ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Analisis Metode Percepatan Pekerjaan Pondasi Borepile Berbasis *Time Cost Trade off* Proyek Tower Merial Jakarta

Eko Wahyudi[1)], Hamonangan Girsang[2)]

[1)] Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta
[2)]Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana, Jakarta
Jl. Meruya Selatan No. 1., Joglo, Kembangan Jakarta, Indonesia 11650
Email :hamonangan.girsang@mercubuana.ac.id[2)]

ABSTRACT

Construction project delays are common and often stem from various factors. Early detection and evaluation methods, such as Earned Value Management, can help mitigate these delays. This study focuses on the borepile foundation work for the Merial Tower Building, executed by PT. Adhi Karya, Tbk. and PT. Adhi Persada Gedung, which experienced a 1.090% deviation from its initial schedule.. So, it is necessary to accelerate so that the borepile foundation work can be completed according to plan. The purpose of this study is to determine the magnitude of the change in time and cost of the borepile foundation work for the acceleration alternative by adding working hours and the number of heavy equipment. The method used in this study is analysis and evaluation using the Time Cost Trade Off method, where the data collection process begins with the implementation of field observations to determine the project overview, work methods, and heavy equipment time cycles. In addition, secondary data related to the project was collected, including schedules, RAB, unit price analysis, number of workers, and number of heavy equipment. The analysis carried out using the Time Cost Trade Off method will compare costs and time, as normal, according to the initial plan and after acceleration. Under normal conditions, the required implementation duration is 132 days with a total cost of Rp 37,819,634,071.25. After an acceleration analysis with additional working hours, the implementation duration is 107 days with a total cost of Rp 38,064,956,631.98. In the acceleration with the addition of heavy equipment, the implementation duration is 126 days with a total cost of Rp 39,737,437,364.44. In the acceleration with the addition of working hours and heavy equipment, the duration is 87 days with a total cost of Rp 38,990,904,620.72. Based on the results of the Time Cost Trade Off analysis, the acceleration that produces optimum costs and time is acceleration by increasing working hours. However, if based on the completion target with a duration of 104 days, the most appropriate acceleration analysis is a combination of adding working hours and adding work equipment with a set of drilling equipment.

Keywords : *Acceleration, Cost, Time, Trade Off, Project*

ABSTRAK

Keterlambatan dalam proyek konstruksi sering terjadi dan dapat dideteksi lebih awal menggunakan metode Earned Value Management. Salah satu kasusnya adalah proyek pondasi borepile Gedung Merial Tower oleh PT. Adhi Karya, Tbk. dan PT. Adhi Persada Gedung yang mengalami deviasi waktu sebesar 1,090% dari rencana awal. Hal ini memerlukan adanya percepatan sehingga pekerjaan pondasi borepile dapat selesai sesuai dengan rencana. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui besarnya perubahan waktu dan biaya pekerjaan pondasi borepile atas alternatif percepatan dengan penambahan jam kerja dan jumlah alat berat. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah analisis dan evaluasi dengan menggunakan metode Time Cost Trade Off dimana proses pengumpulan data diawali dengan pelaksanaan observasi di lapangan untuk mengetahui overview proyek, metode pekerjaan dan time cycle alat berat. Selain itu dilakukan pengumpulan data sekunder terkait proyek antara lain schedule, RAB, analisis harga satuan, jumlah tenaga kerja, jumlah alat berat. Analisis yang dilakukan dengan menggunakan metode Time Cost Trade Off akan dilakukan membandingkan biaya dan waktu, normal sesuai rencana awal maupun setelah dilakukan percepatan. Pada kondisi normal, durasi pelaksanaan yang diperlukan selama 132 hari dengan total biaya sebesar Rp 37.819.634.071,25. Setelah dilakukan analisis percepatan dengan penambahan jam kerja, diperoleh durasi pelaksanaan sebesar 107 hari dengan total biaya sebesar Rp 38.064.956.631,98. Pada percepatan dengan penambahan alat berat diperoleh durasi pelaksanaan sebesar 126 hari dengan total biaya sebesar Rp 39.737.437.364,44. Pada percepatan dengan penambahan jam kerja dan alat berat diperoleh durasi 87 hari dengan total biaya sebesar Rp 38.990.904.620,72. Berdasarkan hasil analisis Time Cost Trade Off, percepatan yang menghasilkan biaya dan waktu optimum adalah percepatan dengan menambah waktu kerja. Namun, jika berdasarkan target penyelesaian dengan durasi 104 hari, analisis percepatan yang paling sesuai adalah kombinasi penambahan jam kerja dan penambahan peralatan kerja dengan satu set peralatan pengeboran.

Kata Kunci : *Percepatan, Waktu, Biaya, Trade Off, Proyek.*

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

1. Pendahuluan

Pekerjaan pondasi borepile Proyek Tower Merial yang dikerjakan kontraktor pelaksana kerja sama operasi PT. Adhi Karya, Tbk. dan PT. Adhi Persada Gedung mengalami keterlambatan karena adanya faktor eksternal. Secara kontraktual, pekerjaan pondasi ini harus diselesaikan dengan durasi waktu selama 132 hari kalender dengan pekerjaan dimulaitanggal 16 Nopember 2021 dan rencana selesai 27 Maret 2022. Waktu mulai pelaksanaan proyek, secara khusus pekerjaan pondasi borepile terlambat selama 28 hari kalender dimana pekerjaan pondasi baru dimulai 14 Desember 2021 dimana . Pada tanggal tersebutpencapaian progres fisik komulatif hanya tercapai 0,128% dari target rencana komulatif 1,218% sehingga terjadi deviasi sebesar minus 1,090% bila dibandingkan dengan progress rencana. Jika dibandingkan dengan nilai kontrak pekerjaan borepile saja pada kondisi ini, pekerjaan pondasi borepile dituntut untuk tetap selesai sesuai rencana awal yaitu 27 Maret 2022. Hal ini mengakibatkan durasi pelaksanaan pekerjaan pondasi bore pile yang semula selama 132 hari kalender menjadi 104 hari kalender tanpa adanya penambahan biaya percepatan dari pemberi tugas sehingga diperlukan analisis terhadap alternatif percepatan pekerjaan. Alternatif percepatan yang ditinjau antara lain penambahan jam kerja dan penambahan alat kerja. Dalam penelitian ini dilakukan analisis percepatan yang digunakan adalah metode *Time Cost Trade Off* untuk mengetahui besarnya perubahan waktu dengan menganalisa beberapa alternatif percepatan seperti penambahan jam kerja, , dan penambahan alat berat. Juga untuk mengetahui besarnya perubahan biaya yang menjadi resiko kontraktor dengan melakukan alternatif percepatan seperti penambahan jam kerja, penambahan tenaga kerja dan penambahan alat berat. Pembatasan masalah penelitian ini fokus pada Proyek Gedung Tower Merial Rumah Sakit PELNI dengan tinjauan terbatas pada pekerjaan pondasi borepile dari sudut pandang kontraktor dan metode yang digunakan adalah metode *Time Cost Trade Off* dengan meninjau alternatif percepatan antara lain penambahan jam kerja, khusus untuk pekerjaan pengeboran dan pembesian sebanyak tiga jam dengan hari kerja yang berlangsung dalam pelaksanaan proyek adalah Senin-Minggu. Penambahan alat berat menyesuaikan dengan metode kerja percepatan. Biaya yang diperhitungkan adalah biaya langsung dan tidak langsung dan perhitungan harga upah dan bahan menggunakan harga milik kontraktor pelaksana. Batasan permasalahan yang ditinjau pada penelitian ini terbatas pada pekerjaan pondasi borepile sehingga observasi dan tinjauan lapangan fokus hanya pekerjaan bore pile.

