



Tersedia Secara Online di
<https://ojs.unik-kediri.ac.id/index.php/jurmateks/index>
<https://dx.doi.org/10.30737/jurmateks.v8i1.6597>

JURMATEKS

Optimasi Waktu dan Biaya Proyek Gelanggang Olahraga Kalimantan Selatan dengan Metode Time Cost Trade-Off

E. Widiastuti¹, M. F. Sugiarti¹, C. Yuliana², A. Karim¹

¹Program Studi Teknik Sipil, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

²Program Studi Pendidikan Profesi Insinyur, Universitas Lambung Mangkurat, Indonesia

E-mail: endah.widiastuti@ulm.ac.id

ARTICLE INFO

Article history :

Artikel masuk : 29 – 04 – 2025
Artikel revisi : 20 – 05 – 2025
Artikel diterima : 23 – 06 – 2025

Keywords :

Cost Slope, Critical Path,
Crashing, Overtime, Time Cost
Trade Off (TCTO).

Style IEEE dalam mensitasi artikel ini:

E. widiastuti, M. F. Sugiarti, C. Yuliana, and A. Karim,
"Optimasi Waktu dan Biaya Proyek Gelanggang Olahraga Kalimantan Selatan dengan Metode Time Cost Trade-Off" *Jurmateks*, vol.8, no.1, pp. 79 – 92, 2025, doi: 10.30737/jurmateks.v8i1.6597

ABSTRACT

Construction projects often face delays and cost overruns due to material delays, labor shortages, and adverse weather. In the Sports Building project in South Kalimantan, a 17-day delay beyond the planned 270-day schedule increased costs, risk of penalties, and threatened the contractor's reputation and project sustainability. Therefore, accelerating completion is essential to reduce losses. Overtime on critical path activities is a common acceleration method but requires careful analysis since excessive overtime can reduce productivity and raise costs. This study aims to analyze alternatives for accelerating the duration of the construction of a sports arena in South Kalimantan using the Time Cost Trade-Off (TCTO) method. TCT method is applied, focusing on adding 2, 3, and 4 hours of overtime per day on critical path tasks. The approach integrates actual project data, regulations, and productivity factors to develop effective acceleration strategies. Results show that adding 3 hours of overtime daily is the most efficient, reducing duration from 287 to 283 days and saving IDR 71,652,415.38. However, the 270-day target is not yet met, requiring further crashing. This paper presents only one crashing iteration as a practical simulation to demonstrate the method and potential outcomes. Future crashing will focus on tasks with the lowest cost slope while considering task dependencies.

1. Pendahuluan

Keberhasilan proyek konstruksi sering dievaluasi berdasarkan kinerja waktu, biaya, dan kualitas, yang saling berkaitan [1]. Manajemen proyek konstruksi merupakan proses yang kompleks karena melibatkan berbagai sumber daya dan aktivitas, sehingga menimbulkan tantangan dalam penjadwalan setiap kegiatan [2]. Dua permasalahan umum yang sering terjadi adalah keterlambatan dan pembengkakan biaya. Keduanya berdampak signifikan terhadap

profitabilitas, reputasi, dan keberlanjutan bisnis kontraktor [3]. Dalam praktiknya, pengerjaan ulang menjadi ancaman utama bagi kinerja proyek, karena meningkatkan risiko keterlambatan dan pembengkakan biaya [4]. Oleh sebab itu, pengendalian waktu, biaya, dan kualitas perlu dikelola secara seimbang untuk memastikan keberhasilan proyek [5].

Proyek Pembangunan Gelanggang Olahraga di Kalimantan Selatan berdasarkan dokumen kontrak memiliki durasi awal 240 hari kalender dengan biaya Rp. 60.929.075.469,00, waktu penyelesaian berubah menjadi 270 hari kalender, dimulai pada 21 Maret 2023 hingga 15 Desember 2023, dengan biaya meningkat menjadi Rp.61.185.878.805,63 (termasuk PPN). Keterlambatan tersebut disebabkan oleh suplai material yang terlambat, kekurangan tenaga kerja, serta faktor cuaca. Sedangkan penambahan biaya terjadi akibat bertambahnya waktu penyelesaian yang memicu kenaikan biaya tidak langsung proyek.

Dalam praktik lapangan, percepatan proyek menjadi penting untuk menghindari kerugian akibat keterlambatan jadwal [6]. Penjadwalan percepatan dapat dilakukan dengan metode seperti *Precedence Diagram Method* (PDM) dan *Time Cost Trade-Off* (TCTO)[7]. Metode TCTO menunjukkan bahwa peningkatan sumber daya dapat mempercepat durasi proyek, namun tidak selalu sebanding dengan biaya yang dikeluarkan [8]. Pemilihan aktivitas yang tidak tepat justru berpotensi menambah biaya tanpa mengurangi durasi secara signifikan, bahkan dapat menimbulkan biaya yang lebih tinggi [9]. Disisi lain, upaya meminimalkan biaya secara berlebihan juga berisiko menurunkan kualitas proyek [10]. Manajemen risiko kontinjensi perlu dilakukan untuk mengantisipasi perubahan tak terduga yang berpengaruh terhadap waktu, biaya, dan mutu proyek [11].

Metode TCTO digunakan untuk menganalisis opsi percepatan proyek seperti penambahan jam lembur, tenaga kerja, peralatan, atau perubahan metode konstruksi untuk mencapai keseimbangan optimal antara biaya dan waktu [12], [13], [14]. Crashing proyek seringkali dipakai untuk mempercepat durasi dengan biaya minimum [15], [16]. Penambahan jam lembur umum digunakan sebagai strategi percepatan, meski berpotensi menurunkan produktivitas dan meningkatkan risiko kecelakaan, sehingga perlu evaluasi cermat menggunakan metode TCTO [17].

Berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas metode TCTO dalam optimasi durasi dan biaya proyek konstruksi melalui penambahan jam kerja tidak mempertimbangkan produktivitas lembur, regulasi nasional, atau data proyek actual [18], [19], [20], [21]. Penelitian lainnya lebih membahas pada penggunaan software dan tidak membahas regulasi nasional [22], [23], [24]. Beberapa studi ada yang memperhitungkan produktivitas lembur namun tidak dibatasi dengan regulasi lembur nasional.

