

**PRODUKTIVITAS KOMBINASI PEMAKAIAN ALAT BERAT EXCAVATOR DAN DUMP TRUCK  
PADA PEKERJAAN GALIAN PROYEK PEMBANGUNAN GUDANG CJ LOGISTIC  
SAFE'N'LOCK ECO INDUSTRIAL PARK**

Reinanda Aurellia Pramesti  
Teknik Sipil, Universitas Negeri Surabaya, Surabaya  
E-mail: \*[reinandaaurellia.21017@mhs.unesa.ac.id](mailto:reinandaaurellia.21017@mhs.unesa.ac.id)

**ABSTRAK**

Pada proyek pembangunan Gudang *CJ Logistic Safe'n'Lock Eco Industrial Park* terdapat pekerjaan galian yang memerlukan alat berat seperti *excavator* dan *dump truck* sebagai alat bantu untuk pekerjaan pemindahan tanah. Meskipun proyek ini telah berjalan, pengaturan alat berat yang digunakan belum optimal, berdasarkan pengamatan yang dilakukan selama periode penggalian tanah terdapat waktu tunggu *excavator* terhadap *dump truck*, hal ini yang dapat mempengaruhi produktivitas dan juga mengurangi efisiensi proses pekerjaan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis produktivitas *excavator* dan *dump truck*, membandingkan kombinasi alat berat untuk menentukan pilihan yang paling optimal dari segi waktu dan biaya, serta menetapkan jumlah alat dan durasi kerja yang paling efisien. Dengan pendekatan kuantitatif dan analisis komparatif digunakan untuk mengevaluasi dua alternatif kombinasi alat berat. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa produktivitas *excavator Hitachi zx210f-5g* adalah sebesar 47,62 m<sup>3</sup>/jam, dan untuk produktivitas *dump truck Mitsubishi Fuso FM 517 HS 7.5 MT* sebesar 26,32 m<sup>3</sup>/jam. Hasil analisis menunjukan bahwa kombinasi 3 merupakan kombinasi yang paling optimal. Kombinasi ini memberikan percepatan durasi sebesar 65,71% atau 23 jam lebih cepat dibandingkan dengan kondisi awal, dengan peningkatan biaya sebesar Rp11.884.875,00 atau 39,33%.

**Kata kunci**

***Excavator, Dump Truck, Kombinasi, Pekerjaan Galian, Produktivitas***

**ABSTRACT**

*In the CJ Logistic Safe'n'Lock Eco Industrial Park Warehouse construction project, there is excavation work that requires heavy equipment such as excavators and dump trucks as aids for earthmoving work. Although this project has been running, the arrangement of heavy equipment used has not been optimal, based on observations made during the earthmoving period there is a waiting time for the excavator to the dump truck, this can affect productivity and also reduce the efficiency of the work process. This study aims to analyze the productivity of excavators and dump trucks, compare combinations of heavy equipment to determine the most optimal choice in terms of time and cost, and determine the number of tools and the most efficient work duration. With a quantitative approach and comparative analysis used to evaluate two alternative combinations of heavy equipment. The calculation results show that the productivity of the Hitachi zx210f-5g excavator is 47.62 m<sup>3</sup>/hour, and for the productivity of the Mitsubishi Fuso FM 517 HS 7.5 MT dump truck is 26.32 m<sup>3</sup>/hour. The results of the analysis indicate that combination 3 is the most optimal combination. This combination provides a duration acceleration of 65.71% or 23 hours faster compared to the initial condition, with a cost increase of Rp11,884,875.00 or 39.33%.*

