

OPTIMASI ALAT BERAT PADA PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN X

Sitti Safiatu Riskijah¹⁾, Nain Dhaniarti Raharjo²⁾, Winda Harsanti³⁾

^{1,2,3} Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang

¹⁾sitti.safiatu@polinema.ac.id, ²⁾nainraharjo@polinema.ac.id, ³⁾winda.harsanti@polinema.ac.id

Abstrak

Alat berat memegang peranan penting dalam pelaksanaan pembangunan Bendungan X khususnya pada bangunan pengelak karena dapat mempermudah dan mempercepat pelaksanaan pekerjaan serta sangat berpengaruh terhadap waktu dan biaya pelaksanaan proyek. Tujuan penelitian ini untuk menentukan jumlah kombinasi alat berat yang optimal dengan biaya yang minimal. Data yang dibutuhkan adalah gambar, RKS, harga sewa alat dan upah, jadwal dan kurva S. Proses optimasi menggunakan metode simpleks dengan bantuan aplikasi LINDO. Hasil penelitian menunjukkan kombinasi alat yang optimal dengan biaya termurah yaitu pada pekerjaan galian tanah inlet menggunakan 1 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 4 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 1 unit Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2 dengan biaya minimal Rp 2.065.590,. Pada pekerjaan galian batu inlet biaya minimal Rp5,375,552.776 menggunakan 3 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 5 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 6 unit Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8+ JTHB 210-3. Pada pekerjaan galian tanah outlet biaya minimum Rp1,771,333.543, menggunakan 1 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 3 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 1 unit Bulldozer Tipe CAT D5RAXL. Pada pekerjaan galian batu outlet biaya minimum Rp5,375,552.776, menggunakan 3 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 5 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 6 unit Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8 +JTHB 210-3. Pada pekerjaan galian terowongan biaya minimum Rp 638.499, menggunakan 1 unit Wheel Loader Tipe LiuGong 816C dan 1 unit Dump Truck Tipe FE SHD K. Pada pekerjaan pengecoran terowongan biaya minimum Rp1.499.297, menggunakan 1 unit Truck Mixer Tipe SINOTRUK HOWO dan 1 unit Concrete Pump Tipe KCP20Z120.

Kata kunci: Bangunan pengelak, galian tanah, alat berat, metode simpleks, biaya optimum.

Abstract

Heavy equipment plays an important role in the implementation of the construction of Dam X, especially in the dodger building because it can facilitate and accelerate the implementation of work and greatly affect the time and cost of project implementation. The purpose of this research is to determine the optimal number of heavy equipment combinations with minimal costs. The data required are drawings, RKS, tool rental prices and wages, schedules and S curves. The optimization process uses the simplex method with the help of the LINDO application. The results showed that the optimal combination of tools with the lowest cost is in the inlet excavation work using 1 unit of Excavator Type Kobelco SK-200, 4 units of Dump Truck Type FE SHD K, and 1 unit of Bulldozer Type Komatsu D85E SS-2 with a minimum cost of Rp 2,065,590. In the inlet stone excavation work, the minimum cost is IDR 5,375,552,776 using 3 units of Excavator Type Kobelco SK-200, 5 units of Dump Truck Type FE SHD K, and 6 units of Hydraulic Breaker Type Komatsu PC 200-8 + JTHB 210-3. In the outlet soil excavation work, the minimum cost is Rp1,771,333,543, using 1 unit Excavator Type Kobelco SK-200, 3 units Dump Truck Type FE SHD K, and 1 unit Bulldozer Type CAT D5RAXL. In the outlet stone excavation work, the minimum cost is Rp5,375,552,776, using 3 units of Excavator Type Kobelco SK-200, 5 units of Dump Truck Type FE SHD K, and 6 units of Hydraulic Breaker Type Komatsu PC 200-8 +JTHB 210-3. In tunnel excavation work, the minimum cost is IDR 638,499, using 1 unit Wheel Loader Type LiuGong 816C and 1 unit Dump Truck Type FE SHD K. In tunnel casting work, the minimum cost is IDR 1,499,297, using 1 unit Truck Mixer Type SINOTRUK HOWO and 1 unit Concrete Pump Type KCP20Z120.

Keywords: Evasive building, earth excavation, heavy equipment, simplex method, optimum cost..

Pendahuluan

Proyek pembangunan Bendungan X yang berada di daerah Jawa Timur bermanfaat untuk pengendalian banjir, sebagai waduk penampung air untuk penyediaan air baku irigasi dan domestik, untuk konservasi sumber daya air dan sebagai tempat wisata atau rekreasi. Proyek ini terdiri dari 2 paket, yaitu paket I dan Paket II yang dilaksanakan oleh kontraktor yang berbeda. Proyek ini dibangun mulai tahun 2018 dan rencana operasi tahun 2023, namun per 1 Januari 2023 konstruksi baru mencapai 15,7%. Keterlambatan ini disebabkan karena banyak faktor, diantaranya faktor penggunaan alat berat yang kurang optimal. Pada Paket II terdapat pekerjaan bangunan pengelak, yang terdiri dari pekerjaan saluran inlet, terowongan/tunnel, dan saluran outlet. Pekerjaan ini memiliki volume pekerjaan tanah yang sangat besar, dengan jenis tanah biasa berbatu dan batuan keras, yang tentunya sangat membutuhkan alat berat karena dapat mempermudah dan mempercepat penyelesaian pekerjaan.

Masing-masing jenis alat berat memiliki banyak type, oleh karena itu harus dipilih agar pekerjaan selesai sesuai jadwal dengan biaya yang minimal. Dalam penggunaannya alat berat bekerja secara kombinasi, suatu alat akan membutuhkan alat berat lainnya untuk operasionalnya. Kombinasi alat dapat bervariasi jika ditinjau dari jenis dan typenya, sehingga diperlukan penelitian tentang optimasi penggunaan alat berat dalam bentuk kombinasi dengan tujuan mengetahui kombinasi alat berat yang paling optimum dengan biaya yang paling minimal dan sesuai jadwal.