Integrasi antara data aktual proyek, batasan regulasi lembur nasional, serta penurunan produktivitas merupakan aspek penting karena dengan mengintegrasikan ketiga aspek tersebut, maka akan didapatkan solusi percepatan proyek yang efisien, realistis, sesuai regulasi, dan memperhatikan kondisi pekerja [25], [26]. Namun demikian, pada proyek Pembangunan Gelanggang Olahraga di Kalimantan Selatan, yang mengalami keterlambatan penyelesaian, belum pernah dilakukan kajian komprehensif mengenai penerapan metode TCTO dengan mempertimbangkan ketiga aspek tersebut.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis alternatif percepatan durasi pada Pembangunan Gelanggang Olahraga di Kalimantan Selatan dengan metode Time Cost Trade-Off (TCTO). Melalui strategi penambahan jam kerja (lembur), diharapkan dapat diperoleh kombinasi waktu dan biaya yang paling optimal. Melalui penelitian ini akan diperoleh solusi percepatan proyek yang efisien, realistis, sesuai regulasi, dan memperhatikan kondisi pekerja, sekaligus memberikan kontribusi bagi pengembangan literatur implementasi TCTO dalam konteks konstruksi di Indonesia.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain studi kasus pada proyek Pembangunan Gelanggang Olahraga di Kalimantan Selatan. Metode penelitian yang diterapkan adalah analisis *Time Cost Trade-Off* (TCTO), karena fokus penelitian terletak pada analisis numerik dan perhitungan matematis terkait hubungan antara durasi, biaya, serta dampak penambahan jam lembur terhadap produktivitas dan efisiensi proyek.

Pendekatan studi kasus dipilih untuk memberikan pemahaman mendalam mengenai penerapan metode TCTO pada proyek nyata, sehingga hasil analisis dapat menggambarkan kondisi lapangan secara lebih realistis. Dengan demikian, temuan penelitian ini diharapkan dapat menjadi dasar pengambilan keputusan dalam strategi percepatan proyek konstruksi serupa di masa mendatang.

2.1 Sumber dan Jenis Data

Data primer diperoleh melalui wawancara dengan pelaksana proyek dan pengumpulan data lapangan terkait aktivitas proyek, volume pekerjaan, serta pelaksanaan lembur. Data sekunder meliputi dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB), Bill of Quantity (BoQ), S-curve, laporan mingguan proyek, gambar rencana, serta regulasi terkait ketenagakerjaan seperti Peraturan Pemerintah No. 5 Tahun 2021 dan Perppu Cipta Kerja.

2.2 Analisis

Analisis data pada penelitian ini dilakukan secara bertahap untuk memperoleh kombinasi waktu dan biaya yang optimal.

1. Penentuan Durasi Dan Biaya Normal

Dalam pasal 11 ayat (3) PERMEN PUPR No.8 tahun 2023 disebutkan besaran biaya tidak langsung dihitung sebesar 10% hingga 15% dari biaya langsung. Pada penelitian ini biaya tidak langsung sebesar 10%. Total cost yang digunakan adalah nilai RAB proyek tanpa penambahan nilai PPN 11% yaitu sebesar Rp 54.607.070.537,08.

2. Penyusunan Jaringan Kerja (PDM)

Metode Precedence Diagram (PDM) digunakan untuk membuat jaringan kerja proyek dan menentukan lintasan kritis yang menjadi fokus percepatan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak Microsoft Project[29] [30].

3. Analisis Crashing pada Lintasan Kritis

Crashing dilakukan pada aktivitas yang berada di lintasan kritis dengan penambahan jam lembur yaitu 2 jam, 3 jam, dan 4 jam, sesuai regulasi nasional. Penambahan jam lembur memperhitungkan penurunan produktivitas tenaga kerja, dengan koefisien penurunan produktivitas mengacu pada Soeharto (1997). Koefisien penurunan produktivitas ditunjukkan pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Koefisien Penurunan Produktivitas

Jam Lembur	Penurunan Indeks Produktivitas	Prestasi Kerja (%)
1 jam	0,1	90
2 jam	0,2	80
3 jam	0,3	70
4 jam	0,4	60

Sumber : Soeharto (1997) [28].

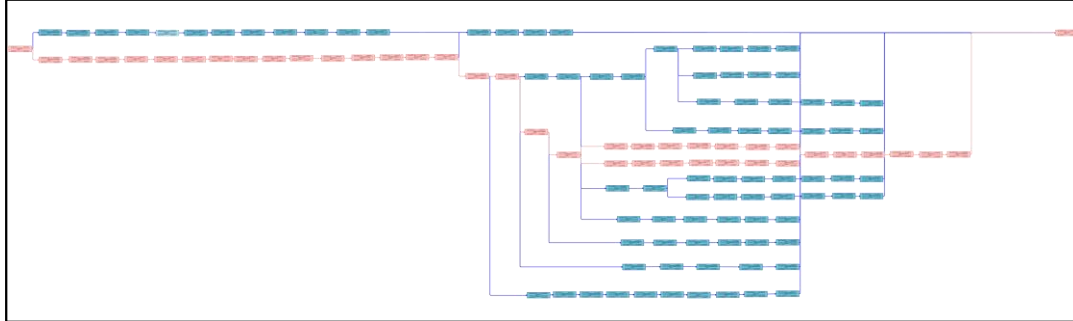
Perhitungan dimulai dengan menentukan crash duration, kemudian dilanjutkan dengan perhitungan crash cost dan cost slope. Selanjutnya dilakukan analisis Time Cost Trade-Off (TCTO) dengan cara mengompresi pekerjaan yang memiliki cost slope terendah. Berbagai alternatif percepatan kemudian dibandingkan untuk memperoleh kombinasi optimal antara percepatan waktu dan efisiensi biaya, sekaligus mengevaluasi apakah target durasi proyek dapat tercapai.

