

Contents list available at [journal.uib.ac.id](http://journal.uib.ac.id)**Journal of Civil Engineering and Planning**Journal homepage: <https://journal.uib.ac.id/index.php/jce>

## Cost and Time Optimization Analysis using the Time Cost Trade Off Method

### Analisis Optimasi Biaya dan Waktu menggunakan Metode Time Cost Trade Off

Putri Ayu Dwiyana<sup>1</sup>, Siti Agmaliza<sup>2</sup>, Rajiman<sup>3</sup><sup>123</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknologi Infrastruktur Dan Kewilayahan, Institut Teknologi SumateraEmail korespondensi: [putri.dwiyana@si.itera.ac.id](mailto:putri.dwiyana@si.itera.ac.id) [sagmallyza@gmail.com](mailto:sagmallyza@gmail.com)

INFO ARTIKEL	ABSTRAK
<p><b>Kata kunci :</b></p> <p>Time Cost Trade Off, efisiensi, Percepatan, Waktu, Tenaga Kerja</p>	<p>Pelaksanaan proyek konstruksi sering kali menghadapi keterlambatan yang sulit dihindari, seperti yang terjadi pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Kota X, di mana terdapat ketidaksesuaian antara rencana awal dan realisasi di lapangan selama dua minggu pada progres mingguan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi waktu dan biaya, serta membandingkan tingkat efektivitas antara alternatif penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja dengan menggunakan metode Time Cost Trade Off. Jenis penelitian ini bersifat komparatif, dengan membandingkan total biaya dan durasi proyek dari kedua alternatif percepatan tersebut. Biaya total proyek dalam kondisi normal tercatat sebesar Rp7.289.386.644,00 dengan durasi 86 hari hingga penyelesaian lantai tiga. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan jam kerja selama 1 hingga 4 jam menghasilkan biaya masing-masing sebesar Rp14.584.817.481,00; Rp21.871.659.072,00; Rp28.672.701.971,00; dan Rp34.564.808.294,00, dengan efisiensi biaya berturut-turut -100,08%; -200,05%; -293,35%; dan -374,18%. Durasi proyek berkurang menjadi 64, 50, 41, dan 36 hari, dengan efisiensi waktu 26%, 42%, 53%, dan 58%. Sementara itu, alternatif penambahan tenaga kerja menghasilkan total biaya sebesar Rp13.660.989.499,00 dengan efisiensi biaya -87,41% dan waktu pelaksanaan 64 hari (efisiensi waktu 26%). Berdasarkan hasil tersebut, alternatif penambahan jam kerja satu jam dan penambahan tenaga kerja menunjukkan hasil paling efisien, namun secara keseluruhan, penambahan tenaga kerja dinilai lebih optimal karena memberikan percepatan yang sama dengan biaya total paling rendah.</p>
ARTICLE INFO	ABSTRACT
<p><b>Keywords:</b></p> <p>Time Cost Trade Off, efficiency, acceleration, time, labor.</p>	<p><i>The implementation of construction projects often faces delays that are difficult to avoid, as experienced in the construction of the City X Hospital Building, where there was a discrepancy between the initial plan and actual field implementation, resulting in a two-week delay in weekly progress. This study aims to analyze time and cost efficiency and compare the effectiveness of alternatives between extending working hours and adding labor using the Time Cost Trade Off method. This research is comparative, comparing the total cost and duration of the project for both acceleration alternatives. The total project cost under normal conditions was recorded at IDR 7.289.386.644,00 with a duration of 86 days until the completion of the third floor. The analysis shows that extending working hours by 1 to 4 hours resulted in costs of IDR 14.584.817.481,00; IDR 21.871.659.072,00; IDR 28.672.701.971,00; and IDR 34.564.808.294,00, with cost efficiency of -100.08%, -200.05%, -293.35%, and -374.18%, respectively. The project duration was reduced to 64, 50, 41, and 36 days, with time efficiency of 26%, 42%, 53%, and 58%. Meanwhile, the alternative of adding labor resulted in a total cost of IDR 13.660.989.499,00 with a cost efficiency of -87.41% and a project duration of 64 days (26% time efficiency). Based on these results, both extending working hours by one hour and adding labor showed the most efficient outcomes, but overall, adding labor was considered more optimal as it achieved the same acceleration with the lowest total cost.</i></p>

## 1. Pendahuluan

Industri konstruksi Indonesia masih sering menghadapi masalah keterlambatan pelaksanaan proyek. Ketidaksihesuaian antara rencana awal dan pelaksanaan di lapangan dapat meningkatkan biaya, mengurangi efisiensi, dan mengganggu tujuan kualitas proyek. Dalam situasi seperti ini, mengoptimalkan biaya dan waktu pelaksanaan adalah penting untuk menyelesaikan proyek dengan sumber daya yang efisien. Dalam proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Kota X, ada perbedaan dua minggu antara perencanaan dan pelaksanaan lapangan selama progres mingguan.

Metode *time cost trade off* merupakan salah satu metode analisis percepatan pada suatu proyek dengan melakukan pertukaran biaya dan waktu, yang bertujuan untuk menekan proyek dengan durasi yang dapat diterima dan meminimaliskan biaya total proyek. Ada beberapa cara dalam melakukan percepatan waktu pelaksanaan proyek dan biaya seperti penambahan tenaga kerja, pergantian atau penambahan peralatan, penambahan jam lembur, dan pergantian metode kerja. Sehingga dengan menggunakan metode *time cost trade off* segala sesuatu yang menyebabkan keterlambatan pada proyek dapat dikompresi untuk memperoleh hasil yang menguntungkan dari segi waktu, biaya, dan pendapatan [1].

Dalam penelitian sebelumnya [2] dan [3], metode *Time Cost Trade-Off* (TCTO) dapat mempercepat proyek, metode ini memungkinkan untuk menganalisis hubungan antara percepatan waktu dan konsekuensi biaya dengan menggunakan opsi lain, seperti menambah jam kerja dan tenaga kerja. Metode TCTO menurunkan durasi proyek, namun sebagian besar penelitian masih terbatas pada proyek infrastruktur skala menengah dan belum banyak digunakan pada proyek pelayanan publik berskala besar seperti rumah sakit [4] [5] [6]. Selain itu, penelitian sebelumnya belum memberikan analisis menyeluruh tentang seberapa efektif menambah jam kerja dan menambah tenaga kerja secara bersamaan terhadap efisiensi biaya dan waktu.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi efisiensi waktu dan biaya proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Kota X. Metode *Time Cost Trade-Off* digunakan dengan memanfaatkan dua opsi percepatan, yaitu menambah jam kerja atau menambah tenaga kerja. Penelitian ini diharapkan dapat membantu membangun literatur tentang manajemen konstruksi, khususnya tentang bagaimana menggunakan strategi percepatan proyek yang lebih efisien dan sesuai untuk sektor infrastruktur publik.