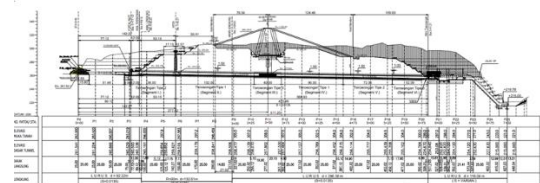
Huda (2016) menyatakan dengan dilakukan optimasi penggunaan alat berat menggunakan 3 tipe dump truck, 3 tipe excavator, 2 tipe bulldozer dan 1 tipe vibro roller dengan 18 kombinasi alat berat, diperoleh biaya optimum penggunaan alat berat pada zona 1 sebesar Rp. 9.534.001.692 dengan durasi 864 jam dengan komposisi 6 unit excavator Caterpillar 320D (bucket 0,9m³), 13 unit dump truck Hino 500 130 HD (9m³), 9 unit bulldozer Komatsu D31P-20 (blade 1,3m³), dan 3 unit vibro roller Dynapac. Dan diketahui biaya pelaksanaan pekerjaan galian menjadi lebih murah 4,91% dari nilai kontrak. Penelitian yang sama oleh Nida (2016) pada proyek tersebut, namun menggunakan 4 tipe alat pekerjaan galian yaitu Excavator, Bulldozer, Dump Truck dan Vibro Roller didapatkan biaya dan jumlah alat yang optimum sama persis dengan hasil penelitian Huda (2016). Hasil ini membuktikan bahwa hasil optimasi bukan hanya ditentukan oleh jumlah type masing-masing alat, namun juga ditentukan oleh

factor lain yang mungkin dalam hal ini menjadi kendala yang sangat mempengaruhi hasil optimasi, misalnya volume pekerjaan, durasi pekerjaan, produktivitas alat berat, dan area pekerjaan. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa optimasi alat berat penting dilakukan sebelum memulai pelaksanaan pekerjaan agar dapat menggunakan jenis dan type yang optimal.

Okatvia (2020) dalam penelitiannya menyatakan bahwa untuk pekerjaan galian clearing membutuhkan jenis alat yang berbeda dengan pekerjaan galian alur sungai yang menggunakan Excavator Long Arm dan Ponton. Hal ini membuktikan bahwa penentuan jenis dan jumlah alat yang optimum akan bergantung pada jenis pekerjaan dan lokasi pekerjaan. Lokasi dengan medan yang berat seperti daerah berlereng atau berair akan membutuhkan jenis alat berat yang berbeda dengan lokasi kerja kondisi normal. Dan tentunya akan berdampak pada jumlah alat dan biaya penggunaan alat.

Bangunan Pengelak

Bangunan pengelak merupakan salah satu dari bangunan pelengkap dari bendungan, terdiri dari inlet, tunnel (terowongan), dan outlet, seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Saluran inlet berfungsi untuk mengalihkan aliran sungai selama pekerjaan konstruksi bendungan berlangsung (Ramadhani, 2023). Saluran outlet/saluran pembuang berfungsi sebagai media pengeluaran air yang telah masuk dari intake. Biasanya outlet terletak di hilir bendungan (Aisyah, 2015).



Gambar 1 Penampang Memanjang Bangunan Pengelak

Metode Pelaksanaan Pekerjaan

Pada dasarnya metode konstruksi merupakan penerapan konsep rekayasa yang berpijak pada keterkaitan antara persyaratan dalam dokumen pelelangan, keadaan teknis dan faktor ekonomis yang ada di lapangan, dan seluruh sumberdaya termasuk pengalaman kontraktor (Jawat, 2017). Pemilihan metode pelaksanaan yang tepat, praktis, dan cepat akan sangat menguntungkan bagi perusahaan, karena target durasi, biaya, mutu, dan zero accident dapat terpenuhi.

Kondisi Tanah

Material yang ada di alam pada umumnya tidak homogen, tetapi merupakan material

campuran, mulai dari jenis tanah lunak sampai batuan. Faktor perubahan volume yang terjadi pada tanah biasa kondisi asli ke lepas sebesar 1,25, tanah batuan keras kondisi asli ke lepas sebesar 1,65, dan batuan hasil peledakan kondisi asli ke lepas sebesar 1,80 (Lydianingtias dan Suhariyanto, 2018:42).

Alat Berat

Menurut Gafur (2013), Setiap proyek konstruksi memerlukan alat berat untuk beberapa jenis pekerjaan, namun tidak mencakup semua jenis alat berat yang ada. Hal ini didukung oleh pernyataan Notoprasetyo (2017), yaitu alat berat memegang peranan penting karena dapat mempermudah dan membantu pekerja dalam menyelesaikan proyek terutama untuk proyek dengan skala besar.

Produktivitas Alat Berat

Menurut Permen PUPR No. 01 Tahun 2022, produktivitas merupakan rasio antara output dan input. Menurut Lydianingtias dan Suhariyanto (2018:86-91) output adalah hasil produksi, sedangkan input adalah komponen produksi yaitu: tenaga kerja, bahan, peralatan, dan waktu.

Program Linier Metode Simpleks

Masalah optimasi dapat diselesaikan dengan menggunakan metode program linier yang merupakan suatu teknik optimalisasi dan sistem kendala linier yang bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan atau meminimumkan biaya yang dibatasi oleh batasan-batasan tertentu (Rafflesia, 2017). Persoalan optimasi dengan program linier terkadang melibatkan banyak kendala dan banyak variabel sehingga serangkaian prosedur matematik diperlukan dalam mencari solusi dari persoalan yang lebih rumit (Notoprasetyo, 2014).

Langkah yang paling menentukan dalam program linier adalah memformulasikan program linier, mencakup identifikasi tujuan dan batasan. Beberapa unsur yang biasa digunakan adalah perumusan variabel keputusan, fungsi tujuan, fungsi kendala, dan batasan variabel (Rafflesia, 2017). Permasalahan pemrograman linier standar, salah satunya yaitu:

Meminimumkan

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + \dots + C_jX_j \quad (2.3)$$

Sumberdaya yang membatasi (kendala):

$$a_{11} X_1 + a_{12} X_2 + a_{13} X_3 + \dots + a_{1j} X_j \leq/\geq b_1 \quad (2.4)$$

$$a_{21} X_1 + a_{22} X_2 + a_{23} X_3 + \dots + a_{2j} X_j \leq/\geq b_2 \quad (2.5)$$

...

$$A_{j1} X_1 + a_{j2} X_2 + a_{j3} X_3 + \dots + a_{jj} X_j \leq/\geq b_j \quad (2.6)$$

Keterangan:

C_j = biaya per unit untuk setiap X_j ; X_j = variabel keputusan ke- j ; a_{ij} = persyaratan sumber daya i untuk setiap X_j ; b_i = jumlah sumber daya yang tersedia; j = banyaknya variabel keputusan, mulai dari 1,2,3... j ; dan i = jumlah penggunaan resource, mulai dari 1,2,3... i .