3. Hasil dan Diskusi

3.1 Biaya dan Durasi Normal Proyek

Biaya normal proyek terdiri dari penjumlahan antara biaya langsung (*Direct Cost*) dan biaya tidak langsung (*Indirect Cost*). Biaya Langsung dan tidak langsung untuk pelaksanaan

proyek ini sebesar Rp. 49,146,363,483.37 dan Rp. 5,460,707,053.71. Durasi normal proyek yaitu 287 hari kalender. Untuk menentukan jalur kritis dari networking yang dibuat sebelumnya digunakan bantuan software Microsoft Project. Jaringan kerja PDM dapat dilihat pada **Gambar 1** dan daftar pekerjaan yang termasuk dalam lintasan kritis dapat dilihat pada **Tabel 2**.



Sumber : Hasil Pengolahan Data (2019).

Gambar 1. Network Diagram PDM

Tabel 2. Pekerjaan Pada Lintasan Kritis

No.	Uraian Pekerjaan	Durasi (Hari)	Volume	Satuan
1	Pekerjaan pemancangan tiang pancang, pondasi	30	354	bh
2	Pekerjaan pondasi struktur pile cap, sloof	30	155.46	m ³
3	Kolom K1 80 x80 (Lantai 1)	12	4	bh
4	Kolom K2 50 x90 (Lantai 1)	12	28	bh
5	Kolom K3 50 x50 (Lantai 1)	12	96	bh
6	Pengecoran Plat Lantai (lantai 1)	12	3008	m ³
7	Kolom K1 80 x80 (Lantai 2)	6	28	bh
8	Kolom K3 50 x50 (Lantai 2)	12	64	bh
9	Balok B1 30x65 (Lantai 2)	24	201	bh
10	Balok BA 20x45 (Lantai 2)	54	223	bh
11	Balok Tribun B1 30x65 (Lantai 2)	48	216	bh
12	Balok Tribun BA 20x45 (Lantai 2)	42	294	bh
13	Pengecoran Plat Lantai Tribun (Lantai 2)	36	171.8	m ³
14	Kolom K2 50 x90 (Lantai 3)	12	28	bh
15	Balok Kantilever Kuda-Kuda (Lantai 3)	12	16	bh
16	Pas. Bata Ringan 20x60x10 cm (Lantai 1)	18	956.5	m ²
17	Pasangan Lantai Homogeneous Tile 60x60 (Lantai 1)	30	848.5	m ²
18	Kubikal Toilet (Lantai 1)	18	75	m ²
19	Cat Plafond Luar (Lantai 1)	6	248	m ²
20	Pekerjaan Sanitair (Lantai 1)	36	1	2
21	Pasangan Lantai Homogeneous Tile 60x60 cm (Lantai 2)	18	594	m ²
22	Cat Plafond Dalam (Lantai 3)	12	897	m ²
23	Pasangan Lantai Homogeneous Tile 60x60 cm (Tangga)	30	300	m ²
24	Pekerjaan Panel	24	1	Ls
25	Pekerjaan Air Bersih (Lantai 1)	18	1	Ls
26	Pekerjaan Air Bekas dan Air Kotor (Lantai 1)	6	1	Ls
27	Pekerjaan Air Bersih (Lantai 2)	18	1	Ls
28	Pekerjaan Air Hujan (Lantai Dak)	30	1	Ls
29	Pekerjaan Tata Suara	18	57	ttk
30	Pekerjaan LED Skoring Board	18	1	unit
31	Pengondisian Udara	36	1	Ls
32	Power House	24	1	Ls

No.	Uraian Pekerjaan	Durasi (Hari)	Volume	Satuan
33	Bak Kontrol	12	1	Ls
34	R Railing	12	150	m ²
35	Railing Ramp Dalam Stainless	6	6.4	m ²
36	Hand Railing Stainless	6	325.6	m ¹
37	Dak Entrance	18	1	Ls
38	Pematangan Lahan	54	1	Ls
39	Pekerjaan Cut and Fill	24	1	Ls

Sumber : Hasil Pengolahan Data (2021).

Tabel 2 menunjukkan bahwa sebagian besar jalur kritis terdapat pada pekerjaan struktur dan mekanikal elektrikal plumbing, yang umumnya masuk ke dalam jalur kritis karena berada di awal dan akhir proyek [30][16] sehingga layak diprioritaskan untuk percepatan.

Crashing hanya dilakukan pada pekerjaan yang berada di lintasan kritis, dengan ketentuan waktu kerja normal 10 jam perhari, termasuk 2 jam istirahat sehingga waktu kerja efektif adalah 8 jam, sedangkan lembur dilaksanakan setelah jam kerja normal. Penambahan jam lembur mengakibatkan penurunan produktivitas, dimana setiap penambahan 1 jam lembur menurunkan produktivitas sebesar 10%. Berdasarkan ketentuan tersebut dilakukan perhitungan *crash duration*, *crash cost* dan *cost slope* dengan hasil yang disajikan pada **Tabel 3**, **Tabel 4**, dan **Tabel 5**.