## 2. Tinjauan Pustaka

Metode *Time Cost Trade-Off* (TCTO), sebuah pendekatan analitis dalam manajemen proyek, digunakan untuk menemukan cara terbaik untuk menggabungkan waktu dan biaya pelaksanaan secara optimal. Menurut [8], pendekatan ini mempertimbangkan biaya langsung dan tidak langsung untuk mengurangi durasi aktivitas di lintasan kritis. Tujuannya adalah untuk mendapatkan biaya total yang paling efisien sambil mengurangi durasi. Prinsip dasar TCTO adalah bahwa semakin cepat proyek diselesaikan, semakin besar biaya langsungnya, dan semakin sedikit biaya tidak langsungnya.

Terbukti bahwa metode TCTO dapat mempercepat proyek sambil mempertahankan keseimbangan biaya [9]. Penambahan tenaga kerja, jam lembur, penggunaan peralatan tambahan, atau perubahan metode kerja adalah beberapa opsi yang dapat digunakan [8]. Namun, penelitian telah menunjukkan bahwa metode percepatan yang paling masuk akal untuk proyek konstruksi di Indonesia adalah menambah jam kerja dan tenaga kerja [5] dan [6].

Menurut penelitian sebelumnya oleh [10] dan [11], penentuan lintasan kritis yang tepat dalam rencana jaringan sangat penting untuk hasil optimal metode TCTO. Namun, belum banyak penelitian yang meneliti secara menyeluruh efisiensi biaya dan waktu pada proyek publik skala besar seperti rumah sakit. Oleh karena itu, penelitian ini memperkuat literatur dengan memberikan studi kasus empiris pada proyek nyata. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan pemahaman yang lebih luas tentang penggunaan metode Trade-Off Time Cost dalam konteks efisiensi waktu dan biaya konstruksi.

### 3. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan data rencana anggaran biaya (RAB), analisis harga satuan pekerjaan (AHSP), serta kurva S. Penelitian ini menganalisa percepatan proyek dengan menggunakan metode time cost trade off melalui dua alternatif yaitu penambahan jam kerja selama 1 - 4 jam serta penambahan tenaga kerja. Untuk mendapatkan hasil yang diinginkan, berikut ini disajikan tahapan analisis yang digunakan:

#### 3.1 Penentuan Jalur Kritis

Lintasan kritis adalah kegiatan yang memiliki kemungkinan akan mengalami keterlambatan dan jika kegiatan tersebut terlambat maka akan mempengaruhi pekerjaan setelahnya yang telah direncanakan dan tidak mungkin akan mempengaruhi penyelesaian proyek [12]. Penentuan jalur kritis pada penelitian ini menggunakan software Microsoft Project tahun 2019.

#### 3.2 Analisis *Time Cost Trade Off*

Menurut [8], Time Cost Trade Off adalah metode analitis dan sistematis yang meninjau seluruh aktivitas proyek dengan fokus pada lintasan kritis. Setelah nilai cost slope tiap pekerjaan ditentukan, dilakukan percepatan waktu pada aktivitas di lintasan kritis dengan menghitung biaya langsung, tidak langsung, dan total pengeluaran. Tujuan utamanya adalah mempercepat penyelesaian proyek dengan tambahan biaya minimal, karena percepatan hanya diterapkan pada kegiatan kritis yang memengaruhi durasi total proyek.

#### 3.3 Penambahan Jam Kerja

Menambah durasi pekerjaan ialah salah satu solusi dalam mengatasi keterlambatan proyek, yaitu dengan memperpanjang jam kerja harian tanpa melibatkan tenaga kerja tambahan, melainkan memaksimalkan sumber daya yang sudah tersedia. Namun dalam melakukan perpanjangan jam kerja terdapat hal yang harus diperhatikan yaitu semakin lama perpanjangan jam kerja yang ditambahkan akan menyebabkan penurunan produktivitas.

#### 3.4 Penambahan Tenaga Kerja

Ketika memperbanyak jumlah pekerja, ketersediaan ruang kerja harus diperhitungkan, yaitu apakah ruang tersebut cukup luas atau terlalu penuh. Menambah jumlah pekerja pada suatu pekerjaan tidak boleh menghambat proses pekerjaan lain yang sedang berlangsung pada waktu yang sama. Selain itu, pengawasan yang memadai juga diperlukan, karena ruang kerja yang terbatas serta kurangnya pengawasan dapat berdampak negatif pada produktivitas.

### 4. Hasil Dan Pembahasan

Pada penelitian ini analisis percepatan proyek akan dilakukan di Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Kota X, yang mana dalam penelitian ini percepatan proyek dilakukan pada pekerjaan struktur bawah yaitu spun pile dan pile cap hingga pekerjaan struktur atas yaitu balok, kolom, plat lantai dari

lantai 1 sampai lantai 3 dengan durasi normal 86 hari. Dari hasil data sekunder yang dikumpulkan berupa RAB, AHSP, kurva S, berikut rekapitulasi biaya proyek yang diperoleh khusus untuk pekerjaan struktur:

**Tabel 1.** Biaya Proyek

Jenis Biaya	Jumlah (Rp)
Biaya Langsung	5.970.013.631,00
Biaya Tidak Langsung	597.001.363,00
Biaya Total	6.567.014.994,00
Biaya Total + 11% PPN	7.289.386.644,00

Selanjutnya menentukan *network diagram* untuk mengetahui pekerjaan apa saja yang masuk dalam lintasan kritis dalam menyusun *network diagram* tersebut dilakukan berdasarkan kurva S menggunakan *microsoft project 2019*, yang mana hasil dari penyusunan *network diagram* tersebut didapatkan 14 lintasan kritis sebagai berikut:

**Tabel 2.** Daftar Pekerjaan yang Berada Di Lintasan Kritis

Kode	Item Pekerjaan	Durasi	Volume	Satuan	Biaya (Rp)
<b>Struktur Bawah</b>					
<b>Pekerjaan <i>Spun Pile</i></b>					
1	Pek. Pemancangan	22	2979	m <sup>1</sup>	14.978.330,75
2	Pek. Pematangan	29	331	bh	1.262.541,29
<b>Pekerjaan <i>Pile cap</i></b>					
3	Pembesian	25	61259,83	kg	600.361.036,36
<b>Pekerjaan Balok</b>					
4	Pek. Bekisting	18	625,69	m <sup>2</sup>	5.941.051,69
5	Pek. Pembesian	14	21333,98	kg	373.353.793,13
<b>Struktur Atas</b>					
<b>Lantai 1</b>					
<b>Pekerjaan Kolom</b>					
6	Pek. Pembesian	16	48803,76	kg	747.325.876,41
<b>Lantai 2</b>					
<b>Pekerjaan Balok</b>					
7	Pek. Bekisting	12	882,72	m <sup>2</sup>	12.572.404,42
<b>Pekerjaan Plat Lantai</b>					
8	Pek. Bekisting	12	166,05	m <sup>2</sup>	2.365.016,94
<b>Pekerjaan Kolom</b>					
9	Pek. Pembesian	16	42793,08	kg	655.285.084,91
<b>Lantai 3</b>					
<b>Pekerjaan Balok</b>					
10	Pek. Bekisting	12	855,31	m <sup>2</sup>	12.182.009,27
<b>Pekerjaan Plat Lantai</b>					
11	Pek. Pembesian	16	14561,95	kg	222.985.320,11
<b>Pekerjaan Kolom</b>					
12	Pek. Bekisting	7	600	m <sup>2</sup>	14.649.737,14
13	Pek. Pembesian	16	33299,24	kg	509.907.099,72
14	Pek. Pengecoran	3	112	m <sup>3</sup>	3.323.786,67
<b>Total</b>					<b>3.176.493.089,00</b>

### Penambahan Jam Kerja

Dalam tambahan waktu kerja akan dilakukan selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam. Berdasarkan pernyataan [8] produktivitas kerja lembur untuk 1 jam per harinya diperhitungkan sebesar 90%, untuk

2 jam sebesar 80%, untuk 3 jam sebesar 70% dan untuk 4 jam sebesar 60% dari produktivitas normal. berikut salah satu contoh perhitungan pada pekerjaan pembesian *pile cap* struktur bawah diketahui:

$$\text{Volume} = 61.259,83 \text{ kg}$$

$$\text{Durasi normal} = 25 \text{ hari}$$

Pada tahapan pertama akan memperhitungkan produktivitas percepatan untuk selanjutnya dapat menentukan *crash duration* disetiap jamnya dengan menggunakan persamaan (1-4):

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas harian} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi normal}} \\ &= \frac{61.259,83 \text{ kg}}{25 \text{ hari}} = 2.450,39 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas setiap jam} &= \frac{\text{Produktivitas harian}}{\text{Jam kerja perhari}} \\ &= \frac{2.450,39 \text{ kg/hari}}{8 \text{ jam}} = 306,30 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Salah satu contoh perhitungan Produktivitas percepatan 1 jam:

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas percepatan 1 jam} &= \text{Jam kerja perhari} \times \text{Produktivitas setiap jam} + (a \times \\ &\quad b \times \text{Produktivitas setiap jam}) \\ &= (8 \times 306,3) + (1 \times 0,9 \times 306,3) = 2726,06 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Salah satu contoh perhitungan *crash duration* 1 jam:

$$\begin{aligned} \text{Crash duration 1 jam} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas percepatan}} \\ &= \frac{61.259,83 \text{ kg}}{2726,06 \text{ kg/hari}} = 22,47 \text{ hari} \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan produktivitas dan *crash duration* untuk pekerjaan di lintasan kritis lainnya akan menggunakan persamaan yang sama seperti diatas. Adapun tabel rekapitulasi perhitungan produktivitas dan *crash duration* untuk pekerjaan yang berada di lintasan kritis antara lain:

**Tabel 3. Rekapitulasi Produktivitas dan Crash Duration**

Kode	Produktivitas Harian	Produktifitas setiap Jam	Produktivitas Percepatan			
			1 Jam	2 Jam	3 Jam	4 jam
1	135,40	16,92	150,64	162,49	170,95	176,03
2	11,41	1,42	12,69	13,69	14,41	14,83
3	2450,39	306,29	2726,06	2940,47	3093,62	3185,51
4	34,76	4,34	38,67	41,71	43,88	45,18
5	1523,85	190,48	1695,28	1828,62	1923,86	1981,01
6	3050,2	381,28	3393,39	3660,28	3850,92	3965,30
7	73,56	9,2	81,83	88,27	92,87	95,62
8	13,83	1,73	15,39	16,60	17,47	17,98
9	2674,56	334,32	2975,45	3209,48	3376,64	3476,93
10	71,27	8,90	79,29	85,53	89,98	92,65
11	910,12	113,76	1012,51	1092,14	1149,02	1183,15
12	85,71	10,71	95,35	102,85	108,21	111,42
13	2081,20	260,15	2315,33	2497,44	2627,51	2705,56
14	37,33	4,66	41,53	44,8	47,13	48,53

Kode	Durasi (Hari)	<i>Crash Duration</i> (Hari)							
		1 Jam		2 Jam		3 Jam		4 Jam	
		Durasi	Selisih	Durasi	Selisih	Durasi	Selisih	Durasi	Selisih
1	22	19,78	2,22	18,33	3,67	17,43	4,57	16,92	5,08

2	29	26,07	2,93	24,17	4,83	22,97	6,03	22,31	6,69
3	25	22,47	2,53	20,83	4,17	19,8	5,2	19,23	5,77
4	18	16,18	1,82	15	3	14,26	3,74	13,85	4,15
5	14	12,58	1,42	11,67	2,33	11,09	2,91	10,77	3,23
6	16	14,38	1,62	13,33	2,67	12,67	3,33	12,31	3,69
7	12	10,79	1,21	10	2	9,5	2,5	9,23	2,77
8	12	10,79	1,21	10	2	9,5	2,5	9,23	2,77
9	16	14,38	1,62	13,33	2,67	12,67	3,33	12,31	3,69
10	12	10,79	1,21	10	2	9,5	2,5	9,23	2,77
11	16	14,38	1,62	13,33	2,67	12,67	3,33	12,31	3,69
12	7	6,29	0,71	5,83	1,17	5,54	1,46	5,38	1,62
13	16	14,38	1,62	13,33	2,67	12,67	3,33	12,31	3,69
14	3	2,7	0,3	2,5	0,5	2,38	0,62	2,31	0,69

