

OPTIMASI ALAT BERAT PADA PEKERJAAN GALIAN DAN TIMBUNAN PROYEK TOL PASURUAN-PROBOLINGGO STA 31+300 s/d 34+000

Ni Luh Gede Anjani Puspita Dewi¹, Fadjar Purnomo², Indah Ria Riskiyah²

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi¹, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang
anjaniips0926@gmail.com¹, fadjar.purnomo@polinema.ac.id², indahria@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Pengerjaan proyek tol Pasuruan-Probolinggo yang tengah berlangsung melibatkan beberapa pekerjaan diantaranya: galian dan timbunan. Untuk mempermudah kedua pekerjaan tersebut dengan biaya yang minimum, diperlukan optimasi alat-alat berat yang digunakan. Penelitian ini menghitung alternatif kombinasi alat berat yang paling efektif dan efisien dari segi biaya. Data-data yang dibutuhkan meliputi denah lokasi, potongan melintang STA 31+300 s/d 34+000, jenis, spesifikasi dan harga alat berat. Semua data diolah untuk mendapatkan volume pekerjaan galian dan timbunan, produktifitas dan harga operasional masing-masing alat berat. Kemudian, data-data tersebut digunakan dalam perhitungan 4 dan 7 alternatif kombinasi alat berat untuk pekerjaan galian dan timbunan. Berdasarkan perbandingan kombinasi untuk pekerjaan galian, didapatkan alternatif yang paling efektif dengan 1 unit Excavator tipe Kobelco SK200 dan 5 unit Dump Truck tipe Hino Ranger FG 235 JJ, dengan total biaya Rp 1,856,381,739. Sedangkan untuk pekerjaan timbunan, didapatkan alternatif kombinasi yang paling efektif dengan 1 unit Excavator tipe Kobelco SK200, 10 unit Dump Truck tipe Hino Ranger FG 235 JJ; 2 unit Motor Grader tipe Changlin 713H; 2 unit Vibratory Roller tipe Volvo 139; dan 2 unit truk tangki air tipe Mitsubishi 125HD, dengan total biaya Rp 7,973,970,021.

Kata kunci: optimasi; alat berat; galian; timbunan

ABSTRACT

Pasuruan-Probolinggo toll road project involves several works including: cut and fill. To determine both jobs at a minimum cost, optimization of the used heavy equipment is required. This research calculated alternative combinations of heavy equipment that are most effective and efficient in terms of cost. The required data were location plan, cross section STA 31+300 s/d 34+000, type, specification and price of heavy equipment. All data were processed to obtain the volume of cut and fill work, productivity and operational price of each heavy equipment. Then, these data are used in the calculation of 4 and 7 alternative combinations of heavy equipment for cut and fill works. Based on the comparison of the combinations for cut work, the most effective alternative is obtained with 1 unit of Excavator type Kobelco SK200 and 5 units of Dump Truck type Hino Ranger FG 235 JJ, with a total cost of 1,856,381,739 IDR. And for fill work, the most effective alternative combination is obtained with 1 unit of Excavator type Kobelco SK200, 10 units of Dump Truck type Hino Ranger FG 235 JJ; 2 units of Motor Grader type Changlin 713H; 2 units of Vibratory Roller type Volvo 139; and 2 units of water tank trucks type Mitsubishi 125HD, with a total cost of 7,973,970,021 IDR.

Keywords: optimization; heavy equipment; cut; fill

1. PENDAHULUAN

Pembangunan jalan khususnya jalan tol perlu perencanaan dan pengawasan yang tepat. Dimana aspek awal yang penting dalam pembangunan jalan tol adalah pekerjaan galian dan timbunan. Pekerjaan galian dan timbunan menggunakan alat berat untuk mempermudah dan mempercepat pekerjaan, namun jika penggunaan alat berat tidak tepat maka akan sangat mempengaruhi hasil kerja. Penggunaan alat berat harus dianalisa agar optimal, yaitu mencapai biaya minimum tanpa mengabaikan target waktu pelaksanaan.