Salah satu aplikasi komputer yang dapat dengan mudah, cepat dan akurat untuk menyelesaikan program linier adalah software LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer). Prinsip kerja yang utama dari program LINDO adalah memasukkan rumus, menyelesaikannya serta menaksir kebenaran dan kelayakan rumus berdasarkan penyelesaiannya (Rostiyanti, 2016).

Metode Analisis Data

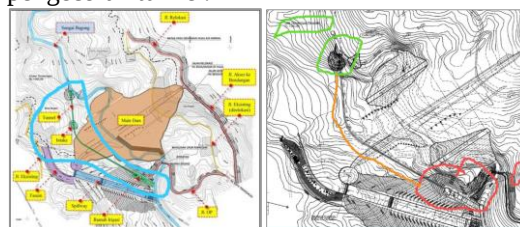
Data yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu gambar rencana bangunan pengelak bendungan X, spesifikasi teknis, data alat berat kondisi eksisting, katalog alat berat alternatif, jadwal, daftar harga satuan wilayah X tahun 2023, jarak borrow area.

Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah melakukan pengolahan dan analisis data dengan langkah-langkah sebagai berikut: mengidentifikasi item pekerjaan, menentukan volume pekerjaan, metode pelaksanaan pekerjaan, jenis alat berat yang digunakan, produktivitas alat berat dan biayanya, alternatif kombinasi alat berat, tujuan optimasi, variable keputusan, dan kendalanya serta memformulasikannya, selanjutnya melakukan proses optimasi untuk setiap alternatif kombinasi menggunakan Metode Simpleks dengan bantuan aplikasi Lindo, dan pengambilan keputusan alternatif yang direncanakan yaitu jumlah dan jenis alat yang paling optimum dengan biaya yang paling minimum.

Hasil Penelitian

Identifikasi Item Pekerjaan

Pelaksanaan pekerjaan bangunan pengelak Bendungan X yang menggunakan alat berat yaitu galian inlet, galian outlet, galian terowongan, dan pengecoran tunnel.



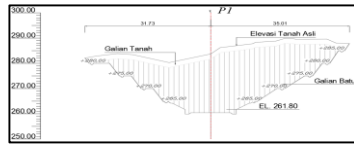
Gambar 1. Site Plan Bendungan X

Sumber: Dokumen KSO-Rayakonsult-BSI-CEC

Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan bangunan pengelak ditentukan berdasarkan data BOQ dan gambar

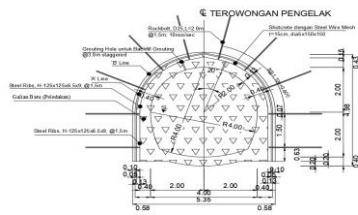
rencana pada setiap pekerjaan, diantaranya seperti pada Gambar 2 - 4.



Gambar 2. Potongan Melintang Galian Batu Inlet STA 1



Gambar 3. Potongan Melintang Galian Batu Inlet STA 2



Gambar 4. Potongan Melintang Galian Terowongan

Tabel 1. Rekapitulasi Volume Pekerjaan

No.	Pekerjaan	No. STA	Jarak (m)	Luas (m ²)	Volume Asli (m ³)	Faktor Konversi	Volume Lepas (m ³)	Jenis Tanah
1	Gal Tnh Inlet	0-6	175	468,58	11.714,49	1,25	14.643,11	Tnh biasa berbatu
2	Gal Batuan Inlet	0-6	175	2.543,26	63.581,46	1,65	104.909,41	Gal Tnh Batuan
3	Gal Tnh Outlet	18-23	150	1.263,29	15.791,13	1,25	19.738,91	Tanah biasa berbatu
4	Gal Batu Outlet	18-25	200	6.229,81	155.745,34	1,65	256.979,81	Gal Tnh Batuan
5	Gal Tnh Terowongan	4-20	425	397,14	9.928,43	1,80	17.871,17	Gal Tnh Keras
6	Pek Tunnel thp 1	4-20	425	47,94	1.198,39			Pengecoran beton
7	Pek Tunnel thp 2	4-20	425	66,32	1.657,92			Pengecoran beton

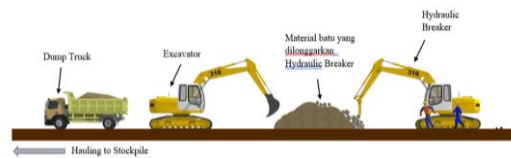
Strategi dan Metode Pelaksanaan Pekerjaan

Strategi pada pekerjaan galian tanah Inlet dikerjakan dengan cara galian terbuka. Proses galian dilakukan secara bertahap yang dikerjakan per STA secara berurutan mulai dari STA.0 s/d STA 6. Hasil galian dibuang ke borrow area dengan jarak ± 0.75 km. Alat berat yang digunakan pada pekerjaan ini yaitu Excavator, Bulldozer, dan Dump Truck. Pergerakan alat berat galian tanah inlet diilustrasikan pada Gambar 5.



Gambar 5. Ilustrasi Pekerjaan Galian Tanah Inlet

Proses pekerjaan galian batu inlet dimulai setelah galian tanah inlet selesai, dan dikerjakan secara bertahap mulai dari STA.0 s/d STA 6 secara berurutan. Hasil galian batu dibuang ke stockpile dengan jarak ± 0.75 km. Alat berat pekerjaan ini yaitu Excavator, Hydraulic breaker, dan Dump Truck. Pergerakan alat berat pada galian batu inlet diilustrasikan pada Gambar 6. Ilustrasi pekerjaan galian outlet juga hampir sama dengan galian inlet.



Gambar 6. Ilustrasi Pekerjaan Galian Batu Inlet



Gambar 8. Ilustrasi Pengecoran Bottom Tunnel



Gambar 9. Ilustrasi Pengecoran Upper Tunnel

Produktivitas Alat Berat

Jenis dan type alat berat yang dapat digunakan sebagai berikut: Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2 kapasitas blade 3,4m³ (BD1); Bulldozer Tipe CAT D5RAXL kapasitas blade 3,18 m³ (BD2); Excavator Tipe Komatsu PC 200-8 Kapasitas Bucket: 1,00 m³ (EX1); Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G Kapasitas Bucket: 0,80 m³ (EX2); Excavator Tipe Kobelco SK-200 Kapasitas Bucket: 0,93 m³ (EX3); Dump Truck Tipe FE SHD K Kapasitas Dump: 8 m³ (DT1); Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ Kapasitas Dump: 14 m³ (DT2); Dump Truck Tipe Hino FM 260 JM Kapasitas Dump: 20 m³ (DT3); Hydarulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8 + JTHB 210-3 Tool Diameter: 13,5 cm (HB1); Wheel Loader Tipe komatsu WA200-8 Kapasitas Bucket: 1.50 m³ (WL1); Wheel Loader Tipe Caterpillar 930K Kapasitas Bucket: 0.8 m³ (WL2); Wheel Loader Tipe komatsu WA320-5 Kapasitas Bucket: 2.8 m³ (WL3); Truck Mixer Tipe EURO4 FM 280-JM Kapasitas Drum = 7 m³ dan Kapasitas Mixing = 5 m³ (TM1); Truck Mixer Tipe SINOTRUK HOWO Kapasitas Drum = 5 m³ dan Kapasitas Mixing = 3 m³ (TM2); dan Concrete Pump Tipe KCP20Z120 (CP1).

