

OPTIMASI ALAT BERAT PADA PEKERJAAN BOX CULVERT PROYEK PEMBANGUNAN JALAN LINGKAR UTARA LAMONGAN SEKSI I

Sabrina Intan Kirana Hariyadi^{1,*}, Suselo Utoyo²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi¹, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang²

Email: sabrina.mlg03@gmail.com, suselo.utoyo@polinema.ac.id

ABSTRAK

Dalam pembangunan Proyek Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I terdapat beberapa komponen pekerjaan yang membutuhkan biaya cukup besar, salah satunya adalah pekerjaan box culvert. Pemilihan kombinasi alat berat yang kurang tepat dapat menyebabkan pembengkakan biaya proyek. Oleh karena itu, pemilihan kombinasi alat berat yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan biaya. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis volume box culvert (meliputi pekerjaan galian, timbunan, dan pengecoran), menentukan jenis alat berat yang sesuai, serta menetapkan kombinasi alat berat yang optimal untuk menghasilkan biaya terendah. Data yang digunakan meliputi detail engineering design, pre construction meeting, harga sewa alat, bahan bakar, upah operator, serta spesifikasi alat berat. Metode yang digunakan adalah simpleks program linier untuk memperoleh hasil yang optimum. Hasil penelitian menunjukkan bahwa alternatif kombinasi alat berat paling efisien untuk pekerjaan galian adalah alternatif 4 merupakan kombinasi yang paling optimal, dengan kombinasi Excavator Tipe PC 160 dan Dump Truck Tipe Hino 500 Series FG 25JJ 4x1, untuk pekerjaan pengecoran adalah alternatif 2 merupakan kombinasi yang paling optimal yaitu Concrete Pump Tipe Putzmeister 27Z-Meter dan Truck Mixer Tipe Hino Ranger Mixer FM 260 JM, dan untuk pekerjaan timbunan kembali adalah alternatif 5 merupakan kombinasi yang paling optimal, dengan kombinasi Excavator Tipe PC 160, Dump Truck Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 dan Bulldozer Tipe Shantui SD22W

Kata kunci : alat berat; kombinasi; optimasi; metode simpleks; box culvert

ABSTRACT

In the construction of the Lamongan North Ring Road Project Section I, there are several components of work that require significant costs, one of which is box culvert work. The selection of an inappropriate combination of heavy equipment can lead to project cost overruns. Therefore, the selection of the appropriate combination of heavy equipment is very important to optimize costs. The objective of this study is to analyze the volume of box culverts (including excavation, backfilling, and concrete pouring work), determine the appropriate type of heavy equipment, and establish the optimal combination of heavy equipment to achieve the lowest possible costs. The data used includes engineering design details, pre-construction meetings, equipment rental prices, fuel costs, operator wages, and heavy equipment specifications. The method used is the simplex linear programming technique to obtain optimal results. The results of the study indicate that the most efficient heavy equipment combination for excavation work is Alternative 4, which is the most optimal combination, consisting of an Excavator Type PC 160 and a Dump Truck Type Hino 500 Series FG 25JJ 4x1. For concrete pouring work, Alternative 2 is the most optimal combination, consisting of a Concrete Pump Type Putzmeister 27Z -Meter Concrete Pump and Hino Ranger Mixer FM 260 JM Truck Mixer. For backfilling work, Alternative 5 is the most optimal combination, consisting of a PC 160 Excavator, Mitsubishi Fuso FE SHDX8 Dump Truck, and Shantui SD22W Bulldozer.

Keywords : heavy equipment, combination, optimization, simplex method, box culvert

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, Indonesia mengalami kemajuan signifikan dalam bidang pembangunan infrastruktur, terutama pada sektor transportasi seperti jalan. Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I merupakan salah satu contoh implementasi dari upaya

tersebut. Di dalam proyek ini, salah satu komponen yang harus diperhatikan adalah *box culvert*, yang berfungsi sebagai saluran drainase dan menopang struktur jalan.

Pada pembangunan ini diperlukan perhatian khusus dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek terutama dalam penggunaan alat berat. Pemilihan alat berat yang tepat

sangat berpengaruh pada kecepatan dan kualitas pekerjaan. Dalam pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I ditemukan adanya keterlambatan pada beberapa pekerjaan. Salah satu diantaranya adalah pekerjaan *box culvert*. Hal ini disebabkan oleh ketidaktepatan dalam pemilihan kombinasi alat berat yang digunakan.

