

# Optimasi Waktu dan Biaya Proyek *Flue Stack* Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*

Balqis Rahmi Salsabil<sup>1\*</sup>, Renanda Nia Rachmadita<sup>2</sup>, Aulia Nadia Rachmat<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Desain dan Manufaktur, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia<sup>1\*</sup>

Program Studi Manajemen Bisnis Maritim, Jurusan Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia<sup>2</sup>

Program Studi Teknik Keselamatan dan Kesehatan Kerja, Jurusan Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Surabaya 60111, Indonesia<sup>3</sup>

E-mail: balqisrahmi@student.ppns.ac.id<sup>1\*</sup>

---

**Abstract** - Construction company in Karangpilang received an order for the *Flue Stack* project. There was a delay on this project, so the company has to pay a fine of 0,2% of the initial contract which is calculated everyday. Therefore, research is needed to analyze project scheduling so that optimal time and cost are obtained from working on the *Flue Stack* project. The methods used in this study are the *Time Cost Trade Off* method. Crashing is carried out on several critical activities, such as marking/cutting, roll, assembly ring, blasing/primer, assembly segment, finish painting, and packing. This research used an alternative to crashing with additional overtime and labor. The results of this research obtained the optimal time and cost using *Time Cost Trade Off* method with alternative additional 50% labor. The result of crash duration is less 74 days from actual schedule, with cost Rp.3.805.459.099,- there is a decreased of 13,58% or Rp.597.910.301,- from the actual duration fee of Rp.4.403.369.400,-. Comparison of *flue stack* progress using the *S* curve, it was found that the schedule with accelerated duration could be completed faster than the actual duration because the more sloping line indicated greater weekly progress.

**Keyword:** Crashing, *Flue Stack*, Project Management, Scheduling, *Time Cost Trade Off*

---

## 1. PENDAHULUAN

Proyek dapat diartikan sebagai kegiatan yang berlangsung dalam jangka waktu yang terbatas dengan mengalokasikan sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk menghasilkan produk atau *deliverable* yang kriteria mutunya telah digariskan dengan jelas (Soeharto, 1999). Terdapat 3 hal yang harus dipenuhi dalam pelaksanaan proyek yaitu mutu, biaya, dan ketepatan waktu. Waktu dan biaya memiliki hubungan yang sangat erat dan saling berpengaruh. Terkadang waktu pengerjaan di lapangan tidak sesuai dengan waktu yang telah direncanakan. Akibatnya waktu pelaksanaan menjadi lebih lama, yang secara langsung biaya pelaksanaan proyek menjadi membengkak.

*Flue Stack* merupakan salah satu dari sekian proyek milik perusahaan listrik yang dikerjakan oleh salah satu perusahaan konstruksi di Karangpilang. Proyek ini dimulai pada tanggal 10 September 2019 hingga pengiriman terakhir pada tanggal 28 Agustus 2020. Namun proyek mengalami keterlambatan dari tenggat waktu yang ditentukan yaitu pada tanggal 18 Mei 2020. Keterlambatan tersebut memiliki konsekuensi terkena denda sebesar 0,2% perhari dan turunnya kepercayaan klien terhadap kinerja perusahaan. Dikarenakan perusahaan menjalankan beberapa proyek dalam satu waktu, keterlambatan proyek ini dapat mempengaruhi proyek yang lain.

Berdasarkan permasalahan tersebut diperlukan penjadwalan menggunakan metode PDM (*Precedence Diagram Method*) lalu dilanjutkan dengan melakukan percepatan durasi proyek untuk mencapai waktu dan biaya yang optimal dengan metode TCTO (*Time Cost Trade Off*). Alternatif yang digunakan adalah penambahan 3 jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja. Setelah itu dapat dibandingkan waktu dan biaya antara sebelum dan sesudah dilakukan percepatan menggunakan *S-curve*.

Pada penelitian ini mengasumsikan untuk keadaan peralatan, mesin serta para pekerja dalam kondisi normal. Juga tidak membahas permasalahan perekrutan atau penambahan mesin untuk proses percepatan dengan menambah pekerja. Dan untuk pembuatan *S-Curve* berdasarkan biaya tenaga kerja langsung.