Tahap selanjutnya menentukan biaya lembur setiap item pekerjaan. Upah pekerja perhari diperoleh dari analisis harga satuan pekerja kota X sesuai dengan proyek tersebut. Berikut salah satu contoh perhitungan pada pekerjaan pembesian *pile cap* struktur bawah menggunakan persamaan (8) dan (9):

Biaya Normal = Rp 600.361.036,00

Jam kerja perhari = 8 jam

Biaya lembur per hari

Biaya lembur = (1,5 × Upah perjam normal)  
= 1,5 × Rp 75.045.129,00 = Rp 112.567.694,00

Biaya lembur = (1,5 × Upah per jam normal + 2 × n × Upah per jam normal)  
= (1,5 × Rp75.045.129,00) + (2 × 1 × Rp75.045.129,00)  
= Rp262.657.953,41

Selanjutnya perhitungan biaya lembur untuk pekerjaan di lintasan kritis lainnya akan menggunakan persamaan yang sama seperti diatas. Adapun tabel rekapitulasi perhitungan biaya lembur untuk pekerjaan yang berada di lintasan kritis antara lain:

**Tabel 4.** Rekapitulasi Biaya Lembur

Kode	Normal Biaya (Rp)	Upah Jam Lembur (Rp)			
		1 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam
1	14.978.330,75	2.808.437,02	5.553.019,71	10.297.602,39	14.042.185,08
2	1.262.541,29	236.726,49	552.361,81	867.997,14	1.183.632,46
3	600.361.036,36	112.567.694,32	262.657.953,41	412.748.212,50	565.838.471,59
4	5.941.051,69	1.113.947,19	2.599.210,11	4.084.473,04	5.569.735,96
5	373.353.793,13	70.003.836,21	163.342.284,50	256.680.732,78	350.019.181,06
6	747.325.876,41	140.123.601,83	326.955.070,93	513.786.540,03	700.618.009,13
7	12.572.404,42	2.357.325,83	5.500.426,93	8.643.528,04	11.786.629,14
8	2.365.016,94	443.440,68	1.034.694,91	1.625.949,15	2.217.203,38
9	655.285.084,91	122.865.953,42	286.684.224,65	450.508.495,87	614.329.767,10
10	12.182.009,27	2.284.126,74	5.329.629,05	8.375.131,37	11.420.633,69
11	222.985.320,11	41.809.747,52	97.556.077,55	153.302.407,57	209.048.737,60
12	14.649.737,14	2.746.825,71	6.409.260,00	10.071.694,29	13.734.128,57
13	509.907.099,72	95.607.581,20	223.084.356,13	350.561.131,05	478.037.905,98
14	3.323.786,67	623.210,00	1.454.156,67	2.285.103,33	3.166.050,00

Setelah dilakukan perhitungan terhadap biaya lembur disetiap penambahan jam kerja, maka selanjutnya akan memperhitungkan *crash cost* dan *cost slope* setiap item pekerjaan. Berikut tabel rekapitulasi hasil perhitungan *crash cost* dan *cost slope*:

Tabel 5. Rekapitulasi Crash Cost dan Crash Slope

Kode	Crash Cost (Rp)			
	1 Jam	2 Jam	3 Jam	4 Jam
1	39.570.562,01	78.948.285,02	115.618.624,90	147.334.926,56
2	4.396.729,11	8.772.031,67	12.846.513,88	16.370.547,40
3	1.802.347.914,63	3.595.912.457,36	5.266.161.937,12	6.710.766.392,00
4	12.841.683,35	25.620.785,40	37.521.270,75	47.814.040,99
5	627.674.846,04	1.252.290.847,80	1.833.961.887,31	2.337.051.147,41
6	1.435.873.313,10	2.864.749.192,91	4.195.383.880,44	5.346.254.346,63
7	18.116.976,03	36.145.662,70	52.934.801,76	67.455.785,23
8	3.408.015,98	6.799.423,70	9.957.657,96	12.689.225,51
9	1.259.030.893,47	2.511.926.158,80	3.678.679.635,06	4.687.808.684,32
10	17.554.412,23	35.023.276,65	51.291.083,58	65.361.165,11
11	428.432.468,97	854.777.060,41	1.251.808.678,22	1.595.202.674,61
12	12.314.420,90	24.568.830,00	35.980.697,23	45.850.860,00
13	979.709.146,64	1.954.643.882,24	2.862.547.777,61	3.647.796.944,12
14	1.197.403,48	2.388.971,67	3.498.614,55	4.458.348,46

Kode	Cost Slope (Rp)			
	1 Jam (Rp)	2 Jam (Rp)	3 Jam (Rp)	4 Jam (Rp)
1	11.054.083,74	17.446.351,16	22.001.449,59	26.070.238,57
2	1.068.746,04	1.553.687,66	1.921.151,45	2.257.518,15
3	475.452.587,41	718.932.341,04	897.611.220,91	1.059.136.928,31
4	3.791.087,77	6.559.911,24	8.438.100,86	10.080.534,46
5	179.639.473,88	376.687.309,14	501.773.528,95	607.811.085,85
6	425.560.568,51	794.033.743,69	1.036.469.816,69	1.245.543.127,35
7	4.569.137,72	11.786.629,14	16.176.992,59	19.818.998,63
8	859.508,47	1.662.902,54	3.043.082,31	3.728.186,43
9	373.148.451,13	696.240.402,71	908.818.004,66	1.092.141.808,18
10	4.427.258,00	11.420.633,69	15.674.668,67	19.203.584,05
11	126.977.751,73	236.921.902,61	309.259.402,29	371.642.200,18
12	-3.299.097,55	8.502.079,59	14.655.965,77	19.314.980,82
13	290.363.765,12	541.776.293,45	707.192.584,72	849.845.166,19
14	-7.009.189,01	-1.869.630,00	280.279,63	1.638.811,48

