

Journal homepage: <http://jos-mrk.polinema.ac.id/> ISSN: 2722-9203 (media online/daring)

OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PEKERJAAN GALIAN TEROWONGAN BENDUNGAN X

Adila Wahyu Al-ghifari¹, Sitti Safiatus Riskijah², Diah Lydianingtias³

Mahasiswi Program Studi Diploma IV Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang³

Email: adilawahyualghifari@gmail.com¹, sitti.safiatus@polinema.ac.id², diahjts123@gmail.com³

RINGKASAN

Pekerjaan galian terowongan pada Bendungan X menggunakan metode blasting karena jenis tanahnya adalah batuan. Hasil blasting berupa bongkahan batuan harus dipindahkan ke area stock pile sejauh 750 meter. Pengangkutan bongkahan tersebut menggunakan alat berat wheel loader dan dump truk. Alat tersebut terdapat beberapa type, sehingga pemilihan type alat yang tepat dan ekonomis membutuhkan optimasi untuk memperoleh jumlah alat yang optimum. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan jumlah kebutuhan alat berat yang optimum dalam bentuk kombinasi alat berat dengan biaya yang paling murah. Data yang dibutuhkan yaitu gambar, spesifikasi pekerjaan, spesifikasi alat berat, dan HSPK Kabupaten X tahun 2021. Rancangan penelitian menggunakan 3 type untuk masing-masing alat berat. Metode yang digunakan untuk mendapatkan solusi optimum yaitu program linier dengan metode simpleks. Hasil optimasi pada pekerjaan galian terowongan dipilih alternatif kombinasi 2 yaitu dengan menggunakan 1 unit Wheel Loader Tipe LiuGong 816C dan 1 unit Dump Truk Tipe FE SHDK dengan total biaya Rp 638.499 per jam atau total biaya Rp1,277,261,717 selama durasi pekerjaan berlangsung.

Kata kunci : bangunan pengelak, alat berat, optimasi

SUMMARY

The implementation of the evasion building on Dam X requires a variety of heavy equipment so it is necessary to optimize to minimize the cost of the equipment because the use of heavy equipment can be influenced by many things including soil and rock conditions. This research aims to determine the optimum number of machine needs in the form of a combination of heavy equipment at the lowest cost. The data needed are Siteplan, Cross section Drawings, Heavy equipment specifications, Job specifications and HSPK Regency X in 2021, the optimization process is carried out on 53 alternative combinations of heavy equipment. The method used to obtain the optimum solution is a linear program with a simplex method. The results of optimization on the tunnel excavation work were selected combination 2 on alternative 2 using 1 unit of LiuGong 816C Type Wheel Loader and 1 unit of FE SHDK Type Dump Truck with a total cost of Rp. 638,499 per hour or a total cost of Rp. 1,277,261,717 for the duration of the work.

Keywords : tunnel, heavy equipment, optimization

1. PENDAHULUAN

Pembangunan Bendungan X bermanfaat untuk pengendalian banjir, dan bangunan terowongan merupakan salah satu bagian dari bangunan Bendungan X. Tipe bangunan terowongan ini yaitu terowongan tapal kuda dengan diameter 4 m dan panjang 425 m. Berdasarkan pengamatan yang dilakukan pada waktu pelaksanaan pekerjaan terowongan dikerjakan dari satu arah dan galian

dilakukan dengan metode blasting, dan bongkahan batuan hasil blasting akan dipindahkan ke area stockpile. Dalam penelitian ini penulis akan meninjau dengan alternatif lain untuk pengangkutan bongkahan batuan hasil blasting yaitu dikerjakan secara dua arah menggunakan alat berat.

Penggunaan alat berat tersebut harus dikelola dengan tepat agar alat bekerja secara optimal dengan biaya yang minimal. Untuk itu perlu adanya kajian untuk mendapatkan

solusi yang tepat, yaitu dengan cara melakukan optimasi penggunaan alat berat sehingga pekerjaan dapat selesai tepat waktu dan biaya seminimum mungkin. Menurut Musthafa (2019), diperlukan penentuan komposisi alat berat yang akan digunakan dalam melakukan optimasi, agar seluruh alat berat bekerja secara optimal dan jumlah biaya yang dikeluarkan minimal. Dalam hal ini komposisi alat berat dapat diinterpretasikan sebagai kombinasi alat berat. Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan alternatif kombinasi alat berat optimum yang dapat digunakan untuk pekerjaan galian terowongan pada kondisi eksisting dan alternatif.

