

Artikel Penelitian (Teknik Sipil)

## Analisis Kombinasi Excavator dan Dump Truck pada Pekerjaan Galian Jalan Akses pada STA 0+250 Sampai Sta 0+525 di Proyek Pembangunan Bendungan Cijurey Paket 1 Ditinjau dari Biaya Pekerjaan

Raja N. V. Hutabarat<sup>\*</sup>, Okri Asfino Putra, Ekodjati Tunggulgeni, Suprayogi

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknologi Pertahanan, Universitas Pertahanan, Bogor 16810, Indonesia

### INFORMASI ARTIKEL

Diterima Redaksi: 31 Desember 2025  
Revisi Akhir: 16 April 2026  
Diterbitkan Online: 18 April 2026

### KATA KUNCI

Alat Berat  
Galian  
Optimasi  
Produktivitas  
Waktu Siklus

### KORESPONDENSI (\*)

E-mail: [rajanatimbul12@gmail.com](mailto:rajanatimbul12@gmail.com)

### A B S T R A K

Peningkatan produktivitas merupakan faktor penting dalam keberhasilan proyek konstruksi. Penelitian ini menganalisis kombinasi alat berat yang paling efisien untuk pekerjaan galian pada proyek Bendungan Cijurey, khususnya pada pembangunan jalan akses menuju puncak bendungan. Dengan mempertimbangkan kapasitas alat, waktu siklus, efisiensi kerja, serta biaya operasional dan kepemilikan berdasarkan Peraturan Menteri PUPR No. 1 Tahun 2022, penelitian ini mengevaluasi beberapa alternatif kombinasi untuk memperoleh hasil yang optimal. Temuan menunjukkan bahwa pengurangan jumlah dump truck dari empat menjadi tiga unit, sehingga kombinasi menjadi dua excavator dan tiga dump truck, mampu mempertahankan produktivitas sebesar 72,78 m<sup>3</sup>/jam dengan durasi pekerjaan tetap 235 jam. Selain itu, kombinasi ini meningkatkan efisiensi operasional dan menurunkan biaya dari Rp519.964.501,50 menjadi Rp445.303.142,70, menghasilkan penghematan sebesar Rp74.661.358,80 dengan persentase penurunan sebesar 14,35%, serta waktu untuk pekerjaan 1 dump truck yang awalnya memerlukan 940 jam/bulan menjadi 705 jam/bulan sebagai konsekuensi dari pengurangan jumlah unit alat.

### PENDAHULUAN

Proyek pembangunan Bendungan Cijurey merupakan infrastruktur strategis yang memiliki peran penting dalam pengelolaan sumber daya air. Bendungan ini dirancang untuk mengurangi risiko banjir hingga 59,33% dengan mengendalikan debit banjir periode ulang 25 tahun (Q25th). Selain itu, bendungan juga diharapkan mampu meningkatkan penyediaan air baku sebesar 0,71 m<sup>3</sup>/s, memperluas jaringan irigasi seluas 2.047 hektar, serta menyumbang produksi energi listrik sebesar 1 MW (PT Brantas Abipraya Persero, 2024).

Salah satu tahapan penting dalam pembangunan bendungan ini adalah pekerjaan galian untuk konstruksi *main dam*. Efisiensi dalam pelaksanaan galian batu menjadi aspek utama agar target waktu dan biaya dapat terpenuhi sesuai rencana [1]. Hal ini sejalan dengan prinsip bahwa keberhasilan suatu proyek sangat bergantung pada efektivitas dan efisiensi pemanfaatan sumber daya. Pengelolaan yang tepat akan mempermudah proses pelaksanaan sekaligus mendukung tercapainya tujuan proyek [2].

Dalam kegiatan galian, digunakan kombinasi berbagai alat berat, antara lain *Excavator* dan *Dump Truck*. Peralatan ini memiliki peran yang sangat vital pada proyek bendungan dan tidak bisa dipisahkan dari tahapan pekerjaan [3]. Meski demikian, penerapan kombinasi alat berat sering menghadapi tantangan tersendiri, terutama karena kondisi lapangan yang bervariasi dan cukup kompleks. Kondisi ini sangat nyata pada lokasi galian STA 0+250 – 0+525, di mana tantangan medan yang sulit serta jarak angkut yang jauh menuntut pemilihan kombinasi alat yang diperhitungkan secara matang.

Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam untuk menentukan jenis dan jumlah peralatan yang optimal. Hal ini bertujuan untuk memperkirakan durasi pekerjaan secara akurat serta meminimalisir biaya operasional guna mendukung kelancaran pelaksanaan proyek [4].

### ***Tujuan Penelitian***

Kajian terdahulu mengenai produktivitas alat berat umumnya menitikberatkan pada variasi jenis pekerjaan serta kondisi tanah yang beragam. Namun, masih terdapat keterbatasan penelitian yang secara khusus membahas produktivitas kombinasi alat berat *Excavator* dan *Dump Truck* pada pekerjaan galian pada jalan akses menuju puncak bendungan.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis produktivitas alat berat excavator dan Dump Truck pada pekerjaan galian jalan akses menuju puncak bendungan STA 0+250 sampai 0+525 proyek pembangunan Bendungan Cijurey.
2. Menganalisis biaya alat berat agar agar mendapatkan optimasi biaya alat berat.

Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi yang berarti dalam pengembangan ilmumanajemen konstruksi, khususnya yang berkaitan dengan pemanfaatan alat berat pada pekerjaan galian. Temuan-temuan yang diperoleh dari penelitian ini juga diharapkan dapat menjadi referensi berharga bagi praktisi, kontraktor, maupun akademisi dalam upaya meningkatkan efisiensi serta efektivitas pelaksanaan proyek konstruksi sejenis. Hal ini penting mengingat penggunaan alat berat yang tidak sesuai dengan karakteristik lapangan berpotensi menurunkan tingkat produktivitas pekerjaan dan bahkan dapat mengakibatkan keterlambatan dalam pencapaian jadwal proyek yang telah direncanakan [5].