Pekerjaan *box culvert* terdiri dari pekerjaan galian, timbunan dan pengecoran. Oleh karena itu, penggunaan alat berat dan kombinasi yang digunakan harus dipertimbangkan untuk mengurangi biaya tanpa mengabaikan durasi pekerjaan yang ditargetkan. Program linier dapat digunakan untuk menganalisis biaya minimum. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui volume galian, timbunan, dan pengecoran setiap *box culvert*; mengetahui jenis dan tipe alat berat yang dapat digunakan; menentukan kombinasi tipe alat berat yang dapat digunakan; mengetahui biaya kombinasi alat berat setelah dilakukan optimasi pada pekerjaan *box culvert* pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I.

Dengan memperhatikan latar belakang dan permasalahan tersebut maka tujuan pembahasan ini meliputi;

1. Mengetahui volume galian, timbunan, dan pengecoran setiap *box culvert* pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I.
2. Menentukan kombinasi tipe alat berat yang dapat digunakan pada pekerjaan *box culvert* pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I.
3. Mengetahui biaya operasional alat berat yang digunakan pada pekerjaan *box culvert* Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I setelah dilakukan kombinasi alat berat
4. Mengetahui biaya kombinasi alat berat setelah dilakukan optimasi pada pekerjaan *box culvert* pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I.

2. METODE

Volume Pekerjaan

Menghitung volume pekerjaan *box culvert* pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I yang meliputi pekerjaan galian, pengecoran dan timbunan kembali.

- a. Menghitung Volume Galian

$$V = L \times W \times D$$

Keterangan:

V = Volume galian, m³

L = Panjang saluran/galian, m

W = Lebar galian, m

D = Kedalaman galian, m

- b. Menghitung Volume Pengecoran

$$V_{\text{total}} = V_{\text{total box}} + V_{\text{wing}} + V_{\text{plat injak}}$$

Keterangan:

- c. Menghitung Volume Timbunan Kembali

$$V_{\text{timbunan}} = V_{\text{galian}} - V_{\text{box}}$$

Keterangan:

V_{timbunan} = Volume timbunan kembali, m³

V_{galian} = Volume galian total, m³

V_{box} = Volume *box culvert* terpasang, m³

Alternatif Kombinasi Tipe Alat Berat

Membuat alternatif kombinasi tipe alat berat untuk menyelesaikan pekerjaan konstruksi secara efektif.

Biaya Operasional Alat Berat

Menghitung biaya operasional alat berat untuk mengetahui besar biaya pada masing-masing jenis alat berat dalam 1 jam.

- a. Menghitung Biaya Pasti

$$G = (E + F) = \frac{(B-C) \times D}{W} + \frac{\text{Ins} \times B}{W} = \frac{(B-C) \times D + \text{Ins} \times B}{W} \quad (5)$$

Keterangan:

G = Biaya pasti per jam; rupiah

B = Harga pokok alat setempat; rupiah

C = Nilai sisa alat

D = Faktor angsuran atau pengembalian modal

E = Biaya pengembalian modal

W = Jumlah jam kerja alat dalam satu tahun

- b. Menghitung Biaya Operasional

$$\text{Biaya operasi : } P = H + I + J + K + L + M \quad (6)$$

Keterangan:

P = Biaya operasi: per jam

H = Banyaknya bahan bakar yang digunakan dalam 1 jam; rupiah/jam

I = Banyaknya minyak pelumas yang dipakai dalam 1 jam; rupiah/jam

J = Besarnya biaya perawatan di bengkel tiap jam; rupiah/jam

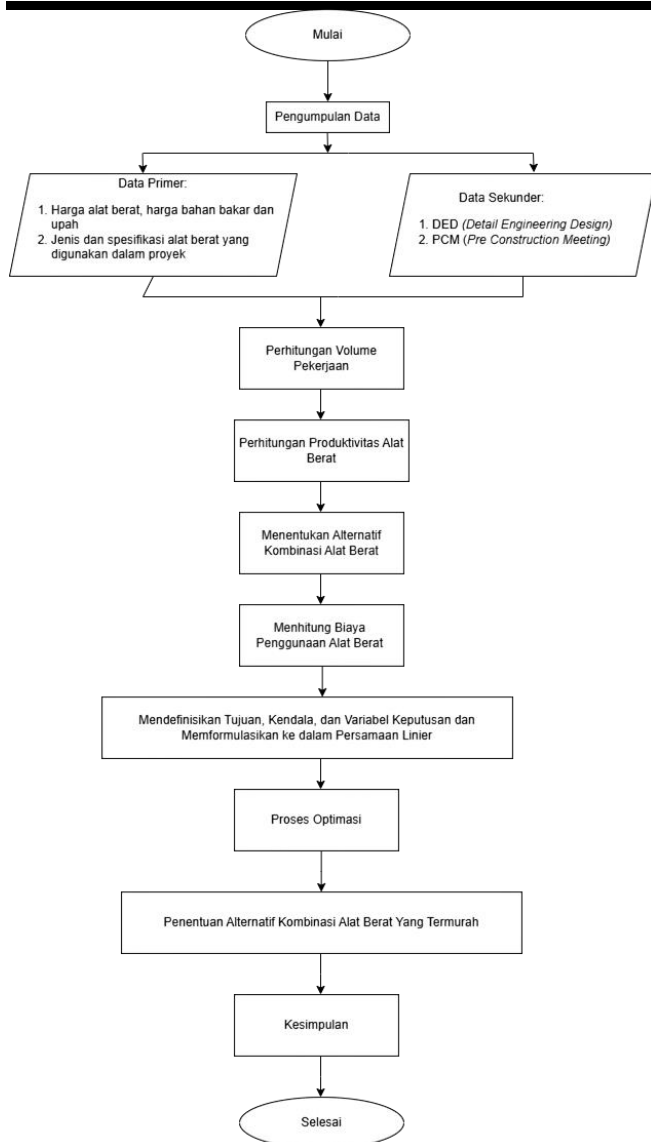
K = Biaya perbaikan termasuk pengganti suku cadang yang aus; rupiah/jam

L = Upah operator; rupiah/jam

M = Upah pembantu operator; rupiah per jam

Proses Optimasi

Proses optimasi dilakukan menggunakan program linier metode simplek menggunakan bantuan LINDO



Gambar 1. Diagram Alir

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Pekerjaan

1. Volume Galian

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan volume galian *box culvert* pada STA 0+079:

$$\begin{aligned} V &= L \times W \times D \\ &= 13 \times 5,8 \times 5,3 \\ &= 399,62 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 1 Volume Galian

NO	STA	PANJANG (m)	LEBAR (m)	KEDALAMAN (m)	VOLUME (m3)
1	0+079	13	5.8	5.3	399.62
2	0+127	26	5.8	5.3	799.24
3	0+057	12	5.8	5.3	368.88
4	0+519	27.4	3.6	4.1	404.42
5	0+916	30.7	4.8	5.76	848.79
6	1+022	29.5	4.8	5.3	750.48
7	0+063	35.6	4.8	5.3	905.66

NO	STA	PANJANG (m)	LEBAR (m)	KEDALAMAN (m)	VOLUME (m3)
8	0+310	37.6	4.8	5.3	956.54
9	1+670	25	3.7	5.2	481
10	1+859	37	4.8	5.3	941.28
11	2+112	24	3.6	4.29	370.83
12	2+544	21	9.2	3.35	647.22
13	2+900	37	4.8	4.60	817.14
14	2+892	37	4.8	4.68	831.35
15	3+242	27	3.6	5.30	515.35
16	3+232	27	2.6	5.30	372.20
TOTAL					10410.01

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Volume Pekerjaan Pengecoran

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan volume pengecoran *box culvert* pada STA 0+079:

$$\begin{aligned} V_{\text{total}} &= V_{\text{total box}} + V_{\text{wing}} + V_{\text{plat injak}} \\ &= 91,52 + 9,6 + 15,6 \\ &= 116,72 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 2 Volume Pekerjaan Pengecoran

NO	STA	VOLUME BOX CULVERT (m3)	VOLUME WINGWALL (m3)	VOLUME PLAT INJAK (m3)	TOTAL VOLUME (m3)
1	0+079	91,52	9,60	15,60	116,72
2	0+127	183,04	9,60	31,20	223,84
3	0+057	84,48	9,60	14,40	108,48
4	0+519	108,50	-	22,19	130,70
5	0+916	191,57	7,08	-	198,65
6	1+022	184,08	5,74	33,04	222,86
7	0+063	222,14	5,74	39,87	267,76
8	0+310	234,62	5,74	42,112	282,48
9	1+670	117,25	7,80	26,25	151,30
10	1+859	230,88	5,74	41,44	278,06
11	2+112	80,64	-	-	80,64
12	2+544	188,16	6,58	23,52	218,26
13	2+900	201,28	3,86	-	205,14
14	2+892	201,28	3,86	-	205,14
15	3+242	90,72	-	-	90,72
16	3+232	86,94	-	-	86,94
TOTAL					2.867,69

