

OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PEKERJAAN GALIAN SPILLWAY BENDUNGAN X

Arya Dega Shalsabila¹, Sitti Safiatu Riskijah², Moch. Khamim³

Mahasiswa 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: aryadega6@gmail.com¹, sitti.safiatu@polinema.ac.id², chamim@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Pekerjaan galian spillway pada Bendungan X memiliki volume sebesar 781.010,586 m³ dan akan dilakukan menggunakan metode zoning yang terbagi dalam empat zona. Upaya pelaksanaan pekerjaan tersebut diketahui dibutuhkan suatu alat gerak yang berkaitan dengan ekskavator, dump truci, dan bulldozer. Upaya optimasi dilaksanakan untuk dapat ditentukannya jumlah optimal secara masing-masing yang hadir dari alat berat yang dimanfaatkan. Data yang dibutuhkan dalam upaya optimasi meliputi site plan, gambar yang berkaitan dengan urutan perencanaan, terkait pada spesifikasi yang harus dari alat Barang yang dimanfaatkan, spesifikasi dari pekerjaan galian spillway Bendungan X, serta HSPK Kabupaten X Tahun 2021. Terdapat 27 alternatif kombinasi penggunaan alat berat untuk pekerjaan ini. Metode optimasi yang diterapkan adalah program linier dengan metode simpleks, menggunakan aplikasi LINDO 6.1. Hasil optimasi menunjukkan bahwa alternatif kombinasi 1 menjadi pilihan terbaik, yaitu dengan 9 unit Excavator/Backhoe Tipe Komatsu PC200-8, 27 Dump Truck Tipe FN 527 ML 10 ton, dan 1 unit Bulldozer Tipe Komatsu D39EX-22, dengan total biaya sebesar Rp 36.742.000.000.

Kata kunci : Galian Spillway, metode zoning, optimum

ABSTRACT

The excavation work for the spillway at Dam X has a volume of 781,010.586 m³ and will be carried out using a zoning method divided into four zones. This work requires heavy equipment such as excavators, dump trucks, and bulldozers. Optimization is conducted to determine the optimal number of each type of heavy equipment used. The data required for the optimization process includes the site plan, design drawings, specifications of the heavy equipment used, specifications of the spillway excavation work at Dam X, and the 2021 HSPK of Regency X. There are 27 alternative combinations of heavy equipment usage for this project. The optimization method applied is linear programming using the simplex method, assisted by the LINDO 6.1 application. The optimization results indicate that combination alternative 1 is the best choice, consisting of 9 units of Excavator/Backhoe Komatsu PC200-8, 27 Dump Trucks FN 527 ML 10 tons, and 1 Bulldozer Komatsu D39EX-22, with a total cost of Rp 36,742,000,000.

Keywords : spillway excavation, zoning method, optimum

1. PENDAHULUAN

Pembangunan Bendungan X bertujuan untuk mengurangi risiko banjir, dengan spillway sebagai salah satu komponen utama dalam struktur bendungan. Spillway ini memiliki tipe over flow dengan lebar 30 meter dan panjang keseluruhan 384,17 meter. Pelaksanaan pekerjaan galian pada spillway dilakukan menggunakan metode zoning, yang terbagi ke dalam beberapa area, yaitu saluran pendekat, saluran pelimpah, saluran pembuangan 1, saluran pembuangan 2, saluran pembuangan 3, reduksi energi, dan saluran pembuangan akhir.

Syamsuddin (2021) dalam artikelnya menyebutkan bahwa peralatan berat adalah elemen krusial dalam pelaksanaan proyek, khususnya untuk proyek-proyek konstruksi dengan yang besar. Oleh karena itu, karena volume pekerjaan yang besar dan waktu yang terbatas penggunaan alat berat pasti akan sangat mempengaruhi penyelesaian proyek. Untuk itu, perlu dioptimalkan penggunaan alat berat agar dapat memberikan pilihan kombinasi alat berat dengan biaya yang rendah dan waktu yang efisien.

Alternatif alat berat yang dimaksud mengacu pada pemilihan kombinasi alat berat dalam setiap opsi yang tersedia. Metode yang digunakan untuk menentukan jumlah optimal adalah metode simpleks dengan bantuan aplikasi LINDO 6.1 (*Linear Interactive Discrete Optimizer*), yaitu perangkat lunak yang dirancang untuk menyelesaikan permasalahan program linier. Program linier sendiri merupakan model matematis yang diketahui dimanfaatkan untuk melakukan optimalisasi terhadap hanya dicanangkan terhadap upaya pertimbangan dari berbagai macam kendala yang hadir (Leatemia, 2013).

Produktivitas Alat Berat

Upaya perhitungan terkait pada produktivitas secara masing-masing dari alat berat yang dimanfaatkan dalam pekerjaan di bidang galian spillway dilaksanakan dengan berdasar ketentuan yang tercantum dalam Permen PUPR No. 28 Tahun 2016, dengan rincian sebagai berikut:

1) Excavator

Excavator dipahami sebagai suatu alat yang dimanfaatkan untuk penggalian material serta digunakan untuk diletakkannya material dari galian terhadap dump truk. Dapat ditinjau melalui gambar 1. Produktivitas dari alat berat tersebut dilakukan penghitungan dan mengaplikasikan rumus 1.



Gambar 1. Excavator

Sumber: Kobelco, 2021

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

Keterangan: Q dilambangkan sebagai upaya produksi pada tiap jamnya yakni meter kubik per jamnya, V dilambangkan sebagai kapasitas yang dimiliki oleh Bucket dengan satuan meter kubik, fFa, dilambangkan sebagai faktor mengenai efisiensi alat yang tercantum pada tabel 1, Fb dilambangkan sebagai Faktor Bucket yang tercantum pada tabel 2, Fv dilambangkan sebagai faktor dari Konversi mengenai kedalaman yang tercantum pada tabel 3, Ts, dilambangkan sebagai waktu siklus yakni berkaitan dengan menggali, terkait pada memuat dalam jangka waktu 0,32 menit, dan terkait lain-lain berada pada angka 0,10 menit.

