

Analisis Metode TCTO pada Proyek Pembangunan Dinding Penahan Tanah Desa Leran Wetan Kec.Palang, Kab. Tuban

Syarifah Nur Octavia^{1*}, Risang Setyobudi², M.Akmal Bagaskara³

^{1,2,3}Teknik Sipil, Universitas Sunan Bonang, Tuban, Indonesia

Email: ¹syarifahnuroctavia@gmail.com, ²setyobudirisang@gmail.com, ³bagasdasilva2@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: ¹ syarifahnuroctavia@gmail

Abstrak– Proyek infrastruktur, khususnya irigasi, seringkali menghadapi tantangan dalam hal waktu dan biaya. Percepatan proyek (akselerasi) diperlukan untuk memenuhi target waktu yang telah ditetapkan, namun hal ini umumnya berimplikasi pada peningkatan biaya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perhitungan Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan dinding penahan tanah sepanjang 396,2 meter pada Proyek Pembangunan Peningkatan Irigasi Desa Leran Wetan, Palang, Tuban, serta mengkaji opsi percepatan dengan menerapkan metode Time Cost Trade Off (TCTO). Metode TCTO digunakan untuk mencari titik keseimbangan optimal antara pengurangan waktu pelaksanaan dan penambahan biaya yang timbul. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan penambahan 3 shift kerja, durasi proyek dapat dipercepat sebesar 5 hari dari waktu kontrak awal. Implikasi dari percepatan ini adalah terjadinya penambahan biaya total sebesar Rp 12.974.847, dari biaya normal Rp 259.496.951 menjadi Rp 272.471.798. Studi ini menyimpulkan bahwa metode TCTO merupakan alat yang efektif dalam pengambilan keputusan manajemen proyek untuk mencapai target waktu dengan biaya tambahan yang terukur dan dapat dipertanggungjawabkan.

Kata Kunci: Manajemen Konstruksi, Rencana Anggaran Biaya (RAB), Time Cost Trade Off (TCTO), Dinding Penahan Tanah, Percepatan Proyek

Abstract– Infrastructure projects, particularly irrigation, often face challenges in terms of time and cost. Project acceleration is necessary to meet the set time targets, but this generally has implications for cost increases. This study aims to analyze the calculation of the Budget Plan (RAB) for 396.2 meters of retaining wall work in the Irrigation Improvement Development Project in Leran Wetan Village, Palang, Tuban, as well as to examine acceleration options by applying the Time Cost Trade Off (TCTO) method. The TCTO method is used to find the optimal balance point between reducing implementation time and the resulting additional costs. The analysis results show that by adding 3 work shifts, the project duration can be accelerated by 5 days from the initial contract time. The implication of this acceleration is a total cost increase of IDR 12,974,847, from the normal cost of IDR 259,496,951 to IDR 272,471,798. This study concludes that the TCTO method is an effective tool in project management decision-making to achieve time targets with measurable and accountable additional costs.

Keywords: Construction Management, Budget Plan, Time Cost Trade Off (TCTO), Retaining Wall, Project Acceleration

1. PENDAHULUAN

Proyek konstruksi, khususnya yang bersifat infrastruktur publik seperti pembangunan saluran irigasi, memiliki kompleksitas tinggi dalam aspek waktu dan biaya. Ketepatan penyelesaian proyek sering kali menjadi tuntutan utama, sementara di sisi lain, efisiensi anggaran harus tetap dijaga. Dalam konteks ini, Rencana Anggaran Biaya (RAB) tidak hanya berfungsi sebagai dokumen perencanaan biaya, tetapi juga sebagai dasar untuk pengendalian dan evaluasi kinerja proyek [1]. Namun, dalam pelaksanaannya, sering kali dijumpai kesenjangan antara RAB perencanaan dengan realisasi di lapangan, yang dapat menyebabkan pembengkakan biaya atau keterlambatan.