Tabel 3. Crash Duration Penambahan Jam Lembur per Pekerjaan

No	Uraian Pekerjaan	Prod. Per Jam	Prod. Lembur			Prod. Crash			Crash Duration			Crash Duration Limit		
			2 Jam	3 Jam	4 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam
1	Pekerjaan pemancangan tiang pancang, pondasi	1,475	2,360	3,098	3,540	14,160	14,898	15,340	25	24	24	5	6	6
2	Pekerjaan pondasi struktur pilecap, sloof	0,648	1,036	1,360	1,555	6,218	6,542	6,737	25	24	24	5	6	6
3	Kolom K1 80 x80 (Lantai 1)	0,042	0,067	0,088	0,100	0,400	0,421	0,433	10	10	10	2	2	2
4	Kolom K2 50 x90 (Lantai 1)	0,292	0,467	0,613	0,700	2,800	2,946	3,033	10	10	10	2	2	2
5	Kolom K3 50 x50 (Lantai 1)	1,000	1,600	2,100	2,400	9,600	10,100	10,400	10	10	10	2	2	2
6	Plat Lantai (Lantai 1)	31,333	50,133	65,800	75,200	300,800	316,467	325,867	10	10	10	2	2	2
7	Kolom K1 80 x80 (Lantai 2)	0,583	0,933	1,225	1,400	5,600	5,892	6,067	5	5	5	1	1	1
8	Kolom K3 50 x50 (Lantai 2)	0,667	1,067	1,400	1,600	6,400	6,733	6,933	10	10	10	2	2	2
9	Balok B1 30x65 (Lantai 2)	1,047	1,675	2,198	2,513	10,050	10,573	10,888	20	20	19	4	4	5
10	Balok BA 20x45 (Lantai 2)	0,516	0,826	1,084	1,239	4,956	5,214	5,369	45	43	42	9	11	12
11	Balok Tribun B1 30x65 (Lantai 2)	0,563	0,900	1,181	1,350	5,400	5,681	5,850	40	39	37	8	9	11
12	Balok Tribun BA 20x45 (Lantai 2)	0,875	1,400	1,838	2,100	8,400	8,838	9,100	35	34	33	7	8	9
13	Plat Lantai Tribun (Lantai 2)	0,597	0,954	1,253	1,432	5,727	6,025	6,204	30	29	28	6	7	8
14	Kolom K2 50 x90 (Lantai 3)	0,292	0,467	0,613	0,700	2,800	2,946	3,033	10	10	10	2	2	2
15	Balok Kantilever Kuda-Kuda (Lantai 3)	0,167	0,267	0,350	0,400	1,600	1,683	1,733	10	10	10	2	2	2

No	Uraian Pekerjaan	Prod. Per Jam	Prod. Lembur			Prod. Crash			Crash Duration			Crash Duration Limit		
			2 Jam	3 Jam	4 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam	2 Ja m	3 Ja m	4 Ja m	2 Ja m	3 Ja m	4 Ja m
16	Pas. Bata Ringan 20x60x10 cm (Lantai 1)	6,642	10,62 8	13,94 9	15,94 2	63,76 7	67,08 8	69,08 1	15	15	14	3	3	4
17	Pasangan Lantai Homogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Granito (Lantai 1)	3,535	5,657	7,424	8,485	33,94 0	35,70 8	36,76 8	25	24	24	5	6	6
18	Kubikel Toilet (Lantai 1)	0,521	0,833	1,094	1,250	5,000	5,260	5,417	15	15	14	3	3	4
19	Cat Plafond Luar (Lantai 1)	5,167	8,267	10,85 0	12,40 0	49,60 0	52,18 3	53,73 3	5	5	5	1	1	1
20	Pasangan Lantai Homogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Granito (Lantai 2)	4,125	6,600	8,663	9,900	39,60 0	41,66 3	42,90 0	15	15	14	3	3	4
21	Cat Plafond Dalam (Lantai 3)	9,344	14,95 0	19,62 2	22,42 5	89,70 0	94,37 2	97,17 5	10	10	10	2	2	2
22	Pasangan Lantai Homogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Ramp Naik (Tangga)	1,250	2,000	2,625	3,000	12,00 0	12,62 5	13,00 0	25	24	24	5	6	6
23	Pekerjaan Tata Suara	0,396	0,633	0,831	0,950	3,800	3,998	4,117	15	15	14	3	3	4
24	Pekerjaan LED Skoring Board	0,007	0,011	0,015	0,017	0,067	0,070	0,072	15	15	14	3	3	4
25	R Railing	1,563	2,500	3,281	3,750	15,00 0	15,78 1	16,25 0	10	10	10	2	2	2
26	Railing Ramp Dalam Stainless	0,133	0,213	0,280	0,320	1,280	1,347	1,387	5	5	5	1	1	1
27	Hand Railing Stainless	6,783	10,85 3	14,24 5	16,28 0	65,12 0	68,51 2	70,54 7	5	5	5	1	1	1

Sumber : Hasil Pengolahan Data (2021).

Berdasarkan **Tabel 3.** didapatkan *crash duration* limit yang merupakan batas maksimum waktu yang dapat dipercepat dari kondisi normal ke kondisi tercepat.

Tabel 4. Crash Cost Penambahan Jam Lembur per Pekerjaan

No	Uraian Pekerjaan	Crash Cost		
		2 Jam	3 Jam	4 Jam
1	Pekerjaan pemancangan tiang pancang, pondasi	Rp2.556.188.012,00	Rp2.559.788.012,00	Rp2.564.344.262,00
2	Pekerjaan pondasi struktur pilecap, sloof	Rp2.320.854.635,16	Rp2.338.507.303,86	Rp2.360.639.794,36
3	Kolom K1 80 x80 (Lantai 1)	Rp 68.922.642,00	Rp 71.760.752,00	Rp 75.793.892,00
4	Kolom K2 50 x90 (Lantai 1)	Rp 388.006.993,92	Rp 390.845.103,92	Rp 394.878.243,92
5	Kolom K3 50 x50 (Lantai 1)	Rp 829.011.691,13	Rp 834.674.555,13	Rp 848.522.628,63
6	Plat Lantai (Lantai 1)	Rp 752.092.037,60	Rp 755.874.399,40	Rp 761.249.380,93
7	Kolom K1 80 x80 (Lantai 2)	Rp 393.812.041,38	Rp 396.863.901,38	Rp 401.200.791,38
8	Kolom K3 50 x50 (Lantai 2)	Rp 394.605.900,39	Rp 400.512.838,09	Rp 408.787.736,33
9	Balok B1 30x65 (Lantai 2)	Rp1.204.016.182,81	Rp1.211.180.968,94	Rp1.226.144.677,83
10	Balok BA 20x45 (Lantai 2)	Rp 621.871.286,15	Rp 651.962.256,96	Rp 706.240.879,76
11	Balok Tribun B1 30x65 (Lantai 2)	Rp1.759.482.156,35	Rp1.784.278.302,67	Rp1.822.814.789,45
12	Balok Tribun BA 20x45 (Lantai 2)	Rp 841.574.552,09	Rp 864.097.618,90	Rp 891.130.683,05
13	Plat Lantai Tribun (Lantai 2)	Rp3.284.208.882,27	Rp3.298.903.353,62	Rp3.329.452.604,99
14	Kolom K2 50 x90 (Lantai 3)	Rp 30.037.021,94	Rp 32.661.381,94	Rp 36.390.771,94
15	Balok Kantilever Kuda-Kuda (Lantai 3)	Rp 206.638.913,54	Rp 209.773.895,54	Rp 214.228.913,54

