

Analisis Produktivitas Alat Berat pada Pekerjaan Pengecoran *Bored Pile* di Jembatan Bandar Ngalim Kediri

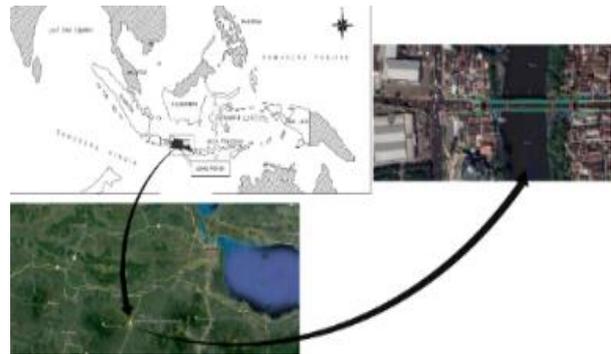
M. Lukman Ainul Yaqin dan Mohammad Arif Rohman
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)
e-mail: arif@ce.its.ac.id

Abstrak—Pembangunan proyek konstruksi berkembang pesat, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Semakin berkembangnya proyek konstruksi maka semakin berkembang juga teknologi alat berat konstruksi yang digunakan. Penggunaan alat berat dalam proses pelaksanaan proyek konstruksi harus dilakukan secara efisien karena dapat menunjang keberhasilan suatu proyek konstruksi. Proyek pembangunan Jembatan Bandar Ngalim merupakan salah satu proyek konstruksi infrastruktur jembatan yang berada di Kota Kediri Jawa Timur. Tugas Akhir ini bertujuan untuk menganalisis hasil produktivitas alat berat pada pekerjaan pengecoran *bored pile* di Jembatan Bandar Ngalim Kediri serta mendapatkan komposisi alat berat yang lebih baik dari segi waktu dan biaya antara kondisi eksisting di lapangan dengan kondisi yang direncanakan pada pekerjaan pengecoran *bored pile* di Jembatan Bandar Ngalim Kediri. Pada penelitian ini akan dilakukan perhitungan produktivitas setiap alat berat pada proyek pembangunan Jembatan Bandar Ngalim. Setelah mendapatkan nilai produktivitas setiap alat berat, dilakukan pengelompokan atau komposisi alat berat dengan perhitungan 3 alternatif dan dipilih salah satu alternatif yang lebih baik antara kondisi eksisting di lapangan dengan kondisi yang direncanakan. Penelitian ini, didapatkan hasil kombinasi alternatif alat berat yang optimal adalah pada Alternatif 2 karena memiliki selisih waktu dan biaya terkecil yaitu -240 jam dan -Rp 13.765.234,41 dari kondisi eksisting. Selain itu, juga dapat dibuktikan dengan menggunakan penyetaraan waktu dan biaya masing-masing 50%, juga didapatkan hasil yang paling kecil diantara alternatif lain yaitu 1,00. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa alternatif yang terpilih adalah alternatif 2 yaitu 1 unit *Excavator* Komatsu PC200, 2 unit *Rig Bore* XCMG, 2 unit *Crawler Crane* Hitachi Sumitomo, dan 10 unit *Truck Mixer* Jayamix SCG.

Kata Kunci—Alat Berat, Bored Pile, Jembatan Bandar Ngalim, Produktivitas.

I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN suatu proyek konstruksi dunia pada zaman sekarang mulai berkembang pesat, khususnya di negara berkembang seperti Indonesia. Semakin berkembangnya proyek konstruksi maka semakin berkembang juga teknologi peralatan berat konstruksi yang digunakan. Alat berat merupakan alat yang digunakan untuk mempermudah dan mempercepat proses pekerjaan konstruksi. Penggunaan alat berat dalam proses pelaksanaan proyek konstruksi harus dilakukan secara efisien karena dapat menunjang keberhasilan suatu proyek konstruksi. Untuk melihat efisiensi suatu alat berat diperlukan suatu analisis produktivitas. Analisis produktivitas alat berat tergantung pada jenis atau tipe alat berat, waktu siklus, dan kondisi di lapangan. Selain itu, perhitungan nilai produktivitas pada suatu proyek konstruksi dapat dilakukan berdasarkan jenis



Gambar 1. Lokasi Proyek Jembatan Bandar Ngalim.

pekerjaan yang ada di lapangan, salah satunya adalah pada pekerjaan pengecoran *bored pile*. Pada proses pekerjaan pengecoran *bored pile* memerlukan waktu dan biaya yang tidak sedikit dan dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya cuaca, medan, material, dan peralatan yang digunakan selama proses pengecoran. Kesalahan dalam pemilihan alat berat dapat mengakibatkan manajemen pelaksanaan proyek menjadi tidak tercapai sehingga menyebabkan keterlambatan proyek dan pembengkakan biaya [1]. Adapun salah satu peralatan yang digunakan untuk menyuplai beton dari instalasi proses produksi beton mulai dari tempat *batching plant* dapat digunakan *truck mixer* [2].