## 2. METODOLOGI

### 2.1 *Work Breakdown Structure*

Langkah pertama yang dilakukan adalah dengan menentukan tujuan dari proyek lalu memecah proyek tersebut ke dalam bentuk yang lebih rinci berupa sub-komponen atau kegiatan/aktivitas yang lebih kecil agar lebih mudah untuk dikelola. *Work Breakdown Structure* (WBS) merupakan suatu bagan yang secara hirarki mendeskripsikan suatu proyek ke

dalam komponen yang lebih dan lebih kecil. WBS membagi proyek ke dalam menjadi beberapa komponen lalu membaginya lagi kedalam komponen (atau kegiatan) yang lebih rinci lagi (Heizer, 2017).

## 2.2 Precedence Diagram Method (PDM)

Pada PDM atau *Precedence Diagram Method* merupakan jaringan kerja yang termasuk dalam kategori AON (*Activity on Node*). Dalam pembuatan jaringan kerja (Soeharto, 1999). PDM lebih sederhana dibandingkan dengan metode CPM (*Critical Path Method*) atau PERT (*Project Evaluation and Review Technique*) yang termasuk dalam kategori AOA (*Activity on Arrow*). Hal tersebut disebabkan karena pada AON tidak memerlukan garis *dummy* pada kegiatan yang saling tumpang tindih dan pengulangan. Pada metode PDM memiliki konstrain yang terbagi menjadi 4 macam, yaitu:

1. FS (*Finish-Start*) yaitu sebuah kegiatan dapat dimulai setelah kegiatan terdahulu selesai,
2. SS (*Start-Start*) yaitu sebuah kegiatan dapat dimulai setelah kegiatan terdahulu dimulai,
3. FF (*Finish-Finish*), yaitu sebuah kegiatan dapat selesai setelah kegiatan terdahulu selesai,
4. SF (*Start-Finish*), yaitu sebuah kegiatan dapat diselesaikan setelah kegiatan terdahulu dimulai.

Terdapat 2 jenis perhitungan untuk PDM, yaitu perhitungan maju (*forward pass*) dan perhitungan mundur (*backward pass*). Perhitungan tersebut digunakan untuk menentukan nilai ES (*Earliest Start*), EF (*Earliest Finish*), LS (*Latest Start*), LF (*Latest Finish*). Jalur kritis merupakan jalur yang memiliki kegiatan yang tidak dapat ditunda, apabila kegiatan tersebut ditunda maka akan berpengaruh pada waktu penyelesaian keseluruhan dari proyek. Sehingga jalur kritis merupakan jalur dengan nilai *slack/float* sama dengan nol. Pernyataan tersebut dapat dirumuskan menggunakan Persamaan 1.

$$LF - EF = LS - ES = 0 \quad (1)$$

## 2.3 Biaya Proyek

Menurut Dipohusodo (dalam Nurdiana, 2015) keseluruhan biaya proyek biasanya meliputi analisis terhadap unsur utama:

1. Biaya Langsung (*Direct Cost*) merupakan biaya yang diperlukan langsung untuk mendapatkan sumber daya yang akan digunakan dalam menyelesaikan proyek.
2. Biaya Tidak Langsung (*Indirect Cost*) merupakan biaya untuk pengeluaran untuk manajemen, supervisi dan pembayaran material serta jasa untuk pengadaan bagian proyek yang tidak akan menjadi instalasi

atau produk permanen, tetapi diperlukan dalam rangka proses pembangunan proyek.

Biaya proyek yang terdiri dari biaya langsung dan biaya tidak langsung memiliki hubungan terhadap waktu dan cenderung bertolak belakang. Apabila waktu pelaksanaan pada suatu proyek dipercepat, maka hal tersebut dapat mengakibatkan peningkatan pada biaya langsung tetapi pada biaya tidak langsung akan terjadi penurunan (Sudarsana, 2008).