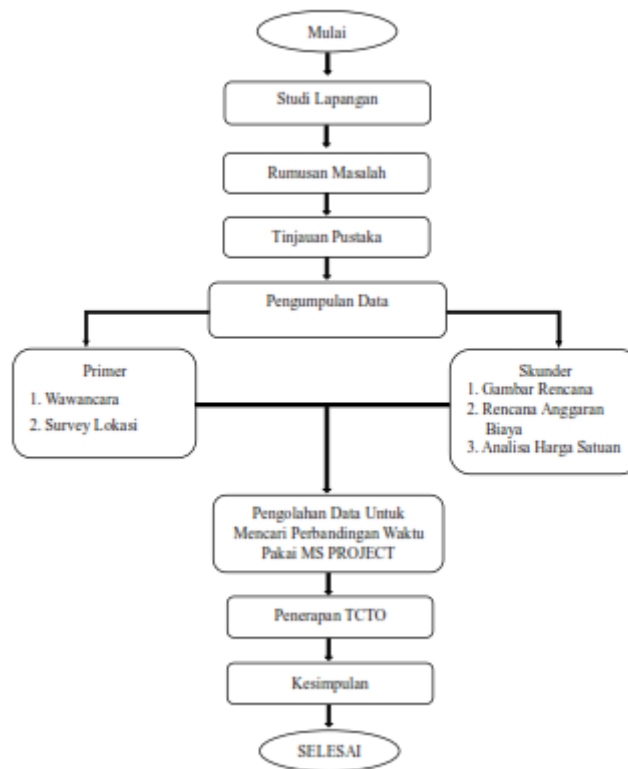
Salah satu pendekatan untuk mengatasi masalah keterlambatan dan mengoptimalkan penjadwalan adalah metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Metode ini memungkinkan manajer proyek untuk menganalisis *trade-off* antara durasi dan biaya, dengan melakukan percepatan (*crashing*) pada aktivitas-aktivitas kritis yang memiliki *cost slope* terendah [2]. Penelitian sebelumnya oleh [3] berhasil mengoptimalkan waktu dan biaya pada proyek gedung dengan menggunakan TCTO melalui penambahan tenaga kerja, menghasilkan efisiensi waktu 9,07%. Demikian pula, [4] menerapkan TCTO pada proyek hotel dan berhasil mempercepat durasi 47 hari dengan tambahan biaya yang masih dapat dijustifikasi. Studi terbaru oleh [5],[6] semakin menguatkan efektivitas TCTO, dengan mengeksplorasi berbagai alternatif percepatan seperti kerja lembur dan penambahan shift. Namun, tinjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu tersebut mengungkap beberapa kesenjangan (*research gap*). Pertama, mayoritas studi berfokus pada proyek gedung dan jalan, sementara penerapan TCTO pada proyek infrastruktur irigasi, khususnya yang melibatkan struktur dinding penahan tanah (DPT) dengan panjang signifikan (>300 m), masih sangat terbatas. Kedua, beberapa penelitian seperti yang dilakukan oleh [7] masih mengalami keterlambatan meskipun telah dilakukan *crashing*, menunjukkan perlunya analisis yang lebih komprehensif dalam memilih alternatif percepatan. Ketiga, belum ada penelitian yang mengkombinasikan analisis RAB yang detail untuk struktur DPT dengan simulasi percepatan menggunakan tiga shift kerja dalam satu studi terpadu.

