

Analisis Percepatan Proyek Pembangunan Jalan Beton Tahap II Di Perumahan Citra Sari Regency Dengan Metode Time Cost Trade Off (TCTO)

Acceleration Analysis Of Phase II Concrete Road Construction Project In Citra Sari Regency Housing With Time Cost Trade Off (TCTO) Method

Maulana Iqbal Ramadhani¹, Avisha Gita Prafitasiwi²

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Gresik, Gresik – Indonesia
**Email: iqbaalramadhani80@gmail.com*

Artikel histori:

Submitted 22 April 2025
Revised 30 Mei 2025
Accepted 15 Juni 2025

ABSTRAK: Proyek konstruksi merupakan rangkaian aktivitas yang berkaitan dengan pembangunan bangunan atau infrastruktur, yang mencakup pekerjaan utama di bidang teknik sipil dan arsitektur serta melibatkan berbagai aspek seperti tenaga kerja, material bangunan, peralatan, prosedur pelaksanaan, pendanaan, informasi, dan waktu pelaksanaan. Dalam praktiknya, tidak semua proyek dapat berjalan sesuai rencana awal. Berbagai faktor dapat menyebabkan keterlambatan, antara lain keterbatasan keterampilan pekerja, kurangnya pemahaman terhadap instruksi kerja, serta adanya perubahan atau variasi perintah kerja. Pada proyek pembangunan jalan cor di Perumahan Citra Sari Regency, hambatan terutama terjadi pada pekerjaan beton dan sistem drainase. Atas permintaan pemilik proyek, durasi Pembangunan Jalan Beton Tahap II yang semula direncanakan 150 hari dipercepat menjadi 120 hari, sehingga diperlukan analisis untuk mengoptimalkan durasi dan biaya. Penelitian ini bertujuan menentukan alternatif percepatan yang paling efisien dengan menerapkan metode Time Cost Trade Off (TCTO). Data yang digunakan mencakup durasi dan biaya normal, aktivitas pada jalur kritis, serta produktivitas kerja. Analisis dilakukan melalui dua skenario, yaitu (1) penambahan jam lembur dan (2) penambahan jumlah tenaga kerja, dengan bantuan Microsoft Project untuk mengidentifikasi lintasan kritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan jam lembur lebih efisien, dengan durasi 117–118 hari dan biaya sebesar Rp 591.972.447, dibandingkan penambahan tenaga kerja yang memerlukan biaya lebih tinggi. Selain itu, metode jam lembur mampu mempertahankan efektivitas kerja karena memanfaatkan tim yang telah memiliki koordinasi baik. Temuan ini dapat menjadi acuan bagi kontraktor dalam memilih strategi percepatan yang efisien tanpa mengorbankan produktivitas.

Kata kunci: Percepatan; TCTO; Time Cost Trade Off; Konstruksi; Jalan

ABSTRACT: A construction project is a series of activities related to the construction of buildings or infrastructure, which includes major work in the fields of civil engineering and architecture and involves various aspects such as labor, building materials, equipment, implementation procedures, funding, information, and implementation time. In practice, not all projects can run according to the initial plan. Various factors can cause delays, including limited worker skills, lack of understanding of work instructions, and changes or variations in work orders. In the concrete road construction project in Citra Sari Regency Housing, obstacles mainly occurred in the concrete work and drainage system. At the request of the project owner, the duration of the Concrete Road Construction Phase II, which was originally planned for 150 days, was accelerated to 120 days, so an analysis was needed to optimize the duration and costs. This study aims to determine the most efficient acceleration alternative

by applying the Time Cost Trade Off (TCTO) method. The data used includes normal duration and costs, activities on the critical path, and work productivity. The analysis was carried out through two scenarios, namely (1) adding overtime hours and (2) increasing the number of workers, with the help of Microsoft Project to identify the critical path. The study results showed that adding overtime hours was more efficient, with a duration of 117–118 days and a cost of Rp 591,972,447, compared to adding more labor, which would have been more expensive. Furthermore, the overtime method maintained work effectiveness by utilizing a well-coordinated team. These findings can serve as a reference for contractors in selecting efficient acceleration strategies without sacrificing productivity.

Keywords: Acceleration; TCTO; Time Cost Trade Off; Construction; Roads

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi melibatkan serangkaian aktivitas yang terkait dengan pembuatan bangunan atau infrastruktur. Proses penggambaran struktur bangunan menjadi salah satu dasar dari pelaksanaan proses konstruksi dimana pada penggambaran struktur bangunan akan menjadi patokan dalam konstruksi sebuah bangunan. (Dwi Sutrisno et al., 2024). Hal ini melibatkan pekerjaan utama dalam industri teknik sipil dan arsitektur, dan melibatkan berbagai faktor seperti tenaga kerja, material bangunan, peralatan, prosedur pelaksanaan, keuangan, informasi, dan jangka waktu. Salah satu aspek penting dalam pekerjaan jalan adalah perkerasan, yang harus dirancang ekonomis sekaligus tahan lama. (Ayunaning et al., 2022). Proyek konstruksi merupakan sistem kerja yang sangat sistematis karena alur yang terdapat pada proyek konstruksi akan sangat tergantung dengan alur yang lainnya. Walaupun dengan melakukan percepatan proyek dapat memengaruhi biaya konstruksi, namun produk yang ada di akhir proyek dapat sesuai dengan perencanaan awal dari seluruh anggota stakeholder yang ikut andil (Gita Prafitasiwi, 2024). Dalam bidang konstruksi, penting untuk menyadari bahwa tidak hanya melibatkan pekerjaan fisik, tetapi juga melibatkan manajemen yang baik untuk memastikan efektivitas dan efisiensi dari awal hingga akhir proyek. Waktu atau jadwal merupakan kriteria yang dapat menentukan keberhasilan suatu proyek. (PRAFITASIWI et al., 2024). Dalam praktiknya, berbagai kendala dapat mengakibatkan proyek tidak berjalan sesuai rencana, seperti keterlambatan pengiriman material, keterbatasan keterampilan pekerja, penggunaan material yang tidak sesuai spesifikasi, serta perubahan perintah kerja (Praganingrum et al., 2023). Kondisi ini dapat memicu perlunya percepatan penyelesaian proyek dengan tetap mempertimbangkan biaya yang telah direncanakan. Dalam beberapa kasus, kontraktor memperoleh bonus jika menyelesaikan pekerjaan lebih cepat atau tepat waktu, namun juga dapat dikenakan denda apabila terjadi keterlambatan, sesuai perjanjian yang berlaku (Budianto, 2021). Salah satu metode yang dapat digunakan untuk

