

Optimalisasi Waktu dan Biaya Proyek Gelora Ahmad Yani Mojokerto Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*

Susila Bayu Aji, A'izzatul Khiyana*, Totok Yulianto, Titin Sundari
Universitas Hasyim Asy'ari Tebuireng Jombang-61415, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

proyek konstruksi; waktu proyek; biaya proyek; lintasan kritis; *time cost trade off*

***Correspondence email:**

aizzatul khiyana@unhasy.ac.id

Submitted: 30 Mei 2026

Revised: 16 Juni 2026

Accepted: 27 Juli 2026

Published: 01 Agustus 2026

ABSTRAK

Proyek Prasarana Gelora Ahmad Yani Mojokerto mengalami keterlambatan pada minggu ke-5 hingga minggu ke-7 yang berpotensi memperpanjang durasi pelaksanaan dan meningkatkan biaya proyek. Keterlambatan tersebut memerlukan evaluasi pengendalian waktu dan biaya secara terukur agar penyelesaian proyek tetap efisien. Penelitian ini bertujuan menentukan alternatif percepatan paling optimal pada proyek tersebut menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Data penelitian meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB), jadwal proyek, laporan progres, data jam kerja, dan data alat berat. Analisis dilakukan pada pekerjaan lintasan kritis dengan skenario penambahan jam kerja lembur 1, 2, 3, dan 4 jam serta penambahan alat berat berupa *roller mini*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kondisi normal proyek memiliki durasi 90 hari dengan total biaya Rp870.542.000,00. Alternatif paling optimal adalah penambahan alat berat yang menghasilkan durasi akhir 25 hari, sehingga terjadi percepatan 65 hari atau 72,22%. Total biaya proyek turun menjadi Rp843.848.152,79, dengan penghematan Rp26.693.847,21 atau 3,07% dibandingkan biaya normal. Penambahan *roller mini* direkomendasikan sebagai strategi percepatan yang lebih efektif, khususnya pada pekerjaan paving yang berada pada lintasan kritis.

ABSTRACT

Keywords:

construction project; project duration; project cost; critical path; *time cost trade off*

The Gelora Ahmad Yani Infrastructure Project in Mojokerto experienced delays from week 5 to week 7, which could extend the project duration and increase construction costs. These delays required a measurable time and cost control evaluation to ensure more efficient project completion. This study aimed to determine the most optimal acceleration alternative for the project using the Time Cost Trade Off (TCTO) method. The research data consisted of the Budget Plan, project schedule, progress reports, working-hour data, and heavy equipment data. The analysis was conducted on critical path activities by comparing acceleration scenarios involving 1, 2, 3, and 4 hours of overtime work and the addition of a mini roller. The results show that the normal project condition had a duration of 90 days with a total cost of IDR 870,542,000.00. The most optimal alternative was the addition of heavy equipment, which produced a final duration of 25 days, representing an acceleration of 65 days or 72.22%. The total project cost decreased to IDR 843,848,152.79, with a saving of IDR 26,693,847.21 or 3.07% compared with the normal cost. Therefore, adding a mini roller is recommended as a more effective acceleration strategy, particularly for critical paving activities.

PENDAHULUAN

Proyek konstruksi merupakan rangkaian kegiatan yang dilaksanakan dalam jangka waktu tertentu untuk menghasilkan bangunan atau infrastruktur sesuai dengan rencana. Keberhasilan proyek sangat dipengaruhi oleh kemampuan manajemen dalam mengendalikan tiga aspek utama, yaitu mutu, biaya, dan waktu. Ketiga aspek tersebut harus dikelola secara seimbang agar proyek dapat berjalan efektif, efisien dan sesuai dengan target yang telah ditetapkan (Ajeng et al., 2023)

Salah satu permasalahan yang sering terjadi dalam proyek konstruksi adalah keterlambatan pelaksanaan. Keterlambatan terjadi ketika progres realisasi lebih rendah dibandingkan progres rencana, sehingga dapat menyebabkan bertambahnya durasi proyek dan meningkatnya biaya pelaksanaan (Khiyana et al., 2025). Dampak keterlambatan dapat berupa pembengkakan biaya overhead, perpanjangan penggunaan alat, kenaikan biaya operasional, serta terganggunya mutu pekerjaan (Kuncoro et al., 2025). Pengendalian waktu dan biaya merupakan aspek penting dalam pelaksanaan proyek konstruksi karena keterlambatan dapat memengaruhi durasi penyelesaian dan total biaya proyek. Penelitian (Werdana et al., 2023) menggunakan metode *time cost trade off* untuk mengevaluasi kinerja waktu dan biaya proyek dengan penambahan jam lembur, sedangkan (Intan et al., 2025) juga membahas manajemen waktu dan biaya proyek dengan metode *time cost trade off* alternatif *shift* dan penambahan tenaga. Kedua penelitian tersebut menunjukkan bahwa evaluasi kondisi proyek dan percepatan pekerjaan perlu dilakukan secara terukur agar proyek dapat diselesaikan dengan waktu dan biaya yang lebih optimal. Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar kajian mengenai

percepatan proyek dengan metode *Time Cost Trade Off* masih berfokus pada alternatif penambahan jam kerja lembur, penambahan tenaga kerja, atau sistem kerja *shift*. Kajian yang membandingkan alternatif penambahan jam kerja lembur dengan penambahan alat berat pada proyek prasarana skala lokal terbatas.

