

## OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT DI PROYEK PEMBANGUNAN JALAN LINTAS SELATAN LOT X

Hafidz Hibatullah Annafi<sup>1\*</sup>, Sumardi<sup>2</sup>, Sitti Safiatus Riskijah<sup>3</sup>

Mahasiswa Teknologi Rekayasa Konstruksi Jalan dan Jembatan, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>

Email: [hafidz.annafi.ha@gmail.com](mailto:hafidz.annafi.ha@gmail.com)<sup>1</sup>, [sumardi.polinema@gmail.com](mailto:sumardi.polinema@gmail.com)<sup>2</sup>, [ririssafiatus@gmail.com](mailto:ririssafiatus@gmail.com)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X yang terletak di daerah perbukitan memiliki tantangan dalam volume pekerjaan yang besar dan akses yang sulit. Tantangan tersebut salah satunya adalah penggunaan alat berat yang optimum. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kombinasi alat berat yang paling optimal dalam pelaksanaan pekerjaan galian timbunan tanah pada proyek tersebut. Data yang digunakan meliputi *siteplan*, gambar *cross section*, kurva S, spesifikasi teknis dan harga alat berat. Produktivitas alat berat dihitung berdasarkan Permen PUPR No 8 tahun 2023. Optimasi alat berat menggunakan 10 alternatif kombinasi untuk pekerjaan galian dan 6 alternatif kombinasi untuk pekerjaan timbunan, dan optimasi menggunakan metode simpleks. Hasil optimasi diperoleh kombinasi dan jumlah alat serta biaya yang paling optimum, yaitu: 1) pekerjaan galian dipilih kombinasi 6 dengan jumlah alat 8 excavator dan 22 dump truck dengan total biaya Rp21.896.589.681; dan 2) pekerjaan timbunan dipilih kombinasi 1 dengan jumlah alat 1 motor grader, 2 vibratory roller, dan 3 water tank truck dengan total biaya Rp4.517.582.502,84.

**Kata kunci** : galian, timbunan, perkerasan jalan, alat berat, optimasi

### ABSTRACT

*The construction of the South Coast Road Lot X, located in a hilly area, faces challenges such as large volumes of work and difficult access. One of the challenges is optimizing the use of heavy equipment. This study aims to determine the most optimal combination of heavy equipment for earthworks excavation and embankment activities in the project. The data used include the site plan, cross-section drawings, S-curve, technical specifications, and equipment costs. The productivity of the heavy equipment was calculated based on the Ministry of Public Works and Housing Regulation No. 8 of 2023. Heavy equipment optimization was using 10 alternative combinations for excavation work and 6 alternative combinations for embankment work, employing the simplex method. The optimization results identified the most cost-effective combination and quantity of equipment: 1) for excavation work, combination 6 was selected with 8 excavators and 22 dump trucks, resulting in a total cost of Rp 21,896,589,681; and 2) for embankment work, combination 1 was selected with 1 motor grader, 2 vibratory rollers, and 3 water tank trucks, resulting in a total cost of Rp 4,517,582,502.84.*

**Keywords** : excavation, embankment, road pavement, heavy equipment, optimization

### 1. PENDAHULUAN

Dalam pembangunan jalan, khususnya Proyek Pembangunan JLS Lot X ini perlu perencanaan dan pengawasan yang baik agar hasil akhir yang didapat sesuai rencana. Proyek Pembangunan JLS Lot X ini memiliki akses yang sulit dan pekerjaan yang cukup besar sehingga diperlukan optimasi penggunaan alat berat dalam pelaksanaannya. Proyek ini dikerjakan oleh kontraktor PT. Pembangunan Perumahan Tbk (PT. PP) dan proyek ini dibagi

menjadi 4 zona. Lokasi Jalan Lintas Selatan Lot X berada di daerah perbukitan yang cukup terjal sehingga volume pekerjaan tanah cukup besar dan akses yang dilalui cukup sulit. Oleh karena itu, diperlukan optimalisasi alat berat untuk mencegah kerugian akibat pemilihan alat berat yang kurang tepat dan penentuan jumlah alat berat yang salah dapat menyebabkan pekerjaan tidak selesai tepat waktu.

Alat berat yang digunakan merupakan salah satu penentu keberhasilan proyek, sehingga dalam pelaksanaannya harus

mempertimbangkan jenis dan tipe alat berat, jumlah alat berat, kombinasi alat berat berdasarkan jenis pekerjaan, dan durasi pekerjaan. Faktor lain yang harus dipertimbangkan dalam mengoptimasi alat berat adalah volume pekerjaan, kondisi pekerjaan, metode pelaksanaan pekerjaan, serta produktivitas alat berat.

Produktivitas alat berat berdasarkan Permen PUPR No 8 tahun 2023 dapat dihitung menggunakan rumus 1- 9.

a. *Excavator*

$$Q = \frac{V \times Fa \times Fb \times 60}{Ts \times Fv} \quad (1)$$

Keterangan:

V: kapasitas bucket (m<sup>3</sup>); Fb: faktor bucket; Fa: faktor efisiensi alat; Fk: factor pengembangan bahan; D: berat isi material (lepas,gembur); v1: kecepatan rata-rata bermuatan; v2: kecepatan rata-rata kosong; Ts: waktu siklus; Qexc: kapasitas produksi *Excavator*; dan 60: konversi jam ke menit. *Excavator* ditunjukkan pada **Gambar 1**.



