

ANALISIS PERCEPATAN WAKTU PADA PEKERJAAN SIPIL PROYEK PEMBANGUNAN LPG REFRIGERATED DENGAN MENGGUNAKAN METODE CRITICAL PATH METHOD (CPM) DAN TIME COST TRADE OFF (TCTO)

Mohammad Shodig Burhanudin¹, Nuzulia Khoiriyah^{2*}, Eli Mas'idah³

*E-mail korespondensi: nuzulia@unissula.ac.id

^{1,2,3}Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Sultan Agung, Semarang, Indonesia

ABSTRAK

Pembangunan LPG *Refrigerated* yang terletak di tuban, Jawa Timur saat ini sedang dalam proses pembangunan. Pengerjaan proyek direncanakan dalam waktu 399 hari dengan nilai total proyek sebesar Rp. 14.584.800.000. Selama pelaksanaan proyek sering mengalami keterlambatan aktivitas pekerjaan yang menyebabkan durasi waktu penyelesaiannya mengalami kemunduran dari jadwal yang telah ditentukan. Akibatnya terjadi penundaan waktu untuk memulai aktivitas pekerjaan berikutnya. Hal tersebut tidak hanya menambah durasi umur proyek, akan tetapi juga mengakibatkan pembengkakan anggaran biaya. Banyak faktor yang menyebabkan keterlambatan penyelesaian terhadap suatu pekerjaan meliputi penyediaan bahan baku, keadaan alam, letak geografis dan berbagai unsur lainnya. Dengan demikian perlu diadakan analisa untuk mempercepat durasi proyek, dimana pada penelitian ini akan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO) untuk melakukan percepatan durasi waktu pada aktivitas yang berada dijalur kritis. Hasil Perhitungan dengan metode *Time Cost Trade Off* didapatkan durasi dan biaya optimal proyek pembangunan LPG *Refrigerated* yaitu selama 364 hari dengan penambahan 1 jam lembur yang dapat mempercepat proyek hingga 35 hari dari durasi normal yaitu selama 399 hari dengan total tambahan biaya sebesar Rp. 235.580.228.

Kata Kunci: *critical path method*, keterlambatan, pembangunan, percepatan, *time cost trade off*

ABSTRACT

The development of a Refrigerated LPG located in Tuban, East Java is currently under construction. Project work is planned within 399 days with a total project value of Rp. 14,584,800,000. During project implementation, work activities often experience delays which cause the duration of the completion time to experience a setback from the predetermined schedule. As a result, there is a time delay to start the next work activity. This not only increases the duration of the life of the project, but also results in an increase in the budget. Many factors cause delays in the completion of a work including the supply of raw materials, natural conditions, geographical location and various other elements. Thus it is necessary to carry out an analysis to accelerate the duration of the project, which in this study will use the Critical Path Method (CPM) and Time Cost Trade Off (TCTO) methods to accelerate the duration of time for activities that are on a critical path. Calculation results using the Time Cost Trade Off method obtained the optimal duration and cost of the Refrigerated LPG development project, namely for 364 days with the addition of 1 hour of overtime which can accelerate the project by up to 35 days from the normal duration, which is 399 days with a total additional cost of Rp. 235,580,228.

Keywords: *acceleration, critical path method, delay, development, time cost trade off*

PENDAHULUAN

Menurut (Basuki, 2019) Proyek artinya kegiatan terjadi berulang, terbatas waktu, dan spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya untuk menghasilkan suatu produk. Adanya keterbatasan dalam pelaksanaan proyek, maka perlu dilakukan pengelolaan sumber daya oleh organisasi proyek, demi mencapai tujuan proyek. Selain itu, perlu

dipastikan juga bahwa pekerjaan terlaksana secara efisien dan efektif supaya sesuai dengan kualitas yang diharapkan.

Pada saat ini sedang berlangsung pembangunan LPG *refrigerated* yang terletak di tuban, Jawa Timur. Kontraktor pada proyek ini adalah PT. X yang bekerja sama dengan PT. Y. Dalam pelaksanaannya, sering terjadi keterlambatan pekerjaan sehingga durasi waktu penyelesaiannya

mengalami kemunduran dari jadwal yang telah ditentukan. Akibatnya terjadi penundaan waktu dimulainya untuk aktivitas pekerjaan berikutnya. Hal tersebut tidak hanya menambah durasi umur proyek tetapi juga mengakibatkan anggaran biaya mengalami pembengkakan, mulai dari biaya langsung maupun biaya tidak langsung. Di sisi lain, perusahaan juga terancam terkena denda sebanyak 0,1% perhari dari total nilai kontrak jika proyek tidak selesai tepat waktu. Berikut merupakan data durasi dan keterlambatan pekerjaan proyek pembangunan LPG *Refrigerated*.