Alat berat merupakan salah satu sumber daya yang sangat penting pada suatu proyek konstruksi [3]. Jika penggunaan alat berat yang digunakan kurang tepat dengan kondisi di lapangan maka akan berpengaruh pada rendahnya produktivitas alat berat [4]. Proyek Pembangunan Jembatan Bandar Ngalim merupakan proyek dengan panjang bentang 148,4 m. Untuk mendapatkan komposisi alat berat yang optimal maka dapat dibuat tujuan penelitian yaitu menentukan hasil produktivitas alat berat dan mendapatkan komposisi alat berat yang lebih baik dari segi waktu dan biaya antara kondisi eksisting dengan kondisi yang direncanakan pada pekerjaan pengecoran *bored pile* di Jembatan Bandar Ngalim Kediri.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Deskripsi Proyek Konstruksi

Proyek konstruksi merupakan suatu kegiatan yang dilakukan dengan waktu dan sumber daya terbatas untuk mencapai hasil akhir atau tujuan yang telah ditentukan. Pada proyek ini dilaksanakan oleh kontraktor PT Bukaka Teknik Utama Tbk. Jembatan Bandar Ngalim merupakan jembatan yang membentang di atas Sungai Brantas dengan panjang bentang 148,4 meter. Lokasi Jembatan Bandar Ngalim berada



Gambar 4. Excavator Zoomlion ZE2215E.



Gambar 2. Crawler Crane Hitachi Sumitomo DC88 SCX500.



Gambar 5. Rig Bore XCMG Rotary Drilling Rig.



Gambar 3. Truck Mixer SCG.

di Jalan Bandar Ngalim, Bandar Kidul, Kecamatan Mojojoto, Kota Kediri Jawa Timur. Lokasi proyek tertera pada Gambar 1.

B. Pekerjaan Pondasi Bored Pile

Pondasi merupakan bagian struktur bagian bawah yang menjadi peran utama dalam kekuatan suatu struktur konstruksi. Struktur bawah ini konstruksi perletakkannya dapat disebut dengan pondasi [5]. Pondasi *bored pile* digunakan sebagai kestabilan lereng dinding penahan tanah termasuk pada pondasi di atas tanah lunak dan struktur yang membutuhkan gaya lateral cukup besar. Pondasi tiang *bored pile* pada suatu proyek konstruksi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan cara menyerap lenturan. Ada 3 faktor yang mempengaruhi bentuk material yaitu keadaan asli, gembur, dan padat [6]. Material yang umumnya tergolong material keras adalah bebatuan [7].

C. Produktivitas Alat Berat Pekerjaan Jembatan

1) Produktivitas Excavator

Excavator yang digunakan pada Jembatan Bandar Ngalim khususnya pekerjaan *bored pile* dapat dilihat pada Gambar 4. **Error! Reference source not found.** Excavator Zoomlion ZE2215E. Produktivitas *excavator* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

$$Q = \frac{3600 \times q1 \times K \times E}{Cm} \tag{1}$$

Keterangan:

Q = Produktivitas per jam (m³/jam)

q1 = Kapasitas *bucket* (m³)

K = Faktor pengisian *bucket*

Cm = Waktu siklus (det)

E = Kondisi manajemen dan medan kerja (faktor koreksi)

2) Produktivitas Rig Bore

Rig Bore yang digunakan pada Jembatan Bandar Ngalim khususnya pekerjaan *bored pile* dapat dilihat pada Gambar 5. Produktivitas suatu alat berat tentunya selalu memiliki hubungan dengan waktu siklus. Adapun produktivitas pada *rig bore* dapat menggunakan rumus di bawah ini:

$$Q = \frac{KP \times 60 \times E}{Ct} \tag{2}$$

Keterangan:

Q = Produktivitas *rig bore* (m³/jam)

Ct = Cycle time atau waktu siklus (detik)

E = Efisiensi alat

KP = Kapasitas produksi auger per siklus

3) Produktivitas Crawler Crane

Crawler Crane yang digunakan pada Jembatan Bandar Ngalim khususnya pekerjaan *bored pile* dapat dilihat pada Gambar 2 *Crawler Crane* Hitachi Sumitomo DC88 SCX500. Untuk perhitungan waktu siklus pada *crawler crane* adalah sebagai berikut:

$$Q = KP \times \frac{60}{Ct} \times E \tag{3}$$

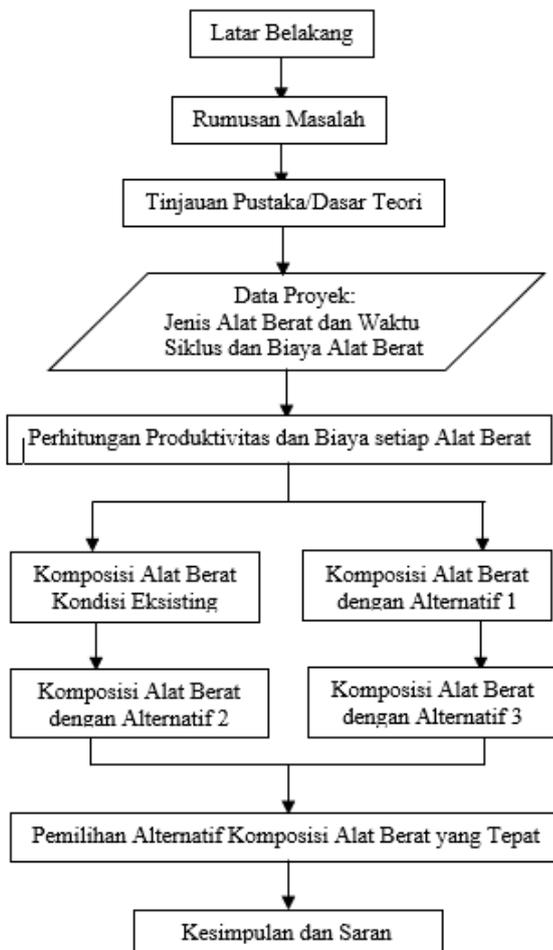
Keterangan:

Q = Produktivitas *crawler crane* per jam (m³/jam)

KP = Kapasitas produksi per siklus

Ct = Waktu siklus *crawler crane*

E = Efisiensi



Gambar 6. Flowchart Urutan Pelaksanaan.

