

## PENJADWALAN PROYEK PERUMAHAN X DI TANGERANG SELATAN DENGAN METODE *LINE OF BALANCE* DAN EFEK PEMBELAJARAN

Matthew Samuel Tjandra<sup>1</sup> dan Onnyxiforus Gondokusumo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*matthew.325180086@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Dosen Jurusan Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*onnyxiforusg@ft.untar.ac.id*

Masuk: 20-01-2022, revisi: 14-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

### ABSTRACT

*Repetitive projects are construction projects with activities that are repeated in the same unit. The most suitable method for repetitive projects is Line of Balance method, this method can determine and allocate the necessary resources for each activity so deadline can be achieved. Learning Effects on LOB method have the advantage of speeding up the duration of an activity and reducing the total resource requirements of workers. Learning Effect can be calculated mathematically with a Log Linear learning curve. Object of this research is the housing project X in South Tangerang with a total of 11 houses and duration to complete is 364 days. LOB method takes 350 days to complete and speeds up the duration by 3,85%, LOB method with learning effect will speed up the duration by 9,05% to 331,1 days. Total man days needed according to the initial data is 19.480 man days, same as if using LOB method, but with the learning effect it will reduce the number of man days by 22,28% to 15.530 man days. LOB method with learning effect can accelerate the duration of development and reduce the number of man days so this method can be considerate in compiling a repetitive schedule.*

*Keywords: repetitive; line of balance; learning effect; log-linear learning curve, man days.*

### ABSTRAK

Proyek repetitif adalah proyek konstruksi dengan aktivitas yang diulang pada unit yang sama. Metode yang paling cocok untuk proyek repetitif adalah metode *Line of Balance*, metode ini dapat menentukan dan mengalokasikan sumber daya yang diperlukan untuk setiap aktivitas sehingga batas waktu dapat tercapai. Efek Pembelajaran pada metode LOB mempunyai kelebihan untuk mempercepat durasi suatu aktivitas dan mengurangi total kebutuhan sumber daya pekerja. Efek pembelajaran dapat dihitung secara matematis dengan kurva pembelajaran tipe *Log Linear*. Objek penelitian ini adalah proyek perumahan X di Tangerang Selatan dengan total 11 unit rumah dan lama pengerjaannya yaitu 364 hari. Metode LOB memerlukan waktu 350 hari untuk menyelesaikan dan mempercepat durasi sebesar 3,85%, metode LOB dengan menerapkan efek pembelajaran akan mempercepat durasi sebesar 9,05% menjadi 331,1 hari. Total *man days* yang dibutuhkan menurut data awal adalah 19.480 *man days* sama dengan kalau menggunakan metode LOB, tetapi dengan efek pembelajaran akan mengurangi jumlah *man days* sebanyak 22,28% menjadi 15.530 *man days*. Metode LOB dengan menerapkan efek pembelajaran dapat mempercepat durasi pembangunan dan mengurangi jumlah *man days* sehingga metode ini dapat dijadikan pertimbangan dalam menyusun jadwal repetitif.

Kata kunci: repetitif; *line of balance*; efek pembelajaran; kurva pembelajaran *log linear*, *man days*.

### 1. PENDAHULUAN

Chan et al (2002) mengungkapkan bahwa keberhasilan proyek merupakan sebuah target pada setiap proyek konstruksi dengan mempertimbangkan beberapa kriteria yaitu biaya, waktu, dan mutu. Setiap proyek memiliki batas waktu (*deadline*) pengerjaan yang harus selesai sebelum atau tepat pada waktu yang telah ditentukan, sehingga memerlukan sistem penjadwalan yang baik agar tercipta jadwal yang efisien. Proyek repetitif terdiri dari beberapa unit yang sama dan terjadi pengulangan dalam pengerjaan setiap aktivitasnya (Jaśkowski, 2015). *Line of Balance* (LOB) adalah sebuah metode penjadwalan untuk proyek repetitif berupa garis yang menggambarkan unit pekerjaan pada sumbu vertikal dan waktu pada sumbu horizontal (Aulia et al, 2016). Penggunaan metode LOB memberikan kemudahan untuk mengatur penggunaan sumber daya yang berkelanjutan tanpa adanya penundaan antar pekerjaan sehingga akan mempercepat durasi pekerjaan sesuai dengan batas waktu (*deadline*).

Pada metode ini, durasi setiap unit yang dikerjakan selalu konstan dan tidak memperhatikan efek pembelajaran pada pekerja, padahal jika diperhatikan seharusnya ada efek pembelajaran karena pekerja selalu mengerjakan aktivitas yang sama dan berulang. Semakin banyak jumlah pengulangan yang dilakukan oleh pekerja pada proyek repetitif maka efek pembelajaran dari pekerja juga akan bertambah sehingga mendapatkan keuntungan seperti durasi setiap unit yang dikerjakan akan menjadi lebih cepat dan jumlah pekerja yang dikerahkan akan lebih sedikit (Zhang et al, 2014). Sehingga pada penelitian ini menggunakan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran untuk mendapatkan hasil penjadwalan yang lebih baik dan mudah dimengerti serta mengetahui kebutuhan jumlah pekerja yang efektif.

Rumusan Masalah pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana durasi total pembangunan menggunakan metode LOB dan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran?
2. Bagaimana total orang-hari (*man days*) menggunakan metode LOB dan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran?
3. Apa keunggulan dan kendala menggunakan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran?

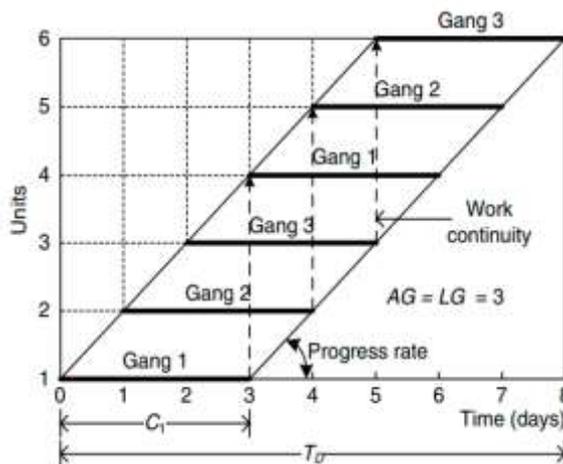
Maksud pada penelitian ini adalah membuat grafik penjadwalan dan membuat histogram sumber daya pekerja menggunakan metode LOB tanpa memperhatikan efek pembelajaran dan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran.

Tujuan pada penelitian ini sebagai berikut:

1. Membandingkan durasi total pembangunan menggunakan metode LOB dan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran terhadap penjadwalan proyek.
2. Membandingkan total orang-hari (*man days*) menggunakan metode LOB dan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran terhadap data proyek.
3. Mengevaluasi keunggulan dan kendala menggunakan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran.

### Metode *Line of Balance*

*Line of Balance* (LOB) adalah metode penjadwalan linear yang digunakan untuk proyek repetitif, seperti terowongan, jaringan pipa, gedung bertingkat, perumahan, dan jalan raya. (Tokdemir et al, 2019). Metode *Line of Balance* memungkinkan untuk menghitung jumlah sumber daya pekerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu aktivitas dengan batasan waktu tertentu (Zhang et al, 2014).



Gambar 1. Grafik *Line of Balance* (LOB) (Sumber: Zhang et al, 2014)

Gambar 1 merupakan grafik dari *Line of Balance*, sumbu vertikal menunjukkan unit pekerjaan, sumbu horizontal menunjukkan waktu yang sedang berlangsung dan kemiringan grafik menunjukkan progres yang sedang berlangsung.

