



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Penjadwalan Proyek Reparasi Kapal *Tugboat* Selat Legundi II – 206 Dengan Metode *Time Cost Trade-Off* (TCTO) dan *Project Evaluation And Review Technique* (PERT)

Muhammad Fawwaz Karim Amrullah¹⁾, Untung Budiarto, Ahmad Fauzan Zakki¹⁾

¹⁾Laboratorium Kapal – Kapal Kecil Perikanan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

*e-mail : fawwazkarim@students.undip.ac.id

Abstrak

Keterlambatan masih terjadi pada proyek reparasi kapal. Salah satu contoh keterlambatan pada proyek reparasi kapal yaitu terjadi pada Kapal *Tugboat* Selat Legundi II - 206. Hal tersebut dapat dicegah dengan dilakukan penerapan percepatan terhadap proyek. Metode yang dapat digunakan untuk melakukan *crashing project* yaitu *Time Cost Trade-Off* dan *Project Evaluation and Review Technique*. Penyelesaian metode ini dapat digunakan dengan menambahkan alternatif tertentu. Alternatif yang digunakan pada penelitian ini yaitu penambahan jam kerja dan tenaga kerja, diterapkan pada reparasi bagian hull kapal *tugboat* Selat Legundi II - 206. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui percepatan durasi dapat dilakukan dengan penambahan biaya optimum terhadap percepatan tersebut. Berdasarkan percepatan tersebut, dapat diketahui probabilitas keberhasilan terhadap percepatan yang dilakukan. Hasil analisa yang telah dilakukan yaitu pekerjaan yang terdapat pada lintasan kritis di bagian Hull menghasilkan percepatan waktu lebih efisien sebesar 16% yaitu 4 hari dari durasi normal yang semula 24 hari menjadi 20 hari. Percepatan yang telah dilakukan menghasilkan penambahan biaya sebesar 0,41% yaitu Rp 900.000 dari total biaya pada durasi normal sebesar Rp 213.450.000 menjadi Rp 214.350.000 pada biaya total. Berdasarkan percepatan yang telah dilakukan, diterapkan metode *Project Evaluation and Review Technique* dan keberhasilan proyek ini dapat diselesaikan dalam waktu 20 hari sebesar 87,90%.

Kata Kunci : Penjadwalan, Reparasi, KT. Selat Legundi II – 206, TCTO, PERT

1. PENDAHULUAN

Pencegahan perusakan pada kapal secara rutin agar kerugian – kerugian tidak terjadi dan kapal dapat tetap beroperasi dengan baik melalui cara perawatan dan juga pemeliharaan secara rutin. Pelaksanaan reparasi kapal memakan cukup banyak biaya dalam pengerjaannya. Proyek reparasi kapal juga memiliki faktor penting dalam keberhasilannya. Tiga komponen tersebut adalah waktu, kualitas dan biaya. Suatu proyek dapat dikatakan berhasil apabila dapat terselesaikan tepat waktu, sesuai dengan biaya yang disepakati, serta kualitas yang telah diharapkan dapat terjadi.

Setiap galangan mengharuskan proyek reparasi atau pembuatan kapal baru berdasarkan jadwal yang

tertera pada kontrak kerja awal. Keterlambatan yang dalam proses reparasi kapal masih menjadi hal yang sulit diatasi sejauh ini. Keterlambatan pada suatu proyek dapat menyebabkan beberapa akibat seperti meningkatnya biaya pekerjaan, dan mengacaukan jadwal. Percepatan proyek merupakan salah satu cara untuk mencegah terjadinya keterlambatan proyek. Namun, percepatan penyelesaian proyek dapat menyebabkan pengaruh pada biaya proyek.

Metode penjadwalan yang tepat menghasilkan penjadwalan serta perencanaan biaya yang baik dan efisien. Salah satu metode dalam penjadwalan proyek reparasi kapal yaitu metode *Time Cost Trade-Off* (TCTO). Metode TCTO berfungsi untuk mempercepat waktu penyelesaian proyek dan menganalisis berapa banyak waktu yang dapat