No	Uraian Pekerjaan	Crash Cost		
		2 Jam	3 Jam	4 Jam
16	Pas. Bata Ringan 20x60x10 cm (Lantai 1)	Rp 238.341.682,69	Rp 243.910.432,69	Rp 249.175.432,69
17	Pasangan Lantai Hemogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Granito (Lantai 1)	Rp 126.634.783,50	Rp 136.022.229,70	Rp 152.264.976,48
18	Kubikel Toilet (Lantai 1)	Rp 269.541.380,00	Rp 273.961.356,00	Rp 278.551.380,00
19	Cat Plafond Luar (Lantai 1)	Rp 2.867.942,07	Rp 3.832.872,07	Rp 5.182.317,07
20	Pasangan Lantai Hemogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Granito (Lantai 2)	Rp 48.290.441,36	Rp 51.085.429,36	Rp 53.987.941,36
21	Cat Plafond Dalam (Lantai 3)	Rp 52.814.534,78	Rp 54.723.205,82	Rp 62.870.103,34
22	Pasangan Lantai Hemogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Ramp Naik (Tangga)	Rp 25.759.958,84	Rp 29.565.870,84	Rp 42.361.833,84
23	Pekerjaan Tata Suara	Rp 93.533.270,00	Rp 97.307.645,00	Rp 103.467.020,00
24	Pekerjaan LED Skoring Board	Rp 576.417.500,00	Rp 579.455.000,00	Rp 583.100.000,00
25	R Railing	Rp 121.386.875,00	Rp 123.269.047,80	Rp 125.943.750,00
26	Railing Ramp Dalam Stainless	Rp 5.981.875,00	Rp 7.151.555,00	Rp 8.813.750,00
27	Hand Railing Stainless	Rp 408.518.125,00	Rp 410.578.421,00	Rp 413.506.250,00

Sumber : Hasil Pengolahan Data (2021).

Berdasarkan **Tabel 4.** diketahui bahwa penerapan lembur menyebabkan peningkatan biaya langsung, namun sekaligus mampu menurunkan biaya tidak langsung akibat pemendekan durasi proyek, sejalan dengan penelitian [7]. Nilai *crash cost* meningkat seiring bertambahnya jam lembur dengan tingkat efisiensi yang bervariasi pada setiap jenis pekerjaan. Tidak semua jenis pekerjaan memberikan efisiensi biaya yang sama ketika dilakukan percepatan. Beberapa pekerjaan menunjukkan kenaikan *crash cost* yang relatif kecil terhadap pengurangan durasi, sementara pekerjaan lain justru mengalami kenaikan *crash cost* yang signifikan.

Tabel 5. Cost Slope Penambahan Jam Lembur per Pekerjaan

No	Uraian Pekerjaan	Cost Slope		
		2 Jam	3 Jam	4 Jam
1	Pekerjaan pemancangan tiang pancang, pondasi	Rp 1.552.581,82	Rp 3.643.093,50	Rp 6.623.806,37
2	Pekerjaan pondasi struktur pilecap, sloof	Rp 5.802.789,04	Rp 15.607.338,82	Rp 24.134.741,69
3	Kolom K1 80 x80 (Lantai 1)	Rp 2.091.250,00	Rp 4.929.360,00	Rp 8.962.500,00
4	Kolom K2 50 x90 (Lantai 1)	Rp 2.091.250,00	Rp 4.929.360,00	Rp 8.962.500,00
5	Kolom K3 50 x50 (Lantai 1)	Rp 5.187.218,75	Rp 12.226.981,35	Rp 18.363.750,00
6	Plat Lantai (Lantai 1)	Rp 2.949.216,15	Rp 6.951.703,50	Rp 12.639.497,77
7	Kolom K1 80 x80 (Lantai 2)	Rp 2.248.750,00	Rp 5.300.610,00	Rp 9.637.500,00
8	Kolom K3 50 x50 (Lantai 2)	Rp 4.815.687,50	Rp 11.407.518,13	Rp 20.638.660,71
9	Balok B1 30x65 (Lantai 2)	Rp 4.952.187,50	Rp 9.693.241,57	Rp 17.272.521,68
10	Balok BA 20x45 (Lantai 2)	Rp 5.467.559,12	Rp 13.050.593,99	Rp 26.809.592,84
11	Balok Tribun B1 30x65 (Lantai 2)	Rp 7.736.110,32	Rp 11.869.123,00	Rp 21.408.851,58
12	Balok Tribun BA 20x45 (Lantai 2)	Rp 5.192.453,40	Rp 12.271.189,22	Rp 22.311.329,43
13	Plat Lantai Tribun (Lantai 2)	Rp 5.153.158,41	Rp 11.037.975,20	Rp 20.556.595,73
14	Kolom K2 50 x90 (Lantai 3)	Rp 1.933.750,00	Rp 4.558.110,00	Rp 8.287.500,00
15	Balok Kantilever Kuda-Kuda (Lantai 3)	Rp 2.310.000,00	Rp 5.444.982,00	Rp 9.900.000,00