Tabel 1. Durasi kerja & keterlambatan

No.	Nama Pekerjaan	Durasi (hari)	Keterlambatan
I	PEKERJAAN PERSIAPAN		
1.	direksi keet	21	-
2.	mobilisasi dan demobilisasi	21	-
3.	pekerjaan pengukuran	28	-
4.	administration & construction permit	7	2
II	PEKERJAAN LAND CLEARING		
5.	Penebasan semak belukar, penebangan pohon, pembersihan humus	14	2
6.	pagar temporary proyek	28	-
III	PEKERJAAN DINDING PENAHAN TANAH		
7.	Penggalian tanah dan pengangkutan tanah hasil galian	28	4
8.	Pemasangan rembesan air tanah dengan pipa PVC	28	2
9.	pasangan batu kali	35	3
IV	PEKERJAAN GALIAN, TIMBUNAN, & PEMADATAN		
10.	Pekerjaan Galian	28	2
11.	Pekerjaan Timbunan kualitas baik kondisi padat	49	2
12.	Pemeriksaan sample tanah dengan CBR	21	-
13.	Pemeriksaan kepadatan tanah dengan sand cone test	21	-
14.	Pekerjaan Geotextile non woven	35	2
V	PEKERJAAN PEMAGARAN		
15.	Lantai kerja beton mutu K-125	14	-
16.	Pondasi Kolom Permanent fence mutu K-225	21	3
17.	Beton Bertulang mutu K-225 - Sloof	14	-
18.	Kolom untuk Pagar Panel Beton	21	2
19.	Pondasi beton bertulang untuk Pagar Harmonika	28	2
20.	Pagar Panel Beton	14	2
21.	Pagar harmonika	14	2
22.	Pintu gerbang pagar harmonika	14	-
23.	Kawat <u>duri</u> & Layer pagar pre cast dan 5 layer pagar harmonika	21	3
24.	Safety line dan pekerjaan bouwplank	14	-
V	PEKERJAAN PONDASI TANGKI PROPANA & BUTANA		
25.	Compaction, 90% b.j tanah kering	35	-
26.	Backfilling padat 95% b.j tanah kering	21	2
27.	Bekisting	21	-
28.	Besi tulangan ulir + kawat pengikat + decking	28	2
29.	Beton Ready Mix K-300	35	-
30.	Lantai kerja 5 cm, mutu beton K-125	28	3
31.	Agregat dengan pematatan	28	-

Berdasarkan studi lapangan yang telah peneliti lakukan, keterlambatan banyak terjadi di beberapa bagian pekerjaan dan keterlambatan bisa terjadi 2 hingga 4 hari dari durasi yang telah ditentukan. Terdapat beberapa factor yang memicu keterlambatan penyelesaian terhadap suatu pekerjaan yang meliputi penyediaan bahan baku,

keadaan alam, letak geografis dan berbagai unsur yang mempengaruhi perkembangan proyek tersebut. Dari beberapa keterlambatan disetiap pekerjaan total keterlambatan mencapai 23 hari. Jika proyek mengalami keterlambatan selama 23 hari maka perusahaan akan terkena denda senilai Rp. 335.450.400. Dengan demikian perlu diadakan analisa untuk mempercepat durasi proyek, dimana percepatan durasi waktu bisa dilakukan pada kegiatan yang berada dijalur kritis dimana pada aktivitas tersebut tidak memiliki waktu kelonggaran.

METODE PENELITIAN

Penelitian Awal

Dalam melakukan penelitian tugas akhir ini tahap pertama yang dilakukan penulis adalah melakukan penelitian awal. Dalam tahap ini peneliti melakukan studi lapangan dan juga studi pustaka untuk mengidentifikasi permasalahan yang ada serta untuk menentukan batasan dalam penelitian. Langkah-langkah yang bisa dilakukan dalam penelitian awal adalah sebagai berikut :

- a. Studi Lapangan

Peneliti melakukan studi lapangan untuk mengetahui dan mengumpulkan informasi tentang proyek pembangunan LPG *Refrigerated* dengan cara observasi dan juga wawancara.
- b. Identifikasi Masalah

Dari hasil studi lapangan maka peneliti bisa menentukan topik yg akan diambil dalam penelitian tugas akhir. Topik yang akan diambil dalam penelitian tugas akhir ini adalah mengenai percepatan waktu durasi proyek
- c. Studi Pustaka

Melakukan studi pustaka atau studi literatur dengan mencari referensi yang mendukung penelitian. Seperti buku-buku, jurnal, artikel ilmiah, ataupun referensi lain yang berhubungan dengan masalah yang diangkat yang kemudian digunakan sebagai acuan untuk menyelesaikan masalah.
- d. Batasan Masalah