Pai et al (2013) menungkapkan kelebihan metode *Line of Balance* (LOB) antara lain:

1. Memberikan kemampuan *project manager* untuk melihat, pada saat proses berjalannya proyek, apakah mereka mampu menyelesaikan proyek tepat waktu dengan melanjutkan cara bekerja yang sudah terealisasi.
2. Menunjukkan hambatan, memberikan kemampuan *project manager* untuk fokus pada titik-titik yang berpotensi terjadi gangguan.

3. Membantu mencegah timbulnya permasalahan perekrutan tenaga kerja selama proses konstruksi.
4. Memberikan kemampuan *project manager* untuk memastikan proses perpindahan antar unit kerja dengan konflik minimal dan mengurangi waktu tunggu pekerja dan peralatan

Hal yang perlu diperhatikan sebelum menggunakan metode LOB yaitu: total jam kerja perminggu, grup yang optimal per aktivitas, target pembangunan, durasi pekerja mengerjakan satu aktivitas, jumlah unit yang akan dibangun, dan *buffer time*. Jika data sudah didapatkan, jadwal repetitif dapat dihitung dengan cara sebagai berikut (Harris et al, 2013):

Durasi untuk satu aktivitas pekerjaan

$$C_1 = \frac{T_x}{O_g \times N_x} \quad (1)$$

Jumlah pekerja secara teori

$$G = \frac{T_x \times R}{N \times N_x} \quad (2)$$

Jumlah pekerja sebenarnya

$$G_a = \text{Kelipatan dari } O_g \quad (3)$$

Target pembangunan aktual

$$R_a = \frac{G_a \times R}{G} \quad (4)$$

Rentang waktu mulai pada unit pertama hingga unit terakhir

$$T = \frac{(Q-1) \times N}{R_a} \quad (5)$$

dengan  $C_1$  = Durasi untuk satu aktivitas pekerjaan (hari),  $T_x$  = Durasi pekerja mengerjakan satu aktivitas (jam),  $O_g$  = Grup yang optimal per aktivitas,  $N_x$  = Total jam kerja perhari (jam),  $G$  = Jumlah pekerja secara teori,  $R$  = Target pembangunan (unit/minggu),  $N$  = Total hari kerja perminggu (hari),  $G_a$  = Jumlah pekerja sebenarnya,  $R_a$  = Target pembangunan aktual (unit/minggu),  $T$  = Rentang waktu mulai pada unit pertama hingga unit terakhir dan  $Q$  = Jumlah unit yang akan dibangun.

### Efek Pembelajaran

*Learning Effect* adalah fenomena dimana waktu dan usaha yang dikeluarkan untuk menyelesaikan aktivitas berulang berkurang dengan meningkatnya jumlah pengulangan yang terjadi (Arditi et al, 2001). Efek pembelajaran bisa dianalisis dengan bentuk matematika dari *Learning Curve* (Kurva Pembelajaran). Model ini diungkapkan dalam rumus sebagai berikut (Arditi et al, 2001):

Total kumulatif untuk memproduksi unit X

$$Y = KX^n \quad (6)$$

dengan  $Y$  = Total kumulatif rata-rata unit untuk memproduksi unit  $X$ ,  $K$  = Waktu yang dibutuhkan pada unit pertama,  $n$  = Kemiringan dari *Learning Curve* ( $0 \leq n \leq -1$ ), menjelaskan produktivitas pekerja, nilai  $n$  yang mendekati  $-1$  disimbolkan berarti pekerja memiliki tingkat pembelajaran yang semakin tinggi.

Jika ada efek pembelajaran dalam proses produksi, maka harga rata-rata kumulatif dari beberapa unit yang dobel sama dengan harga rata-rata kumulatif dari unit yang tidak dobel dikalikan dengan kemiringan kurva belajar. *Learning index* ( $n$ ) merupakan nilai yang digunakan dalam kurva pembelajaran. Berikut merupakan penurunan rumus untuk mencari nilai  $n$ :

$$\text{Harga unit } 2y = \text{Harga unit } y \times \text{Learning rate} \quad (7)$$

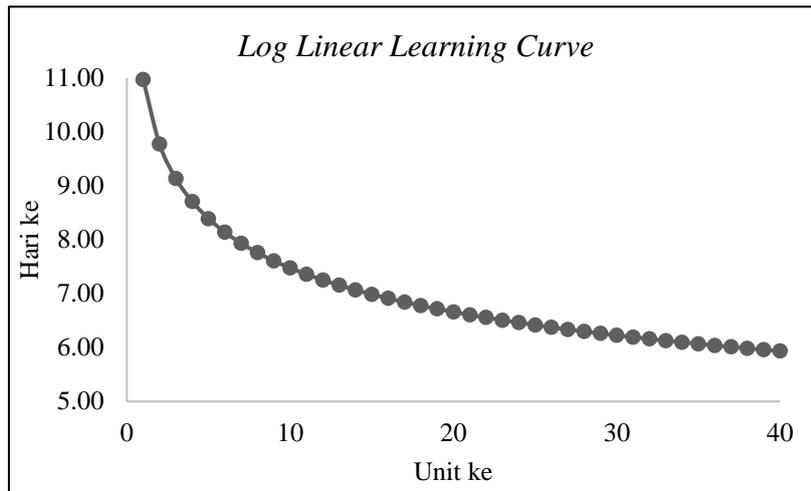
$$\text{Learning rate} = \frac{\text{Harga unit } 2y}{\text{Harga unit } y} = \frac{A(2y)^n}{A(y)^n} = 2^n \quad (8)$$

Kedua sisi dikali dengan log:

$$\log(\text{learning rate}) = n \times \log 2 \quad (9)$$

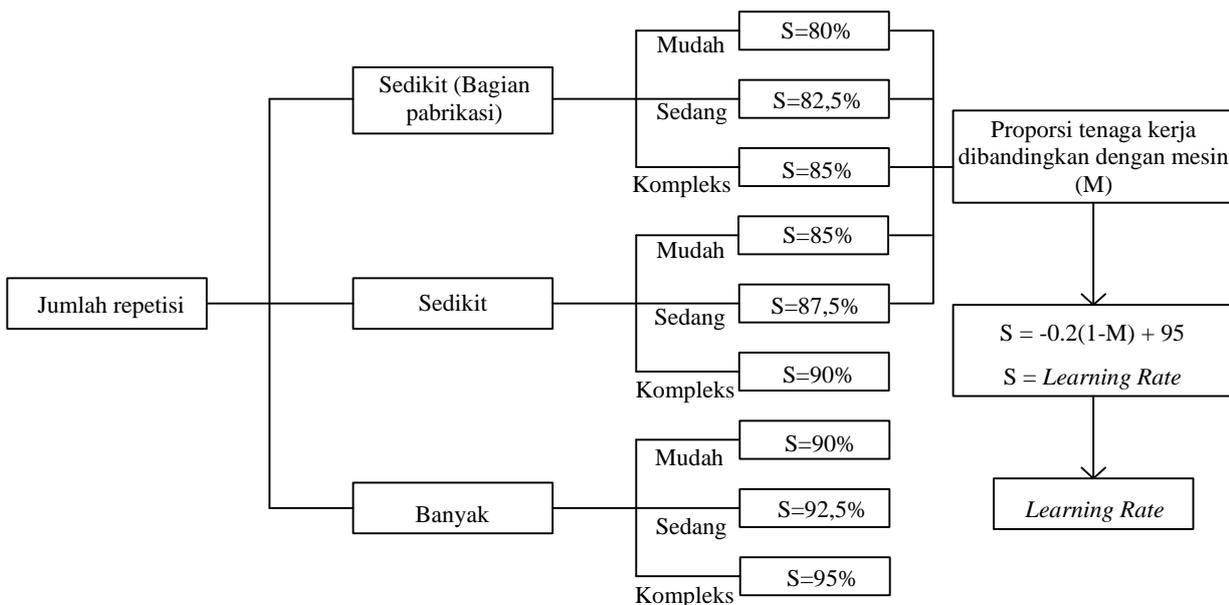
$$\text{Learning index } (n) = \frac{\log(\text{Learning Rate})}{\log 2} \quad (10)$$

dengan *Learning Rate* = pembelajaran dari pekerja, *Learning Index* = Kemiringan dari *Learning curve*.



