JURNAL ILMIAH TEKNIK UNMAS
Vol. 6, No. 2, Oktober 2026

ISSN : 2797-2992
e-ISSN : 3124-2871

ANALISIS PERCEPATAN WAKTU PROYEK KONSTRUKSI MENGGUNAKAN METODE *TIME COST TRADE OFF*

(Studi Kasus: Pembangunan Gedung Lantai II (8 RKB, Tangga) SDN 17 Pemecutan)

I Gede Angga Diputera[1], I Putu Yana Hermawan[2*], Yohanes Frederik Angkardas[3]

[1,2,3]Program Studi Teknik, Sipil Fakultas Teknik, Universitas Mahasaraswati Denpasar
[*]Email: yanahermawan@unmas.ac.id

ABSTRAK: Keterlambatan pada aktivitas kritis proyek konstruksi menunda penyelesaian keseluruhan proyek dan berpotensi meningkatkan biaya, sementara studi terapan yang membandingkan alternatif percepatan pada proyek gedung sekolah bertingkat masih terbatas. Kondisi ini relevan pada pembangunan Gedung Lantai II (8 RKB dan tangga) SDN 17 Pemecutan yang memiliki batas waktu penyelesaian untuk memenuhi kebutuhan fasilitas pendidikan masyarakat. Penelitian ini bertujuan menganalisis perubahan durasi dan biaya optimum akibat percepatan proyek menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Penelitian menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif dengan data sekunder berupa Rencana Anggaran Biaya (RAB), *time schedule* rencana dan realisasi, serta Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Lintasan kritis diidentifikasi dengan *network planning* pada *Microsoft Project*, kemudian alternatif penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja dievaluasi berdasarkan *cost slope*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 18 dari 76 item pekerjaan berada pada lintasan kritis. Penambahan tenaga kerja menghasilkan durasi dan biaya optimum, yaitu durasi proyek menjadi 72 hari kerja dari 77 hari kerja (efisiensi waktu 5 hari atau 6,49%) dan total biaya Rp1.200.794.992,91 dari biaya normal Rp1.209.313.345,38 (penghematan Rp8.518.352,47 atau 0,70%), sedangkan lembur menghemat biaya 0,55%. Dapat disimpulkan bahwa metode TCTO dapat digunakan untuk menentukan alternatif percepatan yang menyeimbangkan waktu dan biaya proyek, dengan penambahan tenaga kerja sebagai alternatif terbaik pada kasus ini.

Kata Kunci: *Time Cost Trade Off*, Percepatan Proyek, Lintasan Kritis, *Network Planning*, Biaya Proyek.

ABSTRACT: *Delays in critical activities of a construction project postpone the overall completion and may increase project cost, while applied studies comparing acceleration alternatives for multi-storey school building projects remain limited. This issue is relevant to the construction of the Second-Floor Building (8 Classrooms and Staircase) at SDN 17 Pemecutan, which has a completion deadline to meet the educational facility needs of the community. This study aims to analyze the changes in project duration and optimum cost resulting from project acceleration using the Time Cost Trade Off (TCTO) method. A quantitative descriptive approach was applied using secondary data, namely the Budget Plan (RAB), the planned and actual time schedule, and the Unit Price Analysis (AHSP). The critical path was identified through network planning in Microsoft Project, and the alternatives of additional working hours (overtime) and additional workers were evaluated using cost slope. The results show that 18 of the 76 work items are on the critical path. Adding workers produced the optimum duration and cost: the project duration decreased from 77 to 72 working days (a time efficiency of 5 days or 6.49%), and the total cost was Rp1,200,794,992.91 compared with the normal cost of Rp1,209,313,345.38 (a saving of Rp8,518,352.47 or 0.70%), whereas overtime saved 0.55% of cost. It is concluded that the TCTO method can be used to determine an acceleration alternative that balances project time and cost, with additional workers as the best alternative in this case.*

Keywords*: Time Cost Trade Off, Project Acceleration, Critical Path, Network Planning, Project Cost.*

PENDAHULUAN

Gedung sekolah merupakan infrastruktur sosial yang menentukan keberlangsungan kegiatan belajar mengajar. Pembangunan Gedung Lantai II (8 RKB dan tangga) SDN 17 Pemecutan dilaksanakan untuk meningkatkan mutu pendidikan dan mendukung kegiatan belajar mengajar yang semakin meningkat. Proyek ini memiliki batas waktu penyelesaian yang ketat karena fasilitas tersebut dibutuhkan oleh masyarakat setempat, sehingga ketepatan waktu menjadi sasaran utama pelaksanaannya.

Keterlambatan merupakan fenomena yang berulang pada proyek konstruksi, termasuk proyek gedung pendidikan. Survei terhadap 130 responden pada proyek gedung pendidikan di Mesir mengidentifikasi 40 penyebab keterlambatan dan pembengkakan biaya (Gebrel et al., 2021), sedangkan studi pada proyek sekolah di Najaf menemukan bahwa keterlambatan dipicu antara lain oleh keterlambatan pembayaran kontraktor, kesalahan desain, dan kurangnya pengalaman kontraktor (Gashayyish et al., 2022). Di Indonesia, tinjauan sistematis atas publikasi

nasional periode 2017–2025 menunjukkan bahwa keterlambatan dan pembengkakan biaya saling berkaitan erat dengan pemicu utama berupa perencanaan yang lemah, ketersediaan dan kompetensi tenaga kerja yang tidak memadai, serta cuaca (Nirwasitha & Rosyanti, 2025).