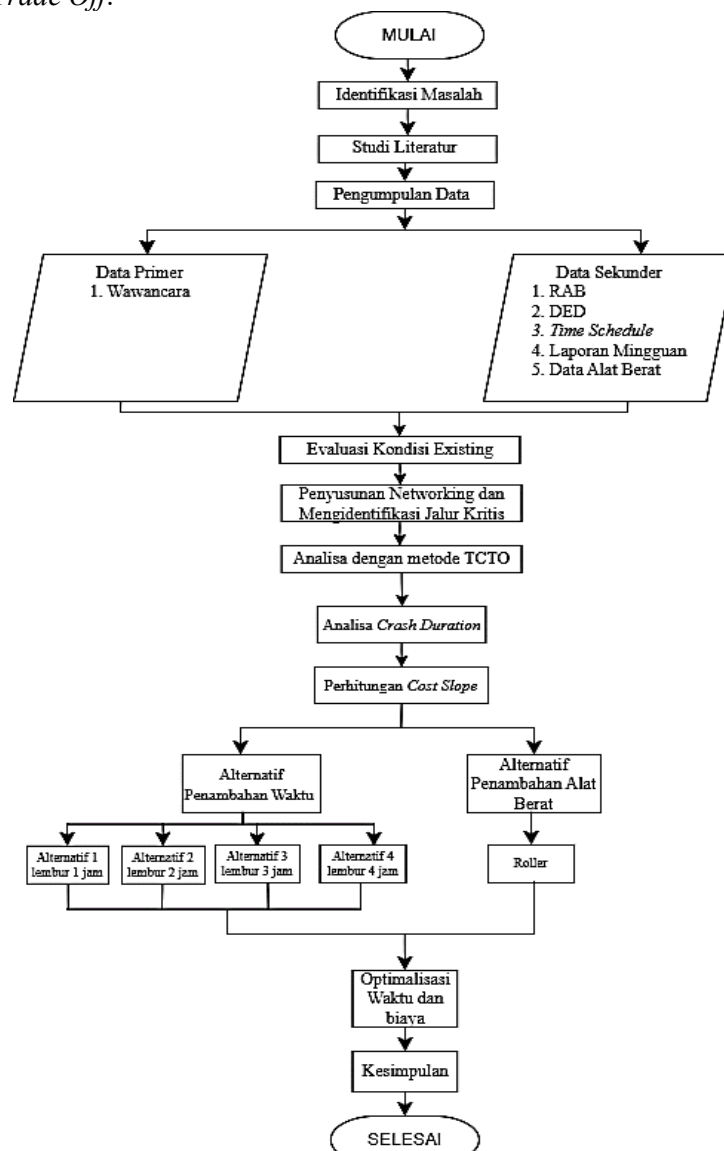
Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk mengisi *gap* tersebut dengan menganalisis perbandingan alternatif lembur dan penambahan alat berat pada pekerjaan lintasan kritis Proyek Prasarana Gelora A. Yani Mojokerto.

Permasalahan keterlambatan ini juga terjadi pada Proyek Prasarana Gelora A. Yani di Kota Mojokerto. Proyek yang mencakup lingkup pekerjaan pemasangan paving, sistem penerangan jalan, serta fasilitas pendukung lainnya ini merupakan aset vital bagi pengembangan sektor olahraga dan ruang publik di Mojokerto. Berdasarkan kontrak kerja awal, proyek ini direncanakan selesai dalam jangka waktu 90 hari kalender. Namun, berdasarkan laporan mingguan yang dievaluasi, ditemukan adanya keterlambatan waktu antara rencana *progres* dengan realisasi di lapangan, khususnya pada minggu ke-5 hingga minggu ke-7. Kondisi tersebut memberikan ancaman nyata bagi keberlangsungan proyek jika tidak segera dilakukan langkah pengendalian yang sistematis dan terukur.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kondisi *existing* Proyek Prasarana Gelora A. Yani Mojokerto serta menganalisis optimalisasi waktu dan biaya menggunakan metode *Time Cost Trade Off*. Alternatif percepatan yang dianalisis meliputi penambahan jam kerja lembur 1 jam, 2 jam, 3 jam, 4 jam, dan penambahan alat berat berupa roller mini. Hasil analisis digunakan untuk menentukan skenario percepatan paling optimal berdasarkan durasi pelaksanaan yang paling efisien dan total biaya terendah.

Bagan Alur Penelitian

Alur penelitian ini bisa dilihat pada diagram berikut yang menunjukkan tahapan sistematis dari proses analisis dengan metode *Time Cost Trade Off*.



Gambar 1. Flowchart

Sumber : Pengolahan data, (2026)

Tahapan Analisis Data

Proses analisis dimulai dengan pengumpulan data proyek secara menyeluruh, diikuti dengan penyusunan penjadwalan ulang menggunakan bantuan Microsoft Project. Penentuan lintasan kritis dilakukan dengan menghitung nilai *Earliest Start* (ES), *Earliest Finish* (EF), *Latest Start* (LS), dan *Latest Finish* (LF) untuk mengidentifikasi aktivitas yang memiliki *Total Float* nol. Aktivitas-aktivitas inilah yang menjadi sasaran utama dalam program *crashing*.

Setelah aktivitas kritis teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah menghitung produktivitas harian normal tenaga kerja dan alat berat berdasarkan volume pekerjaan yang tercantum dalam RAB. Perhitungan produktivitas ini sangat krusial karena menjadi dasar untuk menentukan *crash duration*. Untuk skenario lembur, digunakan koefisien penurunan produktivitas akibat kelelahan sesuai dengan referensi Soeharto (1999) dan PP No. 35 Tahun 2021. Berikut ini langkah kerja metode TCTO :

1. **Menghitung produktivitas per jam:**
 $P. Jam = \text{produktivitas harian normal} / \text{jam kerja normal} \dots\dots\dots (1)$
2. **Menghitung produktivitas harian setelah *crash* :**
 $P. Crash = P. \text{Harian Normal} + P. \text{Lembur} \dots\dots\dots (2)$
3. **Menghitung produktivitas lembur:**
 $P. Jam = \text{produktivitas per jam} \times \text{jam lembur} \times \text{koefisien produktivitas} \dots\dots\dots (3)$
4. **Menghitung *crash duration*:**
 $Crash duration = \text{volume pekerjaan} / \text{produktivitas setelah percepatan} \dots\dots\dots (4)$
5. **Menghitung *crash cost* harian:**
 $Crash Cost per hari = \text{Upah harian normal} + \text{Upah lembur} \dots\dots\dots (5)$
6. **Menghitung upah lembur:**
 $= 1,5 \times \text{upah untuk penambahan jam lembur pertama} + 2 \times n \times \text{upah untuk penambahan jam lembur berikutnya} \dots\dots\dots (6)$
dengan:
 $n = \text{jumlah penambahan jam kerja (lembur)}$
7. **Menghitung *cost slope*:**
 $Cost slope = (crash cost - normal cost) / (normal duration - crash duration) \dots\dots\dots (7)$
8. **Menghitung biaya tak langsung setelah *crashing*:**
 $Biaya tak langsung = \text{biaya tak langsung per hari} \times \text{durasi setelah crashing} \dots\dots\dots (8)$
9. **Menghitung total biaya setelah *crashing*:**
 $Total cost = \text{biaya langsung} + \text{biaya tak langsung} \dots\dots\dots (9)$
(Revinanda et al., 2023)

Nilai *cost slope* menunjukkan besarnya biaya tambahan yang diperlukan untuk mempercepat pengerjaan sebanyak satu unit waktu (hari). Aktivitas dengan *cost slope* terkecil akan diprioritaskan untuk dipercepat terlebih dahulu guna menjaga efisiensi anggaran. Seluruh tahapan ini diulangi untuk berbagai skenario (lembur 1-4 jam dan alat berat) hingga ditemukan kombinasi yang menghasilkan biaya total terendah.