Berdasarkan identifikasi kesenjangan tersebut, penelitian ini hadir untuk memberikan kontribusi baru dengan: Menerapkan dan menganalisis metode TCTO pada proyek infrastruktur irigasi spesifik, yaitu pembangunan Dinding Penahan Tanah (DPT) sepanjang 396,2 m. Menganalisis strategi percepatan dengan penambahan 3 shift kerja sebagai alternatif utama, yang belum banyak dieksplorasi pada penelitian sejenis, untuk mencapai titik optimum waktu dan biaya. Mengintegrasikan antara perhitungan RAB yang detail untuk struktur DPT dengan simulasi percepatan menggunakan software Microsoft Project, sehingga memberikan gambaran yang komprehensif dari perencanaan hingga eksekusi yang dipercepat. Secara spesifik, tujuan dari penelitian ini adalah: Menghitung Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang akurat untuk pekerjaan Dinding Penahan Tanah (DPT) pada Proyek Peningkatan Irigasi Desa Leran Wetan. Menganalisis perbandingan waktu dan biaya proyek sebelum dan setelah percepatan dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) melalui skenario penambahan 3 shift kerja. Mengevaluasi efisiensi biaya dan waktu yang dihasilkan dari penerapan metode TCTO pada proyek infrastruktur irigasi.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Bagan Alir Penelitian

Berikut dibawah ini merupakan bagan alir penelitian yang berisi tahapan – tahapan penelitian :



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.2 Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode studi kasus pada proyek Pembangunan Peningkatan Irigasi Desa Leran Wetan, Kecamatan Palang, Kabupaten Tuban. Fokus penelitian adalah penerapan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) untuk mengoptimalkan waktu dan biaya pelaksanaan pekerjaan Dinding Penahan Tanah (DPT) sepanjang 396,2 meter.

2.3. Desain Penelitian

Penelitian dirancang sebagai studi analitik yang mengkaji hubungan antara variabel waktu dan biaya dalam pelaksanaan proyek konstruksi. Desain penelitian mencakup empat fase utama: persiapan, pengumpulan data, analisis data, dan validasi hasil. Pendekatan ini dipilih untuk memastikan bahwa analisis TCTO dapat diterapkan secara praktis sekaligus memenuhi standar akademis.

2.4. Sumber Data dan Teknik Pengumpulan

Data penelitian dikumpulkan dari sumber primer dan sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan dan wawancara terstruktur dengan manajer proyek, pelaksana lapangan, dan pengawas proyek. Wawancara difokuskan pada identifikasi kendala pelaksanaan, produktivitas tenaga kerja, dan kebijakan penjadwalan. Data sekunder meliputi dokumen kontrak, gambar teknis, Rencana Anggaran Biaya (RAB), Bill of Quantity (BOQ), time schedule, dan laporan progres harian.

2.5. Prosedur Pelaksanaan TCTO

Penerapan metode TCTO dilakukan melalui enam tahapan berurutan:

Pertama, dilakukan penyusunan baseline penjadwalan menggunakan Microsoft Project 2016. Seluruh aktivitas pekerjaan DPT dimasukkan dengan durasi normal berdasarkan produktivitas standar Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kabupaten Tuban Tahun 2023. Jaringan kerja disusun dengan hubungan predecessor finish-to-start, kemudian diidentifikasi critical path yang menentukan durasi proyek.

Kedua, dilakukan klasifikasi biaya proyek menjadi biaya langsung dan tidak langsung. Biaya langsung mencakup material, upah tenaga kerja, dan peralatan, sedangkan biaya tidak langsung meliputi overhead proyek yang dihitung sebesar 5% dari biaya langsung.

Ketiga, ditentukan parameter percepatan untuk setiap aktivitas pada critical path. Parameter ini terdiri dari normal time (durasi normal), normal cost (biaya normal), crash time (durasi tercepat yang mungkin dicapai), dan crash cost (biaya pada kondisi dipercepat). Pada penelitian ini, strategi percepatan yang diterapkan adalah penambahan 3 shift kerja dengan pertimbangan produktivitas shift malam sebesar 80% dari produktivitas normal.

Keempat, dilakukan perhitungan cost slope menggunakan rumus $(Crash\ Cost - Normal\ Cost) / (Normal\ Time - Crash\ Time)$. Cost slope menunjukkan besarnya tambahan biaya per satuan pengurangan waktu. Aktivitas dengan cost slope terendah diprioritaskan untuk dipercepat terlebih dahulu[8].

