

## Analisis Time Cost Trade Off sebagai Strategi Percepatan Proyek untuk Efisiensi Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik 4 Institut Teknologi Sumatera

Fadillah Tri Septi<sup>1</sup>, Dian Perwita Sari<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera  
Email: fadillahtsepti@gmail.com; perwita.sari@si.itera.ac.id

### ABSTRAK

Keterlambatan proyek konstruksi merupakan permasalahan kompleks yang berdampak signifikan terhadap peningkatan biaya dan waktu penyelesaian. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis strategi percepatan proyek yang optimal pada Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA yang mengalami keterlambatan dengan menerapkan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Penelitian kuantitatif ini membandingkan tiga alternatif strategi percepatan, yaitu penambahan jam kerja (lembur), penambahan shift kerja, serta penambahan tenaga kerja dan alat berat. Data primer diperoleh melalui wawancara dengan kontraktor, sedangkan data sekunder meliputi *time schedule*, Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan dokumen proyek lainnya. Analisis dilakukan dengan menyusun jaringan kerja kritis, menghitung durasi dan biaya normal, serta menganalisis *crash duration* dan *crash cost* untuk setiap alternatif. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi normal proyek memiliki durasi 224 hari dengan biaya total Rp 16.927.594.301. Ketiga strategi percepatan terbukti efektif memangkas durasi dan biaya. Strategi penambahan tenaga kerja dan alat berat terbukti paling optimal, menghasilkan durasi 163 hari (efisiensi waktu 27,23%) dengan efisiensi biaya tertinggi sebesar 5,75%. Alternatif penambahan *shift* kerja menghasilkan durasi tercepat yaitu 161 hari (efisiensi waktu 28,13%), namun dengan efisiensi biaya lebih rendah (4,92%). Sementara penambahan jam lembur menjadi alternatif terlemah dengan durasi 178 hari (efisiensi waktu 20,54%) dan efisiensi biaya 3,51%. Penelitian mengkonfirmasi bahwa penambahan sumber daya (tenaga kerja dan alat) memberikan *trade-off* waktu-biaya paling menguntungkan untuk proyek ini, di mana penghematan biaya tidak langsung dari pemendekan durasi penyewaan alat berat lebih besar daripada tambahan biaya langsung.

**Kata Kunci:** *Time Cost Trade Off, percepatan proyek, efisiensi, waktu, biaya.*

### ABSTRACT

*Project delays in construction are complex issues that have a significant impact on increasing costs and completion time. This study aims to analyze the optimal project acceleration strategy for the construction of the Engineering Laboratory Building (GLT) 4 at ITERA, which is experiencing delays, by applying the Time Cost Trade Off (TCTO) method. This quantitative research compares three alternative acceleration strategies: adding working hours (overtime), adding work shifts, and adding labor and heavy equipment. Primary data was obtained through interviews with the contractor, while secondary data included the time schedule, the Budget Plan (RAB), and other project documents. The analysis was conducted by compiling a critical work network, calculating normal duration and costs, and analyzing the crash duration and crash cost for each alternative. The results show that the project's normal condition has a duration of 224 days with a total cost of Rp 16,927,594,301. All three acceleration strategies proved effective in reducing both duration and cost. The strategy of adding labor and heavy equipment proved to be the most optimal, resulting in a duration of 163 days (time efficiency of 27.23%) with the highest cost efficiency of 5.75%. The alternative of adding work shifts resulted in the fastest duration of 161 days (time efficiency of 28.13%), but with lower cost efficiency (4.92%). Meanwhile, adding overtime hours was the weakest alternative with a duration of 178 days (time efficiency of 20.54%) and a cost efficiency of 3.51%. The research confirms that adding resources (labor and equipment) provides the most beneficial time-cost trade-off for this project, where the indirect cost savings from shortening the heavy equipment rental period are greater than the additional direct costs.*