Setelah mengetahui permasalahan dilapangan, selanjutnya dapat dilakukan pembatasan penelitian agar tidak terjadi pelebaran pokok masalah sehingga tujuan penelitian lebih mudah tercapai. Batasan untuk penelitian ini yaitu penelitian ini hanya dilakukan pada pekerjaan sipil proyek pembangunan LPG *Refrigerated* dengan menggunakan metode *critical path method* dan *time cost trade off*.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah kegiatan mengumpulkan data dengan cara melakukan pengamatan maupun wawancara dengan pihak yang terkait dan juga informasi yang dibutuhkan

penulis dalam memecahkan masalah untuk tujuan penelitian. Data yang dikumpulkan untuk penelitian ini adalah:

- a. Data Primer
Pengumpulan data primer diperoleh melalui data yang tercantum pada perusahaan serta pengamatan langsung (observasi lapangan). Selain itu juga melalui wawancara kepada para penanggung jawab proyek.
- b. Data Sekunder
Data sekunder dalam hal ini adalah studi pustaka dengan tujuan untuk memperoleh data sekunder tentang kebijakan atau program yang sedang atau akan dilaksanakan. Informasi sekunder juga dapat diperoleh melalui penelitian sebelumnya, termasuk penelitian manajemen proyek.

Pengolahan Data

Dua metode yang saling terkait digunakan untuk mengolah data pada penelitian ini. Dua metode tersebut yaitu *critical path method* dan *time cost trade off*. *Critical path method (CPM)* merupakan sebuah metode dalam manajemen proyek yg dipergunakan untuk melakukan penjadwalan, mengatur, serta mengkoordinasi bagian-bagian pekerjaan yang terdapat didalam suatu proyek (Izzah, 2017). Sedangkan Metode *Time Cost Trade Off* adalah salah satu metode analisa yang bertujuan untuk mempercepat waktu dan biaya di suatu proyek. Percepatan penjadwalan ini bertujuan untuk mencari berapa waktu serta biaya yang dibutuhkan untuk menuntaskan proyek sesuai dengan target rencana efisien dan terbaik (Priyo and Sumanto, 2016).

Analisa dan Pembahasan

Analisis dilakukan berdasarkan hasil pengolahan data yang diperoleh dari analisis menggunakan metode CPM dan TCTO. Saat menentukan durasi proyek yang optimal, analisis biaya harus dilakukan. Durasi proyek yang optimal adalah durasi percepatan dengan biaya tambahan yang minimal. Jika biaya percepatan proyek terlalu tinggi, dicari opsi percepatan lain. Namun jika tingkat biaya untuk percepatan proyek sudah optimal, maka hasil analisis diambil sebagai kesimpulan akhir.

Penarikan Kesimpulan

Setelah menganalisis penelitian ini dengan metode CPM dan TCTO, maka dibuat kesimpulan yang menjawab semua permasalahan yang diangkat oleh penelitian ini. Penelitian ini mempunyai tujuan untuk memberikan gambaran besaran biaya yang diakibatkan oleh percepatan yang diberikan oleh perusahaan dan lamanya pengerjaan proyek, serta menentukan percepatan terbaik untuk percepatan pembangunan proyek LPG Refrigerated.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan Data

Dalam pelaksanaan rencana proyek, rincian rencana proyek harus sedetail mungkin agar jadwal pelaksanaan kegiatan proyek dapat lebih mudah ditentukan. Dalam hal ini, penjadwalan adalah hal yang sangat penting untuk mempercepat proyek. Pada proyek pembangunan LPG Refrigerated, pengerjaan proyek membutuhkan waktu 399 hari dengan nilai total proyek sebesar Rp. 14.584.800.000.

Berdasarkan studi lapangan yang telah peneliti lakukan, keterlambatan banyak terjadi di beberapa bagian pekerjaan dan keterlambatan bisa terjadi 2 hingga 4 hari. Dari beberapa keterlambatan disetiap pekerjaan total keterlambatan mencapai 23 hari yang dimana jika proyek mengalami keterlambatan penyelesaian maka perusahaan berpotensi terkena denda 0,1% perhari dari nilai total proyek. Jika proyek mengalami keterlambatan selama 23 hari maka perusahaan akan terkena denda senilai Rp. 335.450.400.

Menentukan Waktu Penyelesaian Proyek

Untuk menentukan waktu penyelesaian proyek dibutuhkan beberapa perhitungan (Lamgok Tardok, 2018) yaitu :

- a. ES (*Earliest Start*)
Waktu mulai paling awal dari aktivitas.
- b. EF (*Earliest Finish*)
Waktu Selesai paling awal suatu aktivitas. EF suatu aktivitas terdahulu = ES aktivitas berikutnya
- c. LS (*Latest Start*)
Waktu paling lambat aktivitas boleh dimulai tanpa memperlambat proyek secara keseluruhan.
- d. LF (*Latest Finish*)
Waktu paling lambat aktivitas diselesaikan tanpa memperlambat penyelesaian proyek.
- e. t (*Duration*)
Durasi waktu yang diperlukan untuk suatu aktivitas.