Produktivitas Alat Berat

Perhitungan produktivitas masing-masing alat berat yang digunakan untuk pekerjaan galian terowongan hasil blasting berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No.1 Tahun 2022, sebagai berikut:

1) Wheel Loader

Wheel loader adalah alat yang digunakan untuk mengangkat material yang akan dimuat ke dalam dumptruck atau memindahkan material ke tempat lain. Gambar Wheel loader ditunjukkan pada Gambar 1. Perhitungan produktivitas alat berat Wheel Loader menggunakan rumus 1.



Gambar 1. Wheel Loader
Sumber: www.cat.com

$$Q = \frac{V \times Fb \times Fa \times 60}{Ts} \tag{1}$$

Keterangan: Q: Produksi per jam (m³/jam); V: kapasitas Bucket (m³); Fa: Faktor Efisiensi alat seperti dalam **Tabel 1**; Fb: Faktor Bucket seperti dalam **Tabel 2**; Ts: Waktu Siklus (Memuat dan lain-lain, 0,55 menit, kondisi penumpahan sedang).

Tabel 1. Faktor Efisiensi Alat (Fa) Wheel Loader

Kondisi Kerja	Faktor efisiensi
Mudah	0,83
Sedang	0,8
Agak Sulit	0,75
Sulit	0,7

Sumber: Permen PUPR No.01 Tahun 2022

Tabel 2. Faktor Bucket (Fb) Wheel Loader

Kondisi Kerja	Faktor efisiensi
Mudah	1,0 – 1,1
Sedang	0,85 – 0,95

Agak Sulit	0,80 – 0,85
Sulit	0,75 – 0,80

Sumber: Permen PUPR No.01 Tahun 2022

2) Dump Truck

Dump truck adalah suatu alat angkut untuk memindahkan suatu material dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam pemilihan ukuran dan konfigurasi truk ada beberapa factor yang mempengaruhi, yaitu material yang akan diangkut dan excavator atau loader pemuat Menurut Y.Refly Will (2020)



Gambar 2 Dump Truck 10 ton
Sumber: www.fuso.co.id

Rumus 2 digunakan untuk menghitung produktivitas alat berat Dump truk.

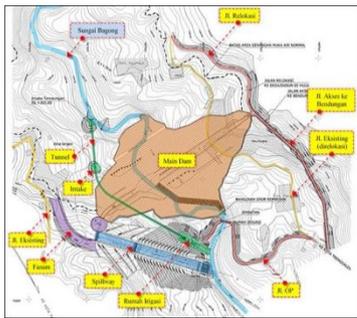
$$Q = \frac{V \times Fa \times 60}{D \times Ts} \tag{2}$$

Keterangan: Q: kapasitas produksi dump truck; m³/jam; V: kapasitas bak dump truck; Fa: faktor efisiensi alat (Lihat Tabel 1); D: berat isi material (lepas, gembur) ton/m³; 60: perkalian 1 jam ke menit; L: jarak antara lokasi bahan dengan dump truck VF: kecepatan rata-rata bermuatan (km/jam); VR: kecepatan rata-rata kosong (km/jam); TS: waktu siklus; Ts = T1+T2 + T3 + T4; T1: lama waktu muat = (V / Q) x 60 menit; T2: waktu tempuh isi = (L / v1) x 60 menit; T3: waktu tempuh kosong = (L / v2) x 60 menit; T4: waktu lain-lain

2. METODE

Proyek Bendungan X dikerjakan dengan durasi pelaksanaan 1253 hari kalender dan nilai kontrak sebesar Rp. 517,181,000,000 (lima ratus tujuh belas miliar seratus delapan puluh juta rupiah).