**Keywords**

***Excavator, Dump Truck, Combination, Excavation Work, Productivity***

## 1. PENDAHULUAN

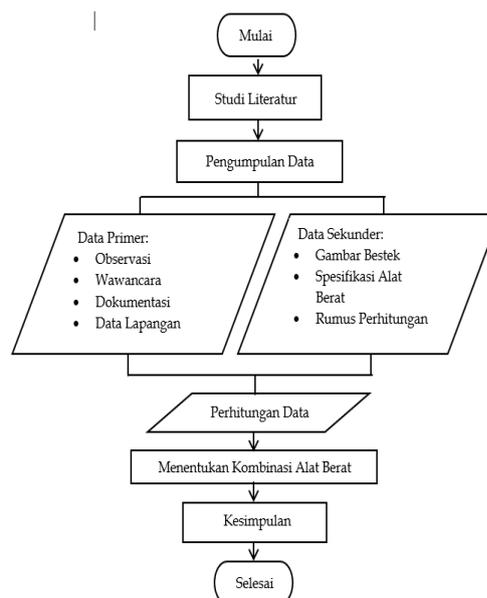
Pembangunan konstruksi saat ini berkembang sangat pesat seiring kemajuan teknologi dan meningkatnya populasi manusia. Berbagai jenis pembangunan seperti jalan, gedung, dan bendungan terus dilakukan di berbagai wilayah Indonesia (Hariyanto et al., 2020). Bangunan merupakan struktur yang dibangun dengan tujuan tertentu, baik untuk hunian, industri, komersial, maupun lainnya. Karena itu, bangunan sangat erat kaitannya dengan proyek konstruksi dalam industri pembangunan.

Proyek konstruksi merupakan upaya untuk mengorganisasikan sumber daya demi mencapai sasaran tertentu dalam batas waktu yang ditentukan (Kaprina et al., 2018). Dalam pelaksanaannya, proyek ini harus memperhatikan tiga aspek penting, yaitu waktu, biaya, dan mutu. Ketiga aspek tersebut sangat bergantung pada perencanaan metode, penggunaan alat, dan penjadwalan yang tepat. Keberhasilan proyek bisa dilihat dari keuntungan yang diperoleh serta ketepatan waktu penyelesaiannya.

Salah satu faktor penentu keberhasilan proyek adalah pemilihan alat berat yang sesuai. Pada proyek skala besar, alat berat seperti excavator dan dump truck digunakan untuk mempercepat pekerjaan galian tanah. Pemilihan alat berat harus disesuaikan dengan kondisi dan situasi proyek agar produktivitasnya optimal (Kalengkongan et al., 2020). Oleh karena itu, pemilihan alat berat tidak bisa dilakukan sembarangan.

Kombinasi alat berat diperlukan untuk menentukan jumlah, jenis, waktu, dan biaya penggunaan alat berat secara efisien. Dengan menganalisis kombinasi ini, proyek dapat memaksimalkan produktivitas dan meminimalkan pemborosan. Analisis tersebut sangat penting terutama untuk pekerjaan galian tanah yang membutuhkan efektivitas tinggi. Melalui pendekatan ini, proyek konstruksi diharapkan dapat berjalan secara optimal dari segi teknis dan ekonomis.

## 2. METODE PENELITIAN



**Gambar 1: Diagram Alir Penelitian**

Penelitian ini menggunakan metode penelitian kuantitatif, penelitian kuantitatif merupakan suatu pendekatan yang didasari oleh sesuatu yang pasti, faktual, dan berdasarkan data empiris dalam meneliti suatu sampel dimana pengambilan sampel

diambil secara acak dengan mengumpulkan data melalui instrument (Irsadunnafi, 2024). Pada penelitian ini menggunakan metode kuantitatif yang mengarah pada analisis komperatif. Analisis komperatif merupakan penelitian yang bersifat membandingkan (Arista, 2024). Dengan membandingkan beberapa jenis kombinasi jumlah *excavator* dan *dump truck*, setelah itu dapat ditarik kesimpulan kombinasi jumlah *excavator* dan *dump truck* mana yang paling efisien dari segi waktu dan juga biaya.

### 2. 1 Tahap Penentuan Objek Penelitian



**Gambar 2: Lokasi Penelitian**

Objek penelitian dilakukan pada proyek Pembangunan Gudang *CJ logistic Safe'n'Lock Eco Industrial Park*.