Hasil perhitungan produktivitas alat berat berdasarkan Permen PUPR No. 01 Tahun 2022 untuk tiap pekerjaan disajikan dalam Tabel 2 - 7.

Tabel 2. Produktivitas Alat Berat Galian Tanah Inlet

JENIS ALAT BERAT	PRODUKTIVITAS SATUAN	KETERANGAN
Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2	190,49	M ³ /jam
Bulldozer Tipe CAT D5RAXL	178,16	M ³ /jam
Excavator Tipe Komatsu PC210-103M0	167,68	M ³ /jam
Excavator Tipe Hitachi ZN200-5G	134,14	M ³ /jam
Excavator Tipe Kobelco SK-200	155,94	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	51,91	M ³ /jam Excavator Tipe Komatsu PC210-
Dump Truck Tipe FE SHD K	47,48	M ³ /jam Excavator Tipe Hitachi ZN200-5G
Dump Truck Tipe FE SHD K	50,49	M ³ /jam Excavator Tipe Kobelco SK-200
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	70,98	M ³ /jam Excavator Tipe Komatsu PC210-
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	62,96	M ³ /jam Excavator Tipe Hitachi ZN200-5G
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	68,36	M ³ /jam Excavator Tipe Kobelco SK-200

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 3. Produktivitas Alat Berat Galian Batu Inlet

JENIS ALAT BERAT	PRODUKTIFITAS SATUAN	KETERANGAN
Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8	15.00	M ³ /jam
Excavator Tipe Komatsu PC210-10M0	32.39	M ³ /jam
Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G	25.91	M ³ /jam
Excavator Tipe Kobelco SK-200	30.12	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	19.72	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	16.67	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	18.69	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	22.26	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	18.45	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	20.96	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	23.47	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	19.27	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	22.03	M ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4. Produktivitas Alat Berat Galian Tanah Outlet

JENIS ALAT BERAT	PRODUKTIFITAS SATUAN	KETERANGAN
Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2	190.49	M ³ /jam
Bulldozer Tipe CAT D5RAXL	178.16	M ³ /jam
Excavator Tipe Komatsu PC210-10M0	167.68	M ³ /jam
Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G	134.14	M ³ /jam
Excavator Tipe Kobelco SK-200	155.94	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	44.70	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	41.38	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	43.65	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	63.04	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	56.63	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	60.96	M ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Produktivitas Alat Berat Galian Batu Outlet

JENIS ALAT BERAT	PRODUKTIFITAS SATUAN	KETERANGAN
Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8	15.00	M ³ /jam
Excavator Tipe Komatsu PC210-10M0	32.39	M ³ /jam
Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G	25.91	M ³ /jam
Excavator Tipe Kobelco SK-200	30.12	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	18.46	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	15.75	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	17.55	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	21.32	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	17.79	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	20.12	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	22.73	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	18.77	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	21.37	M ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 6. Produktivitas Alat Berat Galian Terowongan

JENIS ALAT BERAT	PRODUKTIFITAS SATUAN	KETERANGAN
Wheel Loader Tipe Komatsu WA320-5	79.68	M ³ /jam
Wheel Loader Tipe Liugong 816C	70.83	M ³ /jam
Wheel Loader Tipe Komatsu WA320-5	247.89	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	34.93	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	32.77	M ³ /jam
Dump Truck Tipe FE SHD K	54.44	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	43.78	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	40.44	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	79.50	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	48.72	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	44.62	M ³ /jam
Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	57.44	M ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. Produktivitas Alat Berat Pengecoran Terowongan

JENIS ALAT BERAT	PRODUKTIFITAS SATUAN	KETERANGAN
Truck Mixer Tipe EURO4 FM 280-IM	16.54	M ³ /jam
Truck Mixer Tipe SINOTRUK HOWO	9.20	M ³ /jam
Concrete Pump Tipe KCP20Z120	24.96	M ³ /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

Penentuan Type dan Kombinasi Alat Berat

Kombinasi alat berat yang dapat digunakan pada pekerjaan ini disajikan dalam Tabel 8 –13.

Tabel 8. Kombinasi Alat Berat Galian Tanah Inlet

Kombinasi 1	EX 1	DT 1	BD1	Keterangan kode alat berat:
Kombinasi 2	EX 2	DT 1	BD1	BD 1 : Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2
Kombinasi 3	EX 3	DT1	BD1	BD 2 : Bulldozer Tipe CAT D5RAXL
Kombinasi 4	EX 1	DT 2	BD1	EX 1 : Excavator Tipe Komatsu PC200-10M0
Kombinasi 5	EX 2	DT 2	BD1	EX 2 : Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G
Kombinasi 6	EX 3	DT 2	BD1	EX 3 : Excavator Tipe Kobelco SK-200
Kombinasi 7	EX 1	DT 1	BD2	DT 1 : Dump Truck Tipe FE SHD K
Kombinasi 8	EX 2	DT 1	BD2	DT 2 : Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ
Kombinasi 9	EX 3	DT1	BD2	
Kombinasi 10	EX 1	DT 2	BD2	
Kombinasi 11	EX 2	DT 2	BD2	
Kombinasi 12	EX 3	DT 2	BD2	

Tabel 9. Kombinasi Alat Berat Galian Batu Inlet

Kombinasi 1	EX 1	DT 1	HB 1	Keterangan kode alat berat:
Kombinasi 2	EX 2	DT 1	HB 1	HB 1 : Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8 + JTBH210-3
Kombinasi 3	EX 3	DT1	HB 1	EX 1 : Excavator Tipe Komatsu PC200-10M0
Kombinasi 4	EX 1	DT 2	HB 1	EX 2 : Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G
Kombinasi 5	EX 2	DT 2	HB 1	EX 3 : Excavator Tipe Kobelco SK-200
Kombinasi 6	EX 3	DT 2	HB 1	DT 1 : Dump Truck Tipe FE SHD K
Kombinasi 7	EX 1	DT 3	HB 1	DT 2 : Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ
Kombinasi 8	EX 2	DT 3	HB 1	DT 3 : Dump Truck Tipe Hino FM 260 J
Kombinasi 9	EX 3	DT 3	HB 1	