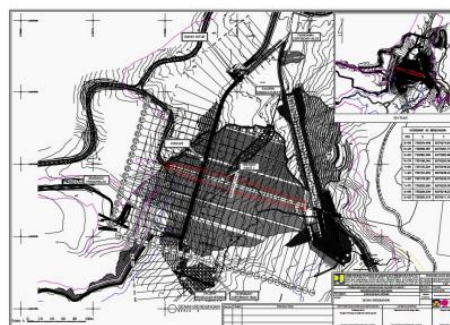
### ***Lokasi Penelitian***

Proyek pembangunan Bendungan Cijurey berlokasi di Kecamatan Cariu, Sukamakmur, dan Tanjungsari, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat dengan koordinat garis bujur  $-6.553687^{\circ}$  dan garis lintang  $107.081311^{\circ}$ . Denah lokasi dan gambaran situasi objek penelitian ditunjukkan pada Gambar 1 yang diambil menggunakan aplikasi Google Earth Pro.



Gambar 1. Lokasi Objek Penelitian

Gambar 2 merupakan *layout* Bendungan Cijurey yang dapat dilihat pada gambar dibawah



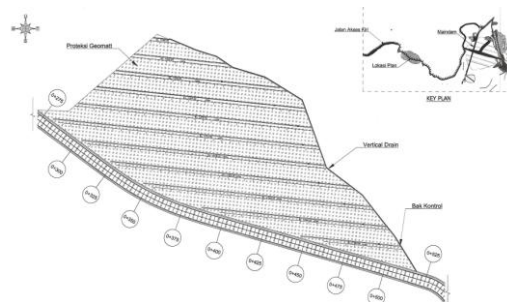
Gambar 2. *Layout* Bendungan Cijurey

Pada gambar 3 dapat dilihat situasi objek penelitian



Gambar 3. Situasi Objek Penelitian

Gambar 4 menunjukkan tampak atas dari galian jalan akses menuju puncak bendungan



Gambar 4. Tampak Atas Jalan Akses

## METODE PENELITIAN

### *Studi Literatur*

Danial dan Warsiah (2009) menjelaskan bahwa studi literatur merupakan suatu pendekatan penelitian yang berfokus pada kegiatan pengumpulan serta penelaahan data sekunder yang bersumber dari berbagai referensi tertulis. Sumber-sumber tersebut dapat berupa buku, jurnal ilmiah, majalah, laporan penelitian, maupun dokumen tertulis lainnya yang memiliki relevansi dengan topik yang sedang diteliti. Melalui metode ini, peneliti tidak hanya berupaya menghimpun informasi, tetapi juga melakukan analisis kritis terhadap berbagai teori, konsep, dan hasil penelitian sebelumnya.

Tujuan utama dari pelaksanaan studi literatur adalah untuk membangun landasan teoritis yang kokoh, sehingga penelitian yang dilakukan memiliki pijakan ilmiah yang jelas dan terarah. Kerangka teoritis yang diperoleh dari hasil studi literatur berfungsi sebagai acuan dalam merumuskan permasalahan, menentukan variabel penelitian, serta mendukung proses analisis data. Dengan demikian, studi literatur berperan penting dalam memastikan keterkaitan antara teori yang ada dengan temuan penelitian yang dihasilkan, sekaligus memperkuat validitas dari kesimpulan yang diambil oleh peneliti.

### *Pengumpulan Data*

Pengumpulan data merupakan tahapan mendasar dalam sebuah penelitian karena data berfungsi sebagai dasar utama dalam proses analisis. Data yang dihimpun terdiri atas dua kategori, yaitu data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh secara langsung melalui aktivitas lapangan, sehingga mencerminkan kondisi nyata dari objek penelitian. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari berbagai sumber tertulis yang telah tersedia sebelumnya dan memiliki kredibilitas tinggi. Sumber data sekunder tersebut antara lain meliputi SNI (Standar Nasional Indonesia), NSPM (Norma, Standar, Pedoman, dan Manual), SIMANTU PUPR (Sistem Informasi Manajemen PUPR), serta literatur atau buku referensi lain yang relevan dengan topik penelitian.

### *Data Primer*

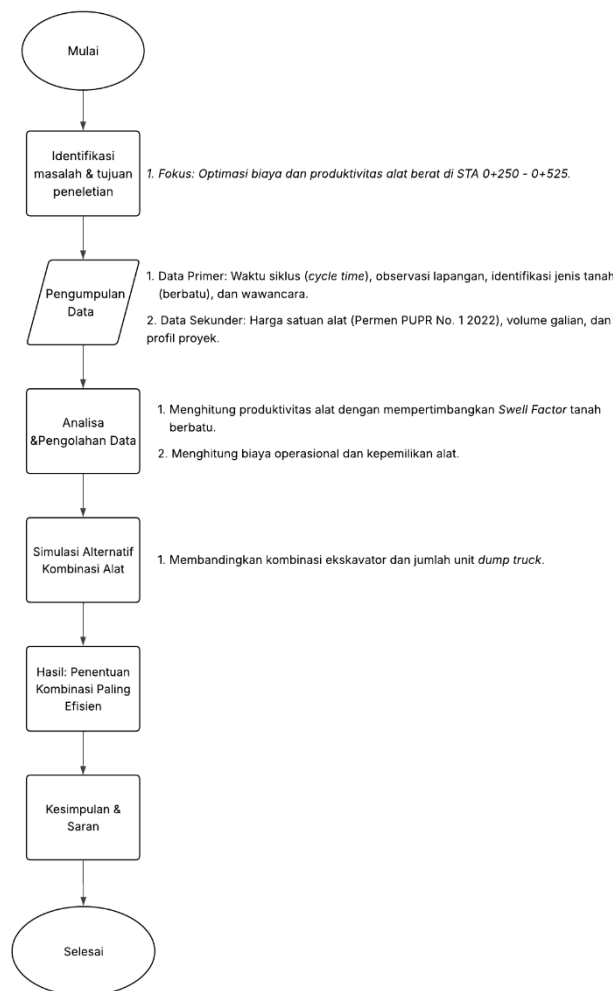
Data primer dalam penelitian ini diperoleh secara langsung oleh peneliti di lapangan melalui kegiatan observasi serta pengukuran waktu siklus operasional alat berat, antara lain *Excavator* dan *Dump Truck*. Informasi yang dihimpun

