

# Evaluasi Produktivitas Alat Berat pada Pekerjaan Galian Batu Outlet STA 5+50 Sampai 9+50 (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Bendungan Cijurey Paket 1)

Guruh Agpih Sugara<sup>1</sup>, Pungky Dharma Saputra<sup>2</sup>, Ekodjati Tunggulgeni<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi, Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan Republik Indonesia, Bogor, Indonesia 16810

<sup>1</sup>E-mail: guruhagpih@gmail.com

*Abstract — Productivity is a key factor in the success of construction projects. The Cijurey Dam Package 1 is a significant infrastructure project initiated by the Indonesian government to enhance water storage capacity and water resource management in the Cijurey region, West Java. Given the large volume of excavation work involved in the construction of the Cijurey Dam, an optimal combination of heavy equipment is required to complete the work efficiently. The objective of this study is to evaluate the most effective combination of heavy equipment to enhance the productivity of rock excavation work at the outlet of the Cijurey Dam Package 1 project. This research also considers operational and ownership costs for each equipment combination. The study employs both observation and analytical methods. The observation method is used to determine the number of heavy equipment units available on-site, while the analytical method is applied to calculate equipment productivity and unit costs. The findings indicate that increasing the number of excavators to three units, adding six excavator breakers, and increasing the number of dump trucks to eight units can accelerate the work duration by 33.3%, reducing the total completion time to 226.7 hours. Additionally, costs decrease by 9.1% to IDR 1,866,511,155.40. Evaluating productivity enables the selection of the most efficient heavy equipment combination, thereby improving performance and reducing project completion time.*

*Keywords: combination; heavy equipmen;, productivity; rock quarry; unit price.*

*Abstrak — Produktivitas merupakan faktor utama dalam keberhasilan proyek konstruksi. Bendungan Cijurey Paket 1 adalah salah satu proyek infrastruktur penting yang diinisiasi oleh pemerintah Indonesia untuk meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan pengelolaan sumber daya air di wilayah Cijurey, Jawa Barat. Proyek Pembangunan Bendungan Cijurey memiliki volume pekerjaan galian yang besar maka diperlukan kombinasi alat berat yang baik untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengevaluasi kombinasi alat berat yang paling efektif untuk meningkatkan produktivitas pekerjaan galian batu di outlet proyek Bendungan Cijurey 1. Penelitian ini turut mempertimbangkan biaya operasional serta kepemilikan untuk setiap kombinasi alat. Penelitian ini menggunakan kedua metode observasi dan analisis. Jumlah alat berat yang ada di lapangan dihitung dengan metode observasi, dan produktivitas dan harga satuan alat dihitung dengan metode analisis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menambah jumlah excavator menjadi 3 unit, menambah excavator breaker menjadi 6 unit, dan menambah dump truck menjadi delapan unit dapat mempercepat 33,3% waktu pekerjaan menjadi 226,7 jam dengan biaya yang lebih rendah 9,1% menjadi Rp1.866.511.155,40. Evaluasi produktivitas memungkinkan pemilihan kombinasi alat berat yang paling efisien, sehingga dapat meningkatkan kinerja dan mengurangi waktu penyelesaian pekerjaan.*

*Kata-kata kunci: alat berat; galian batu; harga satuan; kombinas; produktivitas.*

## I. PENDAHULUAN

Bendungan merupakan struktur bangunan yang dirancang dengan kokoh untuk menahan dan menampung air, sehingga memungkinkan pengaturan penggunaan air sesuai dengan kebutuhan (Rofikha, Marsudi, & Cahya, 2019). Bendungan dibangun untuk berbagai tujuan, antara lain sebagai penyedia air baku, memenuhi kebutuhan irigasi, dan mengendalikan banjir (Fakhrulloh, Marsudi, & Cahya, 2023). Bendungan Cijurey Paket 1 adalah salah satu proyek infrastruktur penting yang diinisiasi oleh pemerintah Indonesia untuk

meningkatkan kapasitas penyimpanan air dan pengelolaan sumber daya air di wilayah Cijurey, Jawa Barat. Manfaat utama dari proyek ini adalah mengurangi dampak banjir hingga 66% pada wilayah yang sering terkena dampak banjir musiman, meningkatkan luas lahan irigasi baru sekitar 1.000 ha, serta menjaga keberlanjutan sawah di daerah sekitarnya. Selain itu, bendungan dapat digunakan untuk menghasilkan listrik melalui pembangunan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA) (Kementerian PUPR, 2017).

Pada proyek pembangunan infrastruktur, terutama pada konstruksi bendungan, penggunaan alat berat memainkan peran yang sangat vital dalam mencapai efektivitas dan efisiensi kerja. Pekerjaan konstruksi membutuhkan alat berat untuk mempercepat proses kerja dan menghemat waktu penyelesaian (Diasa, Ardana, & Erawan, 2021). Di bendungan, alat berat seperti *excavator*, *bulldozer*, dan *dump truck* sering digunakan untuk pekerjaan (Kusumo, 2022). Salah satu pekerjaan utama dalam konstruksi bendungan adalah pekerjaan galian batu pada bagian *outlet*, yang membutuhkan perencanaan dan pemanfaatan alat berat secara optimal untuk mencapai produktivitas yang diinginkan dengan biaya yang efisien. Produktivitas alat berat sangat dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti kondisi medan, keterampilan operator, jenis dan kapasitas alat, serta pemeliharaan dan pengelolaan waktu kerja (Rochmanhadi, 2004). Efisiensi dalam waktu siklus alat berat adalah hal yang penting. Waktu siklus, juga dikenal sebagai *cycle time* adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit produk di suatu tempat kerja (Nevenda & Wulandari, 2023). Jika alat berat seperti *excavator*, *dump truck*, dan *bulldozer* tidak diatur dengan benar, itu dapat menyebabkan *idle time*, di mana alat berat tidak bekerja secara optimal. Penggunaan alat berat tidak dapat dilakukan secara sembarangan, tetapi harus disertai dengan perhitungan yang tepat mengenai jenis dan jumlah alat yang dibutuhkan (Octavia, Mardhiyah, & Utami, 2021).

Kondisi cuaca ekstrem, seperti hujan lebat atau suhu yang sangat panas, dapat mempengaruhi kinerja alat berat. Pada kondisi hujan, misalnya, tanah menjadi lebih lunak dan licin, membuat alat berat kesulitan bergerak dan beroperasi dengan aman (Patihua, Fanani, & Yuwanto, 2024). Kondisi dan karakteristik material tanah serta batuan sangat beragam di setiap lokasi proyek. Material yang keras memerlukan waktu penggalian lebih lama, meningkatkan konsumsi bahan bakar, dan mempercepat keausan alat. Pemilihan alat berat yang sesuai dengan kondisi dan situasi di lapangan akan memengaruhi nilai produksi dan dapat mencegah keterlambatan jadwal atau kegagalan untuk mencapai target (Suwandi & Putri, 2022).

Peningkatan pemanfaatan alat berat sangat penting tidak hanya untuk produktivitas tetapi juga untuk manajemen biaya (Khan et al., 2022). Ketika waktu operasional bertambah, hal tersebut akan menyebabkan peningkatan biaya dan konsumsi bahan bakar serta emisi yang lebih tinggi (Hajji, 2015). Oleh sebab itu, pemahaman yang menyeluruh mengenai faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja pemeliharaan alat berat sangat penting guna mencapai keberhasilan dalam proyek konstruksi (Widiarto et al., 2024).