### 2. 2 Tahap pengumpulan Data Yang Dibutuhkan

Metode penelitian disusun untuk mengarahkan pembahasan studi secara struktur mulai dari penelitian terdahulu, penemuan masalah, pengamatan, pengumpulan data yang dapat dilakukan melalui referensi penelitian sebelumnya dan dapat dilakukan melalui observasi lapangan secara langsung. Pengumpulan data primer dapat diperoleh dengan melakukan survei atau observasi langsung pada lokasi proyek serta melakukan proses dokumentasi. Data sekunder dalam penelitian berupa literatur mengenai spesifikasi alat berat, gambar bestek, rumus perhitungan, faktor dan kapasitas alat berat yang digunakan pada penelitian ini.

### 2. 3 Tahap Kelola Data

Setelah mendapatkan data yang diperlukan maka langkah selanjutnya adalah perhitungan data. Pada tahap mengolah atau menganalisis perhitungan pada kombinasi produktivitas alat berat *excavator* dan *dump truck* didapat dengan rumus yang ada dan pengolahan data menggunakan bantuan *Microsoft Excel*. Terdapat beberapa perhitungan produktivitas alat berat, dan biaya operasional, sehingga dapat membuat dan menentukan kombinasi alat berat yang paling optimal.

### 2. 4 Tahap Analisis Hasil

Menganalisis data atau hasil yang sudah dihitung serta dibandingkan agar mendapatkan alasan dari terjadinya perbedaan perbandingan.

### 2. 5 Tahap Penarikan Kesimpulan

Tahapan akhir merupakan tahapan kesimpulan pada hasil penelitian yang telah dilakukan dan memberikan saran untuk penelitian selanjutnya.

Perhitungan volume galian pada penelitian ini pekerjaan galian tanah yang digunakan sebagai data untuk menghitung volume galian merupakan pekerjaan galian pondasi *pile cap*, dan pekerjaan galian *drainase*. Hasil perhitungan volume galian untuk pekerjaan *drainase* akan digabungkan dengan hasil perhitungan volume galian pekerjaan *pile cap*. Jumlah total volume galian tersebut akan dikalikan dengan faktor *swelling*. Berikut ini merupakan hasil perhitungan total volume galian.

1. Volume Galian *Pile Cap* : 116,23 m<sup>3</sup>
2. Volume Galian *Drainase* : 1236,00 m<sup>3</sup>
3. Total Volume Galian = 116,23 + 1236,00  
= 1352,23 m<sup>3</sup>
4. Total Volume x *Swelling* = 1352,23 x 1,25  
= 1690,28 m<sup>3</sup>

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan total volume galian tanah sebesar 1690,28 m<sup>3</sup>. Perhitungan produktivitas *excavator* pada proyek ini *excavator* mempunyai fungsi yaitu untuk menggali tanah dan untuk memindahkan tanah ke dalam *bak dump truck*. Digunakan unit *excavator* sebagai berikut.

- a. Kapasitas *Bucket* (V) : 0,91 m<sup>3</sup>
- b. Faktor *Bucket* (Fb) : 0,9
- c. Efisiensi Kerja (FaEXC) : 0,75
- d. Faktor Koreksi (Fv) : 0,9
- e. Waktu Siklus : 0,86 menit

Produktivitas *excavator* per jam (m<sup>3</sup>/jam)

$$(Q) = \frac{v \times F_{aEXC} \times F_b \times 60}{T_s \times F_v}$$

$$= \frac{0,91 \times 0,75 \times 0,9 \times 60}{0,86 \times 0,9}$$

$$= 47,62 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Perhitungan produktivitas *dump truck* merupakan data alat berat *dump truck* yang akan digunakan untuk perhitungan produktivitas.