Perhitungan Maju dan Mundur

Berikut contoh perhitungan maju:

Perhitungan maju pada pekerjaan dengan kode A sampai D

$$EF(a) = ES(a) + D = 0 + 21 = 21 \quad (1)$$

$$EF(a-b) = ES(a-b) + D = 21 + 21 = 42 \quad (2)$$

$$EF(a-c) = ES(a-c) + D = 21 + 28 = 49 \quad (3)$$

$$EF(a-d) = ES(a-d) + D = 21 + 7 = 28 \quad (4)$$

Berikut merupakan contoh perhitungan mundur :

Perhitungan mundur pada pekerjaan dengan kode AE sampai Z.

$$\begin{aligned}
 LS(ae) &= LF(ae) - D = 399 - 28 = 371 & (5) \\
 LS(ac-ab) &= LF(ac-ab) - D = 371 - 35 = 336 & (6) \\
 LS(ad-ab) &= LF(ad-ab) - D = 371 - 28 = 336 & (7) \\
 LS(ab-z) &= LF(ab-z) - D = 336 - 28 = 308 & (8) \\
 LS(aa-z) &= LF(aa-z) - D = 336 - 21 = 308 & (9) \\
 LS(z-y) &= LF(ab-z) - D = 308 - 21 = 287 & (10)
 \end{aligned}$$

Menghitung Total Float

Total float merupakan jumlah waktu yang diperbolehkan untuk suatu aktivitas ditunda tanpa mempengaruhi jadwal keseluruhan untuk merampungkan proyek. Waktu tersebut sama dengan waktu yang diperoleh ketika seluruh kegiatan sebelumnya dimulai sedini mungkin, sedangkan semua kegiatan selanjutnya dimulai selambat mungkin. Perhitungan Total float dapat dilakukan dengan mengurangkan LS dengan ES atau LF dengan EF. Suatu kegiatan dikatakan kritis ketika total floatnya 0.

Tabel 2. Perhitungan maju, mundur, dan nilai float

No.	Nama Pekerjaan	Kode	ES	EF	LS	LF	Float
I	PEKERJAAN PERSIAPAN						
1.	direksi keet	A	0	21	0	21	0
2.	mobilisasi dan demobilisasi	B	21	42	21	49	7
3.	pekerjaan pengukuran	C	21	49	21	49	0
4.	administration & construction permit	D	21	28	21	49	21
II	PEKERJAAN LAND CLEARING						
5.	Penebasan semak belukar, penebangan pohon, pembersihan humus	E	49	63	49	63	0
6.	pagar temporary proyek	F	63	91	63	91	0
III	PEKERJAAN DINDING PENAHAN TANAH						
7.	Penggalian tanah dan pengangkutan tanah hasil galian	G	91	119	91	119	0
8.	Pemasangan rembesan air tanah dengan pipa PVC	H	119	147	119	154	7
9.	pasangan batu kali	I	119	154	119	154	0
IV	PEKERJAAN GALIAN, TIMBUNAN, & PEMADATAN						
10.	Pekerjaan Galian	J	63	91	63	161	70
11.	Pekerjaan Timbunan kualitas baik kondisi padat	K	91	140	161	210	70
12.	Pemeriksaan sample tanah dengan CBR	L	140	161	210	231	70
13.	Pemeriksaan kepadatan tanah dengan sand cone test	M	161	182	231	252	70
14.	Pekerjaan Geotextile non woven	N	182	217	252	287	70
V	PEKERJAAN PEMAGARAN						
15.	Lantai kerja beton mutu K-125	O	154	168	154	175	7
16.	Pondasi Kolom Permanent fence mutu K-225	P	154	175	154	175	0
17.	Beton Bertulang mutu K-225 - Sloof	Q	154	168	154	175	7
18.	Kolom untuk Pagar Panel Beton	R	175	196	175	203	7
19.	Pondasi beton bertulang untuk Pagar Harmonika	S	175	203	175	203	0
20.	Pagar Panel Beton	T	203	217	203	217	0
21.	Pagar harmonika	U	203	217	203	217	0
22.	Pintu gerbang pagar harmonika	V	217	231	217	238	7
23.	Kawat duri 8 Layer pagar pre cast dan 5 layer pagar harmonika	W	217	238	217	238	0
24.	Safety line dan pekerjaan bouwplank	X	238	252	238	252	0
V	PEKERJAAN PONDASI TANGKI PROPANA & BUTANA						
25.	Compaction, 90% b.j tanah kering	Y	252	287	252	287	0
26.	Backfilling padat 95% b.j tanah kering	Z	287	308	287	308	0
27.	Bekisting	AA	308	329	308	336	7
28.	Besi tulangan ulir + kawat pengikat + decking	AB	308	336	308	336	0
29.	Beton Ready Mix K-300	AC	336	371	336	371	0
30.	Lantai kerja 5 cm, mutu beton K-125	AD	336	364	336	371	7
31.	Agregat dengan pematatan	AE	371	399	371	399	0

Pekerjaan pada lintasan jalur kritis tersebut memiliki durasi kerja yang paling panjang yaitu selama 399 hari.