mencakup berbagai aspek teknis, seperti jam operasional alat, durasi setiap siklus kerja, kapasitas bucket pada excavator, daya angkut dump truck, panjang pen pada breaker, jarak antara lokasi galian dengan *disposal area*, jam kerja efektif, hingga kebutuhan bahan bakar dan pelumas yang digunakan selama operasi. Selain aspek operasional, dilakukan pula identifikasi jenis tanah di lokasi galian STA 0+250 – 0+525 yang dikategorikan sebagai tanah berbatu (*cadast*). Karakteristik material ini sangat menentukan nilai faktor kembang (*swell factor*) yang digunakan untuk menghitung konversi volume tanah asli menjadi volume gembur, sehingga perhitungan kapasitas angkut dan produktivitas alat menjadi lebih akurat. Selain pengumpulan data teknis tersebut, peneliti juga melakukan wawancara dengan pihak-pihak terkait yang memiliki tanggung jawab langsung terhadap pengoperasian dan pemeliharaan alat berat, guna memperoleh informasi pendukung yang lebih komprehensif.

*Data Sekunder*

Data sekunder merupakan informasi yang sebelumnya telah dikumpulkan oleh pihak lain untuk kepentingan yang berbeda, namun kemudian dimanfaatkan kembali oleh peneliti sesuai dengan tujuan penelitian. Dalam penelitian ini, data sekunder yang digunakan mencakup hasil pengukuran volume harian pada *disposal area* yang diperoleh dari tim pengukuran proyek. Selain itu, digunakan pula data mengenai biaya operasional serta kepemilikan alat berat yang bersumber dari katalog masing-masing peralatan, serta acuan dari Keputusan Bupati Bogor Nomor 600/471/Kpts/Per-UU/2023.

Baik data primer maupun data sekunder memiliki peranan yang sama penting dalam menunjang penelitian. Data primer berfungsi untuk menyediakan informasi yang bersifat aktual dan spesifik sesuai dengan kebutuhan analisis, sedangkan data sekunder memberikan kerangka acuan yang lebih luas serta pemahaman mendalam terhadap fenomena yang sedang dikaji. Dengan adanya kombinasi kedua jenis data tersebut, penelitian dapat dilakukan secara lebih komprehensif dan memiliki tingkat validitas yang lebih kuat.



Gambar 5. Bagan Alir Penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### *Alat Berat yang Bekerja pada Pekerjaan Galian Jalan Akses menuju Puncak Bendungan*

Berdasarkan data pengamatan, terdapat 3 jenis alat yang bekerja pada pekerjaan galian jalan akses menuju puncak bendungan pada proyek Pembangunan Bendungan Cijurey, ditunjukkan pada table 1 dibawah sebagai berikut.

Tabel 1. Jenis Alat Berat

No	Jenis Alat	Merek dan Tipe
1.	<i>Excavator</i>	Komatsu PC-200 138 HP
2.	<i>Dump Truck</i>	Hino 500 FM 260 JD

### *Perhitungan Waktu Siklus Alat Berat*

Perhitungan waktu siklus alat berat dilakukan berdasarkan hasil pengamatan langsung di lapangan. Dari observasi terhadap alat berat Excavator omatsu PC 200 diperoleh data yang disajikan pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Waktu Siklus *Excavator* Komatsu PC 200

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

30	4	4	4	5	17
<b>Rata-rata</b>					<b>18,60</b>

Hasil pengamatan terhadap alat berat Dump Truk disajikan pada Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Waktu Siklus *Dump Truck* Hino 500 FM 26 JD

Siklus	Waktu (s)				
	Isi	Berangkat	Buang	Kembali	Antri
1	226	121	180	90	240
2	210	120	201	87	236
3	198	131	190	72	253
4	215	111	231	98	242
5	220	109	221	88	229
6	213	115	200	85	235
7	205	122	195	90	240
8	220	119	207	82	245
9	208	124	210	90	230
10	200	115	220	89	240
11	220	110	210	85	250
12	210	120	200	80	235
13	215	120	191	90	240
14	220	115	215	85	230
15	220	122	190	92	240
16	210	118	210	88	250
17	217	123	205	85	235
18	215	121	203	80	240
19	220	115	210	85	245
20	218	120	205	90	230
21	201	112	210	92	240
22	208	118	215	87	245
23	213	121	206	85	240
24	220	115	210	88	235
25	205	113	200	92	240
26	210	117	213	85	250
27	220	120	210	90	240
28	208	125	220	85	235
29	215	119	210	90	240
30	213	121	200	85	250
<b>Rata-Rata</b>	<b>213,80</b>	<b>118,40</b>	<b>206,60</b>	<b>87,00</b>	<b>240,00</b>

Mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang PUPR, produktivitas alat berat dihitung menggunakan persamaan:

$$Q = \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{C_m}$$

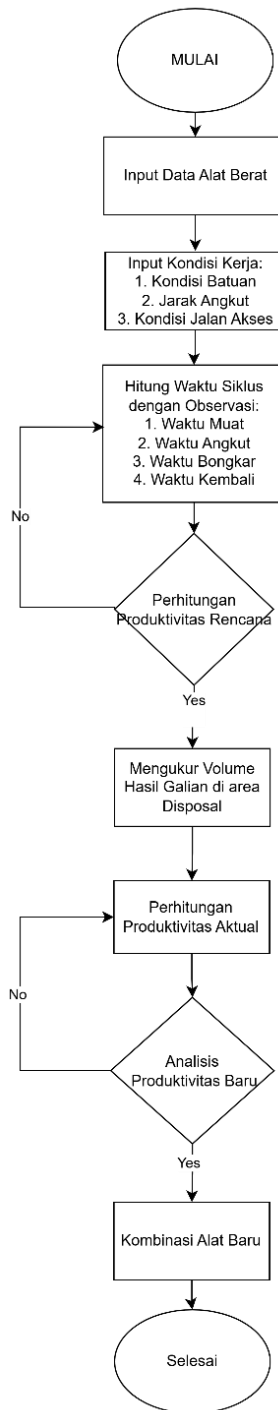
Dengan definisi:

Q : Produksi per jam

V : Kapasitas alat

Fb : Faktor kondisi alat  
 Fa : Faktor efisiensi kerja alat  
 Cm : Waktu siklus

Alur perhitungan produktivitas alat berat berdasarkan data yang diperoleh penulis ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Bagan Alir Perhitungan Produktivitas Alat Berat

Perhitungan produktivitas alat berat yang digunakan untuk pekerjaan galian pada jalan akses menuju puncak bendungan, khususnya dari STA 5+500 hingga STA 9+500 pada Proyek Pembangunan Bendungan Cijurey, disajikan di bawah ini.

**Excavator Komatsu PC-200 (138 HP)**

Kapasitas bucket (V)	= 0,93 m <sup>3</sup>
Faktor bucket (Fb)	= 0,80
Faktor efisiensi alat (Fa)	= 0,81
Faktor konversi material	= 1,70

Waktu operasi:

Gali	= 4,40 detik
Putar berisi	= 3,00 detik
Buang	= 4,80 detik
Putar kosong	= 6,40 detik

Perhitungan waktu:

$$T1 = \frac{\text{Waktu gali} + \text{Putar isi} + \text{Buang}}{60}$$

$$T1 = \frac{4,40 + 3 + 4,80}{60} = 0,20 \text{ menit}$$

$$T2 = \frac{\text{Waktu putar kosong} + \text{Waktu tambahan 5 detik}}{60}$$

$$T2 = \frac{6,40 + 5}{60} = 0,19 \text{ menit}$$

Total waktu siklus:

$$Cm = T1 + T2 = 0,20 + 0,19 = 0,39 \text{ menit}$$

Produktivitas per jam:

$$Q_1 = \frac{0,93 \times 0,80 \times 0,81 \times 60}{0,39 \times 1,70} = 54,08 \text{ m}^3/\text{jam}$$

**Dump Truck**

Kapasitas bak	= 25 m <sup>3</sup>
Faktor efisiensi alat	= 0,80
Jarak angkut	= 400 m
Kecepatan berisi	= 12,22 km/jam
Kecepatan kosong	= 16,72 km/jam

Waktu operasi :

Waktu tempuh berisi	= 1,97 menit
Waktu tempuh kosong	= 1,45 menit
Waktu muat	= 3,56 menit
Waktu antri + buang	= 7,44 menit
Total waktu siklus	= 14,43 menit

Produktivitas per jam:

$$Q = \frac{25 \times 0,80 \times 60}{14,43 \times 1,70} = 48,92 \text{ m}^3/\text{jam}$$

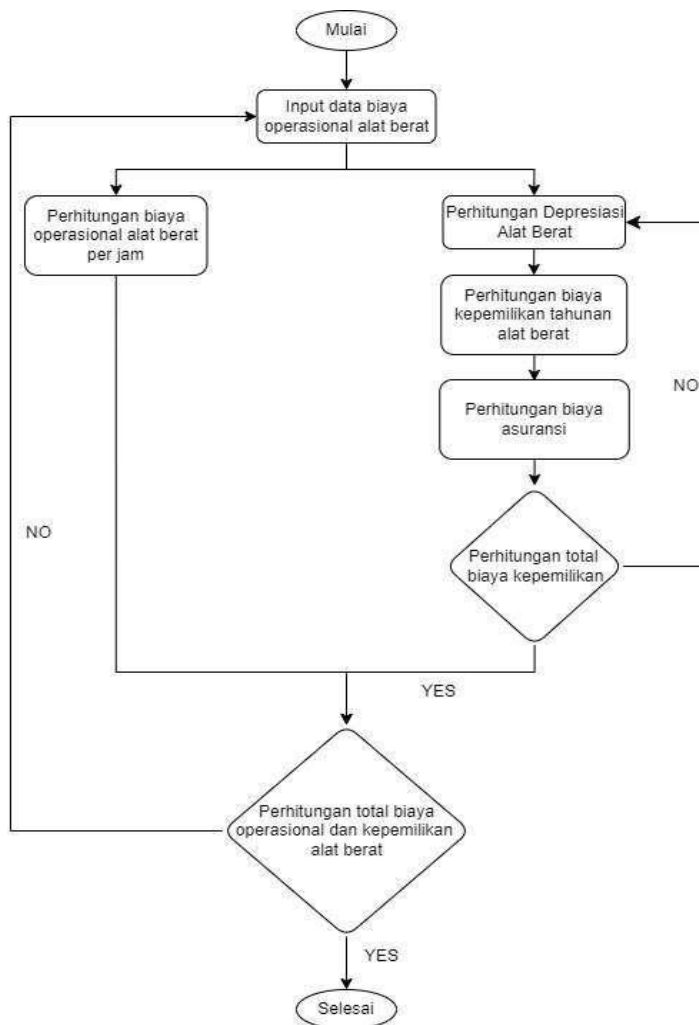
**Perhitungan Produktivitas Alat Berat**

Hasil perhitungan produktivitas masing-masing alat berat tersebut disajikan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Produktivitas masing-masing alat berat yang digunakan

No	Jenis Alat	Produktivitas (m <sup>3</sup> /jam)
1.	Excavator Komatsu PC-200 138 HP	54,08
2.	Dump Truck Hino 500 FM 260 JD	48,92

**Perhitungan Biaya Operasional**



Gambar 7. Bagan Alir Perhitungan Biaya Operasional

Data biaya alat berat diperoleh dari Keputusan Bupati Bogor Nomor 600/471/Kpts/Per-UU/2023 tentang Standar Harga Jasa Konstruksi dan Jasa Konsultasi Kabupaten Bogor yang diterbitkan oleh Pemerintah Kabupaten Bogor, serta dilengkapi dengan informasi dari Manual Book masing-masing alat untuk memastikan ketepatan dan kesesuaian dengan spesifikasi teknis.