Dampak keterlambatan tersebut nyata. Pada proyek rusun dosen, dampak terbesar keterlambatan adalah kenaikan biaya di atas perkiraan awal (Satori et al., 2024). Pada proyek sekolah, keterlambatan juga menunda pemanfaatan ruang kelas, mengganggu kegiatan belajar mengajar, dan memperpanjang pengeluaran biaya tak langsung proyek. Oleh karena itu, ketika jadwal terancam, kontraktor perlu mempercepat aktivitas kritis secara terukur agar penambahan biaya tidak melampaui manfaat percepatan.

Percepatan durasi pada aktivitas kritis (*crashing*) merupakan respons yang lazim terhadap ancaman keterlambatan. Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) mempersingkat durasi aktivitas pada lintasan kritis berdasarkan nilai *cost slope* terkecil sehingga pertambahan biaya dapat ditekan (Abuhasel, 2023; Wang et al., 2021). Alternatif yang lazim digunakan di lapangan adalah penambahan jam kerja (lembur), penambahan tenaga kerja, dan penambahan shift kerja. Penelitian terkini di Indonesia menunjukkan hasil yang bervariasi: penambahan tenaga kerja dinilai lebih efisien pada proyek gedung TPQ dua lantai (Mudhoffar & Prafitasiwi, 2024) dan gedung Islamic Center (Taufiq et al., 2025); lembur 3 jam pada aktivitas kritis menurunkan durasi proyek dari 180 hari menjadi 145 hari (Mahendra et al., 2025a); lembur 4 jam dinilai lebih efisien pada proyek penanganan ruas jalan (Dwiyanti & Eliatun, 2026); sedangkan shift kerja lebih efisien daripada lembur pada proyek gedung rektorat (Sudianto et al., 2025) dan gedung di Banten (Mahendra et al., 2025b).

Berdasarkan telaah tersebut, terdapat tiga kesenjangan penelitian. Pertama, alternatif percepatan yang optimum tidak seragam antarstudi sehingga hasilnya tidak dapat digeneralisasi dan harus diuji pada setiap karakteristik proyek, terutama proyek gedung sekolah bertingkat yang aktivitas kritisnya didominasi pekerjaan bore pile, pembesian, dan beton struktur. Kedua, kajian optimasi berbasis algoritma metaheuristik (Eirgash, 2025; Wang et al., 2021) umumnya diuji pada masalah uji (*benchmark*) atau studi kasus berskala kecil, sehingga masih diperlukan studi terapan berbasis data proyek nyata, yaitu RAB, jadwal, dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Ketiga, percepatan proyek yang telah terlambat menuntut kesiapan manajerial yang masih jarang dikaji dibandingkan optimasi teknis penjadwalan (Wang et al., 2024).

Kebaruan penelitian ini terletak pada perbandingan langsung alternatif lembur dan penambahan tenaga kerja berdasarkan RAB, jadwal rencana dan realisasi, serta AHSP pada proyek gedung sekolah bertingkat dengan bantuan *Microsoft Project*. Penelitian ini bertujuan (1) mengidentifikasi aktivitas pada lintasan kritis, (2) menentukan perubahan durasi dan biaya penyelesaian proyek setelah percepatan dengan penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja, serta (3) menentukan alternatif percepatan yang memberikan hasil optimum dan ekonomis ditinjau dari aspek waktu dan biaya pada pembangunan Gedung Lantai II SDN 17 Pemecutan.

Proyek dan Manajemen Proyek

Proyek didefinisikan sebagai upaya sementara untuk menghasilkan produk, layanan, atau hasil yang unik (Project Management Institute, 2021). Proyek memiliki sasaran dan batas waktu yang jelas serta menuntut pengendalian terhadap waktu, biaya, dan mutu pekerjaan (Kerzner, 2022). Manajemen proyek mencakup perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian sumber daya agar sasaran tersebut dapat dicapai (Kerzner, 2022), dan perencanaan yang lemah merupakan salah satu pemicu utama keterlambatan di Indonesia (Nirwasitha & Rosyanti, 2025).

***Network Planning* dan Lintasan Kritis**

Network planning menyajikan aktivitas proyek dan keterkaitannya dalam diagram jaringan kerja berdasarkan urutan pelaksanaan yang logis sehingga perencanaan waktu dan biaya dapat dilakukan lebih efektif (Kerzner, 2022). Lintasan kritis adalah rangkaian aktivitas dengan durasi terpanjang pada diagram jaringan yang menentukan durasi keseluruhan proyek; keterlambatan pada aktivitas di lintasan ini akan menunda penyelesaian proyek (Sulistyo & Al Fikri, 2021). Penentuan lintasan kritis dan penerapan *crashing* dapat dilakukan dengan bantuan *Microsoft Project* (Mahendra et al., 2025b).

Time Cost Trade Off (TCTO)

TCTO adalah strategi mempercepat pelaksanaan proyek dengan memampatkan (*crashing*) durasi aktivitas pada lintasan kritis yang memiliki *cost slope* terkecil, sehingga durasi berkurang dengan tambahan biaya minimum (Abuhasel, 2023; Mudhoffar & Prafitasiwi, 2024). Percepatan umumnya meningkatkan biaya langsung, tetapi menurunkan biaya tak langsung karena durasi proyek lebih singkat; titik optimum dicapai ketika biaya total paling rendah (Kerzner, 2022). Pada pengambilan keputusan percepatan, mutu pekerjaan perlu dipertimbangkan bersama waktu dan biaya (Wang et al., 2021).

