



Optimasi Biaya dan Waktu dengan Metode TCTO pada Pembangunan *Casting Mechanical & Civil Work For Oil Storage And Steady Room Workshop* Gresik

Alia Maharani Endriastuti^{1✉}, Masca Indra Triana²

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas 17 Agustus 1945 Surabaya, Indonesia^(1,2)

DOI: 10.31004/jutin.v7i2.28837

✉ Corresponding author:

[aliamaharani240@gmail.com]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:
Optimal;
Metode TCTO;
Percepatan;
Lembur;
Kompresi

Di dalam perencanaan suatu proyek disamping variabel waktu dan sumber daya, variabel biaya (*cost*) mempunyai peranan yang sangat penting. Penelitian ini dilakukan pada pembangunan *Casting Mechanical & Civil Work For Oil Storage And Steady Room Workshop* Gresik. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan biaya dan waktu optimal yang lebih efisien dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Penelitian ini dilakukan dengan cara kompresi atau penekanan terhadap kegiatan-kegiatan yang ada di lintasan kritis. Dari hasil analisis dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja (*lembur*), didapatkan durasi hasil percepatan untuk 1 jam lembur adalah 175 hari, 2 jam lembur 173 hari, dan 3 jam lembur 172 hari. Sedangkan untuk biaya percepatan didapatkan 1 jam lembur adalah Rp. 3.123.406.448 sedangkan 2 jam sebesar Rp. 3.119.117.964 dan 3 jam lembur sebesar Rp. 3.117.248.350. Dari ketiga durasi tersebut, menghasilkan waktu optimal yaitu 172 hari kerja dengan efisiensi waktu sebesar 3,37% dan biaya optimal Rp. 3.117.248.350 dengan efisiensi biaya sebesar 0,42% dengan durasi lembur 3 jam.

Abstract

Keywords:
Optimal;
TCTO method;
Crashing;
Overtime;
Compression

In planning a project in addition to time and resource variables, cost variables (*costs*) have a very important role. This research was conducted on the construction of *Casting Mechanical & Civil Work For Oil Storage And Steady Room Workshop* Gresik. The purpose of this study is to obtain more efficient optimal cost and time using the *Time Cost Trade Off* (TCTO) method. This research is carried out by means of compression or emphasis on activities that are on a critical task. From the results of the analysis with the alternative of crashing the addition of working hours (*overtime*), it was found that the

duration of the crashing results for 1 hour of overtime was 175 days, 2 hours of overtime 173 days, and 3 hours of overtime 172 days. As for the crash cost, 1 hour of overtime is Rp. 3,123,406,448 while 2 hours is Rp. 3,119,117,964 and 3 hours of overtime is Rp. 3,117,248,350. Of the three durations, it produces an optimal time of 172 working days with a time efficiency of 3.37% and an optimal cost of Rp. 3,117,248,350 with a cost efficiency of 0.42% with an overtime duration of 3 hours.

1. PENDAHULUAN

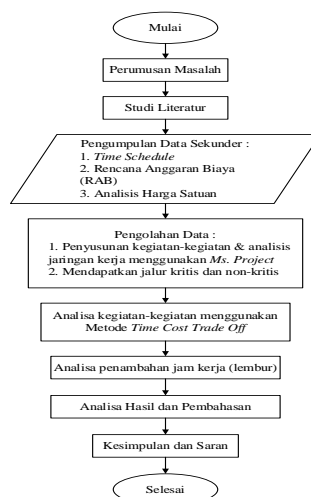
Proyek merupakan suatu kegiatan yang memiliki sifat tidak rutin, adanya keterbatasan terhadap waktu, anggaran dan sumber daya serta memiliki spesifikasi tersendiri atas produk yang akan dihasilkan. Adanya keterbatasan dalam pengerjaan suatu proyek, maka diperlukan pengaturan sumber daya secara maksimal melalui sebuah organisasi proyek. Hal ini bertujuan agar kegiatan dan proses setiap proyek dapat berjalan dengan baik demi tercapainya tujuan proyek. Organisasi proyek juga dibutuhkan untuk memastikan bahwa pekerjaan dapat diselesaikan dengan cara yang efisien, tepat waktu dan sesuai dengan kualitas yang diharapkan (Janizar, 2023).