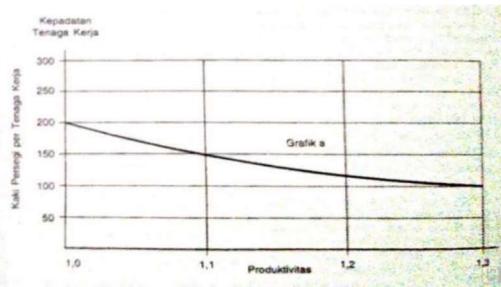
## 2.4 Cost Slope

*Crashing* dilakukan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis yang memungkinkan untuk dilakukan percepatan. Dalam melakukan *crashing*, agar biaya untuk melakukan percepatan seminimal mungkin maka percepatan dapat dilakukan mulai pada kegiatan dengan nilai *cost slope* yang paling kecil. Soeharto (1999) menjelaskan bahwa *cost slope* merupakan penambahan biaya langsung untuk mempercepat suatu aktivitas per satuan waktu. Nilai dari *cost slope* dapat dicari menggunakan Persamaan 2.

$$Cost\ slope = \frac{crash\ cost - normal\ cost}{normal\ duration - crash\ duration} \quad (2)$$

## 2.5 Time Cost Trade Off (TCTO)

Ervianto (2004) berpendapat bahwa *time cost trade off* adalah suatu proses yang disengaja, sistematis dan analitik dengan cara melakukan pengujian dari semua pekerjaan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada pekerjaan yang berada pada jalur kritis. Proses *crashing* dengan cara melakukan perkiraan dari *variable cost* dalam menentukan pengurangan durasi yang maksimal dan paling ekonomis dari suatu pekerjaan yang masih mungkin untuk direduksi. Mempercepat waktu pelaksanaan suatu pekerjaan dengan penambahan jam kerja (lembur) merupakan salah satu usaha untuk menambah produktifitas kerja sehingga dapat mempercepat waktu pelaksanaan sebuah pekerjaan. Alternatif yang dilakukan adalah dengan menambah jam kerja dan tenaga kerja. Untuk alternatif menambah tenaga kerja yang harus diperhatikan adalah ruang kerja atau lingkup kerja yang tersedia apakah terlalu sempit atau cukup luas, karena pada dasarnya penambahan tenaga kerja pada suatu kegiatan tidak boleh mengganggu pemakaian tenaga kerja untuk kegiatan yang lain yang sedang berlangsung pada waktu yang sama karena akan mengurangi produktivitas tenaga kerja. Pengaruh penurunan produktivitas tenaga kerja terhadap kepadatan luas area pekerjaan pada penambahan tenaga kerja ditentukan berdasarkan Gambar 1 berikut:



Gambar 1. Grafik Kepadatan Tenaga Kerja dengan Indeks Produktivitas (Soeharto, 1995)

Nilai produktivitas penambahan tenaga kerja dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas crashing} = \frac{\text{produktivitas normal} \times \text{jumlah pekerja crash}}{\text{jumlah pekerja normal}} \quad (2)$$

Penelitian ini menggunakan asumsi penambahan tenaga kerja sebesar 25%, 50%, 75% dan 100% dari jumlah tenaga kerja normal dengan pertimbangan luas area pengerjaan.

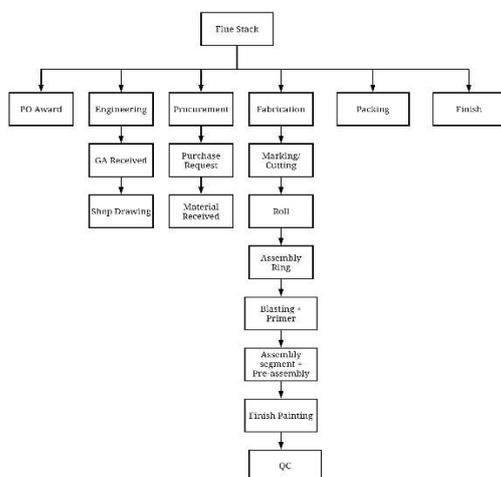
### 2.6 Kurva-S

Husen (2010) berpendapat bahwa kurva-S dapat menuniukan kemajuan berdasarkan kegiatan, waktu dan bobot pekerjaan yang direpresen sebagai persentase kumulatif dari seluruh kegiatan proyek Visualisasi kurva-S dapat memberikan informasi mengenai kemajuan proyek dengan membandingkannya terhadap jadwal rencana.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### 3.1 Work Breakdown Structure