Tahap akhir adalah tahapan perhitungan kompresi biaya dimana pada tahapan ini akan memperhitungkan kembali nilai biaya langsung, biaya tidak langsung dan biaya total. Salah satu contoh perhitungan pada pekerjaan pembesian *pile cap* struktur bawah menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Biaya langsung} &= \text{Biaya langsung normal} + \text{Crash cost total} \\ &= \text{Rp}863.763.603 + \text{Rp}1.802.347.914 = \text{Rp}2.666.111.517,63 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya tidak langsung} &= \frac{\text{BTL normal}}{\text{Durasi normal}} \times \text{Total durasi} \\ &= \frac{\text{Rp}597.001.363,10}{86 \text{ hari}} \times 78,31 \text{ hari} = \text{Rp}78.657.333,59 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya total} &= \text{Biaya langsung} + \text{Biaya tidak langsung} \\ &= \text{Rp}2.666.111.517,63 + \text{Rp}78.657.333,59 = \text{Rp}2.744.768.851,22 \end{aligned}$$

$$\text{PPN} = \text{Biaya total} \times 11\%$$

$$= \text{Rp}2.744.768.851,22 \times 11\% = \text{Rp}1.445.342.272,93$$

Biaya total akhir

$$= \text{Biaya total} + 11\% \text{ PPN}$$

$$= \text{Rp}2.744.768.851,22 + \text{Rp}1.445.342.272,93 = \text{Rp}14.584.817.481,34$$

Efisiensi waktu

$$= \frac{\text{Waktu normal} - \text{Waktu crash}}{\text{Waktu normal}} \times 100\%$$

$$= \frac{86 \text{ hari} - 64 \text{ hari}}{86 \text{ hari}} \times 100\% = 26\%$$

Efisiensi biaya

$$= \frac{\text{Biaya normal} - \text{Biaya crash}}{\text{Biaya normal}} \times 100\%$$

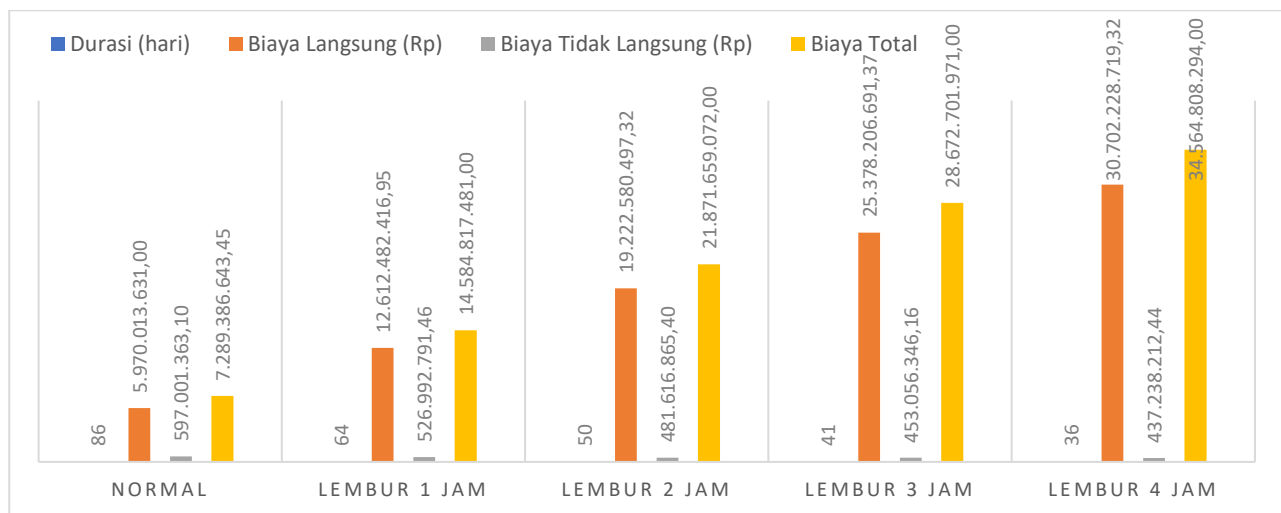
$$= \frac{\text{Rp}6.567.041.994,10 - \text{Rp}14.584.817.481,34}{\text{Rp}6.567.041.994,10} \times 100\% = -100,08\%$$

Selanjutnya perhitungan biaya langsung, biaya tidak langsung, dan biaya total untuk pekerjaan lainnya akan menggunakan persamaan yang sama seperti diatas. Berikut hasil rekapitulasi akhir biaya proyek akibat penambahan jam kerja:

**Tabel 6.** Rekapitulasi Biaya Proyek

Alternatif Percepatan	Durasi (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	Biaya Tidak Langsung (Rp)	Biaya Total (Rp)
Normal	86	5.970.013.631,00	597.001.363,10	7.289.386.643,45
Lembur 1 Jam	64	12.612.482.416,95	526.992.791,46	14.584.817.481,00
Lembur 2 Jam	50	19.222.580.497,32	481.616.865,40	21.871.659.072,00
Lembur 3 Jam	41	25.378.206.691,37	453.056.346,16	28.672.701.971,00
Lembur 4 Jam	36	30.702.228.719,32	437.238.212,44	34.564.808.294,00

Rekapitulasi di atas dapat digambarkan pada grafik berikut:



**Gambar 1.** Rekapitulasi Biaya Proyek akibat penambahan jam kerja

**Tabel 7.** Rekapitulasi Hasil Efisiensi Biaya dan Efisiensi Waktu pada Penambahan Tenaga Kerja

Alternatif Percepatan	Durasi (Hari)	Biaya Total (Rp)	Efisiensi waktu (%)	Efisiensi Biaya (%)
Normal	86	6.567.014.994,10		
Lembur 1 Jam	64	14.584.817.481,34	26	-100,08%
Lembur 2 Jam	50	21.871.659.072,62	42	-200,05%
Lembur 3 Jam	41	28.672.701.971,66	53	-293,35%

Alternatif Percepatan	Durasi (Hari)	Biaya Total (Rp)	Efisiensi waktu (%)	Efisiensi Biaya (%)
Lembur 4 Jam	36	34.564.808.294,25	58	-374,18%

