

ANALISIS PRODUKTIVITAS EXCAVATOR DAN DUMP TRUCK PADA PEKERJAAN GALIAN ALUR SUNGAI

(Studi kasus: Proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6)

Iman Hidayat¹, Diky Maulana²

Program Studi Teknik Sipil, Sekolah Tinggi Teknologi Mandala

Email: dikymaulana09@gmail.com

ABSTRAK

Tiap tahun bencana banjir kerap terjadi di beberapa wilayah Indonesia dan semakin merambah ke daerah hulu sungai. Pada wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Bekasi, bencana banjir telah terjadi sejak tahun 2002 dan terus berulang setiap tahunnya. Kali Bekasi ditetapkan sebagai prioritas penanggulangan banjir dengan mempertimbangkan kondisi sosial dan ekonomi masyarakat. Pengendalian banjir di Kali Bekasi direncanakan menggunakan metode normalisasi alur sungai dan bangunan pengendali banjir berupa tanggul dinding penahan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai produktivitas dan menentukan kombinasi alternatif alat yang paling efektif dan efisien ditinjau dari masing-masing produktivitas alat berat beserta metode pekerjaan masing-masing alat. Berdasarkan hasil perhitungan produktivitas, didapat produktivitas *excavator long arm* sebesar 25,37 m³/jam, *excavator standard* sebesar 98,08 m³/jam, dan produktivitas *dump truck* sebesar 5,09 m³/jam. Sedangkan untuk hasil perhitungan beberapa kombinasi alternatif alat berat, didapat kesimpulan pada perhitungan kombinasi alternatif 2 memiliki nilai produktivitas yang lebih efektif dan efisien dibandingkan perhitungan alternatif lainnya, dimana alat yang digunakan pada alternatif 2 berupa 3 unit *excavator long arm*, 1 unit *excavator standard* dan 19 unit *dump truck* berkapasitas 6 m³.

Kata Kunci: Produktivitas; *Excavator Long Arm*; *Excavator Standard*; *Dump Truck*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Tiap tahun bencana banjir kerap terjadi di beberapa wilayah Indonesia dan semakin merambah ke daerah hulu sungai. Pada wilayah Daerah Aliran Sungai (DAS) Kali Bekasi, bencana banjir telah terjadi sejak tahun 2002 dan terus berulang setiap tahunnya. Berdasarkan evaluasi kejadian banjir di lapangan, diketahui bahwa Kali Bekasi sudah tidak mampu menampung debit banjir lima tahunan dan bahkan tahunan. Hal ini terjadi karena berkurangnya kapasitas tampungan

sungai akibat beberapa faktor, antara lain faktor teknis berupa sedimentasi di badan sungai serta timbunan sampah di badan sungai.

DAS Kali Bekasi merupakan salah satu DAS di Wilayah Sungai Ciliwung - Cisadane, di bawah pengelolaan BBWS Ciliwung-Cisadane ditetapkan sebagai prioritas penanggulangan banjir dengan mempertimbangkan kondisi sosial dan ekonomi masyarakat. Pengendalian banjir di Kali Bekasi direncanakan menggunakan metode normalisasi alur sungai dan bangunan pengendali banjir berupa tanggul dinding penahan tanah.

Dalam penggeraan normalisasi alur sungai Kali Bekasi sekitar 330 m, proyek ini menggunakan alat berat yaitu *excavator long arm*, *excavator standard* dan *dump truck*. Dengan penggunaan alat berat tersebut bisa memudahkan penyelesaian pekerjaan normalisasi alur sungai di Kali Bekasi sehingga penggeraan relatif singkat dan lebih mudah.

Berdasarkan pengamatan di lapangan, dalam proyek ini alat berat yang digunakan yaitu *dump truck*, 1 *excavator long arm* dengan kapasitas 0,30 m³ yang bekerja untuk menggali sekaligus memuat galian ke *stockpile* di area bantaran sungai dan 1 *excavator standard* dengan kapasitas 0,90 m³ yang bekerja untuk menggali sekaligus memuat galian dari *stockpile* ke dalam *dump truck*. Hal tersebut menyebabkan alat *excavator standard* harus menunggu sampai area *stockpile* terisi terlebih dahulu oleh alat *excavator long arm* agar dapat melakukan proses loading ke dalam *dump truck*, hal ini tentu mempengaruhi efektivitas kerja dalam segi biaya maupun waktu.

Oleh karena itu, dalam penelitian yang berjudul "ANALISIS PRODUKTIVITAS EXCAVATOR DAN DUMP TRUCK PADA PEKERJAAN GALIAN ALUR SUNGAI" ini, penulis memiliki tujuan selain memperhitungkan hasil produktivitas yang didapatkan, juga untuk menentukan kombinasi kerja alat berat yang efektif dan efisien ditinjau dari masing-masing produktivitas alat berat beserta metode pekerjaan masing-masing alat.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka permasalahan yang didapat

dalam penyusunan tugas akhir ini adalah:

- a. Bagaimana hasil produktivitas yang dihasilkan dari masing-masing alat berat.
- b. Apakah yang menyebabkan terjadinya antrean alat berat ditinjau dari hasil masing-masing produktivitas dan metode pekerjaan masing-masing alat berat.

1.3 Identifikasi Masalah

Berdasarkan rumusan masalah di atas dapat disimpulkan identifikasi masalahnya adalah sebagai berikut:

- a. Berapakah nilai produktivitas yang dihasilkan dari *excavator long arm*, *excavator standard* dan *dump truck* pada pekerjaan galian alur sungai Proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6.
- b. Bagaimana kombinasi alternatif antara *excavator long arm*, *excavator standard* dan *dump truck* yang efektif dan efisien ditinjau dari masing-masing produktivitas alat berat beserta metode pekerjaan masing-masing alat pada Proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud penelitian ini adalah untuk menganalisis produktivitas *excavator long arm*, *excavator standard* dan *dump truck* yang dihasilkan, juga menentukan kombinasi alternatif yang efektif dan efisien ditinjau dari masing-masing produktivitas alat berat beserta metode pekerjaan masing-masing alat pada proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6.

1.5 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian dilakukan pada proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6, yang terletak di Jalan Raya Pasar Babelan, Kedung Pengawas Kabupaten Bekasi, Jawa Barat. Berikut adalah peta lokasi proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6 yang dapat dilihat pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Lokasi Penelitian

Sumber : Hasil Analisis

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Proyek

Menurut Hafnidar A. Rani (2016), manajemen proyek adalah proses merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Manajemen proyek tumbuh karena dorongan mencari pendekatan pengelolaan yang sesuai dengan tuntutan dan sifat kegiatan proyek, suatu kegiatan yang dinamis dan berbeda dengan kegiatan operasional rutin.

Manajemen Proyek mengambil peran kunci dalam proyek pengembangan produk karena mengoordinasikan keputusan yang diperlukan mengenai tujuan proyek, perencanaan, dan tim (C. Kaufmann & A. Kock, 2022).

Sistem pengendalian proyek diperlukan untuk menjaga keselarasan antara perencanaan dan pelaksanaan, Bahan acuan tersebut selanjutnya menjadi standar pelaksanaan proyek yang mencakup jadwal, anggaran, dan spesifikasi teknis (Dewi N & Joko Priyono, 2018).

Menurut Lalonde, dkk (2010) dalam (Per Svejvig, 2021) manajemen proyek adalah disiplin ilmu dan disiplin professional, oleh karena itu teori praktik yang kuat diperlukan untuk mengatasi pasangan teori-praktik yang melibatkan praktik reflektif dan teori situasi, namun teori tersebut masih terbatas.

2.1.1 Jenis-jenis Proyek Konstruksi

Jenis-jenis proyek konstruksi dapat dibedakan menjadi dua jenis kelompok (Ida Ayu S.M. 2019), yaitu:

1. Bangunan gedung meliputi rumah, kantor, hotel, restoran, pabrik dan lain-lain. Ciri-ciri dari kelompok bangunan ini menurut Ervianto (2009) dalam (Ida Ayu S.M. 2019), adalah sebagai berikut:
 - a. Proyek konstruksi menghasilkan tempat orang bekerja atau tinggal.
 - b. Pekerjaan dilaksanakan pada lokasi yang relatif sempit dan kondisi pondasi umumnya sudah diketahui.
 - c. Manajemen dibutuhkan, terutama untuk progresing pekerjaan.
2. Bangunan sipil meliputi bangunan air, transportasi, jembatan dan infrastruktur lainnya. Ciri-ciri dari kelompok bangunan ini adalah sebagai berikut:
 - a. Proyek konstruksi dilaksanakan untuk mengendalikan alam agar berguna bagi kepentingan manusia.
 - b. Pekerjaan dilaksanakan pada lokasi yang luas atau panjang kondisi pondasi sangat berbeda satu sama lain dalam suatu proyek.

- c. Manajemen dibutuhkan untuk memecahkan masalah.

2.2 Definisi Alat Berat

Menurut F. Sondakh & S. Pangemanan (2019), yang dimaksud dengan alat berat atau juga sering disebut dengan alat konstruksi ini adalah alat yang sengaja di desain untuk dapat melaksanakan fungsi atau kegiatan proses konstruksi yang sifatnya berat bila dikerjakan dengan tenaga manusia, seperti pada pekerjaan mengangkat, mengangkat, memuat, memindah, menggali, mencampur, dengan cara yang mudah, cepat, hemat dan juga aman. Kholil (2012) dalam (Gary Raya Prima & Edward Hafudiansyah, 2022), menyatakan alat berat dapat dikategorikan ke dalam beberapa klasifikasi. Klasifikasi tersebut terdiri dari klasifikasi fungsional alat berat dan klasifikasi operasional/pergerakan alat berat.

