0.00	
	Kondisi	Average	D	0.00			Kondisi	Average	D	0.00	
	Konsistensi	Average	D	0.00			Konsistensi	Average	D	0.00	

Assembly line terkait mulai beroperasi 16 Oktober 2013 dan saat ini ditangani oleh 8 orang operator. Operator *assembly line* terkait mayoritas (6 orang) merupakan pekerja baru yang berstatus berusia 20 - 24 tahun dan telah terbiasa mengerjakan proses produksi dengan metode kerja yang ada sehingga dapat dikatakan memiliki ketrampilan, usaha dan konsistensi yang sama. Elemen kerja 2 dan 11 memerlukan penanganan operator berlisensi yang memiliki keterampilan khusus sehingga perlu diberi faktor penyesuaian. Kondisi lingkungan tempat dimana semua operator

tadi bekerja memiliki suhu normal (22-280C), berventilasi baik dan segar sehingga dapat dikatakan semua operator merasakan kondisi yang sama. Faktor penyesuaian yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 2 di atas.

Sedangkan *allowance* atau kelonggaran ditentukan berdasarkan pengamatan selama proses produksi berlangsung dan diasumsikan sama untuk semua operator yakni 14 %. Tabel dibawah ini akan menampilkan darimana *allowance* tersebut diperoleh.

Tabel 3. Faktor-Faktor Kelonggaran untuk Operator *Assembly Line 3*

Faktor Kelonggaran	Deskripsi Kondisi Kerja	Persentase
Tenaga yang dikeluarkan	Sangat ringan	6%
Sikap Kerja	Berdiri di atas dua kaki	1%
Gerakan Kerja	Agak terbatas	1%
Kelelahan Mata	Pandangan yang terputus-putus, pencahayaan baik	1%
Keadaan Temperatur tempat kerja	Normal, Kelembapan Normal	1%
Keadaan atmosfer	Baik	0%
Keadaan Lingkungan yang baik	Siklus kerja berulang	1%
Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi	Pria dan Wanita	2%
Hambatan yang tak terhindarkan		1%
Total		14%

E. Menghitung waktu standar

Seluruh data pengukuran waktu elemen kerja yang diperoleh telah dinyatakan layak untuk diproses lebih lanjut karena telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan pada uji normalitas, uji keseragaman dan uji kecukupan data. Sutaalaksana dkk. (2006), menjelaskan perhitungan waktu standar elemen kerja akan diperlihatkan melalui beberapa tahapan berikut:

a. Menghitung waktu siklus

$$W_s = \frac{\sum x_i}{N} \quad (8)$$

b. Menghitung Waktu Normal

$$W_n = W_s \times p \quad (9)$$

c. Menghitung waktu baku atau waktu standar

$$W_b = W_n \times (1 + \text{allowance}) \quad (10)$$

Ikhtisar perhitungan waktu standar untuk seluruh elemen kerja dapat dilihat pada lampiran 1.

2.1.4 Analisis Kondisi Awal

Setelah waktu standar masing-masing elemen kerja diketahui, *cycle time* ditetapkan berdasarkan waktu operasi terlama stasiun kerja yang ada. Waktu stasiun kerja terlama adalah stasiun 2 dengan *cycle time* sebesar 35.17 detik / produk. Kondisi *assembly line-3* yang digunakan untuk proses produksi LED Downlight LGB72316LE1 Series saat ini memiliki performansi yang kurang baik. Hal ini diperlihatkan melalui beberapa indikator performansi yakni *line efficiency* sebesar 66.55%, *balance delay* sebesar 33.45% dan *smoothness index* sebesar 40.405. Hasil itu diperoleh melalui beberapa persamaan yang digunakan oleh Elsayed dan Boucher (1994) berikut ini:

Line Efficiency

$$LE = \frac{\sum_{i=1}^K ST_i}{K \times CT} \times 100\% \quad (11)$$

Balance Delay

$$BD = \frac{n \times CT - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \quad (12)$$

Smoothness Index

$$SI = \frac{\sum_{i=1}^K (ST_{\max} - ST_i)^2}{K} \quad (13)$$

Bukti-bukti nyata yang menunjukkan bahwa *assembly line* terkait kurang beroperasi dengan efisien diperlihatkan melalui Tabel 4 dan Tabel 5 di bawah ini. Sedangkan elemen kerja per stasiun kerja dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 4. Ilustrasi Kondisi Aktual *Assembly Line-3*

Operator stasiun	Waktu standar penyelesaian operasi	Waktu menganggur berdasarkan operator terlama
1	22.71 detik	12.46 detik
2	35.17 detik	0.00 detik
3	25.78 detik	9.39 detik
4	23.69 detik	11.48 detik
5	24.70 detik	10.47 detik
6	32.40 detik	2.77 detik
7	13.58 detik	21.59 detik
8	9.21 detik	25.96 detik

