

PENJADWALAN PROYEK PERUMAHAN X BINTARO DENGAN METODE LINE OF BALANCE YANG DISEMPURNAKAN

Andreas Timothy¹, Onnyxiforus Gondokusumo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta
Email: andreas.325180097@stu.untar.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta
Email: onnyxiforusg@ft.untar.ac.id

Masuk : 23-01-2022, revisi: 07-04-2022, diterima untuk diterbitkan : 30-10-2022

ABSTRAK

Pada suatu proyek dengan pekerjaan berulang (*repetitive*), penjadwalan dengan metode biasa seperti *barchart* tidak efektif untuk digunakan. Sehingga lebih baik digunakan suatu metode penjadwalan yang khusus. Metode yang digunakan biasanya adalah metode *line of balance* dan *flowline*. Pada penerapannya, kedua metode tersebut terdapat beberapa kendala baik dari segi teknis maupun visual. Dari segi teknis, metode *line of balance* akan menyusun pekerja dengan adanya waktu geser yang tidak efektif. Sedangkan dari segi visual, metode *flowline* tidak dapat secara langsung menginformasikan durasi dari suatu proyek. Pada penelitian ini, akan dikaji suatu metode penjadwalan dengan metode *line of balance* dan metode *line of balance* yang disempurnakan baik dari segi teknis dan visual. Secara teknis, penyusunan dilakukan dengan menggunakan 3 langkah; (1) Formulasi *Line of Balance* (LOB), (2) Perhitungan interupsi, dan (3) *First-Come First-Serve* (FCFS). Sedangkan secara visual, digunakan grafik *duration-distance chart* (*DD-Chart*) untuk mengkombinasikan keunggulan dari dua metode yang sudah ada, yaitu *line of balance* dan *flowline*. Penelitian ini menggunakan proyek perumahan X di Bintaro untuk dijadikan obyek penelitian dengan jumlah unit sebanyak 6 unit rumah. Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh durasi penjadwalan sebesar 353 hari dengan metode *line of balance*, serta 336 hari dengan metode *line of balance* yang disempurnakan. Pengurangan durasi tersebut tetap menggunakan jumlah orang-hari yang sama.

Kata Kunci: LOB; penjadwalan; FCFS; DD-Chart; penjadwalan proyek berulang

ABSTRACT

In a project with repetitive activities, traditional scheduling methods like *barchart* are considered less effective to be used. So it would be better if using a special scheduling method. The commonly used method is *line of balance* and *flowline*. In its application, the two methods have several obstacles, both from a technical and visual perspective. Technically, the *line of balance* method will arrange workers with shifted time that is not effective. Visually, the *flowline* method cannot directly inform the duration of a project. This research will be using *line of balance* scheduling method and an enhanced *line of balance* scheduling method, which is improved both from a technical and visual perspective. Technically, the preparation is done using 3 steps; (1) *Line of Balance* (LOB) formulation, (2) interruption calculation, and (3) *First-Come First Serve* (FCFS). While visually, *duration-distance chart* (*DD-Chart*) is used to combine the advantages of the two existing methods, which is *line of balance* and *flowline*. This study uses housing project X in Bintaro to be the object of research with a total of 6 housing units. Based on the result of the research, the duration of the project with *line of balance* method is 353 days, and 336 days with enhanced repetitive scheduling method. The reduction of the project duration keeps using the same amount of man-days.

Keywords: LOB; scheduling; FCFS; DD-Chart; repetitive scheduling

1. PENDAHULUAN

Latar belakang

Pada setiap proyek konstruksi, terdapat beberapa aspek penting yang menjadi kunci keberhasilan proyek yang perlu diperhatikan, salah satunya adalah waktu. Pentingnya waktu dalam proses

konstruksi membuat adanya keperluan perencanaan waktu atau penjadwalan dalam pengerjaan suatu proyek. Dengan adanya perencanaan waktu, proses pelaksanaan proyek dapat tepat waktu dan sistematis, sehingga pelaksanaan pekerjaan pada proyek menjadi lebih efisien.

Pada proyek *repetitive*, penjadwalan juga merupakan hal yang sangat penting. Metode penjadwalan biasa seperti *barchart* dikatakan kurang efektif jika digunakan untuk proyek yang bersifat *repetitive* (Christiawan dan Gondokusumo, 2020), sehingga diperlukan suatu metode penjadwalan yang unik (Ioannou dan Yang, 2016).