Tabel 1. Faktor Efisiensi Alat

Kondisi kerja	Efisiensi kerja
Baik	0,83
Sedang	0,75
Kurang baik	0,67
Buruk	0,58

Sumber: Permen PUPR No. 28 Tahun 2016

Tabel 2. Faktor Bucket Alat

Kondisi kerja	Kondisi permukaan	Faktor pisau
Mudah	Tanah biasa, lempung, lembut	1.10-1.20
Sedang	Tanah biasa berpasir, kering	1.00-1.10
Agak sulit	Agak biasa berbatu	0.90-1.00
Sulit	Batu pecah hasil	0.80-0.90

Sumber: Permen PUPR No. 28 Tahun 2016

Tabel 3. Faktor Konversi Kedalaman Alat

Kondisi galian	Kondisi membuang, menumpahkan			
	Mudah	Sedang	Agak Sulit	Sulit
<40%	0.7	0.9	1.1	1.4
(40-75)%	0.8	1	1.3	1.6
>75%	0.9	1.1	1.5	1.8

Sumber: Permen PUPR No. 28 Tahun 2016

2) Dump Truck

Dump truck adalah jenis alat angkut yang digunakan untuk memindahkan material, seperti tanah, pasir, batu, atau material lainnya dari satu lokasi ke lokasi lain. Dump Truck ditunjukkan pada Gambar 2. Perhitungan produktivitas Dump truck menggunakan rumus 2.



Gambar 2 Dump Truck 10 ton

Sumber: Isuzu, 2021

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

Keterangan: Q: kapasitas produksi dump truck (m³/jam); V: kapasitas bak dump truck (m³); Fa: faktor efisiensi alat, yang biasanya dipengaruhi oleh kondisi operasional (Tabel 1); D: Diketahui pada berat isi dari material dalam suatu keadaan yang lepas atau dalam keadaan yang gembur yakni ton/m³ 60. Terkait pada konversi dari jam sampai ke menit; L; terkait pada jarak dengan lokasi dari material terhadap dump truck VF; kecepatan dari rata-rata yang memiliki muatan km per jam; VR; kecepatan dari rata-rata yang kosong yakni pada kilometer per jam; TS; terkait pada waktu siklus dihitung dengan rumus Ts = T1+T2+T3 + T4; Dimana : T1: lama waktu muat = (V/Q)x60 menit; T2: waktu tempuh isi = (L/V1)x60 menit; T3: waktu tempuh kosong = (L/V2)x60 menit; T4: waktu tambahan lainnya.

3) Bulldozer

Bulldozer merupakan alat berat yang berfungsi untuk penyiapan dan pembersihan lahan. Ilustrasi bulldozer dapat dilihat pada Gambar 3. Produktivitas bulldozer dalam proses pengupasan dan perataan dihitung menggunakan Rumus 3 dan 4.



Gambar 3 Bulldozer

Sumber: Komatsu, 2021

$$Q = \frac{V \times Fb \times Fm \times Fa \times 60}{D \times Ts} \quad (3)$$

$$Q = \frac{I \times (n(b-bo)) \times Fb \times Fm \times Fa \times 60}{Ts \times n \times N} \quad (4)$$

Keterangan: Q: kapasitas dari hasil produksi; m³ per jam; Fb; faktor yang hadir terkait pisau; fa; faktor terkait efisiensi kerja terhadap Tabel 1; Fm; faktor yang memiliki kemiringan terhadap alat yakni pisau; Vf; kecepatan yang berkaitan terhadap pengupasan; pada tiap km perjam; Vr: kecepatan saat mundur; km/jam; q: kapasitas pisau; TS: waktu siklus; dihitung dengan rumus $Ts = T1 + T2 + T3 + T4$; Dimana : T1: lama waktu muat = $(V/Q) \times 60$ menit; T2: waktu tempuh isi = $(L/V1) \times 60$ menit; T3: waktu tempuh kosong = $(L/V2) \times 60$ menit; T4: waktu tambahan lainnya; b: lebar pisau alat; bo: lebar overlap (diasumsikan 0,30m); m; I: jarak pengupasan (diasumsikan 30 m); m; n: jumlah lajur lintasan; lajur; N: jumlah lintasan pengupasan.

Perhitungan Biaya Alat Berat

Menurut Peraturan Menteri No. 28 Tahun 2016, dijelaskan bahwa proses perhitungan harga satuan dasar alat berat terdiri dari 2 komponen, yaitu:

- 1) Biaya Pasti (owning cost) merupakan biaya tahunan yang mencakup pengembalian modal serta bunga, yang dihitung dengan rumus berikut :

- a. Diketahui nilai yang hasil dari sisa awal, atau umumnya dikenal sebagai suatu nilai jual ulang, yakni terkait pada perkiraan terhadap harga dari peralatan yang akhir umur dari ekonomisnya terhadap rumah yang sifatnya variatif bergantung pada jenis dari alat terkait. Diketahui terkait pada nilai dari sisa dihitung dengan mengaplikasikan rumus 5.

$$C = 10\% \times \text{Harga Alat Baru} \quad (5)$$

Keterangan: C : Nilai sisa alat

- b. Faktor yang hadir dari angsuran modal, dengan mengacu terhadap dari tingkatan suku bunga dari bank yang diberlakukan saat upaya pembelian jadi peralatan. Nilainya sendiri dilakukan penentuan terhadap perencanaan dari teknis atau dari pengguna jasa dengan mendasar pada rata-rata yang hadir dari suku bunga yang dihadirkan dari pihak bank komersial yang berada di wilayah proyek terkait. Faktor tersebut dilakukan penghitungan dengan mengaplikasikan rumus 6.

$$D = \frac{i \times (1+i)^A}{(1+i)^A - 1} \quad (6)$$

Keterangan: D: Faktor angsuran modal; i: Tingkat suku bunga pinjaman investasi (%tahun); A: Umur ekonomis alat (tahun).