2.2.1 Excavator

Menurut Rochmanhadi (1987) dalam (Megis Pratama, 2020), excavator seperti Gambar 2.1 merupakan alat yang diperuntukkan untuk menggali daerah yang letaknya di bawah kedudukan alat. Terdapat beberapa gerakan excavator dalam beroperasi antara lain :

- a. Mengisi Bucket (*Land Bucket*)
- b. Mengayun (*Swing Loaded*)
- c. Membongkar beban (*Dump Bucket*)
- d. Mengayun balik (*Swing Empty*)



Gambar 2. 1 *Excavator*
Sumber : Dokumentasi Lapangan

2.2.2 Dump Truck

Menurut Rochmanhadi (1982) dalam (Syamsul Arif, 2020), *dump truck* seperti Gambar 2.2 adalah alat yang digunakan untuk mengirim material dari satu tempat ke tempat lainnya. Berdasarkan metode pembongkarannya maka terdapat tiga jenis *dump truck* yaitu :

- a. *Rear Dump Truck* (penumpahan ke belakang)
- b. *Side Dump Truck* (penumpahan ke samping)
- c. *Bottom Dump Truck* (penumpahan ke bawah)



Gambar 2. 2 *Dump Truck*
Sumber : Dokumentasi Lapangan

2.3 Manajemen Alat Berat

Afrizal Nursin, dkk (2020) dalam penggunaan alat berat diperlukan pengelolaan alat yang baik melalui manajemen peralatan. Dalam manajemen peralatan ini sama dengan halnya manajemen umum, maka ada unsur-unsur perencanaan, pengorganisasian, pelaksanaan, pengawasan dan pengendalian. Dimana masing-masing unsur manajemen tersebut dilaksanakan secara spesifik sesuai dengan keberadaan alat.

Menurut S. Keoki, Glenn A. Sears, dkk (2015) pertimbangan dalam mengelola sumber daya peralatan serupa dengan pertimbangan dalam mengelola sumber daya tenaga kerja. Unit yang diperlukan dalam setiap kategori berbeda tugas untuk menjadwalkan kegiatan.

2.3.1 Sifat Bahan

Seperti kita ketahui tanah tidak mempunyai sifat-sifat yang khas, berbeda sekali dengan beton dan baja, yang penting di sini adalah keadaan tanah yang dapat berpengaruh terhadap volume tanah yang dijumpai dalam usaha pemindahan tanah (Rochmanhadi, 1992), yaitu :

1. Keadaan Asli (In situ)

Keadaan asli sebelum diadakan penggerjaan, ukuran tanah demikian biasanya dinyatakan dalam ukuran alam, *Bank Measure* (BM), ini digunakan sebagai dasar perhitungan jumlah pemindahan tanah.

2. Keadaan Lepas (Loose)

Keadaan tanah setelah diadakan penggerjaan (*disturb*), tanah demikian misalnya terdapat di depan *dozer blade*, diatas *truck*, di dalam *bucket* dan sebagainya. Ukuran volume tanah dalam keadaan lepas biasanya dinyatakan dalam *Loose Measure* (LM)

yang besarnya sama dengan $BM + \% swell \times BM$ ($swell$ = kembang).

3. Keadaan Padat (*Compact*)

Keadaan tanah setelah ditimbun kembali kemudian dipadatkan. Volume tanah setelah diadakan pemasatan, mungkin lebih besar atau mungkin juga lebih kecil dari volume dalam keadaan *Bank*, hal ini tergantung usaha pemasatan yang kita lakukan.

Sebagai gambaran di bawah ini diberikan Tabel 2.1 mengenai faktor kembang .

Tabel 2. 1 Faktor Kembang

Jenis Tanah	<i>Swell (%) BM</i>
Pasir	5-10
Tanah Permukaan	10-25
Tanah Biasa	20-45
Lempung (<i>Clay</i>)	30-60
Batu	50-60

Sumber : Rochmanhadi (1992)

2.3.2 Efisiensi Kerja Alat Berat

Produktivitas alat berat pada kenyataannya di lapangan tidak sama jika dibandingkan dengan kondisi ideal alat dikarenakan hal-hal tertentu seperti topografi, keahlian operator, pengoperasian dan pemeliharaan alat. Produktivitas per jam alat yang harus diperhitungkan dalam perencanaan adalah produktivitas standar alat pada kondisi ideal dikalikan suatu faktor yang disebut efisiensi kerja alat (Fa). Besarnya nilai efisiensi kerja ini sulit ditentukan secara tepat, tetapi berdasarkan pengalaman-pengalaman dapat ditentukan efisiensi kerja yang

mendekati kenyataan (A. Purba dkk, 2022). Sebagai pendekatan efisiensi kerja dapat dilihat dari Tabel 2.2 berikut :

Tabel 2.2 Efisiensi Kerja

Kondisi Operasi Alat	Pemeliharaan Mesin				
	Baik Sekali	Baik	Sedang	Buruk	Buruk Sekali
Baik Sekali	0.83	0.81	0.76	0.70	0.63
Baik	0.78	0.75	0.71	0.65	0.60
Sedang	0.72	0.59	0.65	0.60	0.54
Buruk	0.63	0.51	0.57	0.52	0.45
Buruk Sekali	0.52	0.50	0.47	0.42	0.52

Sumber : Rochmanhadi (1992)

2.3.3 Waktu Siklus

Menurut Brian Alfandi, dkk. (2023), waktu siklus excavator (Gali, Putar, Buang) dihitung berdasarkan nilai rata-rata sampel, bukan dari nilai yang tertinggi atau terkecil, dimana perhitungannya dapat dilihat pada Persamaan 2.1 :

$Cm = \text{Waktu gali} + \text{waktu putar (isi)} + \text{waktu putar (kosong)} + \text{waktu buang}$ (2.1)

Sedangkan perhitungan waktu siklus *dump truck* dengan persamaan Rochmanhadi (1992) dalam (I Wayan Diasa dkk, 2020) dapat dilihat pada Persamaan 2.2 sebagai berikut :

$Cm = n \times cms + D/V1 + D/V2 + t1 + t2$ (2.2)

Keterangan :

Cm = Waktu siklus (menit)

Cms = Waktu pemuat (menit)

$t1$ = Waktu buang (menit)

$t2$ = Waktu akan mengisi atau memuat (menit)

n = Jumlah siklus pada excavator untuk mengisi bak *dump truck*

D = Jarak angkut *dump truck* (m)

$V1$ = Kecepatan angkut (m/menit)

$V2$ = Kecepatan kembali (m/menit)

2.3.4 Analisis Produktivitas Alat Berat

1. Analisis Produktivitas Excavator
Rochmanhadi (1992) dalam (I Wayan Diasa dkk, 2020) menyatakan, menghitung Produktivitas kerja *excavator* dengan Persamaan 2.3 di bawah ini:

$$Q = \frac{q \times 3600 \times E}{Cm} \quad (2.3)$$

Keterangan :

Q = Produktivitas per jam (m^3/jam)

q = Kapasitas *Bucket* (m^3)

E = Faktor Efisiensi

Cm = Waktu Siklus (detik)

Dalam menentukan faktor *bucket* tentu perlu data yang sesuai apa yang dikerjakan *excavator* di lapangan, dapat dilihat pada Tabel 2.3 merupakan kondisi pemuat *bucket* pada *excavator*.

Tabel 2.3 Faktor Bucket

Material	Faktor Pengisian
Pasir & kerikil	0.90-1.00
Tanah Biasa	0.80-0.90
Tanah Liat Keras	0.65-0.75
Tanah Liat Basah	0.50-0.60
Batu Peacahan Baik	0.60-0.75
Batu Peacahan Kurang Baik	0.40-0.50

Sumber : Rochmanhadi (1992)

Rochmanhadi (1992) dalam (I Wayan Diasa dkk, 2020) perhitungan kapasitas *bucket* dari *excavator* dengan Persamaan 2.4 di bawah ini :

$$q = q1 \times K \quad (2.4)$$

Keterangan :

q = Kapasitas Bucket (m^3)
 q_1 = Maksimal kapasitas yang tertera pada spesifikasi alat berat (m^3)
 k = Faktor bucket (nilainya menyesuaikan dengan tipe & keadaan material).

2. Analisis Produktivitas *Dump Truck*

Produktivitas *dump truck* bergantung pada waktu siklus pengerjaan proyek konstruksi (Syamsul Arif, 2020). Waktu siklus *dump truck* terdiri dari:

1. Waktu muat, adalah waktu yang dibutuhkan untuk mengangkut material ke dalam *dump truck*. Waktu muat tergantung pada :

- Ukuran dan jenis *dump truck*,
- Jenis dan kondisi material yang dimuat,
- Kapasitas *dump truck*,
- Kemampuan operator mengoperasikan *dump truck*.

2. Waktu berangkat atau pengangkutan, tergantung pada :

- Jarak tempuh,
- Kondisi jalan yang dilalui.

3. Waktu pembongkaran material, tergantung pada :

- Jenis dan kondisi material,
- Cara pembongkaran material,
- Jenis alat pengangkutan.

4. Waktu kembali, adalah waktu yang dibutuhkan untuk pengambil posisi bak untuk dimuat *loader*.

Jumlah siklus *excavator* untuk mengisi *dump truck* (n) dengan persamaan Rochmanhadi (1992) dalam (I Wayan Diasa dkk, 2020) dapat dilihat pada Persamaan 2.5 berikut :

$$n = \frac{C_1}{q_1 \times k} \quad (2.5)$$

Produksi per siklus (C) *dump truck* dengan persamaan Rochmanhadi (1992) dalam (I Wayan Diasa dkk, 2020) dapat dilihat pada Persamaan 2.6 berikut :

$$C = n \times q_1 \times K \quad (2.6)$$

Rochmanhadi (1992) dalam (I Wayan Diasa dkk, 2020) menyatakan, menghitung Produktivitas kerja *dump truck* dengan Persamaan 2.7 di bawah ini :

$$Q = \frac{Cx 60 \times E}{Cm} \quad (2.7)$$

Keterangan :

Q = Produktivitas per jam (m^3/jam)
 C = Kapasitas muatan *dump truck* (m^3)
 E = Efisiensi
 n = Jumlah siklus pada *excavator* untuk mengisi bak *dump truck*
 Cm = Waktu siklus (menit)
 C_1 = Kapasitas rata-rata *dump truck* (m^3)
 q_1 = Kapasitas bucket dari *excavator* (m^3)
 Waktu bongkar muat dan waktu tunggu *dump truck* dapat dilihat pada Tabel 2.4 dan Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2. 4 Waktu Bongkar Buang (t1)