PT. SMELTING melakukan pembangunan casting workshop di Kabupaten Gresik dengan PT. OTE Engineering Indonesia sebagai kontraktor utamanya. Pembangunan *Casting Mechanical & Civil Work For Oil Storage And Steady Room Workshop* menggunakan konstruksi utama berupa struktur baja. Pada penelitian ini akan dilakukan optimasi biaya dan waktu penyelesaian proyek, dengan studi kasus Pembangunan *Casting Mechanical & Civil Work For Oil Storage And Steady Room Workshop*, Gresik. Berdasarkan ketentuan kontrak waktu untuk penyelesaian proyek ini adalah 295 hari kalender, dimulai pada tanggal 10 Januari 2024 hingga 31 Oktober 2024. Penelitian ini dilakukan sebagai upaya optimalisasi biaya dan waktu dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO).

Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) merupakan salah satu alat yang digunakan dalam pengelolaan proyek yang mengintegrasikan biaya dan waktu. *Time Cost Trade Off* (TCTO) adalah metode analisis yang bertujuan mempercepat penyelesaian proyek melalui cara kompresi jadwal, sehingga proyek dapat diselesaikan lebih efisien dalam hal waktu (durasi) dan biaya yang lebih menguntungkan (Florensia, 2016). Metode ini menganalisis sejauh mana waktu dapat dipersingkat dengan penambahan biaya minimum pada kegiatan yang dapat dipercepat dalam rentang waktu tertentu.

Penelitian yang dilakukan ini berjudul "Optimasi Biaya dan Waktu Dengan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) Pada Pembangunan *Casting Mechanical & Civil Work For Oil Storage And Steady Room Workshop* Gresik" memiliki tujuan untuk mengetahui berapa waktu dan biaya optimal yang dibutuhkan untuk percepatan dalam pelaksanaan proyek. Dengan mengelola waktu dan biaya dengan baik, pelaksana (kontraktor) dapat memperoleh keuntungan yang maksimal dan menghindari biaya denda akibat keterlambatan proyek.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Diagram Alir (Flowchart)

2.1 Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO)

Time Cost Trade Off Analysis (TCTO) adalah metode analisis yang digunakan untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek dengan cara kompresi jadwal untuk mendapatkan proyek yang lebih menguntungkan dari segi waktu (durasi) dan biaya (Florensia, 2016). Ariani (2010) menyatakan Metode analisis pertukaran waktu dan biaya, atau *Time Cost Trade Off Analysis*, bertujuan untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek. Metode ini menganalisis sejauh mana waktu dapat dipersingkat dengan penambahan biaya minimum pada kegiatan yang dapat dipercepat dalam rentang waktu tertentu.

2.2 Biaya Langsung

Pada kenyataannya biaya proyek terdiri dari biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Simatupang (2015) menyebutkan bahwa biaya langsung adalah biaya yang diperlukan langsung untuk mendapatkan sumber daya yang akan dipergunakan untuk penyelesaian proyek. Ketika durasi proyek ditentukan/dipercepat, biaya langsung akan lebih tinggi dibanding durasi proyek yang dikembangkan dari waktu normal ideal untuk aktivitas.

Biaya langsung merupakan biaya yang secara fisik langsung berhubungan dengan jalannya proses konstruksi di lapangan. Biaya langsung ini didapat dari Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang diperhitungkan berdasarkan volume dikalikan harga satuan pekerjaan tersebut. Biaya langsung secara umum adalah biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir proyek (Nurdiana, 2015).

Biaya langsung proyek meliputi: (Nurdiana, 2015)

1. Bahan atau material yang diperlukan
Adalah biaya pembelian material, hingga material tersebut tiba di lokasi proyek. Biaya material adalah hasil penambahan dari harga material ditambah dengan ongkos pengangkutan sampai ke lokasi proyek. Oleh karena itu, agar memperoleh biaya tersebut, maka harus diketahui harga pembelian material dan biaya pengirimannya ke lokasi pekerjaan.
2. Biaya tenaga kerja (menggaji buruh, mandor, pekerja)
Estimasi biaya tenaga kerja adalah salah satu aspek paling sulit dari keseluruhan analisis biaya konstruksi. Adapun faktor yang memengaruhi diantaranya adalah kondisi lapangan kerja, keterampilan, durasi kerja, persaingan, produktivitas dan indeks biaya hidup sesuai daerah setempat. Satuan yang digunakan untuk biaya tenaga kerja dinyatakan dalam rupiah perjam-orang, rupiah perhari-orang, rupiah perminggu-orang dan lain-lain.
3. Biaya untuk pemakaian peralatan yang mempunyai hubungan erat dengan aktivitas proyek.
Estimasi biaya peralatan termasuk pembelian atau sewa alat, mobilisasi, demobilisasi, pemindahan, transportasi, pembongkaran dan biaya pengoperasian selama pekerjaan konstruksi berlangsung.