M.Astri Indah (2021) dalam jurnalnya menyatakan Data sekunder adalah data yang didapat dari instansi atau yang dikumpulkan oleh pihak pertama. Data-data proyek yang dibutuhkan meliputi: Site plan (gambar 3), Gambar Perencanaan, Spesifikasi alat berat yang digunakan, spesifikasi pekerjaan bangunan terowongan, dan HSPK Kabupaten X Tahun 2021.



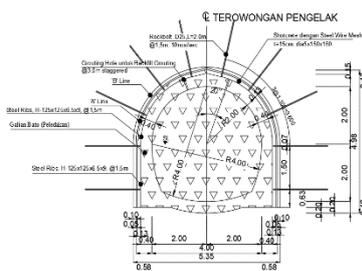
Gambar 3 Site Plan Bendungan Bagong
Sumber: Dokumen KSO-Rayakonsult-BSI-CEC

Setelah data didapatkan kemudian dilakukan analisis data dengan prosedur sebagai berikut: perhitungan volume pekerjaan, penyusunan metode pelaksanaan, penentuan jenis alat berat dan perhitungan produktivitas dan biaya alat berat, serta menginterpretasikan permasalahan tersebut kedalam permasalahan program linier yaitu dengan menentukan tujuan, variabel keputusan, dan batasan/kendala serta menentukan fungsi tujuan dan fungsi kendala.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Pekerjaan

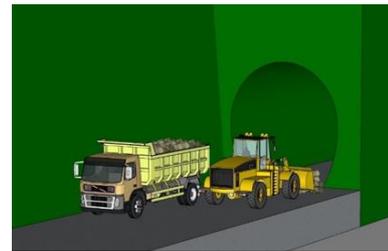
Volume pekerjaan terowongan dihitung berdasarkan data gambar rencana pada setiap pekerjaan per STA yaitu gambar potongan melintang untuk mencari luas seperti pada **Gambar 4**. lalu dikalikan dengan jarak tiap STA. Dimensi galian terowongan dari awal sampai akhir sama atau *typical*, dan material galian yang dikerjakan yaitu batu keras sehingga menggunakan metode blasting. Berdasarkan perhitungan volume galian terowongan dari STA 4 – 20 diperoleh total volume 9,928.43 m³



Gambar 4. Potongan Melintang Galian Terowongan

Metode Pelaksanaan

Galian terowongan dilakukan dengan metode galian dengan cara blasting lalu material yang sudah diblasting diangkut menggunakan wheel loader dan dump truk. Galian terowongan panjangnya 425 m dan lebar terowongan 5.35 m. Pelaksanaan dilakukan dari 2 arah mulai dari STA.4 dan STA 20 hingga titik temu.



Gambar 4. Ilustrasi Galian Terowongan

Metode pelaksanaan pekerjaan galian terowongan dikerjakan dengan metode *Tunnel Drilling Blasting*. Metode pelaksanaan untuk galian terowongan, yaitu:

- 1) Galian diawali dengan fase peledakan, setelah selesai dilanjutkan dengan pengambilan material batuan yang sudah diledakkan menggunakan *wheel loader* lalu diangkut dengan *dump truck* untuk dibuang menuju *stock pile*.
- 2) Penggalian dilakukan secara paralel untuk kedua terowongan baik *inlet* maupun *outlet*.

Perhitungan Produktivitas Alat Berat

Perhitungan produktivitas alat berat dilakukan untuk mendapatkan kombinasi yang paling menguntungkan dari segi waktu dan biaya. Perhitungan produktivitas alat berat mengacu pada Permen PUPR No 1 Tahun 2022. Berikut ini adalah contoh perhitungan produktivitas alat berat pada pekerjaan galian terowongan:

- 1) Wheel Loader Tipe LiuGong 816C (WL 2)

Diketahui Kapasitas Bucket (V): 1,50 m³; Faktor Bucket (Fb): 0,8; Faktor Efisiensi Alat (Fa): 0,83; Menggali/Memuat (T1): 1,00 menit; Waktu Siklus (Ts): 1,00 menit. Dengan menggunakan Rumus 1, diperoleh: Kapasitas Produksi Wheel Loader per jam sebesar = 31.872 m³/jam. Sehingga diperoleh koefisien wheel loader 0.031 jam.