Kondisi Operasi Kerja	BAIK (menit)	SEDANG (menit)	KURANG (menit)
Waktu Buang	0,5 - 0,7	1,0 - 1,3	1,5 - 2,0

Menurut Rostiyanti (2014) dalam (Syamsul Arif, 2020), menghitung jumlah *truck* yang dibutuhkan dapat dirumuskan pada Persamaan 2.8 sebagai berikut :

$$\text{Jumlah } Truck = \frac{\text{Produktivitas } Excavator}{\text{Produktivitas } Truck} \quad (2.8)$$

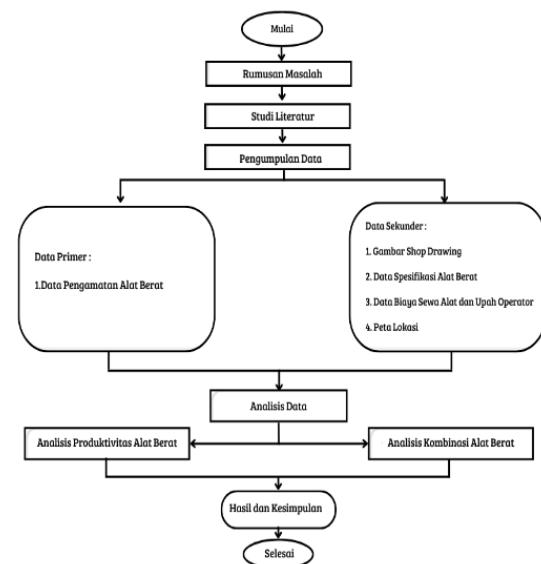
2.3.5 Analisis Perhitungan Volume Galian

Volume galian pada pekerjaan pemindahan tanah ditinjau dengan metode *cross section* dengan menggunakan perhitungan prismaoida. (Tahir A. Nasukha, 2018). Adapaun persamaan yang digunakan dapat dilihat pada Persamaan 2.9 berikut.

$$V = \frac{d}{6} (A_1 + 4(A_1 + A_2) + A_2) \quad (2.9)$$

3. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian deskriptif dan survey lapangan. Penelitian deskriptif adalah penelitian yang berupaya untuk menggambarkan dan menguraikan pemecahan masalah berdasarkan keadaan dan data-data yang tersedia pada proyek yang diamati. Di dalam penelitian ini juga peneliti melakukan penyelidikan atau survey lapangan terlebih dahulu untuk mendapatkan data yang berupa data lapangan, yang kemudian data ini dapat digunakan untuk menghitung dan menganalisis obyek yang diteliti dalam proyek.



Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian
Sumber : *Hasil Analisis*

4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Gambaran Umum

Studi kasus penelitian ini berisi mengenai analisis produktivitas alat berat *excavator* dan *dump truck*, pada pekerjaan normalisasi Kali Bekasi sekitar 330 m. Dimana pekerjaan yang diamati berupa galian sedimentasi dengan rata-rata kedalaman galian sedalam 3.5 m dan rata-rata galian selebar 10 m.

Sedangkan alat yang digunakan pada pekerjaan galian alur sungai Proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6 dapat dilihat pada Gambar 4.1, Gambar 4.2, dan Gambar 4.3 meliputi:

1. *Excavator Long Arm*
 - a. Tipe : Komatsu PC-200-8
 - b. Kapasitas *bucket* : 0.30 m³
 - c. Harga sewa : Rp. 250.000,00/jam
 - d. Bahan bakar : Solar HSD 50 liter/hari dengan harga Rp. 21.550,00/liter
 - e. Upah operator : Rp. 200.000,00/hari



Gambar 4. 1 *Excavator Long Arm*
Sumber : Dokumentasi Lapangan

2. *Excavator Standard*

- a. Tipe : Komatsu PC-200-8
- b. Kapasitas bucket: 0.90 m³
- c. Harga sewa : Rp. 165.000,00/jam
- d. Bahan bakar : Solar HSD 50 liter/hari dengan harga Rp. 21.550,00/liter
- e. Upah operator : Rp. 200.000,00/hari



Gambar 4. 2 *Excavator Standard*
Sumber : Dokumentasi Lapangan

3. *Dump Truck*

- a. Tipe : Mitsubishi
- b. Harga sewa : Rp. 54.000,00/jam
- c. Bahan bakar : Solar 20 liter/hari dengan harga Rp.6.800,00/liter
- d. Upah operator :Rp. 200.000,00/hari
- e. Kapasitas : 6 m



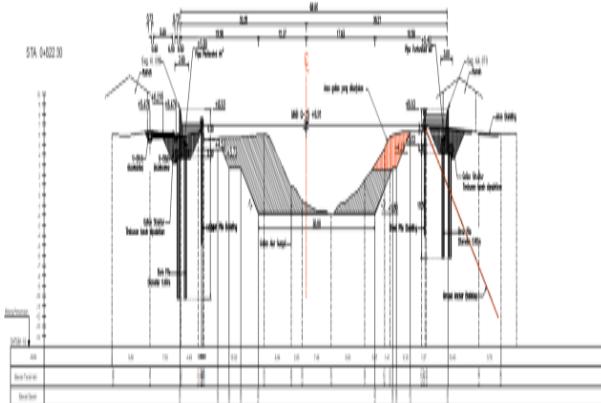
Gambar 4. 3 *Dump Truck*
Sumber :Dokumentasi Lapangan

Gambar 3. 1 Bagan Alir Penelitian

4.2 Perhitungan Volume Galian Alur Sungai

Hasil permintaan data berupa gambar *shop drawing* kepada *Team Leader* Proyek Pengendalian Banjir Kali Banjir Paket 6 dan 7, seperti yang dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.6, dari gambar tersebut dapat dihitung volume galian sesuai data yang diperoleh selama hasil observasi lapangan.

Volume galian diperoleh dari volume pekerjaan galian alur sungai, dengan bantuan *software autocad* dapat diperoleh luasan volume pada Gambar 4.5 dan Gambar 4.7 dari gambar *cross section*, berikut adalah sampel *cross section* yang dapat dilihat pada Gambar 4.4 dan Gambar 4.6 :



Gambar 4. 4 Cross Section STA. 0+822.30
Sumber : Data Kontraktor PT. Bumi Karsa

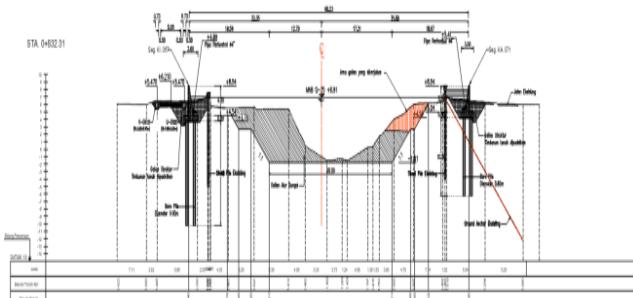
```

Hatch scale 2.5000
Hatch angle 45
Not associative
Area 18.9138
Origin X=9286.8468 Y= 43.8744 Z= 0.0000

Command: li LIST
Select objects: 1 found
Select objects:
HATCH Layer: "ARSIR GALIAN ALUR TRAP"
Space: Model space
Color: 20 Linetype: "BYLAYER"
Handle = 29e1f9
Hatch pattern ANSI31
Annotative: No
Hatch scale 2.5000
Hatch angle 45
Not associative
Area 18.9138
Origin X=9286.8468 Y= 43.8744 Z= 0.0000

```

Gambar 4. 1 Luasan Area Galian
Cross Section STA. 0+822.30
Sumber : Hasil Analisis



Gambar 4. 4 Cross Section STA. 0+822.30
Sumber : Data Kontraktor PT. Bumi Karsa

```

Specify first corner: Specify opposite corner:
Press ESC or ENTER to exit, or right-click to display shortcut menu.
Command: *Cancel*
Command: *Cancel*
Command: *Cancel*
Command: li LIST
Select objects: 1 found
Select objects:
HATCH Layer: "ARSIR GALIAN ALUR TRAP"
Space: Model space
Color: 20 Linetype: "BYLAYER"
Handle = 29e1f9
Hatch pattern ANSI31
Annotative: No
Hatch scale 2.5000
Hatch angle 45
Not associative
Area 19.9562
Origin X=9286.8468 Y= 43.8744 Z= 0.0000

```

Gambar 4. 7 Luasan Area Galian
Cross Section STA. 0+832.31
Sumber : Hasil Analisis

Keterangan : Warna arsir merah merupakan area galian yang dikerjakan. Setelah luas galian didapat dari cross section, berikutnya menghitung volume galian dengan metode prismaida. Berikut adalah sampel perhitungannya.

$$\begin{aligned}
 A1 &= 18.91 \text{ m}^2 \\
 A2 &= 19.96 \text{ m}^2 \\
 d &= 10.01 \text{ m} \\
 V &= d \\
 &6. (A1 + 4 (A1 + A2) + A2) \\
 &= 10.01 \\
 &6. (18.91 + 4 (18.91 + 19.96)) + 19.96 \\
 &\quad 2 \\
 &= 192.79 \text{ m}^3
 \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan volume dengan metode prismaida dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Rekapitulasi Volume Galian