Gambar 2. *Log Linear Learning Curve* (Sumber: Zhang et al, 2014)

Gambar 2 merupakan *Log Linear Learning Curve* yaitu kurva pembelajaran yang menunjukkan sumbu vertikal sebagai kumulatif waktu rata-rata per unit dan sumbu horizontal sebagai jumlah kumulatif unit yang diproduksi.



Gambar 3. Penentuan nilai *learning rate* (Sumber: Arditi et al, 2001)

Setiap aktivitas memiliki *learning rate* yang berbeda-beda tergantung dari jenis pekerjaannya, Gambar 3 merupakan cara untuk mendapatkan nilai akhir dari *learning rate*.

**Metode *Line of Balance* dengan Efek Pembelajaran**

Jika efek pembelajaran diaplikasikan pada metode LOB maka mempunyai kelebihan untuk mendapatkan durasi yang lebih cepat dan dapat mengurangi kebutuhan sumber daya pekerja dibandingkan hanya menggunakan metode LOB. Rumus tambahan yang dapat digunakan dalam metode LOB atau metode LOB dengan efek pembelajaran sebagai berikut (Arditi et al, 2001):

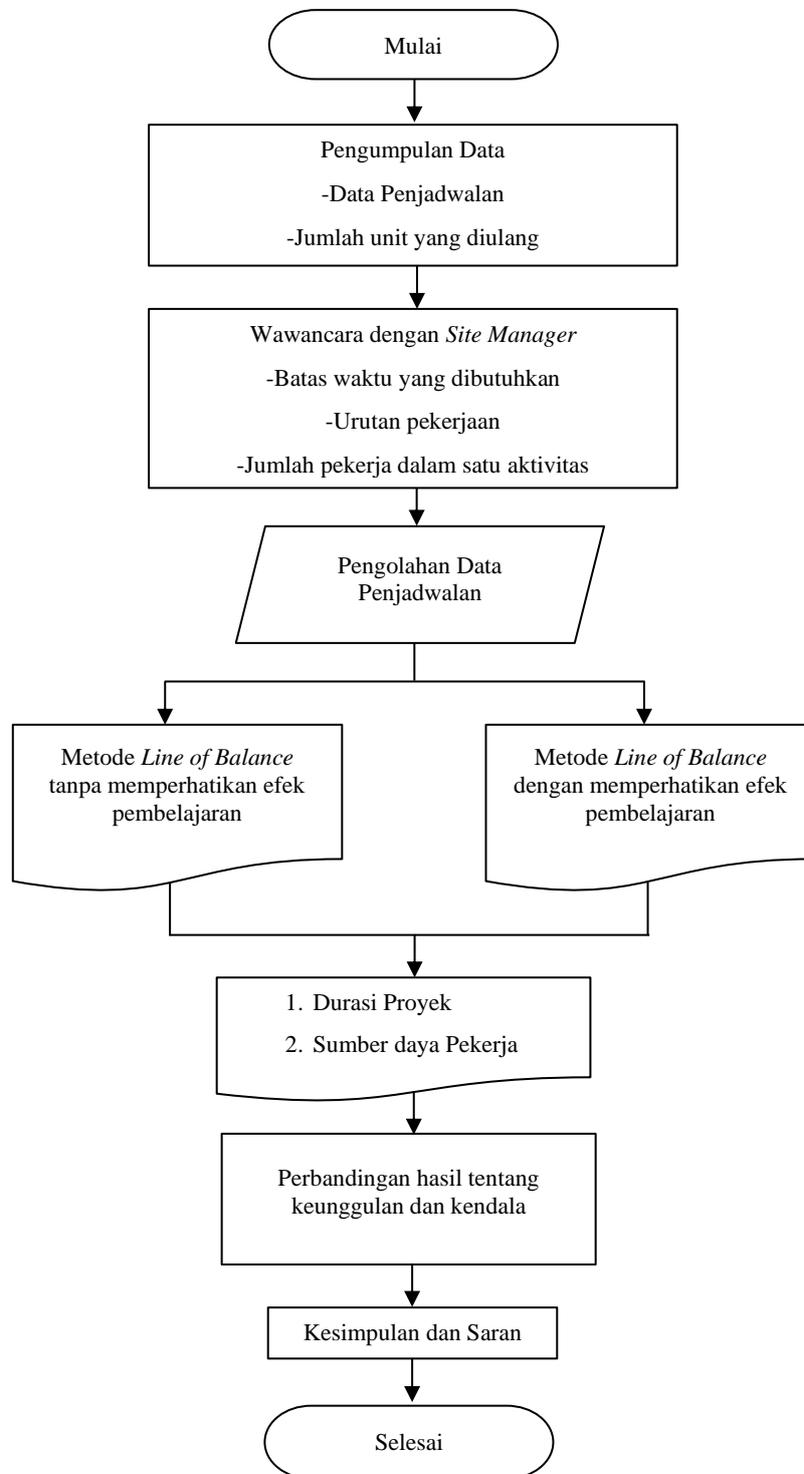
Waktu mulai antar unit

$$S_t = \frac{1 \times N}{R_a} \tag{11}$$

dengan  $S_t$  = Waktu mulai antar unit (hari),  $R_a$  = Target pembangunan aktual (unit/minggu),  $N$  = Total hari kerja perminggu (hari).

## 2. METODE PENELITIAN

Objek penelitian yang diteliti berupa proyek perumahan di daerah Tangerang Selatan yang terdiri dari 2 lantai dengan luas tanah 90 m<sup>2</sup> dan luas bangunan 101 m<sup>2</sup> dengan jumlah unit 11 serta tipe rumah yang sama. Gambar 4 merupakan diagram alir penelitian pada proyek perumahan X.



Gambar 4. Diagram Alir Penelitian

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

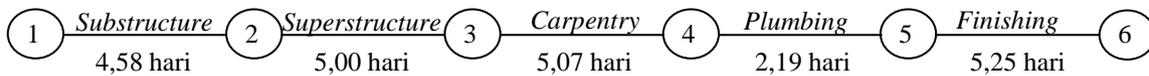
#### Penerapan metode LOB dan metode LOB dengan efek pembelajaran menurut Arditi et al, 2001

Pada artikel ilmiah yang ditulis oleh Arditi et al (2001) berjudul “*Effect of Learning on Line of Balance Scheduling*” data yang dibutuhkan dalam penggunaan metode LOB ditunjukkan pada Tabel 1 dan jaringan kerja pada Gambar 5 sebagai berikut:

Tabel 1. Data Penjadwalan

Aktivitas	$T_x$ (jam)	$O_g$ (Pekerja Optimal)	<i>Buffer time</i>
<i>Substructure</i>	110	3	5
<i>Superstructure</i>	320	8	5
<i>Carpentry</i>	365	9	5
<i>Plumbing</i>	35	2	5
<i>Finishing</i>	210	5	5

(Sumber: Arditi et al, 2001)



Gambar 5. Jaringan Kerja (Sumber: Arditi et al, 2001)

Sebuah proyek repetitif yang terdiri dari 20 unit rumah mempunyai 5 aktivitas (Gambar 5) yaitu *substructure*, *superstructure*, *carpentry*, *plumbing*, dan *finishing*. Target pembangunan yang diberikan sebesar 3 unit per minggu, diasumsikan pekerja bekerja 5 hari perminggu dan 8 jam per hari. Durasi pekerja mengerjakan satu aktivitas ( $T_x$ ), grup yang optimal per aktivitas ( $O_g$ ) dan *buffer time* ada pada Tabel 1.