Tabel 11. Kombinasi Alat Berat Galian Tanah Outlet

Kombinasi 1	EX 1	DT 1	BD1	Keterangan kode alat berat:
Kombinasi 2	EX 2	DT 1	BD1	BD 1 : Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2
Kombinasi 3	EX 3	DT1	BD1	BD 2 : Bulldozer Tipe CAT D5RAXL
Kombinasi 4	EX 1	DT 2	BD1	EX 1 : Excavator Tipe Komatsu PC200-10M0
Kombinasi 5	EX 2	DT 2	BD1	EX 2 : Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G
Kombinasi 6	EX 3	DT 2	BD1	EX 3 : Excavator Tipe Kobelco SK-200
Kombinasi 7	EX 1	DT 1	BD2	DT 1 : Dump Truck Tipe FE SHD K
Kombinasi 8	EX 2	DT 1	BD2	DT 2 : Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ
Kombinasi 9	EX 3	DT1	BD2	
Kombinasi 10	EX 1	DT 2	BD2	
Kombinasi 11	EX 2	DT 2	BD2	
Kombinasi 12	EX 3	DT 2	BD2	

Tabel 10. Kombinasi Alat Berat Galian Batu Outlet

Kombinasi 1	EX 1	DT 1	HB 1	Keterangan kode alat berat:
Kombinasi 2	EX 2	DT 1	HB 1	HB 1 : Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8 + JTBH 210-3
Kombinasi 3	EX 3	DT1	HB 1	EX 1 : Excavator Tipe Komatsu PC200-10M0
Kombinasi 4	EX 1	DT 2	HB 1	EX 2 : Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G
Kombinasi 5	EX 2	DT 2	HB 1	EX 3 : Excavator Tipe Kobelco SK-200
Kombinasi 6	EX 3	DT 2	HB 1	DT 1 : Dump Truck Tipe FE SHD K
Kombinasi 7	EX 1	DT 3	HB 1	DT 2 : Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ
Kombinasi 8	EX 2	DT 3	HB 1	DT 3 : Dump Truck Tipe Hino FM 260 JM
Kombinasi 9	EX 3	DT 3	HB 1	

Tabel 12. Kombinasi Alat Berat Galian Terowongan

Kombinasi 1	WL1	DT1	Keterangan kode alat berat:
Kombinasi 2	WL2	DT1	HB 1 : Wheel Loader Tipe komatsu WA150-5
Kombinasi 3	WL3	DT1	WL 1 : Wheel Loader Tipe komatsu WA320-5
Kombinasi 4	WL1	DT2	WL 2 : Wheel Loader Tipe Liugong 816C
Kombinasi 5	WL2	DT2	WL 3 : Wheel Loader Tipe komatsu WA320-5
Kombinasi 6	WL3	DT2	DT 1 : Dump Truck Tipe FE SHD K
Kombinasi 7	EX 1	DT 3	DT 2 : Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ
Kombinasi 8	EX 2	DT 3	DT 3 : Dump Truck Tipe Hino FM 260 JM
Kombinasi 9	EX 3	DT 3	

Tabel 13. Alternatif Alat Berat Pengecoran Terowongan

Kombinasi 1	TM 1	CP 1	Keterangan kode alat berat:
			TM 1 : Truck Mixer Tipe Hino EURO4 FM 280-JM
Kombinasi 2	TM 2	CP 1	TM 2 : Truck Mixer Tipe SINOTRUK HOWO
			CP 1 : Concrete Pump Tipe KCP20Z120

Penentuan Biaya Alat Berat

Biaya alat berat merupakan biaya yang akan dikeluarkan untuk sewa alat berat, bahan bakar, dan upah operator, serta biaya perawatan, minyak pelumas alat, mobilisasi dan demobilisasi yang disajikan dalam Tabel 14.

Tabel 14. Biaya Alat Berat Per Jam

No	NAMA ALAT BERAT	Biaya Sewa dan Biaya Operasional	Biaya Mobilisasi / Km > 100 Km	Biaya Mobilisasi Demobilisasi
1	Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2	Rp 489.878.58	Rp 15.854.66	Rp 5.901.103.20
2	Bulldozer Tipe CAT D5R A XL	Rp 418.625.52	Rp 15.071.69	Rp 5.609.681.88
3	Excavator Tipe Komatsu PC210-10M0	Rp 496.936.06	Rp 37.192.30	Rp 13.842.974.85
4	Excavator Tipe Hitachi ZX200-5G	Rp 473.588.13	Rp 40.898.75	Rp 15.222.515.30
5	Excavator Tipe Kobelco SK-200	Rp 469.938.74	Rp 40.898.75	Rp 15.222.515.30
6	Dump Truck Tipe FE SHD K	Rp 294.256.43	Rp 5.016.60	Rp 1.867.180.00
7	Dump Truck Tipe Hino 500 FM 235 JJ	Rp 455.735.19	Rp 5.016.60	Rp 1.867.180.00
8	Dump Truck Tipe Hino FM 260JM	Rp 518.890.35	Rp 5.016.60	Rp 1.867.180.00
9	Wheel Loader Tipe komatsu WA150-5	Rp 461.767.24	Rp 22.416.92	Rp 8.343.576.92
10	Wheel Loader Tipe Liugong 816C	Rp 344.243.06	Rp 15.352.37	Rp 5.714.151.68
11	Wheel Loader Tipe komatsu WA320-5	Rp 507.266.88	Rp 32.459.12	Rp 12.081.285.84
12	Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8	Rp 415.742.40	Rp 36.382.85	Rp 13.541.695.90
13	Truck Mixer Tipe EURO4 FM 280-JM	Rp 583.153.44	Rp 5.016.60	Rp 1.867.180.00
14	Truck Mixer Tipe SINOTRUK HOWO	Rp 527.489.88	Rp 5.016.60	Rp 1.867.180.00
15	Concrete Pump Tipe KCP20Z120	Rp 971.807.46	Rp 5.016.60	Rp 1.867.180.00

Sumber: Hasil Perhitungan

Proses Optimasi

Dalam penelitian ini terdapat beberapa kendala dalam menentukan optimasi yaitu kendala volume, kendala ketergantungan alat, dan kendala luas area. Sedangkan jumlah ketersediaan alat dan biaya tidak menjadi kendala.