**Gambar 1** Excavator  
Sumber: Dokumen Pribadi

b. *Dump Truck*

$$Q = \frac{V \times Fa \times 60}{D \times Ts} \quad (2)$$

Keterangan:

V: Kapasitas bak (m<sup>3</sup>); Fa: Faktor efisiensi alat; v1: Kecepatan rata-rata bermuatan; v2: Kecepatan rata-rata kosong; D: Berat isi material; T1: Waktu muat; T2: Waktu tempuh isi; T3: Waktu tempuh kosong; Q: Kapasitas produksi per jam. *Dump truck* ditunjukkan pada **Gambar 2**.



**Gambar 2** Dump Truk  
Sumber: Dokumen Pribadi

c. *Motor Grader*

$$Q = \frac{Lh \times \{N \times (b-b_0) + b_0\} \times Fa \times 60}{N \times n \times Ts} \quad (3)$$

Keterangan:

Lh: panjang hamparan (m); b: panjang pisau efektif (m); b0: lebar overlap (m); w: lebar area pekerjaan; Fa: faktor efisiensi alat; n: jumlah lintasan (passing); dan N: jumlah lajur lintasan. *Motor Grader* ditunjukkan pada **Gambar 3**.



**Gambar 3** Motor Grader  
Sumber: Dokumen Pribadi

d. *Vibratory Roller* (Permen PUPR tahun 2023)

$$Q = \frac{(be \times v \times 1000) \times Fa \times t}{n} \quad (4)$$

Keterangan:

b: lebar roda alat pemadat (m); bo: lebar overlap; be: lebar efektif pemadatan (m); W: lebar area pemadatan (m); V: kecepatan pemadatan; 1000: perkalian dari km ke m (m); dan Fa: faktor efisiensi alat. *Vibratory Roller* ditunjukkan pada **Gambar 4**.



**Gambar 4** Vibratory Roller  
Sumber: Dokumen Pribadi

e. *Water Tank Truck* (Permen PUPR tahun 2023)

$$Q = \frac{Pa \times Fa \times 60}{Wc \times 1000} \quad (5)$$

Keterangan:

Q: Kapasitas produksi perjam; V: Volume tangki air (m<sup>3</sup>); Wc: Kebutuhan air/ m<sup>3</sup> material padat; Pa: Kapasitas pompa air. Diambil 100 liter/menit; dan Fa: Faktor efisiensi alat. *Water tank truck* ditunjukkan pada **Gambar 5**.



**Gambar 5** Water Tank Truck  
Sumber: Dokumen Pribadi

f. *Asphalt Finisher* (Permen PUPR tahun 2023)

$$Q = V \times B \times 60 \times t \times D \quad (6)$$

Keterangan:

Q: Kapasitas produksi (ton/jam); V: Kecepatan penghamparan (m/menit); D: Berat isi campuran beraspal (ton/m<sup>3</sup>); Fa: Faktor Efisiensi Alat; B: Lebar Hamparan (m); dan T: Tebal (m). Asphalt Finisher ditunjukkan pada **Gambar 6**.



**Gambar 6** Asphalt Finisher  
Sumber: Dokumen Pribadi

- g. Asphalt Distributor (Permen PUPR tahun 2023)

$$Q = Pa \times Fa \times 60 \quad (7)$$

Keterangan:

Q: Kapasitas produksi penyemprotan (liter/jam); Pa: Kapasitas Pompa Aspal (liter/menit); Pw: Tenaga Penggerak; dan Fa: Faktor Efisiensi Alat. Asphalt Distributor ditunjukkan pada **Gambar 7**.



**Gambar 7** Asphalt Distributor  
Sumber: Dokumen Pribadi

- h. Tandem Roller (Permen PUPR tahun 2023)

$$Q = \frac{(be \times v \times 1000) \times Fa \times t}{n} \quad (8)$$

Keterangan:

b: lebar roda alat pemadat (m); bo: lebar overlap; be: lebar efektif pemadatan (m); W: lebar area pemadatan (m); V: kecepatan pemadatan; 1000: perkalian dari km ke m (m); dan Fa: faktor efisiensi alat. Tandem Roller ditunjukkan pada **Gambar 8**.



**Gambar 8** Tandem Roller  
Sumber: Dokumen Pribadi

- i. Pneumatic Tire Roller (Permen PUPR tahun 2023)

$$Q = \frac{(be \times v \times 1000) \times Fa \times t}{n} \quad (9)$$

Keterangan:

b: lebar roda alat pemadat (m); bo: lebar overlap; be: lebar efektif pemadatan (m); W: lebar area pemadatan (m); V: kecepatan pemadatan; 1000: perkalian dari km ke m (m); dan Fa: faktor efisiensi alat. Pneumatic Tire Roller ditunjukkan pada **Gambar 9**



**Gambar 9** Pneumatic Tire Roller  
Sumber: Dokumen Pribadi

### Perhitungan Biaya Alat

Biaya alat berat dihitung berdasarkan biaya pasti dan biaya operasional. Berdasarkan Permen PUPR No. 8 tahun 2023, biaya tersebut dihitung menggunakan rumus 10-11.