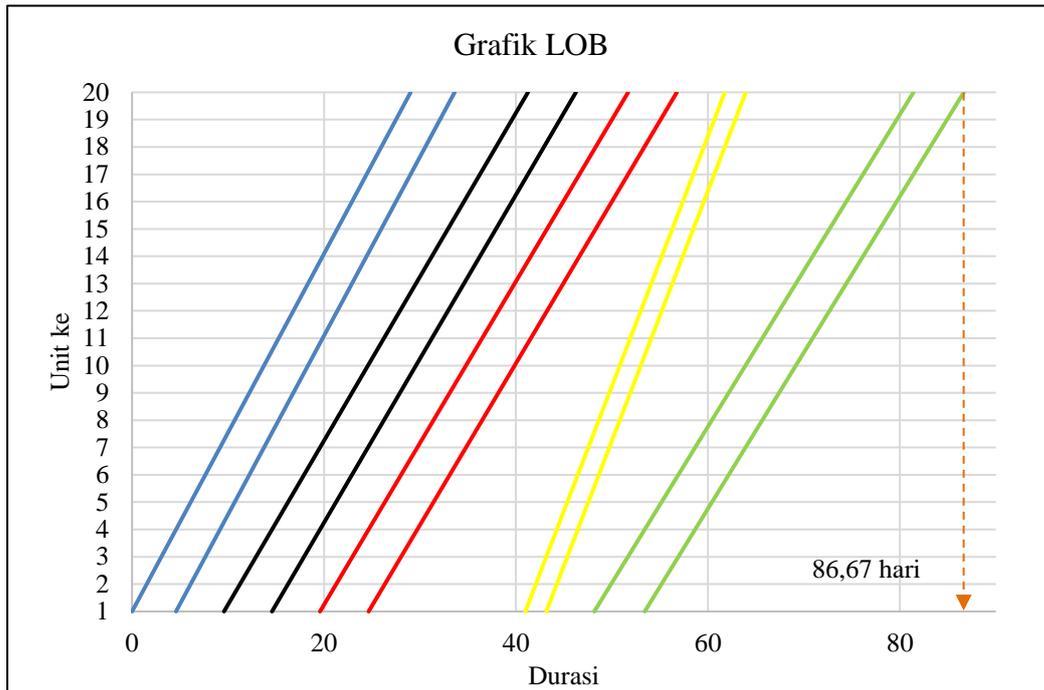
Tabel 2. Tabel Perhitungan Metode LOB

Aktivitas	$O_g$	G	$G_a$	$R_a$	$C_1$	T	<i>Buffer</i>	Waktu mulai unit pertama	Waktu selesai unit pertama	Waktu mulai unit terakhir	Waktu selesai unit terakhir
<i>Substructure</i>	3	8,25	9	3,27	4,58	29,03	5	0,00	4,58	29,03	33,61
<i>Superstructure</i>	8	24	24	3	5	31,67	5	9,58	14,58	41,25	46,25
<i>Carpentry</i>	9	27,375	27	2,96	5,07	32,11	5	19,58	24,65	51,69	56,76
<i>Plumbing</i>	2	2,625	4	4,57	2,19	20,78	5	40,98	43,17	61,76	63,95
<i>Finishing</i>	5	15,75	15	2,86	5,25	33,25	5	48,17	53,42	81,42	86,67

Tabel 3. Faktor Pembelajaran

Aktivitas	Jumlah Repetisi	Tingkat Kesusahan	Persentase perbandingan tenaga kerja dengan mesin	<i>Learning Rate</i> (%)
<i>Substructure</i>	Sedikit	Kompleks	75 %	90
<i>Superstructure</i>	Sedikit	Kompleks	35 %	90
<i>Carpentry</i>	Banyak	Sedang	-	92,5
<i>Plumbing</i>	Banyak	Sedang	-	92,5
<i>Finishing</i>	Sedikit	Sedang	60 %	87,5

Tabel 2 menunjukkan bahwa total durasi mengerjakan 20 unit adalah 86,67 hari dan grafik LOB seperti pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik LOB (Sumber: Arditi et al, 2001)

Tabel 3 merupakan faktor pembelajaran yang mempengaruhi setiap aktivitas berdasarkan Gambar 3. Tabel 4 merupakan contoh tabel menggunakan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran pada aktivitas *substructure* ( $S=90\%$ ).

Berikut merupakan penjelasan untuk mengerjakan Tabel 4:

$$\text{Learning Index } (n) = \frac{\log(\text{learning rate})}{\log 2} = \frac{\log 0,9}{\log 2} = -0,152$$

$$S_t = \frac{1 \times N}{R_a} = \frac{1 \times 5}{3,27} = 1,53$$

Diketahui data pada unit 1:

$$\begin{aligned} T_x &= 110 \text{ jam} & G &= 8,25 & R_a &= 3,27 \\ O_g &= 3 & G_a &= 9 & C_1 &= 4,58 \\ S_t &= 1,53 \end{aligned}$$

Menggunakan rumus  $Y=KX^n$  untuk mencari  $T_x$  unit kedua sampai unit terakhir, sehingga didapat  $T_x$  pada unit kedua sebagai berikut:

$$T_x(\text{unit 2})=KX^n=110 \times 2^{-0,152}= 99 \text{ jam}$$

Jumlah pekerja secara teori:

$$G = \frac{T_x \times R}{N \times N_x} = \frac{99 \text{ jam} \times 3}{5 \times 8 \text{ jam}} = 7,43 \text{ pekerja}$$

$$C_1 = \frac{T_x}{O_g \times N_x} = \frac{99 \text{ jam}}{3 \times 8 \text{ jam}} = 4,13 \text{ hari}$$

$$R_a = \frac{G_a \times R}{G} = \frac{9 \times 3}{7,43} = 3,64 \text{ unit/minggu}$$

Jumlah pekerja yang sebenarnya

Diketahui  $O_g$  *substructure* = 3 pekerja

$G_a$ =Kelipatan dari  $O_g = 3 \times 3 = 9$  pekerja (3 Grup)

$$S_t = \frac{1 \times N}{R_a} = \frac{1 \times 5}{3,64} = 1,38$$

Waktu mulai unit kedua =  $0 + S_t$  (unit 1) =  $0 + 1,53 =$  hari ke-1,53.