2.3 Biaya Tidak Langsung

Biaya tidak langsung atau *indirect cost* adalah biaya yang berhubungan dengan pengawasan, pengarahannya dan pengeluaran umum diluar biaya konstruksi, biaya ini disebut juga biaya *overhead*. Biaya ini tidak tergantung pada volume pekerjaan tetapi tergantung pada jangka waktu pelaksanaan pekerjaan (Ikhtisholiah, 2017).

Biaya tidak langsung tidak dapat dihubungkan dengan paket kegiatan dalam proyek. Biaya tidak langsung secara langsung bervariasi dengan waktu, oleh. Biaya *overhead* adalah biaya tambahan yang harus dikeluarkan dalam pelaksanaan kegiatan atau pekerjaan namun tidak berhubungan langsung dengan biaya bahan, peralatan, dan tenaga kerja. Biaya *overhead* umumnya terbagi 2, yaitu biaya *overhead* umum dan biaya *overhead* proyek: (Nurdiana, 2015)

1. Biaya Umum
Biaya umum atau yang biasa disebut *overhead cost* adalah gaji personil tetap kantor pusat dan lapangan; pengeluaran kantor pusat seperti sewa kantor pusat, telepon, dan sebagainya; perjalanan beserta

akomodasi; biaya dokumentasi; bunga bank; peralatan kecil dan material habis pakai. Biaya *overhead* umum dapat diambil dari keuntungan yang didapatkan pada satu proyek.

2. Biaya Proyek

Adalah pengeluaran yang dibebankan pada proyek tetapi tidak termasuk ke dalam biaya material, upah kerja, maupun peralatan. Berikut adalah yang termasuk dalam biaya *overhead* proyek:

- a. Bangunan kantor
- b. Biaya telepon kantor lapangan
- c. Kebutuhan akomodasi lapangan; listrik, air bersih, air minum, sanitasi, dan sebagainya
- d. Pajak, pungutan, asuransi, dan perizinan
- e. Biaya tak terduga

2.4 Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Kerja lembur (*working time*) dapat dilakukan dengan menambah jam kerja perhari, tanpa menambah pekerja. Penambahan ini bertujuan untuk memperbesar produksi selama satu hari sehingga penyelesaian suatu aktivitas pekerjaan akan lebih cepat. Yang perlu diperhatikan di dalam penambahan jam kerja adalah lamanya waktu bekerja seseorang dalam satu hari. Jika seseorang terlalu lama bekerja selama satu hari, maka produktivitas orang tersebut akan menurun karena terlalu lelah (Hendriyani, 2020).

Tabel 1. Penurunan Indeks Produktivitas

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

Sumber : Hendriyani, 2020

1. Produktivitas Harian (PH)

$$PH = \frac{Volume}{Durasi Normal} \dots\dots\dots (2.1)$$

2. Produktivitas Tiap Jam (PJ)

$$PJ = \frac{PJ}{Jam Kerja Perhari} \dots\dots\dots (2.2)$$

3. Produktivitas Harian sesudah *Crash*

$$= (Jam Kerja \times PJ) \times (a \times b \times PJ) \dots\dots\dots (2.3)$$

Keterangan :

- a = Lama penambahan tenaga kerja
- b = Koefisien penurunan produktivitas akibat penambahan jam kerja (lembur)
- PJ = Produktivitas tiap jam

4. *Crash Duration*

$$Crash Duration = \frac{Volume}{PH} \dots\dots\dots (2.4)$$

Keterangan :

PH = Produktivitas harian

2.5 Biaya Tambahan (Crash Cost)

Crash cost adalah biaya langsung yang dikeluarkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan akibat adanya percepatan waktu. Melalui percepatan ini maka biaya langsung setiap item pekerjaan otomatis akan lebih besar dari biaya langsung yang sebelumnya.