- c. Biaya Pengembalian Modal dihitung menggunakan rumus 7.

$$E = \frac{(B-C) \times D}{W} \quad (7)$$

Keterangan: E: Biaya pengembalian modal ; B : Merepresentasikan terkait pada harga pokok dari alat atau umumnya dikenal dengan rupiah, C dilambangkan sebagai suatu nilai dari sisa alat dalam bentuk presentase, W dilambangkan sebagai jumlah dari jam kerja yang berkaitan dengan alat dalam jangka 1 tahun dengan dalam hitungan jam.

- d. Diketahui terkait pada asuransi dan lain terkait, dengan termasuk pada pajak dari kepemilikan peralatan, umumnya dilakukan perhitungan dengan berdasar pada presentase 0,2% dari harga pokok yang hadir pada alat terkait atau sebesar presentasi 2% yang hadir dari nilai yang didapatkan dari sisa alat jika diketahui nilai dari sisa alat tersebut berada pada persentase 10% dari harga pokok alat. Perhitungannya menggunakan Rumus 8.

$$F = \frac{0.002 \times B}{W} \quad (8)$$

Keterangan: F melambangkan asuransi, dan hal-hal terkait, B melambangkan terkait pada harga dari pokok alat yang umumnya dikenal dengan rupiah, W melambangkan sebagai jumlah dari jam kerja terkait alat dalam jangka waktu 1 tahun dengan hitungan jam.

Biaya pasti per jam alat dihitung menggunakan rumus 9.

$$G = E + F \quad (9)$$

Keterangan: G: Biaya pasti per jam; E: Biaya pengembalian modal; F: Asuransi, dll.

- 2) Biaya operasional merupakan bagian total biaya yang dikeluarkan untuk menjalankan setiap unit peralatan,

dihitung berdasarkan kebutuhan bahan yang digunakan.

- a. Biaya yang hadir dari bahan bakar dengan diketahui banyaknya dari bahan bakar yang dikeluarkan per jam oleh mesin yang menggerakkan dan juga bergantung pada besaran dari kapasitas Tenaga dari mesin dan dilakukan penghitungan dengan mengaplikasikan rumus 10. Umumnya dilakukan pengukuran dengan satuan HP (*Horse Power*).

$$H = (12,00s/d15,00)\% \times HP \times Ms \quad (10)$$

Keterangan: H: Konsumsi bahan bakar per jam (liter/jam).; HP: Kapasitas tenaga mesin; Ms: Harga bahan bakar/liter; 12,00%: Pemakaian ringan; 15,00%: Pemakaian berat.

- b. Biaya Minyak Pelumas, dihitung berdasarkan kapasitas tenaga mesin menggunakan Rumus 11.

$$I = (2,5s/d3)\% \times HP \times Mp \quad (11)$$

Keterangan: I: Konsumsi minyak pelumas per jam (liter/jam); HP: Kapasitas tenaga mesin; Mp: Harga minyak pelumas/liter; 2,5%: Pemakaian ringan; 3%: Pemakaian berat.

- c. Biaya Bengkel (*Workshop*), dihitung menggunakan Rumus 12:

$$J = (6,25s/d8,75)\% \times B/W \quad (12)$$

Keterangan: J dilambangkan sebagai biaya yang dikeluarkan untuk bengkel, B dilambangkan sebagai harga pokok terhadap alat, W dilambangkan sebagai jumlah dari jam kerja terhadap alat dalam jangka waktu perhitungan 1 tahun, dengan presentase 6,25%, upaya pemakaian ringan berada pada presentase 8,75%, terkait pada pemakaian berat.

- d. Biaya Perbaikan, termasuk penggantian suku cadang dihitung menggunakan rumus 13.

$$K = (12,5s/d17,5)\% \times B/W \quad (13)$$

Keterangan: K: Biaya perbaikan; B: Dengan diketahui dilambangkan sebagai harga dari pokok alat, W dilambangkan sebagai jumlah dari jam kerja alat dalam jangka waktu satu tahun, dengan angka 12,5, pemakaian secara ringan, pada angka 17,5 terkait pada pemakaian berat.

- e. Upah Operator dan Pembantu Operator dihitung menggunakan rumus 14 dan 15.

$$L = 1 \frac{\text{orang}}{\text{jam}} \times U1 \quad (14)$$

$$M = 1 \frac{\text{orang}}{\text{jam}} \times U2 \quad (15)$$

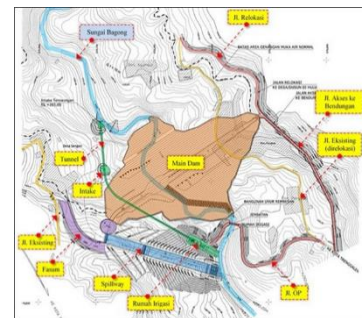
Keterangan: L: dilambangkan sebagai biaya yang berkaitan dengan operator, m dilambangkan sebagai biaya terkait pada pembantu dari operator, U1 dilambangkan

sebagai upah terhadap operator dengan jangka waktu per jam, U2 dilambangkan sebagai upah untuk membantu dari operator dalam hitungan per jam.