Tabel 3. Pekerjaan yang berada di jalur kritis

Nama Pekerjaan	Kode	Float
direksi keet	A	0
pekerjaan pengukuran	C	0
Penebasan semak belukar, penebangan pohon, pembersihan humus	E	0
pagar temporary proyek	F	0
Penggalian tanah dan pengangkutan tanah hasil galian	G	0
pasangan batu kali	I	0
Pondasi Kolom Permanent fence mutu K-225	P	0
Pondasi beton bertulang untuk Pagar Harmonika	S	0
Pagar Panel Beton	T	0
Pagar harmonika	U	0
Kawat duri 8 Layer pagar pre cast dan 5 layer pagar harmonika	W	0
Safety line dan pekerjaan bouwplank	X	0
Compaction, 90% b.j tanah kering	Y	0
Backfilling padat 95% b.j tanah kering	Z	0
Besi tulangan ulir + kawat pengikat + decking	AB	0
Beton Ready Mix K-300	AC	0
Agregat dengan pematatan	AE	0

Perhitungan Waktu Percepatan

Contoh perhitungan durasi yang dapat di crash di pekerjaan yg berada pada lintasan jalur kritis pasangan batu kali dengan tambahan 1 jam lembur :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 10.610 \text{ m}^3 \\
 \text{Durasi Kerja} &= 35 \text{ hari} \\
 \text{Durasi Normal} &= 35 \times 8 \text{ jam} \\
 &= 280 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Produktivitas Jam Normal} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}} \\
 &= \frac{10610}{280}
 \end{aligned}$$

$$= 37,89 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\text{Maksimal Crashing} = \frac{10610}{(37,89 \times 8) + (1 \times 0,9 \times 37,89)}$$

$$= 31 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Selisih Crashing} &= 35 \text{ hari} - 31 \text{ hari} \\
 &= 4 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Contoh perhitungan durasi yang dapat di crash di pekerjaan yang berada pada lintasan jalur kritis pasangan batu kali dengan tambahan 2 jam lembur :

$$\begin{aligned}
 \text{Volume} &= 10.610 \text{ m}^3 \\
 \text{Durasi Kerja} &= 35 \text{ hari} \\
 \text{Durasi Normal} &= 35 \times 8 \text{ jam} \\
 &= 280 \text{ jam}
 \end{aligned}$$

$$\text{Produktivitas Jam Normal} = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}}$$

$$= \frac{10610}{280}$$

$$= 37,89 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimal Crashing} &= \frac{10610}{(37,89 \times 8) + (2 \times 0.8 \times 37,89)} \\ &= 29 \text{ hari} \\ \text{Selisih Crashing} &= 35 \text{ hari} - 29 \text{ hari} \\ &= 6 \text{ hari} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan durasi yang dapat di *crash* di pekerjaan yang berada pada lintasan jalur kritis pasangan batu kali dengan tambahan 3 jam lembur :

$$\begin{aligned} \text{Volume} &= 10.610 \text{ m}^3 \\ \text{Durasi Kerja} &= 35 \text{ hari} \\ \text{Durasi Normal} &= 35 \times 8 \text{ jam} \\ &= 280 \text{ jam} \\ \text{Produktivitas Jam Normal} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi Normal}} \\ &= \frac{10610}{280} \\ &= 37,89 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Maksimal Crashing} &= \frac{10610}{(37,89 \times 8) + (3 \times 0.7 \times 37,89)} \\ &= 28 \text{ hari} \\ \text{Selisih Crashing} &= 35 \text{ hari} - 28 \text{ hari} \\ &= 7 \text{ hari} \end{aligned}$$

Berikut merupakan durasi *crashing* akibat tambahan 1 hingga 3 jam lembur di aktivitas yang berada pada jalur kritis.

Tabel 4. Percepatan dengan 1 jam lembur

No.	Nama Pekerjaan	Kode	Durasi normal (hari)	Durasi akibat crashing (hari)
	Proyek Pembangunan LPG Refrigerated		399	364
1.	Penebasan semak belukar, penebangan pohon, pembersihan humus	E	14	13
2.	pagar temporary proyek	F	28	25
3.	Penggalian tanah dan pengangkutan tanah hasil galian	G	28	25
4.	pasangan batu kali	I	35	31
5.	Pondasi Kolom Permanent fence mutu K-225	P	21	19
6.	Pondasi beton bertulang untuk Pagar Harmonika	S	28	25
7.	Pagar Panel Beton	T	14	13
8.	Pagar harmonika	U	14	13
9.	Kawat duri 8 Layer pagar pre cast dan 5 layer pagar harmonika	W	21	19
10.	Compaction, 90% b.j tanah kering	Y	35	31
11.	Backfilling padat 95% b.j tanah kering	Z	21	19
12.	Besi tulangan ulir + kawat pengikat + decking	AB	28	25
13.	Beton Ready Mix K-300	AC	35	31
14.	Agregat dengan pematatan	AE	28	25