Tingkat produksi dalam proses pengangkutan menggunakan *dump truck* termasuk kondisi jalan angkut, kondisi *dump truck* itu sendiri, dan kondisi cuaca (Fanani, 2020). Faktor-faktor yang memengaruhi efektivitas alat berat *excavator* meliputi pemilihan alat berat yang sesuai, kondisi lokasi proyek, serta keterampilan operator (Deshmukh & Mahatme, 2016). Alat berat yang tidak berfungsi dengan baik dapat mengakibatkan penurunan produktivitas, sehingga progres pekerjaan tertunda, berpotensi menimbulkan kecelakaan, serta menambah biaya yang tidak diperlukan (Zaldi, Majid, & Maulina, 2023).

Sebelum pelaksanaan pekerjaan, diperlukan perencanaan yang terstruktur dan komprehensif guna memastikan proyek dapat berjalan secara efektif dan efisien (Muis, Sideman, & Hasyim, 2017). Jenis pekerjaan, pengalokasian, penjadwalan, dan pemilihan peralatan sangat penting untuk mengoptimalkan kemampuan operasionalnya serta memastikan bahwa peralatan lainnya sesuai (Febrianti & Zakia, 2018). Salah satu langkah penting untuk meningkatkan produktivitas adalah memilih alat berat yang sesuai dengan kondisi medan dan sifat material di lokasi proyek (Sarwandi & Royan, 2021).

Penelitian dilaksanakan dengan menghitung produktivitas alat berat dan menganalisis kecepatan proyek pada setiap tahapan pekerjaan di lapangan untuk menentukan seberapa besar pengaruh penggunaan alat berat terhadap biaya dan waktu (Ramdhani & Johari, 2021). Evaluasi akan berpengaruh terhadap produktivitas alat gali-muat dan alat angkut dalam mencapai target produksi yang telah ditetapkan oleh perusahaan (Sitangger, Syahrudin, & Syafrianto, 2019).

## II. METODE

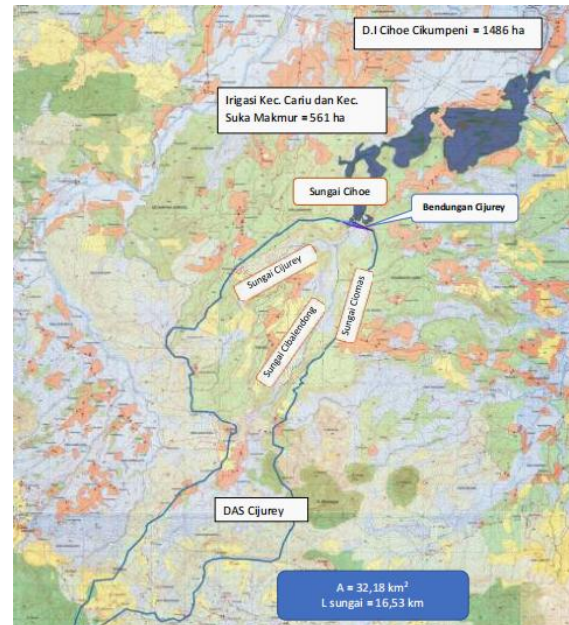
### 1. Desain Penelitian

Desain penelitian kuantitatif dalam evaluasi produktivitas alat berat dilakukan dengan pendekatan berbasis data numerik yang terukur. Metode penelitian kuantitatif adalah proses pengumpulan dan analisis data berbentuk angka dengan menggunakan variabel kendali (Wahyudi et al., 2022). Penelitian kuantitatif adalah pendekatan yang terstruktur untuk menyelidiki fenomena yang dapat diukur dengan menggunakan metode statistik, matematis, atau komputasional (Adnyana, 2024). Penelitian kuantitatif diawali dengan teori, kemudian dilanjutkan dengan perancangan penelitian, pemilihan subjek, pengumpulan data, pengolahan data, analisis data, serta penyusunan kesimpulan (Ali et al., 2022).

Data diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan pencatatan laporan kerja pada alat berat. Analisis data dalam penelitian kuantitatif dapat dilakukan menggunakan alat uji statistik maupun metode perhitungan lainnya (Sugiyono, 2003). Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan rekomendasi optimalisasi penggunaan alat berat guna meningkatkan efisiensi dan efektivitas dalam proyek konstruksi.

### 2. Waktu dan Tempat

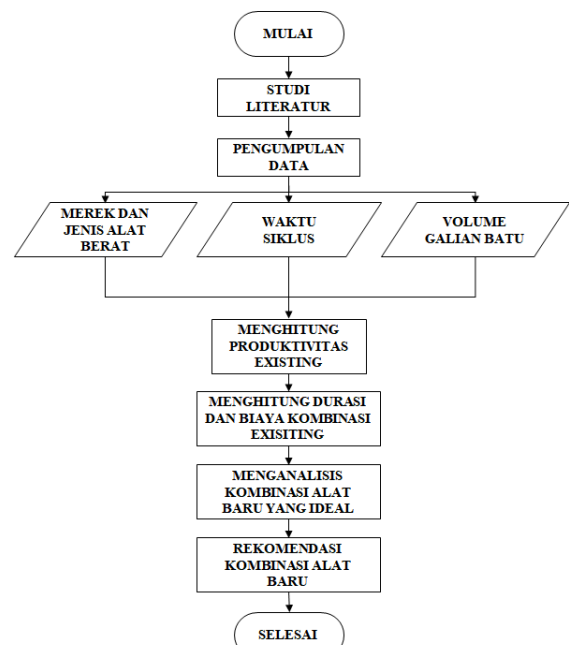
Penelitian dilakukan dari tanggal 22 Juli 2024 hingga 22 Agustus 2024. Lokasi proyek bendungan Cijurey adalah Desa Sukadamai di Kecamatan Sukamakmur, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. Rencana poros Waduk Cijurey terletak di daerah Udit Sungai Cihoe, pada koordinat 107°04'54,30" Bujur Timur (BT) dan 06°33'21,50" Lintang Selatan (LS). Lokasi penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Lokasi objek penelitian  
Sumber: PT Brantas Abipraya (2024)

### 3. Tahapan

Bagan alir perhitungan produktivitas alat berat yang diperoleh dari observasi dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram alir penelitian

### 4. Variabel

Terdapat tiga variabel yang terdapat pada penelitian ini. Variabel pertama adalah waktu siklus yang mengacu pada durasi awal hingga akhir setiap aktivitas dalam satu kegiatan pekerjaan (Vorster, Beliveau, & Bafna, 1992).

Variabel kedua adalah produktivitas, merupakan output yang diperoleh. Variabel ketiga adalah biaya, kesalahan dalam memilih alat berat dapat menyebabkan rendahnya produktivitas, sehingga berakibat pada peningkatan biaya (Nugraha, Iriana, & Djuniati, 2017).

#### 5. Teknik Pengumpulan Data

Dalam pengelitan ini, data dikumpulkan melalui observasi selama 30 hari kerja untuk memperoleh informasi yang akurat mengenai produktivitas alat berat. Setiap harinya, pekerjaan galian batu diamati dengan durasi kerja yang dianggap sama rata, yaitu 8 jam per hari. Observasi dilakukan secara sistematis dengan mencatat waktu siklus alat berat, jumlah material yang diangkat, serta faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi kerja, seperti kondisi medan dan keterampilan operator. Data yang diperoleh selanjutnya dianalisis untuk mengevaluasi kinerja alat berat serta menentukan langkah-langkah optimalisasi guna meningkatkan produktivitas dan efisiensi dalam pekerjaan galian batu.