2. METODE

Proyek Bendungan X berlangsung selama 1.253 hari kalender dengan nilai kontrak keseluruhan sebesar Rp 517.181.000.000 (lima ratus tujuh belas miliar seratus delapan puluh satu juta rupiah).

Informasi yang diperlukan dalam proses optimasi ini berupa data sekunder yang diperoleh dari kontraktor pelaksana serta situs web penyedia alat berat seperti wheel excavator, dump truck, dan bulldozer. Data tersebut mencakup site plan (Gambar 3), gambar yang berkaitan terhadap upaya perencanaan, terkait pada spesifikasi dari alat berat yang dimanfaatkan, terkait pada spesifikasi mengenai pemerjaan baguan di wilayah trowongan, serta HSPK Kabupaten X Tahun 2021.



Gambar 3 Site Plan Bendungan X

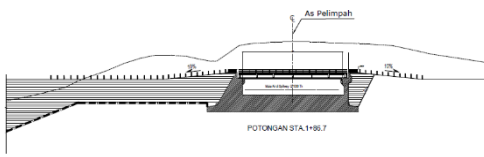
Sumber: Dokumen PT. Z

Proses analisis data dilakukan dengan langkah-langkah berikut: menghitung volume pekerjaan, merancang strategi dan pelaksanaan, menghitung produktivitas alat berat, menghitung biaya operasional alat berat, menentukan alternatif kombinasi alat berat, menghitung alat berat yang paling optimal, dan menyusun jadwal penggunaan alat berat

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Volume Pekerjaan

Pada upaya perhitungan terhadap volume dari pekerjaan spillway dengan berdasar pada data berupa gambaran mengenai suatu rencana pada tiap-tiap STA, dengan mengaplikasikan gambar dari potongan yang sifatnya melintang sebagai upaya untuk ditentukannya terkait pada luas dari area misalnya yang tercantum pada gambar 4. Terkait lalu dilakukan pengalihan terhadap jarak antar STA terkait. Dimensi terkait pada galian tersebut sifatnya variatif mulai awal hingga pada bagian akhir, dengan material galian berupa tanah biasa, sehingga metode zoning diterapkan. Berdasarkan perhitungan volume galian spillway dari STA 0+50 hingga STA 6+00, diperoleh total volume sebesar 781.010,586 m³.



Gambar 4. Potongan Melintang Galian Spillway

Metode Pelaksanaan

Pekerjaan galian spillway dilakukan dengan sistem pembagian zona dan dikerjakan secara bertahap. Dalam pelaksanaannya, area galian dibagi menjadi empat zona. Zona 1 mencakup saluran pendekatan dan pelimpah, Zona 2 meliputi saluran peluncur 1, Zona 3 mencakup saluran peluncur 2, sedangkan Zona 4 terdiri dari saluran peluncur 3, peredam energi, dan saluran pembuangan.



Gambar 5. Ilustrasi Galian Spillway

Metode pelaksanaan pada pekerjaan galian spillway, yaitu:

- 1) Galian diawali dengan pemetaan terlebih dahulu, lalu membuat jalan kerja untuk keluar masuk kendaraan alat berat.
- 2) Excavator akan menggali dimulai pada elevasi tertinggi sesuai Gambar rencana. Lalu hasil galian akan dibawa ke disposal area menggunakan dump truck dan bulldozer akan meratakan hasil galian di disposal area.

Produktivitas Alat Berat

Terkait pada upaya perhitungang dari produktivitas terhadap alat berat yang dilaksanakan sebagai upaya untuk menganalisa terhadap kapasitas dari kerja alat dalam upaya diselesaikannya volume pekerjaan pada tiap jamnya. Perhitungan tersebut berdasar pada peraturan menteri pupr nomor. 28 tahun 2016, berikut terkait pada contoh dari upaya perhitungan mengenai produktivitas yang hasil dari alat berat terhadap pekerjaan di bidang galian spillway Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8 (EXC

- 1) Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8 (EXC 1)

Diketahui kapasitas yang dimiliki oleh bucket yang dilambangkan dengan V berada pada angka 1,17 m³, faktor terkait bucket yang dilambangkan dengan Fb berada pada angka 0,9, faktor terkait pada efisiensi terhadap alat yang dilambangkan dengan Fa berada pada angka 0,81, faktor terkait pada konversi galian yang dilambangkan dengan Fv kepada angka 1 tanda titik kemudian terkait pada waktu menggali atau memuat dilambangkan dengan t1 berada pada angka

0,35 menit tanda koma waktu penggalian atau swing kembali tanda koma dan lain-lain terkait penampakan dengan t2 yakni berada pada jangka waktu 0,25 menit; Waktu Siklus (Ts): 0,6 menit. Dengan menggunakan Rumus 1, diperoleh:

Kapasitas Produksi Excavator per jam sebesar = 85,29 m³/jam. Sehingga diperoleh koefisien excavator 0.031 jam.

- 2) Dump Truck Tipe FN 527 ML 10 ton (DT1)

Diketahui Kapasitas Bak (V) 10 ton; Faktor Efisiensi Alat (Fa): 0,75; Kecepatan rata-rata muat; 20,00 Km/jam; Kecepatan rata kosong: 30,00 Km/jam; Berat isi lepas (D): 1,16 ton/m³; Diketahui jarak angka dilambangkan dengan L; dalam angka 0,75 KM, terkait pada waktu muat dilambangkan dengan T1 dengan angka 4,40 menit, terkait pada waktu tempuh isi dilambangkan dengan T2, dengan waktu 2,25 menit, waktu tempuh kosong dilambangkan dengan T3, dengan angka 1,50 menit, terkait pada lain-lain yang berkaitan dilambangkan dengan T4, berada pada waktu 1,00 menit, terkait pada waktu siklus yang dilambangkan dengan TS memiliki jumlah menit 10,15. Yang diaplikasikan dengan rumus 2. Dengan didapatkannya mengenai kapasitas dari produksi dump truck setiap jamnya yakni Berada pada angka = 27,72 m³/jam. Sehingga didapatkannya suatu koefisien dari Dump Truck 0.0361 jam.