Proyek *Flue Stack* merupakan sebuah proyek milik perusahaan listrik yang terletak di Lombok. Proyek ini merupakan pembuatan cerobong asap yang merupakan struktur industri pipa vertikal dan berfungsi sebagai laluan *flue gas* terbuang ke atmosfer. Proyek dengan berat total sebesar 292.410 Kg tersebut memiliki WBS (*Work Breakdown Structure*) seperti pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Work Breakdown Structure untuk Proyek Flue Stack.

### 3.2 Precedence Diagram Method (PDM)

*Precedence Diagram Method* (PDM) merupakan salah satu metode yang terkenal dalam perencanaan dan penjadwalan pada proses produksi dengan jenis proyek. Setelah WBS telah dibuat, selanjutnya adalah mengelompokkan dan mengidentifikasi durasi dan hubungan ketergantungan antar aktivitas/ kegiatan. Identifikasi akan dilakukan pada jadwal rencana *plan* (rencana) seperti pada Tabel 1 dan jadwal aktual lapangan pada Tabel 2.

Tabel 40: Pengelompokan Kegiatan dan Durasi Jadwal Rencana

Kode Kegiatan	Kegiatan	Durasi (Hari)	Predecessor/ Kegiatan terdahulu
	<b>Flue Stack</b>		
A	<b>PO Award</b>	1	
B	<b>Engineering</b> 1. GA Received 2. Shop drawing	3 10	A B1
C	<b>Procurement</b> 1. Purchase request 2. Material received	4 38	B1 C1 FS + 4
D	<b>Fabrication</b> 1. Marking cutting 2. Roll 3. Assembly ring	32 35 33	C2 FS - 12 ; B2 D1 FS - 7 D2 FS - 10
E	<b>Blasting + Primer</b>	25	D3 FS - 9
F	<b>Assembly segment + pre-assembly</b>	33	E FS - 10
G	<b>Finish painting</b>	25	F FS - 7
H	<b>QC</b>	42	D1 SS + 1
I	<b>Packing</b>	11	G ; H FS - 38
J	<b>Finish</b>	0	I

Tabel 41: Pengelompokan Kegiatan dan Durasi Jadwal Rencana

Kode kegiatan	Nama Kegiatan	Durasi (Hari)	Predecessor (Kegiatan terdahulu)
	<b>Flue Stack</b>		
A	<b>PO Award</b>	1	
B	<b>Engineering</b> 1. GA Received 2. Shop drawing	3 13	A B1
C	<b>Procurement</b> 1. Purchase request 2. Material received	4 41	B1 C1 FS + 9
D	<b>Fabrication</b> 1. Marking cutting 2. Roll 3. Assembly ring	40 43 38	C2 FS - 17 ; B2 D1 FS - 10 D2 FS - 10
E	<b>Blasting + Primer</b>	45	D3 FS - 7
F	<b>Assembly segment + pre-assembly</b>	43	E FS - 9
G	<b>Finish painting</b>	42	F FS - 8
H	<b>QC</b>	40	D1 SS + 1
I	<b>Packing</b>	14	G ; H FS - 38
J	<b>Finish</b>	0	I

Tahap selanjutnya adalah perhitungan maju (*forward pass*) dan perhitungan mundur (*backward pass*). Perhitungan maju digunakan untuk mengetahui nilai ES/*Earliest Start* (waktu

paling cepat dimulainya sebuah kegiatan) dan EF/*Earliest Finish* (waktu paling cepat selesainya sebuah kegiatan). Sedangkan untuk perhitungan mundur untuk mengetahui nilai LS/*Latest Start* (waktu paling akhir dimulainya sebuah kegiatan) dan LF/*Latest Finish* (waktu paling akhir selesainya sebuah kegiatan).