**Key words:** *Time Cost Trade Off, project acceleration, efficiency, time, cost.*

Submitted:	Reviewed:	Revised:	Published:
23 November 2025	12 Desember 2025	15 Januari 2026	30 Januari 2026

### PENDAHULUAN

Dalam industri konstruksi yang kompleks dan penuh ketidakpastian, waktu dan biaya merupakan dua parameter fundamental yang terkait erat sebagai tolok ukur keberhasilan pelaksanaan

proyek. Kesuksesan suatu proyek konstruksi tidak hanya diukur dari segi finansial semata, tetapi juga dari kemampuan menyelesaikan pekerjaan tepat waktu dan berkualitas (Dayunita et al., 2024; Salindeho et al., 2022). Pencapaian tujuan ini

memerlukan pendekatan manajemen yang sistematis dan terintegrasi, mengingat pelaksanaan proyek konstruksi pada hakikatnya merupakan kumpulan sistem pekerjaan yang saling bergantung dengan risiko keterlambatan tinggi (Nurafifah et al., 2025; Saragi & Situmorang, 2022). Implementasi manajemen waktu yang efektif menjadi prasyarat mutlak untuk menciptakan efisiensi dan efektivitas dalam pelaksanaan proyek, dimana optimalisasi sumber daya dan penjadwalan yang tepat menjadi kunci pencapaian hasil yang maksimal. (Christalisana, 2018; Indrayani, 2022)

Namun demikian, realita di lapangan seringkali menunjukkan berbagai faktor multidimensi dapat menyebabkan penyimpangan jadwal proyek. Dampak dari keterlambatan proyek membawa konsekuensi finansial yang signifikan bagi semua pihak yang terlibat. Bagi kontraktor, keterlambatan berimplikasi pada meningkatnya biaya *overhead cost* dan potensi pembayaran denda keterlambatan, sementara bagi pemilik proyek (*owner*), kondisi ini berpotensi menimbulkan kerugian ekonomi (*loss of opportunities*) akibat tertundanya operasional bangunan dan hilangnya kesempatan menghasilkan pendapatan. (Maulana et al., 2024; Nurhikmah et al., 2025; Zhaputro et al., 2024)

Sebagai respons terhadap tantangan tersebut, percepatan proyek seringkali menjadi pilihan solusi untuk mengembalikan proyek pada jalur yang direncanakan. (Astuti et al., 2018; Laksana et al., 2018) Namun, penting untuk disadari bahwa akselerasi proyek tidak dapat dilakukan secara sembarangan, karena memampatkan durasi setiap tahapan pekerjaan akan berimplikasi langsung pada peningkatan biaya proyek, terutama biaya tambahan yang diperlukan untuk mendanai langkah-langkah percepatan tersebut. Pendekatan yang sistematis dan terukur diperlukan untuk menentukan strategi percepatan yang optimal, dimana pertukaran antara waktu dan biaya dapat dikelola sebaik-baiknya. (Dwijono, 2017)

Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) hadir sebagai sebuah kerangka sistematis untuk menangani permasalahan percepatan proyek. Metode TCTO pada dasarnya merupakan proses kompresi jadwal untuk menemukan titik keseimbangan yang optimal antara durasi dan biaya. (Erfaliani et al., 2024; Kustiani et al., 2016) Efektivitas metode TCTO telah terbukti melalui berbagai penelitian terdahulu pada beragam jenis

proyek konstruksi. Studi yang dilakukan oleh pada proyek rumah sakit oleh Hermawan et al., (2021) berhasil mempercepat durasi 25,71% dengan kenaikan biaya 11,25%. Penelitian Saragi & Situmorang, (2022) serta Risfawany K. S. et al., (2025) menyimpulkan bahwa penambahan tenaga kerja lebih ekonomis dan efisien daripada penambahan jam lembur. Sementara itu, studi Dayunita et al., (2024) menemukan bahwa percepatan dengan 4 jam lembur justru lebih efisien, meningkatkan efisiensi waktu 30,1% dengan kenaikan biaya hanya 2,86%.