Tabel 5. Data *Overtime* Bulan Oktober 2013 -Januari 2014

Month	Date	Start	End	Break	Minutes	Hour	Total
Oktober 2013	24/10/2013	16.20	20.05	45 min	180	3	6
	25/10/2013	16.20	20.05	45 min	180	3	
November 2013	25/11/2013	16.20	21.05	45 min	240	4	12
	26/11/2013	16.20	21.05	45 min	240	4	
	27/11/2013	16.20	21.05	45 min	240	4	
Desember 2013	23/12/2013	16.20	21.05	45 min	240	4	10
	24/12/2013	16.20	20.05	45 min	180	3	
	27/12/2013	16.20	20.05	45 min	180	3	
Januari 2014	23/01/2013	16.20	21.05	45 min	240	4	11
	24/01/2013	16.20	21.05	45 min	240	4	
	27/01/2013	16.20	20.05	45 min	180	3	

Tabel 6. Elemen kerja dan *predecessor*

Stasiun Kerja	Operator	Elemen Kerja	Deskripsi Elemen Kerja	Predecessor
1	1	1	Inspeksi LED	-
		2	<i>Soldering</i>	1
2	2	3	<i>Cleaning</i>	-
		4	<i>Assembly LED dan holder</i>	2, 3
		5	Pemasangan <i>radiation sheet</i>	4
		6	Memasukkan <i>wire ke frame</i>	5
		7	<i>Screwing</i>	6
		8	Tes nyala (inspeksi)	7
		9	Pemasangan <i>cover</i>	8
3	3	10	Pemberian <i>grease</i>	9
		11	<i>Assembly Body dan frame</i>	10
4	4	12	Pemberian label dan tanda	11
		13	Inspeksi <i>wire connector 1</i> (ditarik)	-
		14	Pemasangan <i>wire</i> putih + abu2	13
		15	<i>Assembly terminal cover ke terminal base</i>	14
		16	<i>Assembly terminal base & top plate</i>	15
5	5	17	Pemasangan <i>wire</i> merah + hitam	16
		18	Inspeksi kesesuaian instalasi	17
		19	Inspeksi <i>wire connector 2</i> (ditarik)	18
		20	<i>Assembly converter + LED unit</i>	12,19
6	6	21	Inspeksi <i>body packing</i>	20
		22	Pemasangan <i>mounting spring</i>	21
		23	Inspeksi <i>mounting spring</i>	22
		24	<i>Setting</i> perangkat inspeksi	23
		25	<i>Final Function Test</i> (dilakukan oleh mesin)	24
		26	Pemasangan <i>mount label</i>	25
		27	<i>Cleaning</i>	26
7	7	28	Pemasangan bandia	27
		29	Pemasangan label indikasi	28
8	8	30	Inspeksi visual	29
		31	Pengemasan	30

Berdasarkan data dari Tabel 6, persentase penggunaan waktu *shift 2* untuk *overtime* selama 1 bulan dapat dihitung melalui tahap-tahap berikut :

a. *Overtime* bulan November 2013- Januari 2014 digunakan sebagai acuan penghitungan rata-rata

overtime kondisi awal (Data *overtime* bulan Oktober tidak digunakan karena produksi baru dimulai pada 16 Oktober 2014).

$$X = \frac{12 + 10 + 11}{3} = 11 \text{ Jam atau } 660 \text{ menit per bulan}$$

- b. Presentase penggunaan waktu *shift 2* untuk *overtime* selama satu bulan dapat dihitung melalui rasio perbandingan rata-rata *overtime* selama satu bulan dan waktu kerja efektif *shift 2* selama 1 bulan.