Berdasarkan latar belakang dan permasalahan tersebut, maka tujuan pembahasan ini meliputi :

1. Menganalisa volume galian dan timbunan tanah pada Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000.
2. Menganalisa produktifitas masing masing alat berat pada pekerjaan timbunan dan galian Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000.
3. Menganalisa biaya operasional alat berat pekerjaan galian dan timbunan Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000.
4. Menentukan kombinasi alat berat yang dapat digunakan pada Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000.
5. Menentukan kombinasi alat berat yang paling murah setelah di optimasi pada Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000.
6. Menganalisa yang lebih efisien dari segi biaya antara menyewa dan membeli alat berat pada Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000.

Alat berat yang bekerja sebagai penentu keberhasilan proyek sehingga harus mempertimbangkan jenis dan tipe alat berat, kombinasi alat berat berdasarkan jenis pekerjaan durasi masing masing. Faktor lain yang harus di pertimbangkan dalam mengoptimasi alat berat adalah sebagai berikut :

1. Memperhitungkan volume pekerjaan galian dan timbunan
2. Menentukan metode pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan
3. Memperhitungkan produktifitas alat berat
4. Memperhitungkan biaya sewa dan operasional
5. Pembentukan alternatif kombinasi; dan
6. Proses optimasi

Langkah - langkah dalam perhitungan optimasi alat berat adalah sebagai berikut :

1. Menghitung volume dari pekerjaan galian dan timbunan di Proyek Tol Pasuruan Probolinggo STA 31+300 s/d STA 34+000

2. Menghitung produktifitas alat berat yang dihitung untuk mengetahui seberapa besar volume yang dikerjakan pada masing-masing alat dalam 1 jam (m³/jam) ;

- a. Excavator

$$Q = \frac{V \times Fa \times Fb \times 60}{Ts \times Fv}$$

Keterangan :

V = Kapasitas bucket ;

Fb = Faktor bucket;

Fa = Faktor efesiensi alat;

Ts = Waktu Siklus;

60 = perkalian jam ke menit

- b. Dump Truck

$$T1 = \frac{V \times 60}{D \times Qexc}$$

$$T2 = \frac{L}{v1} \times 60$$

$$T3 = \frac{L}{v2} \times 60$$

$$Q = \frac{V \times Fa \times Dt \times 60}{D \times Ts}$$

Keterangan :

V = Kapasitas bak

Fa Dt = Faktor efesiensi alat

V1 = Kecepatan rata-rata bermuatan

V2 = Kecepatan rata-rata kosong

D = Berat isi material

T1 = Waktu muat

T2 = Waktu tempuh isi

- c. Vibratory Roller

$$P = \frac{(N - (b - bo)) \times v \times 1000 \times Fa \times t}{N \times n}$$

Keterangan :

b = Lebar roda pematik

Bo = Lebar overlap

W = Lebar area pemadatan

V = Kecepatan pemadatan

1000 = Perkalian dari km ke m

Fa = Faktor efesiensi alat

N = Jumlah lintasan tergantung jenis bahan yang akan dipadatkan

N = Jumlah lajur lintasan

3. Menghitung biaya operasional alat berat

- a. Biaya pasti perjam kerja

Nilai sisa alat dihitung melalui persamaan berikut

$$C = 10 \% \times B$$

Keterangan :

C = Nilai sisa alat

B = Harga Alat

Faktor angsuran modal dihitung melalui persamaan berikut

$$Q = \frac{i \times (1 + i)^A}{(1 + i)^{A-1}}$$

Keterangan :

- i = Tingkat suku bunga
- D = Faktor angsuran modal
- A = Umur Alat

Biaya Pengendalian Modal dihitung melalui persamaan berikut

$$e1 = \frac{(B-C) \times D}{W}$$

Keterangan :