HASIL

Evaluasi Kondisi *Eksisting* dan Biaya Proyek

Total biaya proyek Rp. 870.542.000,00 terdiri dari biaya langsung senilai Rp. 830.042.000,00. Dan biaya tak langsung senilai Rp. 40.500.000,00, adapun kondisi *eksisting* biaya proyek dapat dilihat pada tabel 1

.Tabel 1. Rincian Biaya Total Proyek (Normal)

No	Jenis Biaya	Jumlah (Rp.)
1	Biaya Langsung (<i>Direct Cost</i>)	830.042.000
2	Biaya Tak Langsung (<i>Indirect Cost</i>)	40.500.000
Total Biaya		870.542.000

Sumber: CV. Tirta Jaya Sentosa, (2024)

Evaluasi *progres* menunjukkan bahwa proyek mulai mengalami deviasi pada minggu ke-5 sampai minggu ke -7. Adanya deviasi progres harian dan mingguan yang negatif menandakan kegagalan dalam mencapai target fisik sesuai jadwal pelaksanaan.

Tabel 2. Evaluasi Deviasi Progres Pekerjaan

Minggu ke-	Progres Rencana (%)	Progres Realisasi (%)	Deviasi (%)	Keterangan
a	b	c	b - c	e
5	2,061	1,935	-0,126	terlambat
6	3,613	2,961	-0,652	terlambat
7	9,956	5,281	-4,675	terlambat
Total Deviasi			-5,453	

Sumber: CV. Tirta Jaya Sentosa, (2024)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 2, total deviasi progres proyek sebesar -5,453% menunjukkan bahwa realisasi pekerjaan lebih rendah dibandingkan rencana. Estimasi keterlambatan dihitung menggunakan nilai absolut deviasi, yaitu $5,453\% \times 90 \text{ hari} = 4,91 \text{ hari}$, sehingga keterlambatan proyek dibulatkan menjadi 5 hari.

Daftar Pekerjaan Lintasan Kritis

Berdasarkan identifikasi terhadap pekerjaan-pekerjaan sisa yang telah ditentukan sebelumnya, langkah selanjutnya adalah mengetahui lintasan proyek yang tidak memiliki kelonggaran waktu (*float*). Daftar Pekerjaan pada lintasan kritis berikut.:

1. Pekerjaan urugan pasir tribun barat
2. Pekerjaan paving motif merah tribun barat
3. Pekerjaan paving motif abu - abu tribun barat
4. Pekerjaan paving motif hitam tribun barat
5. Pekerjaan kanstin tribun barat
6. Pekerjaan beton straus k.225
7. Pekerjaan bekisting plat 50/50/20
8. Pekerjaan pembesian polos plat 50/50/20
9. Pekerjaan beton base plat 50/50/20 K.225
10. Pekerjaan bekisting kolom pedestal 50/50
11. Pekerjaan pembesian kolom pedestal 50/50
12. Pekerjaan beton kolom pedestal 50/50
13. Pekerjaan Pipa Dia. 3, Tebal 3,2 mm
14. Pekerjaan Pipa Dia.4, Tebal 4,5 mm
15. Pekerjaan Stiffner Tb.12 mm
16. Pekerjaan Baseplat Tb.12mm
17. Pekerjaan angkur L16-40 cm
18. Pekerjaan Pengecatan besi
19. Instalasi Listrik NYM 2x 2,5 mm
20. Pasangan lampu flood light
21. Pasangan saklar ganda Broco
22. Pasangan kabel feeder NYY 3 x 4 mm

Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya

Tahapan berikutnya adalah menerapkan analisis *Time Cost Trade Off* (TCTO) guna menghitung *cost slope* dari masing-masing aktivitas. Analisis ini penting dilakukan untuk mengetahui besarnya tambahan biaya yang dibutuhkan apabila suatu pekerjaan dipercepat, sehingga bisa dipilih alternatif percepatan yang paling efisien dari segi biaya dan waktu, berikut perhitungan dari ketiga alternatif dengan *cost slope* yang telah diurutkan dari terendah hingga terbesar.

1. Perhitungan 1 jam lembur

Tabel 3 Crash Duration dan Total Cost (1 jam lembur)