STA	Jarak Antar Section(m)	Luas Cross Section (m ²)	AM (m ³)	Volume (m ³)
Sta. 0+763,66		22,34		212,68
Sta. 0+773,60	9,94	19,51	20,93	
Sta. 0+773,60		19,51		192,86
Sta. 0+783,55	9,95	19,13	19,32	
Sta. 0+783,55		19,13		185,96
Sta. 0+793,66	10,11	16,92		
Sta. 0+793,66		16,92		183,47
Sta. 0+803,68	10,02	21,09	19,01	
Sta. 0+803,68		21,09		178,72
Sta. 0+812,37	8,69	21,09	20,31	
Sta. 0+812,37		21,09		191,81
Sta. 0+822,30	9,93	18,91	19,22	
Sta. 0+822,30		18,91		192,79
Sta. 0+832,31	10,01	19,96	19,44	
Sta. 0+832,31		19,96		192,79
Sta. 0+842,32	10,01	19,96	20,76	
Sta. 0+842,32		19,96		205,14
Sta. 0+842,32		21,56	21,51	
Sta. 0+852,79	10,47	21,45	225,35	
Sta. 0+852,79		21,45		
Sta. 0+862,71	9,92	19,04	20,25	
Sta. 0+862,71		19,04		204,81
Sta. 0+873,99	11,28	20,56	19,80	
Sta. 0+873,99		20,56		220,49
Sta. 0+873,99		20,56	20,78	
Sta. 0+884,24	10,25	21,00	212,24	
Sta. 0+884,24		21,00		
Sta. 0+894,04	9,8	19,61	20,31	
Sta. 0+894,04		19,61		201,26
Sta. 0+903,87	9,83	20,88	20,25	
Sta. 0+903,87		20,88		196,93
Sta. 0+903,87		20,88	21,65	
Sta. 0+913,56	9,69	22,42	207,30	
Sta. 0+913,56		22,42		
Sta. 0+923,65	10,09	19,30	20,86	
Sta. 0+923,65		19,30		215,72
Sta. 0+923,65		19,30	20,10	
Sta. 0+933,42	9,77	20,90		
Sta. 0+933,42		20,90	20,10	193,77
Sta. 0+933,42		20,90		
Sta. 0+943,42	10	24,67	22,79	
Sta. 0+943,42		24,67		221,57

Tabel 4.1 Rekapitulasi Volume Galian (Lanjutan)

STA	Jarak Antar Section(m)	Luas Cross Section (m ²)	AM (m ³)	Volume (m ³)
Sta. 0+943,42	9,5	24,67	23,78	228,70
Sta. 0+952,92		22,88		
Sta. 0+952,92		22,88	20,95	210,75
Sta. 0+962,68	9,76	19,02		
Sta. 0+962,68		19,02	20,44	214,01
Sta. 0+962,68		21,85		
Sta. 0+973,40	10,72	21,85	20,72	
Sta. 0+973,40		21,85		201,23
Sta. 0+982,94	9,54	19,58		
Sta. 0+982,94		19,58	20,72	
Sta. 0+992,73	9,79	20,63	20,11	
Sta. 0+992,73		20,63		195,11
Sta. 0+992,73		20,63	20,54	
Sta. 1+003,40	10,67	20,44	20,54	
Sta. 1+003,40		20,44		210,45
Sta. 1+003,40		20,44	20,85	
Sta. 1+013,79	10,39	21,26		
Sta. 1+013,79		21,26	20,85	215,21
Sta. 1+013,79		21,26		
Sta. 1+023,70	9,91	21,58	21,42	
Sta. 1+023,70		21,58		211,74
Sta. 1+023,70		21,58	21,10	
Sta. 1+033,86	10,16	20,62		
Sta. 1+033,86		20,62	21,10	216,00
Sta. 1+043,78	9,02	21,59		
Sta. 1+043,78		21,59	21,11	
Sta. 1+043,78		21,59	20,27	199,20
Sta. 1+053,40	9,62	18,94		
Sta. 1+053,40		18,94	19,06	
Sta. 1+053,40		18,94		190,07
Sta. 1+063,40	10	19,14		
Sta. 1+063,40		19,14	19,19	
Sta. 1+063,40		19,14		191,73
Sta. 1+073,40	10	19,24	19,19	
Sta. 1+073,40		19,24		

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari hasil analisis perhitungan volume galian alur di atas, volume total galian yang diperoleh sebesar 6750.96 m³. Dari data yang diperoleh, jenis tanah yang digali yaitu tanah lempung. Merujuk pada penelitian Syamsul Arif (2020), nilai total volume tanah yang diperoleh dikalikan dengan nilai faktor *swelling/kembang tanah*. Mengacu pada buku Rochmanhadi (1992) nilai faktor *swelling* (Tabel 2.2) untuk tanah lempung yaitu sebesar 1+30% (1,30), maka berikut perhitungan perubahan volume galian tanah.

$$\begin{aligned} \text{Total Volume Galian} &= 6750.96 \text{ m}^3 \\ \text{Volume Galian} \times \text{Swelling} &= 6750.96 \times \\ 1.30 &= 8776.25 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

4.3 Analisis Perhitungan

Untuk analisis perhitungan dihitung berdasarkan masing-masing alat dan kondisinya, baik kondisi eksisting maupun kondisi alternatif yang digunakan.

4.3.1 Analisis Perhitungan Produktivitas Alat Berat

1. Excavator Long Arm

Pada tugas akhir ini *excavator long arm* bekerja untuk menggali sekaligus memuat galian ke *stockpile* diarea bantaran sungai. Berikut merupakan perhitungan produktivitas alat berat *excavator long arm*.

- Tipe : Komatsu PC 200-8
- Kapasitas *bucket* (q') : 0.30 m³
- Faktor Efisiensi (E) : 0.75 (Tabel 2.1)
- Faktor *bucket* (k) : 0.80 (Tabel 2.4)
- Waktu gali : 8.30 (Tabel 4.2)
- Waktu putar isi : 7.01 (Tabel 4.2)
- Waktu putar kosong : 5.68 (Tabel 4.2)
- Waktu buang : 4.55 (Tabel 4.2)

Berikut ini merupakan rekapitulasi data waktu siklus *excavator long arm* hasil pengamatan di lapangan pada Tabel 4.2

Tabel 4.2 Rekapitulasi Pengamatan Waktu Siklus *Excavator Long Arm*

Siklus	Gali	Putar (isi)	Putar (kosong)	Buang
	Waktu(detik)			
1	8.22	7.22	5.85	4.57
2	8.12	7.15	5.65	4.62
3	8.35	7.13	5.70	4.54
4	8.36	6.96	5.73	4.49
5	8.24	7.22	5.62	4.64
6	8.70	7.06	5.48	4.46
7	8.31	6.86	5.52	4.53
8	8.35	6.76	5.64	4.42
9	8.14	6.97	5.87	4.67
10	8.22	6.76	5.76	4.56
Rata-Rata	8.30	7.01	5.68	4.55
Waktu	25.54			

Sumber: Hasil Pengamatan

$$\text{Waktu siklus (Cm)} = \text{waktu gali} + \text{waktu putar (isi)} + \text{waktu putar (kosong)} + \text{waktu buang}$$

$$= 8.30 + 7.01 + 5.68 + 4.55$$

$$= 25.54 \text{ detik/60}$$

$$= 0.426 \text{ menit}$$

$$\text{Produksi/siklus (q)} = q_1 \times k$$

$$= 0.30 \times 0.80$$

$$= 0.240 \text{ m}^3$$

$$\text{Produksi } \textit{Excavator long arm}/\text{Jam (m}^3/\text{Jam)}$$

$$Q = \frac{q \times 3600 \times E}{Cms}$$

$$= 0.240 \text{ m}^3 \times 3600 \frac{\text{det}}{\text{jam}} \times 0.75$$

$$= \frac{25.54 \text{ detik}}{25.54 \text{ detik}}$$

$$= 25.37 \text{ m}^3/\text{jam}$$

2. *Excavator Standard*

Pada tugas akhir ini *excavator standard* bekerja untuk menggali sekaligus memuat galian dari *stockpile* ke dalam *dump truck*. Berikut merupakan perhitungan produktivitas alat berat *excavator standard*:

- Tipe : Komatsu PC 200-8
- Kapasitas *bucket* (q') : 0.90 m³
- Faktor Efisiensi (E) : 0.75 (Tabel 2.1)
- Faktor *bucket* (k) : 0.80 (Tabel 2.4)
- Waktu gali : 6.53 (Tabel 4.3)
- Waktu putar isi : 5.04 (Tabel 4.3)
- Waktu putar kosong : 4.68 (Tabel 4.3)
- Waktu buang : 3.57 (Tabel 4.3)

Berikut ini merupakan rekapitulasi data waktu siklus *excavator standard* hasil pengamatan di lapangan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Rekapitulasi Pengamatan Waktu Siklus *Excavator Standard*

Siklus	Gali	Putar (isi)	Putar (kosong)	Buang
	Waktu(detik)			
1	6.32	5.12	4.96	3.13
2	6.24	5.88	4.15	3.26
3	6.96	4.90	4.83	3.03
4	6.93	4.82	4.89	3.10
5	6.86	4.86	4.05	3.65
6	6.23	4.98	4.19	4.04
7	6.36	4.87	4.97	3.52
8	6.22	4.93	4.85	3.19
9	6.77	5.03	4.97	4.09
10	6.43	4.96	4.96	4.66
Rata-Rata	6.53	5.04	4.68	3.57
Waktu	19.82			

Sumber: Hasil Pengamatan

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu siklus (Cm)} &= \text{waktu gali} + \text{waktu putar (isi)} + \text{waktu putar (kosong)} + \text{waktu buang} \\
 &= 6.53 + 5.04 + 4.68 + 3.57 \\
 &= 19.82 \text{ detik/60} \\
 &= 0.330 \text{ menit} \\
 \text{Produksi/siklus (q)} &= q_1 \times k \\
 &= 0.90 \times 0.80 \\
 &= 0.720 \text{ m}^3 \\
 \text{Produksi excavator standard (m}^3/\text{Jam)} & \\
 Q &= \underline{q \times 3600 \times E} \\
 &\quad \text{Cms} \\
 &= 0.720 \text{ m}^3 \times 3600 \underline{\text{det}_x 0.75} \\
 &\quad \text{Jam} \\
 &\quad \hline \\
 &\quad 19.82 \text{ detik} \\
 &= 98.08 \text{ m}^3/\text{jam}
 \end{aligned}$$

3. Dump Truck

Pada tugas akhir ini, *excavator standard* mengangkut tanah dari *stockpile* ke dalam *dump truck*. Berikut merupakan perhitungan produktivitas alat berat *dump truck*.

- Tipe : Mitsubishi
- Kapasitas bak (c) : 6 m³
- Kapasitas pemuat (q') : 0.90 m³
- Faktor Efisiensi (E) : 0.75 (Tabel 2.1)
- Faktor *bucket* pemuat (k) : 0.80
- Jarak angkut (D) : 9041 m/1000 : 9.041 km
- Waktu buang (t₁) : 0.6 menit (Tabel 2.7)
- Waktu tunggu (t₂) : 0.3 menit (Tabel 2.8)
- Waktu siklus pemuat (Cms) : 0.330 menit.