- e1 = Biaya pengembalian modal
- B = Harga alat
- C = Nilai sisa alat
- D = Faktor angsuran modal
- W = Jam kerja 1 tahun alat

Biaya asuransi,dll dapat dihitung melalui persamaan sebagai berikut.

$$e2 = \frac{0.002 \times b}{W}$$

Keterangan :

- e2 = Asuransi,dll
- b = Harga alat
- W = Jam kerja 1 tahun alat

b. Biaya Operasi Jam Kerja

Biaya bahan bakar

$$A = (0.125 - 0.175) \times Pw \times Ms$$

Keterangan :

- Pw = Tenaga alat
- Ms = Bahan bakar solar

Biaya pelumas

$$I = (0.01 - 0.02) \times Pw \times Ms$$

Keterangan :

- Pw = Tenaga alat
- Ms = Bahan bakar solar

Biaya perawatan

$$K = \frac{(12.5\% - 17.5\%) \times B}{W}$$

Keterangan :

- B = Harga alat
- W = Jam operasi dalam 1 tahun

Biaya operator

$$L = 1 \times UI$$

Keterangan :

UI= Upah operator/ sopir

Total biaya alat berat = biaya pasti perjam + biaya operasional.

4. Proses optimasi menggunakan program linear metode simpleks menggunakan aplikasi bantuan Lindo 6.1

Secara umum persoalan- persoalan dapat dinyatakan dalam model bakunya seperti berikut.

Fungsi tujuan = maksimasi atau minimasi dari

$$Z = C1X1 + C2X2 + C3X3 + \dots$$

Dengan memperhatikan kendala atau pembatas sebagai berikut :

$$a1x1 + a2x2 + a3x3 + \dots (\leq, =, \geq)$$

Keterangan :

X = variabel keputusan

B =banyaknya jenis aktifitas yang menggunakan sumber atau fasilitas tersebut

A = banyaknya sumber ke- i yang akan di maksimalkan atau di minimumkan

Z = nilai fungsi tujuan

C = koefisien fungsi tujuan variabel

Lindo adalah program bantu yang digunakan untuk menyelesaikan kasus program linear, yaitu suatu permodelan matematik yang digunakan untuk mengoptimalkan suatu tujuan dari beberapa kendala.

Variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala.

Kendala yang dibutuhkan:

- a. Kendala Volume
produktifitas alat $X \geq$ volume pekerjaan
- b. Kendala Luas Area
luas alat X1, luas alat X2, luas alat X3....Xn \leq luas area kerja
- c. Kendala Ketergantungan Alat Berat
jumlah alat yang saling bergantung \geq volume pekerjaan
- d. Kendala Ketersediaan Alat
Jumlah alat di kali lebar \leq luas area kerja
- e. Kendala Ketidaknegatifan
 $X1, X2, X3, \dots, Xn \geq 0$

Lalu kendala di optimasi sesuai dengan alternatif kombinasi menggunakan aplikasi Lindo 6.1.

2. METODE

Diagram alir dalam tahapan menghitung optimasi alat berat pekerjaan galian dan timbunan terdapat di **gambar 1.1** Didalam proses analisis dibutuhkan data sekunder meliputi data site plan, data potongan melintang, harga sewa alat berat, harga bahan bakar dan upah, jenis dan spesifikasi alat. Setelah data diperoleh selanjutnya membentuk *work break down structure*, menghitung volume pekerjaan berdasarkan data potongan melintang, menghitung produktifitas alat berat serta menentukan alternatif kombinasi alat berat, menghitung biaya operasional alat berat, lalu di optimasi menggunakan Lindo 6.1



Gambar 1 Diagram Alir Optimasi Alat Berat
Sumber : Hasil Analisis

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Volume Pekerjaan

Dalam pelaksanaa pekerjaan galian dan timbunan pada Proyek Tol Pasuruan-Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000 menghitung berdasarkan gambar cross section. Hasil dari perhitungan volume pekerjaan dapat dilihat di dalam **tabel 1**