### Penambahan Tenaga kerja

Pada penelitian ini proses penambahan tenaga kerja dilakukan dengan menyesuaikan kembali kebutuhan tenaga kerja pada setiap aktivitas sesuai dengan durasi baru hasil percepatan, tanpa melakukan perpanjangan jam kerja setiap harinya. Contoh perhitungan jumlah tenaga kerja tambahan dapat dijelaskan melalui pekerjaan pengecoran *pile cap* pada struktur bawah sebagai berikut:

$$\text{Volume} = 61.259,83 \text{ kg}$$

$$\text{Durasi Normal} = 25 \text{ hari}$$

**Tabel 8.** Koefisien Tenaga Kerja Per 1m<sup>3</sup>

Tenaga kerja	Koefisien (OH)	Harga Satuan (Rp)
Pekerja	0,7	160.600,00
Tukang besi	0,7	163.100,00
Kepala Tukang	0,07	165.600,00
Mandor	0,04	170.600,00

Pada tabel diatas merupakan tabel kapasitas tenaga kerja per 1m<sup>3</sup> untuk memudahkan dalam menentukan jumlah tenaga kerja perharinya. Berikut contoh perhitungan jumlah tenaga kerja normal dapat dijelaskan melalui pekerjaan pengecoran *pile cap* pada struktur bawah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Pekerja} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi normal}} \\ &= \frac{0,7 \text{ OH} \times 61259,83 \text{ kg}}{25 \text{ hari}} = 1715,28 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{upah normal pekerja} \\ &= 1715,28 \times \text{Rp}160.600,00 = \text{Rp}275.473.203,54 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tukang besi} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi normal}} \\ &= \frac{0,7 \text{ OH} \times 61259,83 \text{ kg}}{25 \text{ hari}} = 1715,28 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{Upah normal pekerja} \\ &= 1715,28 \times \text{Rp}163.100,00 = \text{Rp}279.761.391,64 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kepala tukang} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi normal}} \\ &= \frac{0,07 \text{ OH} \times 61259,83 \text{ kg}}{25 \text{ hari}} = 171,53 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{Upah normal pekerja} \\ &= 171,53 \times \text{Rp}165.600,00 = \text{Rp}28.404.957,97 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mandor} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi normal}} \\ &= \frac{0,04 \text{ OH} \times 61259,83 \text{ kg}}{25 \text{ hari}} = 98,02 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\text{Biaya} = \text{Jumlah pekerja} \times \text{Upah normal pekerja}$$

$$= 98,02 \times \text{Rp}170.600,0 = \text{Rp}16.721.483,20$$

$$\begin{aligned} \text{Total biaya} &= \text{Biaya pekerja} + \text{Biaya tukang besi} + \text{Biaya kepala tukang} + \\ &\quad \text{Biaya mandor} \\ &= \text{Rp}275.473.203,54 + \text{Rp}279.761.391,64 + \text{Rp}28.404.957,97 \\ &\quad + \text{Rp}16.721.483,20 = \text{Rp}600.361.036,36 \end{aligned}$$

Tahapan selanjutnya menentukan tambahan tenaga kerja dengan durasi percepatan yang diperoleh. Berikut contoh perhitungan jumlah tenaga kerja tambahan dapat dijelaskan melalui pekerjaan pengecoran *pile cap* pada struktur bawah:

$$\text{Volume} = 61.259,83 \text{ kg}$$

$$\text{Durasi normal} = 25 \text{ hari}$$

$$\text{Durasi percepatan} = 22 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Pekerja} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi percepatan}} \\ &= \frac{0,7 \text{ OH} \times 61259,83 \text{ kg}}{22 \text{ hari}} = 1908,24 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{Upah normal pekerja} \\ &= 1908,24 \text{ orang/hari} \times \text{Rp}160.600,00 = \text{Rp}306.463.938,94 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Tukang besi} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi percepatan}} \\ &= \frac{0,7 \text{ OH} \times 61259,83 \text{ kg}}{22 \text{ hari}} = 1908,24 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{Upah normal pekerja} \\ &= 1908,24 \text{ orang/hari} \times \text{Rp}163.100,00 = \text{Rp}311.234.548,20 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kepala tukang} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi percepatan}} \\ &= \frac{0,07 \text{ OH} \times 61259,83 \text{ kg}}{22 \text{ hari}} = 190,82 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{Upah normal pekerja} \\ &= 190,82 \text{ orang/hari} \times \text{Rp}165.600,00 = \text{Rp}31.600.515,75 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mandor} &= \frac{\text{Koefisien tenaga kerja} \times \text{Volume}}{\text{Durasi percepatan}} \\ &= \frac{0,04 \times 61259,83}{22} = 109,04 \text{ orang/hari} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya} &= \text{Jumlah pekerja} \times \text{Upah normal pekerja} \\ &= 109,04 \text{ orang/hari} \times \text{Rp}170.600,00 = \text{Rp}18.602.650,06 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya} &= \text{Biaya pekerja} + \text{Biaya tukang besi} + \text{Biaya kepala tukang} + \\ &\quad \text{Biaya mandor} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= \text{Rp}306.463.938,94 + \text{Rp}311.234.548,20 + \text{Rp}31.600.515,75 \\
 &\quad + \text{Rp}18.602.650,06 \\
 &= \text{Rp}667.901.652,95
 \end{aligned}$$

Selanjutnya perhitungan biaya setelah percepatan untuk pekerjaan lainnya, berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan biaya setelah percepatan:

**Tabel 9.** Rekapitulasi Biaya Setelah percepatan

Kode	Durasi Percepatan (Hari)	Biaya Normal	Biaya Percepatan	Crash Cost (Rp)	Cost Slope (Rp)
1	19,78	14.978.330,75	16.663.392,96	70.393.947,15	24.909.039,69
2	26,07	1.262.541,29	1.404.577,18	7.821.549,68	2.236.596,73
3	22,47	600.361.036,36	667.901.652,95	3.206.282.079,71	1.030.786.546,04
4	16,18	5.941.051,69	6.609.420,00	22.844.678,81	9.286.560,58
5	12,58	373.353.793,13	415.356.094,86	1.116.600.515,59	524.991.732,53
6	14,38	747.325.876,41	831.400.037,51	2.554.343.051,73	1.116.837.004,19
7	10,79	1.328.579.335,84	13.986.799,91	32.229.146,83	16.198.611,80
8	10,79	2.365.016,94	2.631.081,35	6.062.681,07	3.047.149,14
9	14,38	655.285.084,91	729.004.656,96	2.239.749.694,70	1.373.009.456,26
10	10,79	12.182.009,27	13.552.485,31	31.228.375,44	15.695.616,57
11	14,38	222.985.320,11	248.071.168,62	762.158.813,22	333.239.172,83
12	6,29	14.649.737,14	16.297.832,57	21.906.706,65	10.251.909,31
13	14,38	509.907.099,72	567.271.648,43	1.742.851.008,24	762.027.832,35
14	2,7	3.323.786,67	3.697.712,67	2.130.117,78	-3.934.686,35