1. Biaya normal pekerja perhari

$$\text{Biaya normal pekerja perhari} = PH \times \text{harga satuan upah pekerja} \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan :

PH = Produktivitas Harian

2. Ongkos normal pekerja harian

$$\text{Ongkos normal pekerja perhari} = PH \times \text{harga satuan upah} \dots\dots\dots (2.6)$$

Keterangan :

PJ = Produktivitas Tiap Jam

3. Biaya Lembur

$$= 1,5 \times \text{upah sejam normal untuk penambahan jam kerja pertama} + (2 \times n \times \text{upah sejam normal untuk penambahan jam kerja berikutnya}) \dots\dots\dots (2.7)$$

Keterangan :

n = Jumlah penambahan jam kerja (lembur)

4. Crash Cost

$$= 1,5 \times \text{jam kerja perhari} \times \text{Normal cost pekerja} \times n \times \text{Biaya lembur perjam} \dots\dots\dots (2.8)$$

5. Cost Slope

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash duration}} \dots\dots\dots (2.9)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Daftar Pekerjaan Kritis

Berikut adalah rincian dari kegiatan kritis yang akan dianalisa dalam penelitian ini:

Tabel 2. Daftar Pekerjaan Kritis

No	Item Pekerjaan	Volume	Satuan	Durasi (hari)
B.1	Column	31.052,78	kg	22
B.2	Beam	33.673,31	kg	30
B.3	Runway Beam	27.994,66	kg	24
B.4	Roof Beam Framing Plan	14.240,35	kg	30
B.3	Girt for Clading	14.059,60	kg	18
B.5	Handrail Mezzanine	2.007,24	kg	18
B.6	Platform Mezzanine	198,00	m2	18
B.7	Stairway Mezzanine	3.303,50	kg	18

3.2 Menghitung Crash Duration

Crash duration adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan setelah dilakukan penambahan jam kerja (lembur). Dalam mencari crash duration harus menghitung nilai produktivitas harian, produktivitas tiap jam, dan produktivitas harian setelah crash (percepatan).

Perhitungan *crash duration* pekerjaan Column durasi lembur 1 jam:

$$\begin{aligned}
 \text{Produktivitas normal (hari)} &= \text{Volume} / (\text{Durasi normal (hari)}) \\
 &= 31.052,78 / 22 \\
 &= 1.411,49 \text{ kg/hari} \\
 \text{Produktivitas normal (jam)} &= \text{Volume} / (\text{Durasi normal (jam)}) \\
 &= 31.052,78 / 176 \\
 &= 176,436 \text{ kg/jam} \\
 \text{Crash Duration} &= \text{Volume} / ((\text{Prod. Normal (hari)} + \\
 &\quad (\text{durasi lembur} \times \text{Prod. Normal (jam)} \times \\
 &\quad \text{koefisien produktivitas})) \\
 &= 31.052,78 / (1.411,49 + (1 \times 176,436 \times \\
 &\quad 0,9)) \\
 &= 19,78 \text{ hari} \\
 \text{Maka maksimal percepatan} &= \text{Durasi normal} - \text{Crash Duration} \\
 &= 22 - 19,78 \\
 &= 2,22 \approx 2 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *crash duration* pekerjaan Column durasi lembur 2 jam:

$$\begin{aligned}
 \text{Produktivitas normal (hari)} &= \text{Volume} / (\text{Durasi normal (hari)}) \\
 &= 31.052,78 / 22 \\
 &= 1411,49 \text{ kg/hari} \\
 \text{Produktivitas normal (jam)} &= \text{Volume} / (\text{Durasi normal (jam)}) \\
 &= 31.052,78 / 176 \\
 &= 176,44 \text{ kg/jam} \\
 \text{Crash Duration} &= \text{Volume} / ((\text{Prod. Normal (hari)} + \\
 &\quad (\text{durasi lembur} \times \text{Prod. Normal (jam)} \times \\
 &\quad \text{koefisien produktivitas})) \\
 &= 31.052,78 / (1411,4 + (2 \times 176 \times 0,8)) \\
 &= 18,33 \text{ hari} \\
 \text{Maka maksimal percepatan} &= \text{Durasi normal} - \text{Crash Duration} \\
 &= 22 - 18,33 \\
 &= 3,67 \approx 4 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *crash duration* pekerjaan Column durasi lembur 3 jam:

$$\begin{aligned}
 \text{Produktivitas normal (hari)} &= \text{Volume} / (\text{Durasi normal (hari)}) \\
 &= 31.052,78 / 22 \\
 &= 1.411,49 \text{ kg/hari} \\
 \text{Produktivitas normal (jam)} &= \text{Volume} / (\text{Durasi normal (jam)}) \\
 &= 31.052,78 / 176 \\
 &= 176,44 \text{ kg/jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Crash Duration} &= \text{Volume} / ((\text{Prod. Normal (hari)} + \\
 &\quad (\text{durasi lembur} \times \text{Prod. Normal (jam)} \times \\
 &\quad \text{koefisien produktivitas})) \\
 &= 31.052,78 / (1.411,49 + (3 \times 176 \times \\
 &\quad 0,7)) \\
 &= 17,43 \text{ hari} \\
 \text{Maka maksimal percepatan} &= \text{Durasi normal} - \text{Crash Duration} \\
 &= 22 - 17,43 \\
 &= 4,57 \approx 5 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Tabel 3. Rekapitulasi *Crash Duration*