Tabel 1. Hasil Perhitungan Volume

No	STA	Unit	Volume	
			Galian	Timbunan
1	31 + 000 s/d 32+000	m3	13,746.98	172,957.21
2	32+000 s/d 33+000	m3	70,285.26	158,527.10
3	33+000 s/d 34+000	m3	16,617.80	120,909.16
Volume Total			101,650.04	425,393.47

Sumber : Hasil Perhitungan

Jenis dan Tipe Alat Berat yang Digunakan

Dalam pelaksanaan alat pemilihan yang akandigunakan dalam pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000, perlu mempertimbangkan pekerjaan apa saja yang berlangsung sesuai dengan urutan jenis pekerjaan.

1. Pekerjaan Galian, pekerjaan ini membutuhkan alat berat yang digunakan untuk mengupas tanah eksisting, memindahkan tanah (menggali) dan membawa material (hauling) dari lokasi proyek ke area pembuangan.
2. Pekerjaan Timbunan, pekerjaan ini membutuhkan alat berat yang digunakan untuk mengeruk tanah dari lokasi galian ke dalam alat berat yang dibawa untuk dibawa ke lokasi proyek (hauling), lalu diratakan dandipadatkan serta disiram udara untuk menyiram material.

Tabel 2 Alat Berat Pekerjaan Galian

Nama Alat	Merk dan Tipe
Excavator 1	Caterpillar CAT320D
Excavator 2	Kobelco SK200
Dump Truck 1	Hino 130 HD
Dump Truck 2	Hino Ranger FG 235 JJ

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3 Alat Berat Pekerjaan Timbunan

Nama Alat	Merk dan Tipe
Motor Grader 1	Changlin 713H
Vibratory Roller 1	Volvo 139
Vibratory Roller 2	Hamm 3410
Water Tank Truck 1	Mitsubishi 125HD
Excavator 1	Caterpillar CAT320D
Excavator 2	Kobelco SK200
Dump Truck 1	Hino 130 HD
Dump Truck 2	Hino Ranger FG 235 JJ

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Produktifitas Alat Berat

Alat berat yang dipakai memiliki masing-masing produktifitas yang berbeda. Hasil dari perhitungan produktifitas alat berat dapat dilihat pada **Tabel 4 & 5**.

Tabel 4. Rekap Produktifitas Alat Berat Pekerjaan Galian

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Rekap Produktifitas Alat Berat Pekerjaan Galian

No	Jenis Alat	Produktifitas	Satuan	Keterangan
1	MG 1	39.06	m3/jam	
2	VR1	23.780	m3/jam	
3	VR2	23.904	m3/jam	
4	WTT1	249.0	m3/jam	
1	EXC 1	186.548	m3/jam	
2	EXC 2	195.431	m3/jam	
5	DT 1	22.866	m3/mnt	EXC 1
6	DT 2	38.396	m3/mnt	EXC 2
7	DT 1	23.021	m3/mnt	EXC 2
8	DT 2	37.968	m3/mnt	EXC 1

Sumber : Hasil Perhitungan

Pembentukan Alternatif Kombinasi Alat Berat

Alternatif kombinasi alat berat dipilih berdasarkan seluruh jenis alat berat dan tipe dari spesifikasi alat berat yang berbeda. Hal ini berdasarkan volume dari pekerjaan yang besar, luas area proyek yang terbatas, dan faktor ketergantungan dari masing-masing alat berat pada setiap jenis pekerjaan. Penentuan alternatif kombinasi alat berat dapat dilihat di dalam **Tabel 6 & 7**.