4) Produktivitas Truck Mixer

Truck Mixer yang digunakan pada Jembatan Bandar Ngalim khususnya pekerjaan *bored pile* dapat dilihat pada Gambar 3 Truck Mixer SCG Kediri. Adapun untuk menghitung produktivitas truck mixer dapat menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P = \frac{60 \times Et}{Cm} \times M \tag{4}$$

Keterangan:

- P = Produktivitas truck mixer
- Et/FK = Efisiensi kerja
- M = Jumlah truck mixer yang bekerja
- Cm = Waktu siklus (menit)

D. Efisiensi Kerja

Efisiensi kerja merupakan kombinasi dari beberapa faktor seperti faktor cuaca dan operator, faktor alat dan medan, faktor material, dan faktor manajemen secara bersamaan dan saling terikat yang bisa mempengaruhi produksi peralatan. Adapun *job factor* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$FK = FK_{co} \times FK \times FK_m \times FK_M \tag{5}$$

Keterangan:

- FK = Job factor atau efisiensi kerja
- FK_{co} = Faktor cuaca dan operator
- FK_{am} = Faktor alat dan medan
- FK_m = Faktor material
- FK_M = Faktor manajemen

Tabel 1. Faktor Cuaca dan Operator

Cuaca	Operator dan Mekanik			
	Terampil	Baik	Cukup	Sedang
Terang, segar	0,9	0,85	0,8	0,75
Terang, panas berdebu	0,83	0,783	0,737	0,691
Dingin, mendung gerimis	0,75	0,703	0,666	0,624
Gelap	0,66	0,629	0,592	0,555

Tabel 2. Faktor Alat dan Medan

Kondisi Medan	Kriteria	Kondisi Alat		
		Prima	Baik	Sedang
Ideal	Lapangan datar kering	0,95	0,9	0,8
	Jalan hantar keras/aspal,datar			
Ringan	Ruang gerak luas	0,9	0,852	0,757
	Lingkungan bebas			
Sedang	Lapangan datar Jalan lurus, bergelombang, perkerasan kering	0,85	0,805	0,715
	Lapangan kering bergelombang Jalan lurus bergelombang tanpa perkerasan			
Berat	Lapangan bergelombang becek	0,8	0,715	0,673
	Jalan berbelok dan tajam bergelombang tidak terawat dan becek Ruang gerak sempit Lingkungan terbatas			

III. METODE PELAKSANAAN

A. Objek Studi Penelitian

Penulisan ini mengambil objek penelitian pada Pekerjaan Pengecoran *Bored Pile* di Proyek Pembangunan Jembatan Bandar Ngalim Kota Kediri. Adapun untuk data proyeknya adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan : Pengecoran *Bored Pile* pada Pilar dan Abutmen Jembatan Bandar Ngalim.
2. Lokasi : Jalan Bandar Ngalim Desa Bandar Kidul, Kecamatan Mojojoto, Kota Kediri Jawa Timur.
3. Pemilik Proyek : Baja Titian Utama (BTU).
4. Kontraktor Pelaksana : PT Bukaka Teknik Utama Tbk.
5. Sub Kontraktor : PT Hutama Karya Infrastruktur.
6. Panjang Jembatan : 148,4 meter.

B. Pengumpulan Data

Sumber data yang digunakan adalah data primer secara langsung di lapangan dan data sekunder dari pihak PT Bukaka Teknik Utama Tbk. Data yang digunakan dalam penulisan ini yaitu tentang Analisis Produktivitas pada Pekerjaan Pengecoran *Bored Pile* di Jembatan Bandar Ngalim Kediri dapat diperoleh dengan menggunakan metode pengumpulan data adalah tinjauan pustaka dan tinjauan lokasi di proyek secara langsung.

C. Alternatif Kombinasi Alat Berat dari Segi Waktu Biaya

Kombinasi alat berat pada pekerjaan pengecoran *bored pile* di lapangan dapat mempengaruhi waktu dan biaya yang dikeluarkan. Dalam pekerjaan suatu proyek konstruksi, perhitungan waktu sangat penting dan dibutuhkan karena

Tabel 4.
Faktor Material

Pengerjaan	Tingkat Kesulitan	Faktor Material	Kondisi dan Jenis Material
Excavating	Mudah	1,2	Kondisi alam tanah biasa, atau tanah lunak
	Sedang	1,1	Kondisi alam tanah liat, tanah pasir atau pasir kering
	Agak Sulit	0,9	Kondisi alam tanah pasir dan kerikil
Loading	Mudah	1 - 1.1	Onggokan material, hasil galian dapat mujung, pasir, tanah pasir, tanah liat, Pasir kering, tanah liat, baru pecah, kerikil
	Sedang	0.85 - 0.95	Batu pecah halus, tanah liat keras, sirtu, tanah pasir
	Agak Sulit	0.8 - 0.85	