Berdasarkan penelitian yang sudah ada, terdapat beberapa metode yang biasanya dapat digunakan untuk melakukan penjadwalan pada proyek *repetitive*, yaitu metode *line of balance* dan metode *flowline*. Kedua metode ini memiliki kesamaan yaitu menggunakan suatu grafik hubungan antara waktu (sumbu x) dengan unit atau jarak (sumbu y) (Tang et al, 2018).

Rumusan masalah

Dalam penerapannya metode penjadwalan seperti metode *Line of Balance* dan *Flowline* terdapat beberapa kendala baik dari segi teknis maupun visual (Hegazy et al, 2020). Dari segi teknis, metode *line of balance* menyusun pekerja dengan adanya waktu geser (*shift time*) yang kurang efektif. Sedangkan dari segi visual, metode *flowline* menampilkan visual yang kurang informatif dari segi durasi, sedangkan metode *line of balance* kurang informatif dari segi unit (sumbu y).

Dalam penelitian ini akan dikaji penerapan karya ilmiah yang ditulis oleh Hegazy et al (2020) untuk proyek *repetitive* yang akan mengkombinasikan keunggulan dan mengurangi kendala yang dihadapi dalam metode *line of balance* dan metode *flowline*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis grafik penjadwalan dengan metode *line of balance* dan *line of balance* yang disempurnakan untuk kemudian dibandingkan dengan keadaan di lapangan. Selain itu penelitian ini dilakukan untuk mengetahui keunggulan dan kendala yang ada dalam penerapan metode *line of balance* yang disempurnakan.

Penyempurnaan *line of balance*

Dalam penelitian ini, digunakan suatu metode penjadwalan *line of balance* yang disempurnakan. Untuk menggunakan metode tersebut, terdapat tiga prosedur yang dilakukan, yaitu: (1) Formulasi *Line of Balance* (LOB); (2) Perhitungan Interupsi; (3) *First-Come First-Serve* (FCFS).

Formulasi LOB

Hal pertama yang dilakukan adalah mengetahui tingkat produktivitas yang dibutuhkan untuk menentukan jumlah pekerja agar mencapai *deadline* yang sudah ditentukan. Tingkat produktivitas dan jumlah pekerja dapat diperoleh dengan persamaan:

$$R_i = \frac{N-1}{DL-T_1+TF_i} \quad (1)$$

$$C_i = [D_i \times R_i] \quad (2)$$

dengan R_i = tingkat produktivitas, N = jumlah unit, DL = durasi *deadline*, T_1 = durasi *logic diagram* unit pertama, TF_i = *total float* pekerjaan i , C_i = kebutuhan pekerja dan D_i = durasi pekerjaan i

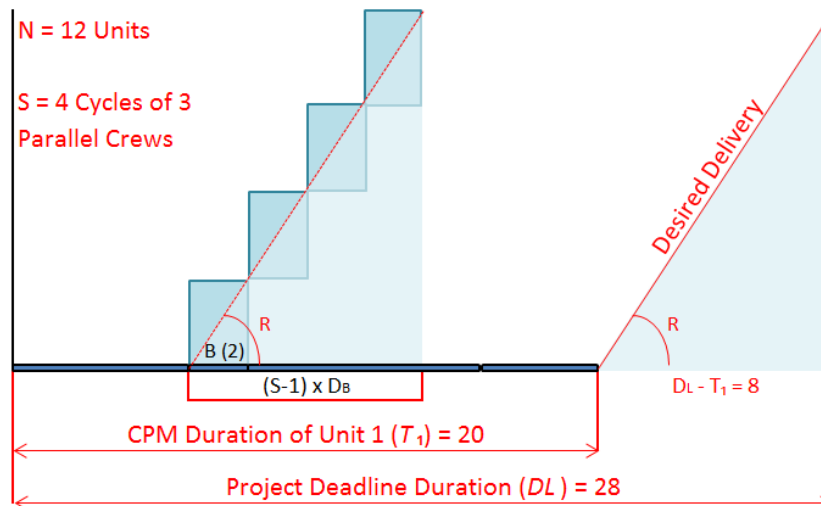
Pada penelitian ini dikaji suatu penyusunan yang memungkinkan pekerja ditempatkan tanpa adanya waktu geser (Hegazy et al, 2020), dengan kata lain pekerja ditempatkan secara paralel dari unit ke unit seperti Gambar 1. Formulasi yang digunakan dalam penyusunan pekerja secara paralel adalah sebagai berikut:

$$S_i(Initial) = \frac{DL - T_1}{D_i} + 1 \quad (3)$$

$$C_i = \lceil N / S_i \rceil; 1 \leq C_i \leq N \quad (4)$$

$$S_i(Aktual) = \lceil N / C_i \rceil \quad (5)$$

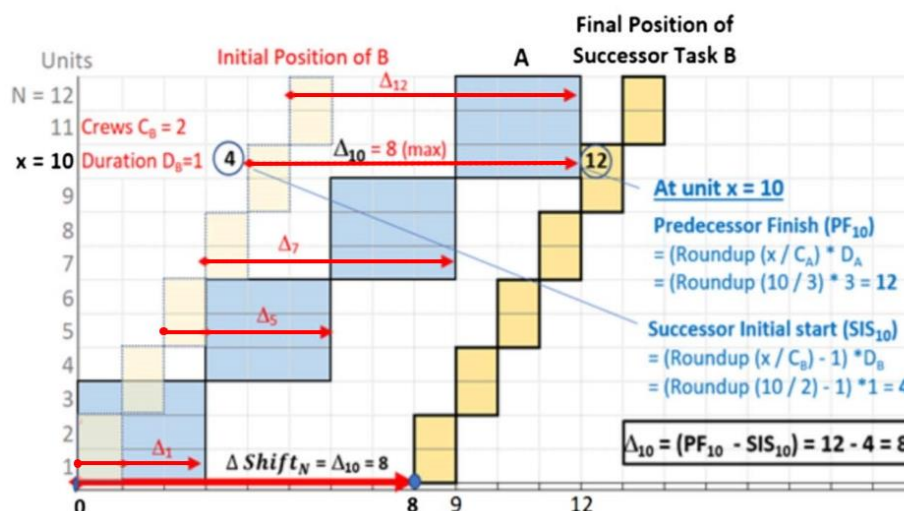
dengan S_i = jumlah siklus paralel,



Gambar 1. Analisa LOB dengan sistem paralel

Sumber Gambar: Hegazy et al, 2020

Dalam penyusunan pekerjaan selanjutnya, digunakan suatu pendekatan yang bernama *Delta-shift*. Beberapa peneliti menggunakan pendekatan ini dengan cara menjadwalkan pekerjaan pada posisi awal (nol) terlebih dahulu, kemudian menghitung waktu dengan pendekatan *delta-shift* untuk kemudian digeser pada waktu hasil perhitungan dan langsung mengikuti *predecessor* dari pekerjaan tersebut (Long dan Ohsato, 2009).



Gambar 2. Penjadwalan *successor* dengan pendekatan *delta-shift*

Sumber Gambar: Hegazy et al, 2020

Pendekatan ini dapat dilihat pada Gambar 2 dan dihitung dengan persamaan:

$$\Delta Shift = \text{Max}\{\text{Predecessor selesai}(x) - \text{Successor mulai}(x)\} \quad (6)$$

$$\text{Predecessor selesai} = \left\lceil \frac{x}{C_i} x D_i \right\rceil \quad (7)$$

$$\text{Successor mulai} = \left(\left\lceil \frac{x}{C_j} \right\rceil - 1 \right) x D_j \quad (8)$$

dengan $\Delta Shift$ = pergeseran waktu, x = unit ke- x , C_i = jumlah pekerja pada pekerjaan *predecessor*, D_i = durasi pekerjaan *predecessor*, C_j = jumlah pekerja pada pekerjaan *successor* dan D_j = durasi pekerjaan *successor*

Perhitungan interupsi

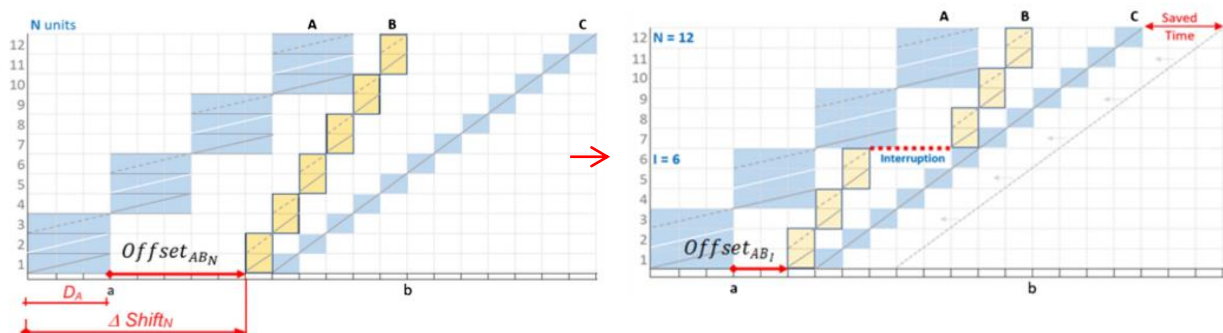
Perhitungan interupsi digunakan untuk mengurangi adanya jarak antar pekerjaan dan mempercepat durasi. Perilaku interupsi dapat dilihat pada .