$$\text{Persentase Overtime} = \frac{660}{7400} \times 100\% = 8.92 \%$$

3. Hasil dan Diskusi

3.1.1 Peningkatan *Production Rate*

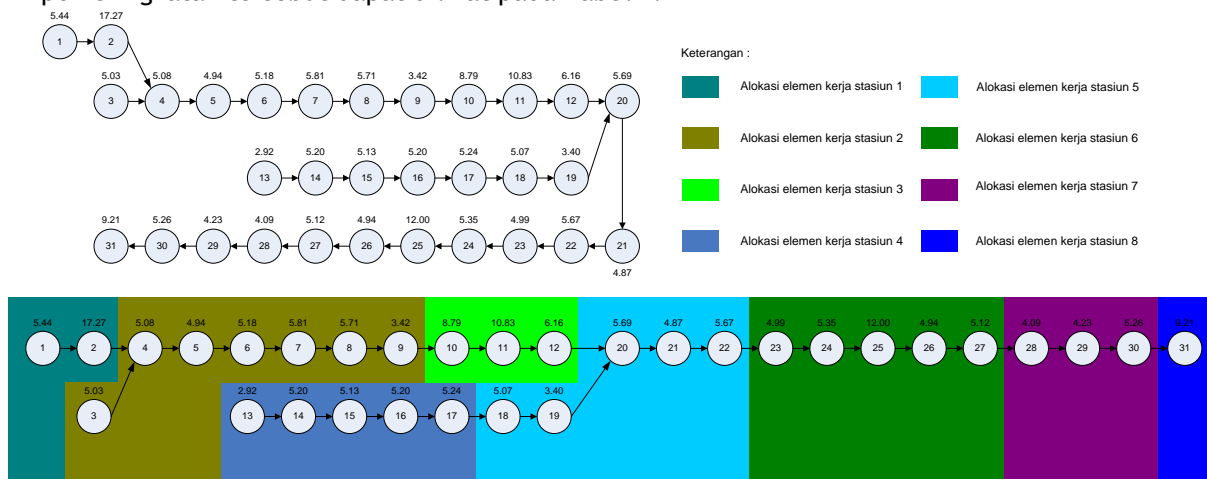
Berdasarkan data pada tabel 2 *production rate* yang diinginkan untuk mengeliminasi *overtime* (pekerjaan hanya dilakukan pada *shift 1*) sebesar 32.88 detik/produk dapat dihitung dengan persamaan yang digunakan oleh Niebel dan Freivalds (2009) berikut ini.

$$R = \frac{\text{Total cycle time}}{\text{demand}} \quad (14)$$

3.1.2 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan *Helgeson-Birnie*

Metode pembentukan rancangan keseimbangan lintasan *Helgeson-Birnie* adalah metode yang paling populer digunakan dalam penelitian yang melibatkan analisis untuk meningkatkan keseimbangan lintasan. Metode ini juga dikenal dengan *Rank Positional Weight* (RPW). Elsayed dan Boucher (1994) menjelaskan pembentukan rancangan pada model terkait melalui beberapa langkah berikut:

- Elemen-elemen kerja yang ada dipetakan ke dalam *precedence diagram* beserta kondisi awal pembagian alokasi elemen kerja ke setiap stasiun yang ada pada *assembly line* terkait. Hasil pemetaan yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 3.
- Positional weight* untuk masing-masing elemen kerja dihitung berdasarkan *precedence diagram* awal dan Tabel 7.
- Pemeringkatan elemen kerja dibuat mulai dari *positional weight* tertinggi hingga terendah. Hasil pemeringkatan tersebut dapat dilihat pada Tabel 7.



Gambar 3. *Precedence Diagram* beserta pembagian Alokasi Elemen Kerja Kondisi Awal

Tabel 7. Pemeringkatan *Positional Weight* tiap Elemen Kerja LED Downlight LGB7231 Series

Elemen Kerja	Waktu Penugasan	<i>Positional Weight</i>	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	<i>Positional Weight</i>
1	5,44	150,05	18	5,07	79,89
2	17,27	144,61	12	6,16	77,58
3	5,03	132,37	19	3,40	74,82
4	5,08	127,34	20	5,69	71,42
5	4,94	122,26	21	4,87	65,73
6	5,18	117,32	22	5,67	60,86
7	5,81	112,14	23	4,99	55,19

Tabel 7. Pemeringkatan *Positonal Weight* tiap Elemen Kerja LED *Downlight LGB7231 Series* (lanjutan)

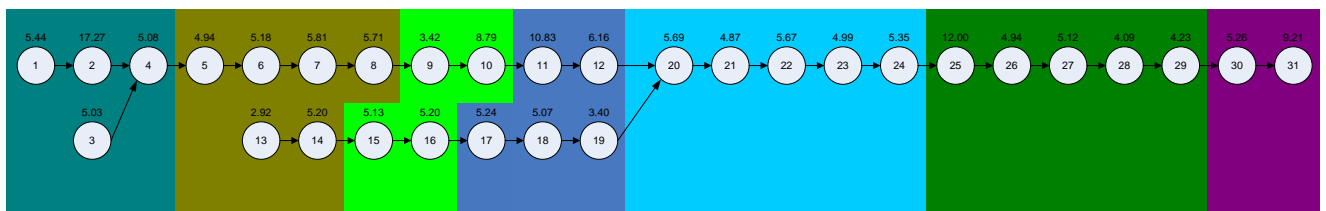
Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Positonal Weight	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Positonal Weight
8	5,71	106,33	24	5,35	50,20
13	2,92	103,58	25	12,00	44,85
14	5,20	100,66	26	4,94	32,85
9	3,42	100,62	27	5,12	27,91
10	8,79	97,20	28	4,09	22,79
15	5,13	95,46	29	4,23	18,70
16	5,20	90,33	30	5,26	14,47
11	10,83	88,41	31	9,21	9,21
17	5,24	85,13			