Hasil pengamatan di lapangan digunakan untuk menghitung kecepatan atau lama perjalanan *dump truck*, data hasil pengamatan dapat dilihat Pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 berikut :

Tabel 4.4 Waktu Perjalanan Dump Truck dari Lokasi Proyek ke Disposal

No	Tanggal	Waktu (menit)		Waktu Perjalanan (menit)
		Proyek	Disposal	
1	08/01/2024	09.32	09.58	26
2	09/01/2024	13.20	13.46	26
3	10/01/2024	14.41	15.07	26
4	11/01/2024	08.57	09.21	24
5	12/01/2024	13.30	13.55	25

Tabel 4.4 Waktu Perjalanan Dump Truck dari Lokasi Proyek ke Disposal (Lanjutan)

No	Tanggal	Waktu (menit)		Waktu Perjalanan (menit)
		Proyek	Disposal	
6	13/01/2024	10.15	10.42	27
7	15/01/2024	14.11	14.36	25
8	16/01/2024	13.26	13.50	24
9	17/01/2024	09.44	10.10	26
10	18/01/2024	10.12	10.38	26
Rata Rata (D/V1)				25,5

Sumber : Hasil Pegamatan

a. Kondisi bermuatan

Jarak pembuangan (D) = 9.041 km

Lama perjalanan rata-rata(t) = 25.5 menit.

Tabel 4.5 Waktu Perjalanan Dump Truck dari Disposal ke Lokasi Proyek

No	Tanggal	Waktu (menit)		Waktu Perjalanan (menit)
		Disposal	Proyek	
1	08/01/2024	09.59	10.21	22
2	09/01/2024	13.47	14.10	23
3	10/01/2024	15.08	15.31	23
4	11/01/2024	09.22	09.44	22
5	12/01/2024	13.56	14.18	22
6	13/01/2024	10.43	11.05	22
7	15/01/2024	14.37	14.57	20
8	16/01/2024	13.51	14.12	21
9	17/01/2024	10.11	10.33	22
10	18/01/2024	10.39	11.02	22
Rata Rata (D/V2)				21,9

Sumber: Hasil Pengamatan

b. Kondisi kosong

Jarak pembuangan (D) = 9.041 km

Lama perjalanan rata-rata(t) = 21.9 menit.

Jumlah siklus excavator yang dibutuhkan untuk mengisi *dump truck* (n)

$$(n) = \frac{c_1}{q_1 \times k}$$
$$= \frac{6}{0.90 \times 0.80}$$
$$= 8.3 \approx 8 \text{ kali siklus}$$

Produksi per siklus (C)

$$= n \times q_1 \times K$$
$$= 8 \times 0.90 \times 0.80 = 5.76 \text{ m}^3$$

$$C_m = n \times C_{ms} + \frac{D}{V_1} + \frac{D}{V_2} + t_1 + t_2$$
$$= 8 \times 0.330 + 25.5 + 21.9 + 0.6 + 0.3$$
$$= 50.94 \text{ menit}$$

Produksi *dump truck*/Jam (m³/Jam)

$$Q = \frac{C \times 60 \times E}{C_m}$$
$$= \frac{5.76 \times 60 \text{ mnt/jam} \times 0.75}{50.94 \text{ menit}}$$
$$= 5.09 \text{ m}^3/\text{jam}$$

4.3.2 Analisis Perhitungan Biaya Sewa Alat Berat

Dalam perhitungan biaya sewa alat, daftar harga sewa didapatkan dari wawancara dengan pihak pelaksana yang ada di lapangan, dengan harga sewa alat per jam dan per hari.

1. Excavator Long Arm

a. Tipe : Komatsu PC-200-8

b. Harga sewa : Rp. 250.000,00/jam

c. Bahan bakar = 50 liter/hari x Rp. 21.550,00/liter

= Rp.1.077.500,00/hari

= Rp. 153.928,57/Jam

d. Upah Operator =Rp. 200.000,00/hari/7

= Rp. 28.571,43/Jam

e. Harga Sewa=250.000,00+ 153.928,57

+ 28.571,43 = Rp. 432.500,00/Jam

2. Excavator Standard

a. Tipe : Komatsu PC-200-8

b. Harga sewa : Rp. 165.000,00/jam

c. Bahan bakar = 50 liter/hari x Rp.21.550,00/liter

=Rp.1.077.500,00/hari/7

= Rp. 153.928,57/Jam

d. Upah Operator =Rp.200.000,00/hari/7

= Rp. 28.5,43/Jam

e. Harga Sewa=165.000,00 +153.928,57

=28.571,43

= Rp. 347.500,00/Jam

3. Dump Truck

a. Tipe : Mitsubishi

b. Harga sewa : Rp. 54.000,00/jam

c. Bahan bakar =20 liter/hari x Rp. 6.800,00/liter

=Rp.136.000,00/hari/7

=Rp. 19.428,57/jam

d. Upah Operator =Rp.200.000,00/hari/7

= Rp. 28.5,43/Jam

e. Harga Sewa =165.000,00 +153.928,57

=28.571,43

= Rp. 347.500,00/Jam

4.3.3 Analisis Perhitungan Kombinasi Alat Berat

Berikut ini merupakan beberapa kombinasi alternatif alat yang akan dianalisis berdasarkan perhitungan produktivitas dan biaya sewa alat.

1. Kondisi Eksisting (asli) di Lokasi Proyek

a. Excavator Long Arm

Jumlah alat (n) : 1 unit
 Volume galian : 6750.96 m³
 Produktivitas excavator/Jam (Q): 25.37 m³ /Jam
 Produktivitas excavator seluruh alat

$$\begin{aligned} &= Q \times n \\ &= 25.37 \times 1 \\ &= 25.37 \text{ m}^3 / \text{Jam} \end{aligned}$$

Waktu kerja excavator

$$\frac{\text{Volume Galian}}{\text{Produktivitas excavator seluruh alat}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{6750.96}{25.37} \\ &= 266.10 \text{ jam} \approx 266 \text{ jam} \\ &= 266 / 7 \\ &= 38 \text{ hari} \end{aligned}$$

Biaya sewa alat/Jam = Rp.432.500,00/Jam
 Biaya total sewa alat = Harga sewa x waktu kerja x n
 Biaya total Sewa alat = 432.500,00 x 266 x 1
 = Rp. 115.045.000

b. Excavator Standard

Jumlah alat (n) : 1 unit
 Volume galian : 8776.25 m³
 Produktivitas excavator/Jam (Q): 98.08 m³ /Jam
 Produktivitas excavator seluruh alat

$$\begin{aligned} &= Q \times n \\ &= 98.08 \times 1 \\ &= 98.08 \text{ m}^3 / \text{Jam} \end{aligned}$$

Waktu kerja excavator

$$\frac{\text{Volume Galian}}{\text{Produktivitas excavator seluruh alat}}$$

$$\begin{aligned} &= \frac{8776.25}{98.08} \\ &= 89.5 \text{ Jam} \approx 90 \text{ jam} \\ &= 90 / 7 \\ &= 12.8 \approx 13 \text{ hari} \end{aligned}$$

Biaya sewa alat/Jam = Rp. 347.500,00 /Jam
 Biaya total sewa alat = Harga sewa x waktu kerja x n
 Biaya total Sewa alat = 347.500,00 x 90 x 1
 = Rp.31.275.000

c. Dump Truck

Jumlah alat (n) : 11 unit
 Volume galian : 8776.25 m³
 Produktivitas dump truck/Jam (Q): 5.09m³/Jam

$$\begin{aligned} \text{Waktu kerja dump truck} &= \frac{\text{Volume Galian}}{n \times \text{Produktivitas dump truck}} \\ &= \frac{8776.25}{11 \times 5.09} \\ &= 156.75 \text{ Jam} \approx 157 \text{ jam} \\ &= 157 / 7 \\ &= 22.4 \approx 22 \text{ hari} \end{aligned}$$

Biaya sewa alat/Jam = Rp. 99.142,85/Jam

Biaya total = Harga sewa x waktu kerja x n

Biaya total Sewa alat = 99.142,85 x 157 x 11
 = Rp. 171.219.701,95

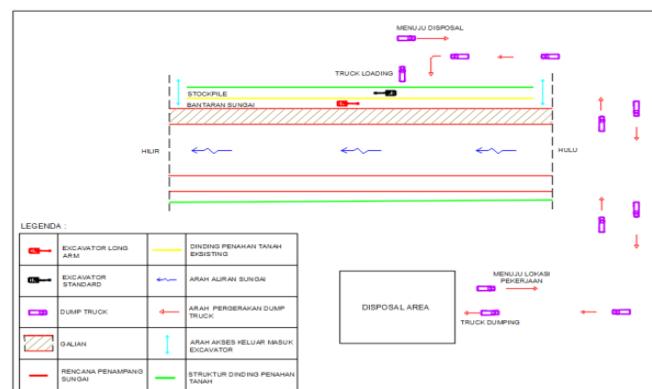
Berikut hasil rekapitulasi perhitungan kombinasi alat berat pada kondisi eksisting dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4. 6 Rekapitulasi Perhitungan Kombinasi Alat Berat Pada Kondisi Eksisting

EKSISTING					
Alat Berat	Jumlah Alat	Waktu kerja		Harga Sewa/Jam (Rp)	Biaya (Rp)
		Jam	Hari		
Excavator Long Arm	1	266	38	Rp. 432.500,00	Rp. 115.045.000,00
Excavator Standard	1	89	13	Rp. 347.500,00	Rp. 31.275.000,00
Dump Truck	11	152	22	Rp. 99.142,85	Rp. 171.219.701,95
Total					Rp. 317.539.701,95

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.6 di atas perkiraan waktu untuk mengerjakan pekerjaan selama 38 hari dengan biaya sebesar Rp. 317.539.701,95. Untuk gambaran pergerakan alat dapat dilihat pada Gambar 4.8 di bawah ini.