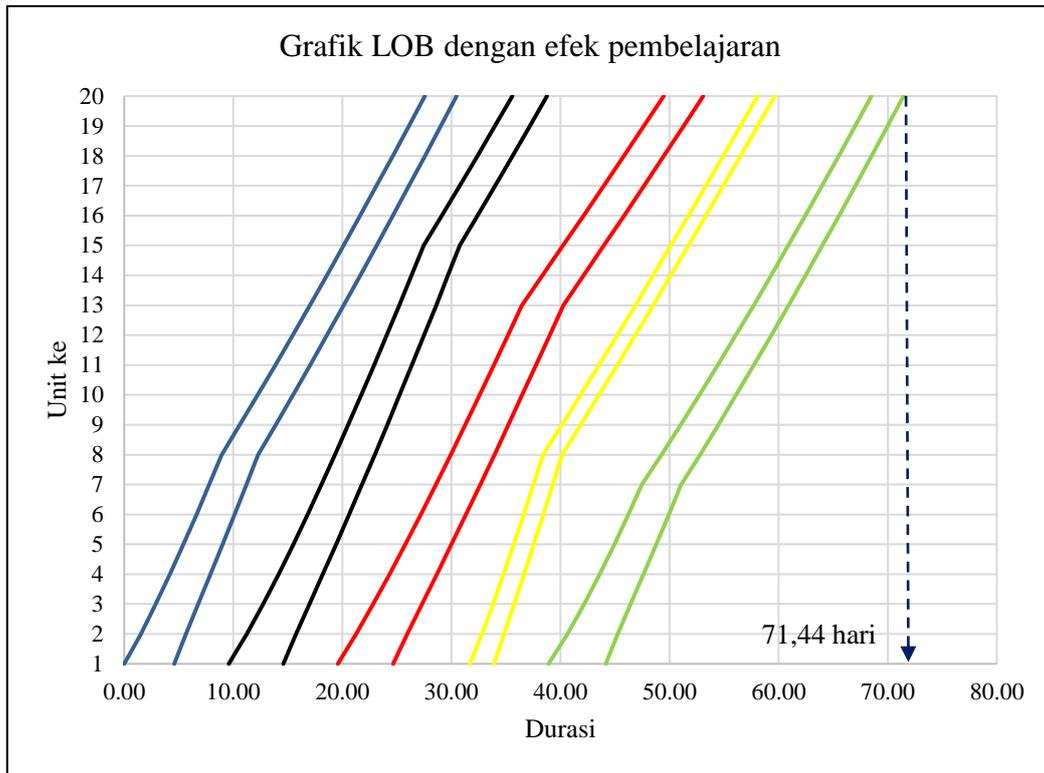
Waktu selesai unit kedua =  $1,53 + C_1 =$  hari ke-5,65.

Tabel 4. Tabel perhitungan pada aktivitas *substructure*

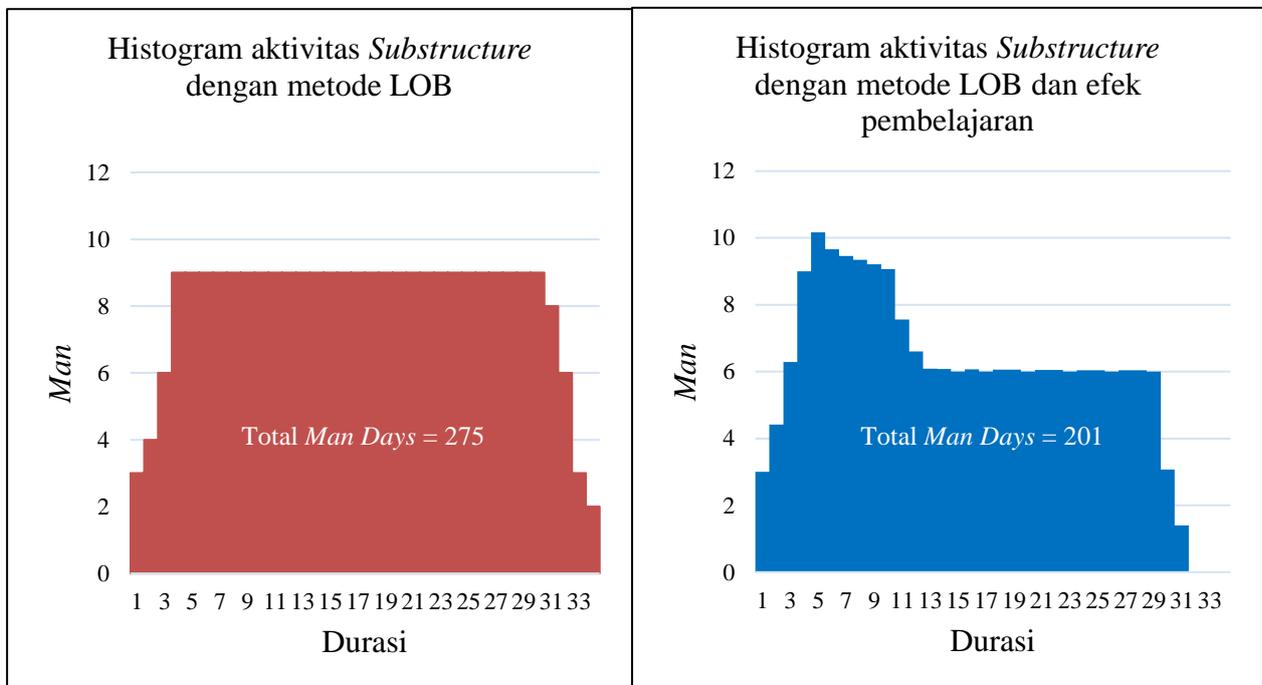
Aktivitas	Unit	T <sub>x</sub>	O <sub>g</sub>	G	G <sub>a</sub>	R <sub>a</sub>	C <sub>1</sub>	S <sub>t</sub>	Waktu Mulai	Waktu Selesai
	1	110	3	8,25	9 3 × 3	3,27	4,58	1,53	0,00	4,58
	2	99	3	7,43	9 3 × 3	3,64	4,13	1,38	1,53	5,65
	3	93,08	3	6,98	9 3 × 3	3,87	3,88	1,29	2,90	6,78
	4	89,10	3	6,68	9 3 × 3	4,04	3,71	1,24	4,20	7,91
	5	86,13	3	6,46	9 3 × 3	4,18	3,59	1,20	5,43	9,02
	6	83,77	3	6,28	9 3 × 3	4,30	3,49	1,16	6,63	10,12
	7	81,83	3	6,14	9 3 × 3	4,40	3,41	1,14	7,79	11,20
	8	80,19	3	6,01	6 2 × 3	2,99	3,34	1,67	8,93	12,27
	9	78,77	3	5,91	6 2 × 3	3,05	3,28	1,64	10,60	13,88
<i>Substructure</i> ( <i>Learning Rate = 90%</i> )	10	77,52	3	5,81	6 2 × 3	3,10	3,23	1,61	12,24	15,47
	11	76,40	3	5,73	6 2 × 3	3,14	3,18	1,59	13,86	17,04
	12	75,40	3	5,65	6 2 × 3	3,18	3,14	1,57	15,45	18,59
	13	74,49	3	5,59	6 2 × 3	3,22	3,10	1,55	17,02	20,12
	14	73,65	3	5,52	6 2 × 3	3,26	3,07	1,53	18,57	21,64
	15	72,88	3	5,47	6 2 × 3	3,29	3,04	1,52	20,10	23,14
	16	72,17	3	5,41	6 2 × 3	3,33	3,01	1,50	21,62	24,63
	17	71,51	3	5,36	6 2 × 3	3,36	2,98	1,49	23,13	26,11
	18	70,89	3	5,32	6 2 × 3	3,39	2,95	1,48	24,62	27,57
	19	70,31	3	5,27	6 2 × 3	3,41	2,93	1,46	26,09	29,02
	20	69,76	3	5,23	6 2 × 3	3,44	2,91	1,45	27,56	30,46

Setelah mendapatkan semua waktu mulai dan waktu selesai setiap unit maka akan terlihat seperti Tabel 4. Gambar 7 menunjukkan bahwa 20 unit rumah membutuhkan waktu 71,44 hari untuk selesai dan Gambar 8 menunjukkan bahwa total *man days* yang dibutuhkan untuk aktivitas *substructure* yaitu 201 *man days*.

Dapat disimpulkan bahwa total durasi 20 unit rumah jika menggunakan metode LOB dengan efek pembelajaran akan lebih cepat 17,57% jika dibandingkan dengan durasi jika menggunakan metode LOB. Metode LOB dengan efek pembelajaran akan mengurangi jumlah *man days* dari 275 *man days* menjadi 201 *man days*, sebesar 27% dibandingkan dengan metode LOB.