Tabel 6. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pekerjaan Galian

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi			
		1	2	3	4
1	Excavator	EXC1	EXC1	EXC2	EXC2
2	Dump Truck	DT1	DT2	DT1	DT2

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 7. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pekerjaan Timbunan

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	EXC	1	1	1	1	2	2	2	2
2	DT	1	2	1	2	1	1	2	2
3	MG	1	1	1	1	1	1	1	1

No	Jenis Alat	Produktifitas	Satuan	Keterangan
1	EXC 1	186.548	m3/jam	-
2	EXC 2	195.431	m3/jam	-
5	DT 1	22.866	m3/mnt	EXC 1
6	DT 2	38.396	m3/mnt	EXC 2
7	DT 1	23.021	m3/mnt	EXC 2
8	DT 2	37.968	m3/mnt	EXC 1

No	Jenis Alat	Biaya Sewa & Operasional (Rp)	Satuan
1	EXC1	705,729	/jam
2	EXC2	617,912	/jam
3	DT1	399,634	/jam
4	DT2	546,966	/jam
5	MG1	575,877	/jam
6	VR2	468,729	/jam
7	VR1	695,109	/jam
8	WTT1	403,149	/jam
4	VR	1 1 2 2 1 2 2 1	
5	WTT	1 1 1 1 1 1 1 1	

Sumber : Hasil Perhitungan

Perhitungan Biaya Operasional Alat Berat

Setiap jenis alat berat memiliki biaya sewa dan operasional dalam penggunaan di lapangan sehingga perlu dihitung. Hasil dari perhitungan biaya sewa dan operasional alat berat dapat dilihat di dalam **Tabel 8**.

Tabel 8. Rekap Biaya Sewa & Operasional Alat Berat

Uraian	Durasi (Jam)	Biaya (Rp)	Biaya Total (Rp)
Alternatif 1	554	3,902,803	2,160,943,683
Alternatif 2	554	3,440,562	1,905,005,453
Alternatif 3	554	3,814,969	2,112,319,969
Alternatif 4	554	3,352,745	1,856,381,739

Proses Optimasi Menggunakan Program Linier Metode Simpleks

Setelah didapat data volume pekerjaan, produktivitas alat berat, alternatif kombinasi, biaya sewa dan operasional, lalu masuk ke langkah proses optimasi yang harus menjabarkan masing-masing kendala. Setelah itu

masuk ke langkah proses optimasi menggunakan aplikasi LINDO(Linier Interactive Descrete Optimizer). Berikut ini adalah hasil optimasi dengan alternatif penggunaan alat berat yang optimal:

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian

1. Penentuan Variabel Keputusan
 X_1 = Jumlah unit Excavator
 X_2 = Jumlah unit Dump Truck
2. Penentuan Fungsi Tujuan
 $Min = 705,729 X_1 + 399,634 X_2$
3. Penentuan Fungsi Kendala
 $186.548 X_1 \geq 183.587$
 $22.866 X_2 \geq 183.587$
 $X_1 \leq 3$
 $X_2 \leq 11$
 $3.17 X_1 \leq 50$
 $1.97 X_2 \leq 50$
 $1X_1 - 8X_2 = 0$
4. Fungsi Ketidaknegatifan
 $X_2 \geq 0$
 $X_3 \geq 0$

Berikut hasil optimasi penggunaan alat berat per jam dapat dilihat pada **gambar 2**.

Gambar 2. Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Galian Dengan Menggunakan Lindo 6.1

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.003603	0.000000
X2	8.028821	0.000000

Sumber : Lindo 6.1

Didapatkan :