NO	PEKERJAAN	Biaya langsung	Biaya Tak Langsung	Total Cost
		a	b = BTL per hari x t.durasi	c = a+ b
A				
1	Urugan pasir T. barat	Rp 830.056.660,23	Rp 39.600.000,00	Rp 869.656.660,23
2	Paving merah T. barat	Rp 830.314.026,95	Rp 38.700.000,00	Rp 869.014.026,95
3	Paving abu - abu T. barat	Rp 830.768.486,06	Rp 37.800.000,00	Rp 868.568.486,06
4	Paving hitam T. barat	Rp 831.088.501,00	Rp 36.900.000,00	Rp 867.988.501,00
5	Kanstin T. barat	Rp 831.148.127,82	Rp 36.000.000,00	Rp 867.148.127,82
6	Beton Straus K.225	Rp 831.155.014,10	Rp 35.550.000,00	Rp 866.705.014,10
7	Bekisting plat 50/50/20	Rp 831.157.009,38	Rp 35.100.000,00	Rp 866.257.009,38
8	pembesian plat 50/50/20	Rp 831.197.239,25	Rp 34.650.000,00	Rp 865.847.239,25
9	Beton plat 50/50/20	Rp 831.199.655,49	Rp 34.200.000,00	Rp 865.399.655,49
10	bekisting kolom 50/50	Rp 831.209.785,42	Rp 33.750.000,00	Rp 864.959.785,42
11	pembesian kolom 50/50	Rp 831.236.172,85	Rp 33.300.000,00	Rp 864.536.172,85
12	beton kolom 50/50	Rp 831.238.589,08	Rp 32.850.000,00	Rp 864.088.589,08
13	Pipa Dia.3", Tb. 3,2mm	Rp 831.333.816,30	Rp 32.400.000,00	Rp 863.733.816,30
14	Pipa Dia.4", Tb. 4,5mm	Rp 831.607.980,80	Rp 31.950.000,00	Rp 863.557.980,80
15	Stifneer Tb.12 mm	Rp 831.630.031,94	Rp 31.500.000,00	Rp 863.130.031,94
16	Baseplat Tb.12 mm	Rp 831.703.535,74	Rp 31.050.000,00	Rp 862.753.535,74
17	Angkur L16-40 cm	Rp 831.710.680,47	Rp 30.600.000,00	Rp 862.310.680,47
18	Pengecatan besi	Rp 831.902.221,82	Rp 30.150.000,00	Rp 862.052.221,82
19	Instalasi Nym 2x2,5 mm	Rp 831.929.406,87	Rp 29.700.000,00	Rp 861.629.406,87
20	Lampu Floodlight 200w	Rp 831.985.984,17	Rp 29.250.000,00	Rp 861.235.984,17
21	Saklar ganda	Rp 831.996.781,35	Rp 28.800.000,00	Rp 860.796.781,35
22	Kabel feeder NYY 3 x 4 mm	Rp 832.336.594,47	Rp 28.350.000,00	Rp 860.686.594,47

Sumber: Pengolahan data, (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3, alternatif penambahan 1 jam lembur mempercepat durasi proyek menjadi 63 hari. Terjadi percepatan sebesar 27 hari atau 30%. Total biaya proyek juga mengalami penurunan dari Rp870.542.000,00 menjadi Rp860.686.594,47, sehingga diperoleh penghematan biaya sebesar Rp9.855.405,53 atau 1,13%. Hasil penelitian ini sejalan dengan (Ikhtisholiah et al., 2025) yang menerapkan metode TCTO pada proyek perumahan dan rumah susun dengan hasil efisiensi waktu 10,43% dan biaya 0,16 %.

2. Perhitungan 2 jam lembur

Tabel 4 Crash Duration dan Total Cost (2 jam lembur)

NO	PEKERJAAN	Biaya langsung		Biaya Tak Langsung		Total Cost
		a		b = BTL per hari x t.durasi		c = a+ b
A						
1	Urugan pasir T. barat	Rp	830.077.579,88	Rp	39.150.000,00	Rp 869.227.579,88
2	Paving merah T. barat	Rp	830.678.102,23	Rp	37.800.000,00	Rp 868.478.102,23
3	Paving abu - abu T. barat	Rp	831.738.506,82	Rp	36.450.000,00	Rp 868.188.506,82
4	Paving hitam T. barat	Rp	832.485.208,34	Rp	35.100.000,00	Rp 867.585.208,34
5	Kanstin T. barat	Rp	832.624.337,60	Rp	33.750.000,00	Rp 866.374.337,60
6	Beton Straus K.225	Rp	832.634.086,70	Rp	33.300.000,00	Rp 865.934.086,70
7	Bekisting plat 50/50/20	Rp	832.636.911,50	Rp	32.850.000,00	Rp 865.486.911,50
8	pembesian plat 50/50/20	Rp	832.693.866,13	Rp	32.400.000,00	Rp 865.093.866,13
9	Beton plat 50/50/20	Rp	832.697.286,87	Rp	31.950.000,00	Rp 864.647.286,87
10	bekisting kolom 50/50	Rp	832.711.628,12	Rp	31.500.000,00	Rp 864.211.628,12
11	pembesian kolom 50/50	Rp	832.748.985,61	Rp	31.050.000,00	Rp 863.798.985,61
12	beton kolom 50/50	Rp	832.752.406,35	Rp	30.600.000,00	Rp 863.352.406,35
13	Pipa Dia.3", Tb. 3,2mm	Rp	832.887.222,41	Rp	30.150.000,00	Rp 863.037.222,41
14	Pipa Dia.4", Tb. 4,5mm	Rp	833.275.365,41	Rp	29.700.000,00	Rp 862.975.365,41
15	Stifneer Tb.12 mm	Rp	833.306.583,88	Rp	29.250.000,00	Rp 862.556.583,88
16	Baseplat Tb.12 mm	Rp	833.410.645,44	Rp	28.800.000,00	Rp 862.210.645,44
17	Angkur L16-40 cm	Rp	833.420.760,44	Rp	28.350.000,00	Rp 861.770.760,44
18	Pengecatan besi	Rp	833.691.931,34	Rp	27.900.000,00	Rp 861.591.931,34
19	Instalasi Nym 2x2,5 mm	Rp	833.730.418,04	Rp	27.450.000,00	Rp 861.180.418,04
20	Lampu Floodlight 200w	Rp	833.810.516,24	Rp	27.000.000,00	Rp 860.810.516,24
21	Saklar ganda	Rp	833.825.802,14	Rp	26.550.000,00	Rp 860.375.802,14
22	Kabel feeder NYY 3 x 4 mm	Rp	834.306.885,89	Rp	26.100.000,00	Rp 860.406.885,89

Sumber: Pengolahan data, (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 4, alternatif penambahan 2 jam lembur mempercepat durasi proyek menjadi 58 hari. Terjadi percepatan sebesar 32 hari atau 35,56%. Total biaya proyek juga mengalami penurunan dari Rp870.542.000,00 menjadi Rp860.406.885,89, sehingga diperoleh penghematan biaya sebesar Rp10.135.114,11 atau 1,16%. Hasil penelitian (Ikhtisholiah et al., 2025) yang menerapkan metode TCTO pada proyek gedung kantor dan rumah tinggal dengan hasil efisiensi waktu 5,13%, 0,86% dan biaya 0,14 % dan 0,06.