#### 6. Teknik Analisa Data

Berikut ini adalah teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini:

##### a. Analisis Jumlah Data

Alat berat yang digunakan pada pekerjaan galian batu outlet selama observasi terdiri dari 4 unit Excavator Breaker Sumitomo SH210 dengan tenaga 157 HP, 2 unit Excavator Standar Kobelco SK 200 dengan kapasitas bucket 0,8 m<sup>3</sup> tenaga 158 HP, dan 7 unit Dump Truck Hino FM 260 JD dengan kapasitas bak 25 m<sup>3</sup>.

##### b. Waktu Siklus

Aktivitas alat berat dihitung rata harian berdasarkan oservasi selama 30 hari dengan 8 jam kerja setiap harinya.

##### c. Produktivitas Alat Berat

###### 1) Excavator Breaker

Rumus perhitungan kapasitas produktivitas excavator breaker terdapat pada Permen PUPR No. 1 Tahun 2022.

$$\text{Produktivitas} = \frac{V \times Fa \times 60}{Ts} \quad (1)$$

Keterangan:

V = Kapasitas *breaker* (m<sup>3</sup>);

Fa = Faktor efisiensi alat;

Ts = Waktu siklus (menit).

###### 2) Excavator

Penentuan waktu siklus *excavator* bergantung pada pemilihan kapasitas *bucket*. Perhitungan kapasitas produktivitas *excavator* dapat diperoleh dengan persamaan rumus (Permen PUPR No. 1 Tahun 2022) sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas} = \frac{V \times Fb \times Fa \times 60}{Ts.1 \times Fk} \quad (2)$$

Keterangan:

V = Kapasitas *bucket* (m<sup>3</sup>);

Fb = Faktor *bucket*;

Fa = Faktor efisiensi alat;

Ts.1 = Waktu siklus (menit);

Fk = Faktor konversi material.

###### 3) Dump Truck

Perhitungan kapasitas produktivitas *dump truck* dapat diperoleh dengan persamaan rumus (Permen PUPR No. 1 Tahun 2022) sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas} = \frac{V \times Fa \times 60}{Ts.1 \times D} \quad (3)$$

Keterangan:

V = Kapasitas bak (m<sup>3</sup>);

Fa = Faktor efisiensi alat;

Ts.1 = Waktu siklus (menit);

D = Berat jenis material (untuk batuan keras 1,80 Ton/m<sup>3</sup>).

##### d. Biaya Operasional Alat Berat

Biaya operasi adalah biaya yang dikeluarkan selamat alat tersebut digunakan. Menurut Peraturan Menteri PUPR No.1 Tahun 2022 *operation cost* meliputi:

###### 1) Biaya Bahan Bakar (H)

Kapasitas tenga mesin, yang biasanya diukur dalam satuan HP (*Horse Power*), menentukan jumlah bahan bakar yang digunakan oleh mesin per jamnya.

$$H = (10\% - 12\%) \times Pw \times Ms \quad (4)$$

Keterangan:

Pw = Tenaga (Hp);

Ms = Bahan akar solar (liter);  
 10% = Untuk alat yang bertugas ringan;  
 12% = Untuk alat yang bertugas berat.

## 2) Pelumas (I)

Jumlah minyak pelumas, termasuk penggunaan minyak dan *grease* tambahan, yang digunakan oleh peralatan tersebut dihitung berdasarkan rumus dan kapasitas tenaga mesin.

$$I = (0,25\% - 0,35\%) \times Pw \times Mp \quad (5)$$

Keterangan:

Pa = Tenaga (Hp);  
 Mp = Minyak pelumas (liter);  
 0,25% = Pemakaian ringan;  
 3% = Pemakaian berat.

## 3) Biaya Bengkel (J)

Berikut adalah cara menghitung total biaya bengkel per jam:

$$J = (2,2\% - 2,8\%) \times B/W \quad (6)$$

Keterangan:

B = Harga pokok alat setempat;  
 W = Jumlah jam kerja alat dalam satu tahun;  
 2,2% = Pemakaian ringan;  
 2,8% = Pemakaian berat.

## 4) Biaya Perawatan dan Perbaikan (K)

Untuk menghitung biaya perbaikan yang mencakup penggantian suku cadang yang aus digunakan rumus sebagai berikut:

$$K = (6,4\% - 9\%) \times B/W \quad (7)$$

Keterangan:

B = Harga pokok alat setempat;  
 W = Jumlah jam kerja alat dalam satu tahun;  
 6,4% = Pemakaian ringan;  
 9% = Pemakaian berat.

## 5) Upah Operator (M)

Upah operator dapat dihitung dengan rumus:

$$M = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \right) \times U1 \quad (8)$$

Keterangan:

m = Jumlah orang;

U1 = Upah operator.

## 6) Upah Pembantu Operator (L)

Upah pembantu operator dapat dihitung dengan rumus:

$$L = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \right) \times U2 \quad (9)$$

Keterangan:

U2 = Upah pembantu operator;

## 7) Biaya Operasional (P)

$$P = H + I + J + K + M + L \quad (10)$$

## e. Biaya Kepemilikan Alat Berat

Buku Alat Berat untuk Proyek Konstruksi Edisi Kedua Ir. Susy Fatena Rostiyanti, M.Sc. digunakan untuk menghitung biaya kepemilikan pekerjaan galian batu ini.

Depresiasi tahunan dapat dihitung dengan metode penurunan seimbang (*Declining Balance Method*):

$$D_k = R(1 - R)^{k-1} \times P \quad (11)$$

$$R = x/n \quad (12)$$

Keterangan:

k = Tahun ke-x.  
 P = Harga pokok alat.  
 x = 1,25 - 2,00.  
 m = Umur alat.

Perhitungan biaya kepemilikan pertahun dilakukan dengan menggunakan rumus berikut:

$$A = P \left( \frac{A}{P}, i\%, n \right) - S \left( \frac{A}{F}, i\%, n \right) \quad (13)$$

Keterangan:

P = Harga pokok alat;  
 A/P = Capital *recovery factor*;  
 A/F = *Sinking fund factor*;  
 n = Nilai depresiasi.

## f. Evaluasi

Evaluasi dilakukan dengan membandingkan produktivitas dan biaya kombinasi alat *existing* dengan produktivitas dan biaya kombinasi alat yang baru hingga didapatkan kombinasi yang paling efektif. Sehingga terjadi peningkatan efisiensi, waktu kerja, dan penurunan biaya.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 1. Hasil

##### a. Daftar Jumlah Alat Berat

Pada pekerjaan galian batu terdapat 3 jenis alat berat utama yang digunakan. Alat-alat tersebut terdiri dari *excavator*, *excavator breaker*, dan *dump truck* dari berbagai macam merek dan tipe. Alat berat yang diobservasi pada pekerjaan penggalian outlet pada proyek pembangunan Bendungan Cijurey disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Jenis alat berat yang digunakan

No	Jenis Alat	Merek dan Tipe
1.	<i>Excavator Breaker</i>	Sumitomo SH210 157 HP
2.	<i>Excavator</i>	Kobelco SK 200 158 HP
3.	<i>Dump Truck</i>	Hino 500 FM 260 JD

##### b. Analisis Pengukuran Waktu Siklus

Analisis pengukuran waktu siklus alat berat merupakan langkah penting dalam mengevaluasi efisiensi kerja pada proyek konstruksi. Waktu siklus didefinisikan sebagai jumlah waktu yang dibutuhkan alat berat untuk menyelesaikan satu siklus kerja, yang mencakup pemuatan, pengangkutan, pembongkaran, dan kembali ke posisi awal. Data yang diperoleh dari pengukuran ini digunakan untuk menganalisis produktivitas alat berat, mengidentifikasi potensi keterlambatan, serta mengoptimalkan penggunaan alat agar sesuai dengan kebutuhan proyek. Tabel 2 berikut menyajikan hasil analisis pengukuran waktu siklus alat berat yang digunakan dalam pekerjaan ini.