- 2) Dump Truck Tipe FE SHD K (DT1)

Diketahui Kapasitas Bak (V) 8,00 m³; Faktor Efisiensi Alat (Fa): 0,83; Kecepatan rata-rata muat; 20,00 Km/jam; Kecepatan rata kosong: 40,00 Km/jam; Berat isi lepas (D):1,23ton/m³;Waktu Muat (T1): 6,53 menit; Waktu Tempuh isi (T2): 2,25 menit; Waktu Tempuh Kosong (T3): 1,13 menit; Lain lain (T4): 1,00 menit; Waktu siklus (TS): 10,91 menit. Dengan menggunakan Rumus 1, diperoleh: Kapasitas Produksi Dump Truck per jam sebesar = 19.49 m³/jam. Sehingga diperoleh koefisien Dump Truck 0.006 jam.

Hasil perhitungan produktivitas alat berat tiap type untuk pekerjaan galian terowongan disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Rekap Produktivitas Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Terowongan

JENIS ALAT BERAT	PRODUKTIFITAS	SATUAN
Wheel Loader Tipe komatsu WA200-8	59.76	M ³ /jam
Wheel Loader Tipe LiuGong 816C	31.87	M ³ /jam
Wheel Loader Tipe komatsu WA320-5	111.55	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	29.70	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	19.49	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	41.14	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	35.87	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	21.97	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	54.00	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	39.12	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	23.15	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	61.72	M ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Alternatif Kombinasi Alat Berat

Dalam optimasi alat berat yang digunakan pada pekerjaan galian batu terowongan meliputi pada pekerjaan menggali dan mengangkut material batuan hasil ledakan yang dibuang ke stock pile, sehingga alat yang dibutuhkan terdapat 2 jenis seperti *wheel loader* dan *dump truck*. Alternatif kombinasi alat berat dari galian terowongan disajikan dalam tabel 4

Tabel 4. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Terowongan

Pekerjaan Galian Terowongan		
Kombinasi 1	WL 1	DT1
Kombinasi 2	WL2	DT1
Kombinasi 3	WL 3	DT1
Kombinasi 4	WL 1	DT2
Kombinasi 5	WL2	DT2
Kombinasi 6	WL 3	DT2
Kombinasi 7	EX 1	DT 3
Kombinasi 8	EX 2	DT 3
Kombinasi 9	EX 3	DT 3

Sumber: Hasil Analisa

Keterangan kode alat berat:

- WL 1 : Wheel Loader Tipe komatsu WA150-5
- WL 2 : Wheel Loader Tipe LiuGong 816C
- WL 3 : Wheel Loader Tipe komatsu WA320-5
- DT 1 : Dump Truck Tipe FE SHD K
- DT 2 : Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ
- DT 3 : Dump Truck Tipe Hino FM 260 JM

Optimasi Alat Berat

Menurut Elsina, 2013 tujuan optimasi yaitu untuk mendapatkan perpaduan optimum antara durasi terpendek dan biaya penambahan yang minimum. Untuk mendapatkan jumlah alat dan biaya yang optimum, maka perlu diketahui biaya penggunaan alat yang meliputi biaya sewa dan biaya operasional alat. Selain itu perlu diketahui variabel keputusan, fungsi tujuan, dan kendala-kendala yang membatasi untuk mencapai tujuan optimum. Optimasi alat berat menggunakan program linier yaitu metode simpleks dengan bantuan aplikasi LINDO.

Biaya Sewa Alat Berat

Perhitungan biaya masing-masing alat berat mengacu pada Permen PUPR No.01 Tahun 2022. Contoh perhitungan

biaya alat dilakukan pada satu type wheel loader dan satu type dump truk, sebagai berikut:

- 1) Wheel Loader LiuGong 816C (WL2)
 - a. Biaya kepemilikan terdiri dari nilai sisa alat, biaya angsuran, pengembalian modal, dan asuransi. Suku bunga digunakan 10%, angsuran 2%, dan umur ekonomis 5 tahun. Total biaya Kep. = Rp 135,482.67 + Rp 1,141.30 = Rp 136,623.97
 - b. Biaya Operasional terdiri dari biaya bahan bakar, pelumas, bengkel, perawatan, operator, dan pembantu operator. Penggunaan alat berat diasumsikan menengah semua. Total Biaya Operasional = Rp 207,619.09
 - c. Total Biaya Alat = Biaya Kep. + Biaya Opr. = Rp 136,623.97 + Rp 207,623.97 = Rp 344,243.06
- 2) Dump Truk Tipe FE SHD K (DT1)
 - a. Biaya kepemilikan terdiri dari nilai sisa alat, biaya angsuran, pengembalian modal, dan asuransi. Suku bunga digunakan 10%, angsuran 2%, dan umur ekonomis 5 tahun. Total biaya Kep = Rp 56,980.26 + Rp 480.00 = Rp 57,460.26
 - b. Biaya Operasional terdiri dari biaya bahan bakar, pelumas, bengkel, perawatan, operator, dan pembantu operator. Penggunaan alat berat diasumsikan menengah semua. Total Biaya Operasioal = Rp 236, 796.17
 - c. Total Biaya Alat = Biaya Kep + Biaya Opr. = Rp 57.460.26 + Rp 236,796.17 = Rp 294,256.43

Tabel 5 menyajikan hasil perhitungan semua biaya alat.

Tabel 5. Rekapitulasi Biaya Alat Berat

No.	Nama Alat Berat	Biaya Sewa dan Biaya Operasional
1.	Wheel Loader Tipe Komatsu WA150-5	Rp 461,767.24
2.	Wheel Loader Tipe LiuGong 816C	Rp 344,243.06
3.	Wheel Loader Tipe Komatsu WA 320-5	Rp 507,266.88
4.	Dump Truck tipe FE SHD K	Rp 294,256.43
5.	Dump truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	Rp 455,735.19
6.	Dump truck Tipe Hino FM 260JM	Rp 518,890.35

Sumber: Hasil Perhitungan

Proses Optimasi Kombinasi Alat Berat

Optimasi penggunaan alat berat pada galian terowongan menggunakan 9 alternatif kombinasi. Contoh perhitungan optimasi dilakukan pada alternatif 2, dengan prosedur sebagai berikut:

- 1) Penentuan Variabel Keputusan
 Variabel keputusan pada alternatif kombinasi 2 yaitu:
 X1: Jumlah unit Wheel Loader Tipe LiuGong 816C (WL2)
 X2: Jumlah unit dump truck tipe FE SHD K (DT1)
- 2) Penentuan Fungsi Tujuan

$$Z_{\min} = C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 \quad (3)$$
 Keterangan:

Zmin: Minimum Biaya penggunaan alat

C₁: Biaya Wheel Loader tipe Tipe LiuGong 816C = Rp 344.243

C₂: Biaya Dump truck tipe FE SHD K = Rp 294.256 sehingga fungsi tujuannya adalah:

$$Z_{\min} = \text{Rp}344,243.X_1 + \text{Rp}294,256.X_2$$

3) Fungsi Kendala

a. Kendala Volume

Volume Pekerjaan = 17,871.17 m³, dengan durasi Pekerjaan = 1992 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam yaitu: 8.971 m³/jam. Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga bentuk fungsi kendalanya, yaitu:

1. Produktivitas Wheel Loader Tipe LiuGong 816C = 31.872 m³/jam, sehingga bentuk fungsi kendalanya: 31.872 X₁ ≥ 8,971
2. Produktivitas Dump Truck Tipe FE SHD K= 19.49 m³/jam, sehingga bentuk fungsi kendalanya: 19.49 X₂ ≥ 8,971

b. Kendala Ketergantungan Alat

Dari hasil perhitungan dipilih nilai perbandingan yang paling efektif, yaitu didapat X₁ = 3.0 unit, dan X₂ = 4.9 unit. Bentuk fungsi kendala ketergantungan alat diperoleh dari perbandingan jumlah koefisien masing-masing alat, setelah itu dibuat perkalian silang sebagai berikut:

$$\frac{3.0}{4.9} = \frac{X_1}{X_2} \text{ menjadi } 4.9 X_1 = 3.0 X_2$$

Sehingga fungsi kendala ketergantungan alat yaitu:

$$4.9 X_1 - 3.0 X_2 = 0$$

c. Kendala Area

Kendala area ditentukan dari ukuran area/ luas area proyek yaitu luas masing-masing alat dikalikan jumlah alat yang dimana harus lebih kecil sama dengan luas area pekerjaan galian terowongan 2274 m². Sehingga kendala area sebagai berikut:

$$10.81 X_1 + 13.41 X_2 \leq 2274$$

Fungsi kendala lebar area sebagai berikut:

1. Wheel Loader Tipe LiuGong 816C (WL2)

$$1.98 X_1 \leq 5.350$$

2. Dump Truck Tipe FE SHD K(DT1)

$$2.25 X_2 \leq 5.350$$

d. Kendala ketidak negatifan: X₁, X₂, X₃ ≥ 0

4) Hasil Optimasi

Pemecahan program linier dengan menggunakan LINDO 6.1 membutuhkan penulisan program linier sesuai dengan penulisan model aplikasi tersebut. Model penulisannya seperti Gambar 5.

```

min 344243 X1 + 294256 X2
subject to
31.872 X1 >= 8.971
19.49 X2 >= 8.971
10.81 X1 + 13.41 X2 <= 2273.75
1.98 X1 <= 5.350
2.25 X2 <= 5.350
4.9 X1 - 3.0 X2 = 0
X1 >= 0
X2 >= 0
X3 >= 0
END
    
```

Gambar 5 Contoh Model Penulisan Program Linier Alternatif Kombinasi 2 dalam Aplikasi LINDO 6.1

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1		
OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	232452.9	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	0.281809	0.000000
X2	0.460287	0.000000
X3	0.000000	0.000000

Gambar 6 Hasil Perhitungan Program LINDO Alt. Kombinasi 2 Pekerjaan Galian Terowongan

Hasil optimasi menggunakan aplikasi LINDO 6.1 ditunjukkan pada Gambar 6, dan diperoleh jumlah alat berat pekerjaan galian terowongan pada alternatif kombinasi 2 dengan nilai pembualatan yaitu: X₁ = 1 unit dan X₂ = 1 unit. Selanjutnya dihitung total biaya minimal alat perjamnya menggunakan Rumus 3, sehingga diperoleh biaya minimum alat untuk alternatif kombinasi 2 sebesar Rp. 638.499. Hasil perhitungan biaya penggunaan alat berat pada kondisi optimum (biaya minimum) pekerjaan galian terowongan untuk seluruh alternatif kombinasi disajikan dalam Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Biaya Penggunaan Alat Berat Pada Kondisi Optimum Pekerjaan Galian Terowongan

PEKERJAAN GALIAN TEROWONGAN				
KOMBI NASI ALAT	JUML. UNIT	HARGA	TOTAL HARGA/JAM	TOTAL HARGA
ALTERNATIF 1				
WL 1	1	Rp 461,767	Rp 461,767.24	Rp 756,024
DT 1	1	Rp 294,256	Rp 294,256.43	
ALTERNATIF 2				
WL 2	1	Rp 344,243	Rp 344,243.06	Rp 638,499
DT 1	1	Rp 294,256	Rp 294,256.43	
ALTERNATIF 3				
WL 3	1	Rp 507,267	Rp 507,266.88	Rp 801,523
DT 1	1	Rp 294,256	Rp 294,256.43	
ALTERNATIF 4				
WL 1	1	Rp 461,767	Rp 461,767.24	Rp 917,502
DT 2	1	Rp 455,735	Rp 455,735.19	
ALTERNATIF 5				
WL 2	1	Rp 344,243	Rp 344,243.06	Rp 799,978
DT 2	1	Rp 455,735	Rp 455,735.19	
SALTERNATIF 6				
WL 3	1	Rp 507,267	Rp 507,266.88	Rp 963,002
DT 2	1	Rp 455,735	Rp 455,735.19	
ALTERNATIF 7				
WL 1	1	Rp 461,767	Rp 461,767.24	Rp 980,658
DT 3	1	Rp 518,890	Rp 518,890.35	
ALTERNATIF 8				
WL 2	1	Rp 344,243	Rp 344,243.06	Rp 863,133
DT 3	1	Rp 518,890	Rp 518,890.35	
ALTERNATIF 9				
WL 3	1	Rp 507,267	Rp 507,266.88	Rp 1,026,157
DT 3	1	Rp 518,890	Rp 518,890.35	