16	Pas. Bata Ringan 20x60x10 cm (Lantai 1)	Rp	706.625,65	Rp	1.157.742,58	Rp	7.688.997,72
17	Pasangan Lantai Hemogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Granito (Lantai 1)	Rp	2.127.437,56	Rp	5.019.148,92	Rp	9.033.823,75
18	Kubikel Toilet (Lantai 1)	Rp	1.190.000,00	Rp	2.804.988,00	Rp	5.100.000,00
19	Cat Plafond Luar (Lantai 1)	Rp	704.375,00	Rp	1.660.305,00	Rp	3.018.750,00
20	Pasangan Lantai Hemogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Granito (Lantai 2)	Rp	770.180,92	Rp	1.783.982,65	Rp	3.243.615,79
21	Cat Plafond Dalam (Lantai 3)	Rp	1.083.791,76	Rp	2.354.822,14	Rp	5.221.980,44
22	Pasangan Lantai Hemogeneous Tile 60x60 cm Un Polished ex. Ramp Naik (Tangga)	Rp	2.727.083,33	Rp	6.428.102,00	Rp	9.232.500,00
23	Pekerjaan Tata Suara	Rp	621.170,45	Rp	2.152.767,86	Rp	3.806.350,27
24	Pekerjaan LED Skoring Board	Rp	472.500,00	Rp	1.113.750,00	Rp	2.025.000,00
25	R Railing	Rp	1.507.472,83	Rp	3.553.312,83	Rp	6.460.597,83
26	Railing Ramp Dalam Stainless	Rp	861.875,00	Rp	2.031.555,00	Rp	3.693.750,00
27	Hand Railing Stainless	Rp	1.439.861,11	Rp	3.393.942,67	Rp	6.170.833,33

Sumber : Hasil Pengolahan Data (2021).

Berdasarkan **Tabel 5.** dapat diketahui bahwa pekerjaan dengan nilai cost slope (kenaikan biaya per satuan percepatan waktu) yang paling rendah menjadi prioritas utama untuk dilakukan crashing, karena memberikan percepatan waktu dengan tambahan biaya yang paling efisien. Hasil analisis menunjukkan bahwa kombinasi penambahan jam lembur pada pekerjaan-pekerjaan tertentu dapat menghasilkan total crash cost yang lebih rendah dibandingkan jika seluruh pekerjaan dipercepat secara bersamaan.

Pada penelitian ini akan dilakukan crashing pada pekerjaan LED Skoring Board yang memiliki nilai cost slope terendah. Setelah dilakukan analisis Time Cost Trade Off (TCTO), didapatkan hasil kompresi penambahan jam lembur yang dapat dilihat pada **Tabel 6.**

Tabel 6. Kompresi Penambahan Jam Lembur

	Normal	Penambahan Jam Lembur		
		2 jam	3 jam	4 jam
Target (hari)	270	270	270	270
Durasi (hari)	287	284	283	283
Sisa (hari)	17	14	13	13
Biaya Langsung	Rp 49.146.363.483,37	Rp 49.147.780.983,37	Rp 49.150.818.483,37	Rp 49.154.463.483,37
Biaya Tidak Langsung	Rp 5.460.707.053,71	Rp 5.403.626.492,17	Rp 5.384.599.638,33	Rp 5.384.599.638,33
Biaya Total	Rp 54.607.070.537,08	Rp 54.551.407.475,54	Rp 54.535.418.121,70	Rp 54.539.063.121,70

Sumber : Hasil Pengolahan Data (2021).

Alternatif percepatan dengan penambahan jam lembur 3 jam per hari pada pekerjaan kritis menghasilkan durasi proyek 283 hari dan total biaya proyek Rp 54.535.418.121,70. Hasil ini menunjukkan penambahan 3 jam lembur per hari merupakan pilihan paling efisien karena

mampu menurunkan durasi dari 287 menjadi 283 hari dengan penghematan biaya Rp 71.652.415,38. Alternatif ini dipilih karena menghasilkan pengurangan durasi dengan tambahan biaya yang efisien sedangkan penambahan 4 jam lembur tidak dipilih karena menghasilkan pengurangan durasi yang sama dengan penambahan 3 jam lembur namun dengan biaya yang lebih besar.

Pada proyek ini, penerapan satu kali *crashing* pada pekerjaan dengan *cost slope* terkecil masih belum mampu memenuhi target durasi rencana. Simulasi penelitian ini hanya dilakukan satu kali crashing untuk menunjukkan metode dan hasil yang mungkin terjadi di lapangan. Untuk mencapai target durasi rencana perlu dilakukan crashing tahap berikutnya pada pekerjaan lain dengan prosedur yang sama, yaitu menentukan lintasan kritis proyek, menghitung crash duration, crash cost, cost slope, serta melakukan analisis TCTO. Perbedaan perhitungan pada tahap berikutnya terletak pada penggunaan durasi proyek hasil crashing sebelumnya, yakni dari 287 hari menjadi 284 hari (penambahan 2 jam) atau 283 hari (penambahan 3–4 jam). Perubahan durasi akibat crashing dapat menimbulkan lintasan kritis baru, sehingga penjadwalan dan identifikasi lintasan kritis perlu dilakukan ulang sebelum memulai perhitungan crashing tahap selanjutnya.

Berdasarkan hasil perhitungan, penelitian ini sejalan dengan konsep Time Cost Trade Off (TCTO), di mana percepatan proyek melalui penambahan jam lembur memang memerlukan tambahan biaya langsung, namun dapat mengurangi biaya tidak langsung akibat pemendekan waktu pelaksanaan proyek. Hal ini sesuai dengan teori yang dikemukakan oleh Soeharto (1997) dan Kerzner (2017), bahwa percepatan proyek harus mempertimbangkan trade-off antara waktu dan biaya [28][31]. Penurunan produktivitas akibat lembur juga telah diperhitungkan, sehingga analisis menjadi lebih realistis dan sesuai dengan kondisi aktual di lapangan. Penelitian ini juga menyesuaikan dengan regulasi nasional terkait batasan jam lembur, sehingga hasilnya lebih aplikatif di Indonesia.