Sumber: Hasil Perhitungan

3. Volume Pekerjaan Timbunan Kembali

Berikut merupakan salah satu contoh perhitungan volume timbunan kembali *box culvert* pada STA 0+079:

$$\begin{aligned} V_{\text{timbunan}} &= V_{\text{galian}} - V_{\text{box}} \\ &= 399,62 - 286,52 \\ &= 113,10 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Tabel 3 Volume Pek Timbunan Kembali

Tabel 3 Volume Per Timbunan Reklamasi							
STA	VOLUME GALIAN			VOLUME STRUKTUR			TOTAL VOLUME TIMBUNAN
	Panjang (m)	Lebar (m)	Kedalaman (m)	Panjang (m)	Lebar (m)	Tinggi (m)	
0+079	13.00	5.80	5.30	13.00	5.80	3.80	113.10
0+127	26.00	5.80	5.30	26.00	5.80	3.80	226.20
		399.62			286.52		
0+057	12.00	5.80	5.30	12.00	5.80	3.80	104.40
		799.24			573.04		
0+519	27.40	3.60	4.10	27.40	3.80	3.60	29.59
		368.88			264.48		
0+916	30.70	4.80	5.76	30.70	4.80	3.80	288.83
		404.42			374.83		
1+022	29.50	4.80	5.30	29.50	4.80	3.80	212.40
		848.79			559.97		
0+063	35.60	4.80	5.30	35.60	4.80	3.80	256.32
		750.48			538.08		
0+310	37.60	4.80	5.30	37.60	4.80	3.80	270.72
		905.66			649.34		
1+670	25.00	3.70	5.20	25.00	3.80	3.70	129.50
		481.00			351.50		
1+859	37.00	4.80	5.30	37.00	4.80	3.80	266.40
		941.28			674.88		
2+112	24.00	3.60	4.29	24.00	3.60	2.60	146.19
		370.83			224.64		
2+544	21.00	9.20	3.35	21.00	9.20	2.80	106.26
		647.22			540.96		
2+900	37.00	4.80	4.60	37.00	4.80	2.80	319.86
		817.14			497.28		
2+892	37.00	4.80	4.68	37.00	4.80	2.80	334.07
		831.35			497.28		
3+242	27.00	3.60	5.30	27.00	3.60	2.70	252.91
		515.35			262.44		
3+232	27.00	2.60	5.30	27.00	2.60	2.60	189.68
		372.20			182.52		
TOTAL							3246.42

Sumber: Hasil Perhitungan

Alternatif Kombinasi Tipe Alat Berat

Tabel 5. Alternatif kombinasi tipe alat berat pekerjaan galian

Alternatif Kombinasi			
1	2	3	4
EXC 1	EXC 1	EXC 2	EXC 2
DT 1	DT 2	DT 1	DT 2

Tabel 6. Alternatif kombinasi tipe alat berat pekerjaan pengecoran

Alternatif Kombinasi			
1	2	3	4
TM 1	TM 1	TM 2	TM 2
CP 1	CP 2	CP 1	CP 2

Tabel 7. Alternatif kombinasi tipe alat berat pekerjaan pengecoran

Alternatif Kombinasi							
1	2	3	4	5	6	7	8
EXC 1	EXC 1	EXC 1	EXC 1	EXC 2	EXC 2	EXC 2	EXC 2
DT 1	DT 1	DT 2	DT 2	DT 1	DT 1	DT 2	DT 2
BD 1	BD 2	BD 1	BD 2	BD 1	BD 2	BD 1	BD 2

Biaya Operasional Alat Berat

Berikut merupakan contoh perhitungan biaya operasional excavator tipe Komatsu PC 75:

$$\begin{aligned}
 P &= H + I + J + K + L + M \\
 &= \text{Rp.}73.872,00 + \text{Rp.}7.182,00 + \text{Rp.}5.018,75 + \text{Rp.}14.600,0 \\
 &\quad + \text{Rp.}31.250,00 + \text{Rp.}29.049,00 \\
 &= \text{Rp.}160.971,75
 \end{aligned}$$

Total Biaya Sewa Alat/Jam

$$\begin{aligned}
 &= \text{Biaya pasti} + \text{Biaya Operasional} \\
 &= \text{Rp.}33.869,91 + \text{Rp.}160.971,75 \\
 &= \text{Rp.}194.841,66/\text{jam}
 \end{aligned}$$