Tabel 3.
Faktor Manajemen

Klasifikasi	Curriculum Vitae	Nilai Faktor
Sangat Baik	Pendidikan: a. Formal S-1 Teknik b. Informal: - <i>Large project management</i> - <i>Manager audit dan project administration</i>	1
	c. Pengalaman: - Proyek dengan nilai 1 M dan 2,5 M	
	Pendidikan: a. Formal S-1 Teknik b. Informal: - <i>Contracting management</i> - <i>Engineering management</i> - <i>Similar project management</i>	
Baik	c. Pengalaman: a. Formal S-1 Teknik b. Informal: - <i>Engineering management</i> - <i>Similar project management</i> c. Pengalaman: Proyek dengan nilai 0,25 M dan 0,5 M	0,95

suatu pekerjaan harus dapat diselesaikan sesuai dengan waktu kontrak.

Pada suatu proyek konstruksi tidak hanya menghitung dari segi waktu, tetapi biaya sewa alat berat juga sangat berpengaruh karena dengan mengetahui biaya sewa alat berat dapat menentukan beberapa alat berat yang sesuai dengan kondisi di lapangan dan menjadi alternatif pekerjaan pengecoran *bored pile*.

D. Urutan Pelaksanaan Penelitian

Urutan pelaksanaan penelitian yang dilakukan dalam penulisan ini dapat dilihat dalam Gambar 6. Pada flowchart pada Gambar 6 dapat dilihat bahwa dalam menganalisis dan menyusun terkait Tugas Akhir ini dimulai dari mengidentifikasi latar belakang yang terjadi, merumuskan masalah, melakukan perhitungan dan analisis, membuat skenario, dan menentukan alternatif yang paling optimal antara 4 skenario yang dibuat.

IV. PEMBAHASAN

A. Jenis Alat Berat pada Pekerjaan Bored Pile

Proyek pembangunan Jembatan Bandar Ngalim yang ada di Kota Kediri menggunakan beberapa jenis alat berat untuk menunjang keberhasilan suatu pekerjaan *bored pile*. Berikut merupakan jenis alat berat yang digunakan yaitu *Excavator Zoomlion ZE2215E*, *Rig Bore XCMG Rotary Drilling Rig*, *Hitachi Sumitomo DC88 SCX500*, *Truck Mixer SCG Kediri*.

B. Perhitungan Produktivitas Setiap Alat Berat

1) Excavator tipe Zoomlion ZE2215E

Kapasitas *bucket* (q1) : 0,93 m³
Efisien kerja (E) : 0,62 (kondisi sedang/normal)
Faktor *bucket* (k) : 1 (ringan)
Waktu siklus : 16 detik

Selanjutnya faktor kerja, pertama faktor gabungan cuaca dan operator. Faktor cuaca dan operator dipilih berdasarkan kondisi di lapangan dan yang terpilih adalah 0,783. Faktor cuaca dan operator ini dapat dilihat pada Tabel 1.

Kedua faktor gabungan alat dan medan. Faktor alat dan medan dipilih berdasarkan kondisi di lapangan dan yang terpilih adalah 0,715. Faktor alat dan medan ini dapat dilihat pada Tabel 2. Lalu Faktor material dipilih berdasarkan

kondisi di lapangan dan yang terpilih adalah 1,1. Faktor material ini dapat dilihat pada Tabel 3.

Faktor manajemen dipilih berdasarkan kondisi di lapangan dan yang terpilih adalah 1. Faktor manajemen ini dapat dilihat pada Tabel 4.

$$Job\ factor\ (E) = FKco \times Fkam \times FKm \times FKM$$

$$= 0,783 \times 0,715 \times 1,1 \times 1 = 0,62$$

$$Produktivitas\ (Q) = \frac{3600 \times q1 \times K \times E}{Cm} = \frac{3600 \times 0,93 \times 1 \times 0,62}{16} = 103,79\text{m}^3/\text{jam}$$

2) Excavator tipe Komatsu PC 200

Kapasitas *bucket* (q1) : 1,2 m³
Efisien kerja (E) : 0,75 (kondisi sedang/normal)
Faktor *bucket* (k) : 0,591 (ringan)
Waktu siklus : 12 detik
Faktor pengembangan bahan : 1,25 (tanah liat berpasir)

$$Produktivitas\ (Q) = \frac{3600 \times q1 \times K \times E}{Cm} = \frac{3600 \times 1,2 \times 0,591 \times 0,75}{12} = 163,64\text{ m}^3/\text{jam}$$

3) Rig Bore

Rig Bore tipe XCMG Rotary Drilling Rig:

Kapasitas : 1000 m³
Tinggi alat (t) : 15 m
Diameter *bucket* : 0,85 m
Efisiensi alat (E) : 0,75 (sedang)
Waktu siklus : 600 menit
Jumlah titik bor : 48 titik
Waktu pindah titik pengeboran : 45 menit
Tinggi *auger* : 1,2 m
Volume total pondasi : 791,68 m³
Produktivitas per siklus *auger* : $\pi \times r^2 \times t$
: $3,14 \times 1^2 \times 1,2 = 3,77$
Produktivitas *rig bore* (Q) : $\frac{KP \times 60 \times E}{Ct}$