. Perhitungan interupsi dapat dilakukan dengan menghitung persamaan berikut:

$$\text{Offset}_{ij} = \Delta Shift - D_i \quad (9)$$

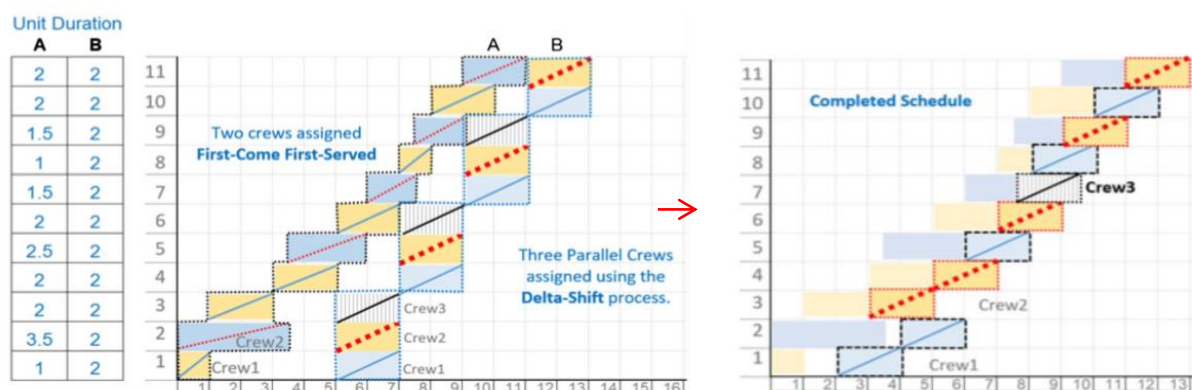
$$\text{Lama Interupsi} = \text{Offset}_{ijN} - \text{Offset}_{ij1} \quad (10)$$

dengan Offset_{ij} = jarak antara selesainya pekerjaan i dengan mulainya pekerjaan j , D_i = durasi pekerjaan i (pekerjaan sebelumnya).



Gambar 3. Ilustrasi interupsi pada pekerjaan B

Sumber Gambar: Hegazy et al, 2020



Gambar 4. Ilustrasi FCFS

Sumber Gambar: Hegazy et al, 2020

First-Come First-Serve (FCFS)

Pada penggunaannya, *first-come first-serve* (FCFS) ditujukan untuk mengurangi jarak antar pekerjaan. *First-Come First Serve* merupakan teknik paling sederhana dan intuitif dengan konsep penyusunan berdasarkan urutan yang pertama kali diajukan (Bibu dan Nwanko, 2019). Ilustrasi FCFS dapat dilihat pada .

2. METODE PENELITIAN

Langkah penelitian

Berikut merupakan langkah-langkah yang akan dilakukan dalam penelitian ini:

- Pengumpulan Data
Data-data yang dikumpulkan adalah data penjadwalan, jumlah pengulangan unit, dan *interview* dengan pihak kontraktor proyek. Data-data yang diperoleh dari kegiatan *interview* dengan kontraktor proyek adalah data yang sifatnya tidak tertulis, seperti batas *deadline* proyek, urutan pekerjaan yang dilakukan, dan juga data yang berhubungan dengan kejadian sebenarnya di lapangan, seperti proses pengerjaan di lapangan dan alokasi pekerja.
- Menyusun *logic diagram (network)*
- Merencanakan perhitungan dengan metode *line of balance*.
 - Perhitungan tingkat produktivitas yang diperlukan
 - Perhitungan jumlah pekerja yang dibutuhkan berdasarkan produktivitas
- Merencanakan *perhitungan* dengan metode *line of balance* yang disempurnakan
 - Formulasi LOB
 - Perhitungan jumlah siklus pekerja yang dibutuhkan (*initial cycle*)
 - *Initial cycle* yang dihitung merupakan siklus awal yang nantinya akan disesuaikan
 - Perhitungan jumlah pekerja yang dibutuhkan agar *deadline* dapat tercapai
 - Perhitungan jumlah siklus pekerja aktual
 - Pendekatan *delta-shift*
 - Merencanakan perhitungan untuk interupsi
 - Menyusun pekerja dengan *First-Come First-Serve*.
- Menganalisis *penjadwalan* dengan metode LOB dan *line of balance* yang disempurnakan.
- Membandingkan hasil penjadwalan metode LOB dengan keadaan sebenarnya di lapangan.
- Membandingkan hasil penjadwalan metode LOB dengan metode *line of balance* yang disempurnakan.
- Menganalisis keunggulan serta kendala yang dihadapi dalam penggunaan metode *line of balance* yang disempurnakan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data proyek perumahan X Bintaro