Tabel 8. Rekap Biaya Sewa dan Operasional Alat Berat

No	Jenis Alat	Biaya Sewa & Operasional	Satuan
1	Excavator Tipe Komatsu PC 75	Rp 194.841,66	/jam
2	Excavator Tipe Komatsu PC 160	Rp 416.390,43	/jam
3	Dump Truck Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8	Rp 299.688,36	/jam
4	Dump Truck Tipe Hino 500 series FG 235JJ 4x2	Rp 436.038,37	/jam
5	Bulldozer Tipe Shantui SD22W	Rp 558.590,43	/jam
6	Bulldozer Tipe Komatsu D65	Rp 725.081,85	/jam
7	Truck Mixer Tipe Hino Dutro 136 HD	Rp 299.688,36	/jam
8	Truck Mixer Tipe Hino Ranger Mixer FM 260 JM	Rp 513.672,73	/jam
9	Concrete Pump Tipe Putzmeister 27Z Meter	Rp 474.416,71	/jam
10	Concrete Pump Tipe Putzmeister M 36-4	Rp 1.255.170,42	/jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Optimasi Kombinasi Alat Berat

1. Optimasi Kombinasi Pekerjaan Galian

Berikut merupakan proses pembahasan optimasi kebutuhan alat berat yang dilakukan pada pekerjaan galian *box culvert* kombinasi alternatif 1

a. Penentuan Variabel Keputusan

X_1 = Jumlah unit *Excavator* Tipe Komatsu PC 75 (EXC 1)

X_2 = Jumlah unit *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 (DT 1)

b. Penentuan Fungsi Tujuan

$Z_{min} = C_1X_1 + C_2X_2$

Keterangan:

C_1 = Biaya operasional *Excavator* Tipe Komatsu PC 75 (EXC 1)

C_2 = Biaya operasional *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 (DT1)

c. Penentuan Fungsi Kendala

Kendala Volume

$62,61 X_1 \geq 133,21$

$38,92 X_2 \geq 133,21$

Kendala Ketergantungan Alat

$1,61X_1 - 1X_2 \leq 0$

Kendala Ketidaknegatifan

$X_1 \geq 0$

$X_2 \geq 0$

d. Input data ke dalam LINDO

min 194841.66 X_1 + 299688.36 X_2

ST

62.61 X_1 >= 133.21

38.92 X_2 >= 133.21

1.61 X_1 - 1 X_2 <= 0

X_1 >= 0

X_2 >= 0

END

Gambar 2. Menginput Data Kedalam Aplikasi Lindo 6.1

Sumber: Lindo 6.1

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X_1	2.127615	0.000000
X_2	3.425461	0.000000

Gambar 3. Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Galian Struktur STA 0+079 Menggunakan Lindo 6.1

Sumber: Lindo 6.1

Excavator Tipe Komatsu PC 75 = 2,1 $\approx$ 3

Dump Truck Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 = 3,4 $\approx$ 4

$Z_{min} = \text{Rp.}194.841,66X_1 + \text{Rp.}299.688,36X_2$

$Z_{min} = \text{Rp.}194.841,66 \times 3 + \text{Rp.}299.688,36 \times 4$

= Rp.1.783.278,42

Tabel 9. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Struktur Box Culvert STA 0+079

Alternatif	Kombinasi Alat Berat	Harga Unit/Jam	Jumlah Unit	Total Harga/Jam
Pekerjaan Galian Box Culvert STA 0+079				
1	EXC 1	Rp 194.841,66	3	Rp 1.783.278,42
	DT 1	Rp 299.688,36	4	
2	EXC 1	Rp 194.841,66	3	Rp 2.328.678,48
	DT 2	Rp 436.038,37	4	
3	EXC 2	Rp 416.390,43	1	Rp 1.315.455,50
	DT 1	Rp 299.688,36	3	
	EXC2	Rp 416.390,43	1	
4	DT 2	Rp 436.038,37	2	Rp 1.288.467,17
	DT 2	Rp 436.038,37	2	

Sumber: Hasil Perhitungan

2. Optimasi Kombinasi Pekerjaan Pengecoran

Berikut merupakan proses pembahasan optimasi kebutuhan alat berat yang dilakukan pada pekerjaan pengecoran *box culvert* kombinasi alternatif 1

a. Penentuan Variabel Keputusan

X_1 = Jumlah unit Putzmeister 27Z-Meter (CP 1)