d. Elemen-elemen kerja dialokasikan ke dalam stasiun kerja berdasarkan peringkat *positional weight*. Pengalokasian terkait tidak boleh melanggar *precedence constraints*. Selain itu, waktu stasiun tidak boleh melebihi waktu siklus. Hasil dari pengalokasian elemen kerja dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengalokasian Elemen Kerja LED *Downlight LGB7231 Series* pada *Assembly Line 3* dengan Metode *Helgeson-Birnie*

Stasiun	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Waktu Kumulatif Penugasan	Idle	Stasiun	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Waktu Kumulatif Penugasan	Idle
1	1	5,44	5,44	0,06	4	18	5,07	21,14	2,18
	2	17,27	22,71			12	6,16	27,3	
	3	5,03	27,74			19	3,4	30,7	
	4	5,08	32,82			5	20	5,69	
2	5	4,94	4,94	21	4,87		10,56		
	6	5,18	10,12	22	5,67		16,23		
	7	5,81	15,93	23	4,99		21,22		
	8	5,71	21,64	24	5,35	26,57			
	13	2,92	24,56	6	25	12	12		
	14	5,2	29,76		3,12	26	4,94	16,94	
3	9	3,42	3,42		27	5,12	22,06		
	10	8,79	12,21		28	4,09	26,15		
	15	5,13	17,34	29	4,23	30,38			
	16	5,2	22,54	10,34	30	5,26	5,26		
4	11	10,83	10,83	7	31	9,21	14,47	18,41	
	17	5,24	16,07						

e. Alokasi elemen kerja per stasiun yang diperoleh kemudian dipetakan seperti pada gambar 4.



Keterangan :

- Alokasi elemen kerja stasiun 1
- Alokasi elemen kerja stasiun 5
- Alokasi elemen kerja stasiun 2
- Alokasi elemen kerja stasiun 6
- Alokasi elemen kerja stasiun 3
- Alokasi elemen kerja stasiun 7
- Alokasi elemen kerja stasiun 4

Gambar 4. *Precedence Diagram* beserta Pembagian Alokasi Elemen Kerja Hasil Perancangan Keseimbangan Lintasan *Helgeson - Birnie*

- f. Dengan persamaan 2-11, 2-12, 2-13, *assembly line* terkait memiliki *Line efficiency* sebesar 81.35% *balance delay* sebesar 18.65% dan *smoothness index* sebesar 22.39
- g. Jumlah operator dihitung dengan *production rate* 32.88 detik / produk

$$N = R \times \frac{SM}{E} = \frac{60}{32.88} \times \frac{187.24/60}{0.8135} = 7 \text{ operator}$$

h. Operator pada masing-masing stasiun dihitung jumlah kebutuhannya dan dialokasikan. Pengalokasian yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 10

Tabel 9. Pengalokasian Jumlah Operator pada *Assembly Line 3* untuk Produk LED *Downlight LGB7231 Series* dengan Metode *Helgeson-Birnie*

Stasiun	Waktu Standar tiap Stasiun	Waktu Standar dibagi Production Rate	Jumlah Operator
1	32.82	0.998	1
2	29.76	0.905	1
3	22.54	0.686	1
4	30.70	0.934	1
5	26.57	0.808	1
6	30.38	0.924	1
7	14.47	0.441	1
Total			7

3.1.3 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan *Moodie Young*

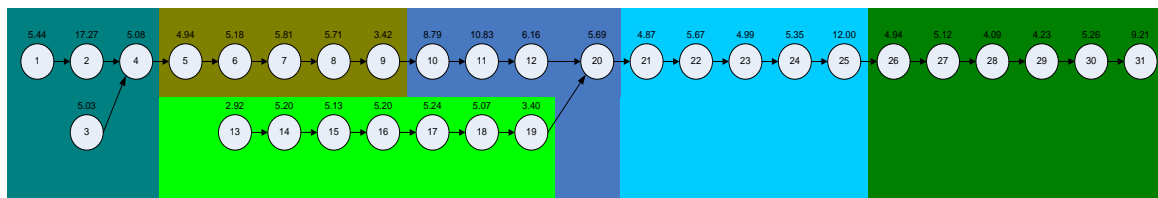
Metode lain yang digunakan untuk untuk melakukan penyeimbangan lintasan adalah *Moodie Young*. Detail pembentukan rancangan keseimbangan lintasan pada model terkait akan dijelaskan melalui beberapa langkah berikut:

- Elemen-elemen kerja yang ada dipetakan ke dalam *precedence diagram* beserta kondisi awal pembagian alokasi elemen kerja ke setiap stasiun yang ada pada *assembly line* terkait. Hasil pemetaan yang dimaksud dapat dilihat pada gambar 3 yang sebelumnya juga digunakan pada pembentukan rancangan keseimbangan lintasan *Helgeson-Birnie*.
- Matriks *predecessor* (P) dan *follower* (F) seluruh elemen kerja disusun berdasarkan *precedence diagram* yang sudah dibentuk.
- Alokasi elemen kerja disusun berdasarkan matriks P dan F tanpa melanggar *precedence constraints*. Alokasi elemen kerja yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 11.
- Penghitungan GOAL stasiun 5 dan stasiun 2

$$GOAL = \frac{ST_{max} - ST_{min}}{2} = \frac{32.88 - 25.06}{2} = 3.91$$

- Berdasarkan perhitungan di atas tidak ada elemen kerja pada stasiun 5 yang lebih kecil dari GOAL sehingga iterasi dihentikan.
- Alokasi elemen kerja per stasiun yang diperoleh kemudian dipetakan seperti pada Gambar 5.
- Dengan persamaan 2-11, 2-12, 2-13, *assembly line* terkait memiliki *Line efficiency* sebesar 94.91% *balance delay* sebesar 5.09% dan *smoothness index* sebesar 7.98
- Penghitungan jumlah operator dengan production rate 32.88 detik / produk

$$N = R \times \frac{SM}{E} = \frac{60}{32.88} \times \frac{187.24/60}{0.9491} = 6 \text{ operator}$$



Keterangan :

- Alokasi elemen kerja stasiun 1
- Alokasi elemen kerja stasiun 4
- Alokasi elemen kerja stasiun 2
- Alokasi elemen kerja stasiun 5
- Alokasi elemen kerja stasiun 3
- Alokasi elemen kerja stasiun 6

Gambar 5. *Precedence Diagram* beserta Pembagian Alokasi Elemen Kerja Hasil Perancangan Keseimbangan Lintasan *Moodie Young*

Tabel 10. Penglokasian Elemen Kerja LED *Downlight* LGB7231 Series pada *Assembly Line-3* dengan Metode *Moodie Young*

Stasiun	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Waktu Kumulatif Penugasan	Stasiun	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Waktu Kumulatif Penugasan
1	1	5,44	5,44	4	10	8,79	8,79
	2	17,27	22,71		11	10,83	19,62
	3	5,03	27,74		12	6,16	25,78
	4	5,08	32,82		20	5,69	31,47
2	5	4,94	4,94	5	21	4,87	4,87
	6	5,18	10,12		22	5,67	10,54
	7	5,81	15,93		23	4,99	15,53
	8	5,71	21,64		24	5,35	20,88
	9	3,42	25,06		25	12,00	32,88
3	13	2,92	2,92	6	26	4,94	4,94
	14	5,20	8,12		27	5,12	10,06
	15	5,13	13,25		28	4,09	14,15
	16	5,20	18,45		29	4,23	18,38
	17	5,24	23,69		30	5,26	23,64
	18	5,07	28,76		31	9,21	32,85
	19	3,40	32,16				

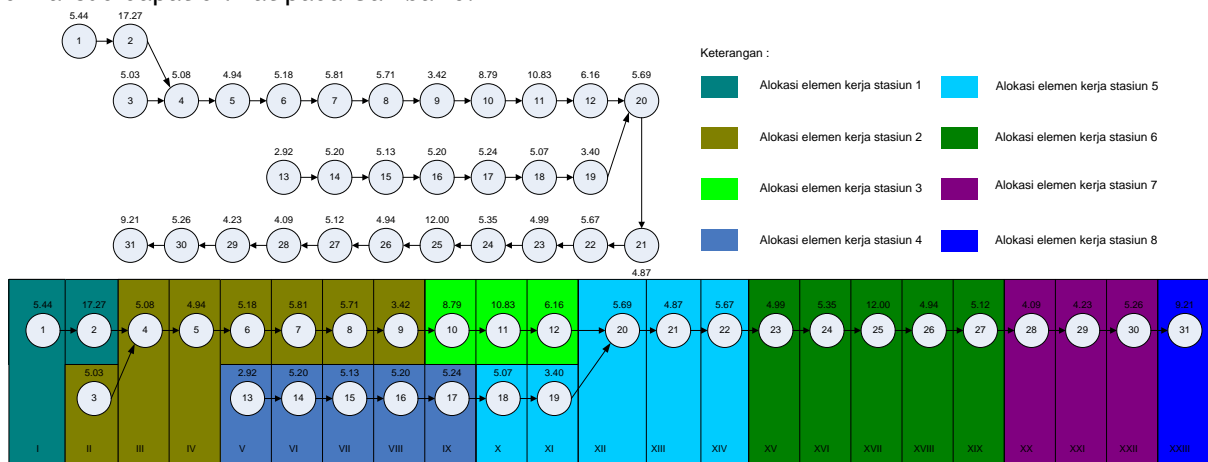
- i. Operator pada masing-masing stasiun dihitung jumlah kebutuhannya dan dialokasikan. Pengalokasian yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 11. Pengalokasian Jumlah Operator pada *Assembly Line 3* untuk Produk LED *Downlight* LGB7231 Series dengan Metode *Moodie Young*