Hasil penelitian ini juga sejalan dengan studi yang dilakukan oleh Sari (2022) dan Akin et al. (2021), bahwa penambahan jam lembur efektif mempercepat proyek, namun harus diimbangi dengan analisis crash cost untuk menghindari pemborosan. Penelitian ini menegaskan bahwa crash cost perlu dihitung secara spesifik pada setiap pekerjaan dengan mempertimbangkan data proyek aktual, regulasi nasional batas lembur, serta penurunan produktivitas, sehingga evaluasi percepatan menjadi lebih komprehensif dan realistis. Strategi percepatan paling optimal diperoleh dengan memilih pekerjaan yang memiliki cost slope terendah, karena menghasilkan keseimbangan terbaik antara tambahan biaya dan pengurangan durasi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menyimpulkan bahwa penerapan metode *Time Cost Trade-Off* (TCTO) melalui penambahan jam lembur pada aktivitas lintasan kritis dapat mengoptimalkan durasi dan biaya proyek pembangunan Gelanggang Olahraga di Kalimantan Selatan. Alternatif paling efisien diperoleh pada skenario penambahan tiga jam lembur per hari, yang mampu menurunkan durasi proyek dari 287 menjadi 283 hari sekaligus menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp 71.652.415,38. Hasil analisis juga menunjukkan bahwa pemilihan aktivitas dengan cost slope terendah menjadi kunci strategi percepatan yang efisien, karena crash cost yang timbul sebanding dengan pengurangan durasi yang dicapai. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi penting sebagai dasar pengambilan keputusan berbasis data aktual proyek, regulasi lembur nasional, serta pertimbangan penurunan produktivitas, sehingga hasil yang diperoleh lebih realistis dan aplikatif bagi proyek konstruksi di Indonesia.

5. Ucapan Terima Kasih

Kami mengucapkan terima kasih kepada semua orang yang telah membantu menjalankan penelitian ini. Kami juga berterima kasih kepada dinas terkait, kontraktor, dan konsultan yang telah memberikan bantuan dengan menyediakan data yang diperlukan.

Daftar Pustaka

- [1] F. D. Akin, P. Gul, T. Harun, and A. and Damci, "A crashing-based time-cost trade-off model considering quality cost and contract clauses," *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 23, no. 6, pp. 954–963, Jun. 2021, doi: 10.1080/15623599.2021.1946899.
- [2] K. R. Srimathi, A. Padmarekha, and K. S. Anandh, "Automated construction schedule optimisation using genetic algorithm," *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 24, no. 8, pp. 3521–3528, 2023, doi: 10.1007/s42107-023-00729-8.
- [3] T. Rahmanto and S. Janizar, "Pengendalian Biaya Dan Waktu Dengan Metode Earned Value Proyek Familia Urban B.Ek.a.Si," *J. Tek. Sipil Cendekia*, vol. 3, no. 2, pp. 16–27, 2022, doi: 10.51988/jtsc.v3i2.48.
- [4] S. Sadri and S. M. T. and Fatemi Ghomi, "Evaluating time-cost trade-off in a resource constraint GERT-type project scheduling problem considering rework," *Int. J. Syst. Sci. Oper. Logist.*, vol. 11, no. 1, p. 2436194, Dec. 2024, doi: 10.1080/23302674.2024.2436194.
- [5] J. Wang, Z. Wang, and H. Liu, "Multi-objective Stochastic Time-cost-quality Optimization for Construction Projects Based on the Reliability Theory," *KSCE J. Civ.*

- Eng.*, vol. 27, no. 11, pp. 4545–4556, 2023, doi: 10.1007/s12205-023-1083-z.
- [6] V. V Nazimko and L. M. and Zakharova, “Project Schedule Expediting under Structural and Parametric Uncertainty,” *Eng. Manag. J.*, vol. 35, no. 1, pp. 29–49, Jan. 2023, doi: 10.1080/10429247.2022.2030179.
- [7] R. Pratiwi, S. Mulia Devi, A. Marini, and H. Maya Sari, “Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off (Tcto) Pada Proyek Penambahan Bangunan Pasar Rakyat,” *J. Ilm. Tek. Sipil TRANSUKMA*, vol. 4, no. 2, pp. 93–105, 2022, doi: 10.36277/transukma.v4i2.134.
- [8] H. Zou and G. and Zhou, “Multimode variable resource-constrained time/cost trade-off problem in repetitive projects with adjustment strategy,” *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 24, no. 12, pp. 1271–1281, Sep. 2024, doi: 10.1080/15623599.2023.2276650.
- [9] T. I. K. Amar, F. F. Astuti, and ..., “Strategi Percepatan Proyek Dengan Metode Crashing Pada Pembangunan Drainase Di Pemukiman Padat Penduduk,” *J. Tek. Sipil ...*, vol. 09, no. 02, pp. 74–81, 2023, [Online]. Available: <http://ejournal.um-sorong.ac.id/index.php/rancangbangun/article/view/2632%0Ahttps://ejournal.um-sorong.ac.id/index.php/rancangbangun/article/download/2632/1482>
- [10] T. Wang, M. Abdallah, C. Clevenger, and S. Monghasemi, “Time–cost–quality trade-off analysis for planning construction projects,” *Eng. Constr. Archit. Manag.*, vol. 28, no. 1, pp. 82–100, Jan. 2021, doi: 10.1108/ECAM-12-2017-0271.
- [11] A. Alhady, A. A. Khaled, and S. and Mahfouz, “Time-cost quality risk trade-off for infrastructure projects in Egypt,” *HBRC J.*, vol. 21, no. 1, pp. 234–246, Dec. 2025, doi: 10.1080/16874048.2025.2473774.
- [12] M. F. M. Djau and T. Inkiriwang, “Percepatan Pelaksanaan Proyek Dengan Penambahan Tenaga Kerja Pada Pembangunan Ruko Di Jalan Bukit Moria, Tikala Baru,” *J. Sipil Statik*, vol. 9, no. 4, pp. 709–716, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id>
- [13] A. K. Agarwal, S. S. Chauhan, K. Sharma, and K. C. Sethi, “Development of time–cost trade-off optimization model for construction projects with MOPSO technique,” *Asian J. Civ. Eng.*, vol. 25, no. 6, pp. 4529–4539, 2024, doi: 10.1007/s42107-024-01063-3.
- [14] I. Kusmaryono, N. C. Fertilia, R. Dewi, and F. Mahardika, “ANALISIS PERCEPATAN WAKTU PELAKSANAAN PEKERJAAN PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL MENGGUNAKAN METODE TIME COST TRADE OFF (Studi Kasus: Proyek Jalan Tol Cinere-Jagorawi Seksi 3),” *J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 40–49, 2022.
- [15] H. Turkoglu, P. Gul, and F. D. and Akin, “Crashing construction projects considering schedule flexibility: an illustrative example,” *Int. J. Constr. Manag.*, vol. 23, no. 4, pp.