mencapai percepatan yang efisien adalah *Time Cost Trade Off* (TCTO). Metode ini mengoptimalkan penggunaan sumber daya proyek, baik waktu maupun biaya, untuk mencapai target dengan efisien dan meminimalkan dampak keterlambatan atau kenaikan biaya (Li et al., 2018). Efektivitas percepatan dipengaruhi oleh kesesuaian target waktu dengan kebutuhan proyek, kondisi alam dan lokasi, ketersediaan sumber daya fisik dan peralatan, serta faktor eksternal seperti cuaca, hari libur, dan jadwal proyek berikutnya.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kasus Pembangunan Jalan Beton Tahap II di Perumahan Citra Sari Regency yang semula dijadwalkan 150 hari, kemudian dipercepat menjadi 120 hari atas permintaan pemilik proyek, dengan hambatan utama pada pekerjaan beton dan drainase. Beberapa opsi percepatan yang dipertimbangkan adalah penambahan jam lembur, penambahan jumlah tenaga kerja, dan penggunaan alat berat. Beberapa penelitian sebelumnya lebih banyak membahas penerapan metode TCTO pada proyek konstruksi, tetapi belum banyak yang melakukan perbandingan langsung antaralternatif percepatan untuk mengetahui strategi yang paling efisien, khususnya pada proyek jalan lingkungan berskala perumahan. Oleh karena itu, penelitian ini difokuskan pada analisis perbandingan alternatif percepatan menggunakan metode TCTO untuk menentukan strategi paling efisien dari segi durasi, biaya, dan produktivitas.

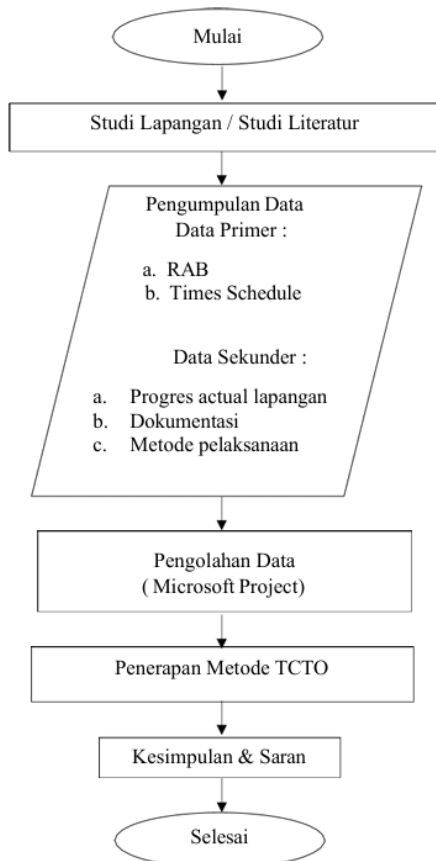
2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) untuk menganalisis percepatan waktu dan perubahan biaya pada pekerjaan konstruksi jalan beton. Proyek yang menjadi objek kajian adalah pembangunan jalan lingkungan perumahan dengan perkerasan beton kaku (*rigid pavement*) sepanjang ±350 meter, lebar perkerasan 6 meter, dan tebal slab beton 15 cm. Berdasarkan klasifikasi jalan menurut SNI, ruas ini termasuk kategori jalan lingkungan dengan perkerasan kaku yang difungsikan sebagai akses utama menuju kawasan perumahan.

Berikut merupakan paparan data umum proyek ini yaitu :

Nama Proyek	:	Pekerjaan Pembangunan Jalan Beton Tahap II di Perumahan Citra Sari Regency.
Biaya Proyek	:	-
Lokasi Proyek	:	Jl. Citra Sari Regency, Banjar Sari, Banjarsari, Kec. Cerme, Kabupaten Gresik, Jawa Timur
Pemilik Proyek	:	K-Renov (Cabang Usaha K3PG)
Konsultan Pengawas Proyek	:	-
Kontraktor Pelaksana Proyek	:	CV. Bangun Harapan Gemilang
Tanggal Mulai Proyek	:	09 Februari 2024

Tahapan penelitian dalam analisis percepatan proyek ini disusun secara sistematis dan ditunjukkan pada diagram alir penelitian berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Analisis percepatan proyek dilakukan melalui beberapa tahap, sebagaimana ditunjukkan pada diagram alir berikut:

1. Studi Lapangan dan Studi Literatur — Mengidentifikasi kondisi proyek serta mengkaji referensi teoritis terkait manajemen waktu dan biaya.
2. Pengumpulan Data
 - Data Primer: Rencana Anggaran Biaya (RAB) dan jadwal pelaksanaan proyek (time schedule).
 - Data Sekunder: progres aktual di lapangan, dokumentasi visual, dan metode pelaksanaan dari kontraktor.
3. Pengolahan Data — Penyusunan jaringan kerja menggunakan Microsoft Project dengan metode *Critical Path Method* (CPM) untuk menentukan lintasan kritis.
4. Penerapan Metode TCTO — Meliputi identifikasi aktivitas pada lintasan kritis, perhitungan *cost slope*, serta simulasi alternatif percepatan (penambahan jam lembur dan tenaga kerja) untuk menilai kombinasi paling efisien antara waktu dan biaya.
5. Validasi dan Kesimpulan — Validasi dilakukan melalui pengecekan silang dengan data kontraktor dan progres lapangan, kemudian hasil dianalisis dan menyimpulkan serta memberikan rekomendasi strategi percepatan yang optimal.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Pengumpulan Data

Informasi yang diperlukan untuk melaksanakan Analisis TIME COST TRADE OFF (TCTO) meliputi :

3.1.1. Data Primer

Data primer adalah informasi yang dikumpulkan langsung dari individu atau pihak yang terlibat dalam proyek tersebut, dan data ini mencakup :

1. Rencana Anggaran Biaya Proyek bertujuan untuk menetapkan biaya standar yang digunakan sebagai referensi dalam menghitung biaya percepatan.
2. Jadwal Waktu, digunakan untuk menetapkan waktu standar proyek sebagai referensi durasi proyek yang normal.

3.1.2. Data Sekunder

Data Sekunder informasi yang diperoleh melalui metode memperhatikan langsung di area tertentu dan melalui menyelenggarakan wawancara dengan beberapa pihak terkait, seperti tim proyek Pimpinan dan insinyur proyek di lokasi. Meliputi :

- a. Progress aktual
- b. Dokumentasi
- c. Metode pelaksanaan

Secara keseluruhan, data primer dan sekunder tersebut berfungsi sebagai dasar dalam analisis TCTO, baik untuk menentukan biaya normal maupun biaya percepatan, serta untuk

mengidentifikasi durasi proyek dan lintasan kritis yang digunakan dalam analisis percepatan.

3.2. Menentukan Normal Durasi

Diketahui bahwa durasi normal proyek Pembangunan jalan beton tahap II di perumahan citra sari regency adalah 150 hari kalender. Durasi tersebut merupakan baseline awal sebelum dilakukan upaya percepatan. Dengan mempertimbangkan kompleksitas pekerjaan, durasi normal berpotensi menimbulkan risiko keterlambatan jika terjadi deviasi di lapangan. Oleh karena itu, analisis percepatan diperlukan untuk meminimalkan risiko tambahan waktu dan biaya.

3.3. Menentukan Normal Cost

Biaya yang dinyatakan ini diperoleh dari kontraktor yang melaksanakan pembangunan proyek tersebut. Detail biaya normal dapat dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Nilai Harga Pembangunan

No	Pekerjaan	Harga
1	Pekerjaan Persiapan	Rp. 10.455.000,00
2	Pekerjaan Galian dan Timbunan	Rp. 62.120.000,00
3	Pekerjaan Beton	Rp. 286.697.000,00
4	Pekerjaan Saluran	Rp. 73.470.000,00
5	Pekerjaan Lain-Lain	Rp. 82.345.500,00
	Overhead 10%	Rp. 51.508.754,00
	Total	Rp. 566.596.294,00

Perhitungan biaya normal menunjukkan bahwa total biaya proyek adalah Rp. 566.596.294. Dari tabel terlihat bahwa komponen biaya terbesar berasal dari pekerjaan beton sebesar Rp. 286.697.000, atau sekitar 50% dari total biaya proyek. Hal ini mengindikasikan bahwa pekerjaan beton merupakan pekerjaan dominan dalam proyek dan menjadi fokus utama dalam analisis percepatan, karena perubahan biaya maupun durasi pada pekerjaan tersebut akan memberikan pengaruh signifikan terhadap total proyek.

3.4. Menentukan Aktivitas Kritis

Setelah hubungan antaraktivitas dianalisis, tahap berikutnya adalah menentukan pekerjaan yang termasuk dalam kategori jalur kritis. Evaluasi dilakukan dengan bantuan aplikasi Microsoft Project, yang memudahkan identifikasi aktivitas kritis meskipun jumlah aktivitas proyek cukup banyak. Hasil penjadwalan menunjukkan aktivitas yang berada pada jalur kritis sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Kegiatan Pekerjaan Lintasan Kritis

Item Pekerjaan	Durasi
----------------	--------

Pekerjaan Persiapan	
Pembersihan Lokasi	13 Hari
Pekerjaan Beton	
Pekerjaan Beton Jalan dan Beton Porous T = 15 cm	55 Hari
Pekerjaan Beton Uditch 30 x 40 cm	19 Hari
Pekerjaan Saluran	
Pemasangan Uditch 30 x 40	24 Hari
Pemasangan Pipa 4'	18 Hari
Pekerjaan Lain-Lain	
Stamp concrete	32 Hari

Berdasarkan Tabel 2, aktivitas pada lintasan kritis diprioritaskan untuk dilakukan percepatan. Pemilihan ini bertujuan agar upaya percepatan tidak mengganggu alur aktivitas yang telah direncanakan. Selain itu, keterlambatan pada aktivitas kritis akan secara langsung memengaruhi jalur kritis dan total durasi proyek, sehingga percepatan pada aktivitas tersebut memberikan dampak paling signifikan terhadap penyelesaian proyek.