Menurut Nurhayati (2010), proyek merupakan suatu aktivitas unit dan kompleks yang dibatasi oleh waktu, anggaran, resources, dan spesifikasi performansi yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan konsumen. Dalam pelaksanaannya, setiap proyek selalu dihadapkan dengan kendala yang sifatnya saling mempengaruhi yang biasa disebut segitiga *project constraint* yaitu biaya, waktu dan mutu. Perubahan salah satu atau lebih faktor *constraint* tersebut akan mempengaruhi setidaknya satu faktor lainnya (Santosa, 2013).

Dalam pelaksanaan proyek beberapa alternatif percepatan terutama bagi proyek yang mengalami keterlambatan. Budianto dan Husin (2021) menyebutkan beberapa alternatif percepatan durasi pekerjaan, antara lain mengadakan shift pekerjaan, menambah jam kerja, menggunakan alat bantu yang lebih produktif, menambah jumlah tenaga kerja, mengunakan material yang lebih cepat pemasangannya dan menggunakan metode konstruksi yang lebih cepat.

Alternatif percepatan yang sering dilakukan pada saat pelaksanaan proyek adalah dengan menambah jam kerja. Usaha ini dianggap dapat menambah produktivitas kerja sehingga mempercepat durasi suatu aktivitas. Di samping itu, dengan menambah jam kerja dapat menurunkan tingkat produktivitas tenaga kerja akibat faktor kelelahan. Soeharto (1995) menyajikan data penurunan produktivitas tenaga kerja seperti yang tercantum pada Tabel 1. Nilai produktivitas tenaga kerja dapat dihitung menggunakan persamaan 1 dan persamaan 2 berikut.

$$Produktivitas\ harian = \frac{Volume\ pekerjaan}{Durasi\ Normal} \quad \ldots(1)$$

$$Produktivitas/jam = \frac{Produktivitas\ harian}{Jam\ kerja/hari} \quad \ldots(2)$$

Tabel 1. *Koefisien penurunan produktivitas (Soeharto, 1995)*

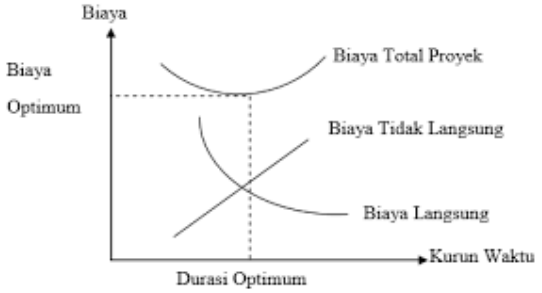
Jam Lembur (Jam)	Penurunan Indeks Produktivitas	Persentase Kerja (%)
1	0,1	90
2	0,2	80
3	0,3	70
4	0,4	60

Peralatan kerja salah satu sumber daya yang penting dalam proses produksi. Adanya penambahan peralatan kerja terutama alat berat, diharapkan dapat menambah produktivitas di lapangan. Pada penelitian ini, alat berat yang ditinjau adalah peralatan pengeboran untuk pondasi bore pile. Rostiyanti dalam Jaya dan Sutandi (2019) menjelaskan bahwa produktivitas alat tergantung pada kapasitas dan waktu siklus alat/ *cycle time* (CT), dimana kapasitas untuk alat pengeboran merupakan kedalaman titik bor. Dengan kapasitas produktivitas yang dihasilkan oleh alat berat akan mempengaruhi biaya proyek yang menyangkut biaya langsung atau biaya tidak langsung, dimana biaya langsung berhubungan dengan biaya operator, alat berat sendiri termasuk efisiensi alat, sedangkan biaya tidak langsung adalah biaya diluar biaya langsung seperti fasilitas pendukung kegiatan proyek, administrasi, perizinan dan juga *Corporate Social Responsibility*

Pada pelaksanaan proyek ini biaya proyek yang dimaksudkan adalah penjumlahan atas biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya langsung merupakan

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

biaya yang memiliki kaitan langsung dengan aktivitas proyek dan digunakan untuk mendapatkan sumber daya proyek. Biaya langsung biasanya meliputi biaya material, biaya upah tenaga kerja, biaya peralatan dan biaya jasa sub kontraktor. Biaya tidak langsung merupakan biaya yang berhubungan dengan pengawasan, pengarahan kerja dan pengeluaran umum diluar biaya konstruksi, biaya ini disebut juga biaya overhead. Biaya ini tidak tergantung pada volume pekerjaan tetapi tergantung pada jangka waktu pelaksanaan pekerjaan (Ikhtisholiyah dalam Priyo dan Paridi (2018). Biaya tidak langsung biasanya terdiri dari biaya overhead, biaya tidak terduga serta keuntungan/laba. Hubungan antara biaya langsung dan tidak langsung terhadap durasi pelaksanaan dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. *Hubungan biaya langsung dan tidak langsung*

Metode time cost trade off adalah proses yang sistematis dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis (Natalia dan Atmaja, 2021). Pada analisis ini dengan adanya perubahan waktu penyelesaian proyek maka akan menimbulkan perubahan biaya, dimana metode ini mengakomodasi usaha percepatan dan biaya yang ditimbulkan atas percepatan tersebut sehingga didapatkan durasi waktu dan biaya optimal yang timbul atas aktivitas pekerjaan yang seharusnya pekerjaan dimulai mulai tanggal 16 November 2021 baru bisa dimulai pekerjaan pada tanggal 14 Desember 2021 dengan target selesai pekerjaan tetap pada rencana awal 27 Maret 2022.

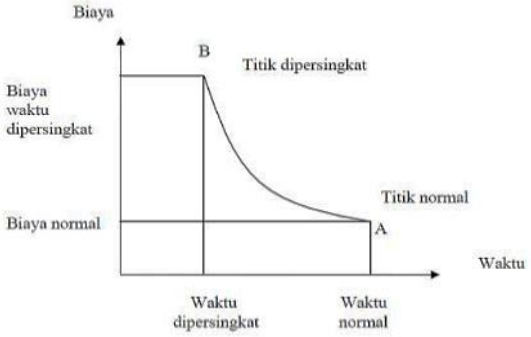
Analisis metode *time cost trade off* dilakukan terhadap jalur lintasan kritis, sehingga beberapa parameter yang digunakan pada analisis percepatan menggunakan metode *time cost trade off*, antara lain:

1. *Normal duration* (Nd)
   Normal duration adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu aktivitas atau kegiatan dengan sumber daya normal yang ada tanpa adanya biaya tambahan lain dalam sebuah proyek.
2. *Crash duration* (Cd)
   Crash duration adalah waktu yang dibutuhkan suatu proyek dalam usahanya mempersingkat waktu yang durasinya lebih pendek dari normal duration.

$$Cd = \frac{Volume}{Produktivitas\ harian\ setelah\ crash} \quad \ldots(3)$$

3. *Normal cost* (Nc)
   Biaya yang dikeluarkan dengan penyelesaian proyek dalam waktu normal. Perkiraan biaya ini adalah pada saat perencanaan dan penjadwalan bersamaan dengan penentuan waktu normal.
4. Crash cost (Cc)
   Biaya yang digunakan untuk melaksanakan aktivitas tersebut dalam jangka waktu sebesar durasi percepatannya. Biaya ini memacu pekerjaan lebih cepat selesai. Biaya crash akan menjadi lebih besar dari biaya normal semula, hal ini diakibatkan waktu yang menjadi lebih cepat dari waktu normalnya.