Tabel 5.
Rekapitulasi Waktu dan Biaya Eksisting

Jenis Alat Berat	Jumlah Alat Berat	Waktu jam	Biaya Sewa (Rp) /jam	Total Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	1	128	Rp235.170,18	Rp30.101.783,00
<i>Rig Bore</i>	1	480	Rp678.817,46	Rp325.832.381,58
<i>Crawler Crane</i>	1	256	Rp277.675,21	Rp71.084.853,36
<i>Truck Mixer</i>	5	96	Rp7.337.821,98	Rp3.522.154.548,00
Waktu Pelaksanaan		480	Biaya Peralatan	Rp3.949.173.565,94

Tabel 6.
Rekapitulasi Waktu dan Biaya Alternatif 1

Jenis Alat Berat	Jumlah Alat Berat	Waktu jam	Biaya Sewa (Rp) /jam	Total Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	1	128	Rp235.170,18	Rp30.101.783,00
<i>Rig Bore</i>	1	384	Rp678.817,46	Rp229.128.331,09
<i>Crawler Crane</i>	1	256	Rp277.675,21	Rp71.084.853,36
<i>Truck Mixer</i>	8	64	Rp7.337.821,98	Rp3.756.964.851,20
Waktu Pelaksanaan		384	Biaya Peralatan	Rp4.087.279.818,65

Tabel 7.
Rekapitulasi Waktu dan Biaya Alternatif 2

Jenis Alat Berat	Jumlah Alat Berat	Waktu jam	Biaya Sewa (Rp) /jam	Total Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	1	82	Rp235.170,18	Rp16.336.548,58
<i>Rig Bore</i>	2	240	Rp678.817,46	Rp325.832.381,58
<i>Crawler Crane</i>	2	128	Rp277.675,21	Rp71.084.853,36
<i>Truck Mixer</i>	10	48	Rp7.337.821,98	Rp3.552.154.548,00
Waktu Pelaksanaan		240	Biaya Peralatan	Rp3.935.408.331,52

Tabel 8.
Rekapitulasi Waktu dan Biaya Alternatif 3

Jenis Alat Berat	Jumlah Alat Berat	Waktu jam	Biaya Sewa (Rp) /jam	Total Biaya (Rp)
<i>Excavator</i>	2	42	Rp235.170,18	Rp16.125.715,42
<i>Rig Bore</i>	1	384	Rp678.817,46	Rp229.128.331,09
<i>Crawler Crane</i>	1	256	Rp277.675,21	Rp71.084.853,36
<i>Truck Mixer</i>	8	64	Rp7.337.821,98	Rp3.756.964.851,20
Waktu Pelaksanaan		384	Biaya Peralatan	Rp4.073.913.036,64

$$: \frac{1000 \times 60 \times 0,75}{600}$$

$$: 75 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Rig Bore tipe Kobelco BM500 Drilling Rig:
 Kapasitas : 1200 m³
 Tinggi alat (t) : 18,59 m
 Diameter *bucket* : 0,85 m
 Efisiensi alat (E) : 0,75 (sedang)
 Waktu siklus : 560 menit
 Jumlah titik bor : 48 titik
 Waktu pindah titik pengeboran : 40 menit
 Tinggi *auger* : 1,5 m
 Volume per pondasi : $\pi \times r^2 \times t$
 : $3,14 \times 1^2 \times 30$
 : 94,25 m³
 Volume total pondasi : Jumlah titik x Volume pondasi
 : 48 x 94,25
 : 4523,89 m³
 Produktivitas per siklus *auger* : $\pi \times r^2 \times t$
 : $3,14 \times 1^2 \times 1,5$
 : 4,71 m³
 Produktivitas *rig bore* (Q) : $\frac{KP \times 60 \times E}{Ct}$
 : $\frac{1200 \times 60 \times 0,75}{560}$
 : 96,43 m³/jam

4) *Crawler Crane*

Crawler crane tipe Hitachi Sumitomo DC88 SCX500
 Kapasitas maksimum beban : 15 ton

Radius kerja : 2,5 – 60 m
 Panjang tiang (p) : 12 m
 Faktor efisiensi alat (Fa) : 0,75 (normal)
 Waktu pergi dan kembali : 32 menit
 Waktu siklus semua pondasi : 48 x 32
 : 1536 menit
 Produktivitas (Q) : $\frac{p \times Fa \times 60}{Ts2}$
 : $\frac{12 \times 0,75 \times 60}{32}$
 : 16,88 m³/jam