X_2 = Jumlah unit *Truck Mixer* Tipe Hino Dutro 136 HD (TM 1)

Penentuan Fungsi Tujuan

$Z_{min} = C_1X_1 + C_2X_2$

Keterangan:

C_1 = Biaya operasional Putzmeister 27Z-Meter (CP 1)

C_2 = Biaya operasional *Truck Mixer* Tipe Hino Dutro 136 HD (TM 1)

b. Penentuan Fungsi Kendala

Kendala Volume

$27,00 X_1 \geq 38,91$

$1,16 X_2 \geq 38,91$

Kendala Ketergantungan Alat

$23,37 X_1 - 1X_2 \leq 0$

Kendala Ketidaknegatifan

$X_1 \geq 0$

$X_2 \geq 0$

c. Input data ke dalam LINDO

```

min 474416.71X1 + 299688.36 X2
ST
27 X1 >= 23.34
1.16 X2 >= 23.34
23.37 X1 - 1 X2 <= 0
X1 >= 0
X2 >= 0
END

```

Gambar 4. Menginput Data Kedalam Aplikasi Lindo 6.1
Sumber: Lindo 6.1

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.864444	0.000000
X2	20.202066	0.000000

Gambar 5. Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Galian Struktur STA 0+079 Menggunakan Lindo 6.1
Sumber: Lindo 6.1

Concrete Pump Tipe Putzmeister 27Z-Meter = $0,86 \approx 1$
 Truck Mixer Tipe Hino Dutro 136 HD = $20,20 \approx 21$
 $Z_{min} = \text{Rp.}474.414,71 X1 + \text{Rp.}299.688,36 X2$
 $Z_{min} = \text{Rp.}474.414,71 \times 1 + \text{Rp.}299.688,36 \times 21$
 $= \text{Rp.}6.293.872,20$

Tabel 10. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Pengecoran Struktur Box Culvert STA 0+079

Alter natif	Kombi- nasi Alat Berat	Harga Unit/Jam	Jum- lah Unit	Total Harga/Jam
Pekerjaan Pengecoran Box Culvert STA 0+079				
1	CP 1	Rp 474.416,71	1	Rp 6.767.872,20
	TM 1	Rp 299.688,36	21	
2	CP 1	Rp 474.416,71	1	Rp 5.611.144,03
	TM 2	Rp 513.672,73	10	
3	CP 2	Rp 1.255.170,42	1	Rp 7.548.625,91
	TM 1	Rp 299.688,36	21	
4	CP 2	Rp 1.255.170,42	1	Rp 6.391.897,74
	TM 2	Rp 513.672,73	10	

Sumber: Hasil Perhitungan

3. Optimasi Kombinasi Pekerjaan Timbunan Kembali
 Berikut merupakan proses pembahasan optimasi kebutuhan alat berat yang dilakukan pada pekerjaan pengecoran *box culvert* kombinasi alternatif 1

- Penentuan Variabel Keputusan
 $X1$ = Jumlah unit *Excavator* Tipe Komatsu PC 75 (EXC 1)
 $X2$ = Jumlah unit *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 (DT 1)
 $X3$ = Jumlah unit *Bulldozer* Tipe Shantui SD22W (BD 1)
- Penentuan Fungsi Tujuan
 $Z_{min} = C1X1 + C2X2 + C3X3$
 Keterangan:
 $C1$ = Biaya operasional *Excavator* Tipe Komatsu PC 75 (EXC 1)
 $C2$ = Biaya operasional *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 (DT 1)
 $C3$ = Biaya operasional *Bulldozer* Tipe Shantui SD22W (BD 1)

- Penentuan Fungsi Kendala
 Kendala Volume
 $62,61 X1 \geq 37,70$
 $38,92 X2 \geq 37,70$
 $913,33 X3 \geq 37,70$
 Kendala Ketergantungan Alat
 $1,61X1 - 1X2 \leq 01$
 $0,069X1 - 1X3 \leq 0$
 $0,069X2 - 1,61X3 \leq 0$
 Kendala Ketidakefektifan
 $X1 \geq 0$
 $X2 \geq 0$
 $X3 \geq 0$

- Input data ke dalam LINDO

```

min 194841.66 X1 + 299688.36 X2 + 558590.43 X3
ST
62.61 X1 >= 113.10
38.92 X2 >= 113.10
913.33 X3 >= 113.10
1.61 X1 - 1 X2 <= 0
0.07 X1 - 1 X3 <= 0
0.07 X2 - 1.61 X3 <= 0
X1 >= 0
X2 >= 0
X3 >= 0
END