##### 1) *Excavator*

Data diambil dalam kurun waktu 30 hari. Data hasil observasi waktu siklus *excavator* terdiri dari waktu gali, waktu putar isi, waktu buang, waktu putar kosong, waktu tunggu, dan waktu total. Data-data tersebut tersaji pada Tabel 2.

Dari data hasil observasi yang diperoleh, selanjutnya dilakukan analisa statistik data seperti yang tersaji pada Tabel 3. Didapatkan beberapa nilai analisa data untuk waktu siklus *excavator* seperti: nilai terkecil sebesar 14 detik, nilai terbesar sebesar 20 detik, nilai rata-rata sebesar 17,2 detik, nilai median sebesar 17 detik, dan nilai modusnya adalah 17 detik.

Tabel 2. Waktu siklus *excavator* Kobelco SK 200

Hari Observasi	Waktu (detik)					Total
	Gali	Putar Isi	Buang	Putar Kosong	Waktu Tunggu	
1	6	4	4	3	6	17
2	5	4	3	4	6	16
3	5	4	3	4	5	16
4	6	5	3	3	7	17
5	6	4	3	3	4	16
6	4	4	3	3	5	14
7	5	4	3	3	6	15
8	6	5	3	3	4	17
9	6	5	4	3	5	18
10	5	5	3	3	5	16
11	6	5	4	3	6	18
12	6	5	3	3	7	17
13	5	5	3	3	6	16
14	6	5	3	3	5	17
15	6	6	4	3	4	19
16	5	4	3	3	5	15
17	6	5	3	4	5	18
18	5	5	3	4	6	17
19	5	6	4	3	6	18
20	5	6	3	3	6	17
21	6	5	4	4	4	19
22	6	5	3	3	5	17
23	6	5	4	3	4	18
24	6	5	3	3	5	17
25	6	6	3	4	5	19
26	6	6	3	4	5	19
27	6	6	4	4	6	20
28	5	5	3	4	4	17
29	6	5	4	3	5	18
30	5	6	3	3	6	17

Tabel 3. Analisa statistik waktu siklus *excavator* Kobelco SK 200

Hari Observasi	Waktu (detik)					Total
	Gali	Putar Isi	Buang	Putar Kosong	Waktu Tunggu	
Min	4	4	3	3	4	14
Max	6	6	4	4	7	20
Mean	5,6	5,0	3,3	3,3	5,3	17,2
Median	6	5	3	3	5	17
Modus	6	5	3	3	5	17

## 2) Excavator Breaker

Data diambil dalam kurun waktu 30 hari. Data hasil observasi waktu siklus *excavator breaker*. Data-data tersebut tersaji pada Tabel 4.

Dari data hasil observasi yang diperoleh, selanjutnya dilakukan analisa statistik data seperti yang tersaji pada Tabel 5. Didapatkan beberapa nilai analisa data untuk waktu siklus *excavator breaker* seperti: nilai terkecil sebesar 25 detik, nilai terbesar sebesar 41 detik, nilai rata-rata sebesar 32,1 detik, nilai median sebesar 31,5 detik, dan nilai modusnya adalah 28 detik.

Tabel 4. Waktu siklus *excavator breaker* Sumitomo SH210

Hari Observasi	Waktu (detik)	Hari Observasi	Waktu (detik)
1	25	16	31
2	40	17	28
3	41	18	27
4	33	19	28
5	26	20	35
6	29	21	40
7	35	22	37
8	29	23	36
9	35	24	37
10	28	25	26
11	32	26	28
12	29	27	28
13	35	28	39

Hari Observasi	Waktu (detik)	Hari Observasi	Waktu (detik)
14	26	29	40
15	27	30	33

Tabel 5. Analisa statistik waktu siklus *excavator Breaker* Sumitomo SH210

Hari Observasi	Waktu (detik)
Min	25
Max	41
Mean	32,1
Median	31,5
Modus	28

## 3) Dump Truck

Data diambil dalam kurun waktu 30 hari. Data hasil observasi waktu siklus *dump truck*. Waktu siklus yang diukur antara lain waktu isi, waktu berangkat, waktu buang, waktu kembali, dan waktu antri. Data-data tersebut tersaji pada Tabel 6.

Dari data hasil observasi yang diperoleh, selanjutnya dilakukan analisa statistik data seperti yang tersaji pada Tabel 7. Didapatkan beberapa nilai analisa data untuk waktu siklus *dump truck* seperti: nilai terkecil sebesar 1200 detik, nilai terbesar sebesar 1311 detik, nilai rata-rata sebesar 1248,27 detik, nilai median sebesar 1247,50 detik, dan nilai modusnya adalah 1229 detik.

Tabel 6. Waktu siklus *dump truck* Hino 500 FM 26 JD

Hari Observasi	Kap. Bak	w isi (detik)	w berangkat (detik)	w buang (detik)	w kembali (detik)	w antri (detik)	Jarak buang (m)	kec. isi (km/jam)	kec. kosong (km/jam)	waktu siklus (detik)
1	25	230	125	95	87	692	350	10,08	14,48	1229
2	25	216	144	103	86	683	350	8,75	14,65	1232
3	25	255	140	125	90	701	350	9,00	14,00	1311
4	25	250	150	110	91	683	350	8,40	13,85	1284
5	25	243	120	105	83	678	350	10,50	15,18	1229
6	25	234	132	98	87	690	350	9,55	14,48	1241
7	25	253	129	96	91	681	350	9,77	13,85	1250
8	25	221	124	99	85	671	350	10,16	14,82	1200
9	25	243	129	101	89	689	350	9,77	14,16	1251
10	25	231	131	108	92	688	350	9,62	13,70	1250
11	25	243	128	96	90	702	350	9,84	14,00	1259
12	25	222	125	110	83	694	350	10,08	15,18	1234
13	25	230	139	108	84	692	350	9,06	15,00	1253

Hari Observasi	Kap. Bak	w isi (detik)	w berangkat (detik)	w buang (detik)	w kembali (detik)	w antri (detik)	Jarak buang (m)	kec. isi (km/jam)	kec kosong (km/jam)	waktu siklus (detik)
14	25	240	140	105	83	684	350	9,00	15,18	1252
15	25	241	135	99	88	679	350	9,33	14,32	1242
16	25	231	131	95	86	694	350	9,62	14,65	1237
17	25	251	139	96	85	689	350	9,06	14,82	1260
18	25	242	131	97	89	690	350	9,62	14,16	1249
19	25	243	128	102	90	682	350	9,84	14,00	1245
20	25	234	129	103	93	671	350	9,77	13,55	1230
21	25	249	138	105	91	690	350	9,13	13,85	1273
22	25	230	141	114	87	659	350	8,94	14,48	1231
23	25	228	142	97	90	690	350	8,87	14,00	1247
24	25	235	140	102	84	703	350	9,00	15,00	1264
25	25	243	139	109	85	702	350	9,06	14,82	1278
26	25	231	128	105	88	680	350	9,84	14,32	1232
27	25	228	127	108	86	678	350	9,92	14,65	1227
28	25	243	125	118	88	690	350	10,08	14,32	1264
29	25	225	139	108	89	685	350	9,06	14,16	1246
30	25	241	129	115	85	678	350	9,77	14,82	1248

Sumber: Data Observasi Penulis (2024)

Tabel 7. Analisis statistik waktu siklus *dump truck* Hino 500 FM 26 JD

Analisa Statistik	w isi (detik)	w berangkat (detik)	w buang (detik)	w kembali (detik)	w antri (detik)	Jarak buang (m)	kec. isi (km/jam)	kec kosong (km/jam)	waktu siklus (detik)
Min	216	120	95	83	659	350	8,40	13,55	1200
Max	255	150	125	93	703	350	10,50	15,18	1311
Mean	236,87	133,23	104,40	87,50	686,27	350	9,48	14,41	1248,27
Median	237,50	131	104	87,50	688,50	350	9,64	14,40	1247,50
Modus	243	129	105	90	690	350	9,77	14,00	1229

c. Produktivitas

1) Volume Galian Batu *Outlet*

Volume galian batu *outlet* diperoleh dari hasil observasi di lokasi disposal. Pada hari pengamatan ke-5 dan ke-24 volume galian batu terdata kosong, hal tersebut dikarenakan pada hari itu terjadi hujan sehingga tidak ada pekerjaan galian yang dilaksanakan. Pada Tabel 8 di bawah ini merupakan data volume galian yang digunakan.