Setelah nilai ES, EF, LS, dan LF diperoleh, maka dapat ditentukan jalur kritis dari sebuah proyek menggunakan Persamaan 1. Perhitungan maju dan mundur untuk kegiatan dengan durasi jadwal rencana dan aktual berurutan dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 42: Perhitungan Maju dan Mundur Pada Jadwal Aktual

Kode Kegiatan	Paling Awal		Paling Akhir		Total Slack	Keterangan
	ES	EF	LS	LF		
A	0	1	0	1	0	Kritis
B1	1	4	1	4	0	Kritis
B2	4	17	28	41	13	Tidak Kritis
C1	4	8	4	8	0	Kritis
C2	17	58	17	58	0	Kritis
D1	41	81	41	81	0	Kritis
D2	71	114	71	114	0	Kritis
D3	104	142	104	142	0	Kritis
E	135	180	135	180	0	Kritis
F	171	214	171	214	0	Kritis
G	206	248	206	248	0	Kritis
H	42	82	170	210	128	Tidak Kritis
I	248	262	248	262	0	Kritis

Dapat diketahui total waktu penyelesaian proyek *Flue Stack* pada jadwal aktual di lapangan mencapai 262 hari. Pada jalur kritis dengan kegiatan: A-B1-B2-D1-D2-D3-E-F-G-I.

### 3.3 Alternatif Menambah Jam Kerja

A. Durasi *Crash* dengan Alternatif Penambahan Jam Kerja

Untuk menentukan durasi *crash* pada alternatif dengan penambahan jam kerja maka perlu diketahui produktivitas harian seperti pada persamaan 3 dibawah ini:

$$\text{Produktivitas harian} = \frac{\text{volume pengerjaan}}{\text{Durasi normal}} \quad (3)$$

Setelah didapatkan nilai produktivitas harian selanjutnya yaitu mencari nilai produktivitas *crash*, dengan penambahan jam lembur sebesar 3 jam dan penurunan produktivitasnya sebesar 70% pada Persamaan 4.

$$\text{Produktivitas harian} = (8 \text{ jam} \times \text{produktivitas tiap jam}) + (a \times b \times \text{produksi tiap jam}) \quad (4)$$

Selanjutnya mencari *crash duration*

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume}}{\text{Produktivitas harian sesudah crash}} \quad (5)$$

Hasil dari perhitungan produktivitas normal, produktivitas *crash* dan *crash duration* dapat dilihat pada Tabel 4 dibawah ini

Tabel 43: Perhitungan *Crash Duration* dengan Alternatif Penambahan Jam Kerja

Kode kegiatan	Durasi (hari)	Prod. Harian (kg/hari)	Prod. Crash (kg/hari)	Crash duration (hari)
A	1	-	-	-
B1	3	-	-	-
B2	13	-	-	-
C1	4	-	-	-
C2	14	-	-	-
D1	40	7310,25	9229,19	32
D2	43	6800,23	8585,29	34
D3	38	7695	9714,94	30
E	45	6498	8203,73	36
F	43	6800,23	8585,29	34
G	42	6962,14	8789,71	33
H	40	-	-	-
I	14	20886,43	26369,12	11

B. *Crash Cost* dengan Alternatif Penambahan Jam Kerja

Tahapan selanjutnya yaitu menghitung *crash cost* dari alternatif penambahan jam kerja selama 3 jam sesuai dengan peraturan Keputusan Menteri No.102/MEN/IV/2004 pasal 11 bahwa upah lembur untuk jam pertama adalah 1,5 kali dari tarif dasar per jam dan 2 kali untuk jam kedua dan seterusnya. Sehingga biaya yang dikeluarkan untuk tiap kegiatan adalah upah normal ditambah upah lembur per hari yang selanjutnya dikali dengan durasi (hari) dan jumlah pekerja. Hasil perhitungan *crash cost* dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 44: *Crash Cost* dengan Alternatif Penambahan Jam Kerja

Kode kegiatan	Durasi <i>crash</i> (hari)	Biaya tenaker langsung <i>crash</i> (Rp)
A	-	-
B1	-	-
B2	-	-
C1	-	-
C2	-	-
D1	32	81.143.856
D2	34	36.949.500
D3	30	267.907.095
E	36	173.015.514
F	34	293.452.929
G	33	121.212.977
H	-	-
I	11	35.602.875
Total		1.009.284.746