Kelima, dilakukan proses crashing secara iteratif. Pada setiap iterasi, aktivitas dengan cost slope terendah pada critical path dipercepat, kemudian jadwal diperbarui dan critical path yang baru diidentifikasi. Proses ini berlanjut hingga durasi target tercapai atau tidak ada lagi aktivitas yang dapat dipercepat secara ekonomis[9].

Keenam, dianalisis biaya total proyek untuk setiap alternatif durasi yang dihasilkan. Biaya total dihitung sebagai penjumlahan biaya langsung setelah percepatan dan biaya tidak langsung. Titik optimum ditentukan pada durasi dengan biaya total terendah[10].

2.6. Teknik Analisis Data

Analisis data menggunakan teknik analisis deskriptif kuantitatif dan komparatif. Data produktivitas dianalisis secara statistik deskriptif untuk menentukan nilai rata-rata yang digunakan dalam perhitungan percepatan. Analisis komparatif dilakukan untuk membandingkan kondisi sebelum dan setelah penerapan TCTO, meliputi perbandingan durasi, biaya langsung, biaya tidak langsung, dan biaya total proyek[11].

Validasi hasil analisis dilakukan melalui sensitivity analysis dengan memvariasikan parameter cost slope dan melakukan what-if analysis terhadap berbagai skenario percepatan. Hasil simulasi TCTO juga diverifikasi kelayakan teknisnya melalui diskusi dengan praktisi lapangan untuk memastikan bahwa durasi crash yang dihasilkan dapat diimplementasikan secara realistis.

2.7. Implementasi Lapangan

Implementasi metode TCTO pada proyek ini difokuskan pada pekerjaan beton mutu $f_c' = 14,5$ MPa (K175) sebagai aktivitas kritis. Penambahan 3 shift kerja dilaksanakan dengan memperhatikan aspek keselamatan dan kesehatan kerja, mengingat pekerjaan dilakukan pada malam hari. Monitoring produktivitas dilakukan secara harian untuk memastikan asumsi produktivitas yang digunakan dalam analisis sesuai dengan kondisi aktual di lapangan[12].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penerapan metode tiga shift kerja pada pekerjaan beton mutu $f_c' = 14,5$ MPa (K175) menunjukkan dampak signifikan terhadap efisiensi waktu dan biaya proyek. Durasi pekerjaan berhasil dipangkas dari 7 hari menjadi 2 hari, menghasilkan penghematan waktu sebesar 5 hari atau sekitar 71,4% dari jadwal normal. Peningkatan produktivitas harian dari 31.714 m³/hari menjadi 104.194 m³/hari dicapai melalui operasional kerja selama 24 jam penuh, yang menunjukkan efektivitas strategi percepatan. Untuk data rekapitulasi perhitungan biaya dapat dilihat pada tabel 1 berikut.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Biaya dan Waktu Pekerjaan Beton ($f_c' = 14,5$ MPa)

NO	PARAMETER / URAIAN	NILAI / HASIL PERHITUNGAN	KETERANGAN
----	--------------------	---------------------------	------------