dipersingkat dengan menambahkan biaya minimal pada kegiatan yang dapat dipercepat sehingga dapat diketahui percepatannya, sehingga dapat diketahui percepatan yang paling maksimum dan biaya yang paling minimum. Metode lainnya dalam penjadwalan proyek reparasi kapal juga yaitu *project evaluation and review technique* (PERT). Metode PERT bertujuan untuk mencari nilai probabilitas keberhasilan percepatan berdasarkan percepatan yang telah dilakukan. Metode PERT menggunakan 3 perkiraan waktu dalam pengerjaannya yaitu, waktu pesimis, waktu realistis, dan waktu optimis. 3 waktu tersebut digunakan untuk menghitung waktu yang diharapkan untuk proyek selesai (*expected time*). Pada penelitian sebelumnya, metode TCTO digunakan untuk penjadwalan berjudul, “Analisa biaya dan waktu project crashing pada pembangunan kapal baru (studi kasus pembangunan kapal cargo RO-PAX 300) di PT. Adiluhung Sarana Segara Indonesia”. Penelitian ini menghasilkan penjadwalan 142 hari lebih cepat dari perencanaan awal dari yang awalnya 285 hari menjadi 143 hari untuk pekerjaan reparasi kapal dengan alternatif yang digunakan pada penelitian ini yaitu penambahan 1 grup tenaga kerja perhari pada lintasan kritis. Perubahan biaya proyek akibat penambahan jam kerja dari biaya normal Rp.41.895.000 menjadi Rp.69.825.000 (selisih biaya Rp.20.947.500) dan cost slope Rp.147.518[1].

Pada penelitian lainnya, metode PERT telah digunakan berjudul “Implementasi Metode PERT dan CPM pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembangunan Kapal” Pada rencana awal, proyek ini dilaksanakan selama 360 hari. Setelah dilakukan pengolahan data menggunakan metode PERT dan CPM menghasilkan pembangunan yang sama dengan waktu yang lebih singkat yaitu 150 hari dengan probabilitas keberhasilan 98,26% dalam keadaan optimis[2].

Penelitian lainnya terkait penjadwalan juga telah dilakukan dengan menggunakan metode CPM berjudul “Evaluasi Penjadwalan Waktu dan Biaya Pada Pembuatan Kapal Perang SSV-1 BRP Tarlac (LD-601) di PT PAL Indonesia (Persero) Surabaya Dengan Metode Jalur Kritis”. Berdasarkan schedule yang direncanakan, dilaksanakan selama 456 hari. Setelah diterapkan metode CPM, proyek ini dapat selesai selama 444 hari yang menghasilkan efisiensi waktu sebesar 2,6% atau 12 hari lebih awal berdasarkan rencana[3].

Pada penelitian sebelumnya, metode TCTO dan PERT digunakan untuk penjadwalan berjudul, “Analisis Penentuan Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) di PT. ABC”. Penelitian ini menghasilkan penjadwalan 3 hari

lebih cepat dari perencanaan awal dari yang awalnya 28 hari menjadi 25 hari dengan alternatif yang digunakan pada penelitian ini yaitu penambahan jam kerja (lembur) pada lintasan kritis. Perubahan biaya akibat penambahan jam kerja dari biaya normal Rp. Rp. 46.905.400 menjadi Rp. Rp. 45.665.400 dengan probabilitas keberhasilan 98,5%[4]

Pada penelitian lainnya, metode TCTO dan PERT telah digunakan berjudul “Analisis Optimasi Biaya dan Waktu dengan Metode PERT dan TCTO”. Penelitian ini lebih membandingkan keefektifan antara kedua metode dimana dengan menggunakan metode PERT dihasilkan percepatan selama 3 hari dari yang semula 210 hari menjadi 207 hari dengan alternatif penambahan 1 jam kerja (lembur) dengan penambahan biaya sebesar Rp. 402.087.301,35 dan biaya total proyek sebesar Rp. 5.925.592.301,35. Alternatif lain juga digunakan dengan penambahan 3 jam kerja (lembur) dihasilkan percepatan selama 22 hari dengan penambahan biaya sebesar Rp. 1.097.730.653,10 dan biaya total proyek sebesar Rp. 6.621.235.653,10. Dengan menggunakan metode TCTO digunakan alternatif yang sama dan dihasilkan percepatan yang sama yaitu selama 36 hari dengan biaya yang dihasilkan berbeda. Penambahan 1 jam kerja menghasilkan pengurangan biaya sebesar Rp. 110.949.618,24 dan biaya total proyek sebesar Rp. 5.412.555.381,76. Penambahan 3 jam kerja menghasilkan pengurangan biaya sebesar Rp.74.106.922,75 dan biaya total proyek sebesar Rp. 5.449.398.077,25. Dan berdasarkan hasil tersebut, metode yang lebih efisien yaitu menggunakan metode TCTO[5]