Berdasarkan penelitian terdahulu, teridentifikasi celah untuk mengeksplorasi perbandingan yang lebih komprehensif antar alternatif percepatan. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengaplikasikan metode TCTO pada proyek yang mengalami keterlambatan dan mengakibatkan deviasi progres mingguan bernilai negatif sehingga menghambat rangkaian pekerjaan yang saling berketergantungan. Penelitian akan menganalisis pertukaran waktu dan biaya dengan membandingkan tiga strategi percepatan, yaitu penambahan jam kerja, penambahan shift kerja, serta penambahan tenaga kerja dan alat berat, guna mencapai keseimbangan optimal yang menghasilkan total biaya proyek paling ekonomis dengan durasi tercepat.

## METODE PENELITIAN

### Tempat dan Waktu Penelitian

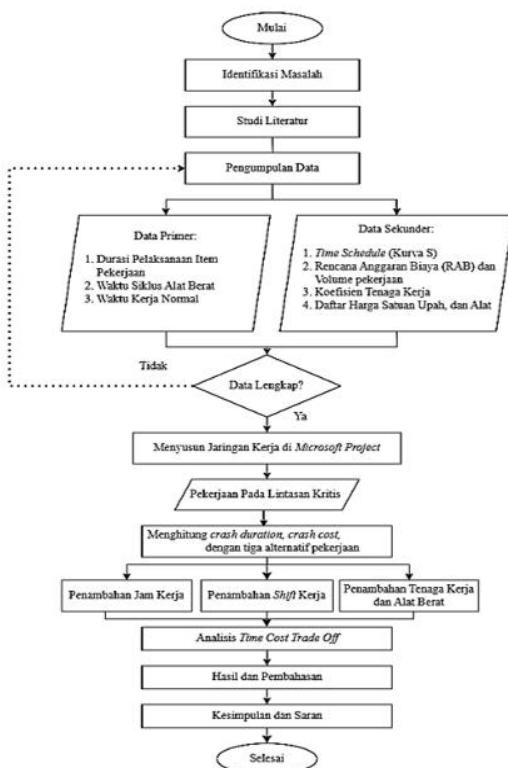
Lokasi penelitian berada di Proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 Institut Teknologi Sumatera, Kabupaten Lampung Selatan.



Gambar 1. Lokasi Penelitian

### Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menerapkan metode TCTO untuk menganalisis keseimbangan optimal antara waktu dan biaya pada proyek konstruksi.

**Gambar 2.** Bagan Alir

Pengumpulan data dilakukan terhadap data primer dari wawancara dengan pihak kontraktor meliputi durasi pelaksanaan item pekerjaan, waktu siklus alat berat, dan waktu kerja normal; serta data sekunder yang meliputi time schedule (Kurva S), Rencana Anggaran Biaya (RAB), volume pekerjaan, koefisien tenaga kerja, dan daftar harga satuan upah dan alat yang bersumber dari dokumen proyek dan peraturan terkait.

### Metode Analisis Data

1. Penyusunan Jaringan Kerja: Menggunakan *Microsoft Project* untuk mengidentifikasi pekerjaan pada lintasan kritis
2. Perhitungan *Normal Duration* dan *Normal Cost*: *Normal duration* berdasarkan jadwal proyek. *Normal cost* dihitung dari RAB dengan komposisi: Biaya Langsung =  $90\% \times \text{RAB}$  (1)
3. Analisis Tiga Alternatif Percepatan
  - a) Penambahan Jam Kerja:  
Produktivitas Harian =  $\text{Vol} \div \text{Durasi Normal}$  (4)
  - Produktivitas Percepatan =  $\text{Prod. harian} + (\text{prod./jam} \times \text{prestasi kerja} \times \text{jam lembur})$  (5)
  - $\text{Crash Cost} = \text{Jumlah upah harian} \times \text{Jumlah tenaga kerja} \times \text{Crash duration}$  (6)

*Crash cost* dengan upah lembur 1,5 kali (jam pertama) dan 2 kali (jam berikutnya)

Penambahan jam lembur diasumsikan selama empat jam setelah jam kerja normal. Produktivitas tenaga kerja mengalami penurunan 40% dari produktivitas normal sehingga prestasi kerja menjadi 60%.