A.	DATA DASAR		
1	Volume Pekerjaan	222.000 m ³	
2	Durasi Normal (Rencana)	7 Hari	
3	Waktu Kerja Normal	8 Jam/Hari	1 Shift
4	Strategi Percepatan	3 Shift	24 Jam/Hari
B.	KEBUTUHAN TENAGA KERJA (Total Proyek)		<i>Koefisien x Volume</i>
1	Mandor	22,2 OH	0.1000 x 222.000
2	Pekerja Biasa	222,0 OH	1.000 x 222.000
3	Tukang Batu	55,5 OH	0.2500 x 222.000
4	Kepala Tukang Batu	55,5 OH	0.0250 x 222.000
C.	JUMLAH PEKERJA PER HARI		<i>Total OH / Durasi Normal</i>
1	Mandor	4 Orang	22,2 / 7
2	Pekerja Biasa	31 Orang	222,0 / 7
3	Tukang Batu	8 Orang	55,5 / 7
4	Kepala Tukang Batu	8 Orang	55,5 / 7
D.	PRODUKTIVITAS		
1	Produktivitas Rata-Rata per Hari	31.714 m ³ /Hari	222.000 / 7
2	Produktivitas Rata-Rata per Jam	4.530 m ³ /Jam	31.714 / (8 Jam/Hari)
3	Produktivitas 3 Shift	104.194 m ³ /Hari	31.714 + (16 Jam x 4.530)
E.	DURASI		
1	Durasi Normal	7 Hari	Baseline
2	Durasi Setelah Percepatan (Crash Duration)	2 Hari	222.000 / 104.194
3	Pengurangan Durasi (Time Saved)	5 Hari	7 - 2
F.	BIAYA UPAH (Kondisi Normal - 1 Shift)		<i>*Upah/Hari x 7 Hari*</i>
1	Mandor	Rp 3.360.000	Rp 480.000 x 7
2	Pekerja Biasa	Rp 20.615.000	Rp 2.945.000 x 7
3	Tukang Batu	Rp 5.600.000	Rp 800.000 x 7
4	Kepala Tukang Batu	Rp 6.160.000	Rp 880.000 x 7
	TOTAL BIAYA NORMAL	Rp 35.735.000	
G.	BIAYA UPAH (Kondisi Percepatan - 3 Shift)		<i>*Upah 3 Shift/Hari x 5 Hari*</i>
1	Mandor	Rp 7.200.000	Rp 1.440.000 x 5
2	Pekerja Biasa	Rp 44.175.000	Rp 8.835.000 x 5
3	Tukang Batu	Rp 12.000.000	Rp 2.400.000 x 5
4	Kepala Tukang Batu	Rp 13.200.000	Rp 2.640.000 x 5
	TOTAL BIAYA PERCEPATAN (Crash Cost)	Rp 76.575.000	
H.	SELISIH BIAYA (Akibat Percepatan) TAMBAHAN BIAYA	Rp 40.840.000	Rp 76.575.000 - Rp 35.735.000

3.1 Analisis Perhitungan Biaya dan Waktu Pekerjaan Beton dengan Metode 3 Shift

Berdasarkan tabel rekapitulasi yang disusun, dapat dianalisis bahwa penerapan metode 3 shift pada pekerjaan beton mutu $f_c = 14,5$ MPa (K175) memberikan dampak yang signifikan terhadap aspek waktu dan biaya pelaksanaan proyek.

Dari Perspektif Waktu, strategi percepatan ini berhasil mengoptimalkan durasi pekerjaan secara remarkable. Dari kondisi normal 7 hari, durasi dapat dipersingkat menjadi hanya 2 hari, yang berarti terjadi penghematan waktu sebesar 5 hari atau setara dengan 71,4% dari waktu normal. Efisiensi waktu ini dicapai melalui peningkatan produktivitas harian dari 31.714 m³/hari menjadi 104.194 m³/hari, yang dimungkinkan oleh operasional kerja selama 24 jam non-stop dengan sistem tiga shift.

Dari Sisi Biaya, implementasi metode ini menuntut konsekuensi finansial yang cukup besar. Total biaya tenaga kerja meningkat secara signifikan dari Rp 35.735.000 pada kondisi normal menjadi Rp 76.575.000 pada kondisi percepatan, yang berarti terjadi tambahan biaya sebesar Rp 40.840.000. Kenaikan biaya ini terutama disebabkan oleh kebutuhan pembayaran upah lembur untuk shift kedua dan ketiga, sesuai dengan ketentuan peraturan perundang-undangan yang berlaku.