C. *Cost Slope*

Setelah diketahui nilai *crash duration* dan *crash cost*, selanjutnya yaitu mencari nilai *cost slope* dan percepat kegiatan-kegiatan kritis yang mempunyai kombinasi *slope* terendah. Untuk mencari nilai *cost slope* dapat menggunakan Persamaan 2. Tabel 6. Berikut ini adalah hasil *crashing* dengan urutan nilai *cost slope* dari yang terendah ke tertinggi.

Tabel 45: *Crash Duration* Penambahan Jam Lembur

Kode kegiatan	Nama kegiatan	Cost slope (Rp)	Durasi Crash (hari)	Durasi Percepatan (hari)
D2	Roll	1.028.611	34	253
D1	Marking/Cutting	2.629.662	32	245
I	Packing	2.916.958	11	242
G	Finish Painting	3.470.468	33	233

E	Blasting/Primer	4.983.986	36	224
F	Ass.Segment+ Pre-Assembly	8.169.229	34	215
D3	Assembly Ring	8.351.425	30	207

Dari tabel diatas didapatkan untuk penambahan 3 jam kerja dari durasi normal 262 hari menjadi 207 hari.

### 3.4 Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Pada penelitian ini, luasan ideal untuk setiap tenaga kerja ditetapkan sebagai berikut:

$$\text{Luasan kerja ideal} = \frac{(100+200)}{2} = 150 \text{ ft}^2/\text{tenaker}$$

$$= 150 \text{ ft}^2/\text{tenaker} \times 0,0929 = 13,935\text{m}^2/\text{tenaker}$$

Dari luasan kerja ideal tersebut maka dapat diketahui berapa jumlah penambahan tenaga kerja ideal untuk setiap kegiatan.

Tabel 46: Jumlah Tenaga Kerja Ideal

Kode kegiatan	Luas area pengerjaan (m <sup>2</sup> )	Jumlah tenaga kerja ideal (orang)
A	-	-
B1	-	-
B2	-	-
C1	-	-
C2	-	-
D1	195,45	14
D2	73,44	5
D3	557,42	40
E	306,58	22
F	487,74	35
G	236,90	17
H	-	-
I	236,90	17

#### A. Crash Duration dengan Alternatif Penambahan 50% Tenaga Kerja

Setelah diketahui jumlah tenaga kerja ideal untuk setiap kegiatan pada Tabel 7 diatas maka selanjutnya yaitu mencari *crash duration* menggunakan asumsi penambahan tenaga kerja 25%, 50%, 75%, dan 100% dari tenaga kerja normal dengan pertimbangan luas area pengerjaan sehingga jumlah tenaga kerja yang akan digunakan tidak boleh melebihi jumlah tenaga kerja ideal. Untuk mencari *crash duration* perlu diketahui nilai produktivitas normal dengan Persamaan 3. Setelah nilai produktivitas normal telah didapatkan, selanjutnya adalah menentukan produktivitas *crash* dengan Persamaan 6.

$$\text{crash productivity} = \frac{pn (\text{tenaker normal} + \text{tenaker crash})}{\text{tenaker normal}} \quad (6)$$

Untuk perhitungan *crash duration* dengan alternatif penambahan 50% tenaga kerja dapat menggunakan Persamaan 5. Hasil dari perhitungan-perhitungan tersebut dapat dilihat pada Tabel

Tabel 47: Perhitungan *Crash Duration* dengan Alternatif Penambahan 50% Tenaga Kerja

Kode kegiatan	Jumlah tenaker crash (orang)	Prod. Normal (kg/hari)	Prod. Crash (kg/hari)	Crash duration (hari)
A	-	-	-	-
B1	-	-	-	-

B2	-	-	-	-
C1	-	-	-	-
C2	-	-	-	-
D1	11	7310,25	10965,38	27
D2	5	6800,23	10200,35	29
D3	36	7695,00	11542,50	25
E	20	6498,00	9747,00	30
F	35	6800,23	10200,35	29
G	15	6962,14	10443,21	28
H	-	-	-	-
I	14	20886,43	31329,64	9

#### B. Crash Cost dengan Alternatif Penambahan 50% Tenaga Kerja

Tahapan selanjutnya yaitu menghitung *crash cost* dari alternatif penambahan 50% tenaga kerja dengan cara mengalikan total pekerja dengan tarif per jam tenaga kerja yang bersangkutan. Untuk hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9.