Mengacu pada Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang PUPR, biaya operasional alat berat dihitung menggunakan rumus:

$$Biaya\ Operasi = H + I + J + K + L$$

dengan:

- H = Konsumsi bahan bakar
- I = Konsumsi minyak pelumas
- J = Biaya pemeliharaan rutin
- K = Upah operator

Analisis biaya kepemilikan serta operasional alat berat perlu dilakukan secara komprehensif, karena kedua aspek ini berpengaruh besar terhadap efektivitas penggunaan anggaran pada pelaksanaan proyek [6]. Adapun kebutuhan operasional dan rincian biaya untuk setiap alat berat yang digunakan dijabarkan sebagai berikut:

#### ***Excavator Komatsu PC 200***

Biaya Bahan Bakar (H)

Komponen biaya bahan bakar dihitung berdasarkan konsumsi rata-rata solar per jam dikalikan harga solar per liter.

$$H = 18,67 \times Rp15.000,00 = Rp280.050,00$$

Biaya Minyak Pelumas (I)

Biaya pelumas diperoleh dari kebutuhan pelumas dibagi total jam kerja alat selama satu bulan, kemudian dikalikan dengan harga pelumas per satuan.

$$I = \frac{168,2 \times Rp30.000,00}{(25 \times 12) + (5 \times 8)} = Rp25.230,00$$

Biaya Pemeliharaan Rutin (J)

Biaya perawatan berkala dihitung dengan membagi total biaya bengkel terhadap jam kerja bulanan.

$$J = \frac{Rp5.400.000,00}{(25 \times 12) + (5 \times 8)} = Rp27.000,00$$

Upah Operator (K)

Upah operator dihitung dari jumlah tenaga kerja dikalikan tarif per jam.

$$K = 1 \times Rp43.179,00 = Rp43.179,00$$

Upah Pembantu Operator (L)

Upah pembantu operator ditentukan dengan metode yang sama, yaitu jumlah pekerja dikalikan tarif per jam.

$$L = 1 \times Rp26.169,00 = Rp26.169,00$$

Total Biaya Operasional (P)

Total biaya operasional diperoleh dari penjumlahan seluruh komponen biaya.

$$P = H + I + J + K + L = Rp397.128,00$$

#### ***Dump Truck HINO FM 260 JD***

Biaya Bahan Bakar (H)

Biaya bahan bakar dihitung berdasarkan konsumsi solar per jam dikalikan harga per liter.

$$H = 5,83 \times Rp15.000,00 = Rp87.450,00$$

Biaya Minyak Pelumas (I)

Biaya pelumas diperoleh dari jumlah kebutuhan pelumas dikali harga pelumas.

$$I = 15 \times Rp30.000,00 = Rp2.250,00$$

Biaya Pemeliharaan Rutin (J)

Biaya pemeliharaan dihitung dari biaya bengkel dibagi jam kerja bulanan.

$$J = \frac{Rp5.400.000,00}{(25 \times 12) + (5 \times 8)} = Rp27.000,00$$

Upah Operator (K)

$$K = 1 \times Rp43.179,00 = Rp43.179,00$$

Upah Pembantu Operator (L)

$$L = 1 \times Rp26.169,00 = Rp26.169,00$$

Total Biaya Operasional (P)

$$P = H + I + J + K + L = Rp190.298,00$$

### ***Perhitungan Biaya Kepemilikan***

Dalam proses perhitungan biaya kepemilikan alat, diperlukan komponen nilai penyusutan serta hasil estimasi biaya asuransi. Nilai penyusutan dihitung menggunakan metode saldo menurun (Declining Balance Method). Metode ini merupakan teknik depresiasi yang bersifat dipercepat, di mana persentase penyusutan yang tetap diterapkan pada nilai buku aset yang kian berkurang seiring waktu [9].

Penggunaan metode saldo menurun dipilih karena menggambarkan penurunan nilai aset yang signifikan pada masa awal operasional. Hal ini sesuai dengan karakteristik alat berat yang mengalami penyusutan cepat dan meningkatnya biaya pemeliharaan seiring penggunaan. Metode ini juga bermanfaat dalam pengelolaan arus kas serta efisiensi pajak, karena beban biaya lebih selaras dengan tingkat produktivitas dan performa alat berat.

Sementara itu, biaya kepemilikan alat per jam dihitung berdasarkan beberapa faktor, yaitu nilai akhir atau nilai sisa alat, pembayaran angsuran modal, dan komponen asuransi [8]. Pada bagian berikut, ditampilkan perhitungan biaya kepemilikan untuk masing-masing unit alat berat.