Penelitian lainnya terkait penjadwalan juga telah dilakukan dengan menggunakan metode TCTO dan PERT berjudul “Optimasi Waktu Dan Biaya Dengan Metode *Time Cost Trade Off* Pada Proyek Pembangunan Kelas Darurat (Studi Kasus: SD Impres Sidera, Kec. Sigi Biromaru, Kab. Sigi, Kota Palu)”. Pada penelitian ini menggunakan 3 alternatif yaitu penambahan 1 jam kerja, 2 jam kerja dan 3 jam kerja. Berdasarkan alternatif tersebut, hasil yang paling optimal dengan penambahan 1 jam kerja. Penambahan 1 jam kerja menghasilkan percepatan 3 hari menjadi 33 hari dengan biaya tambahan sebesar Rp. 5.239.250 menjadi total Rp. 125.045.418 pada biaya total. Probabilitas

keberhasilan proyek selesai dalam waktu 33 hari sebesar 99,99% [6]

Berdasarkan kondisi yang telah dijelaskan, dilakukan penelitian mengenai percepatan jadwal pada proyek reparasi kapal dalam bentuk analisa penambahan waktu (jam lembur) dan tenaga kerja dan biaya yang paling efektif untuk meminimalkan kerugian yang diakibatkan karena percepatan yang dilakukan agar dapat mengantisipasi penundaan proyek reparasi Kapal *Tug Boat* Selat Legundi II – 206 dengan mengimplementasikan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) dan *Project Evaluation And Review Technique*.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Penelitian ini menggunakan Kapal *Tug Boat* Selat Legundi II – 206 sebagai objek penelitian. Kapal ini merupakan kapal tunda milik PT. Dok Bahari Nusantara dengan nomor IMO 8654118 yang memiliki ukuran utama kapal seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Ukuran Utama Kapal

No	Nama	Ukuran
1.	IMO	8654118
2.	<i>Ship Type</i>	Kapal Tunda
3.	LOA	23,50 m
4.	LPP	21,93 m
5.	<i>Breadth</i>	7,00 m
6.	<i>Depth</i>	3,10 m
7.	<i>Draft</i>	2,40 m
8.	<i>Gross Tonnage</i>	129

Proyek ini mengalami keterlambatan dari kesepakatan awal sehingga dalam hal ini penulis menerapkan metode TCTO dan PERT untuk mempercepat durasi pengerjaan proyek, mendapatkan biaya yang optimal setelah percepatan dan mendapatkan nilai probabilitas keberhasilan percepatan.

2.2. Metode *Time Cost Trade Off*

Time Cost Trade Off merupakan suatu proses yang disengaja, sistematis, dan analitis dengan cara melakukan pengujian dari semua kegiatan dalam suatu proyek yang dipusatkan pada kegiatan yang berada pada jalur kritis [7]. Metode ini menggunakan variabel jam kerja dan tenaga kerja dengan penambahan biaya seminimal mungkin.

2.3. Metode *Project Evaluation And Review Technique*

Program Evaluation and Review Technique adalah sebuah *management science* untuk perencanaan dan pengendalian sebuah proyek [8]. Metode PERT bertujuan untuk mencari nilai probabilitas keberhasilan percepatan berdasarkan percepatan yang telah dilakukan. Metode PERT menggunakan 3 perkiraan waktu dalam pengerjaannya yaitu, waktu pesimis, waktu realistis, dan waktu optimis.

2.4. Langkah Penelitian

Penelitian ini diawali dengan metode TCTO untuk percepatan kegiatan yang berada di lintasan kritis. Pengurangan durasi dilakukan menggunakan *crashing project*. *Crashing project* menghasilkan nilai *crash duration* pada tiap kegiatan yang berada pada lintasan kritis yang berguna untuk mendapatkan nilai percepatan yang dapat dilakukan. Nilai *crash duration* berguna untuk mendapatkan nilai *crash cost* dan *cost slope* pada pekerjaan yang berada pada lintasan kritis. Percepatan yang dihasilkan digunakan untuk mendapatkan nilai probabilitas dengan menggunakan metode PERT.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data yang telah didapatkan dilakukan pengolahan, sehingga didapatkan hasil. Berikut merupakan hasil serta pembahasan dari penelitian ini.