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 6 diperoleh alternatif yang paling optimum adalah alternatif 2 dengan biaya alat berat minimum sebesar Rp 638,499 per jam, jumlah alat Wheel Loader Tipe LiuGong

816C (WL2) 1 unit dan Dump truck FE SHD K (DT1) 1 unit. Dengan menambahkan biaya mobilisasi dan demobilisasi alat diperoleh total biaya alat optimum pada alternatif 2 sebesar Rp1,277,261,717 selama pelaksanaan pekerjaan galian terowongan berlangsung.

Efisiensi Biaya

Setelah optimasi dilakukan, langkah selanjutnya adalah membandingkan biaya dan durasi kondisi alternatif terhadap kondisi eksisting yang dapat dilihat pada tabel.7

Tabel 7. Perbandingan Biaya dan Durasi Kondisi Alternatif Terhadap Kondisi Eksisting

Pekerjaan Galian Terowongan Bendungan X	Kondisi Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2
TOTAL BIAYA	Rp2,517,922,836	Rp2,547,237,194	Rp1,277,261,717
SELISIH BIAYA	0	Rp29,314,358	Rp1,240,661,119
EFESIENSI BIAYA		1.16%	-49.27%
TOTAL DURASI (HARI)	497	497	249
SELISIH DURASI	0	0	249
EFESIENSI DURASI		0.00%	-50.0%

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari **Tabel 7** dapat dijelaskan bahwa efisiensi biaya dan durasi pada pekerjaan bangunan terowongan kondisi alternatif terhadap kondisi eksisting sebagai berikut: efisiensi biaya alternatif 1 lebih mahal 1,16% dari kondisi eksisting, hal ini disebabkan karena penggunaan alat yang lebih banyak dari kondisi eksisting, sedangkan alternatif 2 lebih mahal 49.27% karena penggunaan alat yang lebih banyak dari kondisi eksisting sehingga biaya yang dikeluarkan lebih banyak. Efisiensi durasi pada alternatif 1 durasi sama dengan kondisi eksisting karena sama dilakukan dari satu arah dan menggunakan alat berat, sedangkan alternatif 2 lebih cepat 50,0% dari kondisi eksisting, karena dikerjakan dari 2 arah sehingga lebih cepat dalam pengerjaan. Jadi dapat disimpulkan untuk alternatif 1 biaya lebih mahal dan durasi sama, sedangkan untuk alternatif 2 biaya lebih mahal tetapi durasi lebih cepat dari kondisi eksisting.

Tabel 8. Skor Kondisi Alternatif Terhadap Kondisi Eksisting

Pekerjaan Galian Terowongan Bendungan X	Kondisi Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2
TOTAL BIAYA	Rp2,517,922,836	Rp2,547,237,194	Rp1,277,261,717
EFESIENSI BIAYA		1.16%	-49.27%
SKOR EFESIENSI	1	0.99	1.49
TOTAL DURASI (HARI)	497	497	249
EFESIENSI DURASI		0.00%	-50.00%
SKOR EFESIENSI DURASI	1	1.00	1.50
SKOR TOTAL	2	1.99	2.99
KEPUTUSAN		kurang baik	terbaik

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari **Tabel 8** dapat dijelaskan bahwa untuk menggabungkan efisiensi durasi dan efisiensi biaya maka dibuat skor efisiensi biaya sebagai berikut: skor 1 adalah kondisi eksisting, skor alternatif diperoleh dari hasil perhitungan skor eksisting dikurangi skor efisiensi biaya alternatif, dengan hasil skor alternatif 1 sebesar 0.99, dan alternatif 2 sebesar 1,49. Sedangkan untuk skor efisiensi durasi diperoleh dari hasil perhitungan skor durasi eksisting dikurangi skor efisiensi durasi, dengan hasil skor alternatif 1 sebesar 1, dan alternatif 2 sebesar 1,50. Selanjutnya dihitung skor total dengan cara menjumlahkan skor efisiensi biaya dan skor efisiensi durasi, dengan hasil skor total sebesar 1,99 untuk alternatif 1 dan 2,99 untuk alternatif 2.