$$Cc = Nc + biaya\ total\ lembur \quad \ldots(4)$$



Gambar 2. *Grafik hubungan waktu dan biaya pada kondisi normal dan percepatan*

Pada Gambar 2 terlihat titik A yang menunjukkan kondisi normal, sedangkan titik B menunjukkan kondisi percepatan. Garis yang menghubungkan kedua titik tersebut disebut kurva waktu dan biaya. Kemiringan kurva dapat didekati dengan persamaan berikut:

$$Cost\ Slope = \frac{Crash\ cost - Normal\ cost}{Normal\ duration - Crash\ duration} \quad \ldots(5)$$

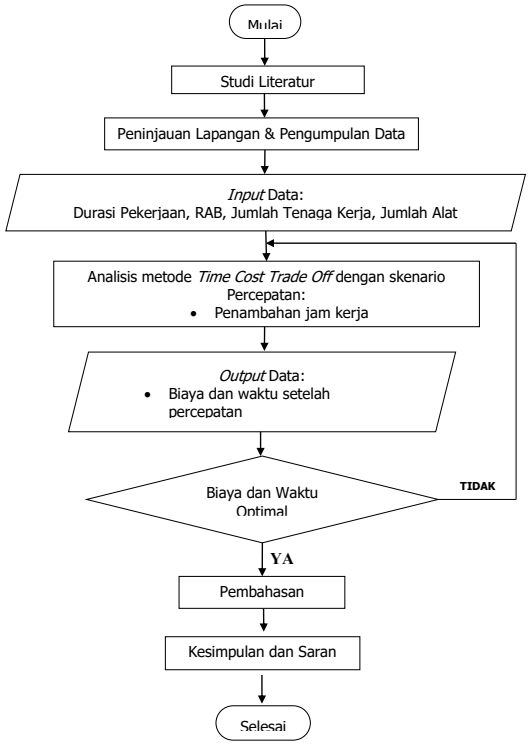
Penelitian menggunakan metode *Time Cost Trade Off* sudah pernah dilakukan sebelumnya. Priyo dan Peridi (2018), Vebiola dan Waskito (2020), serta Girsang dan Wahyudi (2021) melakukan penelitian mengenai analisis percepatan dengan metode *Time Cost Trade Off* dengan alternatif penambahan waktu kerja dan penambahan jumlah tenaga kerja. Dari beberapa penelitian tersebut, diketahui bahwa dengan menambah waktu kerja maupun menambah tenaga kerja dapat mempersingkat waktu pelaksanaan pekerjaan dengan ada konsekuensi biaya yang harus ditanggung. Menurut Girsang dan Wahyudi (2021), untuk proyek konstruki gedung, alternatif penambahan jam kerja lebih efektif dibandingkan dengan alternatif penambahan tenaga kerja. Kisworo, dkk. (2017) pernah melakukan penelitian serupa menggunakan metode *Time Cost Trade Off* dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja lembur dan juga alat pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Solo Ruas Bawen – Solo Seksi II. Berdasarkan penelitian ini, disimpulkan bahwa alternatif percepatan dengan penambahan jam

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

lembur lebih optimal jika dibandingkan alternatif percepatan dengan penambahan jumlah alat.

2. Pembahasan

Penelitian ini dilakukan dengan tahapan terstruktur seperti digambarkan pada diagram alir Gambar 3.



Gambar 3. *Bagan alir penelitian*

Penelitian ini dilakukan pada Proyek Gedung Merial Tower Rumah Sakit Pelni yang berlokasi di Jakarta dengan luas bangunan sebesar 29.500 m2 dengan rencana dua basement dan sepuluh lantai tower. Adapun masa pelaksanaan berlangsung selama 510 hari sejak tanggal 18 Oktober 2021. Penelitian ini dilaksanakan saat pekerjaan pondasi borepile berlangsung yakni dari tanggal 14 Desember 2021 sampai dengan 27 Maret 2022 dengan jumlah titik pengeboran dapat dilihat pada Tabel 2

Tabel 2. *Titik Pengeboran*

Item	Jml. Titik	Ket.
Bore Pile	413	Φ 100 cm; h = 31,5 m
Soldier Pile	357	Φ 60 cm; h = 15 m
Bentonite Pile	357	Φ 60 cm; h = 15 m

Bentonite pile pada tabel diatas adalah merupakan material yang digunakan untuk menjaga stabilitas lubang bor tidak longsor dan merupakan bagian dari bored pile. Dilakukan pengeboran berdasarkan titik koordinat lokasi boredpile dan berdasarkan jenis tanah diberikan bentonite untuk antisipasi tidak terjadi longsong selama pekerjaan pembesian, sampai pengecoran lubang tersebut. Setelah lubang bore aman baru pembesian yang telah dirakit diluar dimasukkan kedalam lubang bore dengan posisi yang center sesuai dengan spesifikasi teknis yang di syaratkan, setelah itu baru dilakukan pengecoran terhadap lubang bore sampai tercapai sesuai dengan persyaratan teknis yang telah ditentukan. Alternatif percepatan yang digunakan adalah penambahan jam kerja dan jumlah alat. Penambahan jam kerja diaplikasikan untuk pekerjaan pengeboran dan pembesian sebanyak tiga jam dengan hari kerja yang berlangsung dalam pelaksanaan proyek adalah Senin sampai Minggu. Jam kerja normal pekerjaan pengeboran dan pembesian berkisar dari jam 08.00-18.00 WIB. Akibat percepatan, jam kerja khusus pekerjaan pengeboran dan pembesian berkisar dari jam 08.00 - 22.00 WIB. Pekerjaan pengecoran tidak diperhitungkan sebagai penambahan jam kerja karena dimulai dari jam 19.00 WIB sampai dengan selesai tanpa adanya pekerjaan pengecoran sebelum jam tersebut. Pada rencana awal, jumlah alat yang digunakan sebanyak dua set peralatan pengeboran yang masing-masing terdiri dari satu unit mesin bor, satu unit backhoe, dan satu unit crane service. Penambahan alat berupa penambahan satu set peralatan pengeboran, dimana penambahan alat ini pasti diikuti penambahan tenaga kerja terutama untuk pengoperasian alat. Jumlah set alat yang ditambahkan maksimal hanya satu set peralatan saja karena keterbatasan lahan yang berpengaruh pada akses serta siklus pengeboran dan pengecoran. Skenario alternatif percepatan yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. *Skenario Alternatif Percepatan*

No.	Skenario	Lembur	Jumlah Alat (Set)
1	Kondisi Normal	Tidak	2
2	Kondisi A	Ya	2
3	Kondisi B	Tidak	3
4	Kondisi C	Ya	3