3.1. Menyusun Urutan Aktivitas

Langkah mendasar dalam manajemen proyek yaitu menyusun urutan aktivitas pekerjaan. Tujuan menyusun urutan aktivitas pekerjaan yaitu untuk mengetahui aktivitas pekerjaan dari awal hingga selesai sehingga diketahui pekerjaan mana yang harus dikerjakan terlebih dahulu. Penyusunan aktivitas kegiatan dilakukan berdasarkan *predecessor* dan *successor*. *Predecessor* dan *successor* berfungsi untuk mengetahui urutan pekerjaan yang dilakukan selama proyek berlangsung. *Predecessor* merupakan kegiatan yang dilakukan sebelum pekerjaan yang bersangkutan dimulai sedangkan *successor* merupakan kegiatan yang dilakukan setelah pekerjaan yang bersangkutan terjadi. Dalam hubungan antar aktivitas terdapat macam-macam istilah untuk memudahkan dalam merencanakan sebuah hubungan ketergantungan diantaranya *start to start* (SS), *finish to start* (FS), *start to finish* (SF), dan *finish to finish* (FF) [9].

Berdasarkan data yang ada, penyusunan aktivitas dibantu dengan *software Microsoft Project*

dan menghasilkan kegiatan kritis pada proyek reparasi kapal *Tug Boat* Selat Legundi II - 206. *Microsoft Project* merupakan aplikasi program administrasi proyek yang dikeluarkan *Microsoft* berfungsi untuk melakukan perencanaan, pengelolaan, dan pengawasan data dari suatu proyek untuk membantu agar proyek tersebut dapat terselesaikan tepat waktu[10].

3.2. Menentukan Aktivitas Kritis

Aktivitas kritis merupakan aktivitas yang harus dikerjakan terlebih dahulu berdasarkan urutan aktivitas yang telah dibuat. Dari aktivitas kritis, dapat ditentukan jalur lintasan kritis dari awal pekerjaan sampai akhir pekerjaan. Untuk menentukan pekerjaan yang terdapat dalam lintasan kritis maka dilakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur untuk menentukan nilai ES (*Early activity start time*), EF (*Early activity finish time*), LS (*Latest activity start time*) dan LF (*Latest activity finish time*)[11]. Apabila nilai – nilai tersebut sudah diketahui, maka dapat dihitung nilai slack time pada tiap pekerjaan. Pekerjaan yang memiliki nilai *slack time* = 0 merupakan pekerjaan yang terdapat pada jalur kritis. Pada proyek kapal *tugboat* Selat Legundi II – 206 terdapat total 107 pekerjaan termasuk 16 pekerjaan proyek yang terdapat pada lintasan kritis.

Tabel 2. Perhitungan *Network Diagram* Lintasan Kritis

No	Nama Pekerjaan	EF	LF	TF
1.	<i>Docking</i>	3	3	0
2.	<i>Undocking</i>	20	20	0
3.	<i>Floating charge for floating repair, per day</i>	2	2	0
4.	<i>Classification (BKI) survey and endorsed certificate exit</i>	24	24	0
5.	<i>Maritime authorities survey and certificate exit</i>	24	24	0
6.	<i>Ultrasonic thickness gauging measurement (UTM), as per SS 3 requirement</i>	5	5	0
7.	<i>Replating for hull construction, estimate</i>	14	14	0
8.	<i>Hull scraping, include sea chest, skeg and rudder/kort nozzle</i>	3	3	0
9.	<i>Hull cleaning with high pressure washing, bottom until bulwark</i>	4	4	0
10.	<i>Full blasting SA 2½, bottom until external bulwark</i>	10	10	0
11.	<i>Hull coating, material owner supply</i>	15	15	0
12.	<i>Hull marking, material owner supply</i>	16	16	0

13.	<i>Install anode for hull (bolt type), material owner supply</i>	19	19	0
14.	<i>Peluncuran</i>	20	20	0
15.	<i>Sea Trial</i>	24	24	0
16.	<i>Delivery</i>	24	24	0

3.3. Perhitungan Produktivitas Harian

Produktivitas bertujuan untuk mendapatkan nilai perhitungan produktivitas harian normal kegiatan yang berada pada jalur lintasan kritis dengan risiko keterlambatan tinggi sebelum dilakukan analisa.

Produktivitas dapat diperoleh dengan rumus :

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi Normal}} \dots\dots\dots(1)$$

Perhitungan produktivitas normal harian pekerjaan pada lintasan kritis yang dianalisa dapat dilihat pada tabel 3. Nomor pekerjaan yang tertera pada setiap tabel selanjutnya berdasarkan pada tabel 2.