Data proyek yang digunakan adalah data proyek perumahan X di Bintaro dengan jumlah unit sebanyak 6 unit rumah dan batas waktu pengerjaan (*deadline*) sebesar 1 tahun. Data penjadwalan 1 unit rumah pada proyek perumahan X di Bintaro dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Penjadwalan Proyek Perumahan X di Bintaro

No.	Pekerjaan	Simbol	Predecessor	Pekerja (orang)	Durasi (hari)
1.	Persiapan	A	-	3	14
2.	Galian & Pondasi	B	A-FS	6	28
3.	Beton Struktur	C	B-FS	6	56
4.	Dinding	D	C-SS	6	56
5.	Atap	E	C-FS, D-FS	3	28
6.	Lantai	F	E-FS-14	2	56
7.	Plafond	G	E-FS-14	2	28
8.	Pintu dan Jendela	H	F-FS-28	2	35
9.	<i>Plumbing</i>	I	C-SS	3	56
10.	Elektrikal	J	D-FS, E-FS-14	2	28
11.	Sanitair	K	I-FS	2	28
12.	<i>Landscape</i>	L	K-FS	2	21
13.	Aksesoris	M	J-FS, G-FS	2	35
14.	<i>Finishing</i>	N	H-FS	3	21

Sumber Tabel: Data proyek perumahan X di Bintaro, 2021

Analisis penjadwalan dengan metode *line of balance*

Hal pertama yang harus dilakukan adalah melakukan perhitungan kalkulasi *line of balance* untuk mengetahui durasi total unit pada setiap pekerjaan seperti pada Tabel 2, dan dilanjutkan dengan perhitungan hubungan *line of balance*, dan juga waktu mulai pekerjaan pada unit pertama serta waktu selesainya pekerjaan pada unit terakhir yang dapat dilihat pada

Tabel 3.

Tabel 2. Kalkulasi *line of balance*

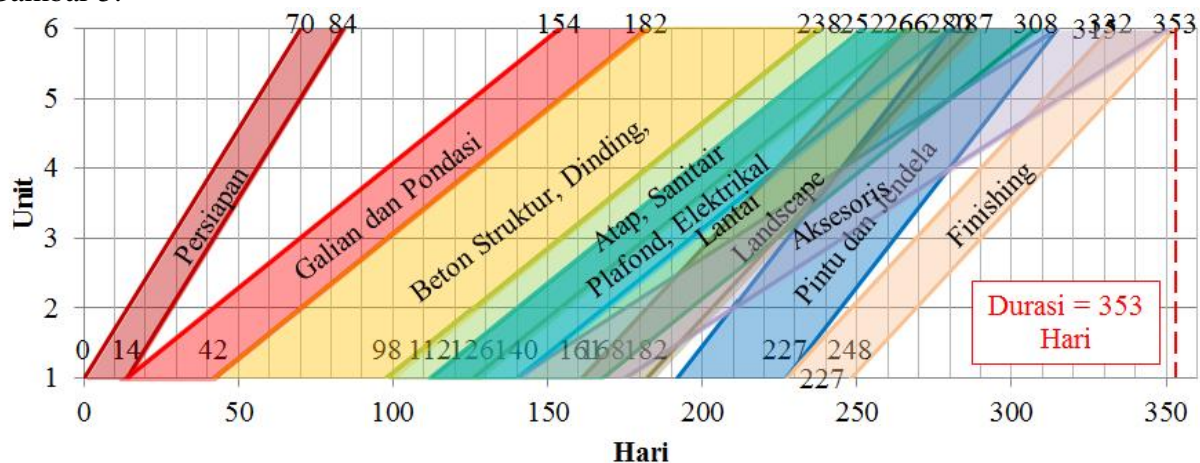
Pekerjaan	Durasi (hari)	TF _i	R _i Inisial (unit/hari)	C _i Inisial (tim)	C _i Aktual (tim)	R _i Aktual (unit/hari)	Durasi Selain unit 1 (hari)	Durasi Total (hari)
Persiapan	14	0	0,030	0,42	1	0,071	70	84
Galian dan Pondasi	28	0	0,030	0,83	1	0,036	140	168
Beton Struktur	56	0	0,030	1,67	2	0,036	140	196
Dinding	56	0	0,030	1,67	2	0,036	140	196
Atap	28	0	0,030	0,83	1	0,036	140	168
Lantai	56	0	0,030	1,67	2	0,036	140	196
Plafond	28	21	0,026	0,74	1	0,036	140	168
Pintu dan Jendela	35	0	0,030	1,04	2	0,057	88	123
<i>Plumbing</i>	56	49	0,023	1,29	2	0,036	140	196
Elektrikal	28	21	0,026	0,74	1	0,036	140	168
Sanitair	28	49	0,023	0,65	1	0,036	140	168
<i>Landscape</i>	21	49	0,023	0,48	1	0,048	105	126