Stasiun	Waktu Standar tiap Stasiun	Waktu Standar dibagi <i>Production Rate</i>	Jumlah Operator
1	32.82	0.998	1
2	25.06	0.762	1
3	32.16	0.978	1
4	31,47	0.957	1
5	32,88	1	1
6	32,85	0.999	1
Total			6

3.1.4 Pembentukan Rancangan Keseimbangan Lintasan *Kilbridge-Wester Heuristics*

Metode *Kilbridge-Wester Heuristics* dimulai dengan membagi *region* dari kiri ke kanan. Jika memungkinkan elemen kerja diletakkan pada daerah *region* paling kanan. Pembagian yang dimaksud dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Precedence Diagram* beserta pembagian alokasi Elemen Kerja Kondisi Awal sebelum Pembentukan Rancangan Keseimbangan *Kilbridge-Wester Heuristics*

Setelah pembagian *region* dilakukan pembentukan rancangan keseimbangan dilanjutkan melalui langkah-langkah berikut:

- a. Pemeringkatan elemen kerja dibuat berdasarkan *region* dan waktu penugasan. Pemeringkatan

yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 15.

Tabel 15. Pemeringkatan Elemen Kerja LED Downlight LGB7231 Series Metode Kilbridge - Wester Heuristics

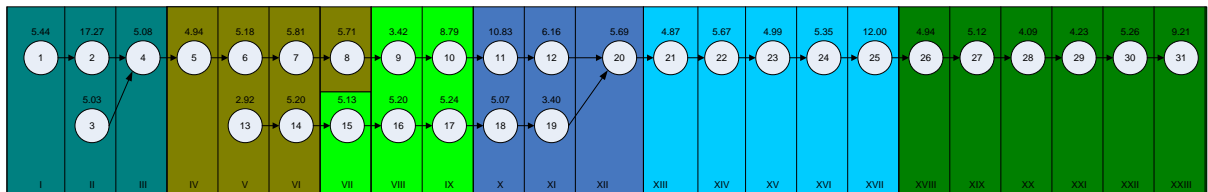
Region	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Region	Elemen Kerja	Waktu Penugasan
1	1	5,44	13	21	4,87
2	2 ; 3	17,27 ; 5,03	14	22	5,67
3	4	5,08	15	23	4,99
4	5	4,94	16	24	5,35
5	6 ; 13	5,18 ; 2,92	17	25	12
6	7 ; 14	5,81 ; 5,20	18	26	4,94
7	8 ; 15	5,71 ; 5,13	19	27	5,12
8	16 ; 9	5,20 ; 3,42	20	28	4,09
9	10 ; 17	8,79 ; 5,24	21	29	4,23
10	11 ; 18	10,83 ; 5,07	22	30	5,26
11	12 ; 19	6,16 ; 3,40	23	31	9,21
12	20	5,69			

b. Elemen kerja dialokasikan berdasarkan pemeringkatan region dan waktu penugasan. Pengalokasian yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 16.

Stasiun	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Waktu Kumulatif Penugasan	Idle	Stasiun	Elemen Kerja	Waktu Penugasan	Waktu Kumulatif Penugasan	Idle		
1	1	5,44	5,44	0,06	4	11	10,83	10,83	1,73		
	2	17,27	22,71			18	5,07	15,9			
	3	5,03	27,74			12	6,16	22,06			
	4	5,08	32,82			19	3,4	25,46			
2	5	4,94	4,94		3,12	5	20	5,69		31,15	0
	6	5,18	10,12				21	4,87		4,87	
	13	2,92	13,04	22			5,67	10,54			
	7	5,81	18,85	23			4,99	15,53			
	14	5,2	24,05	24			5,35	20,88			
3	8	5,71	29,76	5,1	6	25	12	32,88	0,03		
	15	5,13	5,13			26	4,94	4,94			
	16	5,2	10,33			27	5,12	10,06			
	9	3,42	13,75			28	4,09	14,15			
	10	8,79	22,54			29	4,23	18,38			
	17	5,24	27,78			30	5,26	23,64			
						31	9,21	32,85			