Alternatif Percepatan

Penambahan tenaga kerja meningkatkan produktivitas harian tanpa memperpanjang jam kerja, tetapi perlu direncanakan dengan memperhatikan ketersediaan ruang kerja, kompleksitas pekerjaan, efektivitas pengawasan, serta keselamatan dan kesehatan kerja, sejalan dengan pentingnya kesiapan perencanaan dan pengendalian kontraktor (Wang et al., 2024). Penambahan jam kerja (lembur) dibatasi paling lama 4 jam per hari dan 18 jam per minggu serta dibayar dengan upah lembur yang lebih tinggi daripada upah normal (Pemerintah Republik Indonesia, 2021, Pasal 26 dan 31). Produktivitas pada jam lembur bervariasi: studi lapangan di Indonesia melaporkan produktivitas per jam lembur yang sedikit lebih tinggi daripada jam normal dan dipengaruhi oleh upah, cuaca, kondisi area kerja, dan waktu istirahat (Tabita & Kartadipura, 2026; Yunita & Hidayat, 2024). Oleh karena itu, perhitungan alternatif lembur memerlukan asumsi koefisien produktivitas yang dinyatakan secara eksplisit.

METODE PENELITIAN

Desain dan Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif untuk menyajikan gambaran objektif mengenai durasi, biaya, dan hubungan keterkaitan antaraktivitas pada proyek konstruksi. Objek penelitian adalah pembangunan Gedung Lantai II (8 RKB dan tangga) SDN 17 Pemecutan dengan durasi normal 77 hari kerja dan biaya normal Rp1.209.313.345,38.

Data dan Teknik Pengumpulan Data

Data penelitian merupakan data kuantitatif sekunder, yaitu data numerik yang diperoleh dari dokumen proyek yang telah tersedia, baik yang dipublikasikan maupun yang tidak dipublikasikan secara umum. Pengumpulan data dilakukan melalui studi dokumen. Jenis dan sumber data disajikan pada Tabel 1.

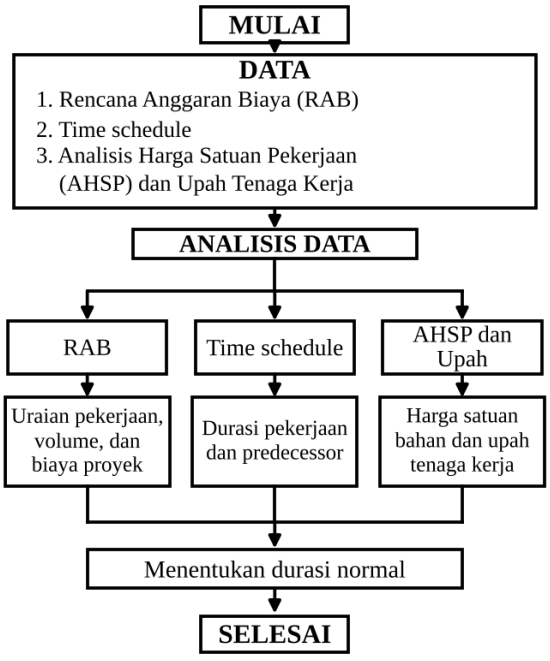
Tabel 1. Jenis dan Sumber Data

Data	Jenis Data	Sumber Data	Informasi yang Diperoleh
RAB	Kuantitatif	Sekunder	Uraian pekerjaan, volume pekerjaan, dan biaya proyek
Time schedule	Kuantitatif	Sekunder	Durasi pekerjaan dan *predecessor*
AHSP dan upah tenaga kerja	Kuantitatif	Sekunder	Harga satuan bahan dan upah tenaga kerja

Sumber: Dokumen proyek (diolah).

Tahapan Analisis

Analisis dilakukan melalui tahapan berikut, yang diringkas pada Gambar 1 (pengumpulan dan pengolahan data) dan Gambar 2 (analisis menggunakan *Microsoft Project*).



Gambar 1. Tahapan Pengumpulan dan Pengolahan Data



Gambar 2. Tahapan Analisis Menggunakan Microsoft Project

1. Mengumpulkan data sekunder berupa RAB, *time schedule* rencana dan realisasi, serta AHSP, kemudian menentukan durasi normal setiap item pekerjaan.
2. Menyusun *network planning* pada *Microsoft Project* melalui input kalender kerja, uraian dan durasi pekerjaan, hubungan keterkaitan (*predecessor*), sumber daya, dan progres realisasi.
3. Mengidentifikasi lintasan kritis, yaitu aktivitas yang menentukan durasi proyek, sebagai aktivitas yang dipercepat.
4. Menghitung durasi dan biaya percepatan pada alternatif penambahan tenaga kerja (Persamaan 1–2) dan penambahan jam kerja (Persamaan 3–10).
5. Menghitung *cost slope* (Persamaan 11), mengompresi durasi aktivitas kritis berdasarkan *cost slope* terendah, dan menentukan biaya tambahan (Persamaan 12).
6. Menghitung biaya langsung, biaya tak langsung, dan biaya total (Persamaan 13–14).
7. Membandingkan alternatif berdasarkan durasi, biaya total, serta efisiensi waktu dan biaya (Persamaan 15–16), kemudian menentukan alternatif optimum.

Penambahan Tenaga Kerja

Jumlah pekerja yang dibutuhkan pada durasi normal dan pada durasi percepatan dihitung dengan:

$$P_n = \frac{K \times V}{D_n} \quad (1)$$

$$P_c = \frac{K \times V}{D_c} \quad (2)$$

dengan P_n dan P_c masing-masing jumlah pekerja pada durasi normal dan durasi percepatan (orang), K koefisien pekerja (OH/satuan), V volume pekerjaan (satuan), serta D_n dan D_c masing-masing durasi normal dan durasi percepatan (hari).

Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Durasi percepatan (*crash duration*) ditentukan dari produktivitas harian, produktivitas per jam, dan produktivitas setelah lembur:

$$Q_h = \frac{V}{D_n} \quad (3)$$

$$Q_j = \frac{Q_h}{t} \quad (4)$$

$$Q_c = Q_h + \left(n \times Q_j \times k\right) \quad (5)$$

$$D_c = \frac{V}{Q_c} \quad (6)$$

dengan Q_h produktivitas harian (satuan/hari), Q_j produktivitas per jam (satuan/jam), t jam kerja normal per hari (jam), n jam lembur per hari (jam), k koefisien penurunan produktivitas akibat lembur (tanpa satuan), dan Q_c produktivitas harian setelah percepatan (satuan/hari). Perhitungan menggunakan t = 7 jam per hari, n = 2 jam per hari, dan k = 0,8 (tanpa satuan).

Biaya percepatan (*crash cost*) dihitung dari upah pekerja normal per hari, upah pekerja normal per jam, upah lembur, dan total biaya lembur:

$$U_h = Q_h \times u \quad (7)$$

$$U_j = Q_j \times u \quad (8)$$

$$U_L = \left(1{,}5 \times U_j\right) + \left(2 \times n \times U_j\right) \quad (9)$$

$$B_c = B_n + \left(U_L \times d_c\right) \quad (10)$$

dengan u upah pekerja per satuan pekerjaan (Rp/satuan), U_h upah pekerja normal per hari (Rp/hari), U_j upah pekerja normal per jam (Rp/jam), U_L upah lembur per hari (Rp/hari), B_n biaya normal (Rp), B_c biaya percepatan (Rp), dan d_c jumlah hari percepatan (*crashing*, hari).

***Cost Slope* dan Kompresi**

Cost slope menyatakan tambahan biaya per hari percepatan, sedangkan biaya tambahan

akibat kompresi adalah hasil kali *cost slope* dengan jumlah hari percepatan:

$$\mathrm{CS} = \frac{B_c - B_n}{D_n - D_c} \quad (11)$$

$$\Delta \mathrm{B} = \mathrm{CS} \times d_c \quad (12)$$

dengan *CS cost slope* (Rp/hari) dan ΔB biaya tambahan akibat kompresi (Rp).

Biaya Total dan Efisiensi

Biaya tak langsung diasumsikan berubah proporsional terhadap durasi proyek. Biaya total merupakan jumlah biaya langsung dan biaya tak langsung, sedangkan efisiensi waktu dan biaya dihitung terhadap kondisi normal:

$$\mathrm{BTL}_c = \mathrm{BTL}_n \times \frac{D_o}{D_n} \quad (13)$$

$$\mathrm{TC} = \mathrm{BL} + \mathrm{BTL} \quad (14)$$

$$E_w = \frac{D_n - D_o}{D_n} \times 100\% \quad (15)$$

$$E_b = \frac{\mathrm{TC}_n - \mathrm{TC}_o}{\mathrm{TC}_n} \times 100\% \quad (16)$$

dengan BTL_n dan BTL_c masing-masing biaya tak langsung kondisi normal dan setelah percepatan (Rp), D_o durasi proyek setelah percepatan (hari), *TC* biaya total (Rp), *BL* biaya langsung (Rp), *BTL* biaya tak langsung (Rp), TC_n dan TC_o masing-masing biaya total normal dan biaya total setelah percepatan (Rp), serta E_w dan E_b masing-masing efisiensi waktu dan efisiensi biaya (%).

HASIL

Lintasan Kritis

Berdasarkan analisis jaringan kerja menggunakan *Microsoft Project*, dari total 76 item pekerjaan terdapat 18 item pekerjaan yang berada pada lintasan kritis sehingga dipilih sebagai aktivitas yang dipercepat. Aktivitas tersebut terdiri atas 1 item pekerjaan pondasi, 9 item pekerjaan struktur Lantai I, dan 8 item pekerjaan struktur Lantai II (Tabel 2). Durasi normal proyek adalah 77 hari kerja.

Tabel 2. Aktivitas pada Lintasan Kritis

Uraian Pekerjaan	Durasi (hari)	*Predecessor*
A. Pek. Pondasi		
Pek. Galian Pile Cap	18	–
B. Pek. Struktur Lt. I		
Pek. Bore Pile	26	2SS
Pek. Besi D13	14	12FS-16 hari
Pek. Besi D16	13	15SS
Pek. Besi D16	13	16SS
Pek. Besi Ø8	1	21FF
Pek. Besi Ø10	2	25FF
Pek. Beton K-300	11	26SS
Pek. Wiremesh @ 1 Layer	13	30SS
Tulangan Sengkang Ø10	21	31SS
C. Pek. Struktur Lt. II		
Tulangan Sengkang Ø10	14	34FS-7 hari
Tulangan Sengkang Ø10	13	45SS
Tulangan Longitudinal Ø16	14	51SS
Tulangan Sengkang Ø10	11	52FS-7 hari
Tulangan Longitudinal Ø16	12	56SS
Pek. Beton K-300	6	62FS
Tulangan Sengkang Ø8	11	57FS-7 hari
Tulangan Longitudinal Ø16	14	61FS

Sumber: Hasil analisis.

Keterangan: SS = Start to Start; FS = Finish to Start; FF = Finish to Finish. Angka di depan jenis hubungan menunjukkan nomor aktivitas pendahulu, dan nilai negatif menunjukkan lead time dalam hari.

Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Crash duration adalah waktu tercepat yang dapat dicapai dalam menyelesaikan suatu aktivitas dengan alternatif percepatan tertentu. Hasil perhitungan *crash duration* dengan 2 jam lembur per hari disajikan pada Tabel 3. Seluruh aktivitas kritis dapat dipersingkat dengan jumlah percepatan (*crashing*) antara 1 hingga 5 hari.

Tabel 3. *Crash Duration* dengan 2 Jam Lembur

Uraian Pekerjaan	Durasi Normal (hari)	*Crash Duration* (hari)	*Crashing* (hari)
A. Pek. Pondasi			
Pek. Galian Pile Cap	18	14,651	4
B. Pek. Struktur Lt. I			
Pek. Bore Pile	26	21,163	5
Pek. Besi D13	14	11,395	3
Pek. Besi D16	13	10,581	3
Pek. Besi D16	13	10,581	3
Pek. Besi Ø8	1	0,814	1
Pek. Besi Ø10	2	1,628	1
Pek. Beton K-300	11	8,953	3
Pek. Wiremesh @ 1 Layer	13	10,581	3
Tulangan Sengkang Ø10	21	17,093	4
C. Pek. Struktur Lt. II			
Tulangan Sengkang Ø10	14	11,395	3
Tulangan Sengkang Ø10	13	10,581	3
Tulangan Longitudinal Ø16	14	11,395	3
Tulangan Sengkang Ø10	11	8,953	2
Tulangan Longitudinal Ø16	12	9,767	3
Pek. Beton K-300	6	4,884	2
Tulangan Sengkang Ø8	11	8,953	2
Tulangan Longitudinal Ø16	14	11,395	3

Keterangan: *Crashing* adalah jumlah hari percepatan yang digunakan pada perhitungan biaya lembur. Sumber: Hasil analisis.

Crash cost adalah biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan aktivitas pada durasi percepatan, yaitu biaya normal ditambah total biaya lembur (Tabel 4).

Tabel 4. Crash Cost

No	Uraian Pekerjaan	Biaya Normal (Rp)	Total Biaya Lembur (Rp)	Biaya Percepatan (Rp)
A. Pek. Pondasi				
1	Pek. Galian Pile Cap	1.163.916	376.514	1.540.430
B. Pek. Struktur Lt. I				
1	Pek. Bore Pile	149.335.242	1.883.554	151.218.796
2	Pek. Besi D13	5.839.611	1.694.962	7.534.574
3	Pek. Besi D16	10.408.313	2.824.741	13.233.055
4	Pek. Besi D16	26.881.368	6.214.076	33.095.444
5	Pek. Besi Ø8	178.786	188.296	367.083
6	Pek. Besi Ø10	348.898	188.296	537.194
7	Pek. Beton K-300	27.900.399	1.694.667	29.595.067
8	Pek. Wiremesh @ 1 Layer	23.730.599	1.694.962	25.425.561
9	Tulangan Sengkang Ø10	20.947.827	4.519.507	25.467.334
C. Pek. Struktur Lt. II				
1	Tulangan Sengkang Ø10	16.890.684	3.954.519	20.845.204
2	Tulangan Sengkang Ø10	15.651.086	3.954.519	19.605.605
3	Tulangan Longitudinal Ø16	22.622.181	5.084.298	27.706.479
4	Tulangan Sengkang Ø10	4.291.603	941.560	5.233.164
5	Tulangan Longitudinal Ø16	12.322.287	3.389.630	15.711.917
6	Pek. Beton K-300	10.539.760	470.760	11.010.521
7	Tulangan Sengkang Ø8	9.148.959	1.883.160	11.032.120
8	Tulangan Longitudinal Ø16	25.004.348	5.649.187	30.653.535

Sumber: Hasil analisis.

Cost slope menyatakan peningkatan biaya per hari akibat percepatan. Hasil perhitungan yang diurutkan dari nilai terkecil disajikan pada Tabel 5; nilainya berkisar antara Rp112.431,35 hingga Rp2.568.861,84 per hari.

Tabel 5. Cost Slope

No	Uraian Pekerjaan	*Cost Slope* (Rp/hari)
1	Pek. Galian Pile Cap (Pondasi)	112.431,35
2	Pek. Bore Pile (Lt. I)	389.405,33
3	Pek. Beton K-300 (Lt. II)	421.828,59
4	Tulangan Sengkang Ø10 (Lt. II)	459.971,04
5	Pek. Besi Ø10 (Lt. I)	506.173,20
6	Pek. Besi D13 (Lt. I)	650.657,39
7	Pek. Wiremesh M6 @ 1 Layer (Lt. I)	700.687,06
8	Pek. Beton K-300 (Lt. I)	827.878,78
9	Tulangan Sengkang Ø8 (Lt. II)	919.961,27
10	Pek. Besi Ø8 (Lt. I)	1.012.346,40
11	Tulangan Sengkang Ø10 (Lt. I)	1.156.771,73
12	Pek. Besi D16 (Lt. I)	1.167.730,91
13	Tulangan Longitudinal Ø16 (Lt. II)	1.517.971,50
14	Tulangan Sengkang Ø10 (Lt. II)	1.518.049,77
15	Tulangan Sengkang Ø10 (Lt. II)	1.634.774,55
16	Tulangan Longitudinal Ø16 (Lt. II)	1.951.745,95
17	Tulangan Longitudinal Ø16 (Lt. II)	2.168.594,05
18	Pek. Besi D16 (Lt. I)	2.568.861,84

Sumber: Hasil analisis.