- 3) Bulldozer Komatsu D29EX-11;05 HP (DZ1)

Diketahui lebar pisau (b): 2,71 m; Lebar overlap (bo): 0,3 m; Lebar efektif meratakan (b-bo): 2,41 m; Jumlah lintasan (n): 3; Lebar area pekerjaan (W): 30 m; Jumlah lajur lintasan (N): 13; Faktor pisau (Fb) : 0,90; Faktor efisiensi kerja (Fa) : 0,81; Kecepatan mengupas (Vf): 3,40 km/jam; Kecepatan mundur (Vr) : 4,10 km/jam; Kapasitas pisau (q) 2,60 m³; Faktor kemiringan (Fm): 1,20; Jarak gusur (L) : 0,03 km; Waktu gusur (T1): 0,53 menit; Waktu kembali (T2): 0,44 menit; Waktu lain-lain (T3): 0,10 menit; Waktu siklus (Ts): 1,07 menit; Kapasitas produksi (Q) : 1.195.27 m³/jam.

Dengan demikian, koefisien Bulldozer yang diperoleh adalah 0,0008 jam. Ringkasan hasil perhitungan produktivitas masing-masing jenis alat berat untuk pekerjaan galian spillway dapat dilihat pada **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekap Produktivitas Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Spillway

Alat Berat	Produktifitas	Satuan
Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8	85.293	m ³ /jam
Excavator/Backhoe, Komatsu PC180LC-7EO	72.9	m ³ /jam
Excavator/Backhoe, Komatsu PC270-8	91.854	m ³ /jam
Dump Truck, FN 527 ML 10 ton	27.72	m ³ /jam
Dump Truck, FN 527 ML 10 ton	25.82	m ³ /jam
Dump Truck, FN 527 ML 10 ton	28.60	m ³ /jam
Dump Truck, FM 517 HS 7 ton	22.30	m ³ /jam
Dump Truck, FM 517 HS 7 ton	21.05	m ³ /jam

Dump Truck, FM 517 HS 7 ton	22.87	m ³ /jam
Dump Truck, Colt FE SHDX 4 ton	14.98	m ³ /jam
Dump Truck, Colt FE SHDX 4 ton	14.41	m ³ /jam
Dump Truck, Colt FE SHDX 4 ton	15.24	m ³ /jam
Bulldozer, Komatsu D39EX-22	106.44	m ³ /jam
Bulldozer, Komatsu D65E-12	243.02	m ³ /jam
Bulldozer, Komatsu D51EX-22	155.57	m ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Alternatif Kombinasi Alat Berat

Alternatif kombinasi alat berat pada pekerjaan galian spillway mencakup pada pekerjaan galian dan memindahkan material galian yang diangkut ke area pembuangan. Oleh karena itu, jenis alat yang diperlukan terdiri dari 3 kategori seperti *excavator*, *dump truck* dan *bulldozer*. Terdapat 27 kombinasi alternatif alat berat dari galian spillway seperti disajikan dalam Tabel 5.

Tabel 5. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Spillway

Kombinasi	Alat Berat		
Kombinasi 1	EXC 1	DT 1	DZ 1
Kombinasi 2	EXC 1	DT 1	DZ 2
Kombinasi 3	EXC 1	DT 1	DZ 3
Kombinasi 4	EXC 2	DT 1	DZ 1
Kombinasi 5	EXC 2	DT 1	DZ 2
Kombinasi 6	EXC 2	DT 1	DZ 3
Kombinasi 7	EXC 3	DT 1	DZ 1
Kombinasi 8	EXC 3	DT 1	DZ 2
Kombinasi 9	EXC 3	DT 1	DZ 3
Kombinasi 10	EXC 1	DT 2	DZ 1
Kombinasi 11	EXC 1	DT 2	DZ 2
Kombinasi 12	EXC 1	DT 2	DZ 3
Kombinasi 13	EXC 2	DT 2	DZ 1
Kombinasi 14	EXC 2	DT 2	DZ 2
Kombinasi 15	EXC 2	DT 2	DZ 3
Kombinasi 16	EXC 3	DT 2	DZ 1
Kombinasi 17	EXC 3	DT 2	DZ 2
Kombinasi 18	EXC 3	DT 2	DZ 3
Kombinasi 19	EXC 1	DT 3	DZ 1
Kombinasi 20	EXC 1	DT 3	DZ 2
Kombinasi 21	EXC 1	DT 3	DZ 3
Kombinasi 22	EXC 2	DT 3	DZ 1
Kombinasi 23	EXC 2	DT 3	DZ 2
Kombinasi 24	EXC 2	DT 3	DZ 3
Kombinasi 25	EXC 3	DT 3	DZ 1
Kombinasi 26	EXC 3	DT 3	DZ 2
Kombinasi 27	EXC 3	DT 3	DZ 3

Sumber: Hasil Analisa

Keterangan kode alat berat:

EXC 1 : Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8
 EXC 2 : Excavator/Backhoe, Komatsu PC180LC-7EO
 EXC 3 : Excavator/Backhoe, Komatsu PC270-8
 DT 1 : Dump Truck, FN 527 ML 10 ton
 DT 2 : Dump Truck, FM 517 HS 7 ton
 DT 3 : Dump Truck, Colt FE SHDX 4 ton
 DZ 1 : Bulldozer, Komatsu D39EX-22
 DZ 2 : Bulldozer, Komatsu D65E-12
 DZ 3 : Bulldozer, Komatsu D51EX-22