Gambar 7. Grafik LOB dengan efek pembelajaran (Sumber: Arditi et al, 2001)



Gambar 8. Perbandingan histogram *man days* pada aktivitas *substructure* menggunakan metode LOB dan metode LOB dengan efek pembelajaran (Sumber: Arditi et al, 2001)

**Penerapan metode LOB dan metode LOB dengan efek pembelajaran pada proyek perumahan X**

Langkah awal dalam menyusun sebuah penjadwalan suatu proyek adalah dengan mendefinisikan proyek dalam serangkaian kegiatan. Kegiatan-kegiatan tersebut yang nantinya akan digunakan dalam membuat jaringan kerja proyek tersebut. Data proyek perumahan X didapat dengan cara *interview* dengan *site manager*. Tabel 5 merupakan data dan *predecessor* proyek perumahan X.

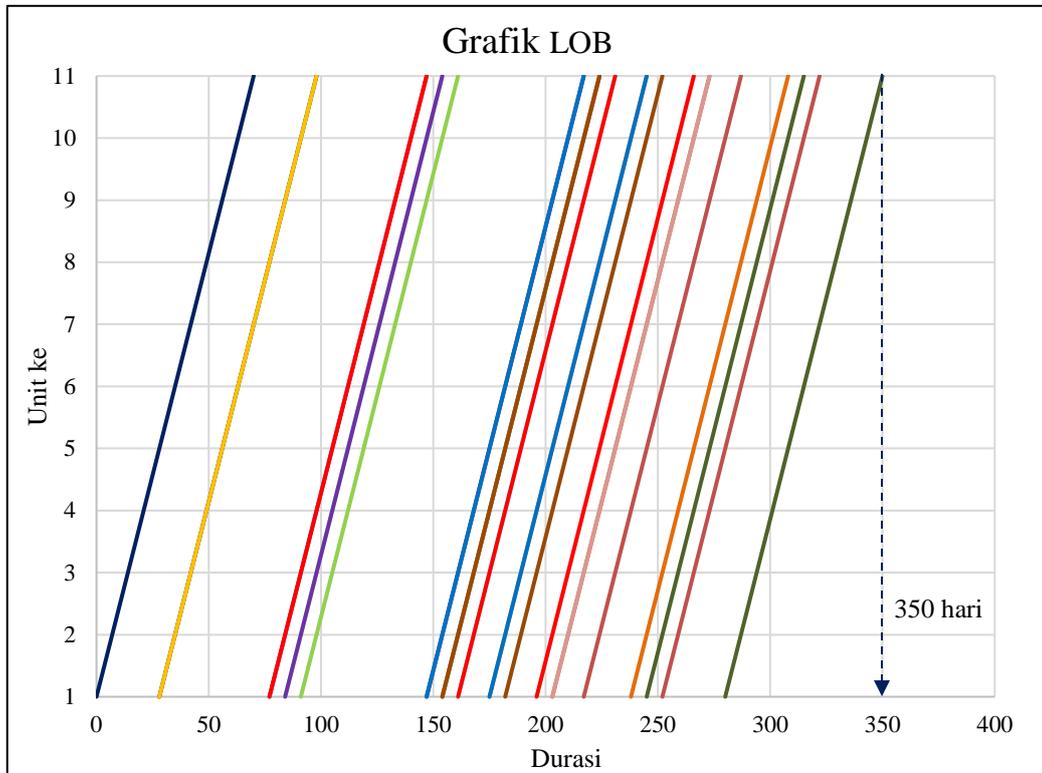
Tabel 5. Data Proyek Perumahan X

Aktivitas	Simbol	Durasi (minggu)	<i>Predecessor</i>
Persiapan	A	4	-
Galian & Pondasi	B	7	A-FS
Beton Struktur	C	11	B-FS
Dinding	D	11	C-SS+1
Atap	E	5	C-FS+1
<i>Plafond</i>	F	5	E-FS+1
Pintu dan Jendela	G	4	D-FS+2
Elektrikal	H	9	B-FS+1
<i>Plumbing</i>	I	9	B-FS+2
Lantai	J	4	H-FS
Sanitair	K	4	I-FS
<i>Landscape</i>	L	5	G-FS+2, K-FS
<i>Finishing</i>	M	5	F-FS+1, J-FS

Tabel 6. Tabel perhitungan dengan metode LOB pada proyek perumahan X

Aktivitas	O <sub>g</sub>	G	G <sub>a</sub>	R <sub>a</sub>	C <sub>1</sub>	T	<i>Buffer</i>	Waktu mulai unit pertama	Waktu selesai unit pertama	Waktu mulai unit terakhir	Waktu selesai unit terakhir
Persiapan	2	8	8	1	28	70		0	28	70	98
Galian & Pondasi	3	21	21	1	49	70		28	77	98	147
Beton Struktur	4	44	44	1	77	70		77	154	147	224
Dinding	4	44	44	1	77	70	7	84	161	154	231
Atap	2	10	10	1	35	70	7	161	196	231	266
<i>Plafond</i>	2	10	10	1	35	70	7	203	238	273	308
Pintu & Jendela	2	8	8	1	28	70	14	175	203	245	273
Elektrikal	4	36	36	1	63	70	7	84	147	154	217
<i>Plumbing</i>	4	36	36	1	63	70	14	91	154	161	224
Lantai	2	8	8	1	28	70		147	175	217	245
Sanitair	2	8	8	1	28	70		154	182	224	252
<i>Landscape</i>	2	10	10	1	35	70	14	217	252	287	322
<i>Finishing</i>	2	10	10	1	35	70	7	245	280	315	350

Tabel 6 menunjukkan bahwa 11 unit rumah dengan 13 aktivitas menggunakan metode LOB akan selesai pada hari ke-350 (Gambar 9). Faktor Pembelajaran pada proyek perumahan X didapat dengan mewawancarai *site manager* dan disimpulkan menjadi Tabel 7.



Gambar 9. Grafik LOB pada proyek perumahan X

Tabel 7. Faktor pembelajaran pada proyek perumahan X

<i>Activity</i>	<i>Degree of repetition</i>	<i>Activity Complexity</i>	<i>Proportion of Machine - Paced Labor</i>	<i>Learning rate</i>
Persiapan	Banyak	Mudah	-	90%
Galian & Pondasi	Sedikit	Sedang	10%	87,5%
Beton Struktur	Banyak	Sedang	-	92,5%
Dinding	Banyak	Sedang	-	92,5%
Atap	Sedikit	Sedang	40%	87,5%
Plafond	Sedikit	Mudah	30%	85,0%
Pintu dan Jendela	Sedikit	Mudah	10%	85,0%
Elektrikal	Banyak	Sedang	-	92,5%
Plumbing	Banyak	Sedang	-	92,5%
Lantai	Sedikit	Mudah	10%	85,0%
Sanitair	Sedikit	Sedang	20%	87,5%
Landscape	Sedikit	Mudah	10%	85,0%
Finishing	Sedikit	Mudah	20%	85,0%

Tabel 8 merupakan contoh tabel menggunakan metode LOB dengan memperhatikan efek pembelajaran pada aktivitas persiapan (S=90%).