Aktivitas dengan *cost slope* terendah, yaitu Pek. Galian Pile Cap, tidak dikompresi karena berjalan paralel dengan Pek. Bore Pile (26 hari) yang lebih panjang sehingga pemendekannya tidak mengurangi durasi proyek. Kompresi dilakukan pada aktivitas Pek. Bore Pile dengan *cost slope* Rp389.405,33 per hari. Waktu normal aktivitas 26 hari dengan *crash duration* 21,163 hari, sehingga *crashing* sebesar 5 hari dan durasi proyek menjadi 72 hari (77 hari − 5 hari). Biaya tambahan sebesar Rp1.947.026,64 menghasilkan biaya langsung Rp1.078.235.904,03. Dengan biaya tak langsung Rp124.386.515,52, biaya total alternatif lembur adalah Rp1.202.622.419,55 (Tabel 8).

Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Total upah pekerja pada kondisi normal dan setelah percepatan masing-masing disajikan pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Total Upah Pekerja Kondisi Normal

No	Uraian Pekerjaan	Total Upah (Rp)
A. Pek. Pondasi		
1	Pek. Galian Pile Cap	2.156.400,00
B. Pek. Struktur Lt. I		
1	Pek. Bore Pile	12.465.700,00
2	Pek. Besi D13	10.067.050,00
3	Pek. Besi D16	15.578.875,00
4	Pek. Besi D16	37.387.025,00
5	Pek. Besi Ø8	239.650,00
6	Pek. Besi Ø10	479.300,00
7	Pek. Beton K-300	7.908.450,00
8	Pek. Wiremesh @ 1 Layer	9.347.975,00
9	Tulangan Sengkang Ø10	30.198.525,00
C. Pek. Struktur Lt. II		

No	Uraian Pekerjaan	Total Upah (Rp)
1	Tulangan Sengkang Ø10	23.487.450,00
2	Tulangan Sengkang Ø10	21.809.775,00
3	Tulangan Longitudinal Ø16	30.197.650,00
4	Tulangan Sengkang Ø10	7.909.825,00
5	Tulangan Longitudinal Ø16	20.132.350,00
6	Pek. Beton K-300	3.594.900,00
7	Tulangan Sengkang Ø8	13.182.125,00
8	Tulangan Longitudinal Ø16	33.552.750,00

Sumber: Hasil analisis.

Tabel 7. Total Upah Pekerja Setelah Percepatan

No	Uraian Pekerjaan	Total Upah (Rp)
A. Pek. Pondasi		
1	Pek. Galian Pile Cap	3.354.400,00
B. Pek. Struktur Lt. I		
1	Pek. Bore Pile	12.585.300,00
2	Pek. Besi D13	10.545.975,00
3	Pek. Besi D16	16.776.750,00
4	Pek. Besi D16	37.147.500,00
5	Pek. Besi Ø8	239.650,00
6	Pek. Besi Ø10	479.425,00
7	Pek. Beton K-300	7.668.400,00
8	Pek. Wiremesh @ 1 Layer	9.587.250,00
9	Tulangan Sengkang Ø10	28.520.475,00
C. Pek. Struktur Lt. II		
1	Tulangan Sengkang Ø10	23.726.725,00
2	Tulangan Sengkang Ø10	21.569.750,00
3	Tulangan Longitudinal Ø16	28.999.025,00
4	Tulangan Sengkang Ø10	8.628.525,00
5	Tulangan Longitudinal Ø16	17.255.925,00
6	Pek. Beton K-300	3.594.750,00
7	Tulangan Sengkang Ø8	12.942.255,00
8	Tulangan Longitudinal Ø16	35.589.950,00

Sumber: Hasil analisis.

Kompresi dilakukan pada aktivitas Pek. Bore Pile dengan waktu normal 26 hari dan *crash duration* 21,163 hari, sehingga *crashing* sebesar 5 hari dan durasi proyek menjadi 72 hari (77 hari − 5 hari). Selisih biaya upah sebesar Rp119.600 menghasilkan biaya langsung Rp1.076.408.477,39. Dengan biaya tak langsung Rp124.386.515,52, biaya total alternatif penambahan tenaga kerja adalah Rp1.200.794.992,91 (Tabel 8).

Tabel 8. Rekapitulasi Kompresi pada Kedua Alternatif

Parameter	Alternatif Lembur	Alternatif Tenaga Kerja
Aktivitas yang dikompresi	Pek. Bore Pile	Pek. Bore Pile
Durasi normal aktivitas (hari)	26	26
Crash duration (hari)	21,163	21,163
Crashing (hari)	5	5
Durasi proyek setelah percepatan (hari)	72	72
Cost slope (Rp/hari)	389.405,33	–
Biaya tambahan / selisih biaya (Rp)	1.947.026,64	119.600,00
Biaya langsung (Rp)	1.078.235.904,03	1.076.408.477,39
Biaya tak langsung (Rp)	124.386.515,52	124.386.515,52
Biaya total (Rp)	1.202.622.419,55	1.200.794.992,91

Sumber: Hasil analisis.

Perbandingan Alternatif Percepatan

Perbandingan durasi dan biaya total pada masing-masing alternatif percepatan disajikan pada Tabel 9. Kedua alternatif mempersingkat durasi proyek dari 77 hari menjadi 72 hari, yaitu efisiensi waktu sebesar 6,49%. Alternatif lembur menghasilkan efisiensi biaya sebesar 0,55%, sedangkan alternatif penambahan tenaga kerja menghasilkan efisiensi biaya sebesar 0,70%.