Biaya Sewa Alat Berat

- Perhitungan biaya untuk setiap jenis alat berat merujuk pada Permen PUPR No. 28 Tahun 2016, dengan hasil yang disajikan dalam Tabel 6. Sebagai contoh, perhitungan produktivitas dilakukan pada satu jenis excavator, satu jenis dump truck, dan satu jenis bulldozer, dengan rincian sebagai berikut:
- Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8 (EXC 1)

- Biaya kepemilikan terkait pada nilai sisa alat, biaya yang berkaitan dengan angsuran, biaya terbaru pada upaya pengembalian dari modal dan juga berkaitan dengan Asuransi. Dengan diadakannya suku bunga berada pada presentase 15% dan umur secara ekonomisnya terjangkau 5 tahun. Total biaya Kep. = Rp 189.338,80
 - Biaya operasional alat berat diperoleh dari penjumlahan seluruh biaya yang terkait dengan penggunaannya dalam satu periode kerja, seperti bahan bakar, pelumas, bengkel, perawatan, dan operator. Dengan asumsi penggunaan pada tingkat menengah, total biaya operasional adalah Rp 678.194,86.
 - Total biaya alat dihitung sebagai penjumlahan biaya kepemilikan dan biaya operasional :
 $\text{Rp } 189.338,80 + \text{Rp } 678.194,86 = \text{Rp } 867.533,66$
- 3) Dump Truck, FN 527 ML 10 ton (DT 1)
- Biaya dari kepemilikan diketahui mencakup dari nilai yang hadir dari sisa Allah, biaya yang terkait angsuran, upaya pengembalian dari modal, dan upaya asuransi. Suku toko bunga yang dimanfaatkan yakni berada pada presentasi 15% dan umur dari ekonomisnya berada pada jangka waktu 5 tahun. Total biaya Kep. = Rp 148.766,20
 - Biaya operasional alat berat dihitung dari total pengeluaran yang mencakup bahan bakar, pelumas, bengkel, perawatan, dan operator. Dengan asumsi tingkat penggunaan menengah, total biaya operasional mencapai Rp 850.243,31.
 - Total Biaya Alat = Biaya Kep + Biaya Opr. = Rp 148.766,20 + Rp 850.243,31 = Rp 999.009,51
- 4) Bulldozer, Komatsu D39EX-22 (DZ 1)
- Biaya kepemilikan diketahui meliputi nilai dari sisa yang hadir dari alat, biaya yang hadir dari angsuran, upaya pengembalian dari modal, dan juga terkait pada asuransi. Diketahui terkait pada suku bunga yang dimanfaatkan berada pada presentasi 5% dan umumnya terkait pada ekonomisnya berada pada jangka 5 tahun. Total biaya Kep. = Rp 202.863,00
 - Biaya operasional alat berat diperoleh dari total pengeluaran terkait penggunaan alat, termasuk bahan bakar, pelumas, bengkel, perawatan, dan operator. Dengan asumsi tingkat penggunaan menengah, total biaya operasional adalah Rp 531.139,36.
 - Total Biaya Alat = Biaya Kep + Biaya Opr. = Rp 202.863,00 + Rp 531.139,36 = Rp 734.001,36

Tabel 6. Rekapitulasi Biaya Alat Berat

NO	Alat Berat	BIAYA
1	Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8	Rp 867,534

2	Excavator/Backhoe, Komatsu PC180LC-7EO	Rp	682,397
3	Excavator/Backhoe, Komatsu PC270-8	Rp	1,052,708
4	Dump Truck, FN 527 ML 10 ton	Rp	999,010
5	Dump Truck, FM 517 HS 7 ton	Rp	926,173
6	Dump Truck, Colt FE SHDX 4 ton	Rp	570,288
7	Bulldozer, Komatsu D39EX-22	Rp	734,001
8	Bulldozer, Komatsu D65E-12	Rp	1,137,324
9	Bulldozer, Komatsu D51EX-22	Rp	869,392

Sumber: Hasil Perhitungan

Proses Optimasi Kombinasi Alat Berat

Pradipta (2020) dalam jurnalnya menyatakan bahwa setelah menguraikan volume pekerjaan, efektivitas penggunaan alat berat, berbagai alternatif kombinasi, serta biaya sewa dan operasional, tahap berikutnya adalah proses optimasi yang harus menjelaskan setiap kendala yang ada. Perhitungan optimasi penggunaan alat berat untuk pekerjaan galian spillway dilakukan dengan mempertimbangkan 27 pilihan kombinasi. Contoh perhitungan optimasi dilakukan pada kombinasi pilihan pertama. Sebelum melaksanakan optimasi, penting untuk menginterpretasikan dan merumuskan masalah dalam program linier yang mencakup variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala, dengan mengikuti prosedur berikut:

1) Penentuan Variabel Keputusan

Variabel keputusan pada alternatif kombinasi 1 yaitu:

X_1 = Jumlah Unit Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8

X_2 = Jumlah Unit Dump truck, FN 527 ML 10 ton

X_3 = Jumlah Unit Bulldozer, Komatsu D65E-12

2) Penentuan Fungsi Tujuan

$$Z_{\min} = C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3 \quad (16)$$

Keterangan:

Zmin: Minimum Biaya penggunaan alat

C1 = Biaya Sewa dan Operasional

Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8

= Rp 867,534 /jam

C2 = Biaya Sewa dan Operasional Dump Truck,

FN 527 ML 10 ton

= Rp 999,010 /jam

C3 = Biaya Sewa dan Operasional Bulldozer,

Komatsu D39EX-22

= Rp 734,001 /jam

3) Fungsi Kendala

a. Kendala Volume

Dengan volume pekerjaan sebesar 781.010,586 m³ dan durasi pekerjaan 1.050 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam adalah 743,820 m³/jam. Oleh karena itu, bentuk fungsi kendalanya adalah sebagai berikut:

1. Produktivitas Excavator/Backhoe, Komatsu PC200-8= 85,293 m³/jam, sehingga bentuk fungsi kendalanya: $85,293 X_1 \geq 743,82$

2. Produktivitas Dump Truck, FN 527 ML 10 ton= 27,72 m³/jam, sehingga bentuk fungsi kendalanya: $27,72 X_2 \geq 743,82$

3. Produktivitas Bulldozer, Komatsu D39EX-22= 1.195,27 m³/jam, sehingga bentuk fungsi kendalanya: $1.195,27 X_3 \geq 743,82$

b. Kendala Ketergantungan Alat

Berdasarkan hasil perhitungan, dipilih rasio yang paling optimal, yaitu $X_1 = 85,293 \text{ m}^3$, $X_2 = 27,72 \text{ m}^3$, dan $X_3 = 1.195,27 \text{ m}^3$. Fungsi kendala ketergantungan antar alat diperoleh dengan membandingkan koefisien dari masing-masing peralatan. Sehingga fungsi kendala ketergantungan alat yaitu:

$$85,293 X_1 \leq 27,72 X_2$$

$$85,293 X_1 - 27,72 X_2 \leq 0$$

$$27,72 X_2 \leq 1195,27 X_3$$

$$27,72 X_2 - 1195,27 X_3 \leq 0$$

c. Kendala Luas Area

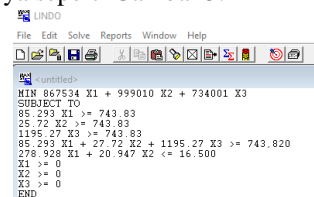
Kendala luas area merupakan kendala yang dibuat dari luas area yang memungkinkan alat berat tersebut beroperasi maksimal. Luas area pekerjaan galian spillway sebesar 16.500 m². Sehingga kendala area sebagai berikut:

$$278,928 X_1 + 20,946 X_2 \leq 16.500$$

- d. Kendala ketidak negatifaan: $X_1, X_2, X_3 \geq 0$

4) Hasil Optimasi

Lalu dilakukan pemecahan program linier menggunakan aplikasi LINDO 6.1. Model penulisannya seperti Gambar 5.



Gambar 5 Menginput Data ke dalam aplikasi LINDO

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	8.720762	0.000000
X2	49.654205	0.000000
X3	0.481434	0.000000

Gambar 6 Hasil dari upaya perhitungan dari program tersebut dengan kombinasi 1 terhadap pekerjaan galian terkait

Hasil yang ada dari upaya optimasi dengan mengaplikasikan aplikasi tersebut disajikan pada gambar 6, yang menyajikan gambaran bahwa jumlah dari alat berat yang difungsikan untuk pekerjaan dari galian tersebut terhadap alternatif dari kombinasi 1 telah dilakukan upaya pembulatan, yakni $X_1 = 9$ unit,

X2 = 27 unit, dan X3 diketahui berjumlah 1 unit. Selanjutnya, terkait pada total dari biaya secara minimum pada tiap jamnya alat dilakukan penghitungan, dihasilkannya biaya minimum terhadap alternatif kasih satu dengan sebesar Rp. 34.781.060,81. Hasil dari upaya perhitungan dari biaya yang dimanfaatkan dalam alat berat terhadap keadaan optimum yakni berkaitan dengan biaya secara minimum terhadap keseluruhan dari alternatif kombinasi dipaparkan dalam **Tabel 7**.

Tabel 7. Hasil upaya perhitungan terhadap biaya dari pemanfaatan alat yang bersifat berat terhadap keadaan secara optimum dari suatu pekerjaan yang berkaitan dengan galian terkait

Kombinasi	Alat Berat		Jumlah	Biaya /jam
	Jumlah	Jumlah		
Kombinasi 1	9 EXC 1	27 DT 1	1 DZ 1	Rp 34,781,060
Kombinasi 2	9 EXC 1	27 DT 1	1 DZ 2	Rp 35,918,384
Kombinasi 3	9 EXC 1	27 DT 1	1 DZ 3	Rp 35,650,452
Kombinasi 4	11 EXC	29 DT 1	1 DZ 1	Rp 37,211,639
Kombinasi 5	11 EXC	29 DT 1	1 DZ 2	Rp 37,614,962
Kombinasi 6	11 EXC	29 DT 1	1 DZ 3	Rp 37,347,030
Kombinasi 7	9 EXC 3	27 DT 1	1 DZ 1	Rp 37,181,628
Kombinasi 8	9 EXC 3	27 DT 1	1 DZ 2	Rp 37,584,951
Kombinasi 9	9 EXC 3	27 DT 1	1 DZ 3	Rp 37,317,019
Kombinasi 10	9 EXC 1	34 DT 2	1 DZ 1	Rp 40,031,699
Kombinasi 11	9 EXC 1	34 DT 2	1 DZ 2	Rp 40,435,021
Kombinasi 12	9 EXC 1	34 DT 2	1 DZ 3	Rp 40,167,089
Kombinasi 13	11 EXC	36 DT 2	1 DZ 1	Rp 41,582,604
Kombinasi 14	11 EXC	36 DT 2	1 DZ 2	Rp 41,985,927
Kombinasi 15	11 EXC	36 DT 2	1 DZ 3	Rp 41,717,995
Kombinasi 16	9 EXC 3	33 DT 2	1 DZ 1	Rp 40,772,093
Kombinasi 17	9 EXC 3	33 DT 2	1 DZ 2	Rp 41,175,415
Kombinasi 18	9 EXC 3	33 DT 2	1 DZ 3	Rp 40,907,483
Kombinasi 19	9 EXC 1	50 DT 3	1 DZ 1	Rp 37,056,209
Kombinasi 20	9 EXC 1	50 DT 3	1 DZ 2	Rp 37,459,532
Kombinasi 21	9 EXC 1	50 DT 3	1 DZ 3	Rp 37,191,600
Kombinasi 22	11 EXC	52 DT 3	1 DZ 1	Rp 37,895,344
Kombinasi 23	11 EXC	52 DT 3	1 DZ 2	Rp 38,298,667
Kombinasi 24	11 EXC	52 DT 3	1 DZ 3	Rp 38,030,735
Kombinasi 25	9 EXC 3	49 DT 3	1 DZ 1	Rp 38,152,488
Kombinasi 26	9 EXC 2	49 DT 3	1 DZ 2	Rp 38,555,811
Kombinasi 27	9 EXC 2	49 DT 3	1 DZ 3	Rp 38,555,811