```

Gambar 6. Menginput Data Kedalam Aplikasi Lindo 6.1
Sumber: Lindo 6.1

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.806421	0.000000
X2	2.908337	0.000000
X3	0.126449	0.000000

Gambar 7. Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Galian Struktur STA 0+079 Menggunakan Lindo 6.1
Sumber: Lindo 6.1

Excavator Tipe Komatsu PC 75 = $1,8 \approx 2$
Dump Truck Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 = $2,9 \approx 3$
Bulldozer Tipe Shantui SD22W = $0,12 \approx 1$
 $Z_{min} = \text{Rp.}194.841,66X1 + \text{Rp.}299.688,36X2 + \text{Rp.}558.590,43X3$
 $Z_{min} = \text{Rp.}194.841,66 \times 2 + \text{Rp.}299.688,36 \times 3 + \text{Rp.}558.590,43 \times 1$
 $= \text{Rp.}1.847.338,82$

Tabel 11. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan Kembali Struktur Box Culvert STA 0+079

Alternatif	Kombi-nasi Alat Berat	Harga Unit/Jam	Jumlah Unit	Biaya Total
Pekerjaan Timbunan Box Culvert STA 0+079				
1	EXC 1	Rp 194.841,66	2	Rp 1.847.338,82
	DT 1	Rp 299.688,36	3	
	BD 1	Rp 558.590,43	1	
2	EXC 1	Rp 194.841,66	2	Rp 2.013.830,25
	DT 1	Rp 299.688,36	3	
	BD 2	Rp 725.081,85	2	
3	EXC 1	Rp 194.841,66	2	Rp 2.256.388,87
	DT 2	Rp 436.038,37	3	
4	BD 1	Rp 558.590,43	1	Rp 2.422.880,30
	EXC 1	Rp 194.841,66	2	

Alternatif	Kombinasi Alat Berat	Harga Unit/Jam	Jumlah Unit	Biaya Total
5	DT 2	Rp 436.038,37	3	Rp 1.574.357,57
	BD 2	Rp 725.081,85	2	
	EXC 2	Rp 416.390,43	1	
	DT 1	Rp 299.688,36	2	
	BD 1	Rp 558.590,43	1	
6	EXC 2	Rp 725.081,85	1	Rp 1.740.848,99
	DT 1	Rp 299.688,36	2	
	BD 2	Rp 725.081,85	1	
7	EXC 2	Rp 416.390,43	1	Rp 1.847.057,60
	DT 2	Rp 436.038,37	2	
	BD 1	Rp 558.590,43	1	
8	EXC 2	Rp 416.390,43	1	Rp 2.013.549,03
	DT 2	Rp 436.038,37	2	
	BD 2	Rp 725.081,85	1	

Sumber: Hasil Perhitungan

KESIMPULAN

- Volume pekerjaan galian struktur, pengecoran dan timbunan kembali pada pekerjaan *box culvert* sebagai berikut:
 - Total volume pekerjaan galian struktur *box culvert* pada proyek Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I sebesar 10.210,38 m³
 - Total volume pekerjaan struktur beton *box culvert* pada proyek Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I sebesar 2867,69 m³
 - Total volume pekerjaan timbunan kembali *box culvert* pada proyek Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I sebesar 3246,42 m³
- Alternatif kombinasi (K) alat berat yang digunakan adalah sebagai berikut pada pekerjaan *box culvert* Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Utara Lamongan Seksi I adalah sebagai berikut:
 - Pada Pekerjaan Galian Struktur
K1 = EXC 1, DT 1; K2 = EXC 1, DT 2; K3 = EXC 2, DT 1; K4 = EXC 2, DT 2
 - Pada Pekerjaan Pengecoran
K1 = TM 1, CP 1; K2 = TM 1, CP 2; K3 = TM 2, CP 1; K4 = TM 2, CP 2
 - Pada Pekerjaan Timbunan Kembali
K1 = EXC 1, DT 1, BD 1; K2 = EXC 1, DT 1, BD 2; K3 = EXC 1, DT 2, BD 1; K4 = EXC 1, DT 2, BD 2; K5 = EXC 2, DT 1, BD 1; K6 = EXC 2, DT 1, BD 2; K7 = EXC 2, DT 2, BD 1; K8 = EXC 2, DT 2, BD 2