- a. Menghitung Biaya Pasti

$$G = (E + F) = \frac{(B - C) \times D}{W} + \frac{0,002 \times B}{W} \quad (10)$$

Keterangan:

G: biaya pasti per jam (rupiah); B: harga pokok alat setempat (rupiah); C: nilai sisa alat; D: faktor angsuran/pengembalian modal; E: biaya pengembalian modal; F: biaya asuransi, pajak, dll per tahun; dan W: jumlah jam kerja alat dalam satu tahun.

- b. Menghitung Biaya Operasional

$$P = H + I + J + K + L + M \quad (11)$$

Keterangan:

H: banyaknya bahan bakar yang dipergunakan dalam 1 jam dengan satuan lt/jam; I: banyaknya minyak pelumas; J: besarnya biaya bengkel (workshop) tiap jam; K: biaya perbaikan; L: upah operator; M: upah pembantu operator.

### Metode Pelaksanaan dan Penentuan Kombinasi Alat Berat

Pekerjaan galian tanah adalah pekerjaan yang memanfaatkan alat berat bertujuan untuk mengupas tanah eksisting, memindahkan tanah (menggali) dan membawa material (*hauling*) dari lokasi proyek ke area pembuangan. Sedangkan Pekerjaan timbunan ini membutuhkan alat berat yang digunakan untuk mengeruk tanah dari lokasi galian ke dalam alat berat yang dibawa ke lokasi proyek (*hauling*), lalu diratakan dan dipadatkan serta disiram air untuk meyiram material (Hasan,dkk2022). Metode Pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan ini berdasarkan Permen PUPR no 8 tahun 2023.

Penentuan alternatif kombinasi alat berat ditentukan berdasarkan jenis alat berat dengan tipe dan kapasitas yang

berbeda dengan mempertimbangkan kondisi eksisting, area pekerjaan, dan alat berat yang digunakan di proyek. Selain itu, alat berat dipilih menurut Katalog Alat Berat 2013 dengan merk yang sama.

### Optimasi Penggunaan Alat Berat

Menurut Ismaniah (2019) optimasi adalah cara mendapatkan harga ekstrim baik maksimum atau minimum dari suatu fungsi tertentu dengan faktor-faktor pembatasnya. Optimasi dimaksudkan untuk mencari kondisi terbaik, dalam konteks keuntungan, kondisi optimum merupakan keadaan yang memberikan pengeluaran/pengorbanan minimum (minimasi). Proses optimasi terbagi menjadi beberapa tahapan, antara lain:

#### 1. Penentuan Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah elemen-elemen yang dapat dikontrol atau diatur dalam suatu proses optimasi untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

#### 2. Penentuan Tujuan

Tujuan dalam hal ini adalah meminimalkan jumlah biaya kebutuhan alat berat yang berpengaruh pada biaya pekerjaan yang minimum tanpa mengurangi kualitas pekerjaan.

#### 3. Penentuan Kendala

Proses optimasi alat berat tidak hanya melibatkan pengaturan variabel keputusan untuk mencapai tujuan, tetapi juga memerlukan penentuan kendala-kendala yang membatasi ruang lingkup proyek. Kendala-kendala ini adalah batasan atau syarat yang harus dipenuhi dalam proses optimasi, sehingga solusi yang dihasilkan tetap praktis dan sesuai dengan kondisi nyata. Berikut kendala-kendala yang ada di Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X, antara lain:

- a. Kendala Volume Pekerjaan
- b. Kendala Luas Area Pekerjaan
- c. Kendala Ketergantungan Alat
- d. Kendala Ketidakefektifan

Menurut Siringoringo (2005), salah satu teknik penentuan solusi optimal yang digunakan dalam pemrograman linier adalah metode simpleks yang didasarkan pada teknik eliminasi Gauss Jordan. Menentukan solusi optimal dilakukan dengan memeriksa titik ekstrim secara bertahap melalui perhitungan interatif. Sehingga pemilihan solusi optimal dengan metode simpleks dilakukan bertahap, yang dikenal sebagai iterasi. Iterasi ke-*i* hanya tergantung dari iterasi sebelumnya. Dalam persoalan program linier, model standar dapat dinyatakan sebagai berikut:

Fungsi tujuan = maksimasi atau minimasi dari:

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_nX_n \quad (12)$$

Dengan memperhatikan kendala atau pembatas berikut :

$$a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + \dots + a_nX_n (\leq, =, \geq) \quad (13)$$

Keterangan:

X : variabel keputusan ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ );

b : banyaknya jenis aktivitas yang menggunakan sumber atau fasilitas tersebut;

a: banyaknya sumber ke *i* yang digunakan untuk menghasilkan setiap unit;

z: nilai fungsi tujuan yang akan dimaksimalkan atau diminimumkan;

c: koefisien fungsi tujuan variable keputusan yang menunjukkan kenaikan nilai z apabila ada pertambahan tingkat aktivitas/variable keputusan x dengan satu satuan, merupakan sambungan setiap satuan variable keputusan terhadap nilai z.

Menurut Leatemia (2013), LINDO (*Linier Interactive Descrete Optimizer*) adalah program bantu yang digunakan untuk menyelesaikan kasus program linier, yaitu suatu permodelan matematik yang digunakan untuk mengoptimalkan suatu tujuan dari beberapa kendala. Sebelum menginput data ke program LINDO, permasalahan harus diubah menjadi model matematis program linier dengan menentukan variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala.

Selanjutnya fungsi tujuan dan semua fungsi kendala diinputkan ke program LINDO sesuai ketentuan, dan proses optimasi dilakukan sesuai dengan alternatif kombinasi menggunakan aplikasi LINDO 6.1.