3. Perhitungan 3 jam lembur

Tabel 5 Crash Duration dan Total Cost (3 jam lembur)

NO	PEKERJAAN	Biaya langsung		Biaya Tak Langsung		Total Cost
		a		b = BTL per hari x t.durasi		c = a+ b
A						
1	Urugan pasir T. barat	Rp	830.094.287,36	Rp	38.700.000,00	Rp 868.794.287,36
2	Paving merah T. barat	Rp	831.037.965,34	Rp	36.900.000,00	Rp 867.937.965,34
3	Paving abu - abu T. barat	Rp	832.704.315,41	Rp	35.100.000,00	Rp 867.804.315,41
4	Paving hitam T. barat	Rp	833.877.703,51	Rp	33.300.000,00	Rp 867.177.703,51
5	Kanstin T. barat	Rp	834.096.335,20	Rp	31.500.000,00	Rp 865.596.335,20
6	Beton Straus K.225	Rp	834.120.895,88	Rp	30.600.000,00	Rp 864.720.895,88
7	Bekisting plat 50/50/20	Rp	834.128.012,31	Rp	29.700.000,00	Rp 863.828.012,31
8	pembesian plat 50/50/20	Rp	834.271.496,67	Rp	28.800.000,00	Rp 863.071.496,67
9	Beton plat 50/50/20	Rp	834.280.114,45	Rp	27.900.000,00	Rp 862.180.114,45
10	bekisting kolom 50/50	Rp	834.316.243,99	Rp	27.000.000,00	Rp 861.316.243,99
11	pembesian kolom 50/50	Rp	834.410.357,75	Rp	26.100.000,00	Rp 860.510.357,75
12	beton kolom 50/50	Rp	834.418.975,53	Rp	25.200.000,00	Rp 859.618.975,53
13	Pipa Dia.3", Tb. 3,2mm	Rp	834.758.614,18	Rp	24.300.000,00	Rp 859.058.614,18
14	Pipa Dia.4", Tb. 4,5mm	Rp	835.736.452,89	Rp	23.400.000,00	Rp 859.136.452,89
15	Stifneer Tb.12 mm	Rp	835.815.100,78	Rp	22.500.000,00	Rp 858.315.100,78
16	Baseplat Tb.12 mm	Rp	836.077.260,41	Rp	21.600.000,00	Rp 857.677.260,41
17	Angkur L16-40 cm	Rp	836.102.742,87	Rp	20.700.000,00	Rp 856.802.742,87
18	Pengecatan besi	Rp	836.785.896,77	Rp	19.800.000,00	Rp 856.585.896,77
19	Instalasi Nym 2x2,5 mm	Rp	836.882.855,33	Rp	18.900.000,00	Rp 855.782.855,33
20	Lampu Floodlight 200w	Rp	837.084.644,67	Rp	18.000.000,00	Rp 855.084.644,67
21	Saklar ganda	Rp	837.123.154,05	Rp	17.100.000,00	Rp 854.223.154,05
22	Kabel feeder NYY 3 x 4 mm	Rp	838.335.136,01	Rp	16.200.000,00	Rp 854.535.136,01

Sumber: Pengolahan data, (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 5, alternatif penambahan 3 jam lembur mempercepat durasi proyek menjadi 36 hari. Terjadi percepatan sebesar 54 hari atau 60%. Total biaya proyek juga mengalami penurunan dari Rp870.542.000,00 menjadi Rp854.535.136,01 atau 1,84%, sehingga diperoleh penghematan biaya sebesar Rp16.006.863,99 atau 1,84%. Hasil penelitian (Widiastuti et al., 2025) yang menerapkan metode TCTO pada proyek gedung olahraga dan gedung dengan hasil efisiensi waktu 1,39% dan 8,33%

4. Perhitungan 4 jam lembur

Tabel 6 Crash Duration dan Total Cost (4 jam lembur)

NO	PEKERJAAN	Biaya langsung		Biaya Tak Langsung		Total Cost	
		a		b = BTL per hari x t.durasi		c = a+ b	
A							
1	Urugan pasir T. barat	Rp	830.122.301,80	Rp	38.250.000,00	Rp	868.372.301,80
2	Paving merah T. barat	Rp	831.409.135,42	Rp	36.000.000,00	Rp	867.409.135,42
3	Paving abu - abu T. barat	Rp	833.681.430,97	Rp	33.750.000,00	Rp	867.431.430,97
4	Paving hitam T. barat	Rp	835.281.505,65	Rp	31.500.000,00	Rp	866.781.505,65
5	Kanstin T. barat	Rp	835.579.639,77	Rp	29.250.000,00	Rp	864.829.639,77
6	Beton Straus K.225	Rp	835.609.815,58	Rp	28.350.000,00	Rp	863.959.815,58
7	Bekisting plat 50/50/20	Rp	835.618.558,99	Rp	27.450.000,00	Rp	863.068.558,99
8	pembesian plat 50/50/20	Rp	835.794.847,16	Rp	26.550.000,00	Rp	862.344.847,16
9	Beton plat 50/50/20	Rp	835.805.435,16	Rp	25.650.000,00	Rp	861.455.435,16
10	bekisting kolom 50/50	Rp	835.849.824,74	Rp	24.750.000,00	Rp	860.599.824,74
11	pembesian kolom 50/50	Rp	835.965.455,05	Rp	23.850.000,00	Rp	859.815.455,05
12	beton kolom 50/50	Rp	835.976.043,05	Rp	22.950.000,00	Rp	858.926.043,05
13	Pipa Dia.3", Tb. 3,2mm	Rp	836.393.330,87	Rp	22.050.000,00	Rp	858.443.330,87
14	Pipa Dia.4", Tb. 4,5mm	Rp	837.594.725,87	Rp	21.150.000,00	Rp	858.744.725,87
15	Stifneer Tb.12 mm	Rp	837.691.354,46	Rp	20.250.000,00	Rp	857.941.354,46
16	Baseplat Tb.12 mm	Rp	838.013.449,77	Rp	19.350.000,00	Rp	857.363.449,77
17	Angkur L16-40 cm	Rp	838.044.758,10	Rp	18.450.000,00	Rp	856.494.758,10
18	Pengecatan besi	Rp	838.884.096,60	Rp	17.550.000,00	Rp	856.434.096,60
19	Instalasi Nym 2x2,5 mm	Rp	839.003.222,10	Rp	16.650.000,00	Rp	855.653.222,10
20	Lampu Floodlight 200w	Rp	839.251.145,10	Rp	15.750.000,00	Rp	855.001.145,10
21	Saklar ganda	Rp	839.298.458,60	Rp	14.850.000,00	Rp	854.148.458,60
22	Kabel feeder NYY 3 x 4 mm	Rp	840.787.527,35	Rp	13.950.000,00	Rp	854.737.527,35