#### b) Penambahan *Shift* Kerja

$$\text{Produktivitas Shift Malam} = 85\% \times \text{Produktivitas Per Jam} \times \text{Jam kerja} \quad (7)$$

$$\text{Crash Cost} = (\text{Upah normal} + \text{Upah shift malam}) \times \text{Crash duration} \times \text{Jumlah tenaga kerja} \quad (8)$$

*Crash cost* termasuk tambahan 15% upah *shift* malam

#### c) Penambahan Tenaga Kerja dan Alat

$$\text{Jumlah Tenaga Kerja} = [\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{volume}] \div \text{Durasi normal} \quad (9)$$

$$\text{Tambahan Tenaga Kerja} = 25\% \times \text{Jumlah Tenaga Kerja} \quad (10)$$

$$\text{Produktivitas Percepatan} = \text{Produktivitas harian} + ([\text{Produktivitas harian} \times \text{tambahan tenaga kerja}] \div \text{Jumlah tenaga kerja normal}) \quad (11)$$

### 4. Perhitungan *Crash Duration*

$$\text{Crash Duration} = \text{Volume} \div \text{Produktivitas harian percepatan} \quad (12)$$

### 5. Analisis *Time Cost Trade Off*: Perbandingan efisiensi masing-masing alternatif dengan menghitung:

$$\text{Efisiensi Waktu} = [(\text{Waktu normal} - \text{Waktu Percepatan}) \div \text{Waktu normal}] \times 100\% \quad (13)$$

$$\text{Efisiensi Biaya} = [(\text{Biaya percepatan} - \text{Biaya normal}) \div \text{Biaya normal}] \times 100\% \quad (14)$$

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Penyusunan Jaringan Kerja, Perhitungan *Normal Duration* dan *Normal Cost*

Dari hasil penyusunan jaringan kerja, beberapa item pekerjaan berada pada lintasan kritis. Normal duration penyelesaian pekerjaan selama 224 hari dengan biaya sebagai berikut:

- Biaya Langsung = 15.234.834.871
- Biaya Tidak Langsung Rp 1.692.759.430
- Biaya Total = Rp 16.927.594.301

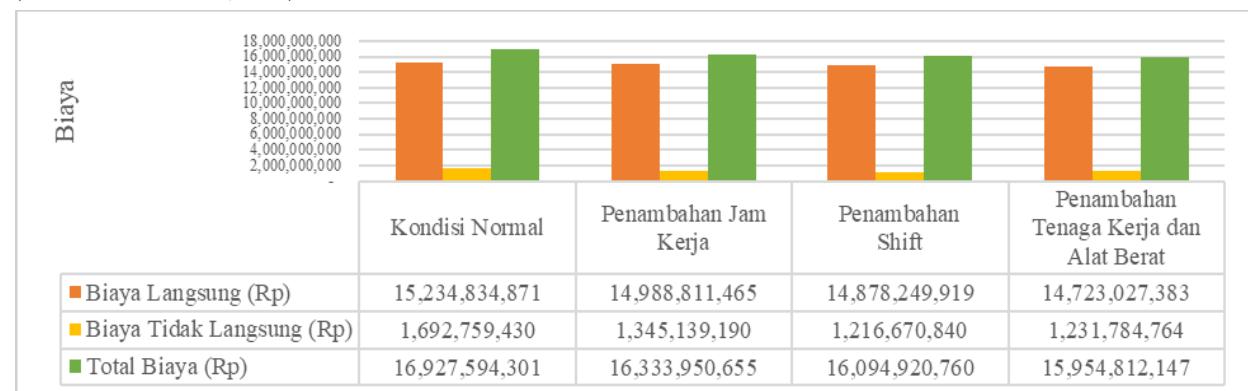
### Analisis Tiga Alternatif Percepatan

Analisis percepatan dilakukan dengan tiga opsi untuk pekerjaan-pekerjaan yang berada pada lintasan kritis. Perhitungan *crash duration* dan *crash cost* untuk setiap alternatif terhadap kondisi normal direkapitulasi pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Perbandingan Waktu dan Biaya Pada Kondisi Normal dan Alternatif Percepatan