Tahap akhir adalah tahapan perhitungan kompresi biaya dimana pada tahapan ini akan memperhitungkan kembali nilai biaya langsung, biaya tidak langsung dan biaya total. Salah satu contoh perhitungan pada pekerjaan pembesian *pile cap* struktur bawah menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya langsung} &= \text{Biaya langsung normal} \times \text{Cost slope} \\
 &= \text{Rp}863.763.603,00 \times \text{Rp}1.030.786.546,04 \\
 &= \text{Rp}1.894.550.149,04
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya tidak langsung} &= \frac{\text{BTL normal}}{\text{Durasi normal}} \times \text{Selisih durasi} \\
 &= \frac{\text{Rp}597.001.363,10}{86 \text{ hari}} \times 67 \text{ hari} = \text{Rp}78.657.333,59
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya total} &= \text{Biaya langsung} + \text{Biaya tidak langsung} \\
 &= \text{Rp}1.894.550.149,04 + \text{Rp}78.657.333,59 \\
 &= \text{Rp}1.973.207.482,63
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{PPN} &= \text{Biaya total} \times 11\% \\
 &= \text{Rp}1.973.207.482,63 \times 11\% = \text{Rp}1.353.791.752,19
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya total akhir} &= \text{Biaya total} + 11\% \text{ PPN} \\
 &= \text{Rp}1.973.207.482,63 + \text{Rp}1.353.791.752,19 \\
 &= \text{Rp}13.660.989.449,38
 \end{aligned}$$

$$\text{Efisiensi waktu} = \frac{\text{Waktu normal} - \text{Waktu crash}}{\text{Waktu normal}} \times 100\%$$

$$= \frac{86 \text{ hari} - 64 \text{ hari}}{86 \text{ hari}} \times 100\% = 26\%$$

$$\text{Efisiensi biaya} = \frac{\text{Biaya normal} - \text{Biaya crash}}{\text{Biaya normal}} \times 100\%$$

$$= \frac{\text{Rp}6.567.041.994,10 - \text{Rp}13.660.989.499,38}{\text{Rp}6.567.041.994,10} \times 100\% = -87,41\%$$

Selanjutnya perhitungan biaya langsung, biaya tidak langsung, dan biaya total serta efisiensi biaya dan efisiensi waktu untuk pekerjaan lainnya akan menggunakan persamaan yang sama seperti diatas. Berikut hasil rekapitulasi akhir biaya proyek akibat penambahan tenaga kerja:

**Tabel 10.** Rekapitulasi Biaya Proyek

Alternatif Percepatan	Durasi (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	Biaya Tidak Langsung (Rp)	Biaya Total (Rp)
Penambahan Tenaga Kerja	64	11.780.204.955,73	526.992.791,46	13.660.989.499,00

**Tabel 11.** Rekapitulasi Rekapitulasi Hasil Efisiensi Biaya dan Efisiensi Waktu pada dan Penambahan Tenaga Kerja

Alternatif Percepatan	Durasi (Hari)	Biaya Total (Rp)	Efisiensi waktu (%)	Efisiensi Biaya (%)
Normal	86	6.567.014.994,00		
Penambahan Tenaga Kerja	64	13.660.989.499,00	26	-87,41%

Berdasarkan hasil analisis perhitungan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja diperoleh hasil biaya dan waktu optimal untuk penambahan jam kerja berada selama 1 jam dan penambahan tenaga kerja. Dimana didapatkan hasil untuk penambahan jam kerja selama 1 jam pada biaya langsung sebesar Rp12.612.482.416,95, biaya tidak langsung sebesar Rp526.992.791,46, biaya total sebesar Rp14.584.817.481,34 dengan durasi percepatan selama 64 hari, sehingga untuk efisiensi biaya diperoleh sebesar -100,08% dan efisiensi waktu sebesar 26%. Dan untuk penambahan tenaga kerja diperoleh hasil pada biaya langsung sebesar Rp11.780.204.955,73, biaya tidak langsung sebesar Rp526.992.791,46, dan biaya total sebesar Rp13.660.989.499,38, dengan durasi percepatan selama 64 hri, sehingga untuk efisiensi biaya diperoleh sebesar -87,41% dan efisiensi waktu sebesar 26%.

Dilakukan pemilihan penambahan jam kerja selama 1 jam dan penambahan tenaga kerja, karena hasil analisis menunjukkan bahwa semakin cepat durasi percepatan maka biaya langsung akan meningkat. Hal ini berbanding terbalik dengan biaya tidak langsung, yang justru menurun seiring dengan pemendekan durasi proyek, karena biaya tidak langsung sangat bergantung pada lama pelaksanaan proyek. Dengan demikian, biaya total mengalami kenaikan karena peningkatan biaya langsung lebih besar dibandingkan penghematan yang diperoleh dari penurunan biaya tidak langsung.

## 5. Kesimpulan dan Saran

Pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Kota X didapatkan hasil biaya dan waktu optimal akibat penambahan jam kerja selama 1 jam diperoleh sebesar Rp14.584.817.481,00 dengan efisiensi biaya sebesar -100,08% dan durasi percepatan diperoleh sebesar 64 hari dengan efisiensi waktu efisiensi waktu sebesar 26%. Sedangkan untuk penambahan tenaga kerja diperoleh sebesar Rp13.660.989.499,00 dengan efisiensi biaya sebesar -87,41% dan durasi percepatan yang diperoleh sebesar 64 hari dengan efisiensi waktu sebesar 26%. Pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Kota X terjadi keterlambatan sehingga dibutuhkan percepatan proyek agar dapat menormalisasikan kembali jalannya proyek dengan alternatif penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja. Hasil analisis data dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan tenaga kerja lebih efektif digunakan untuk mengatasi keterlambatan proyek dibandingkan dengan penambahan jam kerja lembur [13].

Dalam penelitian ini hanya dilakukan dari struktur bawah hingga lantai 3 dari total struktur bangunan hingga 5 lantai. Sehingga diharapkan untuk penelitian selajutnya dapat mengembangkan penelitian ini

hingga lantai 5 agar memperoleh gambaran yang lebih efektif dari segi waktu dan biaya. Diharapkan untuk penelitian selanjutnya dapat menggunakan alternatif percepatan lainnya seperti dengan shift kerja atau pergantian alat tergantung dengan permasalahan yang sedang terjadi pada proyek tersebut.