Aksesoris	35	21	0,026	0,93	1	0,029	175	210
Finishing	21	0	0,030	0,63	1	0,048	105	126

Tabel 3. Hubungan *line of balance*, waktu mulai, dan waktu selesai pekerjaan

Pekerjaan	Ra	Successor	Ra (Successor)	Hubungan	Lag (Hari)	Waktu Mulai	Waktu Selesai
Persiapan	0,071	B	0,036	SS	14	0	84
Galian dan Pondasi	0,036	C	0,036	SS	28	14	182
Beton Struktur	0,036	E	0,036	SS	56	42	238
Dinding	0,036	E	0,036	SS	56	42	238
		J	0,036	SS	56		
		F	0,036	SS	14		
Atap	0,036	G	0,036	SS	14	98	266
		J	0,036	SS	14		
Lantai	0,036	H	0,057	FF	7	112	308
Plafond	0,036	M	0,029	SS	28	112	280
Pintu dan Jendela	0,057	N	0,048	SS	35	192	315
Plumbing	0,036	K	0,036	SS	56	42	238
Elektrikal	0,036	M	0,029	SS	28	112	280
Sanitair	0,036	L	0,048	FF	21	98	266
Landscape	0,048	-	-	-	-	161	287
Aksesoris	0,029	-	-	-	-	140	350
Finishing	0,048	-	-	-	-	227	353

Setelah itu dapat digambar grafik penjadwalan dengan metode *line of balance*, seperti pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik penjadwalan dengan metode *line of balance*

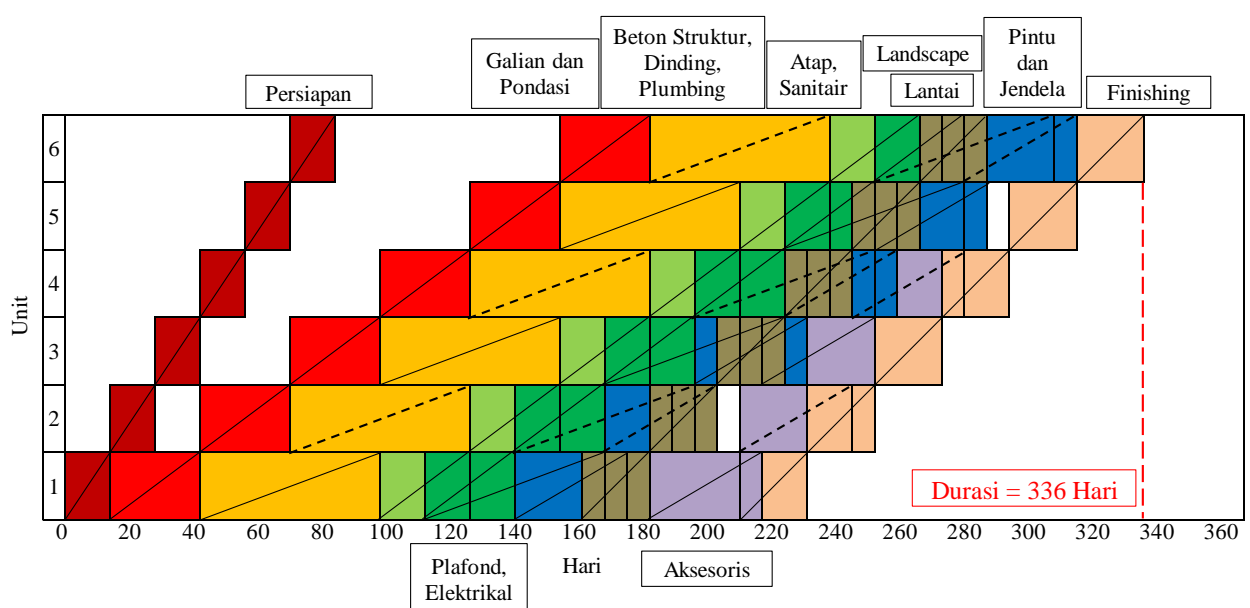
Analisis penjadwalan dengan metode *line of balance* yang disempurnakan