Uraian Pekerjaan	Kondisi Normal		Penambahan Jam Kerja		Penambahan Shift		Penambahan TK & Alat	
	Duration (Hari)	Cost (Rp)	Crash Duration	Crash Cost (Rp)	Crash Duration	Crash Cost (Rp)	Crash Duration	Crash Cost (Rp)
<b>Pekerjaan Struktur Bawah</b>								
<b>Pekerjaan Bore Pile</b>	36	433.908.000	24	445.300.500	19	409.008.250	16	383.696.000
<b>Pekerjaan Lantai I</b>								
<b>Pekerjaan Pilecap</b>	60	52.200.000	48	80.925.000	38	71.079.000	46	52.440.000
<b>Pekerjaan Tie Beam</b>	168	104.360.000	131	159.126.875	104	140.266.000	122	104.110.000
<b>Pekerjaan Kolom Pedestal</b>	78	40.440.000	61	61.306.250	48	53.578.000	56	39.420.000
<b>Pekerjaan Kolom Precast</b>	24	78.378.000	17	71.862.500	14	66.597.000	13	53.752.000
<b>Pekerjaan Lantai 2</b>								
<b>Pekerjaan Balok Precast</b>	23	182.716.000	9	110.586.750	7	99.721.000	6	109.374.000
<b>Pekerjaan Halfslab Precast</b>	45	420.492.000	22	169.329.625	16	138.354.000	15	129.453.000
<b>Pekerjaan Kolom Precast</b>	24	78.378.000	17	71.862.500	17	66.597.000	13	53.752.000
<b>Pekerjaan Lantai 3</b>								
<b>Pekerjaan Balok Precast</b>	9	71.028.000	3	36.537.750	2	28.246.000	2	31.068.000
<b>Pekerjaan Half slab Precast</b>	36	224.244.000	26	206.668.750	18	180.895.000	15	182.295.000
<b>Pekerjaan Kolom Precast</b>	24	78.378.000	17	71.862.500	17	66.597.000	13	53.302.000
<b>Pekerjaan Lantai 4</b>								
<b>Pekerjaan Balok Precast</b>	9	71.028.000	3	36.537.750	2	28.246.000	2	31.068.000
<b>Pekerjaan Halfslab Precast</b>	27	149.196.000	19	186.402.400	12	67.309.000	11	97.977.000
<b>Pekerjaan Kolom Precast</b>	24	78.378.000	17	71.862.500	14	66.597.000	13	53.302.000
<b>Pekerjaan Lantai Top Floor</b>								
<b>Pekerjaan Balok Precast</b>	13	103.544.000	7	86.234.500	6	85.621.000	5	78.270.000
<b>Pekerjaan Slab Bondek</b>	24	28.615.000	20	46.177.625	16	42.043.500	19	32.780.000
<b>Pekerjaan Screed</b>	14	34.230.000	12	56.846.250	10	62.567.500	13	23.230.000
<b>Pekerjaan Saluran</b>								
<b>Pekerjaan Saluran</b>	50	76.945.000	43	122.606.250	36	141.664.000	45	83.945.000
<b>TOTAL</b>	<b>224</b>	<b>2.307.458.000</b>	<b>178</b>	<b>2.061.434.625</b>	<b>161</b>	<b>1.950.789.750</b>	<b>163</b>	<b>1.795.634.000</b>

(sumber: hasil analisis, 2025)

**Gambar 3.** Perbandingan Biaya

## Perbandingan Akhir dan Efisiensi

Setelah seluruh pekerjaan kritis dianalisis, dilakukan perhitungan biaya total dan efisiensi untuk setiap alternatif. Hasil perbandingannya disajikan dalam Gambar 3 dan Tabel 2.