Excavator Caterpillar 320D2 : 1.003 ≈ 1 Unit

Dump Truck HINO 130HD : 8.026 ≈ 8 Unit

$$Z_{min} = Rp 705,730X_1 + 399,634X_2$$

$$Z_{min} = Rp 705,730 \cdot 1 + Rp 399,634 \cdot 8$$

$$= Rp 3,902,803/jam$$

Tabel 9. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Galian

Uraian	Kombinasi	Harga Unit (Rp)	Jumlah (Unit)	Total Harga (Rp/Jam)
Alternatif 1	EXC1 DT1	Rp 705,730 Rp 399,634	1 8	3,902,803
Alternatif 2	EXC1 DT2	Rp 705,730 Rp 546,967	1 5	3,440,562
Alternatif 3	EXC2 DT1	Rp 617,912 Rp 399,634	1 8	3,814,986
Alternatif 4	EXC2 DT2	Rp 617,912 Rp 546,967	1 5	3,352,745

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 10. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Galian

Sumber : Hasil Perhitungan

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan

1. Penentuan Variabel Keputusan
 X_1 = Jumlah unit Excavator
 X_2 = Jumlah unit Dump Truck
 X_3 = Jumlah unit Motor Grader
 X_4 = Jumlah unit Vibratory Roller
 X_5 = Jumlah unit Water Tank Truck
2. Penentuan Fungsi Tujuan
 $Min = 705730X_1 + 399634X_2 + 575877X_3 + 695109X_4 + 403150X_5$
3. Penentuan Fungsi Kendala
 $186.548X_1 \geq 544.701$
 $22.866X_2 \geq 544.701$
 $39.060X_3 \geq 544.701$
 $23.780X_4 \geq 544.701$
 $249X_5 \geq 544.701$
 $X_1 \leq 3$
 $X_2 \leq 11$
 $X_3 \leq 10$
 $X_4 \leq 11$
 $X_5 \leq 11$
 $8X_1 - 1X_1 = 0$
 $5X_1 - 1X_3 = 0$
 $8X_1 - 8X_4 = 0$
 $1X_4 - 8X_5 = 0$
 $3.17X_1 \leq 50$
 $1.97X_2 \leq 50$
 $2.50X_3 \leq 50$
 $2.31X_4 \leq 50$
 $1.97X_5 \leq 50$
4. Penentuan Fungsi Ketidaknegatifan
 $X_1 \geq 0$
 $X_2 \geq 0$
 $X_3 \geq 0$
 $X_4 \geq 0$
 $X_5 \geq 0$

Berikut hasil optimasi penggunaan alat berat perjam dapat dilihat pada **gambar 3**.

Gambar 3. Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Timbunan Dengan Menggunakan Lindo

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.250000	0.000000
X2	10.000000	0.000000
X3	6.250000	0.000000
X4	10.000000	0.000000
X5	1.250000	0.000000

Sumber: Lindo 6.1

Didapatkan :

Unit	Excavator Caterpillar CAT 320D	: 1.250	≈ 1
Unit	Dump Truck Hino 130HD	: 10.00	≈ 10
Unit	Motor Grader Changlin 713H	: 6.25	≈ 6
Unit	Vibratory Volvo 139	: 10.00	≈ 10
1 Unit	Water Tank Truck	: 1.25	≈