### ***Excavator Komatsu PC 200***

Diketahui data awal sebagai berikut:

Umur penggunaan alat (n) = 5 tahun

Tingkat depresiasi dihitung dengan persamaan:

$$R = \frac{2}{n} = \frac{2}{5} = 0,4$$

Harga pembelian alat = Rp1.100.000.000

Perhitungan depresiasi tahunan dilakukan menggunakan persamaan:

$$D_k = R \times (1 - R)^{(K-1)} \times P(10)$$

Dengan:

- $D_k$  = Depresiasi pada tahun ke-k
- $R$  = Tingkat depresiasi
- $K$  = Tahun ke-n pemakaian
- $P$  = Harga awal alat

Sementara itu, nilai buku alat pada akhir masa pemakaian diperoleh melalui rumus:

$$B_k = (1 - R)^K \times P(11)$$

Dengan keterangan:

- $B_k$  = Nilai buku pada akhir tahun ke-k
- $R$  = Tingkat depresiasi
- $K$  = Tahun penggunaan
- $P$  = Harga alat

Perhitungan depresiasi Excavator Komatsu PC 200 dapat dilihat pada Tabel dibawah ini:

Tabel 5. Depresiasi *Excavator* Komatsu PC 200

Tahun (k)	Depresiasi Tahunan (Dk)	Nilai Buku Akhir (Bk)
1	Rp 440.000.000	Rp 660.000.000
2	Rp 158.400.000	Rp 501.600.000
3	Rp 72.230.400	Rp 429.369.600
4	Rp 37.097.533	Rp 392.272.067
5	Rp 20.335.384	Rp 371.936.683

Pada unit Excavator Komatsu PC 200, biaya kepemilikan tahunan diperoleh melalui perhitungan berikut:

$$A = \frac{1.100.000.000 \times (5 + 1) + 371.936.683 \times (5 - 1)}{2 \times 5^2}$$

Sehingga didapatkan nilai:

$$A = Rp161.754.934,61 \text{ per tahun}$$

**Dump Truck HINO FM 260 JD**

Diketahui data awal sebagai berikut :

- Umur alat (n) = 5 tahun
- Tingkat penyusutan (R) = 0,4
- Harga pembelian alat = Rp1.900.000.000

Perhitungan nilai depresiasi Dump Truck HINO FM 260 JD disajikan pada Tabel berikut

Tabel 6. Depresiasi *Dump Truck* HINO FM 260 JD

Tahun (k)	Depresiasi Tahunan (Dk)	Nilai Buku Akhir (Bk)
1	Rp 760.000.000	Rp1.140.000.000
2	Rp 273.600.000	Rp 866.400.000
3	Rp 124.761.600	Rp 741.638.400
4	Rp 64.077.558	Rp 677.560.842
5	Rp 35.124.754	Rp 642.436.088

Untuk Excavator Komatsu PC 200, nilai biaya kepemilikan tahunan dihitung sebagai berikut:

Persentase asuransi alat ditetapkan sebesar 1,5%. Perhitungan biaya kepemilikan diperoleh melalui persamaan

$$A = \frac{1.900.000.000 \times (5 + 1) + 642.436.088 \times (5 - 1)}{2 \times 5^2}$$

Sehingga diperoleh:

$$A = Rp\ 279.394.887,05 \text{ per tahun}$$

Selanjutnya, biaya asuransi dihitung menggunakan formula:

$$\text{Asuransi} = \left( \frac{\text{Harga Alat}}{\text{Jam Operasi Tahunan}} \right) \times 1,5\%$$

Tahapan perhitungan kemudian dilanjutkan untuk mendapatkan nilai asuransi sesuai kebutuhan proyek. Hasil akhir perhitungan tersebut disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Asuransi

Jenis Alat	Asuransi 1,5%
<i>Excavator</i> Komatsu PC 200	Rp 6.365,74
<i>Dump Truck</i> HINO FM 260 JD	Rp 10.995,37

Total biaya kepemilikan diperoleh dengan menambahkan biaya kepemilikan tahunan dengan nilai asuransi alat. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh total biaya sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Excavator Komatsu PC 200} \\ &= \text{Rp}67.397,89 + \text{Rp}6.365,74 \\ &= \text{Rp}73.763,63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Dump Truck HINO FM 260 JD} \\ &= \text{Rp}116.414,54 + \text{Rp}10.995,37 \\ &= \text{Rp}127.409,91 \end{aligned}$$

#### **Total Biaya Alat Berat**

Total biaya alat berat dihitung dengan menggabungkan biaya kepemilikan per jam dan biaya operasional per jam untuk masing-masing unit. Hasil perhitungan untuk setiap alat adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} &\text{Excavator Komatsu PC 200} \\ &= \text{Biaya kepemilikan/jam} + \text{Biaya operasional/jam} \\ &= \text{Rp}73.763,63 + \text{Rp}397.128,00 \\ &= \text{Rp}470.891,63/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\text{Dump Truck Hino FM 260 JD} \\ &= \text{Rp}127.409,91 + \text{Rp}190.298,00 \\ &= \text{Rp}317.707,91/\text{jam} \end{aligned}$$

#### **Perhitungan Produktivitas Alat Berat**

Tahapan kombinasi alat berat untuk pekerjaan galian jalan akses STA 5+500 hingga STA 9+500 pada Proyek Bendungan Cijurey Paket 1 dijelaskan sebagai berikut. Analisis produktivitas aktual didasarkan pada hasil pengukuran volume galian yang dibuang ke Disposal Area.

Jam kerja alat dihitung melalui akumulasi jumlah hari kerja bulanan dengan mempertimbangkan durasi kerja harian:

$$(25 \times 8) + (5 \times 7) = 200 + 35 = 235 \text{ jam/bulan.}$$

**Excavator Komatsu PC 200**

Untuk Excavator Komatsu PC 200 dengan jumlah 1 unit, produktivitas dihitung dari perbandingan total volume galian terhadap jam kerja alat:

$$\text{Produktivitas} = \frac{17.104,33}{235} = 72,78 \text{ m}^3/\text{jam}$$

**Dump Truck Hino FM 260 JD**

Pada Dump Truck Hino FM 260 JD dengan jumlah 4 unit, nilai produktivitas total berada pada angka yang sama, yaitu:

$$\frac{17.104,33}{235} = 72,78 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Sehingga produktivitas per satu unit dump truck diperoleh sebagai berikut:

$$\frac{72,78}{4} = 18,195 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Biaya total alat berat dihitung dengan mengalikan biaya per jam alat, jumlah jam operasi, serta jumlah unit dengan rumus:

$$\text{Biaya Total Alat Berat} = \text{Biaya Alat per Jam} \times \text{Jam Kerja} \times \text{Jumlah Alat}$$