No	Item Pekerjaan	Durasi normal (hari)	<i>Crash Duration</i>			<i>Crashing (hari)</i>		
			1 jam	2 jam	3 jam	1 jam	2 jam	3 jam
B.1	Column	22	19,78	18,33	17,43	2,22	3,67	4,57
B.2	Beam	30	26,97	25,00	23,76	3,03	5,00	6,24
B.3	Runway Beam	24	21,54	20,00	19,01	2,43	4,00	4,99
B.4	Roof Beam	30	26,97	25,00	23,76	3,03	5,00	6,24
B.5	Girt for Clading	18	16,18	15,00	14,26	1,82	3,00	3,74
B.6	Handrail Mezzanine	18	16,18	15,00	14,26	1,82	3,00	3,74
B.7	Platform Mezzanine	18	16,18	15,00	14,26	1,82	3,00	3,74
B.8	Stairway Mezzanine	18	16,18	15,00	14,26	1,82	3,00	3,74

3.3 Menghitung *Crash Cost*

Crash cost adalah biaya langsung yang dikeluarkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan akibat adanya percepatan waktu. Melalui percepatan ini maka biaya langsung setiap item pekerjaan otomatis akan lebih besar dari biaya langsung yang sebelumnya.

Dalam penelitian ini, berdasarkan data rencana anggaran biaya dari pihak proyek, upah pekerja termasuk dalam biaya labor. Biaya labor adalah biaya yang terkait dengan tenaga kerja dalam suatu proyek. Biaya ini mencakup semua pengeluaran yang dikeluarkan untuk membayar pekerja atau karyawan yang terlibat dalam pelaksanaan suatu pekerjaan.

Contoh perhitungan biaya lembur pekerjaan Column dengan durasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam:

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Labor perhari} &= \text{Rp. 7.804.495} \\
 \text{Biaya Labor perjam} &= \text{Biaya labor perhari/jam kerja} \\
 &= \text{Rp. 7.804.495} / 8 \\
 &= \text{Rp. 975.562} \\
 \text{Biaya lembur 1 jam} &= \text{Biaya labor perjam} \times 1,5 \\
 &= \text{Rp. 975.562} \times 1,5 \\
 &= \text{Rp. 1.463.343} \\
 \text{Biaya lembur 2 jam} &= (\text{Biaya labor perjam} \times 1,5) + (\text{Biaya labor perjam} \times 2) \\
 &= (\text{Rp. 975.562} \times 1,5) + (\text{Rp. 975.562} \times 2) \\
 &= \text{Rp. 3.414.467} \\
 \text{Biaya lembur 3 jam} &= (\text{Biaya labor perjam} \times 1,5) + (\text{Biaya labor perjam} \times 2 \times 2) \\
 &= (\text{Rp. 975.562} \times 1,5) + (\text{Rp. 975.562} \times 2 \times 2) \\
 &= \text{Rp. 5.365.590}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya Normal} &= \text{Rp. 568.648.789} \\
 \\
 \text{Biaya Percepatan 1 jam} &= \text{Biaya normal} + \text{Biaya lembur 1 jam} \\
 &= \text{Rp. 568.648.789} + \text{Rp. 1.463.343} \\
 &= \text{Rp. 570.112.132} \\
 \\
 \text{Biaya Percepatan 2 jam} &= \text{Biaya normal} + \text{Biaya lembur 2 jam} \\
 &= \text{Rp. 568.648.789} + \text{Rp. 3.414.467} \\
 &= \text{Rp. 572.063.256} \\
 \\
 \text{Biaya Percepatan 3 jam} &= \text{Biaya normal} + \text{Biaya lembur 3 jam} \\
 &= \text{Rp. 568.648.789} + \text{Rp. 5.365.590} \\
 &= \text{Rp. 574.014.379}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. Rekapitulasi Biaya Percepatan