Gambar 4. 8 Sketsa Pergerakan Alat Berat Pada Kondisi Eksisting
 Sumber : Hasil Analisis

2. Analisis Kombinasi Alternatif 1

Pada alternatif 1, kombinasi alat yang digunakan untuk pekerjaan galian terdiri dari 2 unit *excavator long arm* dengan kapasitas 0,30 m³ dan 1 unit *excavator standard* dengan kapasitas 0,90 m³. Produktivitas *excavator standard* untuk setiap galian menentukan jumlah *dump truck*.

a. Excavator Long Arm

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah alat (n)} &: 2 \text{ unit} \\
 \text{Volume galian} &: 6750.96 \text{ m}^3 \\
 \text{Produktivitas } &\text{excavator/Jam (Q): } 25.37 \text{ m}^3 / \text{Jam} \\
 \text{Produktivitas } &\text{excavator seluruh alat} \\
 &= Q \times n \\
 &= 25.37 \times 2 \\
 &= 50.74 \text{ m}^3 / \text{Jam}
 \end{aligned}$$

Waktu kerja *excavator*

$$\begin{aligned}
 &\frac{\text{Volume Galian}}{\text{Produktivitas } \text{excavator seluruh alat}} \\
 &= \frac{6750.96}{50.74} \\
 &= 133.05 \text{ Jam} \approx 133 \text{ jam} \\
 &= 133 / 7 \\
 &= 19 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya sewa alat/Jam} &= \text{Rp. } 432.500,00 / \text{Jam} \\
 \text{Biaya total sewa alat} &= \text{Harga sewa} \times \text{waktu kerja} \\
 &\times n \\
 \text{Biaya total Sewa alat} &= 432.500,00 \times 133 \times 2 \\
 &= \text{Rp. } 115.045.000
 \end{aligned}$$

b. Excavator Standard

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah alat (n)} &: 1 \text{ unit} \\
 \text{Volume galian} &: 8776.25 \text{ m}^3 \\
 \text{Produktivitas } &\text{excavator/Jam (Q): } 98.08 \text{ m}^3 / \text{Jam} \\
 \text{Produktivitas } &\text{excavator seluruh alat} \\
 &= Q \times n \\
 &= 98.08 \times 1 \\
 &= 98.08 \text{ m}^3 / \text{Jam}
 \end{aligned}$$

Waktu kerja *excavator*

$$\begin{aligned}
 &\frac{\text{Volume Galian}}{\text{Produktivitas } \text{excavator seluruh alat}} \\
 &= \frac{8776.25}{98.08} \\
 &= 89.5 \text{ Jam} \approx 90 \text{ jam} \\
 &= 90 / 7 \\
 &= 12.8 \approx 13 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya sewa alat/Jam} &= 347.500,00 / \text{Jam} \\
 \text{Biaya total sewa alat} &= \text{Harga sewa} \times \text{waktu kerja} \\
 &\times n \\
 \text{Biaya total Sewa alat} &= 347.500,00 \times 90 \times 1 \\
 &= \text{Rp. } 31.275.000
 \end{aligned}$$

c. Dump Truck

$$\begin{aligned}
 \text{Volume galian} &: 8776.25 \text{ m}^3 \\
 \text{Produktivitas } &\text{dump truck/Jam} : 5.09 \text{ m}^3 / \text{Jam} \\
 \text{Produktivitas } &\text{excavator/Jam (Q): } 98.08 \text{ m}^3 / \text{Jam}
 \end{aligned}$$

Merujuk penelitian Syamsul Arif (2020), jumlah *dump truck* didapat dengan.

$$\begin{aligned}
 \text{Jumlah } &\text{dump truck} = \frac{\text{Produktivitas } \text{excavator}}{\text{Produktivitas } \text{dump truck}} \\
 &= \frac{98.08}{5.09}
 \end{aligned}$$

$$= 19.26 \approx 19 \text{ unit}$$

Merujuk penelitian Syamsul Arif (2020) waktu kerja *dump truck* sama dengan waktu kerja *excavator standard*. Berikut merupakan perhitungan untuk pekerjaan pengangkutan tanah oleh *dump truck*.

$$\begin{aligned}
 \text{Waktu kerja } &\text{dump truck} = 90 \text{ Jam} \approx 13 \text{ hari} \\
 \text{Biaya sewa alat/Jam} &= \text{Rp. } 99.142,85 / \text{Jam} \\
 \text{Biaya total sewa alat} &= \text{Harga sewa} \times \text{waktu kerja} \\
 &\times n \\
 \text{Biaya total sewa alat} &= 99.142,85 \times 90 \times 19 \\
 &= \text{Rp. } 169.534.273,50
 \end{aligned}$$

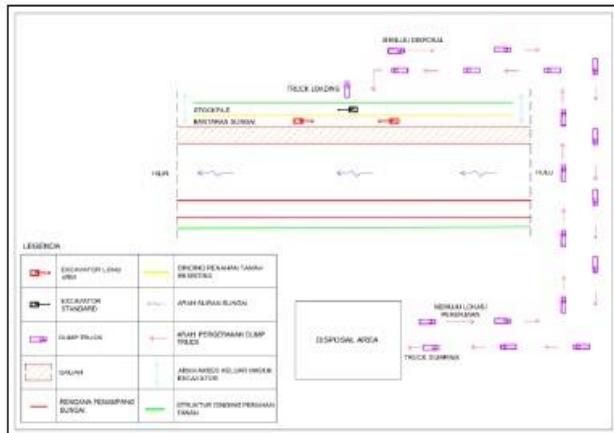
Berikut hasil rekapitulasi perhitungan kombinasi alat berat pada kondisi alternatif 1 dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 rekapitulasi perhitungan kombinasi alat berat pada kondisi alternatif 1

ALTERNATIF 1					
Alat Berat	Jumlah Alat	Waktu kerja		Harga Sewa/Jam (Rp)	Biaya (Rp)
		Jam	Hari		
Excavator Long Arm	2	133	19	Rp. 432.500,00	Rp. 115.045.000,00
Excavator Standard	1	90	13	Rp. 347.500,00	Rp. 31.275.000,00
Dump Truck	19	90	13	Rp. 99.142,85	Rp. 169.534.273,50
Total					Rp. 315.854.273,50

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.7 di atas perkiraan waktu untuk mengerjakan pekerjaan selama 19 hari dengan biaya sebesar Rp. 315.854.273,50. Untuk gambaran pergerakan alat dapat dilihat pada Gambar 4.9 di bawah ini.



Gambar 4. 9 Sketsa Pergerakan Alat Berat Pada Kondisi Alternatif 1
Sumber : Hasil Analisis

3. Analisis Kombinasi Alternatif 2

Pada alternatif 2, kombinasi alat yang digunakan untuk pekerjaan galian terdiri dari 3 unit *excavator long arm* dengan kapasitas $0,30 \text{ m}^3$ dan 1 unit *excavator standard* dengan kapasitas $0,90 \text{ m}^3$. Produktivitas *excavator standard* untuk setiap galian menentukan jumlah *dump truck*.

a. Excavator Long Arm

Jumlah alat (n) : 3 unit
Volume galian : 6750.96 m^3
Produktivitas *excavator*/Jam (Q): $25.37 \text{ m}^3/\text{Jam}$
Produktivitas *excavator* seluruh alat

$$= Q \times n$$

$$= 25.37 \times 3$$

$$= 76.11 \text{ m}^3/\text{Jam}$$

Waktu kerja *excavator*

Volume Galian

$$\frac{6750.96}{76.11}$$

$$= 89.53 \text{ Jam} \approx 90 \text{ jam}$$

$$= 90 / 7$$

$$= 12.8 \approx 13 \text{ hari}$$

Biaya sewa alat/Jam = Rp.432.500,00/Jam
Biaya total sewa alat = Harga sewa x waktu kerja x n
Biaya total Sewa alat = $432.500,00 \times 90 \times 3$

$$= \text{Rp. } 116.775.000,00$$

b. Excavator Standard

Jumlah alat (n) : 1 unit
Volume galian : 8776.25 m^3

Produktivitas *excavator*/Jam (Q): $98.08 \text{ m}^3/\text{Jam}$

Produktivitas *excavator* seluruh alat

$$= Q \times n$$

$$= 98.08 \times 1$$

$$= 98.08 \text{ m}^3/\text{Jam}$$

Waktu kerja *excavator*

$$\frac{\text{Volume Galian}}{\text{Produktivitas } \textit{excavator} \text{ seluruh alat}}$$

$$\frac{8776.25}{98.08}$$

$$= 89.5 \text{ Jam} \approx 90 \text{ jam}$$

$$= 90 / 7$$

$$= 12.8 \approx 13 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya sewa alat/Jam} &= 347.500,00 / \text{Jam} \\ \text{Biaya total sewa alat} &= \text{Harga sewa} \times \text{waktu} \\ &\quad \text{kerja} \times n \\ \text{Biaya total Sewa alat} &= 347.500,00 \times 90 \times 1 \\ &= \text{Rp. } 31.275.000 \end{aligned}$$

c. Dump Truck

Volume galian : 8776.25 m^3

Produktivitas *dump truck*/Jam : $5.09 \text{ m}^3/\text{Jam}$

Produktivitas *excavator*/Jam (Q): $98.08 \text{ m}^3/\text{Jam}$

Waktu kerja *dump truck*

$$\frac{\text{Produktivitas } \textit{excavator}}{\text{Produktivitas } \textit{dump truck}}$$

$$\frac{98.08}{5.09}$$

$$= 19.26 \approx 19 \text{ unit}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu kerja } \textit{dump truck} &= 90 \text{ Jam} \approx 13 \text{ hari} \\ \text{Biaya sewa alat/Jam} &= \text{Rp. } 99.142,85/\text{Jam} \\ \text{Biaya total sewa alat} &= \text{Harga sewa} \times \text{waktu} \\ &\quad \text{kerja} \times n \end{aligned}$$

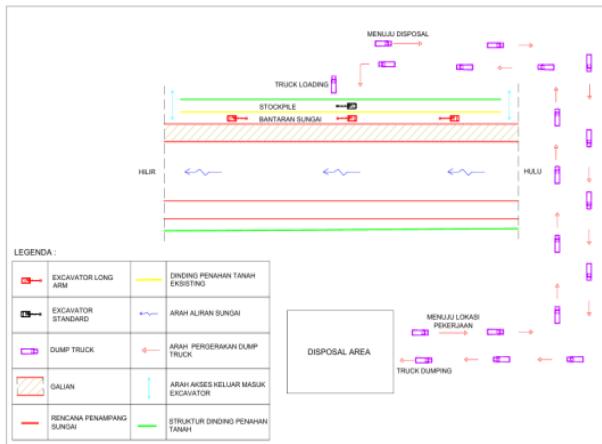
$$\begin{aligned} \text{Biaya total sewa alat} &= 99.142,85 \times 90 \times 19 \\ &= \text{Rp. } 169.534.273,50 \end{aligned}$$

Berikut hasil rekapitulasi perhitungan kombinasi alat berat pada kondisi alternatif 2 dapat dilihat pada Tabel 4.8.