- a. Kapasitas *bak dump truck* (V) : 28,42 m<sup>3</sup>
- b. Produktivitas *excavator* (Qexc) : 47,62 m<sup>3</sup>/jam
- c. Efisiensi kerja (FaDT) : 0,75
- d. Berat jenis *material* (D) : 1,6 ton/m<sup>3</sup>
- e. Waktu siklus (Ts) : 30,37 menit

Produktivitas *dump truck* per jam (m<sup>3</sup>/jam)

$$(Q1) = \frac{v \times F_{aDT} \times 60}{D \times T_s}$$

$$= \frac{28,42 \times 0,75 \times 60}{1,6 \times 30,37}$$

$$= 26,32 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Pada perhitungan biaya sewa alat data harga sewa alat berat pada perhitungan ini diperoleh berdasarkan informasi aktual dari proyek yang sedang berjalan, yang mencerminkan kondisi harga pasar pada saat pelaksanaan pekerjaan. Sementara itu, harga bahan bakar yang digunakan dalam perhitungan diperoleh dari situs resmi Pertamina agar sesuai dengan harga yang berlaku. Dibawah ini merupakan perhitungan biaya sewa total alat berat yang digunakan:

1. *Excavator*
  - a. Tipe : *Hitachi zx210f-5g*
  - b. Harga sewa alat = Rp155.000,00/jam
  - c. Bahan bakar = Rp233.625,00/jam
  - d. Operator = Rp15.625,00/jam
  - e. Harga sewa total = Rp404.250,00/jam
2. *Dump Truck*
  - a. Tipe : *Mitsubishi Fuso FM*
  - b. Harga sewa alat = Rp230.000,00/jam

- c. Bahan bakar = Rp213.600,00/jam
- d. Operator = Rp15.625,00/jam
- e. Harga sewa total = Rp459.225,00/jam

Perhitungan kombinasi alat berat *excavator* dan *dump truck* dilakukan berdasarkan produktivitas dari alat berat dan biaya sewanya, sebelum itu dilakukannya analisa terhadap kondisi asli di lapangan yang nantinya akan digunakan sebagai pembanding terhadap hasil perhitungan kombinasi alat berat.

### 1. Analisa Kondisi Asli

#### A. *Excavator*

- a. Jumlah alat (n) = 1 unit
- b. Volume Galian = 1690,28 m<sup>3</sup>
- c. Produksi *excavator* (Q) = 47,62 m<sup>3</sup>/jam
- d. Produksi keseluruhan = Q x n  
= 47,62 x 1 unit  
= 47,62 m<sup>3</sup>/jam
- e. Waktu kerja =  $\frac{V. \text{ Galian}}{\text{Produksi keseluruhan}}$   
=  $\frac{1690,28 \text{ m}^3}{47,62 \text{ m}^3/\text{jam}}$   
= 35,48 jam  $\approx$  35 jam
- f. Biaya sewa total = Rp404.250,00 x 35 x 1 unit  
= Rp14.148.750,00

#### B. *Dump Truck*

- Biaya sewa total = Rp459.225,00 x 35 x 1 unit  
= Rp16.072.875,00

### 2. Alternatif Kombinasi Satu

#### A. *Excavator*

- a. Jumlah alat (n) = 1 unit
- b. Volume Galian = 1690,28 m<sup>3</sup>
- c. Produksi *excavator* (Q) = 47,62 m<sup>3</sup>/jam
- d. Produksi keseluruhan = Q x n  
= 47,62 x 1 unit  
= 47,62 m<sup>3</sup>/jam
- e. Waktu kerja =  $\frac{V. \text{ Galian}}{\text{Produksi excava keseluruhan}}$   
=  $\frac{1690,28 \text{ m}^3}{47,62 \text{ m}^3/\text{jam}}$   
= 35,48 jam  $\approx$  35 jam
- f. Biaya sewa total = Rp404.250,00 x 35 x 1 unit  
= Rp14.148.750,00

#### B. *Dump Truck*

- g. Volume galian = 1690,28 m<sup>3</sup>
- h. Produktivitas *dump truck* = 26,32 m<sup>3</sup>/jam
- i. Produktivitas *excavator* = 47,62 m<sup>3</sup>/jam