Sumber: Pengolahan data, (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 6, alternatif penambahan 4 jam lembur mempercepat durasi proyek menjadi 31 hari. Terjadi percepatan sebesar 59 hari atau 66,56%. Total biaya proyek juga mengalami penurunan dari Rp870.542.000,00 menjadi Rp854.737.527,35, sehingga diperoleh penghematan biaya sebesar Rp15.804.472,65 atau 1,82%. Hasil penelitian (Syahada et al., 2024) (Lestari & Lubis, 2023) yang menerapkan metode TCTO pada proyek perbaikan kapal dan jalan tol dengan hasil efisiensi waktu 63,64% dan 31,92% dan biaya 0,76 % dan 0,22%.

5. Perhitungan penambahan alat

Pada skenario penambahan alat, percepatan hanya diterapkan pada pekerjaan paving yang secara teknis membutuhkan proses pemadatan menggunakan roller mini. Pekerjaan kritis lain yang tidak menggunakan roller tidak mengalami perubahan produktivitas langsung, sehingga durasinya mengikuti hasil penjadwalan ulang setelah percepatan pekerjaan paving.

Pada alternatif penambahan alat, percepatan difokuskan pada pekerjaan paving yang berada pada lintasan kritis dan memiliki pengaruh langsung terhadap durasi akhir proyek. Penambahan roller mini meningkatkan produktivitas pekerjaan paving sehingga durasi lintasan kritis menjadi lebih pendek. Setelah dilakukan penjadwalan ulang menggunakan Microsoft Project, durasi akhir proyek pada skenario penambahan alat menjadi 24,68 hari dan dibulatkan menjadi 25 hari. Oleh karena itu, skenario ini menghasilkan percepatan sebesar 65 hari dibandingkan durasi normal 90 hari.

Tabel 7. Crash Duration, Biaya, dan Durasi Akhir Proyek pada Skenario Penambahan Alat

NO	PEKERJAAN	Biaya langsung		Biaya Tak langsung		TOTAL COST	
		h = TBL + g		i = BTL per hari x e		j = h + i	
A							
1	Urugan pasir T. barat	Rp	830.042.000,00	Rp	40.500.000,00	Rp	870.542.000,00
2	Paving merah T. barat	Rp	830.942.000,00	Rp	30.569.932,88	Rp	861.511.932,88
3	Paving abu - abu T. barat	Rp	831.842.000,00	Rp	20.939.106,37	Rp	852.781.106,37
4	Paving hitam T. barat	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79
5	Kanstin T. barat	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79
6	Beton Straus K.225	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79
7	Bekisting plat 50/50/20	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79
8	pembesian plat 50/50/20	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79
9	Beton plat 50/50/20	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79
10	bekisting kolom 50/50	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79
11	pembesian kolom 50/50	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp	843.848.152,79

NO	PEKERJAAN	Biaya langsung		Biaya Tak langsung		TOTAL COST
		$h = TBL + g$		$i = BTL \text{ per hari} \times e$		$j = h + i$
12	beton kolom 50/50	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
13	Pipa Dia.3", Tb. 3,2mm	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
14	Pipa Dia.4", Tb. 4,5mm	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
15	Stifneer Tb.12 mm	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
16	Baseplat Tb.12 mm	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
17	Angkur L16-40 cm	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
18	Pengecatan besi	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
19	Instalasi Nym 2x2,5 mm	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
20	Lampu Floodlight 200w	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
21	Saklar ganda	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79
22	Kabel feeder NYY 3 x 4 mm	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79

Sumber: Pengolahan data, (2026)

Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 7, alternatif penambahan alat menghasilkan durasi akhir 25 hari. Dibandingkan durasi normal 90 hari, alternatif ini mempercepat proyek sebesar 65 hari atau 72,22%. Total biaya proyek juga mengalami penurunan dari Rp870.542.000,00 menjadi Rp843.848.152,79, sehingga diperoleh penghematan biaya sebesar Rp26.693.847,21 atau 3,07%. Hasil penelitian (Oktaviani, 2023) menjelaskan bahwa produktivitas alat berat dipengaruhi oleh faktor efisiensi alat dan kondisi lapangan. Dengan demikian, penambahan *roller mini* pada pekerjaan paving dapat dinilai sebagai strategi percepatan yang relevan karena mampu meningkatkan produktivitas, memperpendek durasi, dan menurunkan total biaya proyek.

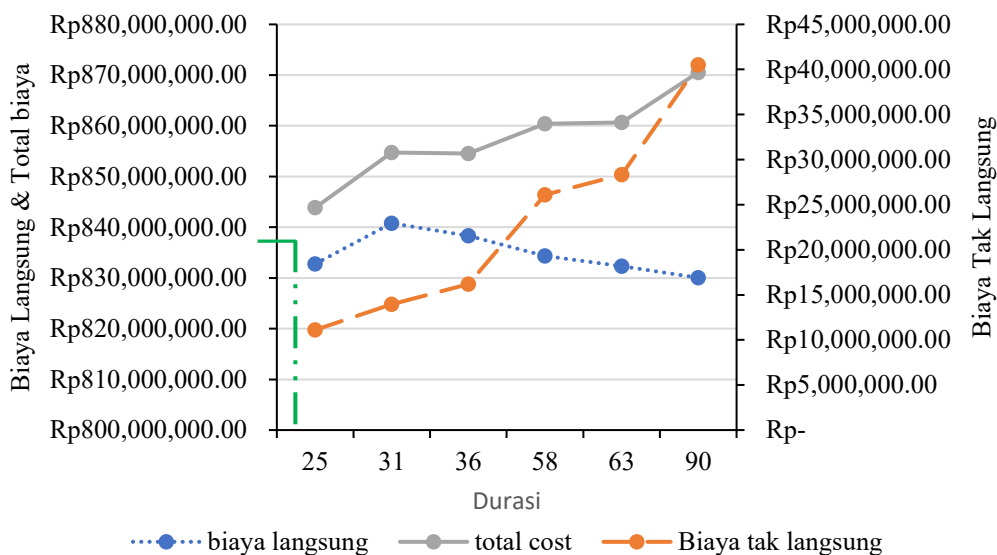
Optimalisasi Waktu dan Biaya (*Trade Off*)

Setelah seluruh skenario disimulasikan, dilakukan rekapitulasi untuk mencari titik biaya total terendah. Biaya total merupakan penjumlahan dari biaya langsung yang meningkat akibat percepatan dan biaya tidak langsung yang menurun seiring berkurangnya durasi.