Item Pekerjaan	Biaya Normal (Rp.)	Total Biaya Lembur (Rp.)			Biaya Percepatan (Rp.)		
		1 Jam	2 Jam	3 Jam	1 Jam	2 Jam	3 Jam
Column	568.648.789	1.463.343	3.414.467	5.365.590	570.112.132	572.063.256	574.014.379
Beam	609.269.695	2.019.648	4.712.512	7.405.376	611.289.343	613.982.207	616.675.071
Runway Beam	488.387.082	1.283.039	2.993.757	4.704.476	489.670.121	491.380.840	493.091.559
Roof Beam	257.574.554	527.429	1.230.667	1.933.905	258.101.983	258.805.221	259.508.459
Girt for Clading	295.055.042	843.840	1.968.960	3.094.080	295.898.882	297.024.001	298.149.121
Handrail Mezzanine	36.516.705	124.657	290.867	457.077	36.641.362	36.807.572	36.973.782
		1 jam	2 jam	3 jam	1 jam	2 jam	3 jam
Platform Mezzanine	100.980.000	247.500	577.500	907.500	101.227.500	101.557.500	101.887.500
Stairway Mezzanine	66.111.375	182.823	426.588	670.353	66.294.198	66.537.963	66.781.727

3.4 Menghitung Cost Slope

Cost slope adalah perbandingan antara biaya tambahan dan waktu penyelesaian proyek yang dipercepat. Bertambahnya biaya akan berbanding lurus dengan nilai crash cost, semakin besar crash cost-nya maka semakin besar juga nilai cost slope-nya dan begitupun sebaliknya.

Perhitungan Cost Slope pekerjaan Column dengan waktu lembur 1 jam:

$$\begin{aligned}
 \text{Cost Slope/hari} &= ((\text{biaya percepatan} - \text{biaya normal}) / (\text{durasi normal} - \text{crash duration})) \\
 &= ((\text{Rp. 570.112.132} - \text{Rp. 568.648.789}) / (22 - 19,78)) \\
 &= \text{Rp. 659.163,51}
 \end{aligned}$$

Perhitungan *Cost Slope* pekerjaan Column dengan waktu lembur 2 jam:

$$\begin{aligned} \text{Cost Slope/hari} &= ((\text{biaya percepatan}-\text{biaya normal}) / (\text{durasi normal}- \text{crash} \\ &\text{duration})) \\ &= ((\text{Rp. 572.063.256} - \text{Rp. 568.648.789}) / (22 - 18,33)) \\ &= \text{Rp. 930.372,48} \end{aligned}$$

Perhitungan *Cost Slope* pekerjaan Column dengan waktu lembur 3 jam:

$$\begin{aligned} \text{Cost Slope/hari} &= ((\text{biaya percepatan}-\text{biaya normal}) / (\text{durasi normal}- \text{crash} \\ &\text{duration})) \\ &= ((\text{Rp. 574.014.379}- \text{Rp. 568.648.789}) / (22 - 17,43)) \\ &= \text{Rp. 1.174.089,72} \end{aligned}$$

Tabel 5. Rekapitulasi Nilai *Cost Slope*

No	Item Pekerjaan	Nilai <i>Cost Slope</i>		
		1 jam	2 jam	3 jam
B.1	Column	659.163,51	930.372,48	1.174.089,72
B.2	Beam	419.599,01	593.312,80	747.074,20
B.3	Runway Beam	527.999,59	748.439,50	942.780,96
B.4	Roof Beam	174.068,98	246.133,40	309.920,67
B.5	Girt for Clading	463.648,35	656.319,67	827.293,85
B.6	Handrail Mezzanine	68.492,86	96.955,67	122.213,10
B.7	Platform Mezzanine	135.989,01	192.500,00	242.647,06
B.8	Stairway Mezzanine	100.452,20	142.196,00	179.238,50

3.5 Kompresi Biaya dan Waktu

Kompresi durasi proyek dilakukan mulai dari aktivitas dengan *cost slope* terendah. Proses ini bertujuan untuk menemukan waktu penyelesaian terpendek dengan biaya total paling minimal.

Perhitungan Kompresi pada pekerjaan Column dengan waktu lembur 1 jam:

$$\begin{aligned} \text{Durasi Dipercepat} &= 19,78 \approx 20 \text{ Hari} \\ \text{Total Percepatan} &= \text{Durasi Normal} - \text{Crash Duration} \\ &= 22 - 19,78 \\ &= 2,22 \approx 2 \text{ Hari} \\ \text{Total Durasi Proyek} &= \text{Durasi Normal} - \text{Crash Duration} \\ &= 178 - 2 \\ &= 176 \text{ Hari} \\ \text{Tambahan Biaya} &= \text{Cost Slope} \times \text{Total Percepatan} \\ &= \text{Rp. 659.163,51} \times 2 \\ &= \text{Rp. 1.318.327} \\ \text{Biaya Langsung Setelah Percepatan} &= \text{Biaya Langsung normal} + \text{Tambahan Biaya} \\ &= \text{Rp. 2.685.651.657} + \text{Rp. 1.318.327} \\ &= \text{Rp. 2.686.969.984} \\ \text{Biaya Tidak Langsung Setelah Percepatan} &= (\text{Biaya Tidak Langsung normal}/\text{Durasi Normal}) \times \text{Total Durasi Proyek} \\ &= (\text{Rp. 444.728.000}/178) \times 176 \\ &= \text{Rp. 439.731.056} \end{aligned}$$