ALTERNATIF 2				
Alat Berat	Jumlah Alat	Waktu kerja		Biaya (Rp)
		Jam	Hari	
Excavator Long Arm	3	90	13	Rp. 1.6775.000,00
Excavator Standara	1	90	13	Rp. 347.500,00
Dump Truck	19	90	13	Rp. 169.534.273,50
Total				Rp. 317.584.273,50

Sumber : Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.8 di atas perkiraan waktu untuk mengerjakan pekerjaan selama 13 hari dengan biaya sebesar Rp. 317.584.273,50. Untuk gambaran pergerakan alat dapat dilihat pada Gambar 4.10 di bawah ini.



Gambar 4. 10 Sketsa Pergerakan Alat Berat Pada Kondisi Alternatif 2
Sumber : Hasil Analisis

4. Analisis Kombinasi Alternatif 3

Pada alternatif 3, kombinasi alat yang digunakan untuk pekerjaan galian terdiri dari 6 unit *excavator long arm* dengan kapasitas $0,30 \text{ m}^3$ dan 2 unit *excavator standard* dengan kapasitas $0,90 \text{ m}^3$. Produktivitas *excavator standard* untuk setiap galian menentukan jumlah *dump truck*.

a. Excavator Long Arm

Jumlah alat (n) : 6 unit
Volume galian : 6750.96 m^3
Produktivitas *excavator*/Jam (Q): $25.37 \text{ m}^3/\text{Jam}$
Produktivitas *excavator* seluruh alat
 $= Q \times n$

$$= 25.37 \times 6 \\ = 152.22 \text{ m}^3/\text{Jam}$$

Waktu kerja *excavator*

$$\frac{\text{Volume Galian}}{\text{Produktivitas } \textit{excavator} \text{ seluruh alat}}$$

$$\frac{6750.96}{152.22}$$

$$= 44.65 \text{ Jam} \approx 45 \text{ jam}$$

$$= 45 / 7$$

$$= 6.4 \approx 6 \text{ hari}$$

Biaya sewa alat/Jam = Rp.432.500,00/Jam

Biaya total sewa alat = Harga sewa x waktu kerja x n

Biaya total Sewa alat = $432.500,00 \times 90 \times 6$
= Rp. 116.775.000

b. Excavator Standard

Jumlah alat (n) : 2 unit
Volume galian : 8776.25 m^3
Produktivitas *excavator*/Jam (Q): $98.08 \text{ m}^3/\text{Jam}$
Produktivitas *excavator* seluruh alat

$$= Q \times n \\ = 98.08 \times 2 \\ = 196.16 \text{ m}^3/\text{Jam}$$

Waktu kerja *excavator*

$$\frac{\text{Volume Galian}}{\text{Produktivitas } \textit{excavator} \text{ seluruh alat}}$$

$$\frac{8776.25}{196.16}$$

$$= 44.74 \text{ Jam} \approx 45 \text{ jam}$$

$$= 45 / 7$$

$$= 6.4 \approx 6 \text{ hari}$$

Biaya sewa alat/Jam = 347.500,00 /Jam

Biaya total sewa alat = Harga sewa x waktu kerja x n

Biaya total Sewa alat = $347.500,00 \times 45 \times 2$
= Rp.31.275.000

c. Dump Truck

Volume galian : 8776.25 m^3
Produktivitas *dump truck*/Jam : $5.09 \text{ m}^3/\text{Jam}$
Produktivitas *excavator*/Jam (Q): $196.16 \text{ m}^3/\text{Jam}$
Waktu kerja *dump truck*

$$\frac{\text{Produktivitas } \textit{excavator}}{\text{Produktivitas } \textit{dump truck}}$$

$$\frac{196.16}{5.09}$$

$$= 38.53 \approx 39 \text{ unit}$$

Waktu kerja *dump truck* = 45 Jam ≈ 6 hari

Biaya sewa alat/Jam	= Rp.99.142,85/Jam
Biaya totalsewa alat	= Harga sewa x waktu kerja
	$\times n$
Biaya total sewa alat	= $99.142,85 \times 45 \times 39$
	= Rp. 173.995.701,75

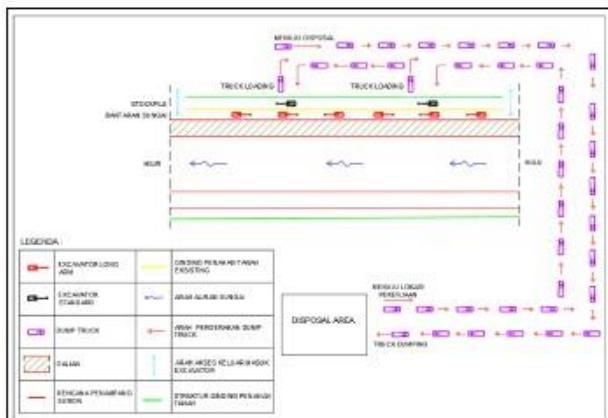
Berikut hasil rekapitulasi perhitungan kombinasi alat berat pada kondisi alternatif 3 dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Perhitungan Kombinasi Alat Berat Pada Kondisi Alternatif 3

ALTERNATIF 3					
Alat Berat	Jumlah Alat	Waktu kerja		Harga Sewa/Jam (Rp)	Biaya (Rp)
		Jam	Hari		
Excavator Long Arm	6	45	6	Rp. 432.500,00	Rp. 116.775.000,00
Excavator Standard	2	45	6	Rp. 347.500,00	Rp. 31.275.000,00
Dump Truck	39	45	6	Rp. 99.142,85	Rp. 173.995.701,75
Total					Rp. 322.045.701,75

Sumber: Hasil Perhitungan

Dari Tabel 4.9 di atas perkiraan waktu untuk mengerjakan pekerjaan selama 6 hari dengan biaya sebesar Rp. 322.045.701,75. Untuk gambaran pergerakan alat dapat dilihat pada Gambar 4.11 di bawah ini.



Gambar 4.11 Sketsa Pergerakan Alat Berat Pada Kondisi Alternatif 3
Sumber : Hasil Analisis

4.3.2 Analisis Perbandingan Biaya dan Waktu

Setelah menghitung 3 analisis kombinasi alat berat alternatif, langkah selanjutnya adalah membandingkan hasil analisis dengan kondisi eksisting (yang ada). Tujuan dari perbandingan ini adalah untuk mengidentifikasi perbedaan antara durasi waktu pekerjaan dan biaya sewa dari masing-masing kombinasi alat berat. Pada kondisi eksisting, waktu dan biaya tersebut merupakan hasil perhitungan secara teoritis. Data primer berasal dari pengamatan langsung pada lokasi tempat pekerjaan. Sedangkan untuk perhitungan alternatif kombinasi alat merupakan ringkasan pekerjaan yang dilakukan secara berurutan hingga pekerjaan tanah selesai. Selanjutnya, alternatif ini akan dibandingkan dengan situasi yang ada di lapangan, untuk mengetahui opsi mana yang paling efisien dan efektif untuk digunakan pada proyek. Berikut hasil perhitungan perbandingan waktu dan biaya antara kondisi eksisting (asli) dan beberapa alternatif kombinasi alat berat.

1. Kondisi Eksisting (asli) di Lokasi Proyek Pada kondisi eksisting (asli) ini membutuhkan durasi pekerjaan 507 jam atau 73 hari dan membutuhkan biaya sebesar Rp. 317.539.701,95.

2. Alternatif 1

a. **Perbandingan Biaya (%)**

$$\frac{\text{Biaya Alternatif 1} - \text{Biaya Eksisting}}{\text{Biaya Eksisting}} \times 100\% = \frac{315.854.273,50 - 317.539.701,95}{317.539.701,95} \times 100\% = (-) 0,53\%$$

b. **Perbandingan Waktu (%)**

$$\frac{\text{Waktu Alternatif 1} - \text{Waktu Eksisting}}{\text{Waktu Eksisting}} \times 100\% = \frac{313 - 507}{507} \times 100\% = (-) 38,26\%$$

c. Selisih Biaya

$$= \text{Biaya Alternatif 1} - \text{Biaya Eksisting} = \text{Rp. } 315.854.273,50 - \text{Rp. } 317.539.701,95 = (-) \text{Rp. } 1.685.428,45$$

d. Selisih Waktu

$$= \text{Waktu Alternatif 1} - \text{Waktu Eksisting} = 313 - 507 = (-) 194$$

3. Alternatif 2

a. **Perbandingan Biaya (%)**

$$\frac{\text{Biaya Alternatif 2} - \text{Biaya Eksisting}}{\text{Biaya Eksisting}} \times 100\% = \frac{317.584.273,50 - 317.539.701,95}{317.539.701,95} \times 100\% = (+) 0,01\%$$

b. **Perbandingan Waktu (%)**

$$\frac{\text{Waktu Alternatif 2} - \text{Waktu Eksisting}}{\text{Waktu Eksisting}} \times 100\% = \frac{270 - 507}{507} \times 100\% = (-) 46,75$$

c. Selisih Biaya

$$= \text{Biaya Alternatif 1} - \text{Biaya Eksisting} = \text{Rp. } 317.584.273,50 - \text{Rp. } 317.539.701,95 = (+) \text{Rp. } 44.571,55$$

d. Selisih Waktu

4. Alternatif 3

a. **Perbandingan Biaya (%)**

$$\frac{\text{Biaya Alternatif 3} - \text{Biaya Eksisting}}{\text{Biaya Eksisting}} \times 100\% = \frac{222.045.701,75 - 217.520.701,95}{217.520.701,95} \times 100\% = (+) 1,41\%$$