Dari data hasil observasi yang diperoleh, selanjutnya dilakukan analisa statistik data seperti yang tersaji pada Tabel 9. Didapatkan beberapa nilai analisa data untuk volume galian batu seperti: nilai terkecil sebesar 0 m<sup>3</sup>, nilai terbesar sebesar 1440 m<sup>3</sup>, nilai rata-rata sebesar 813,53 m<sup>3</sup>, nilai median sebesar 837 m<sup>3</sup>, dan nilai modusnya adalah 903 m<sup>3</sup>.

Tabel 8. Data disposal galian batu outlet

Hari Observasi	Galian Batu (m <sup>3</sup> )	Hari Observasi	Galian Batu (m <sup>3</sup> )
1	805	17	360
2	930	18	1137
3	601	19	651
4	903	20	789
5	0	21	863
6	720	22	803
7	863	23	617
8	880	24	0
9	423	25	1440
10	286	26	543
11	657	27	657
12	1034	28	988

Hari Observasi	Galian Batu (m <sup>3</sup> )	Hari Observasi	Galian Batu (m <sup>3</sup> )
13	903	29	1063
14	857	30	1234
15	571	31	977
16	817	32	1034

Sumber: Data Observasi Penulis (2024)

Tabel 9. Analisa statistik data disposasi galian batu outlet

Analisa Statistik	Volume Galian Batu (m <sup>3</sup> )
Total	24406
Min	0

Tabel 10. Produktivitas alat berat yang digunakan

Jenis Alat	Volume Galian (m <sup>3</sup> )	Jam Operasi	Jumlah Alat	Produktivitas per 1 alat (m <sup>3</sup> /jam)
<i>Excavator Breaker</i> Sumitomo SH210	24406	340	4	17,946
<i>Excavator Kobelco</i> Sk200	24406	340	2	35,891
<i>Dump Truck</i> HINO 500 FM 260 JD	24406	340	7	10,255

#### d. Biaya

##### 1) Biaya Operasi Alat Berat

Data biaya alat berat diperoleh dari Keputusan Bupati Bogor Nomor 600/471/Kpts/Per-UU/2023 mengenai Standar Harga Jasa Konstruksi dan Jasa Konsultasi Kabupaten Bogor, yang diterbitkan oleh Pemerintah Kabupaten Bogor, serta informasi tambahan dari buku manual masing-masing alat berat. Hal ini dilakukan untuk memastikan keakuratan serta kesesuaian dengan spesifikasi teknis yang berlaku.

Kebutuhan serta biaya operasional dari setiap alat berat yang digunakan adalah sebagai berikut:

##### a) *Excavator*

Spesifikasi *excavator* dengan merek Kobelco SK200 untuk menghitung biaya operasional:

- Waktu kerja per hari : 8 jam
- *Net power* (HP) : 158
- Harga Alat (B) : Rp.1.400.000.000,00
- Umur ekonomis (A) : 5 tahun
- Jam operasi 1 tahun (W) : 2400 jam
- Upah operator per jam : Rp43.179,00
- Upah pembantu operator per jam: Rp26.169,00

##### 2) Produktivitas *Existing*

Berdasarkan hasil perhitungan produktivitas, diperoleh nilai produktivitas dari masing-masing alat berat yang tersaji pada Tabel 10 di bawah.

Analisa Statistik	Volume Galian Batu (m <sup>3</sup> )
Max	1440
Mean	813,53
Median	837
Modus	903

- Harga Solar : Rp15.000,00
- Harga Minyak Pelumas : Rp30.000,00

##### Biaya Bahan Bakar (H)

H = rata-rata penggunaan solar perjam x harga solar per liter

$$H = 21,6 \times \text{Rp}15.000,00$$

$$H = \text{Rp}324.625,00$$

##### Biaya Minyak pelumas (I)

$$I = (0,25 \% - 0,35 \%) \times Pw \times Mp$$

$$I = 0,35\% \times 157 \times 45700$$

$$I = \text{Rp}16.485,00$$

##### Biaya Bengkel (J)

$$J = (2,2 \% - 2,8 \%) \times B/W$$

$$J = 2,8\% \times \frac{\text{Rp}1.900.000.000,00}{2400}$$

$$J = \text{Rp}22.166,67$$

##### Biaya Perawatan dan Perbaikan (K)

$$K = (6,4 \% - 9 \%) \times B/W$$

$$K = 9\% \times \frac{\text{Rp}1.900.000.000,00}{2400}$$

$$K = \text{Rp}71.250,00$$

##### Upah Operator (M)

$$L = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \times U1 \right)$$

$$L = (43179 \times 1)$$

$$L = \text{Rp}43.179,00$$

Upah Pembantu Operator (L)

$$L = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \times U2 \right)$$

$$L = (26169 \times 1)$$

$$L = \text{Rp}26.169,00$$

Biaya Total Operasional (P)

$$P = H + I + J + K + M + L$$

$$P = \text{Rp}503.874,67$$

b) *Excavator Breaker*

Spesifikasi *Excavator breaker* dengan merk Kobelco SK200 untuk menghitung biaya operasional:

- Waktu kerja per hari : 8 jam
- *Net power* (HP) : 158
- Harga Alat (B) :  
Rp1.400.000.000,00
- Umur ekonomis (A) : 5 tahun
- Jam operasi 1 tahun (W) : 2400 jam
- Upah operator per jam : Rp43.179,00
- Upah pembantu operator per jam:  
Rp26.169,00
- Harga Solar : Rp15.000,00
- Harga Minyak Pelumas : Rp30.000,00

Biaya Bahan Bakar (H)

H = rata-rata penggunaan solar perjam x harga solar per liter

$$H = 18,7 \times 15000$$

$$H = \text{Rp}279.800,00$$

Biaya Minyak pelumas (I)

$$I = (0,25 \% - 0,35 \%) \times Pw \times Mp$$

$$I = 0,35\% \times 158 \times 30000$$

$$I = \text{Rp}16.590,00$$

Biaya Bengkel (J)

$$J = (2,2 \% - 2,8 \%) \times B/W$$

$$J = 2,8\% \times \frac{\text{Rp}1.400.000.000,00}{2400}$$

$$J = \text{Rp}16.333,33$$

Biaya Perawatan dan Perbaikan (K)

$$K = (6,4 \% - 9 \%) \times B/W$$

$$K = 9\% \times \frac{\text{Rp}1400.000.000,00}{2400}$$

$$K = \text{Rp}52.500,00$$

Upah Operator (M)

$$L = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \times U1 \right)$$

$$L = (43179 \times 1)$$

$$L = \text{Rp}43.179,00$$

Upah Pembantu Operator (L)

$$L = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \times U2 \right)$$

$$L = (26169 \times 1)$$

$$L = \text{Rp}26.169,00$$

Biaya Total Operasional (P)

$$P = H + I + J + K + M + L$$

$$P = \text{Rp}434.571,33$$

c) *Dump Truck*

Spesifikasi *dump truck* dengan merek HINO 500 FM 260 JD untuk menghitung biaya operasional:

- Waktu kerja per hari : 8 jam
- *Net power* (HP) : 260
- Harga Alat (B) :  
Rp1.100.000.000,00
- Umur ekonomis (A) : 5 tahun
- Jam operasi 1 tahun (W) : 2400 jam
- Upah operator per jam : Rp43.179,00
- Upah pembantu operator per jam:  
Rp26.169,00
- Harga Solar : Rp15.000,00
- Harga Minyak Pelumas : Rp30.000,00

Biaya Bahan Bakar (H)

H = rata-rata penggunaan solar perjam x harga solar per liter

$$H = 6 \times 15000$$

$$H = \text{Rp}89.550,00$$

Biaya Minyak pelumas (I)

$$I = (0,25 \% - 0,35 \%) \times Pw \times Mp$$

$$I = 0,35\% \times 260 \times 30000$$

$$I = \text{Rp}27.300,00$$

Biaya Bengkel (J)

$$J = (2,2 \% - 2,8 \%) \times B/W$$

$$J = 2,8\% \times \frac{\text{Rp}1.100.000.000,00}{2400}$$

$$J = \text{Rp}12.833,33$$

Biaya Perawatan dan Perbaikan (K)

$$K = (6,4 \% - 9 \% ) \times B/W$$

$$K = 9\% \times \frac{Rp1.100.000.000,00}{2400}$$

$$K = Rp41.250,00$$

Upah Operator (L)

$$L = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \times U1 \right)$$

$$L = (43179 \times 1)$$

$$L = Rp43.179,00$$

Upah Pembantu Operator (L)

$$L = \left( \frac{m \text{ orang}}{\text{jam}} \times U2 \right)$$

$$L = (26169 \times 1)$$

$$L = Rp26.169,00$$

Biaya Total Operasional (P)

$$P = H + I + J + K + M + L$$

$$P = Rp240.281,33$$

Hasil perhitungan biaya operasi alat yang telah di analisa sebelumnya tercantum pada tabel 11 berikut ini.

Tabel 11. Biaya operasi alat berat

No	Alat Berat	Biaya (Rp)
1	<i>Excavator Breaker</i>	503.874,67
2	<i>Excavator</i>	434.571,33
3	<i>Dump Truck</i>	240.281,33

2) Biaya Kepemilikan Alat Berat  
 Dalam perhitungan biaya kepemilikan, diperlukan nilai depresiasi dan perhitungan nilai asuransi. Nilai depresiasi dihitung menggunakan metode *Declining Balance Method*, yaitu metode penyusutan dipercepat di mana persentase tetap diterapkan pada nilai buku aset yang menurun setiap tahun (Setyawati, Fauziyah, Kusumaningarti, 2022). Perhitungan biaya kepemilikan alat per jam ditentukan berdasarkan nilai sisa alat, perhitungan cicilan moda, serta biaya asuransi (Bahar, 2016). Berikut ini merupakan hasil perhitungan biaya kepemilikan setiap alat berat terdapat pada Tabel 12.

Tabel 12. Biaya operasi alat berat

No	Alat Berat	Harga Pokok Alat (Rp)	Nilai Sisa (Rp)	Umur Alat (Tahun)	Tingkat Depresiasi	Owning Cost Perjam (Rp)
1	<i>Excavator Breaker</i>	1.900.000.000,00	450.878.906,25	5	0,25	154.614,20
2	<i>Excavator</i>	1.400.000.000,00	332.226.563,50	5	0,25	113.926,25
3	<i>Dump Truck</i>	1.100.000.000,00	261.035.156,25	5	0,25	89.513,48

Sumber: Data Observasi Penulis (2024)

3) Total Biaya Alat Berat

a) *Excavator*  
 Total biaya = *owning cost* + *operation cost*  
 Total biaya = Rp154.614,20 + Rp503.847,67  
 Total biaya = Rp658.488,87/jam

b) *Excavator Breaker*  
 Total biaya = *owning cost* + *operation cost*  
 Total biaya = Rp113.924,25 + Rp434.571,33  
 Total biaya = Rp548.497,59/jam

c) *Dump Truck*  
 Total biaya = *owning cost* + *operation cost*  
 Total biaya = Rp89.513,48 + Rp240.281,33  
 Total biaya = Rp329.794,82/jam

e. Evaluasi

Berdasarkan kondisi *existing* di lapangan, jumlah *excavator* yang digunakan adalah 4 unit *excavator*, 2 unit *excavator breaker*, dan 7 unit *dump truck*. Selanjutnya, dilakukan perhitungan produktivitas pekerjaan (kombinasi) dan perhitungan biaya untuk mengetahui estimasi biaya berdasarkan kondisi penggunaan *excavator breaker*, *excavator*, dan *dump truck* yang ada di lapangan. Tabel 13 di bawah ini menunjukkan hasil perhitungan estimasi biaya alat per jam untuk pekerjaan galian batu berdasarkan kombinasi alat berat yang ada di lapangan.

Tabel 13. Produktivitas dan Biaya alat berat berdasarkan kondisi *existing*

No	Jenis Alat	Volume Galian (m <sup>3</sup> )	Jam operai (jam)	Biaya/jam (Rp.)	Jumlah Alat	Produktivitas per 1 alat (m <sup>3</sup> /jam)	Produktivitas Total (m <sup>3</sup> /jam)	Biaya Total (Rp.)
1	<i>Excavator Breaker</i>	24.406	340	658.488,87	4	17,95	71,78	895.544.859,82

<i>Excavator</i>	24.406	340	548.497,59	2	35,89	71,78	372.978.358,88
<i>Dump Truck</i>	24.406	340	329.794,82	7	10,25	71,78	784.911.666,92
Total							2.053.434.885,62

Sumber: Data Observasi Penulis (2024)

Dari data disposal proyek diketahui bahwa volume pekerjaan galian batu adalah 24.406 m<sup>3</sup>, jika produktivitas pekerjaan berdasarkan Tabel 13 kombinasi alat adalah 71,78 m<sup>3</sup>/jam, durasi galian batu dapat diketahui dengan menggunakan rumus berikut:

$$\text{Durasi} = \frac{\text{Vol. pekerjaan}}{\text{Produktivitas}} \quad (14)$$

Durasi pekerjaan galian batu adalah 340 jam, dan biaya estimasi adalah Rp2.053.444.885,62. Untuk mengetahui apakah kombinasi *excavator breaker*, *excavator*, dan *dump truck* di lapangan tepat, analisis produktivitas masing-masing alat dilakukan. Hasilnya menunjukkan durasi dan biaya pekerjaan galian batu yang paling cocok, seperti yang ditunjukkan dalam Tabel 14.