- c. Alokasi elemen kerja per stasiun yang diperoleh kemudian dipetakan seperti pada gambar 7.
- d. Dengan persamaan 2-11, 2-12, 2-13, *assembly line* terkait memiliki *Line efficiency* sebesar 94.91% *balance delay* sebesar 5.09% dan *smoothness index* sebesar 6.224
- e. Penghitungan jumlah operator dengan *production rate* 32.88 detik / produk

$$N = R \times \frac{SM}{E} = \frac{60}{32.88} \times \frac{187.24/60}{0.9491} = 6 \text{ operator}$$



Keterangan :

- Alokasi elemen kerja stasiun 1
- Alokasi elemen kerja stasiun 2
- Alokasi elemen kerja stasiun 3
- Alokasi elemen kerja stasiun 4
- Alokasi elemen kerja stasiun 5
- Alokasi elemen kerja stasiun 6

Gambar 7. Precedence Diagram beserta Pembagian Alokasi Elemen Kerja Hasil Perancangan Keseimbangan Lintasan Kilbridge-Wester Heuristics

- f. Pengalokasian operator pada masing-masing stasiun. Pengalokasian yang dimaksud dapat dilihat pada tabel 17.

Tabel 17. Pengalokasian Jumlah Operator pada *Assembly Line 3* untuk Produk LED *Downlight LGB7231 Series* dengan Metode *Kilbridge-Wester Heuristics*

Stasiun	Waktu Standar tiap Stasiun	Waktu Standar dibagi <i>Production Rate</i>	Jumlah Operator
1	32.82	0.998	1
2	29.76	0.905	1
3	27.78	0.845	1
4	31,15	0.947	1
5	32,88	1	1
6	32,85	0.999	1
Total			6

3.1.5 Perbandingan Kondisi Awal dan Kondisi Usulan

Ikhtisar perbandingan indikator performansi awal dan usulan pembentukan rancangan keseimbangan masing-masing metode dapat dilihat pada tabel 18 dengan metode terpilih yakni *Kilbridge-Wester Heuristics*.

Tabel18. Ikhtisar Indikator Peningkatan Performa *Assembly Line -3* setelah Pembentukan Rancangan Keseimbangan *Helgeson-Birnie*, *Moodie Young* dan *Kilbridge-Wester Heuristics*

Indikator	Awal	<i>Helgeson-Birnie</i>	<i>Moodie Young</i>	<i>Kilbridge-Wester Heuristics</i>
Jumlah Stasiun Kerja (Operator)	8	7	6	6
<i>Line Efficiency</i>	66.55%	81.35%	94.91%	94.91%
<i>Balance Delay</i>	33.45%	18.65%	5.09%	5.09%
<i>Smoothness Index</i>	40.405	22.39	7.98	6.224

Berdasarkan Tabel 18 yang dapat diinterpretasikan bahwa jumlah stasiun kerja paling minimum dihasilkan oleh metode *Moodie Young* dan *Kilbridge-Wester Heuristics* yakni 6 stasiun. Pada iterasi sebelumnya diperlihatkan bahwa pada masing-masing metode setiap stasiun akan ditangani 1 operator. Artinya, kedua metode tersebut menghasilkan jumlah operator dan stasiun kerja paling optimal.

Line efficiency merupakan rasio waktu stasiun kerja terhadap *cycle time* dikalikan dengan jumlah stasiun. Pada kasus ini *line efficiency* paling optimal sebesar 94.91% diperoleh melalui metode *Moodie Young* dan *Kilbridge-Wester Heuristics*. *Balance delay* merupakan rasio antara waktu *idle* dalam lintasan perakitan dengan waktu yang tersedia. Semakin kecil *balance delay* semakin sedikit waktu *idle* (menganggur) sebuah *assembly line*. Pada kasus ini *balance delay* paling optimal sebesar 5.09% diperoleh melalui metode *Moodie Young* dan *Kilbridge-Wester Heuristics*. Sedangkan, *smoothness index* adalah suatu indeks yang menjadi indeks penghalus relatif dari suatu keseimbangan *assembly line*. Nilai minimum dari *smoothness index* adalah 0 yang mengindikasikan keseimbangan sempurna. Semakin kecil *smoothness index* artinya model tersebut semakin mendekati keseimbangan sempurna. Pada kasus ini *smoothness index* paling optimal sebesar 6.224 diperoleh melalui metode *Kilbridge-Wester Heuristics*. Berdasarkan hasil analisis tersebut, metode *Kilbridge-Wester Heuristics* dipilih menjadi alternatif solusi terbaik karena menunjukkan hasil paling optimal dan paling mendekati keseimbangan sempurna.