Tabel 48: *Crash Cost* dengan Alternatif Penambahan 50% Tenaga Kerja

Kode kegiatan	Tenaker crash (orang)	Crash duration (hari)	Biaya tenaker langsung crash (Rp)
A	-	-	-
B1	-	-	-
B2	-	-	-
C1	-	-	-
C2	-	-	-
D1	11	27	63.629.928
D2	5	29	31.262.000
D3	36	25	203.933.000
E	20	30	129.899.760
F	35	29	226.411.816
G	15	28	97.122.592
H	-	-	-
I	14	10	28.728.000
Total			780.987.096

#### C. Cost Slope

Setelah diketahui nilai *crash duration* dan *crash cost*, selanjutnya yaitu mencari nilai *cost slope* dan percepat kegiatan-kegiatan kritis yang mempunyai kombinasi *slope* terendah. Untuk mencari nilai *cost slope* dapat menggunakan Persamaan 2. Tabel 10 berikut ini adalah hasil *crashing* dengan urutan nilai *cost slope* dari yang terendah ke tertinggi.

Tabel 49: *Crash Duration* Penambahan 50% Tenaga Kerja

Kode kegiatan	Nama kegiatan	Cost slope (Rp)	Durasi Crash (hari)	Durasi Percepatan (hari)
E	Blasting/primer	116.008	30	247
D3	Assembly ring	218.254	25	234
D2	Roll	255.000	29	220
D1	Marking/cutting	271.028	27	207
I	Packing	375.200	9	202
G	Finish Paint	407.336	28	188

Untuk penambahan 50% tenaga kerja dari durasi normal 262 hari menjadi 188 hari. Dari tabel tersebut juga dapat dilihat bahwa tidak semua kegiatan dilakukan *crashing* karena pada kegiatan dengan urutan *cost slope* terendah ke-6, durasi *crash* yang dihasilkan sudah memenuhi durasi plan atau sudah jenuh. Perhitungan ini juga menggunakan bantuan *software* Microsoft Project untuk melihat apakah ada perubahan terhadap lintasan kritis pada *crash duration*.

### 3.5 Total Biaya

Total biaya langsung dan tidak langsung untuk durasi normal dapat dilihat pada Tabel 11 dan durasi dipercepat dengan penambahan 50% tenaga kerja dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 50: Total Biaya Durasi Normal

No.	Jenis Biaya	Total Biaya (Rp)
<b>Biaya Langsung</b>		
1.	Biaya tenaga kerja langsung	755.255.648
2.	Biaya material	1.842.151.893
<b>Biaya Tidak Langsung</b>		
3.	Biaya tenaga kerja tidak langsung	370.509.091
4.	Biaya operasional mesin	423.098.680
5.	Biaya tambahan lain	81.103.164
6.	Biaya Consumable	411.068.400
<b>Biaya Denda</b>		520.182.524
<b>Total</b>		<b>4.403.369.400</b>

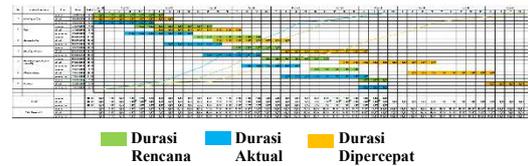
Tabel 51: Total Biaya Durasi Dipercepat dengan Penambahan 50% Tenaga Kerja

No.	Jenis Biaya	Total Biaya (Rp)
<b>Biaya Langsung</b>		
1.	Biaya tenaga kerja langsung	774.505.144
2.	Biaya material	1.842.151.893
<b>Biaya Tidak Langsung</b>		
3.	Biaya tenaga kerja tidak langsung	273.531.818
4.	Biaya operasional mesin	423.098.680
5.	Biaya tambahan lain	81.103.164
6.	Biaya Consumable	411.068.400
<b>Total</b>		<b>3.805.459.099</b>