Jika dilakukan perbandingan antara alternatif penambahan jam kerja selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam dan penambahan tenaga kerja. Maka biaya dan waktu yang optimal untuk dilakukan percepatan proyek adalah dengan melakukan penambahan tenaga kerja. Hal ini dikarenakan pada penambahan tenaga kerja tersebut memiliki biaya total yang minimum dibandingkan dengan biaya total lainnya. Biaya dan waktu yang optimal diperoleh dengan mencari biaya total proyek paling minimum sehingga akan sejalan dengan durasi yang didapatkan.

Dalam menerapkan percepatan proyek pekerjaan yang berada di lintasan kritis menurut [14] tidak harus semua dilakukan penambahan jam kerja atau penambahan tenaga kerja, hanya pekerjaan yang memiliki nilai cost slope terendah yang diutamakan jika suatu proyek ingin melakukan percepatan, hal ini dikarenakan setiap kegiatan yang berada pada lintasan kritis memiliki biaya percepatan yang berbeda-beda. Namun secara teori *time cost trade off* semua kegiatan yang berada pada lintasan kritis dapat dilakukan percepatan dengan penambahan jam kerja atau penambahan tenaga kerja [15]. Sehingga dalam pemilihan penambahan jam kerja atau penambahan tenaga kerja sebaiknya disesuaikan dengan kondisi lapangan, efisiensi biaya, dan kebijakan manajemen proyek.

### Daftar Rujukan

- [1] Saragi TE, Situmorang RU. Optimasi waktu dan biaya percepatan proyek menggunakan metode time cost trade off dengan alternatif penambahan tenaga kerja dan jam kerja (lembur) (studi kasus: pembangunan gedung convention hall Kab. Deli Serdang). *Jurnal Construct.* 2022 May 19;1(2):53-69.
- [2] Abrinaldi FH, Nurcahyo CB. Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan pada Proyek Pembangunan Fasilitas Perkeretaapian Manggarai sd Jatinegara (Paket A) Tahap II" Main Line 1". *Jurnal Teknik ITS.* 2022 Dec 12;11(3):D132-7.
- [3] Laksana BI, Wjatmiko I, Hasyim MH. Aplikasi Metode Time Cost Trade Off Untuk Mengoptimalkan Waktu dan Biaya Pekerjaan Proyek Pada Pembangunan Gedung Pengairan Universitas Brawijaya. *Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil.* 2017;1(3):1209-14.
- [4] J. Launuru, L. Leuhery, and M. Marantika, "Optimasi waktu dan biaya dengan metode Time Cost Trade Off pada proyek pembangunan ruang kelas baru MTSN 6 Malteng," *Journal Agregate*, vol. 3, no. 1, pp. 195–203, 2024. DOI: <https://doi.org/10.31959/ja.v3i1.1907>
- [5] I. Hendriyani, R. Pratiwi, and N. Qadri, "Optimasi waktu dan biaya pada pelaksanaan proyek peningkatan jalan Bina Bakti Kelurahan Gunung Seteleng Kabupaten Penajam Paser Utara dengan metode Time Cost Trade Off (TCTO)," *Jurnal Transukma*, vol. 3, no. 1, pp. 66–76, 2020. DOI: <https://doi.org/10.36277/transukma.v3i1.72>
- [6] S. Usman, A. H. Muhammad, I. Adjam, 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)," *Jurnal Teknik*, vol. 16, no. 1, pp. 17–31, 2023.
- [7] Y. A. Jati and P. N. Rasyid, "Analisis optimasi biaya dan waktu proyek dengan penambahan jam kerja menggunakan metode Time Cost Trade Off pada proyek pembangunan gedung rumah sakit type D Mijen Semarang," *Laporan Tugas Akhir*, 2021.
- [8] C. G. Salindeho, P. A. K. Pratas, and F. P. Y. Sumanti, "Optimasi waktu dan biaya menggunakan metode Time Cost Trade Off pada proyek peningkatan ruas jalan Tondano–Kembes–Manado seksi II," *Jurnal TEKNO*, vol. 20, no. 81, pp. 135–143, 2022. DOI: <https://doi.org/10.35793/jts.v20i81.42087>
- [9] L. T. N. Wulan, I. Mirajhusnita, and S. Luthfianto, "Analisis optimasi waktu dan biaya dengan penambahan jam kerja (lembur) menggunakan metode Time Cost Trade Off," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 47–56, 2021. DOI: <https://doi.org/10.24905/jureng.v12i2.73>

- [10] Fardila, D., & Adawyah, N. R. Optimasi Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi dengan Lembur dan Penambahan Tenaga Kerja. *INERSIA Informatika Dan Ekspose Hasil Riset Teknik Sipil Dan Arsitektur*, 17(1), 35–46. 2021, DOI: <https://doi.org/10.21831/inersia.v17i1.39499>
- [11] L. Setiawan and J. S. Tamtana, “Analisis percepatan durasi pekerjaan basement semi top down dengan metode Time Cost Trade Off,” *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, pp. 143–154, 2020. DOI:10.24912/jmmts.v3i1.6974
- [12] Soeparyanto, T.S., Nuhun, R., Ariatno, H. and Zulfitriah, L.O.M., 2024. Analysis Of Project Scheduling Using The CPM Method (Case Study Of Prayer Room Construction In PT. X Empalecement Complex). *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 5(1), pp.16-24. 2024. DOI: <https://doi.org/10.37253/jcep.v5i1.9206>
- [13] F. Nabila, “Analisis Optimasi Waktu dan Biaya pada Konstruksi Bangunan Gedung Menggunakan Metode Time Cost Trade Off,” *Journal Of Civil Engineering And Planning*, Vol. 4, No. 2, Pp. 2747-6299, Des. 2023, Doi: <https://doi.org/10.37253/jcep.v4i2.8662>.
- [14] H. Kerzner, “Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling (12th ed.)” John Wiley & Sons. 2017.
- [15] S. V. C Wijaya & Yudo, H., Mulyanto, I. P. Analisa Penerapan Metode Time Cost Trade Off dalam Optimasi Proyek Reparasi Kapal MT Poka Jo. *Jurnal Teknik Perkepalan*, 12(2). 2024.