**Tabel 2.** Rekapitulasi Efisiensi Waktu dan Biaya

Alternatif Percepatan	Durasi (hari)	Efisiensi Waktu (%)	Efisiensi Biaya (%)
Kondisi Normal	224	-	-
Penambahan Jam Kerja	178	20,536	3,507
Penambahan Shift	161	28,125	4,919
Penambahan Tenaga Kerja dan Alat Berat	163	27,232	5,747

(sumber: hasil analisis, 2025)

Berdasarkan hasil analisis yang diperoleh, ketiga alternatif percepatan terbukti mampu mempersingkat durasi dan mengoptimalkan biaya total proyek jika dibandingkan dengan kondisi normal, meskipun setiap alternatif memiliki karakteristik, implikasi biaya, dan tingkat efektivitas yang berbeda.

Alternatif pertama, yaitu penambahan 4 jam kerja setelah jam kerja normal. Strategi ini berhasil memangkas durasi proyek dari 224 hari menjadi 178 hari, menghasilkan efisiensi waktu sebesar 20,54%. Meskipun terjadi peningkatan pada biaya langsung akibat pembayaran upah lembur yang lebih besar, pengurangan durasi proyek secara keseluruhan berhasil menekan biaya tidak langsung seperti biaya sewa alat, pengawasan, dan overhead proyek lainnya sehingga tetap menghasilkan efisiensi biaya total sebesar 3,51%. Namun, kelemahan utama dari alternatif ini adalah penurunan produktivitas tenaga kerja sebesar 40% selama jam lembur yang berpotensi meningkatkan risiko kelelahan dan penurunan kualitas kerja jika diterapkan dalam jangka panjang.

Alternatif kedua, yaitu penambahan shift kerja, menerapkan sistem kerja dua shift dengan shift malam berdurasi 6 jam. Strategi ini terbukti paling efektif dalam mempersingkat waktu, dengan durasi proyek hanya 161 hari atau efisiensi waktu tertinggi sebesar 28,13%. Pencapaian ini dimungkinkan karena hari kerja menjadi lebih panjang, meskipun produktivitas shift malam hanya 85% dari shift normal. Efisiensi waktu yang signifikan ini berdampak langsung pada pengurangan biaya tidak langsung yang sangat besar, sehingga secara keseluruhan alternatif ini menghasilkan efisiensi biaya sebesar 4,92%.

Namun terdapat tantangan dalam pengelolaan logistik dan koordinasi antar shift, serta memastikan kondisi kerja yang aman dan terkendali selama shift malam berlangsung.

Tingkat efisiensi yang dihasilkan dalam penelitian ini konsisten dengan kisaran hasil penelitian sebelumnya, percepatan dengan lembur 4 jam pada penelitian menghasilkan efisiensi waktu yang lebih tinggi (30,1%), namun dengan penambahan biaya yang sebanding (2,86%) dan penelitian yang melaporkan efisiensi lebih rendah (4,88%) dengan penambahan biaya 0,55%. Sementara untuk sistem shift, performa biaya dalam penelitian ini (efisiensi 4,92%) terbukti lebih baik dibandingkan temuan yang justru mengalami kenaikan biaya 11,25%, yang mungkin disebabkan oleh struktur biaya tidak langsung dan produktivitas shift yang berbeda pada proyek yang dianalisis.