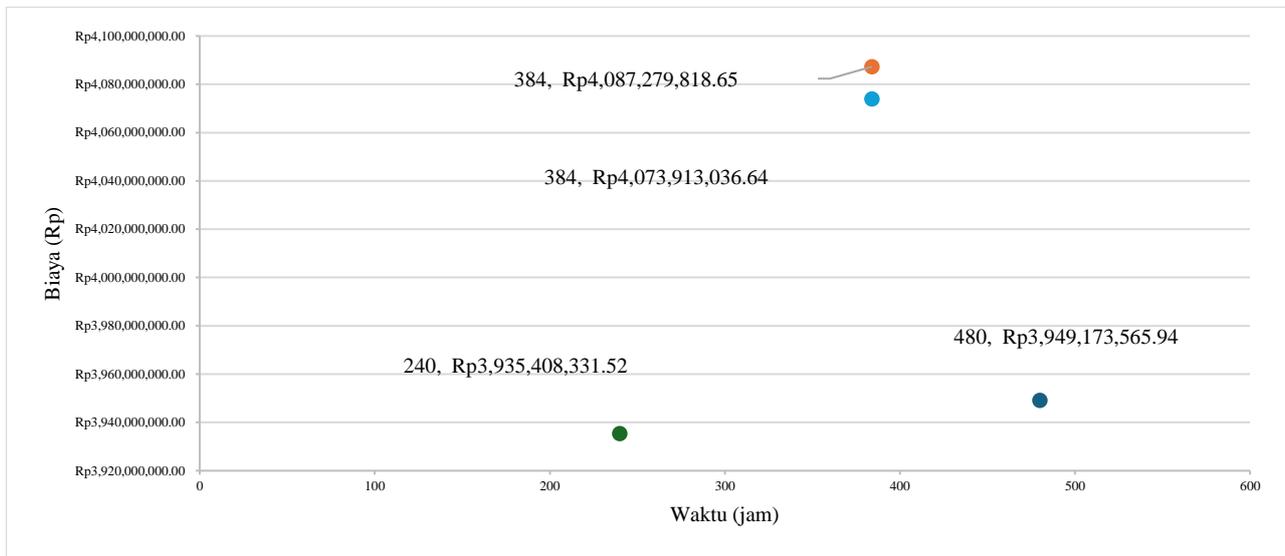
5) *Truck Mixer*

Truck Mixer tipe Jayamix SCG Kediri
 Kapasitas *truck mixer* : 6 m³
 Jarak *batching plant* ke proyek : 14,5 m
 Kecepatan rata-rata isi (v1) : 30 km/jam
 Kecepatan rata-rata kosong (v2) : 40 km/jam
 Waktu siklus : 129 menit
 Jumlah *truck mixer* per pondasi : 5 buah
 Efisiensi kerja : 0,75 (sedang/normal)
 Produktivitas *truck mixer* (Q) : $\frac{(60 \times Et)}{Cm} \times M$
 : $\frac{(60 \times 0,75)}{129} \times 5$
 : 1,75 m³/jam

C. Analisis Biaya Alat Berat pada Pekerjaan Bored Pile

1) *Biaya xExcavator*

Jenis alat berat : *Excavator Zoomlion ZE2215E*
 Tenaga (Pw) : 80 HP



Gambar 7. Diagram Pareto Optima Waktu dan Biaya Alat Berat.

Tabel 9.
Penyetaraan Bobot Waktu dan Biaya

Bobot Parameter	50% Waktu	50% Biaya	Total Penyetaraan
Eksisting	1,00	0,50	1,50
Alternatif 1	0,80	0,52	1,32
Alternatif 2	0,50	0,50	1,00
Alternatif 3	0,80	0,52	1,32

Kapasitas (Cp) : 0,5 m³
 Alat yang dipakai:
 Umur ekonomis (A') : 5 tahun
 Jam kerja dalam 1 tahun (W') : 2000 jam
 Harga alat (B') : Rp 750.000.000,00
 Biaya pasti per jam (G) : Biaya pengembalian modal +
 Biaya asuransi : Rp 93.487,08 + Rp 750,00
 : Rp 94.237,08
 Total biaya sewa alat/jam : Rp 94.237,08 + Rp 140.933,10
 : Rp 235.170,18

2) *Biaya Rig Bore*

Jenis alat berat: *Rig Bore* XCMG Rotary Drilling Rig
 Tenaga (Pw) : 150 HP
 Kapasitas (Cp) : 2000 m
 Alat yang dipakai:
 Umur ekonomis (A') : 6 tahun
 Jam kerja dalam 1 tahun (W') : 2000 jam
 Harga alat (B') : Rp 3.250.000.000,00
 Biaya pasti per jam (G) : Biaya pengembalian modal +
 Biaya asuransi : Rp 367.878,90 + Rp 3.250,00
 : Rp 371.128,90
 Total biaya sewa alat/jam : Rp 371.128,90 + Rp 307.688,56
 : Rp 678.817,46

3) *Biaya Crawler Crane*

Jenis alat berat : *Crawler Crane* Hitachi Sumitomo DC88 SCX500
 Tenaga (Pw) : 150 HP
 Kapasitas (Cp) : 25 ton
 Alat yang dipakai:
 Umur ekonomis (A') : 5 tahun
 Jam kerja dalam 1 tahun (W') : 2000 jam
 Harga alat (B') : Rp 450.000.000,00
 Biaya pasti per jam (G) : Biaya pengembalian modal +
 Biaya asuransi : Rp 48.799,15 + Rp 450,00

Total biaya sewa alat/jam : Rp 49.249,15 + Rp 228.426,06
 : Rp 277.675,21

4) *Biaya Truck Mixer*

Jenis alat berat : Jayamix SCG Kediri
 Tenaga (Pw) : 15 HP
 Kapasitas (Cp) : 500 liter
 Alat yang dipakai:
 Umur ekonomis (A') : 4 tahun
 Jam kerja dalam 1 tahun (W') : 2000 jam
 Harga alat (B') : Rp 25.000.000,00
 Volume 1 *Truck Mixer* : 6 m³
 Harga beton *ready mix* (1 m3) : Rp 1.000.000,00
 Harga beton *ready mix* (1 TM) : Rp 6.000.000,00
 Biaya mobilisasi dan operator : Rp 3.281.243,98
 Total biaya pesan *Truck Mixer* : Rp 6.000.000,00 + Rp 3.281.243,98
 : Rp 9.281.243,98