Kondisi Normal

Pada rencana awal, pelaksanaan pekerjaan pondasi borepile direncanakan selesai dalam 132 hari dan biaya langsung Pekerjaan Pondasi sebesar Rp 34.290.906.521,38. dan biaya tidak langsung, item biaya umum, sewa alat survey dan sewa alat pabrikasi besi, durasi disesuaikan dengan lamanya pekerjaan pondasi bore pile yakni 132 hari atau 4,40 bulan. Sementara untuk item lainnya seperti sarana ng proyek dan PLN diaplikasikan sepanjang proyek sehingga durasi yang dipakai adalah 17 bulan kemudian dikonversikan menjadi durasi 4,40 bulan. Berdasarkan hasil analisis biaya tidak langsung diperoleh total biaya selama 132 hari sebesar Rp 3.528.727.549,88 atau Rp 26.732.784,47 per hari. Biaya total yang diperlukan pada saat kondisi awal (*normal cost*) adalah penjumlahan biaya langsung dan biaya tidak langsung dengan total Rp 37.819.634.071,25. Dalam analisis diperlukan perhitungan kapasitas produksi seperti perhitungan kapasitas produksi untuk pekerjaan pembesian adalah sebagai berikut:

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

$$\text{Produktivitas harian} = \frac{918.267{,}65 \text{ kg}}{132 \text{ hari}}$$
$$= 8.581{,}94 \, {}^{\text{kg}}/_{\text{hari}}$$
$$\text{Produktivitas/jam} = \frac{8.581{,}94 \, {}^{\text{kg}}/_{\text{hari}}}{9 \text{ jam}}$$
$$= 953{,}55 \, {}^{\text{kg}}/_{\text{jam}}$$

Pekerjaan pondasi, terdapat dua set alat pengeboran yang digunakan, satu set digunakan khusus untuk pekerjaan *bore pile* dan satu set yang lain digunakan untuk pekerjaan *soldier pile* dan *bentonite pile*, dan dilanjutkan pengeboran bore pile setelah seluruh titik *soldier pile* dan *bentonite pile* selesai. Produktivitas yang dihasilkan pada penggunaan alat ini juga berbeda dimana salah satu penentu dari produktivitas adalah waktu siklus atau cycle time (CT), kedalaman pengeboran yang berbeda dapat menghasilkan cycle time (CT) yang berbeda. Berikut adalah analisis mengenai penggunaan mesin bor diperoleh kapasitas produksi alat untuk pekerjaan pengeboran pondasi *soldier pile* sebesar 5,80 titik/alat yang didapatkan dari *cycle time soldier pile* 1.55 jam/titik serta jam kerja efektif Adalah 9 jam seperti disajikan pada Tabel 4

Tabel 4. *Produktivitas Pekerjaan Pengeboran Soldier Pile (kondisi normal)*

PERHITUNGAN PRODUKTIVITAS PEKERJAAN SOLDIER PILE	
KONDISI ALAT	
1. Data Teknik	
- Waktu Kerja	08.00 - 18.00
- Jam Kerja Efektif	9 Jam
- Kedalaman Soldier Pile	15 m
- Jumlah Tititik Soldier Pile	357 titik
- Jumlah Alat yang Digunakan	1 unit
2. Perhitungan *Cycle Time* Soldier Pile	
- Waktu Cek Titik Pengeboran	13 menit / titik
- Waktu Persiapan Alat (*Incl.* Cek *Verticality* Alat)	10 menit / titik
- Waktu Untuk Pengeboran (*Incl. Instal Casing*)	37 menit/ titik
- Waktu Untuk Pembersihan	13 menit / titik
- Waktu Untuk Instalasi Besi	20 menit / titik
- Total Waktu	**93 menit / titik**
	1,55 jam / titik
3. Kapasitas Produksi Alat / Hari	
Jam Kerja Efektif	9 Jam
Cycle Time	1,55 jam / titik
	5,80 titik / alat

Sehingga untuk menyelesaikan pengeboran sebanyak 357 titik diperlukan total waktu sebesar 357 titik : 5,80 titik/hari/alat didapatkan 62 hari.

Produktivitas pengeboran Bentonite Pile (Kondisi Normal) dengan melakukan perhitungan *cycle time bentonite* pile dengan total waktu adalah 1. 22 jam/ titik dengan jam kerja alat efektif adalah 9 jam maka produktivitas pengeboran bentonite didapatkan 7.39 titik/alat seperti disajikan pada Tabel 5 berikut ini:

Tabel 5. *Produktivitas Pekerjaan Pengeboran Bentonite Pile (kondisi normal)*

PERHITUNGAN PRODUKTIVITAS PEKERJAAN BENTONITE PILE	
KONDISI ALAT	
1. Data Teknik	
- Waktu Kerja	08.00 - 18.00
- Jam Kerja Efektif	9 Jam
- Kedalaman Soldier Pile	15 m
- Jumlah Tititik Soldier Pile	357 titik
- Jumlah Alat yang Digunakan	1 unit
2. Perhitungan *Cycle Time* Soldier Pile	
- Waktu Cek Titik Pengeboran	13 menit / titik
- Waktu Persiapan Alat (*Incl.* Cek *Verticality* Alat)	10 menit / titik
- Waktu Untuk Pengeboran (*Incl. Instal Casing*)	37 menit/ titik
- Waktu Untuk Pembersihan	13 menit / titik
- Total Waktu	**73 menit / titik**
	1,22 jam / titik
3. Kapasitas Produksi Alat / Hari	
Jam Kerja Efektif	9 Jam
Cycle Time	1,22 jam / titik
	7,39 titik / alat

Dari analisis pada Tabel 5 dapat dilihat bahwa tidak ada pembesian dalam bentonite pile sehingga diperoleh kapasitas produksi alat untuk pekerjaan pengeboran pondasi bentonite pile sebesar 7,39 titik/alat. Sehingga untuk menyelesaikan pengeboran sebanyak 357 titik, diperlukan total waktu sebesar 357 titik : 7,39 titik/hari/alat didaptkan 49 hari. Pemakaian satu unit alat pengeboran pada pekerjaan pengeboran soldier pile dan bentonite pile memerlukan total waktu adalah 62 hari + 49 hari sama dengan 111 hari.

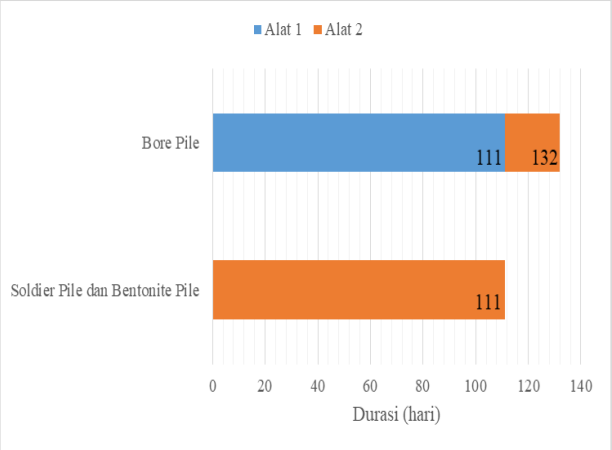
Tabel 6. *Produktivitas Pekerjaan Pengeboran Bore Pile (kondisi normal)*

PERHITUNGAN PRODUKTIVITAS PEKERJAAN BORE PILE	
KONDISI ALAT	
1. Data Teknik	
- Waktu Kerja	08.00 - 18.00
- Jam Kerja Efektif	9 Jam
- Kedalaman Soldier Pile	15 m
- Jumlah Tititik Soldier Pile	357 titik
- Jumlah Alat yang Digunakan	1 unit
2. Perhitungan *Cycle Time* Soldier Pile	
- Waktu Cek Titik Pengeboran	13 menit / titik
- Waktu Persiapan Alat (*Incl.* Cek *Verticality* Alat)	10 menit / titik
- Waktu Untuk Pengeboran (*Incl. Instal Casing*)	130 menit/ titik
- Waktu Untuk Pembersihan	13 menit / titik
- Waktu Untuk Instalasi Besi	30 menit / titik
- Total Waktu	**198 menit / titik**
	3,30 jam / titik
3. Kapasitas Produksi Alat / Hari	
Jam Kerja Efektif	9 Jam
Cycle Time	3,30 jam / titik
	2,72 titik / alat