Tabel 5. Percepatan dengan 2 jam lembur

No.	Nama Pekerjaan	Kode	Durasi normal (hari)	Durasi akibat crashing (hari)
	Proyek Pembangunan LPG Refrigerated		399	343
1.	Penebasan semak belukar, penebangan pohon, pembersihan humus	E	14	12
2.	pagar temporary proyek	F	28	23
3.	Penggalian tanah dan pengangkutan tanah hasil galian	G	28	23
4.	pasangan batu kali	I	35	29
5.	Pondasi Kolom Permanent fence mutu K-225	P	21	18
6.	Pondasi beton bertulang untuk Pagar Harmonika	S	28	23
7.	Pagar Panel Beton	T	14	12
8.	Pagar harmonika	U	14	12
9.	Kawat duri 8 Layer pagar pre cast dan 5 layer pagar harmonika	W	21	18
10.	Compaction, 90% b.j tanah kering	Y	35	29
11.	Backfilling padat 95% b.j tanah kering	Z	21	18
12.	Besi tulangan ulir + kawat pengikat + decking	AB	28	23
13.	Beton Ready Mix K-300	AC	35	29
14.	Agregat dengan pematatan	AE	28	23

Tabel 6. Percepatan dengan 3 jam lembur

No.	Nama Pekerjaan	Kode	Durasi normal (hari)	Durasi akibat crashing (hari)
	Proyek Pembangunan LPG Refrigerated		399	330
1.	Penebasan semak belukar, penebangan pohon, pembersihan humus	E	14	11
2.	pagar temporary proyek	F	28	22
3.	Penggalian tanah dan pengangkutan tanah hasil galian	G	28	22
4.	pasangan batu kali	I	35	28
5.	Pondasi Kolom Permanent fence mutu K-225	P	21	17
6.	Pondasi beton bertulang untuk Pagar Harmonika	S	28	22
7.	Pagar Panel Beton	T	14	11
8.	Pagar harmonika	U	14	11
9.	Kawat duri 8 Layer pagar pre cast dan 5 layer pagar harmonika	W	21	17
10.	Compaction, 90% b.j tanah kering	Y	35	28
11.	Backfilling padat 95% b.j tanah kering	Z	21	17
12.	Besi tulangan ulir + kawat pengikat + decking	AB	28	22
13.	Beton Ready Mix K-300	AC	35	28
14.	Agregat dengan pematatan	AE	28	22

satuan Lumpsum (ls) tidak dilakukan percepatan karena volume dari pekerjaan tersebut hanya 1. Dapat diketahui berdasarkan tabel diatas dengan tambahan 1 jam lembur tenaga kerja durasi maksimal proyek akibat percepatan adalah 364 hari , 2 jam lembur 343 hari, dan 3 jam lembur 330 hari. Dari durasi normal proyek selama 399 hari sebelum dilakukan percepatan.

Perhitungan Biaya Crashing

Berikut adalah contoh perhitungan biaya *Crashing* pada kegiatan pekerjaan pasangan batu kali dengan tambahan 1 jam lembur:

- Crash cost* = upah pekerja perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 21.562,5 x 28 x 1 x 31
= Rp. 18.716.250
- Crash cost* = upah mandor perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 30.000 x 2 x 1 x 31
= Rp. 1.860.000
- Crash cost* = upah pengawas perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 38.437,5 x 2 x 1 x 31
= Rp. 2.383.125

Berikut adalah contoh perhitungan biaya *Crashing* pada kegiatan pekerjaan pemasangan batu kali dengan tambahan 2 jam lembur :

- Crash cost* = upah pekerja perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 32.343,75 x 28 x 2 x 29
= Rp. 52.526.250
- Crash cost* = upah mandor perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 45.000 x 2 x 2 x 29
= Rp. 5.220.000
- Crash cost* = upah pengawas perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 57.656,25 x 2 x 2 x 29
= Rp. 6.688.125

Berikut adalah contoh perhitungan biaya *Crashing* pada kegiatan pekerjaan pemasangan batu kali dengan tambahan 3 jam lembur :

- Crash cost* = upah pekerja perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 35.937,5 x 28 x 3 x 28
= Rp. 84.525.000
- Crash cost* = upah mandor perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 50.000 x 2 x 3 x 28
= Rp. 8.400.000
- Crash cost* = upah pengawas perjam x banyak pekerja x Jam Lembur x Durasi *Crashing*
= Rp. 64.062,5 x 2 x 3 x 28
= Rp. 10.762.500