3.5. Analisa Time Cost Trade Off

Berdasarkan data produktivitas, biaya, dan durasi proyek yang telah dihimpun, dilakukan analisis percepatan menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Project. Analisis ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan antara waktu dan biaya proyek, serta menentukan alternatif percepatan yang paling efisien dari segi biaya maupun durasi.

3.5.1. Perhitungan Produktivitas Harian Normal

Sebelum dilakukan analisis *time cost trade off*, terlebih dahulu dihitung produktivitas harian masing-masing aktivitas pada jalur kritis. Produktivitas diperoleh dengan membandingkan volume pekerjaan terhadap koefisien tenaga kerja, sebagaimana dirumuskan berikut:

$$\text{Produktivitas Normal} = \frac{1}{\text{Koefisien}}$$

Contoh perhitungan dari produktivitas harian normal Pekerjaan Pembersihan Lahan :

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Normal} &= \frac{1}{\text{Koefisien}} \\ &= \frac{1}{0,05} \\ &= 20,00 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Sebagai ilustrasi, pada pekerjaan pembersihan lahan dengan koefisien 0,05 diperoleh produktivitas sebesar 20 m²/hari. Hasil perhitungan lengkap produktivitas setiap aktivitas ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Produktivitas Pekerjaan

No	Uraian pekerjaan	Volume	Satuan	Koefisien	Produktivitas
A PEKERJAAN PERSIAPAN					
1	Pembersihan Lahan/Lokasi.	2,091.00	m ²	0.05	20.00
B PEKERJAAN GALIAN & TIMBUNAN					
1	Galian Tanah	400.00	m ³	0.067	14.93
2	Timbunan Tanah + Perataan Dozer	476.00	m ³	0.1707	5.86
C PEKERJAAN JALAN					
1	Pekerjaan Beton Jalan & Beton Porous T = 15 cm	313.65	m ³	2.1	0.48
2	Pekerjaan Beton Uditch 40 x cm x 60 cm	43.20	m ³	1.05	0.95
3	Pekerjaan Beton uditch 30 cm x 40 cm	54.05	m ³	1.05	0.95
D PEKERJAAN SALURAN					
1	Pemasangan Uditch 40 x 60	300	unit	0.304	3.33
2	Pemasangan Uditch 30 x 40	563	unit	0.304	3.33
3	Pemasangan Pipa 4'	270	unit	0.135	7.41
4	Bak Kontrol	45	unit	0.21	4.76
E PEKERJAAN LAIN - LAIN					
1	Stamp Concrete	2,091.00	m ²	0.061	16.39
2	Pekerjaan Pengecatan	295.5	m ²	0.063	15.87

Tabel 3 menunjukkan variasi produktivitas pada setiap kategori pekerjaan. Pekerjaan dengan produktivitas tinggi, seperti pembersihan lahan (20 m²/hari), stamp concrete (16,39 m²/hari), dan pengecatan (15,87 m²/hari), relatif cepat diselesaikan dan tidak menjadi hambatan utama. Sebaliknya, pekerjaan dengan produktivitas rendah, seperti beton jalan (0,48 m³/hari) dan timbunan tanah (5,86 m³/hari), berpotensi menjadi titik kritis (*bottleneck*) yang memperpanjang durasi proyek. Informasi ini penting sebagai dasar penentuan strategi percepatan, karena aktivitas dengan produktivitas rendah di jalur kritis akan lebih diprioritaskan untuk dioptimalkan.

3.5.2. Alternatif Percepatan

Sebelum menghitung durasi dan biaya percepatan, perlu disusun skenario *crashing* untuk aktivitas pada jalur kritis. Skenario ini difokuskan pada pemanfaatan sumber daya manusia dan peralatan secara optimal dengan tujuan memperoleh solusi percepatan yang paling efisien dari segi waktu dan biaya.

1. Alternatif 1: Penambahan Jam Kerja (Lembur)
Metode ini dilakukan dengan memperpanjang jam kerja harian dari 8 jam normal menjadi total 14 jam kerja, yaitu 8 jam kerja reguler ditambah 6 jam lembur. Dengan demikian, jam kerja berlangsung dari pukul 07.00 hingga 22.00. Produktivitas pekerja pada jam lembur diasumsikan sebesar 80% dari jam kerja normal. Alternatif ini relatif mudah diterapkan karena tidak memerlukan penambahan tenaga kerja baru, namun memerlukan penyesuaian operasional peralatan yang digunakan lebih lama. Meskipun dapat mempercepat penyelesaian proyek, metode ini berpotensi menimbulkan kelelahan dan menurunkan kualitas hasil kerja jika tidak diawasi secara ketat.

2. Alternatif 2: Penambahan Tenaga Kerja

Metode ini diterapkan pada pekerjaan dengan volume besar dan durasi panjang, seperti pekerjaan beton dan saluran. Strategi percepatan dilakukan dengan menambahkan satu kelompok pekerja, sehingga kapasitas produksi meningkat dan penyelesaian pekerjaan dapat dipercepat. Alternatif ini dinilai efektif untuk aktivitas dengan beban kerja tinggi, namun keberhasilannya sangat bergantung pada ketersediaan tenaga kerja terampil serta koordinasi di lapangan. Apabila tidak dikelola dengan baik, penambahan pekerja justru dapat menimbulkan penurunan efisiensi akibat terbatasnya ruang kerja atau kurangnya pengaturan sumber daya.