Tabel 8 Rekapitulasi Hubungan Waktu dan Biaya Total

No	Durasi akhir proyek	Durasi akhir	Biaya langsung		Biaya tak langsung		Total cost
1	Durasi normal	90,00	Rp	830.042.000,00	Rp	40.500.000,00	Rp 870.542.000,00
2	Lembur 1 jam	63,00	Rp	832.336.594,47	Rp	28.350.000,00	Rp 860.686.594,47
3	Lembur 2 jam	58,00	Rp	834.306.885,89	Rp	26.100.000,00	Rp 860.406.885,89
4	Lembur 3 jam	36,00	Rp	838.335.136,01	Rp	16.200.000,00	Rp 854.535.136,01
5	Lembur 4 jam	31,00	Rp	840.787.527,35	Rp	13.950.000,00	Rp 854.737.527,35
6	Penambahan alat	25,00	Rp	832.742.000,00	Rp	11.106.152,79	Rp 843.848.152,79

Sumber: Pengolahan data, (2026)



Gambar 2. Grafik Hubungan Waktu dan Biaya

Sumber: Pengolahan data, (2026)

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 8 dan Gambar 2, biaya langsung pada skenario lembur 4 jam sebesar Rp840.787.527,35 lebih tinggi daripada biaya langsung pada skenario penambahan alat sebesar Rp832.742.000,00. Namun, biaya tidak langsung pada skenario penambahan alat lebih rendah karena durasi proyek menjadi 25 hari. Oleh karena itu, penambahan *roller mini* merupakan alternatif paling optimal secara ekonomi.

Pembahasan

Konsep *Time Cost Trade Off* digunakan untuk menganalisis hubungan antara percepatan waktu dan perubahan biaya proyek. Dalam teori TCTO, percepatan durasi dapat menyebabkan peningkatan biaya langsung akibat tambahan jam lembur atau penggunaan alat, tetapi dapat menurunkan biaya tidak langsung karena waktu pelaksanaan proyek menjadi lebih singkat. Oleh karena itu, alternatif percepatan tidak hanya dinilai berdasarkan durasi tercepat, tetapi juga berdasarkan total *cost* terendah.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alternatif penambahan alat berat menjadi pilihan paling optimal dengan durasi 24,68 hari atau setara dengan 25 hari dan total *cost* sebesar Rp843.848.152,79. Dengan demikian, istilah 25 hari dalam penelitian ini merupakan hasil pembulatan dari durasi analitis 24,68 hari. Jika dibandingkan dengan kondisi normal selama 90 hari dengan total *cost* Rp870.542.000,00, alternatif ini mampu mengurangi durasi sebesar 65 hari atau 72,22% dan menghemat biaya sebesar Rp26.693.847,21 atau 3,07%.

Hasil perbandingan skenario menunjukkan bahwa penambahan jam lembur tidak selalu menghasilkan efisiensi biaya yang lebih tinggi. Pada skenario lembur 4 jam, biaya langsung meningkat lebih besar dibandingkan skenario lembur 3 jam akibat tambahan biaya upah lembur dan penurunan produktivitas kerja. Sebaliknya, penambahan alat berat memberikan efisiensi lebih tinggi karena peningkatan produktivitas terjadi pada pekerjaan paving yang dominan dalam lintasan kritis, tanpa menimbulkan tambahan biaya tenaga kerja lembur yang besar. Oleh karena itu, titik optimum tidak hanya ditentukan oleh durasi tercepat, tetapi oleh kombinasi antara penurunan biaya tidak langsung dan peningkatan biaya langsung yang paling seimbang.

Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan alat berat pada pekerjaan yang sesuai secara teknis dapat memberikan efisiensi lebih tinggi dibandingkan penambahan jam kerja lembur. Pada penelitian ini, penambahan alat berat hanya diterapkan pada pekerjaan paving karena pekerjaan tersebut membutuhkan proses pemadatan menggunakan *roller mini*. Sementara itu, pekerjaan kritis lain yang tidak menggunakan alat berat tetap menggunakan durasi normal pada alternatif penambahan alat. Hasil ini memperkuat konsep TCTO bahwa titik optimum diperoleh dari keseimbangan antara durasi percepatan dan total biaya minimum.

Penelitian ini didukung oleh beberapa kajian terdahulu yang sama-sama membahas pengendalian waktu dan biaya proyek. (Agustus et al., 2025) menekankan pentingnya evaluasi kinerja proyek dari sisi waktu dan biaya, sedangkan (Hidayat et al., 2025), (Syahada et al., 2024), (Mudhoffar & Prafitasiwi, 2024), (Jhon et al., 2024) dan (Ramadhani & Prafitasiwi, 2025) menunjukkan bahwa percepatan proyek dapat dilakukan melalui sistem *crash*, CPM, dan metode *Time Cost Trade Off*. Kajian tersebut mendukung penelitian ini dalam menganalisis alternatif percepatan pada aktivitas lintasan kritis untuk memperoleh durasi dan biaya proyek yang paling optimal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil evaluasi kondisi *existing*, Proyek Prasarana Gelora A. Yani Mojokerto mengalami keterlambatan 5 hari yang ditunjukkan oleh deviasi negatif antara *progres* rencana dan *progres* realisasi pada minggu ke-5 sampai minggu ke-7. Kondisi normal proyek memiliki durasi 90 hari dengan biaya langsung sebesar Rp830.042.000,00, biaya tidak langsung sebesar Rp40.500.000,00, dan total *cost* sebesar Rp870.542.000,00.