619–628, Mar. 2023, doi: 10.1080/15623599.2021.1901559.

- [16] E. Eliatun and D. Tjitradi, “Analisis Percepatan Dengan Metode Crashing Pada Proyek Pembangunan Gedung X Di Banjarmasin,” *J. Kacapuri J. Keilmuan Tek. Sipil*, vol. 5, no. 1, p. 72, 2021, doi: 10.31602/jk.v5i1.7230.
- [17] S. Usman, A. H. Muhammad, I. Adjam, M. Kom, and I. Altarans, “Optimasi Biaya Dan Waktu Pelaksanaan Proyek Konstruksi Dengan Penambahan Jam Kerja Dan Penambahan Tenaga Kerja Menggunakan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Islamic Center Halmahera Tengah),” *Teknik*, vol. 16, no. 1, pp. 2589–8891, 2023, [Online]. Available: www.jurnal.ummu.ac.id/dintek
- [18] Y. Azzahra, L. Lusiana, R. Rafie, S. Syahrudin, and S. M. Nuh, “Time Cost Trade Off Analysis on Project Acceleration With Additional Working Hours (Overtime) (Case Study: Building Rehabilitation Project on Dekranasda Hall of West Kalimantan),” *J. Tek. Sipil*, vol. 23, no. 4, p. 564, 2024, doi: 10.26418/jts.v23i4.71535.
- [19] E. A. Budianto and A. E. Husin, “Analisis Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Gudang Amunisi.,” *J. Apl. Tek. Sipil*, vol. 19, no. 3, p. 305, 2021, doi: 10.12962/j2579-891x.v19i3.9146.
- [20] F. K. Wibowo *et al.*, “Optimasi waktu dan biaya dengan metode crashing pada proyek pembangunan rumah susun,” *Dsp. UII*, pp. 1–12, 2020.
- [21] S. Aulia, S. Setiono, and M. Rifai, “Cost and Duration Optimization at Building C of Dharmais Cancer Hospital Jakarta with TCTO Method Using Primavera P6 Analysis,” *Sustain. Civ. Build. Manag. Eng.*, vol. 1, no. 4, p. 13, 2024, doi: 10.47134/scbmej.v1i4.2722.
- [22] M. F. Faqihhuddin, A. Jl, I. Sutami, K. Jebres, K. Surakarta, and J. Tengah, “Analisis Biaya dan Waktu dengan Metode Time Cost Trade Off menggunakan Aplikasi Primavera P6 Flyover Pengganti JPL 64 Km 38 + 897 Lintas Surabaya-Solo melalui Balai Teknik Perkeretaapian Wilayah Jawa Bagian Timur dengan menghabiskan dana sebesar Rp Salah satu metode untuk mengatasi permasalahan dalam mencapai target biaya dan waktu proyek konstruksi adalah metode Time Cost Trade Off (TCTO). Metode TCTO adalah pendekatan yang digunakan dalam manajemen proyek konstruksi untuk mencapai proyek yang baik . Salah satu alat yang digunakan dalam manajemen konstruksi adalah aplikasi,” vol. 3, no. 3, 2025.
- [23] C. Angelia, P. I. Mulyanto, and D. Chrismianto, “Aplikasi Metode Time Cost Trade Off Akibat Keterlambatan Bagian Mesin Pada Proyek Pembangunan Mooring Boat Milik PT. Pertamina Trans Kontinental,” *Tek. Perkapalan*, vol. 9, no. 3, pp. 283–2, 2021.

- [24] F. Nabila, "A Analysis of Time and Cost Optimization in Building Contruction Using Time Cost Trade Off Method," *J. Civ. Eng. Plan.*, vol. 4, no. 2, pp. 199–210, 2023, doi: 10.37253/jcep.v4i2.8662.
- [25] Peraturan Pemerintah RI, "Peraturan Pemerintah RI Nomor 5 Tahun 2021 tentang Penyelenggaraan Perizinan Berusaha Berbasis Resiko," *Peratur. Pemerintah*, no. 087293, p. 390, 2021.
- [26] A. Jalil and M. Taufiq, "Perppu," *Al-Ihkam J. Huk. dan Pranata Sos.*, vol. 14, no. 1, pp. 146–177, 2019, doi: 10.19105/al-lhkam.v14i1.1982.
- [27] P. Perkiraan, B. Pekerjaan, K. Bidang, and P. Rakyat, "Peraturan Menteri PUPR Nomor 8 Tahun 2023," no. 683, 2023, [Online]. Available: www.peraturan.go.id
- [28] I. Soeharto, "Manajemen proyek dari konseptual sampai operasional," 1997.
- [29] V. M. Sorongan, A. K. T. Dundu, and J. Tjakra, "Analisa Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode PDM dengan Menggunakan Konsep Cadangan Waktu pada Proyek Peningkatan Ruas Jalan Tondano-Kembes-Manado Seksi 2," *Tekno*, vol. 20, no. 81, pp. 399–408, 2022.
- [30] B. F. Tombokan, G. Y. Malingkas, and P. A. K Pratasiss, "Analisis Hubungan Pekerjaan Dan Lintasan Kritis Pada Penjadwalan Proyek Pembangunan Rumah Sakit Umum Daerah Dr. Sam Ratulangi Tondano Menggunakan Metode Precedence Diagram Method," *J. Unsrat Tekno*, vol. 20, no. 82, pp. 1041–1050, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal.unsrat.ac.id/>
- [31] H. Kerzner, *Project management: a systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons, 2025.