Langkah pertama yang harus dilakukan dalam penggunaan metode *line of balance* yang disempurnakan ini adalah membuat tabel perhitungan seperti pada Tabel 4 berdasarkan data proyek.

Tabel 4. Perhitungan metode *line of balance* yang disempurnakan

Pekerjaan	Durasi (hari)	<i>Predecessor</i>	S_i Inisial (buah)	C_i (tim)	S_i Aktual (buah)	$\Delta Shift$ (hari)	$Offset_{ij}$ (hari)
Persiapan	14	-	13	1	6	-	-
Galian dan Pondasi	28	A	7	1	6	-56	0
Beton Struktur	56	B	4	2	3	56	28
Dinding	56	C-SS	4	2	3	-	-
Atap	28	C	7	1	6	28	0
Lantai	56	D	4	2	3	56	28
Plafond	28	E	7	1	6	28	0
Pintu dan Jendela	35	F	6	2	3	98	42
Plumbing	56	C-SS	4	2	3	-	-
Elektrikal	28	D	7	1	6	28	0
Sanitair	28	E	7	1	6	28	0
Landscape	21	I	9	1	6	63	35
Aksesoris	35	K	6	2	3	98	70
Finishing	21	J	9	1	6	98	70
		G				0	0

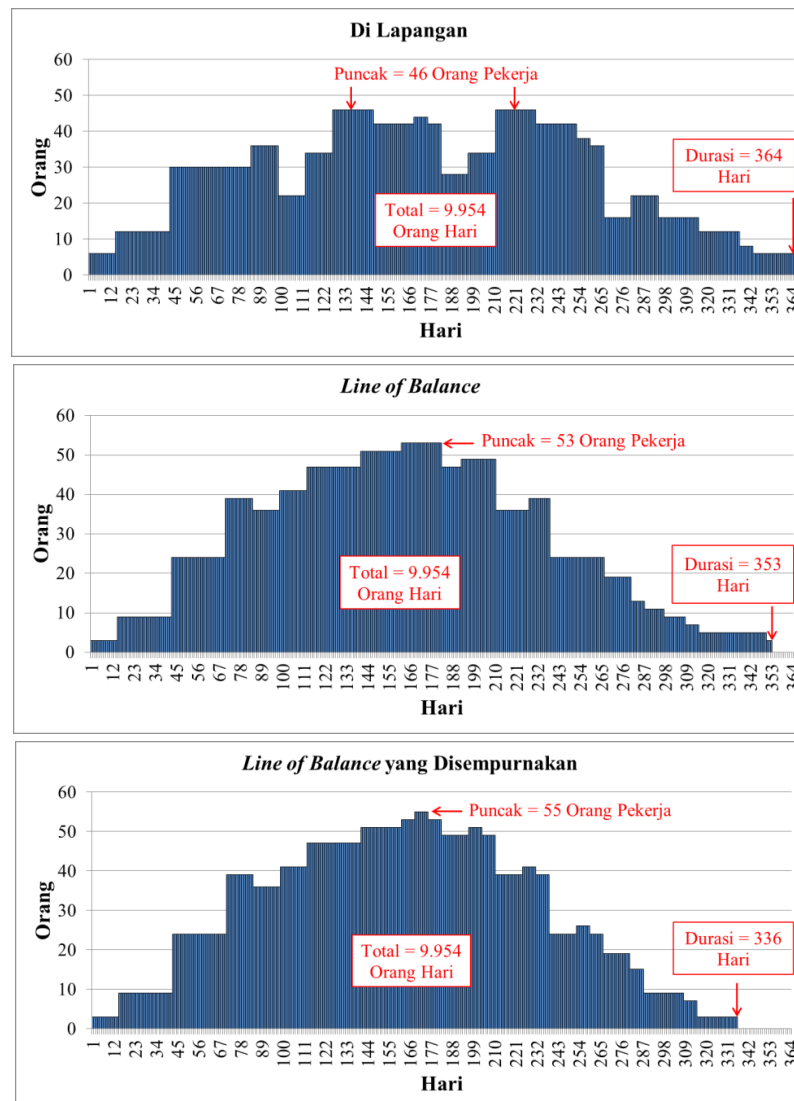
Setelah melakukan perhitungan, maka grafik penjadwalan dengan metode *line of balance* yang disempurnakan dapat dibuat seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik *penjadwalan* dengan metode *line of balance* yang disempurnakan