5) *Biaya Excavator Rencana*

Jenis alat berat : *Komatsu PC 200*
 Tenaga (Pw) : 105 HP
 Alat yang dipakai:
 Umur ekonomis (A') : 6 tahun
 Jam kerja dalam 1 tahun (W') : 2500 jam
 Harga alat (B') : Rp 800.000.000,00
 Biaya pasti per jam (G) : Biaya pengembalian modal +
 Biaya asuransi : Rp 38.856,51 + Rp 640,00
 : Rp 39.496,51
 Total biaya sewa alat/jam : Rp 39.496,51 + Rp 159.729,69
 : Rp 199.226,20

6) *Biaya Rig Bore Rencana*

Jenis alat berat : *Bor Machine Kobelco BM 500*
 Tenaga (Pw) : 180 HP
 Alat yang dipakai:
 Umur ekonomis (A') : 10 tahun

Jam kerja dalam 1 tahun (W')	: 2000 jam
Harga alat (B')	: Rp 3.909.376.000,00
Biaya pasti per jam (G)	: Biaya pengembalian modal +
Biaya asuransi	: Rp 149.823,51 + Rp 3.909,38
	: Rp 153.732,89
Total biaya sewa alat/jam	: Rp 153.732,89 + Rp 442.955,48
	: Rp 596.688,36

D. Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi

1) Excavator

Jarak (Jakarta-Kediri)	= 711 Km (Via Tol)
Harga BBM per liter	= Rp 6.014,91
Bahan Bakar yang dibutuhkan (liter)	= 5.055,21
Biaya transportasi	= Rp 30.406.633,18
Biaya via tol	= Rp 718.500,00
Biaya perizinan	= Rp 1.000.000,00 (per
5 tahun)	
Biaya operator	= Rp 500.000,00
Biaya pemeliharaan	= Rp 475.000,00
Total Biaya	= Rp 33.100.133,18

2) Rig Bore

Jarak (Jakarta-Kediri)	= 711 Km (Via Tol)
Harga BBM per liter	= Rp 6.014,91
Bahan Bakar yang dibutuhkan (liter)	= 5.055,21
Biaya transportasi	= Rp 30.406.633,18
Biaya via tol	= Rp 718.500,00
Biaya perizinan	= Rp 1.000.000,00 (per
5 tahun)	
Biaya operator	= Rp 500.000,00
Biaya pemeliharaan	= Rp 1.406.250,00
Total Biaya	= Rp 34.031.383,18

3) Crawler Crane

Jarak (Jakarta-Kediri)	= 711 Km (Via Tol)
Harga BBM per liter	= Rp 6.014,91
Bahan Bakar yang dibutuhkan (liter)	= 5.055,21
Biaya transportasi	= Rp 30.406.633,18
Biaya via tol	= Rp 718.500,00
Biaya perizinan	= Rp 1.000.000,00
(per 5 tahun)	
Biaya operator	= Rp 500.000,00
Biaya pemeliharaan	= Rp 613.625,00
Total Biaya	= Rp 33.238.758,18

4) Truck Mixer

Jarak yang ditempuh (Papar-Kediri)	= 14,5 Km
Harga BBM per liter	= Rp 6.014,91
Bahan Bakar yang dibutuhkan (liter)	= 2,10
Biaya transportasi	= Rp 12.646,35
Biaya perizinan	= Rp 1.000.000,00 (per
5 tahun)	
Biaya operator	= Rp 300.000,00
Biaya pemeliharaan	= Rp 25.175,63
Total Biaya	= Rp 1.337.821,98

E. Hasil Analisis Alternatif Kombinasi Alat Berat

1) Eksisting

Perhitungan waktu dan biaya didapatkan dari hasil perhitungan produktivitas, biaya sewa alat berat, dan biaya mobilisasi serta biaya demobilisasi. Tabel 5 adalah hasil perhitungan alat berat dari segi waktu dan biaya pada kondisi asli di lapangan (eksisting). Pada kondisi eksisting, pekerjaan

bored pile dapat diselesaikan 100% dalam waktu 480 jam dan membutuhkan biaya sebesar Rp 3.949.173.565,94.

2) Alternatif 1

Perhitungan waktu dan biaya didapatkan dari hasil perhitungan produktivitas, biaya sewa alat berat, dan biaya mobilisasi serta biaya demobilisasi. Tabel 6 adalah hasil perhitungan alat berat dari segi waktu dan biaya pada kondisi alternatif 1. Pada kondisi alternatif 1, pekerjaan *bored pile* dapat diselesaikan 100% dalam waktu 384 jam dan membutuhkan biaya sebesar Rp 4.087.279.818,65.

3) Alternatif 2

Perhitungan waktu dan biaya didapatkan dari hasil perhitungan produktivitas, biaya sewa alat berat, dan biaya mobilisasi serta biaya demobilisasi. Tabel 7 adalah hasil perhitungan alat berat dari segi waktu dan biaya pada kondisi alternatif 2. Pada kondisi alternatif 2, pekerjaan *bored pile* dapat diselesaikan 100% dalam waktu 240 jam dan membutuhkan biaya sebesar Rp 3.935.408.331,52.