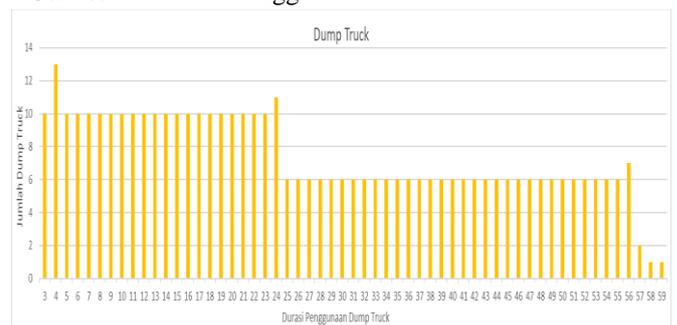
Dengan demikian dapat diambil keputusan bahwa alternatif 2 merupakan alternatif yang terbaik dalam penggunaan alat berat pekerjaan terowongan, yaitu dengan menggunakan 1 unit Wheel Loader Tipe LiuGong 816C (WL2) dan 1 unit Dump Truck Tipe FE SHD K (DT1) dengan total biaya alat minimum Rp1,277,261,717.

Penjadwalan Penggunaan Alat Berat

Penjadwalan dibuat untuk mengetahui penggunaan alat berat setiap minggu sehingga mempermudah memahami kebutuhan alat berat pada setiap pekerjaan.



Gambar 7 Jadwal Penggunaan Wheel Loader alternatif 2



Gambar 8 Jadwal Penggunaan Dump Truck Alternatif 2

4. KESIMPULAN

Dari hasil optimasi penggunaan alat berat pada pekerjaan Bangunan Pengelak Bendungan X dengan menggunakan program linier metode simpleks didapatkan kesimpulan sebagai berikut: Alternatif kombinasi yang digunakan untuk Pekerjaan Galian Terowongan terdiri dari 9 alternatif yaitu Alternatif 1-9: WL 1 DT1; WL2 DT1; WL 3 DT1; WL 1 DT2; WL2 DT2; WL 3 DT2; WL 1 DT 3; WL DT 3; WL 3

DT 3. Alternatif kombinasi alat berat dan biaya yang optimum pada pekerjaan galian terowongan yang paling minimum yaitu alternatif kombinasi 2 dengan biaya sebesar Rp 638.499 per jam. Dengan menambahkan biaya mobilisasi dan demobilisasi alat diperoleh total biaya alat optimum pada alternatif 1 sebesar Rp2,547,237,194, sedangkan pada alternatif 2 sebesar Rp1,277,261,717 selama pelaksanaan pekerjaan galian terowongan berlangsung, sehingga kebutuhan alat berat sebagai berikut: 1 unit Wheel Loader Tipe LiuGong 816C (WL 2) dan 1 unit Dump Truck Tipe FE SHD K (DT 1).

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ASTUTI, D. P. (2022). Permen PUPR No.01 Tahun 2022, Tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum Dan Perumahan rakyat, 8.5.2017, 2003–2005.
- [2]. Elsina, K., Mandagi, L. R. J. M., Tarore, H., & Malingkas, G. Y. (2013). Optimasi Biaya Dan Durasi Proyek Menggunakan Program Lindo (Studi Kasus: Pembangunan Dermaga Penyeberangan Salakan Tahap Ii). *Jurnal Sipil Statik*, 1(4), 226–232.
- [3]. Musthafa. 2019. Optimasi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan Maindam Bendungan Bendo Ponorogo.
- [4]. Yadam, Refly Will. Optimalisasi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Tanah (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Stock Yard Suzuki Negara, Kab. Jembrana, Bali). *Jurnal Ilmiah Elektronik Infrastruktur Teknik Sipil*. (2020).
- [5]. Maulidia, Astri Indah. Optimasi Penggunaan Alat Berat Pada Proyek Dermaga PT. Berlian Manyar Sejahtera Gresik. *JOS-MRK Volume 2, Nomor 4*. (2021).
- [6]. KSO Raya Konsult-BSI CEC. 2018. Dokumen KSO-Rayakonsult-BSI-CEC.