**Perhitungan Analisa Kombinasi Alat Berat Baru (analisa produktivitas alat)**

*Analisis Produktivitas Aktual di Lapangan Berdasarkan Pengukuran Volume Galian*

Jam Kerja

$$(25 \times 8) + (5 \times 7) = 235 \text{ jam/bulan}$$

Excavator Komatsu PC 200 (jumlah = 2 unit)

Produktivitas alat dihitung dari perbandingan total volume galian terhadap total jam kerja alat:

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Total Produksi}}{\text{Jam Kerja}} = \frac{17.104,33}{235} = 72,78 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\frac{72,78}{2} = 36,39 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dump Truck Hino FM 260 JD (jumlah = 4 unit)

Perhitungan produktivitas keseluruhan dump truck menggunakan rumus yang sama:

$$\frac{17.104,33}{235} = 72,78 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Produktivitas per unit dump truck diperoleh dengan membagi kapasitas produksi total dump truck dengan jumlah unit yang beroperasi:

$$\frac{72,78}{4} = 18,195 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Adapun jam kerja untuk satu buah dump truck yaitu :

$$\frac{17.104,33}{18,195} = 940 \text{ jam/bulan}$$

Hasil perhitungan biaya total alat berat dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Total Biaya Kombinasi Alat Berat Lama

Jenis Alat	Jumlah Alat	Produktivitas (m <sup>3</sup> /jam)	Biaya Alat Berat	Total Biaya Alat Berat
Excavator Komatsu PC 200	2	72,78	Rp470.891,63	Rp221.319.066,10
Dump Truck Hino FM 260 JD	4		Rp317.707,91	Rp298.645.435,40
<b>TOTAL</b>				<b>Rp519.964.501,50</b>

**Analisis Produktivitas Baru**

Excavator Komatsu PC 200

Jumlah unit yang disarankan = 2 unit. Produktivitas per alat:

$$\text{Produktivitas 1 alat} = 72,78 \div 2 = 36,39 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dengan rencana penggunaan 2 unit, produktivitas gabungan dihitung sebagai:

$$\text{Produktivitas 2 alat} = 36,39 \times 2 = 72,78 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Dump Truck Hino FM 260 JD

Jumlah unit yang direkomendasikan: 3 unit. Produktivitas per unit dump truck dihitung sebagai:

$$\frac{72,78}{3} = 24,26 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Adapun jam kerja untuk satu buah dump truck yaitu:

$$\frac{17.104,33}{24,26} = 705 \text{ jam/bulan}$$

Jam Kerja Alat

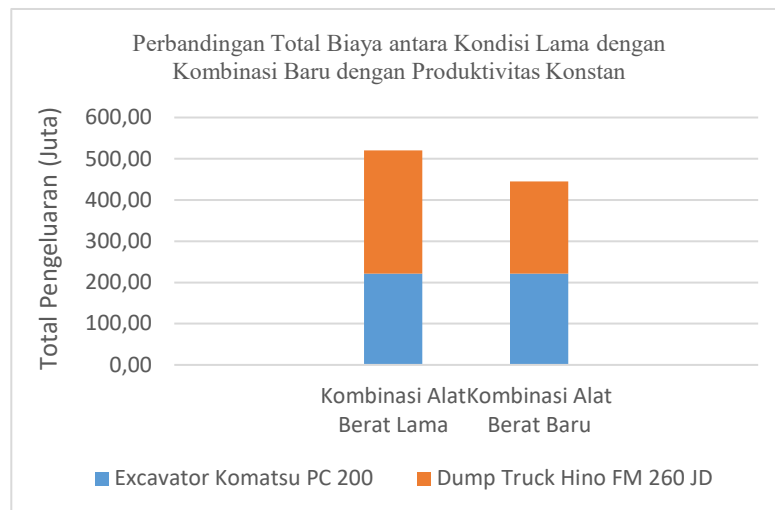
Total waktu kerja diperoleh dengan membandingkan total volume galian dengan produktivitas gabungan alat:

$$\text{Jam Kerja} = \frac{\text{Total Produksi}}{\text{Produktivitas}} = \frac{17.104,33}{72,78} = 235 \text{ jam}$$

Biaya total alat berat untuk *fleet* baru dapat dilihat pada Tabel 9 sebagai berikut.

Tabel 9. Total Biaya Kombinasi Alat Berat Baru

Jenis Alat	Jumlah Alat	Produktivitas (m <sup>3</sup> /jam)	Biaya Alat Berat	Total Biaya Alat Berat
Excavator Komatsu PC 200	2	72,78	Rp470.891,63	Rp221.319.066,10
Dump Truck Hino FM 260 JD	3		Rp317.707,91	Rp223.984.076,60
<b>TOTAL</b>				<b>Rp445.303.142,70</b>



Gambar 8. Perbandingan Total Biaya antara Kondisi Lama dengan Kombinasi Baru dengan Produktivitas Konstan

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa optimasi alat berat melalui pengurangan satu unit *dump truck* memberikan dampak yang signifikan terhadap efisiensi proyek. Meskipun jumlah armada angkut berkurang, total produktivitas sistem tetap terjaga pada angka 72,78 m<sup>3</sup>/jam. Hal ini membuktikan bahwa kombinasi awal (eksisting) memiliki waktu tunggu (*waiting time*) yang tinggi, sehingga pengurangan unit justru mengoptimalkan sinkronisasi antar alat dan berhasil menekan biaya operasional sebesar 14,35% atau setara dengan Rp74.661.358,80.

## KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, konfigurasi kombinasi alat berat yang semula terdiri dari 2 unit excavator dan 4 dump truck dioptimalkan menjadi 2 unit excavator dan 3 dump truck. Perubahan komposisi ini tidak mempengaruhi produktivitas, yang tetap berada pada angka 72,78 m<sup>3</sup>/jam, serta tidak mengubah durasi pelaksanaan pekerjaan yang tetap sebesar 235 jam. Penghematan biaya operasional tercapai secara signifikan, yaitu dari Rp519.964.501,50 menjadi Rp445.303.142,70, dengan persentase penurunan sebesar 14,35%, serta waktu untuk pekerjaan 1 dump truck yang awalnya memerlukan 940 jam/bulan menjadi 705 jam/bulan sebagai konsekuensi dari pengurangan jumlah unit alat.

Peningkatan efisiensi operasional diperoleh melalui berkurangnya waktu menganggur (*waste time*), sementara pengurangan jumlah dump truck menurunkan biaya bahan bakar, pemeliharaan rutin, serta upah operator. Sinkronisasi kerja antara excavator dan dump truck yang lebih optimal menghasilkan siklus kerja yang lebih efektif sehingga meminimalkan waktu tidak produktif. Meskipun jumlah alat diturunkan, tidak terdapat penurunan output produksi maupun perubahan waktu pekerjaan, menunjukkan bahwa penghematan biaya dapat dicapai tanpa mengorbankan kinerja proyek.

Secara keseluruhan, pendekatan pengurangan jumlah alat yang disertai optimalisasi produktivitas memberikan dampak positif terhadap efisiensi operasional dan pengurangan beban biaya proyek

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kartasapoetra, A. G. (1991). *Teknologi Pengairan Pertanian Irigasi*. Jakarta: Bumi Aksara.
- [2] Sukindrawati, B., Kartika W., dan Sarju. (2023). Evaluasi Kinerja Waktu Dengan Metode Konsep Nilai Hasil. *Menara: Jurnal Teknik Sipil*, 18(2), 110–114.
- [3] Febrianti, D. A., Winanda, L. A. R., Roostrianawaty, N., dan Munasih. (2021). Efisiensi Biaya Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Proyek Bendungan. *Institut Teknologi Nasional Malang*.
- [4] Putra, D. H. dan Nugraheni, F. (2018). Analisis Produktivitas Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Pemandahan Tanah Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Fakultas Hukum UII. *Prosiding Kolokium Program Studi Teknik Sipil*

- (KPSTS) FTSP UII 2018, 1–8.
- [5] Efriansyah, M., Prihutomo, N. B., dan Pramono, E. (2022). Analisis Produktivitas Excavator dan Dumptruck Pada Pekerjaan Galian Tanah pada Proyek Jalan Tol Jakarta – Cikampek II Selatan. *MoDuluS: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil*, 4(1), 9-15
- [6] Tauro, S. P., Tjakra J., dan Malingkas, G. Y. (2013). Analisis Biaya Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Tanah (Studi Kasus Perencanaan Bandar Udara Lokasi Desa Pusungi Kec. Ampana Tete Kab. Tojo Una-Una, Sulawesi Tengah). *Jurnal Sipil Statik*, 1(12), 764–773.
- [7] Keputusan Bupati Nomor: 600/471/Kpts/Per-UU/2023 tentang Standar Harga Jasa Konstruksi Dan Jasa Konsultansi Kabupaten Bogor Tahun Anggaran 2024.
- [8] Bahar, S. B. (2016). Evaluasi Biaya Alat Berat Pada Proyek Peningkatan Jalan Lakapera-Wamengkoli Kabupaten Buton Tengah. *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 2(2): 51–58.
- [9] Setyawati, V. A., Fauziyah F., dan Kusumaningarti, M.. (2022). Analisis Metode Penyusutan Aset Tetap Berwujud Saldo Menurun untuk Menentukan Pajak Penghasilan Terutang. *Jurnal Cendekia Akuntansi (JCA)*, 3(2), 75.
- [10] Chaplin, E. J., Samsunan, dan Aulia R. (2022). Analisis Biaya Operasi Alat Berat pada Pekerjaan Timbunan. *JITU (Jurnal Ilmiah Teknik UNIDA)*, 3(1): 42–48.
- [11] Komatsu. (2004). *Manual Book for Hydraulic Excavator Specifications*. Jepang: Komatsu.
- [12] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Nomor 1 Tahun 2022 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang PUPR.
- [13] Rostiyanti, S. F. (2008). *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*. Jakarta: Rineka Cipta
- [14] Wattimena, M. dan Witjaksana B. (2023). Analisis Biaya dan Waktu Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Pada Proyek Pembangunan Jalan dan Jembatan Lingkar Selatan Kabupaten Sampang. *Jurnal Taguchi*, 3(1), 534–547.
- [15] Hendarsin, S. (2014). *Teknologi Alat Berat dan Metode Konstruksi*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama.
- [16] Sukirman, S. (2010). *Dasar-dasar Perencanaan Geometrik Jalan*. Bandung: Nova.
- [17] Rostiyanti, S. (2006). *Produktivitas Alat Berat pada Pekerjaan Konstruksi*. Jakarta: Penerbit UI Press.
- [18] Day, D. (2011). *Construction Equipment Management for Engineers, Estimators, and Owners*. New York: CRC Press.
- [19] Haul, R. & Sarsby, R. (2019). *Earthworks: A Guide*. London: ICE Publishing.
- [20] Yoder, E. J., & Witczak, M. (2015). *Principles of Pavement Design*. New York: John Wiley & Sons.
- [21] SNI 7830:2012. *Metode Pengukuran Produksi Alat Berat pada Pekerjaan Konstruksi*. Badan Standardisasi Nasional.
- [22] Direktorat Bina Teknik Sumber Daya Air. (2018). *Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang SDA*. Kementerian PUPR.
- [23] Caterpillar Inc. (2020). *Performance Handbook, 49th Edition*. Illinois: Caterpillar Global Training.
- [24] Komatsu Ltd. (2019). *PC200-8 Hydraulic Excavator Operation & Maintenance Manual*. Osaka: Komatsu Corpor