Hasil analisis seperti pada Tabel 6 diatas diperoleh kapasitas produksi satu unit alat pekerjaan pengeboran pondasi *bore pile* sebesar 2,72 titik/alat. Untuk menyelesaikan pengeboran sebanyak 413 titik, diperlukanwaktu 413 titik : 2,72 titik/hari/alat selama 152 hari. Kondisi yang ditetapkan sebelumnya, satu set alat pengeboran untuk *soldier pile* dan *bentonite pile* dapat digunakan untuk pengeboran bore pile. Setelah 111

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

hari, pengeboran bore pile dapat menggunakan dua set alat sehingga total waktu yang diperlukan adalah 132 hari dengan rincian perhitungan jumlah titik pengeboran setelah 111 hari = 2,72 titik/hari/alat x 111 hari didapatkan 302 titik. Sisa titik pengeboran 413 – 302 = 111 titik dan durasi pengeboran adalah 111 titik : (2 x 2,72) adalah 21 hari dan total waktu pengeboran bore pile adalah 111 hari + 21 hari diperoleh 132 hari. Sebagai ilustrasi, atas penggunaan alat pengeboran terhadap durasi waktu dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. *Ilustrasi Pemakaian Alat Pengeboran (kondisi normal)*

Kondisi A (Lembur dan Dua Set Alat)

Pada skenario pertama, simulasi yang dilakukan adalah dengan menambah jam kerja tanpa menambah set alat pengeboran. Untuk pekerjaan pengecoran, dilakukan di atas jam 19.00 hingga selesai sehingga upah pekerjaan dihitung selama sehari. Penambahan jam kerja untuk pekerjaan pengeboran dan pembesian dimulai pada pukul 19.00 – 22.00 WIB atau selama 3 jam. Setiap pemberlakuan jam lembur terdapat penurunan produktivitas tenaga kerja. Untuk pekerjaan pengeboran dan pembesian selama 3 jam terdapat penurunan produktivitas sebesar 30%. Pada pekerjaan pembesian, produktivitas harian pekerjaan setelah adanya penambahan jam kerja dan hasil *crash duration* (Cd) dapat dihitung sebagai berikut:

$$Produktivitas\ harian\ (lembur) = kap.prod.harian + \%\ kinerja\ lembur \times prod/jam \times jam\ lembur \quad \ldots(6)$$

$$\text{Produktivitas pek. pembesian (lembur)} = 8.581{,}94 + (100\% - 30\%) \times 953{,}55 \times 3 = 10.584{,}39\ \text{kg/hari}$$

Sementara untuk pekerjaan pengeboran, kapasitas produksi akibat penambahan jam lembur dapat dihitung seperti pehitungan sebelumnya (seperti Tabel 4 – Tabel 6) dan menghasilkan rincian sebagai berikut:

1. Kapasitas produksi alat pekerjaan pengeboran pondasi soldier pile sebesar 7,15 titik/alat. Untuk menyelesaikan pengeboran sebanyak 357 titik, diperlukan total waktu sebesar 357 : 7,15 didapatkan 50 hari.
2. Kapasitas produksi alat pekerjaan pengeboran pondasi bentonite pile sebesar 9,11 titik/alat. Untuk menyelesaikan pengeboran sebanyak 357 titik, diperlukan total waktu 357 : 9,11 didapatkan 40 hari. Oleh karena itu, pemakaian satu unit alat pengeboran pada pekerjaan pengeboran soldier pile dan bentonite pile memerlukan total waktu 90 hari
3. Kapasitas produksi satu unit alat untuk pekerjaan pengeboran pondasi bore pile sebesar 3,35 titik/alat. Untuk menyelesaikan pengeboran sebanyak 413 titik, diperlukan total waktu 413 : 3,35 didapatkan 124 hari.

Jika pengeboran borepile dilakukan dengan satu alat maka durasi yang diperlukan sebesar 124 hari. Namun, sesuai kondisi yang ditetapkan sebelumnya, satu set alat pengeboran untuk soldier pile dan bentonite pile dapat digunakan untuk pengeboran bore pile. Setelah 90 hari pengeboran bore pile dapat menggunakan dua set alat sehingga total waktu yang diperlukan adalah 107 hari dengan rincian perhitungan sebagai berikut jumlah titik pengeboran setelah 90 hari adalah 3,35 titik/hari/alat x 90 hari = 302 titik, sisa titik pengeboran = 413 – 302 = 111 titik dan durasi pengeboran untuk 111 titik adalah (2 x 3,35) = 17 hari, maka total waktu pengeboran bore pile adalah 90 hari + 17 hari diperlukan 107 hari.

Berdasarkan hasil analisis di atas dapat dilihat bahwa dari analis percepatan dengan penambahan jam kerja diperoleh *crash duration* (Cd) untuk pekerjaan pengeboran pondasi bore pile sebesar 107 hari dan untuk pekerjaan pembesian sebesar 87 hari. Hasil *crash duration* di atas dapat diaplikasikan pada kurva S sehingga didapatkan durasi percepatan secara global. Namun pada penelitian ini, pekerjaan yang ditinjau hanya pekerjaan bore pile saja sehingga dari kedua pekerjaan tersebut diambil *crash duration* yang terbesar sebagai penentu yaitu pada pekerjaan pengeboran pondasi dengan crash duration sebesar 107 hari.

Untuk menghitung *crash cost* (Cc), perlu dihitung biaya atas penambahan jam kerja. Berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi No. Kep. 102/MEN/VI/2004, perhitungan upah kerja lembur pada hari kerja adalah sebagai berikut untuk jam lembur pertama, harus dibayar 1,5 kali upah sejam dan untuk setiap jam kerja lembur berikutnya, harus dibayar sebesar 2 kali upah sejam. Seperti contoh perhitungan penambahan jam kerja pada pekerjaan pembesian upah tenaga kerja harian adalah 8.581,94 kg x Rp 1.940,30 = Rp 16.651.539,50, sehingga upah tenaga kerja per jam adalah 953,55 kg x Rp 1.940,30 = Rp 1.850.171,06. Dan upah lembur (3 jam) adalah 1,5 x Rp 1.850.171,06 + 2 x (3-1) x Rp 1.850.171,06 = Rp 10.175.940,81. Hasil perhitungan upah terhadap penambahan jam kerja dapat dilihat pada Tabel 7.