Tabel 14. Produktivitas dan biaya alat berat yang baru

No	Jenis Alat	Volume Galian (m <sup>3</sup> )	Jam operasi (jam)	Biaya/jam (Rp.)	Jumlah Alat	Produktivitas per 1 alat (m <sup>3</sup> /jam)	Produktivitas Total (m <sup>3</sup> /jam)	Biaya Total (Rp.)
2	<i>Excavator Breaker</i>	24.406	226,67	658.488,87	6	17,95	107,67	895.544.859,82
	<i>Excavator</i>	24.406	226,67	548.497,59	3	35,89	107,67	372.978.358,88
	<i>Dump Truck</i>	24.406	226,67	329.794,82	8	13,46	107,67	598.027.936,70
Total								1.866.551.155,40

Durasi pekerjaan diperoleh dengan membagi volume pekerjaan (24.406 m<sup>3</sup>) dengan produktivitas total dari kombinasi alat pada Tabel 16 (107,67 m<sup>3</sup>/jam), sehingga diperoleh durasi pekerjaan adalah 226,7 jam. Durasi ini jauh lebih cepat 33,3% dari durasi berdasarkan kondisi *existing* kombinasi alat di lapangan. Sementara biaya total pekerjaan galian batu yang baru adalah Rp.1.866.511.155,40. Berdasarkan kondisi kombinasi alat yang ada di lapangan saat ini, angka ini jauh lebih rendah dari 9,1% dari biaya.

## 2. Pembahasan

### a. Waktu

Berdasarkan hasil observasi dan analisa diketahui bahwa waktu yang dibutuhkan oleh kombinasi *existing* adalah 340 jam, sedangkan waktu yang dibutuhkan oleh kombinasi baru adalah 226,7 jam. Hal tersebut menunjukkan bahwa kombinasi *existing* memerlukan waktu lebih banyak dibandingkan dengan waktu yang dibutuhkan oleh kombinasi baru.

Durasi yang dibutuhkan dalam rangkaian kegiatan tersebut disebut sebagai waktu siklus (Febrianti & Zakia, 2018). Waktu yang singkat akan mempermudah dan mempercepat

penyelesaian pekerjaan (Nugrahing, Assyifa, & Priyanto, 2022). Dalam pelaksanaan suatu proyek konstruksi, selalu terdapat kemungkinan bahwa waktu penyelesaian proyek akan melampaui jadwal yang telah ditetapkan dalam kontrak pekerjaan (Saputera et al., 2022).

*Delay cycle time* adalah salah satu penyebab produktivitas kurang baik (Arrofah, Pitulima, & Mardiah, 2017). Pada kombinasi *existing* terdapat beberapa alat yang menunggu, sehingga menyebabkan waktu kerja lebih lama. Dengan lebih baiknya *cycle time* dan waktu kerja efektif, target produksi pekerjaan dapat ditingkatkan (Herniti, 2023).

### b. Produktivitas

Berdasarkan hasil observasi dan analisa diketahui bahwa produktivitas lapangan sebesar 71,28 m<sup>3</sup>/jam, sedangkan produktivitas kombinasi alat baru adalah 107,67 m<sup>3</sup>/jam. Produktivitas pada kombinasi alat berat yang baru lebih tinggi dibanding kombinasi alat *existing*. Produktivitas atau kapasitas alat merujuk pada jumlah keluaran dalam bentuk volume pekerjaan tertentu yang dapat dihasilkan oleh alat dalam satu satuan waktu (Sokop, Arsjad, & Malingkas, 2018).

Produktivitas dipengaruhi oleh waktu, hambatan, dan efisiensi kinerja alat (Wahyudi et al., 2022). Produktivitas alat berat selama pelaksanaan dipengaruhi oleh kondisi di lapangan, seperti cuaca yang tidak mendukung, yang dapat menyebabkan penurunan kinerja alat berat (Listyawan et al., 2021).

#### c. Biaya

Berdasarkan hasil observasi dan analisa diketahui bahwa total biaya kombinasi alat *existing* adalah Rp2.053.434.885,62. Lalu, untuk kombinasi alat baru memerlukan biaya sebanyak Rp1.866.551.155,40. Biaya merupakan salah satu komponen penting pada suatu proyek pembangunan. Kesalahan dalam memilih alat berat dapat menyebabkan proyek tidak berjalan dengan lancar, sehingga berpotensi meningkatkan kebutuhan biaya secara berlebihan (Sokop et al., 2018). Pada penelitian ini menunjukkan bahwa hasil analisa kombinasi alat baru menunjukkan biaya yang lebih rendah dibanding kombinasi alat *existing* (Listyawan et al., 2021).

#### IV. KESIMPULAN

1. Berdasarkan hasil observasi nilai produktivitas *existing* sebesar 71,78 m<sup>3</sup>/jam. Setelah dilakukan analisa dengan menambah 1 unit *excavator*, 2 unit *excavator breaker*, dan 1 unit *dump truck* produktivitas kombinasi baru bertambah menjadi 107,67 m<sup>3</sup>/jam.
2. Waktu pekerjaan awal diperkirakan membutuhkan waktu 340 jam, setelah dilakukan analisa kombinasi alat yang ideal diperoleh waktu pekerjaan yang lebih cepat 33,3% menjadi 226,7 jam.
3. Biaya pekerjaan dengan menggunakan kombinasi baru lebih rendah 9,1% menjadi Rp1.866.511.155,40.

Penelitian ini tidak bisa digeneralisasi karena evaluasi produktivitas alat berat di setiap lokasi memiliki karakteristik yang berbeda. Perbedaan tersebut dapat disebabkan oleh faktor lingkungan, kondisi batuan, cuaca, serta jenis dan skala proyek yang dikerjakan. Selain itu, faktor manusia, seperti keterampilan operator dan manajemen proyek, juga berkontribusi terhadap variasi produktivitas. Jenis alat berat yang digunakan serta kondisi pemeliharaannya turut memengaruhi kinerja di setiap lokasi. Oleh

karena itu, setiap proyek memerlukan analisis spesifik agar evaluasi produktivitas alat berat dapat mencerminkan kondisi sebenarnya dan menghasilkan rekomendasi yang lebih akurat. Pada penelitian ini terdapat beberapa saran yang dapat diberikat, diantaranya:

1. Menambah jumlah *excavator breaker* menjadi 6 unit;
2. Menambah jumlah *excavator* menjadi 3 unit;
3. Menambah jumlah *dump truck* menjadi 8 unit.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Adnyana, & Mertha, M. D. (2024). *Metodologi penelitian: Desain penelitian kuantitatif*.
- Ali, M., Makhrus, Hariyati, T., Pratiwi, M. Y., & Siti Afifah, S. (2022). Metodologi penelitian kuantitatif dan penerapannya dalam penelitian. *Education Journal*, 2(2), 1–6.
- Arrofah, Muhammad, Pitulima, J., and Mardiah. (2017). Evaluasi Produktivitas alat gali-muat dan alat angkut untuk pengupasan tanah penutup Bulan Agustus 2016 di Pit 3 Timur Penambangan Banko Barat PT Bukit Asam (Persero) Tbk (Evaluation of load-haulage productivity in topsoil stripping process on August 2016 in Pit 3 of West Banko Mine of PT Bukit Asam (Persero) Tbk). *Mine Journal*, 2(2): 1–8.
- Bahar, & Bahri, S. (2016). Evaluasi biaya alat berat pada proyek peningkatan Jalan Lakapera-Wamengkoli Kabupaten Buton Tengah. *Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 2(2), 51–58.
- Deshmukh, Dushyant A., & Mahatme, P. S. (2016). Factors affecting performance of excavating equipment: An overview. *International Journal of Science and Research (IJSR)*; 5(1), 1250–53.
- Diasa, Wayan, I., Ardana, P. D. H., & Erawan, I. M. P. (2021). Alternatif pemilihan kombinasi alat berat untuk proyek konstruksi. *Jurnal Teknik Gradien*, 13(01), 74–83. <http://www.ojs.unr.ac.id/index.php/teknikgradien>.
- Fakhrulloh, Ahzar, Marsudi, S., & Cahya, E. N. (2023). Studi perencanaan pengelak tipe konduit dan cofferdam di Bendungan Cijurey Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 165–77.
- Fanani, Y. (2020). Analisis hubungan CBR, *rolling resistance* dan daya dukung tanah terhadap kecepatan *dump truck* pada jalan angkut tambang menggunakan metode regresi linier. *Promine*, 8(1), 14–21.
- Febrianti, D., & Zakia, Z. (2018). Analisis produktivitas dan waktu penggunaan alat berat *excavator* pada pekerjaan galian tanah. *Prosiding seminar nasional pakar*, 123–127. <https://doi.org/10.25105/pakar.v0i0.2617>
- Hajji, A. (2015). The use of construction equipment productivity rate model for estimating fuel use and carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) emissions Case study: bulldozer, excavator and dump truck. *International*