Kendala volume berpengaruh pada durasi pekerjaan, karena apabila produktivitas alat berat kecil maka waktu yang dibutuhkan lama, dan sebaliknya namun biaya yang dikeluarkan kemungkinan lebih besar. Sedangkan kendala ketergantungan alat akan berpengaruh terhadap waktu penggunaan alat seperti excavator bekerja

bergantung pada dump truck dan bulldozer, sehingga proses menunggu dapat mempengaruhi pada produktivitasnya. Kendala luas area menunjukkan adanya keterbatasan luas area pekerjaan, sehingga tidak dapat menggunakan alat berat dengan jumlah yang banyak melebihi kapasitas area.

Oleh karena itu perlu disajikan beberapa alternatif kombinasi alat berat mengingat saling ketergantungan alat berat. Kombinasi alat dibuat berdasarkan jenis alat berat yang digunakan pada masing-masing pekerjaan.

Optimasi Alat Berat Galian Tanah Inlet

Optimasi dilakukan pada setiap alternatif kombinasi alat dari 12 alternatif yang direncanakan. Contoh proses optimasi pada alternatif 1 dengan langkah sebagai berikut:

1. Penentuan Variabel Keputusan
Variabel keputusannya yaitu jumlah kebutuhan masing-masing alat berat per jam: X_1 = Jumlah excavator tipe Komatsu PC200-10M0 (EX₁); X_2 = Jumlah dump truck tipe FESHDK (DT₁); dan X_3 = Jumlah bulldozer tipe Komatsu D85E SS-2 (BD₁).
2. Penentuan Fungsi Tujuan
Tujuan optimasi alat berat ini untuk meminimalisir biaya penggunaan alat berat galian tanah inlet. Biaya penggunaan alat yaitu: C_1 : Biaya EX₁ = Rp. 496,936; C_2 : Biaya DT₁ = Rp. 294,256; dan C_3 : Biaya BD₁ = Rp. 489,879. Fungsi tujuan alternatif kombinasi 1, yaitu:
 $Z \text{ min} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3$
 $Z \text{ min} = \text{Rp}496.936X_1 + \text{Rp}294.256X_2 + \text{Rp}489.879X_3$
3. Penentuan Fungsi Kendala
 - a. Kendala Volume
Jika volume galian sebesar 14.643,11 m³ dengan durasi 10,92 hari atau 87,333 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam atau produktivitas yang harus dicapai adalah 167,677 m³/jam. Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga produktivitas alat yang digunakan harus lebih besar dari target volume pekerjaan yang harus diselesaikan. Bentuk fungsi kendalanya sebagai berikut: 1) Kendala volume untuk EX₁: $167,677X_1 \geq 167,677$; 2) Kendala volume untuk DT₁: $51,91X_2 \geq 167,677$; dan 3) Kendala volume untuk BD₁: $190,49X_3 \geq 167,677$.
 - b. Kendala ketergantungan alat
merupakan kendala kebutuhan jumlah alat yang saling ketergantungan antara jenis

alat satu dengan alat jenis yang lain. Ketergantungan EX₁, DT₁, dan BD₁ berdasarkan pada produktivitas, durasi pekerjaan, volume pekerjaan dan siklus alat, dijabarkan sebagai berikut: dengan Volume Galian inlet (tanah lepas) 14.643,11 m³ dan durasi 87,333 jam, dan perbandingan produktivitas alat yaitu EX₁:DT₁:BD₁ atau 167,67:51,91: 140,49 yang harus menyelesaikan volume pekerjaan galian inlet selama 87,333 jam. Perbandingan alat ini dapat dirumuskan menjadi 1:4,24:0,88 atau yang paling mendekati dalam pembulatan yaitu 4: 12,92:3,52. Sehingga fungsi kendala ketergantungan alat yaitu: 1) EX₁:DT₁ = 4:12,92, menjadi: $12,92X_1 - 4X_2 = 0$; 2) EX₁:BD₁ = 4:3,52, menjadi: $3,52X_1 - 4X_3 = 0$; dan 3) DT₁:BD₁=12,92:3,52 menjadi: $3,52X_2 - 12,92X_3 = 0$.

Fungsi kendala ketergantungan alat untuk alternative lainnya dilakukan dengan cara yang sama.

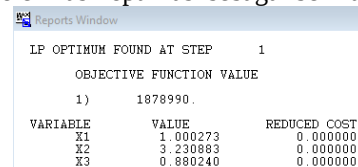
- c. Kendala ketidak negatifa: $X_1, X_2, X_3 \geq 0$

4. Proses Optimasi

Proses optimasi dalam hal ini menggunakan bantuan Program LINDO 6.1, yang membutuhkan penulisan program linier sesuai dengan penulisan model aplikasi tersebut, yaitu sebagai berikut:

```
Minimize 496936 X1 + 294256 X2 + 489879 X3
Subject to
167.677 X1 >= 167.677
51.91 X2 >= 167.677
190.49 X3 >= 167.677
12.92X1 - 4X2 = 0
3.52X1 - 4X3 = 0
3.52X2 - 12.92X3 = 0
X1 >= 0
X2 >= 0
X3 >= 0
End
```

Selanjutnya formulasi tersebut diinputkan kedalam program Lindo 6.1, sehingga diperoleh hasil optimasi sebagai berikut:



LP OPTIMUM FOUND AT STEP 1		
OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1) 1878990.		
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.000273	0.000000
X2	3.230883	0.000000
X3	0.880240	0.000000

Dari hasil optimasi diperoleh biaya optimum Rp 1.878.990 dan jumlah alat berat optimum pada alternatif kombinasi 1 galian tanah inlet yang dibulatkan sebagai berikut: Excavator tipe Komatsu PC200-10M0 (EX₁) = 1.00 ~ 1 unit; Dump Truck tipe FE SHD K (DT₁) = 3,23 ~ 4 unit; Bulldozer tipe Komatsu D85E

SS-2 (BD1 = 0.88 ~ 1 unit. Dengan demikian biaya alat berat optimum setelah pembulatan menjadi Rp 2.163.840, dalam hal ini terdapat selisih Rp 284.850 dikarenakan adanya pembulatan jumlah alat berat.

Penentuan fungsi tujuan, fungsi kendala, dan proses optimasi untuk pekerjaan lainnya dilakukan dengan cara yang sama dengan diatas untuk semua alternative pada pekerjaan galian tanah inlet, dan hasilnya disajikan dalam Tabel 15.