Alternatif ketiga, yaitu penambahan tenaga kerja dan alat berat, terbukti sebagai pilihan paling optimal dalam keseluruhan analisis. Strategi ini berhasil mengurangi durasi proyek menjadi 163 hari setara dengan efisiensi waktu 27,23% sekaligus menghasilkan efisiensi biaya total tertinggi sebesar 5,75%. Kelebihan biaya ini terutama bersumber dari berkurangnya durasi penyewaan alat berat, yang nilainya jauh lebih besar daripada tambahan biaya untuk merekrut tenaga kerja baru. Temuan ini konsisten dengan penelitian yang juga menempatkan strategi penambahan sumber daya sebagai solusi yang efisien. Kondisi ini mengindikasikan bahwa meskipun penambahan sumber daya memerlukan biaya awal yang besar, dampaknya terhadap percepatan durasi dan penghematan biaya tidak langsung seringkali lebih menguntungkan dalam jangka panjang proyek.

## KESIMPULAN

Berdasarkan analisis *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada proyek Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik (GLT) 4 ITERA, disimpulkan bahwa dari tiga alternatif strategi percepatan yang diteliti, penambahan tenaga kerja dan alat berat merupakan pilihan paling optimal. Strategi ini berhasil mencapai keseimbangan terbaik dengan mempersingkat durasi proyek menjadi 163 hari (efisiensi waktu 27,23%) sekaligus menghasilkan penghematan biaya total tertinggi sebesar 5,75%. Keunggulan strategi ini terutama disebabkan oleh penghematan biaya tidak langsung, khususnya pada biaya sewa alat berat, yang nilainya jauh lebih besar daripada tambahan biaya untuk tenaga kerja.

Sebagai perbandingan, alternatif penambahan shift kerja memang menghasilkan durasi tercepat

(161 hari), namun efisiensi biayanya lebih rendah. Sementara itu, alternatif penambahan jam lembur meskipun tetap lebih baik dari kondisi normal, merupakan pilihan yang paling tidak efisien dibandingkan dua alternatif lainnya dalam aspek waktu dan biaya. Keberhasilan suatu strategi percepatan sangat bergantung pada karakteristik spesifik proyek, dan metode TCTO memberikan pendekatan yang sistematis untuk menentukan pilihan tersebut.