- Biaya operasional masing-masing alat berat per jam yaitu Excavator Tipe Komatsu PC 75 sebesar Rp.194.841,66; Excavator Tipe Komatsu PC 160 sebesar Rp.416.390,43; Dump Truck Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 sebesar Rp. 299.688,36; Dump Truck Tipe Hino 500 Series FG 25JJ 4x1 sebesar Rp.436.038,37; Bulldozer Tipe Shantui SD22W sebesar Rp.558.590,43; Bulldozer Tipe Komatsu D65 sebesar Rp.725.081,85; Truck Mixer Tipe Hino Dutro 136 HD sebesar Rp.299.688,36; Truck Mixer Tipe Hino Ranger Mixer FM 260 JM sebesar Rp.513.672,73; *Concrete Pump* Tipe Putzmeister 27Z-Meter sebesar Rp.474.416,71; Concrete Pump Tipe Putzmeister M 36-4 sebesar Rp.1.255.170,42.
- Melalui beberapa alternatif kombinasi yang sudah di optimasi, maka penggunaan alat berat yang paling optimal yaitu:
 - Pada pekerjaan galian *box culvert* alternatif 4 merupakan kombinasi yang paling optimal, dengan kombinasi 1 unit Excavator Tipe PC 160 dan 2 unit Dump Truck Tipe Hino 500 Series FG 25JJ 4x1 dengan biaya operasional perjam sebesar Rp.1.288.467,17.
 - Pada pengecoran *box culvert* alternatif 2 merupakan kombinasi yang paling optimal yaitu *Concrete Pump* Tipe Putzmeister 27Z-Meter dan Truck Mixer Tipe Hino Ranger Mixer FM 260 JM. Pada STA 0+079, 0+127, 0+916, 1+022, 0+310, 1+670, 1+859, 2+544, 2+900, dan 2+892 menggunakan alternatif 2 dengan kombinasi 1 *Concrete Pump* Tipe Putzmeister 27Z-Meter dan 10 unit Truck Mixer Tipe Hino Ranger Mixer FM 260 JM dengan biaya perjam sebesar Rp.5.611.144,03. Kemudian pada STA 0+057, 3+242, dan 3+232 menggunakan alternatif 2 dengan kombinasi 1 *Concrete Pump* Tipe Putzmeister 27Z-Meter dan 9 unit Truck Mixer Tipe Hino Ranger Mixer FM 260 JM dengan biaya perjam sebesar Rp.5.097.471,30. Pada STA 0+519, 0+063, dan 2+112 menggunakan alternatif 2 dengan kombinasi 1 *Concrete Pump* Tipe Putzmeister 27Z-Meter dan 11 unit Truck Mixer Tipe Hino Ranger Mixer FM 260 JM dengan biaya perjam sebesar Rp.6.124.816,77
 - Pada pekerjaan timbunan *box culvert* alternatif 5 merupakan kombinasi yang paling optimal, dengan kombinasi 1 unit Excavator Tipe PC 160, 2 unit Dump Truck Tipe Mitsubishi Fuso FE SHDX8 dan 1 unit Bulldozer Tipe Shantui SD22W dengan biaya operasional per jam sebesar Rp.1.574.357,57

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004
- [2] L. D. MANURUNG, "EVALUASI KAPASITAS DAYA DUKUNG PONDASI BORED PILE TIANG TUNGGAL DAN KELOMPOK PADA PROYEK PEMBANGUNAN BOX CULVERT BH 14A, 14B LINTAS KERETA API MEDAN-BINJAI," Fakultas Teknik Universitas Islam Sumatera Utara, 2023
- [3] G. R. Prima and E. Hafudiansyah, "PRODUKTIVITAS ALAT BERAT PADA PEKERJAAN PROYEK JALAN TOL (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Pematang Panggang â€“Kayu Agung Seksi 2, Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan)," *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 3, no. 2, 2022.
- [4] Bagaskara Andri Pradipta. "Optimasi Alat Berat Pekerjaan Mainroad Dan Interchange X Tol Pandaan-Malang". Politeknik Negeri Malang, 2020
- [5] Alfitra Ramadhan. "Optimasi Alat Berat Pekerjaan Galian Dan Timbunan Proyek Jalan Tol Solo-Yogyakarta Paket 1.1 STA 3+000-STA 6+000". Politeknik Negeri Malang. 2023
- [6] Ahmad Reza Nurdiansyah, 2023. "Optimasi Alat Berat Pada Proyek Peningkatan Jalan Empunala Kota Mojokerto".
- [7] Permen PUPR Tahun 2023