Tabel 15 Hasil Optimasi Alat Berat Galian Tanah Inlet

PEKERJAAN GALIAN TANAH INLET					
KOMBINASI ALAT BERAT	JUMLAH UNIT	HARGA	TOTAL HARGA/JAM	TOTAL HARGA	
ALTERNATIF 1					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.163.840
ALTERNATIF 2					
EX 2	2	Rp 473.588	Rp 947.176,26		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.614.081
ALTERNATIF 3					
EX 1	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.606.782
ALTERNATIF 4					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.354.020
ALTERNATIF 5					
EX 2	2	Rp 473.588	Rp 947.176,26		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.804.260
ALTERNATIF 6					
EX 3	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.796.962
ALTERNATIF 7					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.092.587
ALTERNATIF 8					
EX 2	2	Rp 473.588	Rp 947.176,26		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.542.827
ALTERNATIF 9					
EX 3	1	Rp 469.939	Rp 469.938,74		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.065.590
ALTERNATIF 10					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 2	4	Rp 455.735	Rp 1.822.940,74		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.738.502
ALTERNATIF 11					
EX 2	2	Rp 473.588	Rp 947.176,26		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.733.007
ALTERNATIF 12					
EX 3	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.725.709

Tabel 16 Hasil Optimasi Alat Berat Galian Batu Inlet

PEKERJAAN GALIAN BATU INLET					
KOMBINASI ALAT BERAT	JUMLAH UNIT	HARGA	TOTAL HARGA/JAM	TOTAL HARGA	
ALTERNATIF 1					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 1	2	Rp 294.256	Rp 588.512,05		
HB 1	7	Rp 415.742	Rp 2.910.196,82	Rp	3.995.646
ALTERNATIF 2					
EX 2	1	Rp 473.588	Rp 473.588,13		
DT 1	3	Rp 294.256	Rp 882.769,28		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.850.812
ALTERNATIF 3					
EX 3	1	Rp 469.939	Rp 469.938,74		
DT 1	3	Rp 294.256	Rp 882.769,28		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.847.162
ALTERNATIF 4					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 2	2	Rp 455.735	Rp 911.470,37		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.902.861
ALTERNATIF 5					
EX 2	1	Rp 473.588	Rp 473.588,13		
DT 2	2	Rp 455.735	Rp 911.470,37		
HB 1	7	Rp 415.742	Rp 2.910.196,82	Rp	4.295.255
ALTERNATIF 6					
EX 3	1	Rp 469.939	Rp 469.938,74		
DT 2	2	Rp 455.735	Rp 911.470,37		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.875.864
ALTERNATIF 7					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 3	2	Rp 518.890	Rp 1.037.780,71		
HB 1	7	Rp 415.742	Rp 2.910.196,82	Rp	4.444.914
ALTERNATIF 8					
EX 2	1	Rp 473.588	Rp 473.588,13		
DT 3	2	Rp 518.890	Rp 1.037.780,71		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	4.005.823
ALTERNATIF 9					
EX 2	1	Rp 469.939	Rp 469.938,74		
DT 3	2	Rp 518.890	Rp 1.037.780,71		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	4.002.174

Sumber: Hasil perhitungan

Tabel 17 Hasil Optimasi Alat Berat Galian Tanah Outlet

PEKERJAAN GALIAN TANAH OUTLET					
KOMBINASI ALAT BERAT	JUMLAH UNIT	HARGA	TOTAL HARGA/JAM	TOTAL HARGA	
ALTERNATIF 1					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.163.840
ALTERNATIF 2					
EX 2	2	Rp 473.588	Rp 947.176,26		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.614.081
ALTERNATIF 3					
EX 1	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.606.782
ALTERNATIF 4					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.354.020
ALTERNATIF 5					
EX 2	2	Rp 473.588	Rp 947.176,26		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.804.260
ALTERNATIF 6					
EX 3	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.796.962
ALTERNATIF 7					

Tabel 17 Hasil Optimasi Alat Berat Galian Tanah Outlet

ALTERNATIF 6					
EX 3	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878,58	Rp	2.796.962
ALTERNATIF 7					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.092.587
ALTERNATIF 8					
EX 2	1	Rp 473.588	Rp 473.588,13		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.069.239
ALTERNATIF 9					
EX 3	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 1	4	Rp 294.256	Rp 1.177.025,71		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.535.529
ALTERNATIF 10					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.282.767
ALTERNATIF 11					
EX 2	2	Rp 473.588	Rp 947.176,26		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.733.007
ALTERNATIF 12					
EX 3	2	Rp 469.939	Rp 939.877,48		
DT 2	3	Rp 455.735	Rp 1.367.205,56		
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625,52	Rp	2.725.709

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 18 Hasil Optimasi Alat Berat Galian Batu Outlet

PEKERJAAN GALIAN BATU OUTLET					
KOMBINASI ALAT BERAT	JUMLAH UNIT	HARGA	TOTAL HARGA/JAM	TOTAL HARGA	
ALTERNATIF 1					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 1	3	Rp 294.256	Rp 882.769,28		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.874.160
ALTERNATIF 2					
EX 2	1	Rp 473.588	Rp 473.588,13		
DT 1	3	Rp 294.256	Rp 882.769,28		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.850.812
ALTERNATIF 3					
EX 3	1	Rp 469.939	Rp 469.938,74		
DT 1	3	Rp 294.256	Rp 882.769,28		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.847.162
ALTERNATIF 4					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 2	2	Rp 455.735	Rp 911.470,37		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.902.861
ALTERNATIF 5					
EX 2	1	Rp 473.588	Rp 473.588,13		
DT 2	2	Rp 455.735	Rp 911.470,37		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.879.513
ALTERNATIF 6					
EX 3	1	Rp 469.939	Rp 469.938,74		
DT 2	2	Rp 455.735	Rp 911.470,37		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	3.875.864
ALTERNATIF 7					
EX 1	1	Rp 496.936	Rp 496.936,06		
DT 3	2	Rp 518.890	Rp 1.037.780,71		
HB 1	8	Rp 415.742	Rp 3.325.939,22	Rp	4.860.656
ALTERNATIF 8					
EX 2	1	Rp 473.588	Rp 473.588,13		
DT 3	2	Rp 518.890	Rp 1.037.780,71		
HB 1	6	Rp 415.742	Rp 2.494.454,42	Rp	4.005.823
ALTERNATIF 9					
EX 2	1	Rp 469.939	Rp 469.938,74		
DT 3	2	Rp 518.890	Rp 1.037.780,71		
HB 1	7	Rp 415.742	Rp 2.910.196,82	Rp	4.417.916

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 19 Hasil optimasi Alat Berat Galian Terowongan