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \textit{dump truck} \text{ (n)} &= \frac{\text{Produksi Terbesar}}{\text{Produksi Terkecil}} \\ &= \frac{47,62}{26,32} \\ &= 1,81 \text{ unit} \approx 2 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya sewa total} &= \text{Rp}459.225,00 \times 35 \times 2 \text{ unit} \\ &= \text{Rp}32.145.750,00 \end{aligned}$$

### 3. Alternatif Kombinasi Dua

#### A. *Excavator*

$$\begin{aligned} \text{a. Jumlah alat (n)} &= 2 \text{ unit} \\ \text{b. Volume Galian} &= 1690,28 \text{ m}^3 \\ \text{c. Produksi excavator (Q)} &= 47,62 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{d. Produksi keseluruhan} &= Q \times n \\ &= 47,62 \times 2 \text{ unit} \\ &= 95,23 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Waktu kerja} &= \frac{V. \text{ Galian}}{\text{Produksi exca keseluruhan}} \\ &= \frac{1690,28 \text{ m}^3}{95,23 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 17,74 \text{ jam} \approx 18 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya sewa total} &= \text{Rp}404.250,00 \times 18 \times 2 \text{ unit} \\ &= \text{Rp}14.553.000,00 \end{aligned}$$

#### B. *Dump Truck*

$$\begin{aligned} \text{f. Volume galian} &= 1690,28 \text{ m}^3 \\ \text{g. Produktivitas dump truck} &= 26,32 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{h. Produktivitas excavator} &= 95,23 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah dump truck (n)} &= \frac{\text{Produksi Terbesar}}{\text{Produksi Terkecil}} \\ &= \frac{95,23}{26,32} \\ &= 3,62 \text{ unit} \approx 4 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya sewa total} &= \text{Rp}459.225,00 \times 18 \times 4 \text{ unit} \\ &= \text{Rp}33.064.200,00 \end{aligned}$$

### 4. Alternatif Kombinasi Tiga

#### A. *Excavator*

$$\begin{aligned} \text{a. Jumlah alat (n)} &= 3 \text{ unit} \\ \text{b. Volume Galian} &= 1690,28 \text{ m}^3 \\ \text{c. Produksi excavator (Q)} &= 47,62 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{d. Produksi keseluruhan} &= Q \times n \\ &= 47,62 \times 3 \text{ unit} \\ &= 142,85 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{e. Waktu kerja} &= \frac{V. \text{ Galian}}{\text{Produksi exca keseluruhan}} \\ &= \frac{1690,28 \text{ m}^3}{142,85 \text{ m}^3/\text{jam}} \\ &= 11,83 \text{ jam} \approx 12 \text{ jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya sewa total} &= \text{Rp}404.250,00 \times 12 \times 3 \text{ unit} \\ &= \text{Rp}14.553.000,00 \end{aligned}$$

#### B. *Dump Truck*

$$\begin{aligned} \text{f. Volume galian} &= 1690,28 \text{ m}^3 \\ \text{g. Produktivitas dump truck} &= 26,32 \text{ m}^3/\text{jam} \\ \text{h. Produktivitas excavator} &= 142,85 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah dump truck (n)} &= \frac{\text{Produksi Terbesar}}{\text{Produksi Terkecil}} \\ &= \frac{142,85}{26,32} \\ &= 5,43 \text{ unit} \approx 5 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya sewa total} = \text{Rp}459.225,00 \times 12 \times 5 \text{ unit}$$

$$= \text{Rp}27.553.500,00$$

Perbandingan kombinasi merupakan penggabungan perhitungan tiap kombinasi seperti jumlah alat yang digunakan, durasi pekerjaan, dan biaya sewa alat berat dalam bentuk tabel, sehingga nantinya dapat memudahkan dalam membandingkan analisa kondisi asli dengan kombinasi alat berat.. Kemudian akan dilakukan perbandingan tiap kombinasi terhadap analisa kondisi asli berdasarkan waktu pekerjaan dan juga biaya sewa.

**Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Analisa Kondisi Asli**

Jenis Alat	Jumlah Alat	Durasi (Jam)	Harga Sewa per jam (Rp)	Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	1	35	404.250	14.148.750
<i>Dump Truck</i>	1	35	459.250	16.072.875
Total		35		30.221.625

**Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kombinasi Satu**

Jenis Alat	Jumlah Alat	Durasi (Jam)	Harga Sewa per jam (Rp)	Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	1	35	404.250	14.148.750
<i>Dump Truck</i>	2	35	459.250	32.145.750
Total		35		46.294.500

**Tabel 3. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kombinasi Dua**

Jenis Alat	Jumlah Alat	Durasi (Jam)	Harga Sewa per jam (Rp)	Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	2	18	404.250	14.553.00
<i>Dump Truck</i>	4	18	459.250	33.064.200
Total		18		47.617.200

**Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kombinasi Tiga**

Jenis Alat	Jumlah Alat	Durasi (Jam)	Harga Sewa per jam (Rp)	Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	3	12	404.250,00	14.553.000,00
<i>Dump Truck</i>	5	12	459.250,00	33.064.200,00
Total		12		47.617.200,00

Hasil perhitungan analisa terhadap kondisi asli di lapangan akan digunakan sebagai pembandingan terhadap hasil perhitungan kombinasi alat berat, untuk mengetahui kombinasi yang paling optimal dari segi waktu dan juga biaya sewa. Berikut merupakan perhitungan perbandingan di setiap tiap kombinasi terhadap kondisi asli. Perbandingan Kombinasi Satu dan Kondisi Asli

- Perbandingan Waktu  $= \frac{35-35}{35} \times 100\%$   
 $= 0$
- Perbandingan Biaya  $= \frac{46.294.500,00-30.221.625,00}{30.221.625,00} \times 100\%$   
 $= + 53,18\%$

Keterangan:

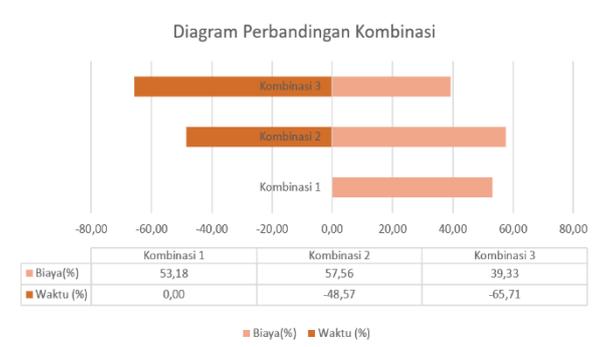
(-) Pekerjaan lebih cepat dan biaya lebih murah

(+) Pekerjaan lebih lama dan biaya lebih mahal

**Tabel 5. Rekapitulasi Hasil Perhitungan Kombinasi Tiga**

	Kombinasi Satu	Kombinasi Dua	Kombinasi Tiga
Waktu (%)	0	- 48,57	- 65,71
Waktu (Jam)	0	- 17	- 23
Biaya (%)	53,18	57,56	39,33
Biaya (Rp)	16.072.875,00	17.395.575,00	11.884.875,00

Berdasarkan Tabel 5 yang menyajikan rekapitulasi data perbandingan tiga kombinasi alat berat *excavator* dan *dump truck*, dapat diketahui bahwa Kombinasi 1 tidak memberikan efisiensi baik dari segi waktu maupun biaya. Kombinasi 2, yang menggunakan 2 unit *excavator* dan 4 unit *dump truck*, memberikan percepatan waktu kerja sebesar 48,57% atau lebih cepat 17 jam jika dibandingkan dengan kondisi asli, dengan total durasi pekerjaan menjadi 18 jam. Namun, biaya sewa meningkat menjadi Rp17.393.575,00 atau naik sebesar 57,65% dari kondisi awal. Kombinasi 3 lebih efisien, dengan tambahan biaya yang lebih kecil dibandingkan dengan kombinasi yang lain, Kombinasi 3 mampu memberikan percepatan waktu yaitu 23 jam lebih cepat dibandingkan dengan kondisi asli di lapangan. Hal ini menjadikan Kombinasi 3 sebagai pilihan kombinasi yang paling optimal, karena menghasilkan efisiensi waktu paling tinggi dengan biaya tambahan yang paling kecil dibandingkan dengan kombinasi lainnya, kombinasi 3 ini memberikan keseimbangan yang terbaik antara percepatan waktu pelaksanaan dan pengendalian biaya sewa alat.