Total Biaya = Rp. 2.686.969.984+ Rp. 439.731.056
 = Rp. 3.126.701.040

Perhitungan Kompresi pada pekerjaan Column dengan waktu lembur 2 jam:

Cost Slope/hari = Rp. 930.372,48
 Durasi Normal = 22 Hari
 Durasi Dipercepat = 18,33 ≈ 18 Hari
 Total Percepatan = Durasi Normal – *Crash Duration*
 = 22 – 18
 = 4 Hari
 Total Durasi Proyek = Durasi Normal – *Crash Duration*
 = 178 – 4
 = 174 Hari
 Tambahan Biaya = *Cost Slope* x Total Percepatan
 Rp. 930.372,48 x 4
 Rp. 3.721.490
 Biaya Langsung Setelah Percepatan = Biaya Langsung normal + Tambahan Biaya
 = Rp. 2.685.651.657 + Rp. 3.721.490
 = Rp. 2.689.373.147
 Biaya Tidak Langsung Setelah Percepatan = (Biaya Tidak Langsung normal/Durasi Normal) x Total Durasi Proyek
 = (Rp. 444.728.000/178) x 174
 = Rp. 434.734.112
 Total Biaya = Rp. 2.689.373.147+ Rp. 434.734.112
 = Rp. 3.124.107.259

Perhitungan Kompresi pada pekerjaan Column dengan waktu lembur 3 jam:

Cost Slope/hari = Rp. 1.174.089,72
 Durasi Normal = 22 Hari
 Durasi Dipercepat = 17,43 ≈ 17 Hari
 Total Percepatan = Durasi Normal – *Crash Duration*
 = 22 – 17
 = 5 Hari
 Total Durasi Proyek = Durasi Normal – *Crash Duration*
 = 178 – 5
 = 173 Hari
 Tambahan Biaya = *Cost Slope* x Total Percepatan
 Rp. 1.174.089,72 x 5
 Rp. 5.870.449
 Biaya Langsung Setelah Percepatan = Biaya Langsung normal + Tambahan Biaya
 = Rp. 2.685.651.657 + Rp. 5.870.449
 = Rp. 2.691.522.106
 Biaya Tidak Langsung Setelah Percepatan = (Biaya Tidak Langsung normal/Durasi Normal) x Total Durasi Proyek
 = (Rp. 444.728.000/178) x 173
 = Rp. 432.235.640
 Total Biaya = Rp. 2.691.522.106 + Rp. 402.253.978