Dalam Konteks Time Cost Trade Off (TCTO), data ini mengungkapkan trade-off yang jelas antara waktu dan biaya. Setiap pengurangan 1 hari durasi membutuhkan tambahan biaya rata-rata sebesar Rp 8.168.000. Cost slope ini menjadi parameter kritis dalam menentukan kelayakan ekonomi dari strategi percepatan yang diterapkan.

Dari Aspek Sumber Daya Manusia, implementasi 3 shift memerlukan penyesuaian dalam manajemen tenaga kerja. Dengan jumlah pekerja yang sama per shift, yaitu 4 mandor, 31 pekerja biasa, 8 tukang batu, dan 8 kepala tukang batu, namun beroperasi dalam tiga shift yang berbeda, diperlukan koordinasi dan pengawasan yang ketat untuk menjaga kualitas pekerjaan dan keselamatan kerja, terutama pada shift malam.

Implikasi terhadap Penjadwalan Proyek secara keseluruhan, percepatan 5 hari pada aktivitas kritis pekerjaan beton ini dapat berdampak langsung terhadap percepatan penyelesaian proyek secara keseluruhan, asalkan aktivitas-aktivitas berikutnya dalam critical path telah dipersiapkan dengan matang.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, hasil ini menunjukkan konsistensi sekaligus kontribusi baru. Studi oleh [13] mencatat efisiensi waktu sebesar 9,07% melalui penambahan tenaga kerja pada proyek gedung, sementara [14] berhasil mempercepat proyek hotel selama 47 hari dengan tambahan biaya yang masih dapat dijustifikasi. Penelitian ini melampaui capaian tersebut dalam hal efisiensi waktu relatif, yaitu 71,4%, meskipun pada skala durasi yang lebih pendek. Sementara itu, [5], [6] juga menekankan efektivitas kerja lembur dan penambahan shift, namun belum secara spesifik mengkaji struktur Dinding Penahan Tanah (DPT) dengan panjang signifikan.

Penelitian ini juga mengisi gap yang ditinggalkan oleh [7] yang mencatat keterlambatan proyek jalan meskipun telah dilakukan crashing. Dengan pendekatan yang lebih komprehensif, termasuk simulasi penjadwalan menggunakan Microsoft Project dan validasi teknis di lapangan, penelitian ini menunjukkan bahwa percepatan dapat dilakukan secara realistis dan terukur. Selain itu, integrasi antara analisis RAB yang detail dan strategi percepatan berbasis TCTO menjadikan studi ini lebih holistik dibandingkan penelitian sebelumnya yang cenderung terfokus pada satu aspek saja.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini memperkuat temuan-temuan terdahulu mengenai efektivitas metode TCTO, sekaligus memperluas cakupan aplikasinya pada proyek infrastruktur irigasi. Strategi tiga shift kerja terbukti mampu memberikan efisiensi waktu yang tinggi, dengan tambahan biaya yang dapat dipertanggungjawabkan secara manajerial dan teknis.