## DAFTAR PUSTAKA

- Astuti, R. D., Chayati, N., & Taqwa, F. M. L. (2018). Pengendalian Waktu Proyek pada Pembangunan Atap Stadion Renang Aquatic Senayan dengan Metode Critical Path Method. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana, Departemen Teknik Sipil FT-UI, Depok*.
- <https://tinyurl.com/waktu-raastuti>
- Christalisana, C. (2018). Pengaruh Pengalaman dan Karakter Sumber Daya Manusia Konsultan Manajemen Konstruksi terhadap Kualitas Pekerjaan pada Proyek di Kabupaten Pandeglang. *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil*, 7(1).
- <https://doi.org/10.36055/JFT.V7I1.3305>
- Dayunita, W., Pramanda, H., Ariansyah, D., & Bunyamin, B. (2024). Analisa Penambahan Waktu Kerja (Jam Lembur) terhadap Biaya Pelaksanaan Proyek dengan Metode Time Cost Trade Off (Study Kasus Gedung Badan Kepegawaian Aceh). *Journal of Planning and Research in Civil Engineering*, 3(3), 452–458.
- <https://doi.org/10.55616/prince.V3I3.841>
- Dwijono, D. (2017). Optimalisasi Waktu Percepatan dan Biaya Kegiatan di dalam Metode Jalur Kritis dengan Pemrograman Linier. *Jurnal Terapan Teknologi Informasi*, 1(1).
- <https://doi.org/10.21460/JUTEI.2017.11.4>
- Erfaliani, A. P., Pradika, J. D., Hendriyani, I., & Pratiwi, R. (2024). Analisis Waktu dan Biaya pada Proyek Pembangunan Pasar Induk Senaken Kabupaten Paser dengan Metode Time Cost Trade Off (TCTO). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 297–308.
- <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15938>
- Hermawan, M. R., Ridwan, A., & Suwarno, S. (2021). Mengurangi Durasi Pelaksanaan Proyek Dengan Menggunakan Metode Time Cost Trade Off. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 4(2), 13–26.
- <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v4i2.1829>
- Indrayani, N. L. A. (2022). Penerapan Sistem Enterprise Resource Planning (ERP) pada Perusahaan Jasa Konstruksi. *CRANE: Civil Engineering Research Journal*, 3(2), 11–16.
- <https://doi.org/10.34010/crane.v3i2.8159>
- Kustiani, I., Siregar, A. M., & Mela, A. F. (2016). Analisis Time Cost Trade Off untuk Mengejar Keterlambatan Pelaksanaan Proyek di Bandar Lampung. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Lampung*, 20(2).
- <http://ft-sipil.unila.ac.id/ejournals/index.php/jrekayas/a/article/view/238>
- Laksana, B. I., Wijatmiko, I., & Hasyim, M. H. (2018). Aplikasi Metode Time Cost Trade Off Untuk Mengoptimalkan Waktu Dan Biaya Pekerjaan Proyek Pada Pembangunan Gedung Pengairan Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil*, 1(3), 1209–1214.
- <https://sipil.studentjournal.ub.ac.id/index.php/jmts/article/view/736>
- Maulana, F., Handayani, T. N., & Sulistyo, D. (2024). Implementasi Metode Time Cost Trade-Off Pembangunan Gedung Pabrik Manufaktur (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Pabrik PT. Atmi Kreasi Prima). *Symposium Nasional Teknologi Infrastruktur*, 23(4), 5641–5646.
- <https://doi.org/10.26418/JTS.V23I4.71535>
- Nurafifah, N. M., Dewita, H., Sembiring, K., & Jagakarsa, T. (2025). Analisis Waktu pada Pekerjaan Tambahan Proyek Pembangunan Gedung PT. Petrokimia Gresik. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9(1), 101–108.
- <https://doi.org/10.32832/komposit.v9i1.16449>
- Nurhikmah, S., Dewita, H., & Sembiring, K. (2025). Analisis Biaya dan Waktu Percepatan Proyek Pembangunan Rusun At-Tanwir Cianjur dengan Penambahan Jam Kerja Menggunakan Metode TCTO. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9(2), 283–292.
- <https://doi.org/10.32832/komposit.v9i2.17785>
- Risfawany K. S., L. D., Latupeirissa, J. E., &

- Mandoa, C. (2025). Perbandingan Efisiensi Waktu dan Tenaga Kerja Menggunakan Metode Time Trade Off. *Jurnal Karajata Engineering*, 5(2), 197–208.  
<https://doi.org/10.31850/karajata.v5i2.3896>
- Salindeho, C. G., Pratasik, P. A. K., & Sumanti, F. P. Y. (2022). Optimasi Waktu Dan Biaya Menggunakan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Peningkatan Ruas Jalan Tondano - Kembes - Manado Seksi II. *TEKNO*, 20(81).  
<https://doi.org/10.35793/JTS.V20I81.42087>
- Saragi, T. E., & Situmorang, R. U. A. (2022). Optimasi Waktu Dan Biaya Percepatan Proyek Menggunakan Metode Time Cost Trade Off Dengan Alternatif Penambahan Tenaga Kerja Dan Jam Kerja (Lembur) (Studi Kasus : Pembangunan Gedung Convention Hall Kab. Deli Serdang). *Construct: Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 53–69.  
<http://repository.uhn.ac.id/handle/123456789/6146>
- Zhaputro, M. A. D., Darjanto, H., & Nugrahini, F. C. (2024). Penerapan Metode Time Cost Trade Off untuk Optimasi Biaya dan Waktu pada Pengaruh Redesign Struktur Bawah (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Klinik Utama Mata Jec Java @Pasuruan Tahap 1). *Journal of Manufacturing in Industrial Engineering & Technology*, 3(2), 93–106.  
<https://doi.org/10.30651/mine-tech.v3i2.24621>