4) Alternatif 3

Perhitungan waktu dan biaya didapatkan dari hasil perhitungan produktivitas, biaya sewa alat berat, dan biaya mobilisasi serta biaya demobilisasi. Tabel 8 adalah hasil perhitungan alat berat dari segi waktu dan biaya pada kondisi alternatif 3. Pada kondisi alternatif 3, pekerjaan *bored pile* dapat diselesaikan 100% dalam waktu 384 jam dan membutuhkan biaya sebesar Rp 4.073.913.036,64.

Berdasarkan hasil rekapitulasi waktu dan biaya eksisting, alternatif 1, alternatif 2, dan alternatif 3 dapat dilihat melalui grafik perbandingan kondisi eksisting dengan beberapa alternatif yang tertera pada Gambar 7.

Berdasarkan hubungan waktu dan biaya *pareto optima* tersebut, dapat diketahui bahwa titik yang mendekati *front pareto* adalah pada alternatif 2 karena dari segi waktu dan biaya memiliki nilai yang lebih kecil dan tidak bisa dikalahkan oleh skenario yang lain. Selain itu, juga dapat dibuktikan dengan menggunakan rumus penyetaraan pembobotan sebagai berikut:

$$TC \text{ Penyetaraan} = \left(\frac{\text{Nilai TC m}}{\text{Nilai TC terkecil}} \right) \times P\% \quad (6)$$

Keterangan:

TC	= parameter waktu dan biaya alat berat
TC m	= total waktu atau biaya yang akan ditinjau
TC terkecil	= total waktu atau biaya terkecil
P%	= presentase bobot antara waktu dan biaya

Berdasarkan hasil perhitungan penyetaraan bobot antara waktu dan biaya setiap skenario, didapatkan rekapitulasi hasil perhitungan penyetaraan antara waktu dan biaya dapat dilihat pada Tabel 9. Berdasarkan Tabel 9, pemilihan alternatif yang optimal adalah Alternatif 2 karena memiliki total penyetaraan yang terkecil dan sesuai dengan tujuan awal yaitu menentukan waktu dan biaya yang terkecil dan optimal.

V. KESIMPULAN/RINGKASAN

Berdasarkan hasil analisis perhitungan produktivitas alat berat dan perbandingan kondisi eksisting dengan alternatif alat berat, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Pada kondisi eksisting, produktivitas alat berat *Excavator Zoomlion ZE2215E* adalah 103,79 m³/jam, *Rig Bore XCMG Rotary Drilling Rig* adalah 75 m³/jam, *Crawler*

Crane Hitachi Sumitomo DC88 SCX500 adalah 16,88 m³/jam, dan *Truck Mixer* Jayamix SCG Kediri adalah 1,75 m³/jam. Sedangkan pada kondisi yang direncanakan yaitu *Excavator* Komatsu PC200 adalah 163,64 m³/jam dan *Rig Bore* Kobelco BM500 Auger GB adalah 96,43 m³/jam.

2. Kombinasi atau komposisi alat berat yang direkomendasikan dan efektif dari segi waktu dan biaya adalah pada alternatif 2 terdiri dari 1 unit *Excavator* Komatsu PC200, 2 unit *Rig Bore* XCMG Rotary Drilling Rig, 2 unit *Crane* Hitachi Sumitomo DC88 SCX500, dan 10 unit *Truck Mixer* Jayamix SCG karena memiliki nilai bobot penyetaraan terkecil (optimum) yaitu 1,00.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. Jaya and A. Sutandi, "Analisis produktivitas alat berat mesin bor auger, crawler crane, dan excavator pada proyek a dan b," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 11--18, 2019.
- [2] W. Jawat, A. A. S. D. a Rahadiani, and N. K. Armaeni, "Produktivitas truck concrete pump dan truck mixer pada pekerjaan pengecoran beton ready mix," *Padur. J. Tek. Sipil Univ. Warmadewa*, vol. 7, no. 2, pp. 164--183, 2018.
- [3] Y. Sari and F. Komala, "Produktifitas penggunaan alat berat terhadap waktu pekerjaan proyek pemeliharaan berkala," *J. Ilmu Tek.*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [4] A. Kaprina, S. Winarto, and Y. C. S. Purnomo, "Analisis produktivitas alat berat pada proyek pembangunan gedung fakultas syariah dan ilmu hukum iain tulungagung," *J. Manaj. Teknol. dan Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 1--11, 2018.
- [5] H. Wahyudiono and S. Anam, "Perencanaan pondasi bore pile pada proyek jembatan ngujang ii kab. tulungagung," *UKaRST*, vol. 2, no. 1, pp. 20--27, 2018.
- [6] M. A. Thayeb, "Perencanaan Alat Berat pada Pekerjaan Tanah Proyek Pembangunan Packing Plant PT Semen Indonesia di Balikpapan," Departemen Teknik Sipil: Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [7] B. G. Kalalo, M. Sibi, and A. K. Dundu, "Manajemen alat berat pada pekerjaan bendungan," *J. Sipil Statik*, vol. 8, no. 5, 2020.
- [8] D. N. Setiawati and A. Meddeppungeng, "Analisis produktivitas alat berat pada proyek pembangunan pabrik Krakatau posco zone iv di Cilegon," *Konstruksia*, vol. 4, no. 2, 2013.