Perhitungan *man-days*

Berkaitan dengan adanya percepatan pada kedua metode yang digunakan jika dibandingkan dengan keadaan lapangan, maka akan dihitung jumlah orang-hari (*man-days*) dengan membuat grafik histogram pekerja seperti pada



Gambar 7. Histogram pekerja

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan, berikut kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini:

1. Jika dibandingkan dengan penjadwalan di lapangan, penerapan metode LOB dengan data proyek akan mengurangi durasi dari 364 menjadi 353 hari, jumlah orang-hari sama yaitu sebesar 9.954 orang-hari, dan puncak tenaga kerja meningkat dari 46 menjadi 53 orang.

2. Jika dibandingkan dengan metode LOB, penerapan metode LOB yang disempurnakan dengan data proyek akan mengurangi durasi dari 353 menjadi 336 hari, jumlah orang-hari sama yaitu sebesar 9.954 orang-hari, dan puncak tenaga kerja meningkat dari 53 menjadi 55 orang.
3. Dalam penerapan metode LOB yang disempurnakan, terdapat beberapa keunggulan dan juga kendala yang dihadapi jika dibandingkan dengan metode LOB, yaitu:
 - a. Keunggulan
Metode LOB yang disempurnakan dapat digunakan untuk unit yang tidak identik, dapat dengan mudah dan jelas menginformasikan durasi suatu pekerjaan dan produktivitas pekerja pada unit tertentu, dapat mengurangi jarak antar pekerjaan yang terlalu besar, dan dapat menyusun pekerja secara paralel tanpa adanya waktu geser.
 - b. Kendala
Dalam penyusunan grafik penjadwalan, proses penggambaran dengan metode LOB yang disempurnakan akan lebih rumit dan panjang jika dibandingkan dengan metode LOB, kemudian pembacaan grafik akan lebih sulit apabila terdapat beberapa pekerjaan dalam waktu yang bersamaan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, terdapat beberapa saran untuk penelitian selanjutnya dan juga untuk bidang industri:

1. Saran untuk bidang industri ataupun proyek, yaitu metode *line of balance* yang disempurnakan dapat dijadikan bahan pertimbangan untuk menyusun penjadwalan proyek dikarenakan metode tersebut sudah terbukti dapat menyusun jadwal dengan durasi yang lebih cepat, dan dengan jumlah orang-hari yang sama.
2. Dalam penerapan metode LOB yang disempurnakan, gunakan suatu program komputer yang kiranya dapat membantu dalam proses penggambaran grafik penjadwalan, dikarenakan proses penggambaran grafik penjadwalan cukup panjang dan rumit.

REFERENSI

- Ammar, M. A. (2013). LOB and CPM Integrated Method for Scheduling Repetitive Projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 139 (1): 44-50.
- Bibu, G. D., & Nwankwo, G. C. (2019). Comparative Analysis Between First-Come-First-Serve (FCFS) And Shortest-Job-First (SJF) Scheduling Algorithms. *International Journal of Computer Science and Mobile Computing* , 8 (5): 176-181.
- Christiawan, K. N., & Gondokusumo, O. (2020). The Implementation of Non-Unit-Based Scheduling Method in a Housing Project. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1007 012070.
- Hegazy, T., Saad, D. A., & Mostafa, K. (2020). Enhanced Repetitive-Scheduling Computation and Visualization. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146 (10): 04020118.
- Ioannou, P. G., & Yang, I.-T. (2016). Repetitive Scheduling Method: Requirements, Modeling, and Implementation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 142 (5): 04016002.
- Long, L. D., & Ohsato, A. (2009). A Genetic Algorithm-Based Method for Scheduling Repetitive Construction Projects. *Automation in Construction*, 18 (4): 499-511.
- Tang, Y., Sun, Q., Liu, R., & Wang, F. (2018). Resource Leveling Based on Line of Balance and Constraint Programming. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 33 (10): 864-884.