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan **Tabel 7**, alternatif yang paling optimal adalah alternatif 1 dengan biaya minimum penggunaan alat berat sebesar Rp 34.781.060,81 per jam. Pada alternatif ini, jumlah alat yang digunakan meliputi 1 unit Excavator/Backhoe Komatsu PC200-8 (EXC 1), 1 unit Dump Truck FN 527 ML 10 ton (DT 1), dan 1 unit Bulldozer Komatsu D39EX-22 (DZ 1). Dengan mengalikan biaya per jam dengan durasi pekerjaan serta upaya untuk ditambahkannya biaya mobilisasi dan juga upaya demobilisasi terhadap alat, didapatkannya total dari keseluruhan biaya secara optimum terhadap alternatif Satu yakni sebesar Rp 36. 741.918.937,05 selama pelaksanaan pekerjaan galian spillway.

Penjadwalan Penggunaan Alat Berat

Penjadwalan disusun untuk menentukan alokasi penggunaan alat berat serta durasi keseluruhan pekerjaan galian, yang disajikan dalam **Tabel 8**.

Tabel 8. Hasil Penjadwalan

N O	PEKERJAAN DAN ALAT	JUMLA H ALAT	DURAS I	2021					
				J	F	M	A	M	J
PEKERJAAN GALIAN									
A	Excavator/Backhoe , Komatsu PC200-8;	9	150						
B	Dump Truck, FN 527 ML 10 ton	27							
C	Bulldozer, Komatsu D39EX-22	1							

Sumber: Hasil Analisa

Dari Tabel 8 terlihat waktu penggalian pada pelimpah selama 5 bulan atau 150 hari. Dimulai pada bulan Januari pada minggu kedua dan berakhir pada Juni minggu pertama. Alat berat yang akan digunakan adalah 9 unit excavator Komatsu PC 200-8, 27 unit dump truck, 10 ton FN 527 ML dan 1 unit bulldozer Komatsu D39EX-22. Berdasarkan perkembangan saat ini, waktu penggalian pelimpah adalah 12 bulan atau 365 hari. Mulai pada 1 Januari 2021 hingga 31 Desember 2021. Perencanaan optimal yang dihasilkan lebih pendek 41,7% dibandingkan jadwal saat ini. Durasi pekerjaan mungkin lebih singkat karena metode konstruksi yang dipilih menggunakan sistem zonasi yang dibagi menjadi 4 zona, yaitu Zona I yang terdiri dari Akses Kanal dan Bangunan Pelimpah; Area II meliputi Saluran Peluncur I; Area III meliputi Saluran Peluncur II; Wilayah IV meliputi dari Saluran Peluncuran III, Penekan Energi, dan Saluran Pelepasan.

4. KESIMPULAN

Berdasar pada upaya optimasi terhadap pemanfaatan alat berat terhadap pekerjaan bangunan tersebut di Bendungan X dengan mengaplikasikan metode simpleks dalam suatu program yang bersifat linier, didapatkannya pemahaman sebagai berikut: Alternatif kombinasi alat berat dengan biaya paling efisien untuk pekerjaan galian spillway adalah alternatif kombinasi 1, dengan biaya minimum sebesar Rp 34.781.060,81 per jam. Setelah memperhitungkan biaya mobilisasi dan demobilisasi alat, total biaya optimum pada alternatif 1 mencapai Rp 36.741.918.937,05. Kebutuhan alat berat pada alternatif ini meliputi 9 unit Excavator/Backhoe Komatsu PC200-8 (EXC 1), 27 unit Dump Truck FN 527 ML 10 ton (DT 1), dan 1 unit Bulldozer Komatsu D39EX-22 (DZ 1). Sementara itu, biaya penggunaan alat berat pada kondisi eksisting tercatat sebesar Rp 41.628.197.728,22 selama pekerjaan galian spillway berlangsung, sehingga terdapat penghematan sebesar Rp 4.882.278.791,17.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2016. (2016). Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.
- [2]. Leatemala, Kristi. 2013. "Optimasi Biaya dan Durasi Proyek Menggunakan Program Lindo (Studi Kasus: Pembangunan Dermaga Penyebrangan Selakan Tahap II)." *Jurnal Sipil Statik* 1(4): 226–232.
- [3]. Pradipta, Bagaskara Andri, Sitti Safiatu Riskijah, and Dyah Lidyaningtyas. 2020. "Optimasi Alat Berat Pekerjaan Mainroad Dan Interchange X Tol Pandaan-Malang." *Jurnal JOS-MRK* 1(September): 84–90.
- [4]. Syamsuddin, Irzam. 2021. "Optimalisasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Tanah Bangunan Pelimpah Atau (Studi Kasus Proyek Bendungan Sepaku-Semai)." *Jurnal Tugas Akhir Teknik Sipil* 5(2): 57–63.