**Gambar 3: Diagram Perbandingan Kombinasi**

Diagram di atas menyajikan perbandingan dari ketiga kombinasi berdasarkan efisiensi biaya dan percepatan waktu kerja. Dapat dilihat bahwa Kombinasi 3 memberikan percepatan waktu paling signifikan yaitu sebesar 65,71%, dengan kenaikan biaya sewa alat berat sebesar 39,33%. Sehingga berdasarkan perbandingan kombinasi dari segi waktu dan biaya, Kombinasi 3 merupakan pilihan yang paling optimal, karena mampu memberikan percepatan waktu kerja paling besar dengan biaya yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan kombinasi lainnya.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil perhitungan dan rekapitulasi perbandingan alternatif kombinasi pemakaian alat berat *excavator* dan *dump truck* dari segi biaya dan waktu, maka dapat

disimpulkan bahwa produktivitas *excavator Hitachi zx210f-5g* adalah sebesar 47,62 m<sup>3</sup>/jam, dan untuk produktivitas *dump truck Mitsubishi Fuso FM 517 HS 7.5 MT* sebesar 26,32 m<sup>3</sup>/jam. Perbandingan waktu dan biaya pada tiap kombinasi alat berat *excavator* dan *dump truck* menunjukkan bahwa setiap penambahan jumlah alat berat dapat mempercepat durasi pekerjaan, namun juga meningkatkan biaya sewa. Kombinasi 3 dengan 3 unit *excavator* dan 5 unit *dump truck*, menghasilkan percepatan durasi sebesar 65,71%, dengan peningkatan biaya sewa yang lebih rendah dibanding kombinasi lain, yaitu hanya 39,33%. Hal ini menjadikan Kombinasi 3 sebagai pilihan paling optimal dari segi waktu dan biaya

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- Arista Akeyla, B., 2024. *Tata Pamer Museum Sandi Yogyakarta* (Doctoral dissertation, Institut Seni Indonesia Yogyakarta).
- Hariyanto, B., Lestari, D. M., & Firdaus, R. (2020). Kuantitatif Penggunaan Alat Berat Untuk Item Pekerjaan Galian Dan Timbunan (Studi Kasus: Peningkatan Jalan Kecamatan Ciruas-Lebakwangi-Pontang-Tirtayasa) Kabupaten Serang. *Journal Of Sustainable Civil Engineering (Josce)*, 2(01), 29–40.
- Irsadunafi, N.H., 2024. JENIS DAN DOMINASI MATERIAL YANG DIANGKAT OLEH TOWER CRANE PADA PEKERJAAN STRUKTUR (STUDI KASUS PROYEK RUMAH SAKIT MITRA KELUARGA SIDOARJO). *Jurnal Vokasi Teknik Sipil*, 2(2), pp.31-38.
- Kalengkongan, B. B., Arsjad, T. T., & Mangare, J. B. (2020). Analisa Perhitungan Produktivitas Alat Berat Pada Pekerjaan Pematangan Lahan Pembangunan Tower Sutet Likupang-Paniki. *Jurnal Sipil Statik*, 8(1).
- Kaprina, A., Winarto, S., & Purnomo, Y. C. S. (2018). Analisa Produktifitas Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Gedung Fakultas Syariah Dan Ilmu Hukum Iain Tulungagung. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 1(1), 1–11.
- Putra, D. H. (2018). *Analisis Produktivitas Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Pindahan Tanah Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Fakultas Hukum Uii*.