$$Z_{min} = 705730X_1 + 399634X_2 + 575877X_3 + 695109X_4 + 403150X_5$$

$$= 705730.1 + 399634.10 + 575877.6 + 695109.10 + 403150.1$$

= Rp 15,511,574 /jam

Tabel 11. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan

Uraian	Kombinasi	Harga Unit (Rp)	Jumlah (unit)	Total Harga (Rp)
Alternatif 1	EXC1	705,730	1	15,511,575
	DT1	399,634	10	
	MG1	575,877	6	
	VR1	695,109	10	
	WTT1	403,150	1	
Alternatif 2	EXC1	705,730	1	14,797,032
	DT2	546,967	6	
	MG1	575,877	6	
	VR1	695,109	10	
	WTT1	403,150	1	
Alternatif 3	EXC1	705,730	1	13,452,175
	DT1	399,634	11	
	MG1	575,877	6	
	VR2	468,729	10	
	WTT1	403,150	1	
Alternatif 4	EXC1	705,730	1	13,425,715
	DT2	546,967	6	
	MG1	575,877	6	
	VR2	468,729	10	
	WTT1	403,150	1	
Alternatif 5	EXC2	617,912	1	12,544,372
	DT1	399,634	10	
	MG1	575,877	2	
	VR1	695,109	2	
	WTT1	403,150	2	
Alternatif 6	EXC2	617,912	1	10,280,572
	DT1	399,634	7	
	MG1	575,877	1	
	VR2	468,729	10	
	WTT1	403,150	1	
Alternatif 7	EXC2	617,912	2	9,601,002
	DT2	546,967	10	
	MG1	575,877	2	
	VR2	468,729	2	
	WTT1	403,150	2	
Alternatif 8	EXC2	617,912	1	11,829,829
	DT2	546,967	7	

MG1	575,877	1
VR1	695,109	10
WTT1	403,150	1

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 12. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan

Uraian	Durasi (jam)	Biaya (Rp/ Jam)	Biaya Total (Rp)
Alternatif 1	831	5,511,575	12,882,909,174
Alternatif 2	831	4,797,032	12,289,456,256
Alternatif 3	831	13,452,715	11,172,953,681
Alternatif 4	831	12,533,232	10,409,290,544
Alternatif 5	831	12,544,372	10,418,542,935
Alternatif 6	831	10,280,575	8,538,377,223
Alternatif 7	831	9,601,002	7,973,970,021
Alternatif 8	831	11,829,830	9,825,090,017

Sumber : Hasil Perhitungan

4. KESIMPULAN

Dari hasil optimasi penggunaan alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000, dengan menggunakan Linear Metode diperoleh beberapa kesimpulan yaitu:

- Volume pekerjaan galian pada Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000 untuk sebesar galian asli sebesar 71,083.945 m³ dan galian lepas 101,650.04 m³. Sedangkan untuk pekerjaan timbunan asli sebesar 325,462.929 m³ dan timbunan lepas sebesar 425,393.471 m³.
- Produktifitas masing- masing alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000, yaitu :
 - Pekerjaan Galian
 - Excavator Caterpillar CAT320D: 186.548 m³/jam
 - Excavator Kobelco SK200: 195.430 m³/jam
 - Dump Truck HINO 130HD dengan Excavator Caterpillar CAT320D : 22.866 m³/jam
 - Dump Truck HINO 130HD dengan Excavator Kobelco SK200 : 23.021 m³/jam
 - Dump Truck HINO Ranger FG 235 JJ dengan Excavator Caterpillar CAT320: 37.968 m³/jam
 - Dump Truck HINO Ranger FG 235 JJ dengan Excavator Kobelco SK200: 38396 m³/jam
 - Pekerjaan Timbunan :
 - Excavator Caterpillar CAT320D: 186.548 m³/jam
 - Excavator Kobelco SK200 :195.430 m³/jam
 - Dump Truck HINO 130HD dengan Excavator Caterpillar CAT320D: 22.866 m³/jam
 - Dump Truck HINO 130HD dengan Excavator Kobelco SK200 : 23.021 m³/jam
 - Dump Truck HINO Ranger FG 235 JJ dengan Excavator Caterpillar CAT320D : 37.968 m³/jam

Dump Truck HINO Ranger FG 235 JJ dengan
Excavator Kobelco SK200: 38396 m3/jam
Motor Grader Changlin 713H: 39.06 m3/jam
Vibratory Roller Volvo 139: 23.779 m3/jam
Vibratory Roller Hamm 3140: 23.904 m3/jam
Water Tank Truck Mitsubishi 125 HD: 249.0
m3/jam

3. Biaya operasional masing- masing alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan Proyek Tol Pasuruan-Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000, yaitu :