## 2. METODE

Pekerjaan yang ditinjau merupakan pekerjaan galian dan timbunan, dalam proses analisis dibutuhkan data sekunder sebagai pendukung yang mencakup data *site plan*, data *cross section*, tarif sewa alat berat, harga bahan bakar dan upah, serta jenis dan spesifikasi alat berat.

Setelah diperoleh data, selanjutnya membuat *Work Breakdown Structure* (WBS), kemudian menghitung volume pekerjaan dengan metode *average end area* (mengambil rata-rata luas antara dua penampang kemudian dikalikan dengan jarak antar penampang), kemudian menyusun metode kerja, Setelah itu menentukan jenis dan tipe alat berat yang digunakan berdasarkan Katalog alat berat tahun 2013 yaitu memilih merk sama dengan kapasitas yang berbeda. Kemudian melakukan perhitungan produktivitas dan biaya alat berat atas dasar Peraturan Menteri no 8 PUPR tahun 2023, HSPK Blitar tahun 2023, dan Katalog Alat Berat tahun 2013. Setelah itu melakukan perhitungan optimasi dengan mempertimbangkan semua kendala yang ada (kendala volume pekerjaan, luas area pekerjaan, ketergantungan alat, dan ketidakefektifan) menggunakan program linier metode simpleks dengan *software* LINDO 6.1 (*Linier Interactive Descrete Optimizer*), dan terakhir menentukan hasil optimal



dengan biaya yang paling murah. Setelah itu, baru membuat kesimpulan dan saran.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Perhitungan Volume Pekerjaan

Dalam pelaksanaan pekerjaan di Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X, harus memperhitungkan volume pekerjaan. Hasil dari perhitungan volume pekerjaan dapat dilihat di dalam **Tabel 1**

**Tabel 1** Volume Pekerjaan Galian dan Timbunan

No	Jenis Pekerjaan	Volume Pekerjaan	
		Kondisi Asli/Padat	Kondisi Lepas
1	Pekerjaan galian	1.091.576	1.288.061
2	Pekerjaan timbunan	346.298	377.466

Sumber: Hasil Perhitungan

Pekerjaan yang ditinjau yaitu pekerjaan galian dan timbunan tanah. Berikut langkah-langkah pekerjaan galian tanah: 1) pembersihan/clearing beserta pengukuran/*stacking out*; 2) proses penggalian tanah menggunakan *excavator*; 3) melakukan pengujian tanah apakah tanah tersebut sesuai dengan spesifikasi atau tidak, apabila sesuai maka tanah akan diangkut dengan *dump truck* ke area timbunan (*hauling*), apabila tidak sesuai spesifikasi tanah tersebut maka tanah akan dibuang ke area disposal. Gambar pelaksanaan pekerjaan dapat dilihat di **Gambar 10**.



**Gambar 10** Ilustrasi pekerjaan galian

Sumber: Dokumen Pribadi

Berikut langkah-langkah pekerjaan timbunan: 1) *dump truck* menumpahkan material timbunan di lokasi timbunan; 2) tanah dihamparkan serta dapat menentukan slope/kemiringan sesuai perencanaan menggunakan *motor grader*; 3) melakukan proses pemadatan menggunakan *vibratory roller* sambil dilakukan penyiraman air dengan *water tank truck* (Riskijah, dkk. 2021). Gambar pelaksanaan pekerjaan dapat dilihat di **Gambar 11**.



**Gambar 11** Ilustrasi pekerjaan galian dan timbunan

Sumber: Dokumen Pribadi

#### Jenis & Tipe Alat Berat yang Digunakan

Pemilihan alat berat yang akan digunakan pada pekerjaan galian dan timbunan di Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X perlu disesuaikan dengan jenis pekerjaan, seperti yang ditunjukkan pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**

**Tabel 2** Merk & Tipe Alat Berat Pekerjaan Galian Tanah

No	Nama Alat Berat	Merk dan Tipe	Kode
1	Excavator	Caterpillar 313D	EXC1
2		Caterpillar 320D2	EXC2
3	Dump Truck	Mitsubishi FE SHD X	DT1
4		Mitsubishi FM 65 FS	DT2
5		Hino 500 FG 235 JJ	DT3
6		Hino 500 FM 260 JD	DT4
7		Hino 500 FM 280 JD	DT5

Sumber: Hasil Perencanaan

**Tabel 3** Merk & Tipe Alat Berat Pekerjaan Timbunan

No	Nama Alat Berat	Merk dan Tipe	Kode
1	Motor Grader	Komatsu GD510R-1	MGT1
2		Komatsu GD511A-1	MGT2
3		Komatsu G705A-4	MGT3
4	Vibratory roller	SAKAI SV700D	VR1
5		SAKAI SV525D	VR2
6	Water tank truck	Mitsubishi 125HD	WTT1

Sumber: Hasil Perencanaan

#### Perhitungan Produktivitas dan Biaya Alat Berat

Produktivitas dan biaya alat berat dihitung berdasarkan Permen PUPR nomor 8 tahun 2023, HSPK Blitar tahun 2023, dan Katalog Alat Berat tahun 2013. Hasil perhitungan produktivitas alat berat ditunjukkan pada **Tabel 4** dan **Tabel 5**, sedangkan hasil perhitungan biaya alat berat ditunjukkan pada **Tabel 6**.