Berikut merupakan penjelasan untuk mengerjakan Tabel 8:

$$Learning\ Index\ (n) = \frac{\log(\text{learning rate})}{\log 2} = \frac{\log 0,9}{\log 2} = -0,152$$

Diketahui data pada unit 4:

$$\begin{aligned} T_x &= 408,24\ \text{jam} & G &= 6,48 & R_a &= 1,23 \\ O_g &= 2 & G_a &= 8 & C_1 &= 22,68 \\ S_t &= 5,67 \end{aligned}$$

Menggunakan rumus  $Y=KX^n$  untuk mencari  $T_x$  unit kedua sampai unit terakhir, sehingga didapat  $T_x$  pada unit kelima sebagai berikut:

$$T_x(\text{unit 5})=KX^n=504 \times 5^{-0,152}= 394,63\ \text{jam}$$

Jumlah pekerja secara teori:

$$G = \frac{T_x \times R}{N \times N_x} = \frac{394,63\ \text{jam} \times 1}{7 \times 9\ \text{jam}} = 6,26\ \text{pekerja}$$

$$C_1 = \frac{T_x}{O_g \times N_x} = \frac{394,63\ \text{jam}}{2 \times 9\ \text{jam}} = 21,92\ \text{hari}$$

$$R_a = \frac{G_a \times R}{G} = \frac{8 \times 1}{6,26} = 1,28\ \text{unit/minggu}$$

Jumlah pekerja yang sebenarnya

Diketahui  $O_g$  persiapan = 2 pekerja

$G_a$  = Kelipatan dari  $O_g$  =  $4 \times 2 = 8$  pekerja (4 Grup)

$$S_t = \frac{1 \times N}{R_a} = \frac{1 \times 7}{1,28} = 5,48$$

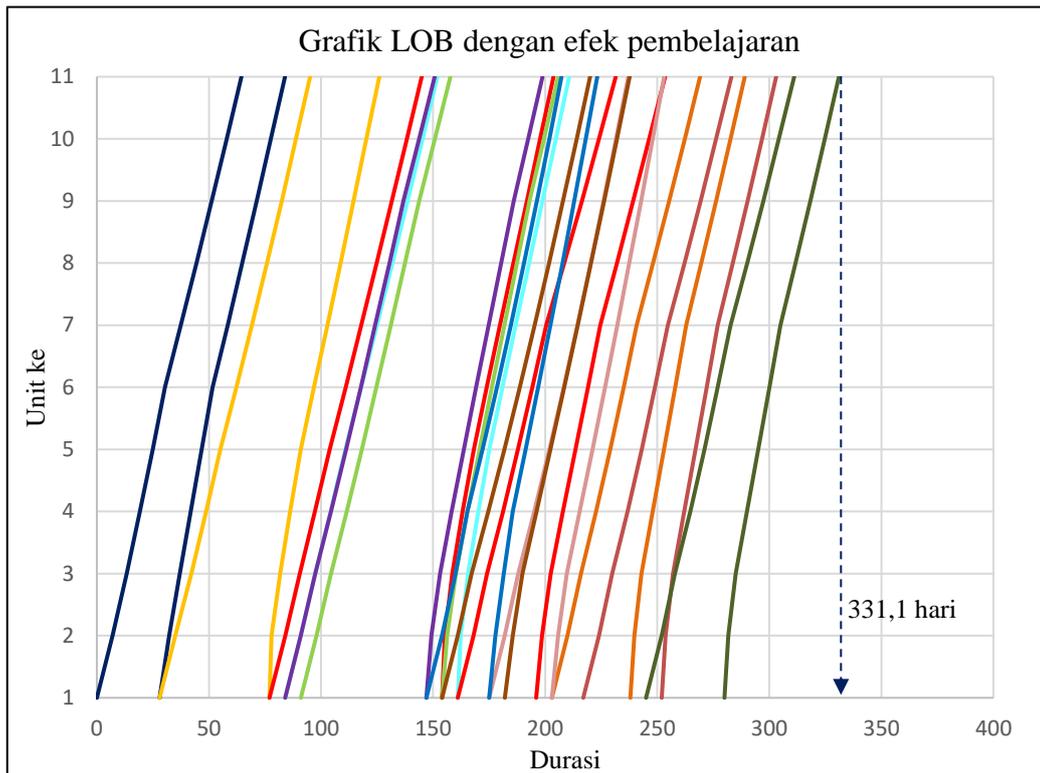
Waktu mulai unit kelima =  $19,22$  (unit 4) +  $S_t$  (unit 4) =  $19,22 + 5,67 =$  hari ke-24,89.

Waktu selesai unit kelima =  $24,89 + C_1 =$  hari ke-46,82.

Tabel 8. Tabel perhitungan aktivitas persiapan (S=90%)

Aktivitas	Unit	$T_x$	$O_g$	G	$G_a$	$R_a$	$C_1$	$S_t$	Waktu Mulai	Waktu Selesai
Persiapan ( <i>Learning Rate</i> = 90%)	1	504	2	8,00	8 4 × 2	1,00	28,00	7,00	0,00	28,00
	2	453,60	2	7,20	8 4 × 2	1,11	25,20	6,30	7,00	32,20
	3	426,49	2	6,77	8 4 × 2	1,18	23,69	5,92	13,30	36,99
	4	408,24	2	6,48	8 4 × 2	1,23	22,68	5,67	19,22	41,90
	5	394,63	2	6,26	8 4 × 2	1,28	21,92	5,48	24,89	46,82
	6	383,84	2	6,09	6 3 × 2	0,98	21,32	7,11	30,37	51,70
	7	374,95	2	5,95	6 3 × 2	1,01	20,83	6,94	37,48	58,31
	8	367,42	2	5,83	6 3 × 2	1,03	20,41	6,80	44,43	64,84
	9	360,90	2	5,73	6 3 × 2	1,05	20,05	6,68	51,23	71,28
	10	355,16	2	5,64	6 3 × 2	1,06	19,73	6,58	57,91	77,64
	11	350,05	2	5,56	6 3 × 2	1,08	19,45	6,48	64,49	83,94

Tabel 8 merupakan tabel perhitungan aktivitas persiapan, kemudian lakukan hal yang sama pada 12 aktivitas lainnya sehingga didapat total durasi pembangunan pada proyek perumahan X dengan metode LOB yang memperhatikan efek pembelajaran adalah 331,1 hari (Gambar 10).