Tabel 3. Perhitungan Produktivitas Harian Normal Pada Lintasan Kritis

No. Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Durasi (Hari)	Prod. Harian
1	1 kali	2	0,50
2	1 kali	2	0,50
3	0	2	0,00
4	0	2	0,00
5	0	2	0,00
6	350 spot	2	175,00
7	10000 kg	10	1000,00
8	234,58 m2	2	117,29
9	368,98 m2	2	184,49
10	347,2 m2	7	49,60
11	368,98 m2	10	36,90
12	1 ls	2	0,50
13	18 pcs	3	6,00
14	1 lot	1	1,00
15	1 lot	2	0,50
16	1 lot	1	1,00

3.4. Alternatif Percepatan

Alternatif percepatan merupakan cara yang dilakukan dalam mempercepat durasi kegiatan dalam proyek agar dapat terselesaikan lebih cepat dari durasi normal yang telah ditetapkan untuk menghindari terjadinya keterlambatan penyelesaian proyek.

Beberapa alternatif percepatan yang dilakukan pada penelitian ini:

1) Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Alternatif penambahan jam kerja dapat digunakan untuk melakukan percepatan waktu selesai proyek, namun perlu juga disesuaikan dengan kebutuhan dan tenaga kerja

Durasi normal pada pengerjaan ini ialah 8 jam per hari (08.00 – 17.00) dengan waktu istirahat selama satu jam (12.00 – 13.00). Penambahan jam kerja (lembur) dilakukan selama 4 jam kerja (17.00 – 21.00) setelah durasi normal selesai. Penambahan jam kerja (lembur) menyebabkan penurunan produktivitas sampai dengan 60% dari produktivitas durasi kerja normal.

Nilai produktivitas setelah dilakukan percepatan dengan penambahan jam kerja (lembur) didapatkan dengan rumus :

$$PPJK = PHN + (PJN \times \text{Koef. PP} \times DJL) \dots (2)$$

Keterangan :

- PPJK : Produktivitas Penambahan Jam Kerja
 PHN : Produktivitas Harian Normal
 PJN : Produktivitas Per Jam Normal
 Koef. PP : Koefisien Pengurangan Produktivitas
 DJL : Durasi Jam Lembur

Tabel 4. Perhitungan Produktivitas Setelah Penambahan Jam Kerja (Jam Lembur) Pada Lintasan Kritis

A	B	C	D	E	F
1	0,50	0,06	0,6	4	0,65
2	0,50	0,06	0,6	4	0,65
3	0,00	0,00	0,6	4	0,00
4	0,00	0,00	0,6	4	0,00
5	0,00	0,00	0,6	4	0,00
6	175,00	21,88	0,6	4	227,50
7	1000,00	125,00	0,6	4	1300,00
8	117,29	14,66	0,6	4	152,48
9	184,49	23,06	0,6	4	239,84
10	49,60	6,20	0,6	4	64,48
11	36,90	4,61	0,6	4	47,97
12	0,50	0,06	0,6	4	0,65
13	6,00	0,75	0,6	4	7,80
14	1,00	0,13	0,6	0	1,00
15	0,50	0,06	0,6	4	0,65
16	1,00	0,13	0,6	0	1,00

Keterangan :

- A : Nomor Pekerjaan
 B : Prod Harian Normal
 C : Prod Per Jam Normal
 D : Koefisien Penurunan Produktivitas
 E : Durasi Jam Lembur
 F : Prod Harian Setelah Penambahan Jam Lembur

Perhitungan Produktivitas *Crashing* Setelah Penambahan Jam Kerja (Lembur) selama 4 jam pada tiap – tiap pekerjaan kritis dijelaskan pada tabel 4.

2) Penambahan Tenaga Kerja

Durasi penyelesaian suatu proyek dapat dipersingkat juga dengan penambahan tenaga kerja.

Penelitian ini berasumsi penambahan tenaga kerja berdasarkan peningkatan produktivitas harian akibat penambahan jam kerja (lembur).