Dengan demikian, keputusan untuk menerapkan metode 3 shift perlu mempertimbangkan trade-off antara urgensi percepatan waktu penyelesaian proyek dengan kesiapan anggaran untuk menanggung tambahan biaya yang cukup signifikan. Analisis ini memberikan dasar yang kuantitatif bagi pengambilan keputusan manajemen proyek dalam menentukan strategi percepatan yang optimal.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan strategi percepatan proyek dengan metode tiga shift kerja terbukti efektif dalam menghemat waktu pelaksanaan pekerjaan inti, khususnya pada pekerjaan beton mutu $f_c = 14,5$ MPa (K175). Durasi pekerjaan berhasil dipangkas dari 7 hari menjadi hanya 2 hari, sehingga terjadi penghematan waktu sebesar 5 hari atau sekitar 71,4% dari jadwal normal. Namun, efisiensi waktu ini diikuti dengan konsekuensi kenaikan biaya tenaga kerja sebesar Rp 40.840.000, yang merupakan dampak dari pengoperasian tiga shift dan pembayaran upah lembur sesuai regulasi. Analisis ini menunjukkan adanya pertukaran yang jelas antara waktu dan biaya, yang dihitung melalui parameter cost slope sebagai dasar penerapan metode *Time Cost Trade Off (TCTO)*. Dengan demikian, strategi percepatan proyek melalui penambahan shift kerja dapat menjadi alternatif yang layak secara teknis dan ekonomis, asalkan manajemen proyek mampu mengantisipasi kebutuhan anggaran tambahan serta menjaga kualitas dan keselamatan kerja selama pelaksanaan. Kesimpulan ini memberikan landasan kuantitatif bagi pengambilan keputusan dalam manajemen konstruksi, khususnya pada proyek infrastruktur irigasi yang memiliki karakteristik pekerjaan berulang dan berdurasi panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada pihak-pihak yang telah mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENSI

- [1] M. Rahman *et al.*, *Pemanfaatan Media Sosial Sebagai Media Pembelajaran. Journal on Education*, vol. 05, no. 03, 2023.
- [2] I. L., "Analisis biaya langsung dan tidak langsung pada proyek konstruksi gedung bertingkat," *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 112–120, 2017.



- [3] R. G, “Analisis komparasi percepatan proyek dengan penambahan tenaga kerja dan jam lembur,” *Jurnal Manajemen Proyek Konstruksi*, vol. 12, no. 1, pp. 45–52, 2023.
- [4] A., “Analisis optimalisasi waktu dan biaya proyek konstruksi menggunakan metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Jalan Gorda Bandung,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 9, no. 4, pp. 25–40, 2021.
- [5] R. K, “Analisis optimasi waktu dan biaya dengan metode Time Cost Trade Off pada proyek infrastruktur,” *Jurnal Teknik Sipil Indonesia*, vol. 15, no. 3, pp. 129–136, 2023.
- [6] R., *Analisis percepatan dengan metode Time Cost Trade Off pada proyek pembangunan Hotel Ijen Padjajaran Malang*. Malang: Universitas Brawijaya, 2015.
- [7] B. I, *Aplikasi metode Time Cost Trade Off untuk mengoptimalkan waktu dan biaya pekerjaan proyek pada pembangunan gedung pengairan Universitas Brawijaya*. Malang: Universitas Brawijaya Press, 2018.
- [8] D., “Analisis percepatan waktu dan biaya proyek penambahan konstruksi dengan jam kerja lembur menggunakan metode Time Cost Trade Off,” *Jurnal Manajemen Konstruksi*, vol. 14, no. 2, pp. 1–15, 2016.
- [9] M. Arifin, R. H. Wicaksono, and S. N. Octavia, “Indikator kualitas tanah dalam penilaian kesuburan lahan untuk konstruksi infrastruktur,” *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, vol. 5, no. 2, pp. 45–56, 2017.
- [10] P. D, *Manajemen biaya konstruksi: Pendekatan langsung dan tidak langsung*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 2019.
- [11] C. G, “Optimasi waktu dan biaya menggunakan metode TCTO pada proyek peningkatan ruas jalan Tondano,” *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 20, no. 1, pp. 34–42, 2022.
- [12] D., “Optimalisasi produktivitas tenaga kerja dengan penambahan jam kerja lembur pada proyek konstruksi,” *Jurnal Manajemen Konstruksi*, vol. 18, no. 2, pp. 78–85, 2022.
- [13] Zulfendri, *Perencanaan dinding penahan tanah retaining wall pada proyek infrastruktur*. Bukittinggi: Penerbit UNKA, 2022.
- [14] A., “Analisis optimasi biaya dan waktu dengan metode TCTO pada proyek konstruksi jalan,” *Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan*, vol. 17, no. 2, pp. 67–74, 2015.