3.5.3. Perhitungan Produktivitas Setelah Percepatan

Dari berbagai alternatif percepatan, produktivitas harian setelah percepatan dihitung dengan menambahkan produktivitas normal dan tambahan produktivitas yang diperoleh melalui skenario *crashing*. Produktivitas setelah percepatan menggambarkan kemampuan penyelesaian pekerjaan per hari setelah penerapan strategi

efisiensi. Nilai produktivitas ini berbeda untuk setiap skenario percepatan, baik melalui penambahan jam kerja lembur maupun penambahan tenaga kerja, sehingga dapat digunakan sebagai dasar dalam membandingkan efektivitas masing-masing alternatif.

1. Penambahan Jam Lembur

$$\text{Produktivitas Setelah Percepatan} = \text{Produktivitas Harian Normal} + (\text{Produktivitas Per Jam Normal} \times \text{Efisiensi} \times \text{Penambahan Jam Lembur})$$
2. Percepatan dengan menambahkan tenaga kerja

$$\text{Produktivitas Setelah Percepatan} = \text{Produktivitas Harian Normal} + (\text{Produktivitas Per Orang} \times \text{Penambahan Tenaga Kerja})$$

Sebagai contoh, pada pekerjaan pembersihan lahan dengan produktivitas normal 20 m²/orang/hari dan jumlah tenaga kerja 8 orang, diperoleh produktivitas normal sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Total produktivitas normal} &= 20 \times 8 \text{ Orang} \\ &= 160 \text{ m}^2/\text{Hari} \end{aligned}$$

Alternatif 1 : Penambahan Jam Lembur (6 jam, efisiensi 80%)

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas setelah percepatan} &= 160 + ((160/8 \text{ jam kerja}) \times 80\% \times 6 \text{ jam kerja}) \\ &= 256 \text{ m}^2/\text{Hari} \end{aligned}$$

Alternatif 2 : Penambahan Tenaga Kerja (2 Orang Tambahan)

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas setelah percepatan} &= 160 + (20 \times 2) \\ &= 200 \text{ m}^2/\text{Hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa percepatan melalui penambahan jam lembur memberikan peningkatan produktivitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan penambahan tenaga kerja pada aktivitas yang sama. Temuan ini menjadi dasar dalam pemilihan alternatif percepatan yang paling efektif, terutama pada aktivitas jalur kritis.

3.5.4. Crash Duration

Setelah produktivitas ditingkatkan, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu aktivitas menjadi lebih singkat dibandingkan dengan kondisi normal. Perhitungan durasi percepatan (*crash duration*) dilakukan dengan membandingkan volume pekerjaan terhadap total produktivitas setelah percepatan. Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas Normal} + \text{Produktivitas Percepatan}}$$

Sebagai ilustrasi, pada pekerjaan pembersihan lahan dengan volume 2.091 m², diperoleh hasil sebagai berikut:

- Produktivitas normal = 20 x 8 Orang = 160 m² / Hari
- Produktivitas Percepatan (penambahan 2 tenaga kerja)
 $= 20 \times 2 \text{ Orang} = 40 \text{ m}^2/\text{Hari}$
- Crash Duration = $\frac{2091}{(160+40)} = 10.46 \approx 11 \text{ Hari}$

Dengan demikian, terjadi percepatan durasi sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Hasil Crash Duration} &= \text{Durasi Normal} - \text{Crash Duration} \\ &= 13 \text{ Hari} - 11 \text{ Hari} = 2 \text{ Hari} \end{aligned}$$

- Produktivitas Percepatan (penambahan jam lembur)
 $= \left(\frac{160}{8 \text{ jam}}\right) \times 80\% \times 6 \text{ jam}$
 $= 20 \times 0,8 \times 6 = 96 \text{ m}^2/\text{Hari}$
- Crash Duration = $\frac{2091}{(160+96)} = 8.17 \approx 9 \text{ Hari}$

Percepatan durasi sebesar:

$$\begin{aligned} \text{Hasil Crash Duration} &= \text{Durasi Normal} - \text{Crash Duration} \\ &= 13 \text{ Hari} - 9 \text{ Hari} = 4 \text{ Hari} \end{aligned}$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada aktivitas pembersihan lahan, penambahan tenaga kerja mampu mempercepat durasi dari 13 hari menjadi 11 hari, sehingga terjadi percepatan sebesar 2 hari. Sementara itu, penambahan jam lembur lebih efektif karena mampu memangkas durasi hingga menjadi 9 hari, atau lebih cepat 4 hari dibandingkan kondisi normal. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penambahan jam lembur memberikan dampak percepatan yang lebih signifikan dibandingkan dengan penambahan tenaga kerja pada aktivitas ini.

3.5.5. Crash Cost

Biaya crash (*Crash Cost*) merupakan total biaya tambahan yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu aktivitas dalam durasi yang lebih singkat setelah dilakukan percepatan. Pada penelitian ini, terdapat dua alternatif skenario percepatan yang digunakan, yaitu penambahan jam kerja lembur dan penambahan tenaga kerja. Rumus perhitungannya sebagai berikut:

1. Percepatan dengan menambah jam lembur
Crash Cost = Gaji Tenaga Kerja Per Jam × Banyak Tenaga Kerja × Jam Lembur × Durasi Crashing
2. Percepatan dengan menambah tenaga kerja
Crash Cost = Gaji Tenaga Kerja Per Jam × Banyak Tenaga Kerja × Durasi Crashing

Sebagai ilustrasi, berikut contoh perhitungan biaya crash pada pekerjaan pemasangan pipa 4”:

Alternatif 1 : Penambahan Jam Lembur

$$\text{Crash Cost} = \text{Rp. } 15.000 \times 2 \text{ Orang} \times 6 \text{ Jam} \times 6 \text{ Hari} \\ = \text{Rp } 1.080.000$$

Alternatif 2 : Penambahan Tenaga Kerja

$$\text{Crash Cost} = \text{Rp. } 120.000 \times 3 \text{ Orang} \times 10 \text{ Hari} \\ = \text{Rp. } 3.600.000$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pada pekerjaan pemasangan pipa 4”, penambahan jam lembur membutuhkan biaya tambahan sebesar Rp 1.080.000, sedangkan penambahan tenaga kerja membutuhkan Rp 3.600.000. Dengan demikian, dari sisi biaya, skenario lembur lebih ekonomis dibandingkan dengan penambahan tenaga kerja untuk aktivitas ini.