= Rp. 3.123.757.746

Tabel 6. Rekapitulasi Biaya Langsung, Biaya Tidak Langsung, dan Total Biaya

Urutan Pekerjaan Dari <i>Cost Slope</i> Terendah	Durasi (Hari)	Biaya Langsung	Biaya Tidak Langsung	Total Biaya
1 Jam				
Handrail Mezzanine	176	Rp. 2.685.788.643	Rp. 439.731.056	Rp. 3.125.519.699
Stairway Mezzanine	176	Rp. 2.685.852.561	Rp. 439.731.056	Rp. 3.125.583.618
Platform Mezzanine	176	Rp. 2.685.923.635	Rp. 439.731.056	Rp. 3.125.654.691
Roof Beam	175	Rp. 2.686.173.864	Rp. 437.232.584	Rp. 3.123.406.448
Beam	175	Rp. 2.686.910.454	Rp. 437.232.584	Rp. 3.124.143.038
Girt for Cladding	176	Rp. 2.686.578.954	Rp. 439.731.056	Rp. 3.126.310.010
Runway Beam	176	Rp. 2.686.707.656	Rp. 439.731.056	Rp. 3.126.438.712
Column	176	Rp. 2.686.969.984	Rp. 439.731.056	Rp. 3.126.701.040
2 Jam				
Handrail Mezzanine	175	Rp. 2.685.942.524	Rp. 437.232.584	Rp. 3.123.175.108
Stairway Mezzanine	175	Rp. 2.686.078.245	Rp. 437.232.584	Rp. 3.123.310.829
Platform Mezzanine	175	Rp. 2.686.229.157	Rp. 437.232.584	Rp. 3.123.461.741
Roof Beam	173	Rp. 2.686.882.324	Rp. 432.235.640	Rp. 3.119.117.964
Beam	173	Rp. 2.688.618.221	Rp. 432.235.640	Rp. 3.120.853.861
Girt for Cladding	175	Rp. 2.687.620.616	Rp. 437.232.584	Rp. 3.124.853.200
Runway Beam	174	Rp. 2.688.645.415	Rp. 434.734.112	Rp. 3.123.379.527
Column	174	Rp. 2.689.373.147	Rp. 434.734.112	Rp. 3.124.107.259
3 Jam				
Handrail Mezzanine	174	Rp. 2.686.140.509	Rp. 434.734.112	Rp. 3.120.874.622
Stairway Mezzanine	174	Rp. 2.686.368.611	Rp. 434.734.112	Rp. 3.121.102.723
Platform Mezzanine	174	Rp. 2.686.622.245	Rp. 434.734.112	Rp. 3.121.356.358
Roof Beam	172	Rp. 2.687.511.181	Rp. 429.737.169	Rp. 3.117.248.350
Beam	172	Rp. 2.690.134.102	Rp. 429.737.169	Rp. 3.119.871.271
Girt for Cladding	174	Rp. 2.688.960.832	Rp. 434.734.112	Rp. 3.123.694.945
Runway Beam	173	Rp. 2.690.365.562	Rp. 432.235.640	Rp. 3.122.601.202
Column	173	Rp. 2.691.522.106	Rp. 432.235.640	Rp. 3.123.757.746

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa biaya dan waktu pelaksanaan proyek menggunakan metode *time cost trade off* (TCTO) pada pembangunan *Castig Mechanical & Civil Work For Oil Storage And Steady Room Workshop* Gresik, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Setelah dilakukan percepatan menggunakan metode *time cost trade off* dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja (lembur), didapatkan hasil percepatan untuk 1 jam lembur adalah 175 hari, 2 jam lembur 173 hari, dan 3 jam lembur 172 hari. Dari ketiga durasi lembur tersebut, maka didapatkan durasi optimum yaitu 172 hari kerja dengan durasi lembur 3 jam per hari. Dengan alternatif ini proyek bisa lebih cepat 6 hari dari durasi normal. Dari hasil analisis tersebut, didapatkan efisiensi waktu sebesar 3,37%.
2. Setelah dilakukan percepatan menggunakan metode *time cost trade off* dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja (lembur) didapatkan biaya total hasil percepatan untuk 1 jam lembur adalah Rp. 3.123.406.448 sedangkan 2 jam sebesar Rp. 3.119.117.964 dan 3 jam lembur sebesar Rp. 3.117.248.350. Dari ketiga durasi lembur tersebut, maka didapatkan biaya optimum yaitu Rp. 3.117.248.350 dengan durasi lembur 3 jam per hari. Dengan alternatif ini proyek dapat menghemat biaya Rp. 13.131.307 dari biaya normal. Dari hasil analisis tersebut, didapatkan efisiensi biaya sebesar 0,42%.

5. REFERENCES

- Florensia, A. M. (2016). Analisis Time Cost Trade Off untuk Mengejar Keterlambatan Proyek. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil.
- Ikhtisholiah. (2017). Analisis Penerapan Manajemen Waktu dan Biaya Pada Proyek Pembangunan Gedung Kuliah Teknik Listrik Industri Politeknik Negeri Madura (POLTERA). Zeta - Math Journal Volume 3 No. 01, 14-21.
- Nurdiana, A. (2015). Analisis Biaya Tidak Langsung Pada Proyek Pembangunan Best Western Star Hotel & Star Apartement Semarang. TEKNIK, 105-109.
- Simatupang, J. S., Dundu, A. K., & Sibi, M. (2015). Pengaruh Percepatan Durasi Terhadap Waktu Pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Pembangunan Persekolahan Eben Haezar Manado). Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.5, 281-291.
- Janizar, S., Rahman, T., & Schipper, L. A. (2023). Kajian Percepatan Proyek Menggunakan Metode Time Cost Trade Off Dengan System Penambahan Pekerja (Studi Kasus : Pembangunan Gedung RS Jantung Paramarta Bandung). Jurnal Teknik Sipil Cendekia, 685-704
- Hendriyani, I., Pratiwi, R., & Qadri, N. (2020). 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 Volume 03 Nomor 01, 65-76.