PEKERJAAN GALIAN TEROWONGAN					
KOMBINASI ALAT BERAT	JUMLAH 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		801.523
DT 1	1	Rp 294.256	Rp 294.256,43	Rp	
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		
ALTERNATIF 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		

Tabel 20 Hasil Optimasi dan Biaya Mobdemob

Rekap Biaya Penggunaan Alat Berat dan Mobilisasi - Demobilisasi					
KOMBINASI ALAT BERAT	JUMLAH UNIT	HARGA	TOTAL HARGA JAM	Biaya Mob- Demob	TOTAL HARGA
PEKERJAAN GALIAN TANAH INLET					
EX 3	1	Rp 469.939	Rp 469.938.74	Rp 15.222.515.30	
DT 1	2	Rp 294.256	Rp 588.512.45	Rp 3.734.360.00	Rp 26.496.308.66
BD1	1	Rp 489.879	Rp 489.878.58	Rp 5.901.101.20	
PEKERJAAN GALIAN BATU INLET					
EX 3	3	Rp 469.939	Rp1.409.816.22	Rp 38.056.288.24	
DT 1	5	Rp 294.256	Rp1.471.282.14	Rp 7.468.720.00	Rp 132.150.736
HB 1	6	Rp 415.742	Rp2.494.454.42	Rp 81.250.175.39	
PEKERJAAN GALIAN TANAH OUTLET					
EX 3	1	Rp 469.939	Rp 469.938.74	Rp 15.222.515.30	
DT 1	3	Rp 294.256	Rp 882.769.28	Rp 5.601.540.00	Rp 28.205.071
BD2	1	Rp 418.626	Rp 418.625.52	Rp 5.069.681.88	
PEKERJAAN GALIAN BATU OUTLET					
EX 3	3	Rp 469.939	Rp1.409.816.22	Rp 38.056.288.24	
DT 1	5	Rp 294.256	Rp1.471.282.14	Rp 8.402.310.00	Rp 133.084.326
HB 1	6	Rp 415.742	Rp2.494.454.42	Rp 81.250.175.39	
PEKERJAAN GALIAN TEROWONGAN					
WL 2	1	Rp 344.243	Rp 344.243.06	Rp 5.714.151.68	
DT 1	1	Rp 294.256	Rp 294.256.43	Rp 931.590	Rp 7.286.241
PEKERJAAN PENGECORAN TEROWONGAN					
TM 2	1	Rp 527.400	Rp 527.400.88	Rp 1.867.180.00	
CP 1	1	Rp 971.807	Rp 971.807.46	Rp 1.867.180.00	Rp 5.233.657

Sumber: hasil Perhitungan

Kesimpulan

Dari hasil penelitian tentang optimasi penggunaan alat berat pada proyek Bendungan X dengan menggunakan program linier metode simpleks dapat disimpulkan sebagai berikut: Alternatif kombinasi alat berat yang paling optimum yaitu: 1) Pada pekerjaan galian tanah inlet yaitu alternatif kombinasi 9 dengan biaya total Rp 2.065.590, menggunakan 1 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 4 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 1 unit Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2; 2) Pada pekerjaan galian batu inlet yaitu alternatif kombinasi 3 dengan biaya total Rp5,375,552.776, menggunakan 3 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 5 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 6 unit Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8+ JTHB 210-3; 3) Pada pekerjaan galian tanah outlet yaitu alternatif kombinasi 9 dengan biaya total Rp1,771,333.543, dengan menggunakan 1 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 3 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 1 unit Bulldozer Tipe CAT D5RAXL; 4) Pada pekerjaan galian batu outlet yaitu alternatif kombinasi 3 dengan biaya total Rp5,375,552.776, menggunakan 3 unit Excavator Tipe Kobelco SK-200, 5 unit Dump Truck Tipe FE SHD K, dan 6 unit Hydraulic Breaker Tipe Komatsu PC 200-8 +JTHB 210-3; 5) Pada pekerjaan galian terowongan yaitu alternatif kombinasi 2 dengan biaya total Rp 638.499, menggunakan 1 unit Wheel Loader Tipe LiuGong 816C dan 1 unit Dump Truck Tipe FE SHD K; 6) Pada pekerjaan pengecoran terowongan yaitu alternatif kombinasi 2 dengan biaya total Rp1.499.297, menggunakan 1 unit Truck Mixer Tipe SINOTRUK HOWO dan 1 unit Concrete Pump Tipe KCP20Z120.

Saran

1. Dalam melakukan optimasi alat berat yang akan digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan

harus memperhatikan jenis dan volume pekerjaan, tingkat kesulitannya, area pekerjaan, ketersediaan peralatan, jenis dan tipe alat yang digunakan, durasi pekerjaan, jam kerja alat, serta peraturan/kebijakan yang berlaku, agar dapat menginterpretasikan permasalahan dengan benar dan merumuskannya kedalam persamaan program linier dengan lebih akurat sehingga hasil optimasi dapat direalisasikan dengan baik.

Daftar Rujukan

- Aisyah, Nurul. (2015). Bangunan Pelengkap Bendungan. <https://id.scribd.com/doc/289756065/BANGUNAN-PELENGKAP-BENDUNGAN>.
- Huda, A.N. (2016). *Optimasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Tanah pada Proyek Pembangunan Bendung Gerak Sembayat dengan Program Linier*. Politeknik Negeri Malang.
- Jawat, I Wayan. 2017. Metode Pelaksanaan Konstruksi Revetment. Jurnal Jurusan Teknik Sipil, Universitas Warmadewa, Denpasar, Bali.
- Nida, F. 2016. Optimasi Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Timbunan Maindam dan Cofferdam Bendungan Tugu Trenggalek. Skripsi : Politeknik Negeri Malang.
- Notoprasetio, Denny Dwiputra. 2017. Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Underpass Mayjen Sungkono Surabaya Jurnal Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Oktavia, LD., dkk. 2020. Optimasi Alat Berat pada Proyek pembangunan Pengendali Banjir Kali X Kabupaten Blitar. Jurnal online skripsi. 2020.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman AHSP Bidang PU.
- Rafflesia, Ulfasari & Widodo, Fanani Haryo. (2014). Pemrograman Linier. ISBN.978-602-9071-14-6. Badan Penerbitan Fakultas Pertanian UNIB. Bengkulu. Tersedia di repository.unib.ac.id/10187/1/Buku Pemrograman... · PDF file
- Ramadhani, FS. (2023). Laporan Penelitian yang dilakukan pada terowongan inlet Bendungan Bagong di Kabupaten. Trenggalek. <http://repository.narotama.ac.id/1902/2/bab%20IV.pdf>