- Journal of Sustainable Engineering, 8(2), 111–121. <https://doi.org/10.1080/19397038.2014.962645>
- Herniti, D. (2023). Evaluasi produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada aktivitas pengupasan overburden di Pt. Firman Ketaun (Fk) Desa Tanjung Dalam Kec. Ulokkupai Kab. Bengkulu Utara. 23(2), 2023.
- Saputera, I. M., Perdana, G. M., Cahyadi, H., Arsyad, K. M. I. (2022). Analisis waktu dan produktivitas alat berat pada pengurangan Lapangan Serba Guna Desa Baringin a, Kabupaten Tapin.
- Kementerian PUPR. (2017). Modul perhitungan hidrologi pelatihan perencanaan bendungan tingkat dasar 2017. Pusat Pelatihan dan Pendidikan Sumber Daya Air dan Konstruksi.
- Kusumo, A. T. H., Triwuryanto H., Maulana R., & Sari S. N. (2022). Analisis pemilihan alat berat dalam pekerjaan galian dan timbunan Proyek Bendungan Bener. *Jurnal Institut Teknologi Nasional Yogyakarta*, 3(1), 55–64.
- Lakho, T. H., Khan, M. A., Virk, S. I., Indher, A. A., & Khaskheli, S. A. (2021). Evaluation of overall equipment effectiveness in a heavy engineering industry: a case study. *proceedings of the international conference on industrial engineering and operations management*, 363–372.
- Listyawan, A. B., Sahid, M. N., Mulyono, G. S., & Fadhlullah, H. K. (2021). Analisis produktivitas alat berat dan biaya pekerjaan pemindahan tanah pada Pembangunan RSUD Pondok Aren Tangerang Selatan. *Dinamika Teknik Sipil: Majalah Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 8–12. <https://doi.org/10.23917/dts.v14i1.15272>
- Muis, Sideman, S., & Hasyim. (2017). Analisis produktivitas dan efisiensi alat berat pada Proyek Peningkatan Jalan Kabupaten Paket IV Ruas Pemepek – Repok Pidandang (Lombok Tengah).
- Nevenda, M., & Wulandari, L. (2023). Analisis perhitungan waktu standart untuk menentukan jumlah tenaga kerja optimal pada proses Produksi Pt. Nrz Prima Gasket. *Jurnal Sains, Teknik dan Kemasyarakatan*, 1(5), 211–222.
- Nugraha, D., Iriana, R. T., & Djuniati, S. (2017). Analisis biaya dan produktivitas pemakaian alat berat pada kegiatan Pembangunan Jalan Akses Siak IV Pekanbaru. *Jurnal Online Mahasiswa Fakultas Teknik Universitas Riau*, 5(1), 1–10.
- Nugrahing, R., Assyifa, N., & Priyanto, B. (2022). Analisis produktivitas alat berat untuk pekerjaan galian pada Proyek Pembangunan Jalan Tepus-Jerukwudel II (STA 25+100-25+225). *Jurnal ISAINTEK*. 2022, 5(4), 19–23.
- Octavia, D. M., Mardhiyah, R., & Utami, C. (2021). Analisis kombinasi excavator dan dump truck pada pekerjaan galian tanah (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Kampus III UIN Imam Bonjol Padang). *Jurnal Teknik Sipil ITP*, 8(2), 4. <https://doi.org/10.21063/jts.2021.v802.04>
- Patihua, A., Fanani, Y., & Yuwanto, S. H. (2024). Analisis faktor cuaca terhadap kinerja sistem backhoe and truck atas pertimbangan k3 pada Operasi Penambangan PIT-E PT . Bukit Asam Tbk. 3, 1–10.
- Ramdhani, M. I., & Johari, G. J. (2021). Analisis produktivitas pemakaian alat berat terhadap biaya dan waktu pada Pembangunan Jalan Baru Lingkar Cipanas Kabupaten Garut. *Jurnal Konstruksi*, 18(2), 62–71. <https://doi.org/10.33364/konstruksi.v.18-2.810>
- Rochmanhadi. (2004). Alat-alat berat dan penggunaannya. 167–191. <https://lib.ui.ac.id>
- Rofikha, A. A., Marsudi, S., & Cahya, E. N. (2019). Analisis struktur terowongan pengelak pada Bendungan Kualu Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatra Utara. *Jurnal Teknik Pengairan*, 10(1), 28–38. <https://doi.org/10.21776/ub.pengairan.2019.010.01.3>
- Sarwandi, M. H. A., & Royan, N. (2021). Produktivitas Alat Berat Excavator Backhoe Pada Proyek Perumahan Al Zafa Tegal Binangun Kota Palembang. *Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, 07(02), 121–125.
- Setyawati, V. A., Fauziyah, F., & Kusumaningarti, M. (2022). Analisis metode penyusutan aset tetap berwujud saldo menurun untuk menentukan pajak penghasilan terutang. *JCA (Jurnal Cendekia Akuntansi)*, 3(2), 75. <https://doi.org/10.32503/akuntansi.v3i2.3001>
- Sitanger, S. A. F., Syahrudin, & Syafrianto, M. K. (2019). Kajian teknis produktivitas alat angkut hino fm 260 jd pada Penambangan Galena Pt Kapuas Prima Coal , Tbk Kabupaten Lamandau Provinsi Kalimantan Tengah. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, 6, 13.
- Sokop, R. M., Arsjad, T. T., & Malingkas, G. (2018). Analisa perhitungan produktivitas alat berat gali-muat (excavator) dan alat angkut (dump truck) pada Pekerjaan Pematangan Lahan Perumahan Residence Jordan Sea. *Jurnal Tekno*, 16(70), 83–88.
- Sugiyono. (2003). *Metode Penelitian Pendekatan Kuantitatif Kualitatif*.
- Suwandi, E., & Shella Putri, K. (2022). Evaluasi produktivitas alat gali muat untuk material overburden di CV Gunung Sambung. *Jurnal Himasapta*, 7(2), 97–102.
- Vorster, M. C., Believeau, Y. J., & Bafna, T. (1992). Linear scheduling and visualization. *Transportation Research Record Journal of the Transportation Research Board*, 1351(2), 32–39.
- Wahyudi, F., Tibri, T., Pama, P. T., & Pengalihan, P. (2022). Evaluasi produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada penambangan batubara di Pit Air Laya ( TAL ) Barat Pt . Bukit Asam Tbk Tanjung Enim Sumatera Selatan. 04(02), 226–231.
- Widiarto, W., Arief, S., Cahyo, N., Nugroho, J., & Sudrajat, D. (2024). Analysis of factors affecting the maintenance performance of heavy equipment in ( Case study in Morowali Project , Sulawesi ). 4(12), 11919–11934.
- Zaldi, H. I., Majid, I. A., & Maulina, F. (2023). Faktor-faktor dominan yang berpengaruh terhadap produktivitas aktual alat berat konstruksi pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi Jalan. *Journal of The Civil Engineering Student*, 5(2), 127–133. <https://doi.org/10.24815/journalces.v5i2.23231>