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Tabel 7. *Upah Penambahan Jam Kerja (Lembur)*

No	Pekerjaan	Harga Satuan Upah Pekerjaan (Rp)	Upah Tenaga Kerja Harian (Rp)	Upah Tenaga Kerja per Jam (Rp)	Upah Lembur - 3 Jam (Rp)
1	Pengeboran pondasi	50.754,46	433.335,43	48.148,38	264.816,09
2	Pembesian	1.940,30	16.651.539,50	1.850.171,06	10.175.940,81
				Total (Rp)	10.440.756,90

Setelah mengetahui penambahan upah akibat lembur, crash cost dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$\text{Crash Cost (Cc)} = \text{Cross Duration (Cd)} \times \text{Upah Lembur} \quad \ldots (7)$$

Seperti contoh pekerjaan pembesian, perhitungan Crash Cost (Cc) = 87 hari x Rp 10.175.940,81= Rp 885.306.850,33, analisis crash cost (Cc) pekerjaan (biaya langsung) seperti pada Tabel 8 berikut ini:

Tabel 8. *Crash Cost (Cc) Biaya Langsung (Kondisi A)*

No	Pekerjaan	Upah Tenaga Kerja Harian (Rp)	Upah Lembur - 3 Jam (Rp)	Cd (Hr)	Cc Pekerjaan
1	Pengeboran pondasi	433.335,43	264.816,09	107	28.335.322,12
2	Pembesian	16.651.539,50	10.175.940,81	87	885.306.850,33
				Total (Rp)	913.642.172,45

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan diperoleh nilai *Crash* Cost atas biaya langsung dengan total Rp 913.642.172,45 (A). Analisis *crash cost* juga diperhitungkan terhadap biaya tidak langsung dengan memperhitungkan biaya tidak langsung harian terhadap *crash duration* (Cd), sebagai berikut *Crash Cost* biaya tidak langsung 107 hari x Rp 26.732.784,47 = Rp 2.860.407.938,16 (B)

Dari hasil hitungan *crash cost* (Cc) pada biaya langsung (A) dan biaya tidak langsung (B) diperoleh total *crash cost* sebesar biaya langsung (normal) adalah Rp 34.290.906.521,38, *Crash Cost (Cc)* biaya langsung adalah Rp 913.642.172,45 dan *Crash Cost* biaya tidak langsung adalah Rp 2.860.407.938,16 dan Total *Crash Cost* (Cc) adalah Rp 8.064.956.631,98.

Pada kondisi A ini, dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja selama tiga jam, *Cost Slope* yang didapatkan sebesar Rp 9.812.902,43 dengan rincian sebagai berikut:

Cost slope =

$$\frac{Rp\ 38.064.956.631{,}98 - Rp\ 37.819.634.071{,}25}{132 - 107}$$

Sehingga dihasilkan Rp 9.812.902,43

Kondisi B,Tanpa Lembur dan 3 Set Alat

Analisis percepatan skenario kedua adalah dengan menambah alat berat. Pada kondisi normal, alat berat yang direncanakan berjumlah dua set alat berat yang masing – masing terdiri dari satu unit mesin bor, satu unit *backhoe*, dan satu unit *crane service*. Skenario yang kedua ini, percepatan dilakukan dengan menambahkan 1 set alat pengeboran. Pada Kondisi B ini, perhitungan *cycle time* dilakukan dengan menambah satu set alat pengeboran borepile. Kapasitas produksi alat untuk pekerjaan pengeboran pondasi *bore pile* sebesar 5,44 titik/hari. Untuk menyelesaikan pengeboran sebanyak 413 titik, diperlukan waktu 76 hari/alat. Berdasarkan analisis pengeboran sebelumnya, pada kondisi normal, pengeboran *soldier pile* dan bentonite pile dengan satu set alat pengeboran diselesaikan dengan durasi 111 hari. Durasi yang diperlukan ini melebihi durasi pengeboran bore pile yang dilakukan dengan dua set alat. Dengan adanya kondisi ini, set alat kedua pada pekerjaan bore pile dapat digunakan juga untuk membantu pekerjaan *soldier pile* dan *bentonite pile* dengan menggunakan asumsi kapasitas produksi yang paling kecil antara soldier pile dan bentonite pile yaitu poduktivitas pengeboran *soldier pile* sebesar 5,80 titik/alat/hari. Pekerjaan bentonite pile dianggap selesai lebih dahulu, durasi pengerjaan *soldier pile* dengan satu set alat menjadi 76 hari – 49 hari = 27 hari. Jumlah titik pengeboran setelah 27 hari adalah 5,80 titik/hari/alat x 27 hari = 157 titik. Sisa titik pengeboran adalah 357 – 157 = 200 titik dengan durasi pengeboran adalah 200 titik : (2 x 5,80 titik/hari/alat) didapatkan 18 hari. Total waktu pengeboran *soldier pile* dan *bentonite* pile adalah 76 hari + 18 hari = 94 hari

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Berdasarkan hasil analisis di atas dilihat bahwa analis percepatan dengan penambahan jam kerja diperoleh *crash duration* (Cd) untuk pekerjaan pengeboran pondasi sebesar 94 hari dan untuk pekerjaan pembesian sebesar 126 hari. Hasil *crash duration* di atas dapat diaplikasikan pada kurva S sehingga didapatkan durasi percepatan secara global. Namun pada penelitian ini, pekerjaan yang ditinjau hanya pekerjaan pondasi bore pile saja sehingga dari kedua pekerjaan tersebut diambil *crash duration* yang terbesar sebagai penentu yaitu pada pekerjaan pengeboran pondasi dengan crash duration sebesar 126 hari. Untuk menghitung *crash cost* (Cc) pada kondisi B ini, diperlukan data sewa alat pengeboran. Satu set alat pengeboran terdiri dari mesin bor, *backhoe*, dan *service crane*. Berdasarkan data yang didapatkan dari kontraktor pelaksana, adanya penambahan alat memerlukan biaya tambahan sebesar harga sewa alat: Rp 15.700.000,00/hari per satu set peralatan termasuk operator dan BBM, mobilisasi dan demobilisasi alat Rp 100.000.000,00/set peralatan.

Dengan data tersebut, *crash cost* (Cc) dapat dihitung sebagai berikut Sewa alat adalah 126 hari x Rp 15.700.000,00 didapatkan Rp 1.978.200.000,00, mobilisasi dan demobilisasi didapatkan Rp 100.000.000,00, sehingga total biaya adalah Rp 2.078.200.000,00

Analisis *crash cost* juga diperhitungkan terhadap biaya tidak langsung dengan memperhitungkan biaya tidak langsung harian terhadap *crash duration* (Cd), sebagai berikut *Crash Cost* biaya tidak langsung adalah 126 hari x Rp 26.732.784,47 didapatkan Rp 3.368.330.843,07 (B)

Dari hasil hitungan *crash cost* (Cc) pada biaya langsung (A) dan biaya tidak langsung (B) diperoleh total *crash cost* sebesar Biaya Langsung (Normal) adalah Rp 34.290.906.521,38, *Crash Cost (Cc)* biaya langsung adalah Rp 2.078.200.000,00, *Crash Cost* biaya tidak langsung adalah Rp 3.368.330.843,07 sehingga total *Crash Cost* (Cc) adalah Rp 39.737.437.364,55

Pada kondisi B ini, dengan alternatif percepatan penambahan peralatan kerja, *Cost Slope* dapat dihitung dan didapatkan nilai sebesar Rp 319.633.882,20.