Hasil analisis menggunakan metode *Time Cost Trade Off* menunjukkan bahwa alternatif penambahan alat berat merupakan alternatif percepatan paling optimal dibandingkan penambahan jam kerja lembur. Alternatif ini menghasilkan durasi akhir proyek sebesar 25 hari dengan total *cost* sebesar Rp843.848.152,79. Dibandingkan kondisi normal, alternatif tersebut mampu mempercepat durasi proyek sebesar 65 hari atau 72,22% dan memberikan penghematan biaya sebesar Rp26.693.847,21 atau 3,07%. Dengan demikian, *metode Time Cost Trade Off* dapat digunakan sebagai dasar dalam menentukan alternatif percepatan proyek yang efisien. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa percepatan proyek tidak hanya ditentukan oleh durasi tercepat, tetapi juga oleh total biaya minimum yang dihasilkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Agustus, N., Saifuddin, A., Ridwan, A., & Damara, B. (2025). *Jurnal Talenta Sipil (Earned Value Management) pada Proyek Pembangunan*, 3 8(2), 755–762. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.942>.
- Ajeng, J., Dwi, K. T., Gunasti, A. (2023). Penerapan Manajemen Konstruksi Pada Tahap Kontroling Proyek Pengolahan Dan Pengembangan Sistem Penyediaan Air Minum Di Desa Silo Kecamatan Silo. *Jurnal Smart Teknologi*, 4(5), 659–666. <https://jurnal.unmuhjember.ac.id/index.php/JST/article/view/23212>.
- Hidayat, M. D. N., Hepiyanto, R., Dhana, R. R. (2025). Manajemen Waktu dan Biaya Proyek dengan Sistem Crash Menggunakan *Microsoft Project* pada Peningkatan Jalan Soko – Karangbinangun. *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), 947–953. <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.955>.
- Ikhtisholiah, Wardana, M. H. I., Agustiar, I. (2025). Penerapan Metode Cpm Dan *Time Cost Trade Off* Dalam Mengelola Waktu Serta Biaya Proyek Konstruksi X. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 9–24. <https://dx.doi.org/10.46930/tekniksipil.v11i2.5578>.

- Intan, A. P., Yulianto, T., Nugroho, M. W. (2025). Analisis Optimasi Waktu Dan Biaya Pada Proyek Rehabilitasi Sarana Dan Prasarana Gedung Sekolah Dengan Metode *Time Cost Trade Off*. *Jurnal Ilmiah Reaktip*, 05(01). 39 - 45. <https://doi.org/10.33752/reaktip.v5i01.9875>.
- Jhon, O., Duwit, W., & Sarya, G. (2024). *Method On The Austinov Surabaya Hotel Construction*. *Journal of Scientech Research and Development*, 6(1), 780–789. doi:10.56670/jsrd.v6i1.404.
- Khiyana, A., Sundari, T., Yulianto, T., Nugroho, M. W., & Agung, A. I. (2025). *Analysis And Risks Fast Track And Crash Program Method On Building Project*. *Jurnal Pensil: Pendidikan Teknik Sipil*, 14(1), 154–168. <https://doi.org/10.21009/jpensil.v14i1.50234>.
- Kuncoro, B. M. C., & Octavia, T. (2025). Analisis Faktor-faktor Keterlambatan Waktu pada Proyek Konstruksi Gedung Bertingkat di Indonesia terhadap Profesionalisme dan Etika Kerja. *Jurnal Dimensi Insinyur Profesional*, 2(2), 7–14. <https://doi.org/10.9744/jdip.2.2.7-14>.
- Lestari, I. N., & Lubis, Z. (2023). Analisis Percepatan Proyek Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* Untuk Pekerjaan Tanah. *Jurnal Gradasi Teknik Sipil*, 7(2), 150–156. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v7i2.1442>.
- 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*, 01(1), 1–8. <https://doi.org/10.30587/jtsl.v1i1.7405>.
- Oktaviani, I. (2023). Review Perbandingan Produktivitas Alat -Alat Berat Pekerjaan Timbunan Borrow Material Pada Proyek Jalan Tol Jakarta-Cikampek Selatan Ii. *Jurnal Ismetek*, 16(1), 42–45. [/https://ismetek.itbu.ac.id/index.php/jurnal/article/view/225](https://ismetek.itbu.ac.id/index.php/jurnal/article/view/225).
- 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*.
- Ramadhani, M. I., & Prafitasiwi, A. G. (2025). Analisis Percepatan Proyek Pembangunan Jalan Beton Tahap II Di Perumahan Citra Sari Regency Dengan Metode *Time Cost Trade Off*(TCTO). *Jurnal Teknik Sipil dan Rekayasa*, 2(1), 23–32. <https://doi.org/10.30587/jtsl.v2i1>.
- Revinanda, R. F., Kustiani, I., Siregar, A. M., & Usman, K. (2023). Analisis Percepatan Pelaksanaan Proyek Pembangunan Gedung Feb Universitas Lampung Tahap II 2022 Metode *Time Cost Trade Off*. *Jurnal Momen Teknik Sipil*, 6(2), 94-102. <https://doi.org/10.35194/momen.v6i02.3418>.
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen proyek: Dari konseptual sampai operasional*. Erlangga.
- Syahada, K. N., Rindo, G., Santosa, A. W. B., Prasetyo, A. N. (2024). Analisis Reschedule Keterlambatan Proyek Reparasi Dua Kapal Dengan Metode *Critical Path Method* (CPM) Dan *Time Cost Trade Off*(TCTO) Pada KM . Kendhaga Nusantara 4 Dan TB . Sorowako Star. *Jurnal Integrasi*, 16(2), 156–164. <https://doi.org/10.30871/ji.v16i2.845.1>
- Widiastuti, E., Sugiarti, M. F., Yuliana, C., & Karim, A. (2025). Optimasi Waktu dan Biaya Proyek Gelanggang Olahraga. *Jurmateks: Jurnal Manajemen Teknologi dan Teknik Sipil*, 8(1), 79-92 <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v8i1.6597>.
- Werdana, S. D., & Priyanto, B. (2023). Analisis Percepatan Waktu Dan Biaya Proyek Konstruksi Dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*. *Journal of Comprehensive Science*, 2(7), 1976–1980. <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i7.423>.