Tabel 9. Perbandingan Biaya Total Antaralternatif Percepatan

Alternatif Percepatan	Durasi (hari)	Biaya Total (Rp)	Efisiensi Waktu (%)	Efisiensi Biaya (%)
Waktu normal	77	1.209.313.345,38	–	–
Jam kerja (lembur)	72	1.202.622.419,55	6,49	0,55
Tenaga kerja	72	1.200.794.992,91	6,49	0,70

Sumber: Hasil analisis.

PEMBAHASAN

Kedua alternatif percepatan menghasilkan durasi yang sama, yaitu 72 hari (efisiensi waktu 6,49%), karena kompresi dilakukan pada aktivitas yang sama (Pek. Bore Pile) sebesar 5 hari. Perbedaan hasil terletak pada biaya: tambahan biaya langsung pada alternatif lembur sebesar Rp1.947.026,64, sedangkan pada alternatif penambahan tenaga kerja hanya Rp119.600. Biaya total pada kondisi normal sebesar Rp1.209.313.345,38 turun menjadi Rp1.202.622.419,55 pada alternatif lembur (selisih Rp6.690.925,83) dan Rp1.200.794.992,91 pada alternatif penambahan tenaga kerja (selisih Rp8.518.352,47).

Penurunan biaya total tersebut terjadi karena pemendekan durasi menurunkan biaya tak langsung lebih besar daripada kenaikan biaya langsung. Penurunan biaya tak langsung sebesar Rp8.637.952,47 merupakan jumlah penghematan biaya total dan tambahan biaya langsung pada masing-masing alternatif. Dengan demikian, percepatan pada penelitian ini tidak menambah biaya total, berbeda dengan studi percepatan lain yang melaporkan kenaikan biaya total, misalnya pada proyek pembangunan kota hijau (Abuhasel, 2023).

Keunggulan alternatif penambahan tenaga kerja dapat dijelaskan oleh struktur biayanya. Pada alternatif lembur, pekerja dibayar dengan tarif lembur yang lebih tinggi daripada upah normal dan produktivitas per jam menurun sehingga biaya per hari percepatan lebih besar. Pada alternatif penambahan tenaga kerja, pekerja tambahan dibayar dengan upah normal sehingga tambahan biaya langsung lebih kecil untuk percepatan yang sama. Hasil ini sejalan dengan studi pada gedung TPQ dua lantai (Mudhoffar & Prafitasiwi, 2024) dan gedung Islamic Center (Taufiq et al., 2025) yang juga menyimpulkan penambahan tenaga kerja lebih efisien. Sebaliknya, Mahendra et al. (2025a) dan Dwiyanti dan Eliatun (2026) melaporkan lembur sebagai alternatif yang efektif atau lebih efisien, dan Sudianto et al. (2025) melaporkan shift kerja lebih efisien daripada lembur, sehingga alternatif optimum tidak bersifat universal dan bergantung pada struktur biaya, proporsi upah, dan jumlah aktivitas kritis pada masing-masing proyek.

Secara praktis, selisih efisiensi biaya antara kedua alternatif relatif kecil (0,70% dan 0,55%), sedangkan manfaat utama percepatan adalah penghematan waktu 5 hari (6,49%) tanpa kenaikan biaya total. Pelaksanaan alternatif penambahan tenaga kerja tetap memerlukan kesiapan ruang kerja, koordinasi, dan pengawasan (Wang et al., 2024). Aktivitas kritis pada proyek ini adalah pekerjaan struktural, yaitu *bore pile*, pembesian, dan beton, sehingga percepatan harus disertai pengendalian mutu agar penghematan waktu tidak mengorbankan mutu pekerjaan, sebagaimana ditekankan dalam analisis pertukaran waktu, biaya, dan mutu (Wang et al., 2021).

Penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Penelitian dilakukan pada satu proyek dengan data sekunder dan durasi deterministik, kompresi hanya dilakukan pada satu aktivitas sebesar 5 hari, perhitungan lembur menggunakan koefisien penurunan produktivitas 0,8 sebagai asumsi (studi lapangan melaporkan produktivitas lembur yang bervariasi; Tabita & Kartadipura, 2026; Yunita & Hidayat, 2024), sehingga hasil alternatif lembur sensitif terhadap asumsi tersebut, dan faktor risiko seperti cuaca belum dipertimbangkan. Kombinasi alternatif percepatan serta pertimbangan mutu dan risiko dapat dikaji pada penelitian selanjutnya.

SIMPULAN

Dari 76 item pekerjaan, terdapat 18 item pada lintasan kritis yang dipercepat. Alternatif penambahan tenaga kerja menghasilkan durasi dan biaya optimum, dengan durasi proyek dipercepat dari 77 hari menjadi 72 hari kerja sehingga terjadi efisiensi waktu sebesar 5 hari (6,49%). Total biaya pada kondisi optimum sebesar Rp1.200.794.992,91 dibandingkan biaya normal Rp1.209.313.345,38, sehingga terjadi penghematan biaya sebesar Rp 8.518.352,47 (0,70%). Alternatif penambahan jam kerja menghasilkan durasi yang sama dengan penghematan biaya sebesar 0,55%.

SARAN

Sebelum melakukan percepatan, perlu dilakukan evaluasi produktivitas tenaga kerja karena penambahan jam kerja yang tinggi dapat mengakibatkan kelelahan dan penurunan mutu pekerjaan. Bagi peneliti selanjutnya, disarankan menggunakan metode lainnya atau kombinasi beberapa metode percepatan sehingga diperoleh hasil yang lebih efisien dalam pengendalian waktu dan biaya konstruksi.