b. **Perbandingan Waktu (%)**

$$\frac{\text{Waktu Alternatif 3} - \text{Waktu Eksisting}}{\text{Waktu Eksisting}} \times 100\% = \frac{135 - 507}{507} \times 100\% = (-) 73,37\%$$

c. Selisih Biaya

$$= \text{Biaya Alternatif 3} - \text{Biaya Eksisting} = \text{Rp. } 322.045.701,75 - \text{Rp. } 317.539.701,95 = (+) \text{Rp. } 4.505.999,80$$

d. Selisih Waktu

$$= \text{Waktu Alternatif 3} - \text{Waktu Eksisting} = 135 - 507 = (-) 372$$

Setelah melakukan perhitungan biaya dan perbandingan waktu antara kondisi eksisting dengan beberapa kombinasi alternatif, ditemukan bahwa alternatif 1 memiliki penurunan biaya sebesar (-) 0,53 % dari biaya eksisting, alternatif 2 memiliki peningkatan biaya sebesar (+) 0,01 % dari biaya eksisting, dan alternatif 3 memiliki peningkatan biaya sebesar (+) 1,41 % dari biaya eksisting (asli). Dalam hal perbandingan waktu, alternatif 1 memperoleh perbandingan waktu sebesar (-) 38,26 %, alternatif 2 memperoleh perbandingan waktu sebesar (-) 46,75 %, dan alternatif 3 memperoleh perbandingan waktu sebesar (-) 73,37 % dari waktu eksisting.

Berikut rekapitulasi perbandingan kombinasi alternatif dengan kondisi eksisting dapat dilihat pada Tabel 4.10

Tabel 4.10 Tabel rekapitulasi perbandingan kombinasi alternatif dengan kondisi eksisting

Keterangan		Eksisting	Alternatif 1	Alternatif 2	Alternatif 3
Alat Berat	<i>Excavator Long Arm</i>	1	2	3	6
	<i>Excavator Standard</i>	1	1	1	1
Waktu	<i>Dump Truck</i>	11	19	19	39
	Jam	507	313	270	135
	Hari	73	45	39	18
Biaya	%	100	(-) 38,26	(-) 46,75	(-) 73,37
	Rp.	317.539.701,95	315.854.273,50	317.584.273,50	322.045.701,75
	%	100	(-) 0,53	(+) 0,01	(+) 1,41

Sumber : Hasil Perhitungan

Keterangan :

(+) = Menunjukkan penundaan waktu atau kenaikan biaya

(-) = Menunjukkan waktu yang lebih cepat atau harga yang lebih rendah

Hasil perbandingan dari ketiga opsi tercantum dalam Tabel 4.10, Alternatif 1 menggunakan 2 unit *excavator long arm*, 1 unit *excavator standard* dan 19 *dump truck*, Alternatif 2 menggunakan 3 unit *excavator long arm*, 1 unit

excavator standard dan 19 *dump truck*, dan Alternatif 3 menggunakan 6 unit *excavator long arm*, 2 unit *excavator standard* dan 39 *dump truck*.

5. KESIMPULAN DAN SARAN 5.1

Kesimpulan

1. Dari hasil perhitungan produktivitas, didapat produktivitas *excavator long arm* per jam adalah 25,37 m³ /jam, sedangkan produktivitas *excavator standard* per jam adalah 98,08 m³ /jam, dan produktivitas *dump truck* berkapasitas 6 m³ adalah 5,09 m³/jam.
2. Hasil analisis kombinasi alternatif 1 menggunakan 2 *excavator long arm*, 1 *excavator standard*, dan 19 *dump truck*, terjadi kenaikan biaya yang relatif lebih besar yaitu Rp. 315.854.273,50 (-0,53%) dari kondisi asli di lapangan (eksisting), dan memiliki waktu kerja lebih cepat yaitu 45 hari.
3. Hasil analisis kombinasi alternatif 2 menggunakan 3 *excavator long arm*, 1 *excavator standard*, dan 19 *dump truck*, terjadi kenaikan biaya yang relatif lebih besar yaitu Rp. 317.583.273,50 (+0,01%) dari kondisi asli di lapangan (eksisting), dan memiliki waktu kerja lebih cepat yaitu 39 hari.
4. Hasil analisis kombinasi alternatif 3 menggunakan 6 *excavator long arm*, 2 *excavator standard*, dan 39 *dump truck*, terjadi kenaikan biaya yang relatif lebih besar yaitu Rp. 322.045.701,75 (+1,41%) dari kondisi asli di lapangan (eksisting), dan memiliki waktu kerja lebih cepat yaitu 18 hari.
5. Dari segi biaya, perhitungan beberapa kombinasi alternatif menunjukkan perbedaan biaya yang relatif besar dibandingkan dengan kondisi asli di lapangan (eksisting), tetapi ketiga alternatif ini memiliki selisih

waktu kerja lebih cepat dimana alternatif 1 memiliki waktu kerja selama 313 jam atau 45 hari, alternatif 2 memiliki waktu kerja selama 270 jam atau 39 hari, dan alternatif 3 memiliki waktu kerja selama 135 jam atau 18 hari. **5.2 Saran**

1. Berdasarkan hasil perhitungan produktivitas pada proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6, perlu adanya penambahan atau kombinasi alat yang efektif, terutama alat *excavator long arm* agar dapat mengimbangi produktivitas dari alat *excavator standard*.
2. Berdasarkan hasil perhitungan kombinasi alat, kombinasi alternatif 1 tidak disarankan digunakan pada Proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6, karena kombinasi alternatif 1 masih kurang efektif dimana produktivitas alat *excavator long arm* belum dapat mengimbangi produktivitas alat *excavator standard*, oleh karena itu perlu adanya penambahan alat atau kombinasi alat yang lebih efektif.
3. Berdasarkan hasil perhitungan kombinasi alat, kombinasi alternatif 2 sangat disarankan digunakan pada Proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6, karena kombinasi alternatif 2 sangat efektif dimana masing-masing alat berat dapat menyelesaikan pekerjaan dalam waktu yang sama yaitu 13 hari.
4. Berdasarkan hasil perhitungan kombinasi alat, kombinasi alternatif 3 kurang disarankan untuk digunakan pada Proyek Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6, hal ini dikarenakan lingkup pekerjaan yang diteliti tidak terlalu luas yang dapat mempengaruhi metode pekerjaan dan pergerakan masingmasing alat, meskipun memiliki waktu kerja lebih cepat.
5. Berdasarkan hasil perhitungan perbandingan alat, untuk proyek

Pengendalian Banjir Kali Bekasi Paket 6, hasil dan rekapitulasi perbandingan alternatif alat berat menunjukkan bahwa kombinasi alat berat yang disarankan untuk pekerjaan galian alur sungai dan pemindahan tanah adalah alternatif 2, yang terdiri dari 3 excavator long arm, 1 excavator standard, dan 19 dump truck dengan kapasitas 6 m³. Selain itu perlu adanya penjadwalan kerja alat yang efektif agar pekerjaan berjalan dengan waktu yang cepat tetapi dengan biaya minim.

DAFTAR PUSTAKA

Alfandi, B., Abadiyah, S., & Zulfa, A. I. (2023). Analisa Produktivitas dan Efisiensi Alat Berat Untuk Normalisasi Saluran Cisadane Barat Laut Kab. Tangerang . Structure, 5(1), 30-39.

Arif, S 2020. Analisis Produktivitas Excavator dan Dump Truck. Tugas Akhir. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta

Diasa, I. W., Sudika, I. G. M., & Yasa, I. W. M. (2020). Kajian Kombinasi Alat Berat untuk Galian Basement Pembangunan Gedung Kantor Dinas Kesehatan dan Bpmd Kabupaten Gianyar. Jurnal Teknik Gradien, 12(1), 77-91.

Faizah, P. N., Purba, A., & Wardono, H. (2022, December). Analisis Produktivitas Alat Berat Pada Pekerjaan Pemadatan Perkerasan Aspal Pada Proyek Peningkatan Jalan Ruas Pasar Banjit–Jukuh Batu Kabupaten Way Kanan. In Seminar Nasional Insinyur Profesional (SNIP) (Vol. 2, No. 2).

Kaufmann, C., & Kock, A. (2022). Does project management matter? The relationship between project management effort, complexity, and profitability. International Journal of Project Management, 40(6), 624- 633.

Keoki, S, dkk.: 2015: Contrutction Project Management:Canada.

Mahaptani, Ida Ayu Putu Sri.:2019:Metode Perencanaan dan Pengendalian Proyek Konstruksi:Denpasar.

Nasukha, T. A. (2018). Analisis Pemilihan Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Pemindahan Tanah Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo-Kertosono Paket 3 Zona 2 (STA. 128+500-STA. 132+000). 2018.

Nursin, A, dkk.: 2020:.Alat Berat Untuk Proyek Kontruksi:Depok.

Nusraningrum, D., & Priyono, J. (2018). Analysis of Cost Control, Time, and Quality on Construction Project. Manajemen dan Bisnis, 17(1).

Pratama, M. (2020). Produktivitas Alat Berat Excavator Sumtomo SH 210 Pada Pembangunan Fly Over Sultan Agung Bandar Lampung. Jurnal Teknik Sipil, 1(02), 48-53.

Prima, G. R., & Hafudiansyah, E. (2022). Produktivitas Alat Berat Pada Pekerjaan Proyek Jalan Tol (Studi Kasus: Ruas Jalan Tol Pematang Panggang–Kayu Agung Seksi 2, Ogan Komering Ilir, Sumatera Selatan). Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil, 3(2).

Rani, Hafnidar A.: 2016: Manajemen proyek konstruksi:Yogyakarta.

Rochmanhadi. (1992). Alat - Alat Berat dan Penggunaanya. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum Badan Penerbit Pekerjaan Umum.

Rochmanhadi, (1992). Kapasitas dan Produksi Alat-Alat Berat, Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.

Sondakh,, F, & Pangemanan, S.:2019:.Alat Berat dan PTM:Manado.

Svejvig, P. (2021). A Meta-theoretical framework for theory building in project management. International Journal of Project Management, 39(8), 849- 872..