3.5.6. Cost Slope

Cost slope merupakan salah satu konsep penting dalam manajemen proyek yang digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan terkait percepatan aktivitas dan pengendalian biaya. Analisis cost slope memberikan gambaran mengenai besarnya tambahan biaya langsung yang diperlukan untuk mempercepat suatu aktivitas per satuan waktu. Dengan demikian, metode ini membantu proyek diselesaikan lebih efisien tanpa mengorbankan anggaran secara signifikan.

Konsep cost slope berperan penting dalam evaluasi keterkaitan antara biaya dan waktu, terutama ketika diperlukan percepatan proyek dengan tujuan menyelesaikan pekerjaan lebih cepat sambil tetap meminimalkan biaya tambahan.

Cost Slope

$$= \frac{\text{Hasil Crashing Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Hasil Crash Duration}}$$

Sebagai contoh, pada pekerjaan Stamp Concrete dengan skenario penambahan jam lembur diperoleh:

Cost Slope

$$= \frac{\text{Rp. } 77.505.000 - \text{Rp. } 73.185.000}{32 \text{ Hari} - 18 \text{ Hari}}$$

$$= \text{Rp. } 360.000$$

Hasil ini menunjukkan bahwa percepatan pekerjaan *Stamp Concrete* memerlukan biaya tambahan sebesar Rp 360.000 per hari. Nilai ini menjadi dasar pertimbangan dalam menentukan aktivitas mana yang sebaiknya diprioritaskan untuk percepatan, agar tetap efisien dari sisi biaya maupun waktu.

3.5.7. Perhitungan Durasi Crash Proyek dan Biaya Crash Proyek (Biaya Langsung)

Pada tahap ini, percepatan proyek dilakukan dengan memilih aktivitas pada lintasan kritis yang memiliki **cost slope terkecil**. Proses crashing dilakukan secara bertahap, dimulai dari aktivitas dengan cost slope terendah sampai yang terbesar hingga tercapai target durasi proyek. Pendekatan ini digunakan untuk meminimalkan tambahan biaya sambil tetap mempercepat penyelesaian proyek sesuai waktu yang direncanakan.

Rumus perhitungan biaya langsung setelah percepatan adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Langsung} = \text{Total Anggaran} + (\text{Cost Slope} \times \text{Jumlah hari yang dipercepat})$$

Sebagai ilustrasi, berikut contoh perhitungan biaya langsung pada pekerjaan pemasangan pipa 4’ dengan alternatif penambahan jam lembur:

$$\text{Biaya Langsung} \\ = \text{Rp. } 566.596.294 + (\text{Rp. } 270.000 \times 7 \text{ Hari}) \\ = \text{Rp. } 568.486.294$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa percepatan pekerjaan pemasangan pipa 4’ dengan penambahan jam lembur menyebabkan adanya penambahan biaya langsung dibandingkan dengan anggaran awal. Meskipun terjadi peningkatan biaya, percepatan ini tetap memberikan keuntungan karena durasi proyek dapat dipangkas sesuai target penyelesaian yang diharapkan.

3.5.8. Perhitungan Biaya Tak Langsung (Indirect Cost)

Pengelolaan biaya tidak langsung (*indirect cost*) merupakan aspek penting dalam manajemen proyek, karena biaya ini tidak dapat dialokasikan secara langsung pada aktivitas tertentu namun tetap diperlukan untuk mendukung kelancaran proyek. Apabila tidak dikendalikan secara tepat, biaya tidak langsung berpotensi menimbulkan pemborosan dan mengurangi keuntungan proyek. Tabel berikut menunjukkan rincian biaya tidak langsung yang dihitung dalam penelitian ini:

Tabel 4. Rincian Indirect Cost

No	Uraian	QTY	Harga Satuan (Rp)	Total Harga (Rp)
1	Tenaga Tambahan	2	1.000.000	2.000.000
2	Akomodasi	1	1.200.000	1.200.000

3	Uang Makan Tim	1	1.290.000	1.290.000
	Total Per Bulan			4.490.000
	Total per Hari			172.692,31

Berdasarkan tabel di atas, biaya tidak langsung yang timbul setiap bulan adalah sebesar Rp 4.490.000, atau setara dengan Rp 172.692,31 per hari. Nilai ini menjadi dasar dalam perhitungan biaya total proyek setelah dilakukan percepatan, karena perubahan durasi proyek akan memengaruhi besarnya biaya tidak langsung secara keseluruhan.

3.5.9. Perhitungan Biaya Total

Percepatan proyek konstruksi merupakan aspek penting dalam manajemen proyek karena berkaitan langsung dengan pengendalian biaya dan waktu. Dalam pelaksanaannya, pengeluaran proyek dapat dibedakan menjadi biaya langsung (direct cost) dan biaya tidak langsung (indirect cost), di mana keduanya berperan dalam menentukan total biaya akhir. Total biaya percepatan didefinisikan sebagai seluruh tambahan biaya yang timbul akibat pemangkasan durasi pelaksanaan proyek. Semakin besar intensitas percepatan dilakukan, semakin tinggi pula biaya yang diperlukan, sehingga pemilihan strategi percepatan harus dilakukan secara hati-hati. Dalam konteks penelitian ini, pengelolaan biaya percepatan ditujukan tidak hanya untuk memperoleh efisiensi waktu, tetapi juga untuk memastikan proyek tetap berada dalam koridor anggaran. Oleh karena itu, perhitungan biaya total digunakan untuk mengetahui besarnya pengeluaran akhir yang harus ditanggung kontraktor setelah penerapan strategi percepatan.