DAFTAR PUSTAKA

Abuhasel, K. (2023). Sustainable green city development project analysis using the critical path method (CPM) and the crashing project method on time and cost optimization. *Engineering, Technology & Applied Science Research, 13*(3), 10973–10977. https://doi.org/10.48084/etasr.5980

Dwiyanti, N. S., & Eliatun, E. (2026). Acceleration study with crashing method on the long segment handling supervision project (routine maintenance, periodic maintenance, improvement /reconstruction) of the Handil Jawa–Jambu Burung (DAK) road. *CERUCUK, 10*(5), 268–277. https://doi.org/10.20527/crc.v10i5.18930

Eirgash, M. A. (2025). Optimizing time–cost in construction projects using modified quasi-opposition learning-based multi-objective Jaya optimizer and multi-criteria decision-making methods. *Asian Journal of Civil Engineering, 26*(3), 1095–1114. https://doi.org/10.1007/s42107-024-01235-1

Gashayyish, I. J., Yahya, M. H., & Hadi, H. G. (2022). Identifying the reasons for the prolongation of school construction projects in Najaf. *Open Engineering, 12*, 197–203. https://doi.org/10.1515/eng-2022-0023

Gebrel, M., Assaf, K. A., Atef, A., & Awad, M. (2021). Causes of delay and cost overrun for educational building projects in Egypt. *JES: Journal of Engineering Sciences, 49*(5), 577–596. https://doi.org/10.21608/jesaun.2021.69258.1044

Kerzner, H. (2022). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (13th ed.). Wiley.

Mahendra, M. O., Saputro, T. E., & Putra, A. F. S. (2025a). Analisis optimalisasi waktu dan biaya dengan penambahan jam metode time cost trade off. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 8*(2), 1900–1907. https://doi.org/10.31004/jutin.v8i2.44078

Mahendra, M. O., Saputro, T. E., & Putra, A. F. S. (2025b). Penerapan Microsoft Project dalam metode crashing terhadap waktu dan biaya. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 8*(2), 1908–1918. https://doi.org/10.31004/jutin.v8i2.44080

Mudhoffar, F., & Prafitasiwi, A. G. (2024). Pengendalian waktu dan biaya pada proyek gedung TPQ 2 lantai dengan metode time cost trade off (TCTO). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan, 1*(1), 1–8. https://doi.org/10.30587/jtsl.v1i1.7405

Nirwasitha, B. C., & Rosyanti, D. M. (2025). Sistem literature review: Keterkaitan faktor project delay dan cost overrun pada proyek konstruksi di Indonesia. *SOCIETIES: Journal of Social Sciences and Humanities, 5*(2). https://doi.org/10.26858/societies.v5i2.82082

Pemerintah Republik Indonesia. (2021). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2021 tentang perjanjian kerja waktu tertentu, alih daya, waktu kerja dan waktu istirahat, dan pemutusan hubungan kerja*.

Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (7th ed.). Project Management Institute.

Satori, I., Pudjihardjo, H. S., Sulistyowati, Latif, M., & Widiatmoko, K. W. (2024). Analisis penyebab keterlambatan pembangunan proyek konstruksi pada pembangunan rusun dosen Politeknik Pekerjaan Umum. *Indonesian Journal of Civil Engineering Study, 1*(1), 27–34. https://doi.org/10.26623/ijces.v1i1.12873

Sudianto, T., Mahendra, M. O., Putra, A. F. S., & Qishas, H. F. (2025). Optimalisasi waktu dan biaya dengan penambahan jam kerja lembur 3 jam dan shift kerja. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi, 8*(2), 1833–1841. https://doi.org/10.31004/jutin.v8i2.43941

Sulistyo, A. B., & Al Fikri, M. (2021). Analisis optimalisasi waktu dan biaya proyek konstruksi menggunakan metode time cost trade off (Studi kasus: Proyek pembangunan jalan Gorda–Bandung). *Jurnal Intent: Jurnal Industri dan Teknologi Terpadu, 4*(1), 25–40.

Tabita, N. C., & Kartadipura, R. H. (2026). Analysis of overtime work productivity in construction labor on the Syamsuddin Noor International Airport access road construction project. *CERUCUK, 10*(2), 94–102. https://doi.org/10.20527/crc.v10i2.18911

Taufiq, Nugroho, M. W., Yulianto, T., & Sundari, T. (2025). Analisis percepatan waktu terhadap biaya dengan metode time cost trade off (Studi kasus proyek pembangunan Gedung Islamic Center Kec. Rimbo Bujang Kab. Tebo Provinsi Jambi). *Jurnal Ilmiah MITSU: Media Informasi Teknik Sipil Universitas Wiraraja, 13*(2), 191–200. https://doi.org/10.24929/ft.v13i2.3676

Wang, P., Wang, K., Huang, Y., & Fenn, P. (2024). A contingency approach for time-cost trade-off in construction projects based on machine learning techniques. *Engineering, Construction and Architectural Management, 31*(11), 4677–4695. https://doi.org/10.1108/ECAM-11-2022-1104

Wang, T., Abdallah, M., Clevenger, C., & Monghasemi, S. (2021). Time–cost–quality trade-off analysis for planning construction projects. *Engineering, Construction and Architectural Management, 28*(1), 82–100. https://doi.org/10.1108/ECAM-12-2017-0271

Yunita, A., & Hidayat, B. (2024). Perbandingan produktivitas tenaga kerja proyek konstruksi saat jam kerja normal dan lembur di Kota Padang. *Jurnal Bangunan, Konstruksi & Desain, 2*(3), 180–190. https://doi.org/10.25077/jbkd.2.3.180-190.2024