Tabel 7. Total biaya crashing akibat percepatan

Jenis pekerja	Biaya crashing 1 jam lembur	Biaya crashing 2 jam Lembur	Biaya crashing 3 jam lembur
Pekerja	Rp. 248.421.563	Rp. 694.226.250	Rp. 1.101.304.688
Mandor	Rp. 25.650.000	Rp. 71.550.000	Rp. 113.400.000
Pengawas	Rp. 23.139.375	Rp. 64.575.000	Rp. 102.628.125
Total Biaya Crashing	Rp. 297.210.938	Rp. 830.351.250	Rp. 1.317.332.813

Dari table 7 diatas dapat diketahui bahwa adanya tambahan 1 jam lembur, diperlukan biaya *crashing* sebanyak Rp. 297.210.938, tambahan 2 jam lembur sebanyak Rp. 830.351.250, dan tambahan 3 jam lembur sebanyak Rp. 1.317.332.813

Penambahan Biaya Total

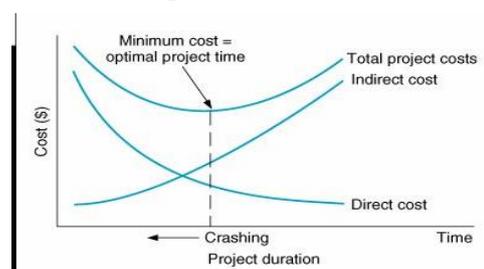
Berdasarkan studi lapangan dan literatur, dipilih skenario penyelesaian proyek agar tidak mengalami keterlambatan dengan melakukan percepatan durasi proyek dengan metode *Time Cost Trade Off*. Berikut tabel rekapan perhitunga waktu dan biaya.

Tabel 8. Rekapitulasi hasil perhitungan

Lama Lembur	Durasi Penyelesaian	Total Biaya Akibat Percepatan	Total Biaya Normal	Penambahan Biaya
1 Jam	364 Hari	Rp. 14.820.380.228	Rp. 14.584.800.000	Rp. 235.580.228
2 Jam	343 Hari	Rp. 15.315.622.813	Rp. 14.584.800.000	Rp. 730.822.813
3 Jam	330 Hari	Rp. 15.778.308.214	Rp. 14.584.800.000	Rp. 1.193.508.214

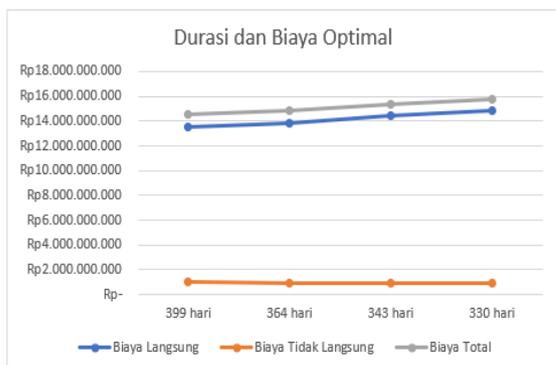
Berdasarkan tabel diatas bisa diketahui bahwa percepatan proyek dengan tambahan 1 jam lembur dapat diselesaikan dalam waktu 364 hari dan memerlukan biaya total Rp. 14.820.380.228 dengan penambahan biaya sebesar Rp. 235.580.228 dari biaya total normal, pada tambahan 2 jam lembur proyek dapat diselesaikan dalam waktu 364 dan memerlukan biaya total Rp. 15.315.622.813 dengan penambahan biaya sebesar Rp. 730.822.813 dari biaya total normal, sedangkan pada penambahan 3 jam lembur proyek dapat diselesaikan dalam waktu 330 hari dan total biaya meningkat secara signifikan yaitu sebesar Rp. 15.778.308.214 dengan penambahan biaya sebesar Rp. 1.193.508.214 dari biaya total normal. Sementara dalam kondisi normal, menurut perencanaan proyek bisa dirampungkan dalam waktu 399 hari dengan biaya total sebesar Rp. 14.584.800.000. Namun, terdapat keterlambatan dalam penyelesaian proyek yaitu selama 23 hari yang mengakibatkan perusahaan terkena penalti denda sebanyak 0,1% perhari dari total nilai proyek yaitu senilai Rp. 335.450.400.