Kondisi C,Lembur dan 3 Set Alat

Pada skenario ketiga, simulasi yang dilakukan adalah dengan menambah jam kerja dan menambah set alat pengeboran. Berdasarkan analisis sebelumnya pada alternatif percepatan dengan kondisi A, dimana ada penambahan jam kerja, dapat diketahui bahwa *crash duration* (Cd) pekerjaan pembesian sebesar:

$$\textit{Crash durarion}\ (\text{Cd}) = \frac{918.267{,}65\ kg}{10.584{,}39\ kg/hari} = 87 \text{ hari.}$$

Berdasarkan hasil analisis dapat dilihat bahwa dari analis percepatan dengan penambahan jam kerja dan penambahan satu set alat pengeboran diperoleh *crash duration* (Cd) untuk pekerjaan pengeboran pondasi sebesar 73 hari dan untuk pekerjaan pembesian sebesar 87 hari. Dari kedua pekerjaan tersebut diambil *crash duration* yang terbesar sebagai penentu yaitu pada pekerjaan pengeboran pondasi dengan *crash duration* sebesar 87 hari. Untuk menghitung *crash cost* (Cc) pada kondisi ini, diperlukan data sewa alat pengeboran dan penambahan upah lembur. Satu set alat pengeboran terdiri dari mesin bor, *backhoe*, dan *service crane*. Berdasarkan data yang didapatkan sebelumnya (Kondisi A dan Kondisi B), *crash cost* atas biaya langsung yang terjadi sebesar Rp 38.990.904.620,72

Pada kondisi C ini, dengan alternatif percepatan penambahan peralatan kerja, *Cost Slope* dapat dihitung dan didapatkan nilai sebesar Rp 26.028.234,43.

Time Cost Trade Off

Analisis percepatan dengan berbagai skenario kondisi diatas menghasilkan efisiensi waktu dan biaya serta grafik biaya dan waktu. Setelah dilakukan percepatan, berdasarkan perhitungan analisis percepatan atas Kondisi A dengan penambahan jam kerja selama 3 jam sebelumnya, dapat dihitung persentase efisiensi waktu dan biaya proyek yaitu efisiensi waktu (Kondisi A) adalah (132-107)/132 = 18,94% dan efisiensi biaya (Kondisi A) adalah (Rp 37.819.634.071,25-Rp 38.064.956.631,98)/(Rp 37.819.634.071,25) = -0,65%. Hasil rekapitulasi analisa percepatan yang telah dilakukan sebelumnya dengan 3 kondisi A,B, dan C serta efisiensi biaya dan waktu yang dihasilkan disajikan pada Tabel 9. Grafik biaya dan waktu atas skenario alternatif percepatan dapat dilihat pada Gambar 5. Pada grafik tersebut itu terlihat titik A yang menunjukkan kondisi normal, sementara titik B menunjukkan kondisi setelah percepatan. Garis yang menghubungkan titik A dan titik B merupakan kurva waktu – biaya. Semakin landai garis yang terbentuk, menggambarkan bahwa alternatif percepatan tersebut semakin optimal.

Percepatan yang ditinjau dalam kondisi A adalah analisis percepatan dengan penambahan jam kerja tanpa adanya penambahan alat. Berdasarkan data analisis yang tercantum pada Tabel 9, dapat dilihat bahwa dari percepatan kondisi A tersebut diperoleh durasi pelaksanaan menjadi 107 hari kerja atau efisiensi waktu proyek sebanyak 25 hari dengan total biaya proyek sebesar Rp 38.064.956.631,98.

Percepatan yang ditinjau dalam kondisi B adalah analisis percepatan dengan penambahan alat tanpa adanya penambahan jam kerja. Pada Tabel 9, dapat dilihat bahwa dari percepatan kondisi B tersebut diperoleh durasi pelaksanaan menjadi 126 hari kerja atau efisiensi waktu proyek sebanyak 6 hari dengan total biaya proyek sebesar Rp 39.737.437.364,44.

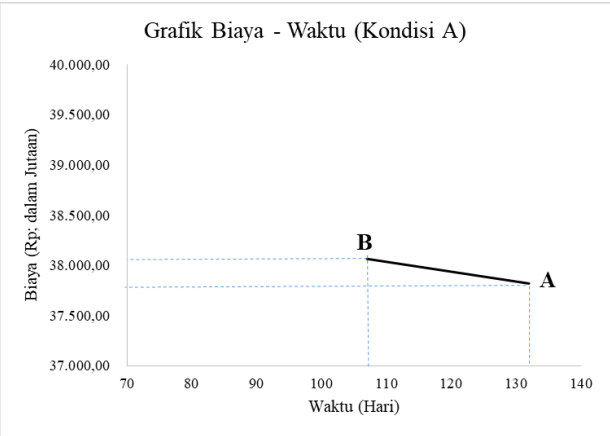
Percepatan yang ditinjau dalam kondisi C adalah analisis percepatan dengan penambahan jam kerja dan penambahan alat. dapat dilihat bahwa dari percepatan kondisi C tersebut diperoleh durasi pelaksanaan menjadi 87 hari kerja atau efisiensi waktu proyek sebanyak 45 hari dengan total biaya proyek sebesar Rp 38.990.904.620,72. Seperti pada Tabel 9.

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

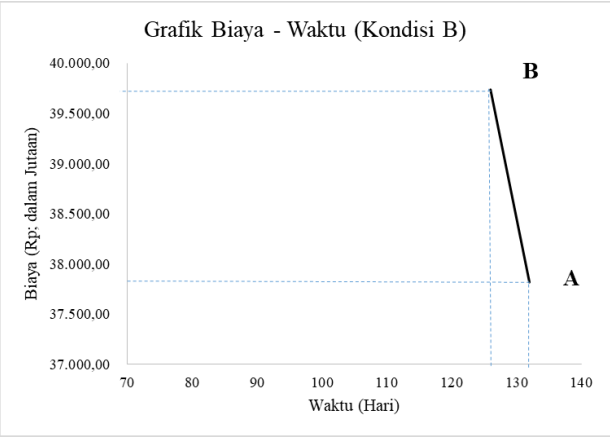
Tabel 9. *Rekapitulasi Hasil Analisis Percepatan Kondisi Normal, A, B dan C*

No.	Skenario	Durasi	Biaya			Cost Slope	Time Eficiency	Cost Eficiency
			Biaya Langsung	Biaya Tidak Langsung	Total			
		(Hari)	(Rp; Jutaan)	(Rp; Jutaan)	(Rp; Jutaan)	(Rp; Jutaan)		
1	Kondisi Normal	132,00	34.290,91	3.528,73	37.819,63			
2	Kondisi A	107,00	35.204,55	2.860,41	38.064,96	9,81	18,94%	-0,65%
3	Kondisi B	126,00	36.369,11	3.368,33	39.737,44	319,63	4,55%	-5,07%
4	Kondisi C	87,00	36.665,15	2.325,75	38.990,90	26,03	34,09%	-3,10%

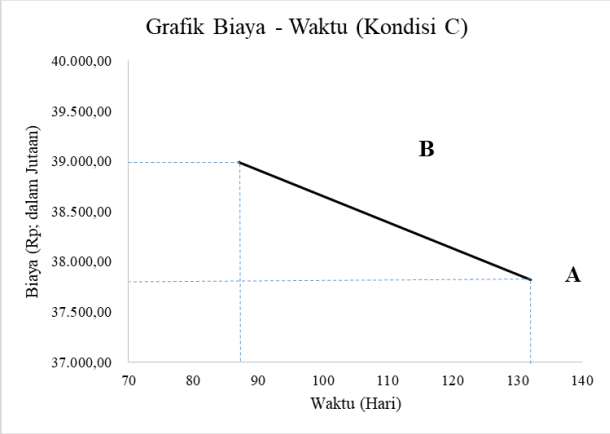
Analisis *Time Cost Trade Off* dapat membuat gambaran mengenai durasi dan biaya setelah mengalami percepatan. Husin, A. E., & Danumurti, A. (2023), Waktu optimum adalah kurun waktu penyelesaian proyek dengan biaya terendah sehingga digambarkan sebagai titik terendah dari total *cost* yang merupakan gabungan dari biaya langsung dan biaya tidak langsung seperti yang disajikan pada gambar grafik biaya – waktu dengan berbagai kondisi berikut ini:



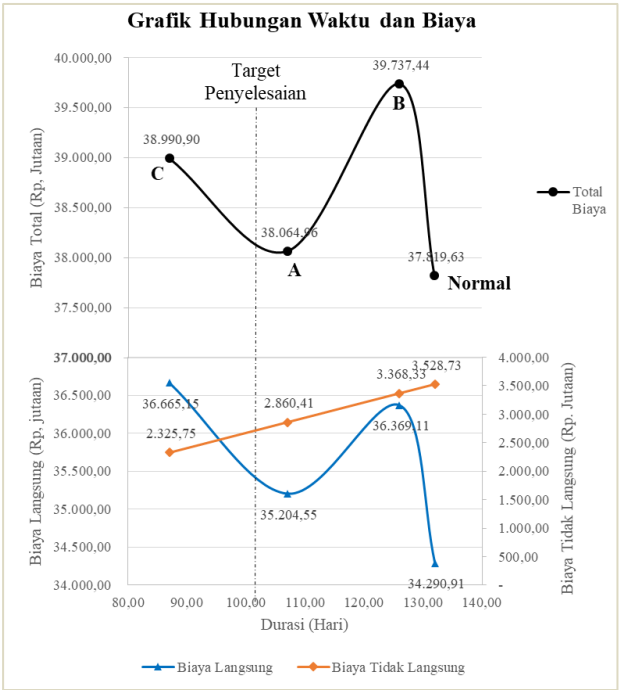
Gambar 5. *Grafik Biaya – Waktu pada Kondisi A*



Gambar 6. *Grafik Biaya – Waktu pada Kondisi B*



Gambar 7. *Grafik Biaya – Waktu pada Kondisi C*



Gambar 8. *Grafik Hubungan Biaya Langsung, Tidak Langsung dan Total Biaya terhadap Durasi Percepatan*

ISSN PRINT : 2338-6762
ISSN ONLINE : 2477-6955

Dari grafik yang ditunjukkan pada Gambar 8, percepatan dengan kondisi A atau penambahan jam kerja merupakan analisis percepatan yang paling optimal. Namun jika dilihat dari batas waktu atau target yang harus dicapai yaitu 104 hari, percepatan dengn Kondisi C yang paling memenuhi yaitu menghasilkan durasi pekerjaan selama 87 hari dari durasi 104 hari. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan informasi yang konkrit dan dapat diimplementasikan dalam pelaksanaan proyek dan perlu menambahkan hal-hal yang lebih detail yang mempengaruhi proses keterlambatan, seperti kondisi tanah yang berbatu sehingga mudah rusaknya mata bor dan menambahkan variasi keterlambatan dengan sistem pondasi lainnya.

3. Kesimpulan

Hasil analisis yang telah dilakukan, didapatkan kesimpulan sebagai berikut Analisis percepatan kondisi A, dengan melakukan penambahan jam kerja, menghasilkan durasi pelaksanaan 107 hari. Untuk analisis percepatankondisi B atau dengan menambah jumlah alat kerja, diperoleh durasi pelaksanaan pekerjaan 126 hari. Pada kondisi C, analisis percepatan dengan penambahan jam kerja dan penambahan alat kerja, menghasilkan durasi 87 hari. Analisis percepatan kondisi A, memerlukan biaya dengan total Rp 38.064.956.631,98. Untuk analisis percepatan kondisi B diperoleh biaya pelaksanaan pekerjaan Rp 39.737.437.364,44. Pada kondisi C, biaya pelaksanaan pekerjaan Rp 38.990.904.620,72. Berdasarkan target penyelesaian dengan durasi yang tersedia 104 hari, analisis percepatan yang paling sesuai adalah dengan penambahan jam kerja dan penambahan peralatan kerja dengan satu set peralatan pengeboran dengan durasi pelaksanaan 87 hari atau efisiensi waktu pelaksanaan dari jadwal awal sebesar 45 hari dengan total biaya sebesar Rp 38.990.904.620,72.

Daftar Pustaka

Budianto, E.A. dan Husin, A. E., 2021. Analisis Optimasi Waktu dan Biaya Dengan Metode *Time Cost Trade Off* pada Proyek Gudang Amunisi. Jurnal Aplikasi Teknik Sipil Vol. 19 No.3 hal. 305-310.

Fauzananda, F. A. (2025). Optimasi Biaya dan Waktu dengan Meode Time Cost Trade Offpada Proyek Rumah Sakit Kanker Dharmais (Doctoral dissertation, Universitas Islam Indonesia).

Girsang, H. dan Wahyudi, M. A., 2021. *Analysis of The Acceleration of Time and Cost of Construction Projects by Adding Labor and Working Hours (Overtime) using The Time Cost Trade Off Method. Journal of World Conference* Vol. 3 No. 2, hal. 274-287.

Husin, A. E., & Budianto, E. A. (2022). Influential factors in the application of the Lean Six Sigma and time-cost trade-off method in the construction of the ammunition warehouse. SINERGI, 26(1), 81-90.

Husin, A. E., & Danumurti, A. (2023). Dynamic Modeling of Time Cost Trade Off in Design and Build Projects of High-Rise Office Buildings. ASTONJADRO, 12(3), 746-752.

Jaya, W. dan Sutandi, A., 2019. Analisis Produktivitas Alat Berat Mesin Bor Auger, Crawler, Crane, dan Excavator pada Proyek A dan B. Jurnal Mitra Teknik Sipil Vol. 2 No. 1, hal. 11-18.

Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia. Nomor Kep.102/MEN/VI/2004, 2004. Waktu Kerja Lembur dan Upah Kerja Lembur. Jakarta.

Kisworo, R. W., dkk., 2017. Analisis Percepatan Proyek Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* Dengan Penambahan Jam Kerja Lembur dan jumlah Alat. E-Jurnal MATRIKS Teknik Sipil hal. 766-776.

Natalia, M. dan Atmaja, J., 2021. Optimalisasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode *Time Cost Trade Off* Pada Proyek Konstruksi Jalan. Jurnal Ilmiah Poli Rekayasa Vol. 17 No. 1.

Nurhayati, 2010. Manajemen Proyek. Yogyakarta : Graha Ilmu.

Priyo, Mandiyo dan Paridi, M.R.A., 2018. Studi Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode *Time Cost Trade Off* pada Proyek Konstruksi Pembangunan Gedung Olah Raga (GOR). Semesta Teknika Vol. 21 No. 1, Hal. 72-84. Yogyakarta: Semesta Teknika.

Santosa, B., 2013. Manajemen Proyek: Konsep & Implementasi. Yogyakarta: Graha Ilmu.

Setiawan, L., & Tamtana, J. S. (2020). Analisis Percepatan Durasi Pekerjaan Basement Semi Top Down Dengan Metode Time Cost Trade Off. JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil, 3(1).

Soeharto, I., 1995. Manajemen Proyek dari Konseptual sampai Operasional, Penerbit Erlangga, Jakarta.

Vebiola N. E., dan Waskito, J. P. H., 2020. Analisis Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode *Time Cost Trade Off*. Jurnal Rekayasa dan Manajemen Konstruksi Vol. 8 No. 2 hal. 113-120.