**Tabel 4** Produktivitas Alat Berat Pekerjaan Galian Tanah

No	Kode	Produktifitas	Satuan	Keterangan*
1	EXC1	58,477	m <sup>3</sup> /jam	
2	EXC2	110,334	m <sup>3</sup> /jam	
3	DT1	27,942	m <sup>3</sup> /jam	EXC1
4	DT1	38,306	m <sup>3</sup> /jam	EXC2
5	DT2	36,037	m <sup>3</sup> /jam	EXC1
6	DT2	55,353	m <sup>3</sup> /jam	EXC2
7	DT3	34,840	m <sup>3</sup> /jam	EXC1
8	DT3	52,580	m <sup>3</sup> /jam	EXC2
9	DT4	37,485	m <sup>3</sup> /jam	EXC1
10	DT4	58,844	m <sup>3</sup> /jam	EXC2
11	DT5	38,277	m <sup>3</sup> /jam	EXC1
12	DT5	60,821	m <sup>3</sup> /jam	EXC2

Sumber: Hasil Perhitungan

(\*) : alat berat yang membantu

**Tabel 5** Produktivitas Alat Berat Pekerjaan Timbunan

No	Kode	Produktifitas	Satuan	Keterangan
1	MGT1	313,289	m <sup>3</sup> /jam	
2	MGT2	367,774	m <sup>3</sup> /jam	
3	MGT3	428,243	m <sup>3</sup> /jam	
4	VR1	127,289	m <sup>3</sup> /jam	
5	VR2	84,859	m <sup>3</sup> /jam	
6	WTT1	71,143	m <sup>3</sup> /jam	

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 6** Biaya Alat Berat

No	Jenis Alat Berat	Biaya Alat/jam (Rp)
1	Excavator Tipe Caterpillar 313D	355.311,07
2	Excavator Tipe Caterpillar 320D2	542.560,00
3	Dump Truck Tipe Mitsubishi FE SHD X	449.750,00
4	Dump Truck Tipe Mitsubishi FM 65 FS	756.430,00
5	Dump Truck Tipe Hino 500 FG 235 JJ	727.333,28
6	Dump Truck Tipe Hino 500 FM 260 JD	821.216,00
7	Dump Truck Tipe Hino 500 FM 280 JD	924.892,00
8	Motor Grader Tipe Komatsu GD510R-1	424.321,00
9	Motor Grader Tipe Komatsu GD511A-1	516.700,00

10	Motor Grader Tipe Komatsu G705A-4	733.800,00
11	Motor Grader Tipe Caterpillar 120K	485.775,00
12	Motor Grader Tipe Caterpillar 120H	498.750,00
13	Vibratory Roller Tipe SAKAI SV700D	588.185,00
14	Vibratory Roller Tipe SAKAI SV525D	391.073,00
15	Water Tank Truck tipe Mitsubishi 125HD	417.585,00

Sumber: Hasil Perhitungan

### Penentuan Kombinasi Alat Berat

Alternatif kombinasi alat berat ditentukan atas dasar semua jenis dan tipe alat berat dari spesifikasi alat berat yang berbeda menurut Katalog Alat Berat tahun 2013 dan Peraturan Kementerian PUPR tahun 2023. Pemilihan dan perencanaan alternative kombinasi alat berat dilakukan untuk mengetahui biaya paling murah dalam penggunaannya. Alternatif kombinasi alat berat di masing-masing pekerjaan ditunjukkan pada **Tabel 7**.

**Tabel 7** Alternatif Kombinasi Alat Berat pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Tanah

ALTERNATIF KOMBINASI	Pekerjaan Galian			Pekerjaan Timbunan			
	No	Tipe	Spesifikasi	No	Tipe	Spesifikasi	
1	1	EXC1	DT1	1	MGT1	VR1	WTT1
	2	EXC1	DT2	2	MGT2	VR1	WTT1
	3	EXC1	DT3	3	MGT3	VR1	WTT1
	4	EXC1	DT4	4	MGT1	VR2	WTT1
	5	EXC1	DT5	5	MGT2	VR2	WTT1
	6	EXC2	DT1	6	MGT3	VR2	WTT1
	7	EXC2	DT2				
	8	EXC2	DT3				
	9	EXC2	DT4				
	10	EXC2	DT5				

Sumber: Hasil Perencanaan

### Proses Optimasi Menggunakan Program Linier Metode Simpleks

Optimasi alat berat yang dilakukan di Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X terbagi menjadi beberapa tahapan, antara lain:

#### 1. Penentuan Variabel Keputusan

Variabel keputusan adalah elemen-elemen yang dapat dikontrol atau diatur dalam suatu proses optimasi untuk mencapai tujuan yang diinginkan.

#### 2. Penentuan Tujuan

Tujuan dalam hal ini adalah meminimalkan jumlah biaya kebutuhan alat berat yang berpengaruh pada biaya pekerjaan yang minimum tanpa mengurangi kualitas pekerjaan.

#### 3. Penentuan Kendala

Proses optimasi alat berat tidak hanya melibatkan pengaturan variabel keputusan untuk mencapai tujuan, tetapi juga memerlukan penentuan kendala-kendala yang bertujuan untuk membatasi pencapaian tujuan agar mendapatkan hasil yang lebih akurat dengan mempertimbangkan keadaan yang sebenarnya. Kendala-kendala ini adalah batasan atau syarat yang harus dipenuhi dalam proses optimasi, sehingga solusi yang dihasilkan tetap praktis dan sesuai dengan kondisi nyata.