Model perancangan keseimbangan lintasan terpilih mengeliminasi potensi *overtime* sebesar 11 jam per bulan dan menghasilkan *labor saving cost* sebesar Rp 7.215.011,27 (gaji operator diasumsikan sama dengan UMK dasar kabupaten Bekasi dan satu hari maksimum *overtime* 4 jam). Rincian perhitungan *labor saving cost* yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 19.

Tabel 19 Rincian Perhitungan Labor Saving Cost

Pengurangan operator					
Awal	8	Rp	2.447.445,00	Rp	19.579.560,00
Usulan	6	Rp	2.447.445,00	Rp	14.684.670,00
					Rp 4.894.890,00
Potensi Overtime yang dapat dihindari					
Hari	Jam Ke-	Faktor Pengali		Overtime Cost	
1	1	1,5		Rp	21.220,62
	2	2		Rp	28.294,16
	3	2		Rp	28.294,16
	4	2		Rp	28.294,16
2	1	1,5		Rp	21.220,62
	2	2		Rp	28.294,16
	3	2		Rp	28.294,16
	4	2		Rp	28.294,16
3	1	1,5		Rp	21.220,62
	2	2		Rp	28.294,16
	3	2		Rp	28.294,16
Total overtime 1 operator per bulan				Rp	290.015,16
Total overtime 8 operator per bulan				Rp	2.320.121,27
Total Saving Cost				Rp	7.215.011,27

4. Simpulan

Serangkaian proses observasi dan analisis yang telah dilalui menggiring penelitian ini ke dalam suatu simpulan dimana pembentukan rancangan dengan metode *Kilbridge-Wester Heuristic* mampu memberikan solusi terbaik. Dengan alokasi elemen kerja pada tabel 16 model tersebut mampu mencapai beberapa *improvement* antara lain:

- Perbaikan performansi *assembly line* indikator awal *line efficiency* = 66.55%, *balance delay* = 33.45% dan *smoothness index* = 40.405, menjadi *line efficiency* = 94.91%, *balance delay* = 5.09 % dan *smoothness index* = 6.224.
- Pengurangan jumlah operator dengan memperkecil jumlah stasiun kerja yang semula 8 menjadi 6 (satu stasiun kerja ditangani oleh satu operator) yang memberikan dampak positif berupa *Labor saving cost* sebesar Rp 7.215.011,27 per bulan.
- Eliminasi *overtime* yang semula berpotensi 11 jam per bulan dengan mengurangi *cycle time* produk dari 35.17 produk/ detik menjadi 32.88 produk per detik.

Penelitian ini hanya mengambil aspek dari waktu proses sedangkan aspek tata letak dari *assembly line* terkait belum disentuh. Oleh karena itu, disarankan adanya penelitian lanjutan dengan memasukkan faktor tata letak agar hasil atau rekomendasi dari penelitian ini menjadi lengkap dan siap untuk diaplikasikan.

Daftar Pustaka

- Boysen, N., Fliedner, M., & School, A. (2007). A Classification of Assembly Line Balancing Problems. *European Journal of Operation Research* , 183.
- Desfiasri, R. (2014). Analisis Peningkatan Kapasitas Produksi Assembly Line PT.DEF, Skripsi, Jurusan Teknik Industri, Universitas Presiden.
- Elsayed, E. A., and Boucher, T. O. (1994). *Analysis and Control of Production Systems* (2nd Edition ed.). Englewood Cliffs, New Jersey: Prentice Hall International, Inc.

4. Grous, A. (2013). *Analysis of Reliability and Quality Control : Fracture Mechanics 1*. Hoboken, New Jersey: John Wiley and Sons.
5. Niebel, B., & Freivalds, A. (2009). *Niebel's Methods, Standards and Work Design* (12th edition ed.). New York: McGraw Hill International Edition.
6. Purnomo, Hari. (2004). *Pengantar Teknik Industri*. Edisi Kedua. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
7. Satalaksana, I. Z., Anggawisastra, H. R., & Tjakraatmadja, J. H. (2006). *Teknik Perancangan Sistem Kerja*. Bandung: Institut Teknologi Bandung.
8. Wignjosoebroto, S. (2008). *Ergonomi Studi Gerak dan Waktu : Teknik Analisis untuk Peningkatan Produktivitas Kerja*. Surabaya: Guna Widya.