Excavator Caterpillar CAT320D : Rp 705,729/jam
Excavator Kobelco SK200: Rp 617,912/jam
Dump Truck HINO 130HD: Rp 399,634/jam
Dump Truck HINO Ranger FG 235 JJ:
Rp 546,966/jam
Motor Grader Changlin 713H: Rp 575,877/jam
Vibratory Roller Volvo 139: Rp 695,109/jam
Vibratory Roller Hamm 3140: Rp 468,729 /jam
Water Tank Truck Mitsubishi 125HD:
Rp 403,149/jam

4. Melalui beberapa alternatif kombinasi yang sudah di optimasi, maka penggunaan alat berat yang paling murah pada pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan Proyek Tol Pasuruan- Probolinggo STA 31+300 s/d 34+000,yaitu :

Pekerjaan galian menggunakan alternatif kombinasi 4 yaitu dengan total biaya Rp 1,856,381,739 menggunakan 1 unit Excavator Kobelco SK200, 5 unit Dump Truck Hino Ranger 235 JJ.

Pekerjaan timbunan menggunakan alternatif kombinasi 7 yaitu dengan total biaya Rp 7,973,970,021 menggunakan 2 unit Excavator Kobelco SK200, 10 unit Dump Truck Hino Ranger 235 JJ, 2 unit Motor Grader Changlin 713H, 2 Vibratory Volvo 139, 2 unit Water Tank Truck Mitsubishi 125HD.

5. Berdasarkan hasil perhitungan pemilihan menyewa Excavator Caterpillar CAT 320D lebih efisien dibandingkan dengan menyewa dengan selisih nilai PV yakni sebesar Rp.179,066,490. Sedangkan membeli Excavator Kobelco SK200 lebih efisien dibandingkan menyewa dengan selisih PV yakni sebesar Rp 124,536,083. Pemilihan membeli Vibratory Roller Volvo 139 lebih efisien dibandingkan menyewa dengan selisih sebesar Rp 525,776,061. Pemilihan membeli Vibratory Hamm 3410 lebih efisien dibandingkan menyewa dengan selisih sebesar Rp 231,085,660. Pemilihan membeli Dump Truck Hino 130HD lebih efisien dibandingkan dengan menyewa dengan selisih sebesar Rp 378,796,782. Pemilihan membeli Dump Truck Hino Ranger FG 235 JJ lebih efisien dibandingkan menyewa dengan selisih sebesar Rp 432,065,640. Pemilihan membeli Motor Grader Changlin 713H lebih efisien dibanding menyewa dengan selisih sebesar Rp 15,648,706. Pemilihan membeli Water Tank Truck Mitsubishi lebih efisien dibanding sewa dengan selisih Rp 334,241,315.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Chrisna Wijaya, Fadjar Purnomo, Adi Muljo, M. (2015) "Optimasi Penggunaan Alat Berat Pada Proyek Jalan Tol Gempol-Pandaan Sta 5+500 – Sta 11+500"
- [2] Fatena, S. (2008) Alat Berat untuk Proyek Konstruksi. Cetakan 1,. Edited by S. Fathena. Rineka Cipta.
- [3] Kementrian Pekerjaan Umum (2022) AHSP BIDANG BINA MARGA.
- [4] Kulo, E.N. (2017) 'Analisa produktivitas alat berat untuk pekerjaan pembangunan jalan (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Lingkar SKPD Tahap 2 Lokasi Kecamatan Tutuyan Bolaang Mongondow Timur)', Jurnal Sipil Statik, 5(7), pp. 465–474.
- [5] Pradipta, B.A., Riskijah, S.S. and Lidyaningtyas, D. (2020) 'Optimasi Alat Berat Pekerjaan Mainroad Dan Interchange X Tol Pandaan-Malang', Jurnal JOS-MRK, 1(September), pp. 84–90. doi:10.55404/jos-mrk.2020.01.02.84-90.
- [6] Katalog Alat Berat 2022 Kementerian Pekerjaan Umum
- [7] Diah Lydianingtyas & Suhariyanto. Alat Berat