Berikut kendala-kendala yang ada di Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X, antara lain:

#### a. Kendala Volume Pekerjaan

Kendala volume ini memastikan bahwa alat berat tidak dioperasikan melebihi kapasitasnya, yang bisa menyebabkan pembengkakan biaya, dan kerusakan alat. Dengan menetapkan batasan volume pekerjaan, maka penggunaan alat berat dapat dikelola secara efisien dan memperpanjang umur pakainya. Produktivitas alat berat harus lebih besar sama dengan ( $\geq$ ) dari volume pekerjaan yang harus dikerjakan per jam. Nilai pembatas pada volume pekerjaan per jam diperoleh dari volume total pekerjaan dibagi durasi pekerjaan. Dengan total volume pekerjaan galian sebesar 1.295.514,95 m<sup>3</sup> dengan durasi 1524 jam, maka volume pekerjaan galian per jam = 845,438 m<sup>3</sup>. Dengan total volume pekerjaan timbunan sebesar 279.615,59 m<sup>3</sup> dengan durasi 1570 jam, maka volume pekerjaan timbunan per jam = 178,13 m<sup>3</sup>.

#### b. Kendala Area Pekerjaan

Kendala ini membantu dalam perencanaan proses pergerakan alat berat dan penempatan alat berat serta jumlah dari penggunaan alat berat di suatu area, selain itu alat berat dapat beroperasi tanpa hambatan dalam area yang ditentukan. Ini juga membantu menghindari *overlap* atau area yang tidak tercakup oleh operasi alat berat. Sehingga memastikan alat berat digunakan secara efisien berdasarkan lebar area proyek. Contohnya pada pekerjaan timbunan dengan lebar area 33m: 1) lebar motor grader tipe Komatsu GD510R-1 (X1) ditambah jarak aman kanan kiri dengan lebar total 5,4m sehingga jumlah alat yang dapat bekerja di area tersebut bergantung pada lebar area dan lebar alat. Jadi kendala area sebagai berikut:  $5,14X1 \leq 33$ ; 2) lebar vibratory roller tipe SAKAI SV700D (X2) ditambah jarak aman kanan kiri dengan lebar total 5,29m, sehingga kendala area sebagai berikut:  $5,29X2 \leq 33$ ; 3) lebar water tank truck tipe Mitsubishi 125 HD (X3) ditambah jarak aman kanan kiri dengan lebar total 5,45m sehingga kendala area sebagai berikut:  $5,45X3 \leq 33$ .

#### c. Kendala Ketergantungan Alat

Kendala ketergantungan alat merupakan kendala kebutuhan jumlah alat berat yang saling ketergantungan antara masing-masing alat berat yang dipergunakan pada masing-masing jenis pekerjaan. Perbandingan alat berat digunakan untuk menentukan jumlah alat berat yang tidak terlalu jauh pembulatannya agar tidak terlalu boros/banyak penggunaan alat beratnya misalnya pada pekerjaan

timbunan penentuan jumlah alat berat berpengaruh berdasarkan produktivitas alat berat yang dibutuhkan. Jumlah motor grader dibandingkan dengan jumlah vibratory roller harus sebanding dengan perbandingan produktivitas motor grader terhadap produktivitas vibratory roller untuk persamaan ke-1. Produktivitas motor grader adalah 313,289 m<sup>3</sup>/jam Produktivitas vibratory roller adalah 127,289 m<sup>3</sup>/jam. Untuk mencapai efisiensi optimal, jumlah motor grader dan vibratory roller harus diatur sedemikian rupa sehingga motor grader tidak menunggu vibratory roller karena biaya sewa dan produktivitas motorgrader lebih besar dari vibratory roller. Fungsi kendala ketergantungan alat berdasarkan nilai produktivitas alat sebagai berikut:  $X_1/X_2 = 313,289/127,289$ , persamaan ini dapat disederhanakan menjadi  $313,289X_2 = 127,289X_1$ . Dalam perencanaan proyek, total produktivitas motor grader harus lebih kecil dari total produktivitas vibratory roller karena motor grader tidak boleh menunggu, sehingga fungsi kendalanya dapat dirubah menjadi persamaan sebagai berikut:  $313,289X_2 - 127,289X_1 \geq 0$ . Sedangkan untuk persamaan ke-2 Jumlah vibratory roller dibandingkan dengan jumlah water tank truck harus sebanding dengan perbandingan produktivitas vibratory roller terhadap produktivitas water tank truck. Produktivitas vibratory roller adalah 127,289 m<sup>3</sup>/jam dan produktivitas water tank truck adalah 71,143 m<sup>3</sup>/jam. Jumlah vibratory roller dan water tank truck harus diatur sedemikian rupa sehingga vibratory roller tidak menunggu water tank truck dan sebaliknya. Kondisi optimal tercapai ketika  $127,289X_3 = 71,143X_2$  yang berarti tidak ada waktu tunggu antara vibratory roller dan water tank truck. Sehingga fungsi kendalanya dapat dirubah menjadi persamaan sebagai berikut:  $127,289X_3 - 71,143X_2 \geq 0$

d. Kendala Ketidaknegativan

Kendala ini sangat penting untuk menjaga realisme dalam model optimasi. Misalnya, waktu operasi atau jumlah pekerjaan yang dilakukan oleh alat berat tidak mungkin negatif. Dengan menetapkan kendala ketidaknegativan, kita memastikan bahwa solusi yang dihasilkan masuk akal dan dapat diterapkan dalam kenyataan. ( $X_1, X_2, X_3 \dots X_n \geq 0$ )