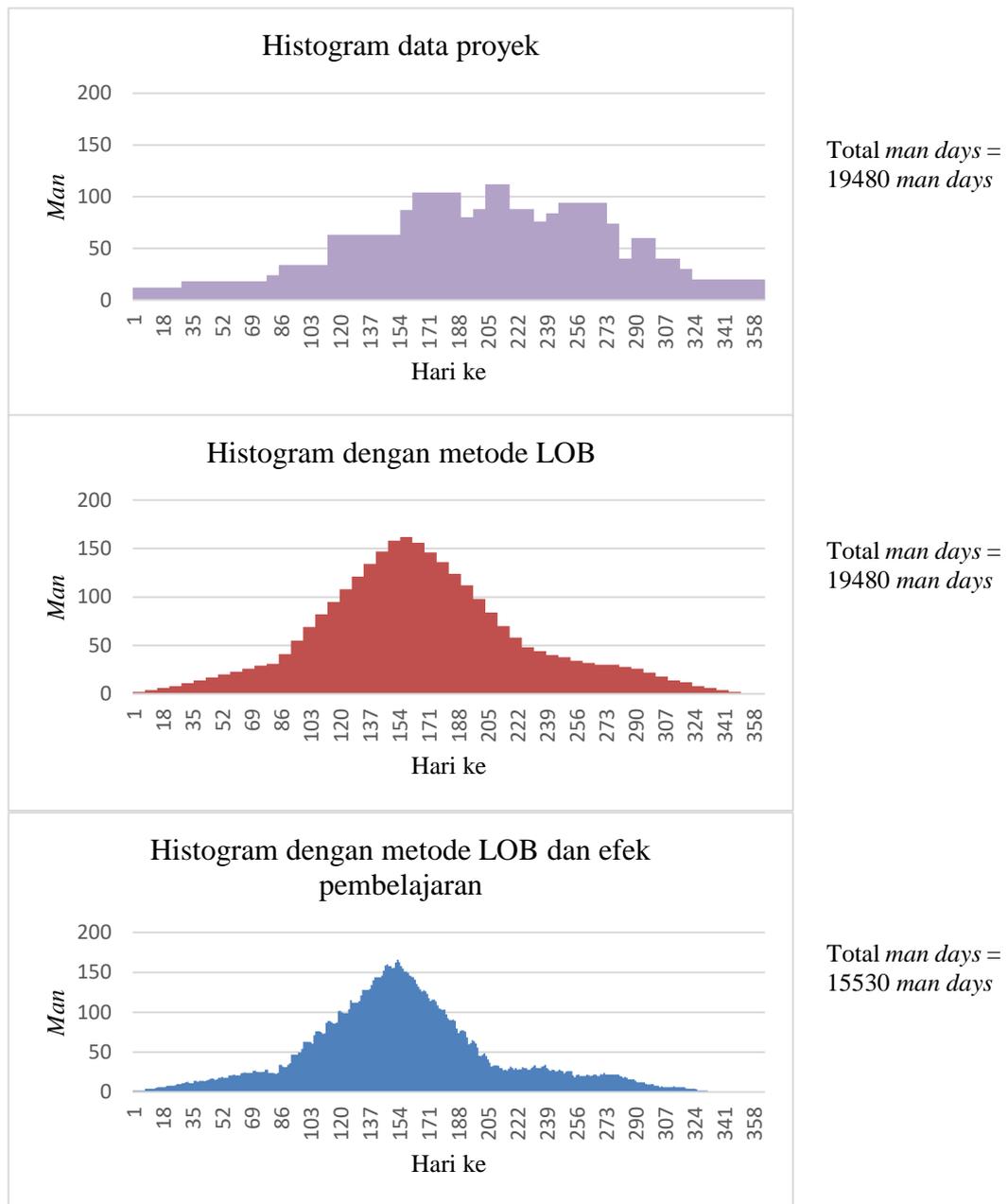


Gambar 10. Grafik LOB dengan efek pembelajaran pada proyek perumahan X

Tabel 9. Tabel Rangkuman hasil penelitian

	Durasi total	Jumlah <i>man</i> terbanyak	Total <i>man days</i>
Data Proyek	364 hari	112	19.480
Metode LOB	350 hari	162	19.480
Metode LOB dengan efek pembelajaran	331,1 hari	166	15.530

Tabel 9 menunjukkan bahwa durasi total membangun 11 unit rumah sebesar 52 minggu atau 364 hari dan dengan menggunakan metode LOB dapat mempercepat 3,85% yaitu 350 hari (Gambar 9), sedangkan dengan metode LOB dengan efek pembelajaran dapat mempercepat 9,05% yaitu 331,1 hari (Gambar 10). Total *man days* pada data proyek (Gambar 11) yaitu 19.480 *man days* dan akan sama jika menggunakan metode LOB, tetapi jika menerapkan efek pembelajaran pada metode LOB jumlah *man days* akan berkurang sebesar 20,28% menjadi 15.530 *man days*.



Gambar 11. Perbandingan total *man days* pada data proyek perumahan X, histogram LOB dan LOB dengan efek pembelajaran

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Penjadwalan menggunakan metode *Line of Balance* (LOB) dan metode LOB dengan efek pembelajaran akan mempercepat durasi pembangunan jika dibandingkan dengan data proyek awal, serta metode LOB dengan efek pembelajaran mempunyai durasi pembangunan yang lebih cepat dibandingkan dengan metode LOB.
  - a. Durasi data proyek awal adalah 364 hari, tetapi jika menggunakan metode LOB maka akan dipercepat sebanyak 14 hari atau 3,85% menjadi 350 hari.
  - b. Metode LOB dengan efek pembelajaran akan mempercepat durasi pembangunan sebesar 9,05% menjadi 331,1 hari jika dibandingkan dengan data proyek awal.

2. Dalam perhitungan total *man days*, metode *Line of Balance* dengan efek pembelajaran dapat mengurangi jumlah *man days* jika dibandingkan dengan data proyek awal.
  - a. Total *man days* data proyek awal dan jika menggunakan metode LOB adalah sama yaitu 19.481 *man days*.
  - b. Metode LOB dengan efek pembelajaran akan mengurangi jumlah *man days* sebesar 20,28% yaitu menjadi 15.530 *man days*.
3. Keunggulan dalam menggunakan metode LOB dengan efek pembelajaran dalam menyusun jadwal adalah dapat mengurangi total *man days* dan dapat mempercepat durasi pembangunan. Selain itu terdapat juga kendala dalam menggunakan metode LOB dengan efek pembelajaran adalah dibutuhkan jumlah repetisi yang banyak karena semakin banyak pengulangan maka efek pembelajaran dari pekerja juga akan semakin besar sehingga bisa mendapatkan hasil yang lebih baik.

## Saran

Berdasarkan hasil studi yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran sebagai berikut:

1. Dalam perhitungan jadwal menggunakan metode LOB dengan efek pembelajaran disarankan untuk menghitung biaya kebutuhan *man days* sehingga dapat diketahui berapa besar biaya yang dihemat karena jumlah *man days* yang berkurang.
2. Saat menghitung data dengan metode LOB dengan efek pembelajaran disarankan untuk menggunakan data dengan jumlah aktivitas yang repetisinya yang lebih banyak, seperti 20 unit atau 30 unit supaya efek pembelajaran pada pekerja juga akan semakin terlihat.
3. Saran untuk proyek atau pada bidang industri yaitu metode LOB dengan efek pembelajaran ini dapat digunakan dan dijadikan bahan pertimbangan dalam menyusun jadwal dalam proyek karena metode ini telah terbukti dapat mengurangi jumlah *man days* dan dapat mengurangi durasi pembangunan. Tetapi perlu adanya program komputer yang mendukung sehingga ketika menggambar grafik LOB dan histogram *man days* bisa menjadi lebih mudah.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arditi, D., Tokdemir, O. B., & Suh, K. (2001). *Effect of Learning on Line of Balance Scheduling*. *International Journal of Project Management*, 19(5): 265–277.
- Aulia, M. A., Farisi, A. H., Wibowo, M., & Hidayat, A. (2016). Analisis Penggunaan Metode Penjadwalan *Line of Balance* pada proyek konstruksi repetitif. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 211-219.
- Chan, A. P., Scott, D., & W.M.Lam, E. (2002). *Framework of Success Criteria for Design/Build Projects*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 18(3): 120-128.
- Harris, F., McCaffer, R., & Edum-Fotwe, F. (2013). *Modern Construction Management, 7th Edition*. Wiley-Blackwell.
- Jaśkowski, P. (2015). *Repetitive Construction Processes Scheduling*. *Budownictwo i Architektura*, 14(2):055-061.
- Pai, S. K., Verguese, P., & Rai, S. (2013). *Application of Line of Balance Scheduling Technique (LOBST) for a Real Estate Sector*. *International Journal of Science, Engineering and Technology Research (IJSETR) Volume 2, Issue 1*, 82-95.
- Tokdemir, O. B., Erol, H., & Dikmen, I. (2019). *Delay Risk Assessment of Repetitive Construction Projects Using Line-of-Balance Scheduling and Monte Carlo Simulation*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 145(2): 04018132.
- Zhang, L., Zou, X., & Kan, Z. (2014). *Improved Strategy for Resource Allocation in Repetition Projects Considering the Learning Effect*. *Journal of Construction Engineering and Management*, 140(11): 04014053.