Grafik Durasi Optimal

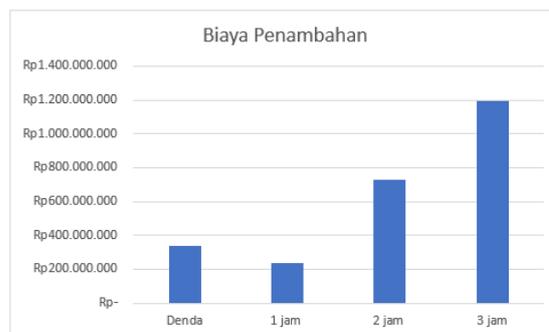


Sumber : (Khorsani, 2018)

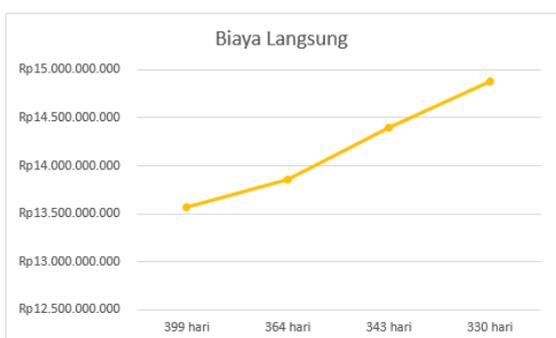
Gambar 1. Hubungan biaya langsung dan tidak langsung



Gambar 2. Grafik durasi dan biaya percepatan optimal



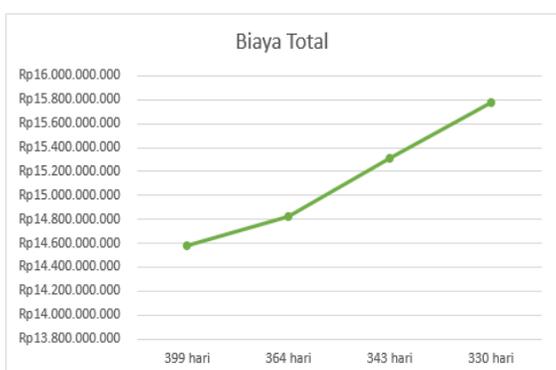
Gambar 6. Grafik perbandingan denda dan penambahan biaya



Gambar 3. Grafik perbandingan biaya langsung



Gambar 4. Grafik perbandingan biaya tidak langsung



Gambar 5. Grafik perbandingan biaya total

Berdasarkan grafik diatas bisa diketahui bahwa proyek pembangunan LPG Refrigerated durasi percepatan dengan tambahan biaya yang lebih kecil dari total denda adalah dengan tambahan 1 jam lembur yaitu 364 hari dari waktu normal 399 hari. dengan biaya tambahan sebesar Rp. 235.580.228 dengan selisih biaya sebesar Rp. 99.870.172. Sehingga didapatkan durasi optimal proyek pembangunan LPG Refrigerated adalah 364 hari dengan taambahan 1 jam lembur dan penambahan biaya sebanyak 1,6% atau Rp. 235.580.228.

PENUTUP

Berdasarkan hasil perhitungan dengan metode *Critical Path Method* dan *Time Cost Trade Off*, pada proyek pengembangan LPG Refrigerated dapat diketahui jalur kritis berada pada A-C-E-F-G-I-P-S-T-U-W-X-Y-Z-AB-AC-AE dan akuisisi proyek pengembangan LPG Refrigerated dapat diselesaikan paling cepat 330 hari dengan taambahan 3 jam lembur tetapi ada biaya tambahan sebesar Rp. 1.193.508.214, 2 jam lembur dapat diselesaikan dalam 343 hari dengan biaya tambahan sebesar Rp. 730.822.813, sedangkan 1 jam lembur dapat diselesaikan dalam 364 hari dan hanya dikenakan biaya tambahan sebesar Rp. 235.580.228. Kemudian diperoleh durasi optimal proyek pengembangan LPG Refrigerated dengan penambahan waktu 1 jam lembur yang mempercepat penyelesaian proyek selama 35 hari dengan total penyelesaian proyek selama 364 hari dari durasi normal selama 399 hari hanya dengan penambahan biaya sebanyak 1,6% atau Rp. . 235.580.228 dan total biaya sebesar Rp. 14.820.380.228.

DAFTAR PUSTAKA

Basuki, K. (2019) 'Proyek', *ISSN 2502-3632 (Online) ISSN 2356-0304 (Paper) Jurnal Online Internasional & Nasional Vol. 7 No.1, Januari – Juni 2019 Universitas 17 Agustus 1945 Jakarta*, 53(9), pp. 1689–1699.

- Izzah, N. (2017) 'Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya Menggunakan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada Proyek Pembangunan Perumahan di PT. X', 10, pp. 51-58.
- Khorsani, V. (2018) 'Studi Perencanaan Percepatan Durasi Proyek Dengan Metode Least Cost Analysis'.
- Lamgok Tardok, E. (2018) *ANALISIS PERCEPATAN WAKTU MENGGUNAKAN METODE CPM DAN PERT PADA PROYEK PEMBANGUNAN DERMAGA PELABUHAN TANJUNG PRIOK.*
- Priyo, M. and Sumanto, A. (2016) 'Analisis Percepatan Waktu Dan Biaya Proyek Konstruksi Dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Menggunakan Metode Time Cost Trade Off: Studi Kasus Proyek Pembangunan Prasarana', *Semesta Teknika*, 19(1), pp. 1-15.