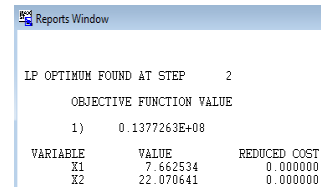
Setelah dipaparkan volume pekerjaan, produktivitas alat, alternative kombinasi, biaya pasti dan operasional, selanjutnya langkah proses optimasi dimulai dengan menjabarkan setiap kendala. Setelah itu, langkah proses optimasi menggunakan LINDO. Berikut ini hasil optimasi

dengan alternative penggunaan alat berat di Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X antara lain:

**Optimasi Pekerjaan Galian Tanah (Kombinasi ke-6)**

1. Penentuan Variabel Keputusan  
 $X_1$  = Jumlah unit Excavator  
 $X_2$  = Jumlah unit Dump Truck
2. Penentuan Fungsi Tujuan  
 $Min = 542560X_1 + 449750X_2$
3. Penentuan Fungsi Kendala  
 $110,334 X_1 \geq 845,438$   
 $38,306 X_2 \geq 845,438$   
 $1,69 X_1 \leq 32$   
 $6,44 X_2 \leq 32$   
 $110,334X_2 - 38,306X_1 \geq 0$   
 $X_1, X_2 \geq 0$

Berikut Hasil optimasi dari Aplikasi LINDO 6.1 dapat dilihat pada **Gambar 12**



**Gambar 12** Hasil Optimasi Pekerjaan Galian Tanah menggunakan LINDO 6.1

Sumber: Hasil optimasi

$X_1 : 7,665 \approx 8$  unit  
 $X_2 : 22,07 \approx 22$  unit  
 $Z \text{ min} = 542560 X_1 + 449750 X_2$   
 $Z \text{ min} = 542560 (8) + 449750 (22)$   
 $= \text{Rp } 14.234.980$

Berikut Rekapitulasi Hasil Optimasi untuk Pekerjaan Galian Tanah ditunjukkan pada **Tabel 8**

**Tabel 8** Hasil Optimasi Pekerjaan Galian Tanah

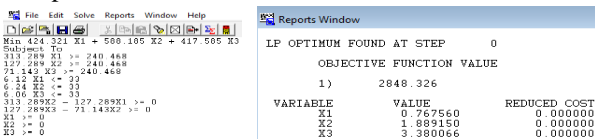
Alternatif Ke-	Kombinasi Alat Berat	Harga Unit	Jumlah Unit	Total Harga/Jam
ALTERNATIF 1	EXC1	355.311,07	14	18.466.855,00
	DT1	449.750,00	30	
ALTERNATIF 2	EXC1	355.311,07	14	22.372.245,00
	DT2	756.430,00	23	
ALTERNATIF 3	EXC1	355.311,07	14	22.430.353,72
	DT3	727.333,28	24	
ALTERNATIF 4	EXC1	355.311,07	14	23.862.323,00
	DT4	821.216,00	23	
ALTERNATIF 5	EXC1	355.311,07	14	25.321.979,00
	DT5	924.892,00	22	
ALTERNATIF 6	EXC2	542.560,00	8	14.234.980,00
	DT1	449.750,00	22	
ALTERNATIF 7	EXC2	542.560,00	8	15.686.930,00
	DT1	756.430,00	15	
ALTERNATIF 8	EXC2	542.560,00	8	15.977.812,48
	DT1	727.333,28	16	
ALTERNATIF 9	EXC2	542.560,00	8	15.837.504,00
	DT1	821.216,00	14	
ALTERNATIF 10	EXC2	542.560,00	8	17.288.968,00
	DT1	924.892,00	14	

Sumber: Hasil Perhitungan

**Optimasi Pekerjaan Timbunan Tanah (Kombinasi ke-1)**

1. Penentuan Variabel Keputusan  
 $X_1$  = Jumlah unit Motor Grader  
 $X_2$  = Jumlah unit Vibratory Roller  
 $X_3$  = Jumlah unit Water Tank Truck
2. Penentuan Fungsi Tujuan  
 $Min = 424.321 X_1 + 588.185 X_2 + 417.585 X_3$
3. Penentuan Fungsi Kendala  
 $313,289 X_1 \geq 240,468$   
 $127,289 X_2 \geq 240,468$   
 $71,143 X_3 \geq 240,468$   
 $6,12 X_1 \leq 33$   
 $6,24 X_2 \leq 33$   
 $6,06 X_3 \leq 33$   
 $313,289 X_2 - 127,289 X_1 \geq 0$   
 $127,289 X_3 - 71,143 X_2 \geq 0$   
 $X_1, X_2, X_3 \geq 0$

Berikut Hasil Optimasi dari Aplikasi LINDO 6.1 dapat dilihat pada **Gambar 13**



**Gambar 13** Pemodelan dan Hasil Optimasi Pekerjaan Timbunan menggunakan LINDO 6.1

Sumber: Hasil optimasi

- $X_1 : 0,767 \approx 1$  unit  
 $X_2 : 1,889 \approx 2$  unit  
 $X_3 : 3,380 \approx 3$  unit  
 $Z_{min} = 424321 X_1 + 588185 X_2 + 417585 X_3$   
 $Z_{min} = 424321 (1) + 588185 (2) + 417585 (3)$   
 $= \text{Rp } 2.853.446,00 / \text{jam}$