Rumus perhitungan biaya total adalah sebagai berikut:

$$\text{Biaya Total} = \text{Direct Cost} + \text{Indirect Cost}$$

Sebagai contoh, pada pekerjaan pemasangan pipa 4” dengan metode penambahan jam lembur diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Total} &= \text{Rp. } 568.486.294 + (\text{Rp. } 172.692 \times 136 \text{ Hari}) \\ &= \text{Rp. } 591.972.447 \end{aligned}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa percepatan pekerjaan pemasangan pipa 4” menghasilkan total biaya sebesar Rp. 591.972.447. Angka tersebut lebih tinggi dibandingkan biaya normal sebesar Rp. 566.596.294, namun diimbangi dengan pengurangan durasi proyek dari 150 hari menjadi 117 hari. Dengan demikian, metode penambahan jam lembur dinilai lebih efisien karena tambahan biaya yang relatif kecil mampu menghasilkan penghematan waktu yang signifikan, sehingga proyek dapat diselesaikan lebih cepat tanpa menimbulkan pembengkakan anggaran yang berlebihan.

3.6. Hasil Analisa Time Cost Trade Off

Percepatan proyek tidak hanya memengaruhi durasi penyelesaian, tetapi juga berdampak pada besarnya biaya yang harus dikeluarkan. Pada proyek pembangunan jalan beton di Perumahan Citra Sari Regency, perhitungan menunjukkan bahwa durasi normal proyek adalah 150 hari dengan total anggaran sebesar Rp. 566.596.294. Atas permintaan pemilik proyek, durasi pelaksanaan harus dipercepat menjadi 120 hari. Analisis dilakukan melalui dua alternatif percepatan, yaitu menambah jumlah tenaga kerja dan menambah jam lembur pekerja. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa alternatif percepatan dengan penambahan jam lembur memberikan durasi proyek yang lebih singkat (117 hari) dibandingkan penambahan tenaga kerja (118 hari). Selisih satu hari memang terlihat kecil, namun implikasinya cukup signifikan karena berpengaruh terhadap biaya tidak langsung yang harus ditanggung proyek. Biaya total yang dihasilkan dari alternatif lembur sebesar Rp. 591.972.447, lebih rendah dibandingkan alternatif tenaga kerja sebesar Rp. 592.500.140. Dengan demikian, strategi lembur lebih efisien baik dari sisi waktu maupun biaya. Dari sisi implementasi di lapangan, metode lembur juga memiliki keunggulan karena memanfaatkan tenaga kerja yang sudah terbiasa bekerja dalam satu tim, sehingga koordinasi tetap terjaga dan risiko kesalahan akibat pekerja baru dapat diminimalkan. Namun, perlu diperhatikan aspek kelelahan pekerja dan potensi penurunan produktivitas jika lembur dilakukan terlalu intensif. Oleh karena itu, penerapan lembur sebaiknya dibatasi pada pekerjaan yang berada di lintasan kritis dengan pengawasan K3 yang ketat.

Hasil penelitian ini konsisten dengan beberapa studi sebelumnya yang juga menggunakan metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada proyek konstruksi. Paramitha & Dibiantara (2023) menunjukkan bahwa penambahan jam kerja lebih efisien dibandingkan penambahan tenaga kerja pada proyek apartemen di Surabaya, dengan alasan bahwa tim yang sudah terbiasa bekerja bersama memiliki koordinasi yang lebih baik sehingga produktivitas tetap terjaga meskipun waktu kerja diperpanjang. Temuan serupa juga ditunjukkan oleh Praganingrum et al. (2023) yang menegaskan bahwa percepatan berbasis lembur mampu menekan biaya tambahan lebih rendah dibandingkan alternatif lainnya, khususnya ketika proyek berada pada jalur kritis yang membutuhkan efisiensi tinggi.

Selain itu, Mudhoffar & Prafitawati (2024) menekankan pentingnya pengendalian biaya tidak langsung pada proyek yang dipercepat. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan tersebut, di mana biaya tidak langsung dihitung sebesar Rp. 172.692 per hari dan menjadi komponen penting dalam penentuan biaya total. Hal ini menunjukkan bahwa pengelolaan biaya tak langsung yang cermat sangat menentukan efektivitas strategi percepatan.

Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memperkuat teori bahwa penambahan jam lembur lebih efisien dibandingkan penambahan tenaga kerja, tetapi juga memberikan temuan nyata pada konteks proyek pembangunan jalan beton di kawasan perumahan. Temuan ini dapat menjadi acuan bagi kontraktor dalam merencanakan strategi percepatan pada proyek-proyek serupa di masa mendatang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian percepatan proyek pembangunan jalan beton Tahap II di Perumahan Citra Sari Regency, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Proyek ini memiliki durasi normal 150 hari dengan biaya normal sebesar Rp 566.596.294. Hasil analisis menunjukkan bahwa alternatif percepatan dengan penambahan tenaga kerja menghasilkan *crash duration* selama 118 hari, sedangkan alternatif percepatan dengan penambahan jam lembur 6 jam menghasilkan *crash duration* selama 117 hari.
2. Dari sisi biaya, alternatif penambahan tenaga kerja menghasilkan total *crash cost* sebesar Rp 599.213.986 dengan nilai optimal Rp 592.500.140. Sementara itu, alternatif penambahan jam lembur 6 jam menghasilkan total *crash cost* sebesar Rp 594.271.294 dengan nilai optimal Rp 591.972.447.
3. Alternatif percepatan yang paling efisien adalah penambahan jam lembur 6 jam, karena menghasilkan durasi lebih singkat (117 hari) dan biaya lebih rendah (Rp 591.972.447) dibanding alternatif penambahan tenaga kerja (118 hari dengan biaya Rp 592.500.140). Dengan demikian, alternatif jam lembur dipilih sebagai strategi percepatan terbaik untuk proyek ini. Strategi percepatan dengan jam lembur terbukti lebih efisien karena mampu menekan biaya dan mempertahankan koordinasi tim. Penelitian ini diharapkan menjadi acuan bagi kontraktor dalam memilih strategi percepatan, sekaligus referensi akademik untuk pengembangan model TCTO yang lebih komprehensif dengan mempertimbangkan faktor eksternal, teknologi digital, serta integrasi aspek mutu dan keselamatan kerja.

DAFTAR PUSTAKA

Budianto, E. A., & Husin, A. E. (2021b). Analisis Optimasi Waktu dan Biaya Dengan Metode TIME COST TRADE OFF pada Proyek Gudang Amunisi. In *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil* (Vol. 19, Issue 3). H. (n.d.). Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode TIME COST TRADE OFF (TCTO) Pada Optimasi Waktu Dan Biaya Metode TIME COST TRADE OFF (TCTO) Pada Proyek

Penambahan Bangunan Pasar Rakyat Time And Cost Optimization Using The TIME COST TRADE OFF Method In The People's Market Additional Building Project.

Li, H., Xu, Z., & Wei, W. (2018). Bi-objective scheduling optimization for discrete time/cost trade-off projects. (Switzerland), *Sustainability* 10(8). <https://doi.org/10.3390/su10082802>

Mudhoffar, F., & Gita Prafitasiwi, A. (2024). Pengendalian Waktu dan Biaya pada Proyek Gedung TPQ 2 Lantai dengan Metode TIME COST TRADE OFF (TCTO) Optimization of Time and Cost Control in the TPQ Building Project Using TIME COST TRADE OFF (TCTO) Method <http://ejournal.ft.umg.ac.id/index.php/jtk> (Vol. 01, Issue 1).

Nurdiana, A. (2015). Analisis Biaya Tidak Langsung Proyek Pembangunan Best Western Star Hotel & Star Apartement 109. <http://ejournal.undip.ac.id/index.php/teknik> Semarang. 36(2), 105

Paramitha, K. K., & Dibiantara, D. P. (2023). Analisis Percepatan Waktu dan Biaya pada Pembangunan Proyek Apartemen Kyo Society Surabaya dengan Metode Time Cost Trade Off. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), D22–D27.

Penambahan Bangunan Pasar Rakyat, P., Pratiwi, R., Mulia Devi, S., Marini, A., & Maya Sari,

Praganingrum, T. I., Luh, N., Ayu, M., Pradnyadari, M., Kadek, I., & Dwipayana, K. (2023). Analisis Pengaruh Percepatan Waktu Pelaksanaan Terhadap Biaya (Time Cost Trade Off) Berbasis Microsoft Project (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Lantai III SDN 2 Panjer). *Jurnal Ilmiah Kurva Teknik*, 12(1). <https://ejournal.unmas.ac.id/index.php/jikt>

Sakti, A. W. E., & Rachmawati, F. (2023). Penerapan Metode TIME COST TRADE OFF (TCTO) dalam Optimasi Durasi dan Biaya pada Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan Gempol– Pasuruan–Probolinggo. *Jurnal Teknik ITS*, 12(1), E7–E13.

Salindeho, C. G., Pratisis, P. A. K., & Sumanti, F. P. Y. (n.d.). Optimasi Waktu Dan Biaya Menggunakan Metode TIME COST TRADE OFF Pada Proyek Peningkatan Ruas Jalan Tondano-Kembes-Manado Seksi II. <https://ejournal.unsrat.ac.id/>

Soeharto, I. (1997). Manajemen proyek dari konseptual sampai operasional.

- Tisano, F., Arsjad, T., & Sibi, M. (n.d.). Analisis Percepatan Waktu Dan Biaya Proyek Konstruksi Menggunakan Metode Crashing Pada Pembangunan Kalyana Residence Paal 2 Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5), 741–748.
- Ayunaning, K., Avisha, G. P., Juliati, K., & Kunci, K. (2022). *Use of Shells Waste Filler in Pavement Layer Using Lapen (Macadam Penetration Layer) Penggunaan Filler Limbah Kulit Kerang Pada Lapisan Perkerasan Dengan Menggunakan Lapen (Lapis Penetrasi Makadam)* (Vol. 2, Issue 2).
- Dwi Sutrisno, R., Prafitasiwi, A. G., Ayunaning, K., Ramadhani, M. I., & Sari, R. P. (2024). PELATIHAN 3D MODELLING DENGAN APLIKASI SKETCH UP PADA SISWA SMK PGRI 1 GRESIK. *Journal of Community Service*, 6(1).
- PRAFITASIWI, A. G., Kuncoro, N. R., & Wibisono, C. U. (2024). Analisa Risiko Penyebab Keterlambatan pada Proyek Konstruksi Pabrik Pupuk di Kabupaten Gresik Dengan Metode Pohon Kesalahan. *Teras Jurnal: Jurnal Teknik Sipil*, 14(2), 547. <https://doi.org/10.29103/tj.v14i2.1155>