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, didapat waktu optimal pada saat umur proyek 188 hari menggunakan opsi penambahan 50% tenaga kerja dengan biaya yang lebih murah yaitu dengan total biaya Rp.3.805.459.099,- dapat dilihat pada Tabel 9. Sehingga percepatan yang dilakukan dari durasi awal selama 262 hari menjadi 188 hari terjadi penambahan biaya sebesar Rp.597.910.301,- atau 13,58% dari biaya normal. Percepatan dilakukan dengan menambah tenaga kerja pada kegiatan langsung yang berada pada jalur kritis yaitu *Marking/Cutting, Roll, Assembly ring, Blasting Primer, Assembly segment + pre-assembly, Finish painting, dan Packing*.

### 3.6 S Curve

*S Curve* atau juga disebut dengan kurva S merupakan sebuah grafik yang memiliki fungsi menunjukkan sumber daya tertentu selama pelaksanaan sebuah proyek. Husen (2010) menjelaskan bahwa Kurva-S secara grafis adalah penggambaran kemajuan kerja (bobot %) kumulatif pada sumbu vertikal terhadap waktu pada sumbu *horizontal*. Pada penelitian ini melainkan penggambaran kemajuan kerja, digunakan pengeluaran biaya untuk tenaga kerja langsung.



Gambar 3. Kurva-S Proyek Flue Stack

## 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut.

1. Kegiatan yang dapat dilakukan percepatan pada proyek *Flue Stack* adalah *Marking/Cutting, Roll, Assembly Ring, Blasting/Primer, Assembly Segment+Pre-Assembly, Finish Painting, dan Packing*.
2. Dari hasil perhitungan didapatkan waktu dan biaya yang optimal dengan alternatif penambahan 50% tenaga kerja, dikarenakan durasi yang dihasilkan kurang dari sama dengan durasi *plan* (189 hari) dengan hasil durasi percepatan sebesar 188. Durasi percepatan yang dihasilkan terdapat selisih hari sebesar 72 hari lebih cepat dari jadwal aktual 262 hari. Biaya yang dikeluarkan dari alternatif penambahan 50% tenaga kerja adalah sebesar Rp.3.805.459.099,- dan terjadi penurunan 13,58% atau Rp. 597.910.301,- dari biaya durasi aktual Rp. 4.403.369.400,-.
3. Perbandingan progress *Flue Stack* menggunakan kurva-S didapatkan hasil bahwa pada jadwal dengan durasi dipercepat dapat selesai lebih cepat daripada durasi aktual dikarenakan garis kurva yang lebih miring menandakan perkembangan tiap minggu lebih besar.

## 5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Ibu Renanda Nia Rachmadita, ST., MT. dan Ibu Aulia Nadia Rachmat S.ST., MT. selaku dosen pembimbing yang memberikan bimbingan dalam penyelesaian penelitian ini serta seluruh pihak yang telah memberikan dukungan secara moril maupun materiil yang tidak dapat disebutkan satu persatu.

## 6. PUSTAKA

- [1] Husen, A. (2011). *Manajemen Proyek (Perencanaan, Penjadwalan, & Pengendalian Proyek)*. Yogyakarta: ANDI.
- [2] Mahapatni, I. P. (2019). *METODE PERENCANAAN DAN PENGENDALIAN PROYEK KONSTRUKSI*. Denpasar: UNHI Press.
- [3] Soeharto, I. (1995). *MANAJEMEN PROYEK: Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga.

- [4] Soeharto, I. (1999). **Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional) Jilid 1**. Erlangga, Jakarta.
- [5] Wibowo, F. (2020). OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA DENGAN METODE CRASHING PADA PROYEK PEMBANGUNAN RUMAH SUSUN PEMERINTAH. *DSpace UII*.
- [6] **Teknik Sipil**, Vol. 12, No. 2, pp.117-25.