Berikut Rekapitulasi Hasil Optimasi untuk Pekerjaan Timbunan ditunjukkan pada **Tabel 9**

**Tabel 9** Hasil Optimasi Pekerjaan Timbunan

Alternatif Ke-	Kombinasi	Harga Unit	Jumlah Unit	Total Harga/Jam
ALTERNATIF 1	MGT1	Rp424.321,00	1	Rp2.853.446,00
	VR1	Rp588.185,00	2	
	WTT1	Rp417.585,00	3	
ALTERNATIF 2	MGT1	Rp516.700,00	1	Rp2.945.825,00
	VR1	Rp588.185,00	2	
	WTT1	Rp417.585,00	3	
ALTERNATIF 3	MGT1	Rp733.800,00	1	Rp3.162.925,00
	VR1	Rp588.185,00	2	
	WTT1	Rp417.585,00	3	
ALTERNATIF 4	MGT1	Rp424.321,00	1	Rp2.850.295,00
	VR1	Rp391.073,00	3	
	WTT1	Rp417.585,00	3	
ALTERNATIF 5	MGT1	Rp516.700,00	1	Rp2.942.674,00
	VR1	Rp391.073,00	3	
	WTT1	Rp417.585,00	3	
ALTERNATIF 6	MGT1	Rp733.800,00	1	Rp3.159.774,00
	VR1	Rp391.073,00	3	
	WTT1	Rp417.585,00	3	

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari hasil rekapitulasi di atas telah diketahui biaya yang paling optimum pada masing-masing pekerjaan kemudian dikali durasi pekerjaan setelah itu ditambahkan biaya mobilisasi dan demobilisasi alat berat sehingga mendapatkan hasil optimal. Pada Pekerjaan Galian Tanah dipilih alternatif kombinasi ke 6 dan Pekerjaan Timbunan Tanah dipilih alternatif kombinasi ke 1 ditunjukkan pada **Tabel 10**.

**Tabel 10** Rekap biaya paling optimum

No	Jenis Pekerjaan	Alternatif Ke-	Total Biaya Pekerjaan
1	Pekerjaan Galian	Alternatif 6	Rp21.896.589.681,83
2	Pekerjaan Timbunan	Alternatif 1	Rp4.517.582.502,84
<b>Total Biaya</b>			<b>Rp26.414.172.184,67</b>

Sumber: Hasil Perhitungan

**4. KESIMPULAN**

Berdasarkan hasil pembahasan Optimasi Penggunaan Alat Berat di Proyek Pembangunan Jalan Lintas Selatan Lot X STA 0+000 – STA 2+700, dapat diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Volume material pada pekerjaan galian sebesar 1.288.060 m<sup>3</sup> dan volume material pada pekerjaan timbunan sebesar 377.465 m<sup>3</sup>.
2. Kombinasi alat berat pada pekerjaan galian menggunakan 10 kombinasi sedangkan pekerjaan timbunan menggunakan 6 kombinasi.
3. Alternatif kombinasi yang paling optimal di masing-masing pekerjaan antara lain: pada pekerjaan galian dipilih alternatif ke-6 dengan menggunakan 8 excavator (EXC2), dan 22 dump truck (DT1) dengan biaya minimum sebesar Rp21.896.589.681, pada pekerjaan timbunan dipilih alternatif ke-1 dengan jumlah 1 motor grader (MGT1), 2 vibratory roller (VR1), dan 3 water tank truck (WTT1) dengan biaya minimum sebesar Rp4.517.582.502,84
4. Total biaya keseluruhan pekerjaan paling murah sebesar Rp30.768.713.482,04

**DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Katalog Alat Berat tahun 2013 Kementerian Pekerjaan Umum
- [2] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (No 8 tahun 2023) Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi
- [3] Leatemia, K. E. 2013. *Optimasi Biaya Dan Durasi Proyek Menggunakan Program LINDO (Studi Kasus: Pembangunan Dermaga Penyebrangan Salakan Tahap II)*. Skripsi, Unsrat.
- [4] Sarmada, M. H., Setiono, J., Purnomo, F. (2022). Optimasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Proyek JLS Paket 9 STA 0+000 – 3+000. *Jurnal JOS-MRK*, 3(4), 200-207
- [5] Pradipta, B. A., Riskijah, S. S., & Lidyaningtyas, D. (2020). Optimasi Alat Berat Pekerjaan Mainroad Dan Interchange X Tol Pandaan-Malang. *Jurnal JOS-MRK*,



- I*(September), 84–90.
- [6] Peraturan Bupati Blitar nomor 145 tahun 2022 tentang Harga Satuan Pokok Kegiatan Tahun Anggaran 2023
- [7] Riskijah, S. S., Pradipta, B. A., & Lidyanyngtyas, D. (2021). Optimization of heavy equipment for earthwork in the construction of Mainroad Section X of Pandaan-Malang Toll Road. *IOP Conf.Series: Material Science and Engineering*.
- [8] Siringgoringo, Hotniar. 2005. *Seri Teknik Riset Operasional: Pemrograman Linear*. Yogyakarta: Graha Ilmu.