Besar peningkatan produktivitas harian akibat penambahan jam kerja didapatkan dari :

$$\frac{(PPJK - PHN)}{PHN} \times 100\% \dots \dots \dots (3)$$

Besar penambahan tenaga kerja berdasarkan peningkatan produktivitas harian akibat penambahan jam kerja (lembur) selama empat jam untuk setiap pekerjaan pada lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Penambahan Tenaga Kerja Pada Lintasan Kritis

A	B	C	D	E	F
1	0,50	0,65	5	30%	2
2	0,50	0,65	5	30%	2
3	0,00	0,00	0	0%	0
4	0,00	0,00	2	0%	0
5	0,00	0,00	1	0%	0
6	175,00	227,50	2	30%	1
7	1000,00	1300,00	4	30%	2
8	117,29	152,48	3	30%	1
9	184,49	239,84	3	30%	1
10	49,60	64,48	6	30%	2
11	36,90	47,97	6	30%	2
12	0,50	0,65	6	30%	2
13	6,00	7,80	2	30%	1
14	1,00	1,00	5	0%	0
15	0,50	0,65	5	30%	2
16	1,00	1,00	1	0%	0

Keterangan :

- C : Peningkatan Prod. Setelah Penambahan Jam Lembur
 D : Tenaga Kerja Awal (Orang)
 E : Peningkatan Produktivitas
 F : Penambahan Tenaga Kerja (Orang)

Setelah diketahui jumlah penambahan tenaga kerja, peningkatan produktivitas harian dengan

alternatif penambahan tenaga kerja dapat diketahui dengan rumus :

$$PPTK = PHN + \frac{(PHN \times TKP)}{TKN} \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan :

PPTK : Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja

TKP : Tenaga Kerja Percepatan

TKN : Tenaga Kerja Normal

Besar nilai produktivitas setelah penambahan tenaga kerja setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Produktivitas *Crashing* Setelah Penambahan Tenaga Kerja Pada Lintasan Kritis

No. Pekerjaan	Prod Harian Normal	Tenaga Kerja Awal (Orang)	Penambahan Tenaga Kerja (Orang)	Prod <i>Crashing</i> Tenaga Kerja
1	0,50	5	2	0,70
2	0,50	5	2	0,70
3	0,00	0	0	0,00
4	0,00	2	0	0,00
5	0,00	1	0	0,00
6	175,00	2	1	262,50
7	1000,00	4	2	1500,00
8	117,29	3	1	156,39
9	184,49	3	1	245,99
10	49,60	6	2	66,13
11	36,90	6	2	49,20
12	0,50	6	2	0,67
13	6,00	2	1	9,00
14	1,00	5	0	1,00
15	0,50	5	2	0,70
16	1,00	1	0	1,00

Berdasarkan tabel 6, perhitungan produktivitas *crashing* setelah dilakukannya penambahan tenaga kerja menyebabkan peningkatan produktivitas pada pekerjaan jalur lintasan kritis dibandingkan dengan produktivitas harian normal dengan tenaga kerja awal.

3.5. Crash Duration

Crash Duration merupakan waktu paling singkat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan proyek. Produktivitas meningkat apabila dilakukan percepatan, maka perhitungan *crash*

duration diperlukan karena meningkatnya produktivitas berpengaruh kepada perubahan durasi awal menjadi lebih cepat.

Persamaan untuk menghitung besar nilai *crash duration* adalah :

$$Crash\ Duration = \frac{Volume\ Pekerjaan}{Produktifitas\ Percepatan} \dots\dots(5)$$

Berikut merupakan besar nilai *crash duration* untuk setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan *Crash Duration* Dengan Penambahan Tenaga Kerja & Jam Kerja Pada Lintasan Kritis

A	B	C	D	E
1	1	0,65	0,70	1
2	1	0,65	0,70	1
3	0	0,00	0,00	0
4	0	0,00	0,00	2
5	0	0,00	0,00	2
6	350	227,50	262,50	1
7	10000	1300,00	1500,00	4
8	234,58	152,48	156,39	1
9	368,98	239,84	245,99	1
10	347,2	64,48	66,13	3
11	368,98	47,97	49,20	4
12	1	0,65	0,67	1
13	18	7,80	9,00	1
14	1	1,00	1,00	1
15	1	0,65	0,70	1
16	1	1,00	1,00	1

Keterangan :

B : Volume Pekerjaan

C : Produktivitas *Crashing* Jam Lembur

D : Produktivitas *Crashing* Tenaga Kerja

E : *Crash Duration*

3.6. Normal Cost

Persamaan *Normal cost* atau biaya normal dapat dihitung dengan :

$$NC = BTKN \times ND \times JTK \dots\dots\dots(6)$$

Keterangan :

NC : *Normal Cost*

BTKN : Biaya Tenaga Kerja Normal

ND : *Normal Duration*

JTK : Jumlah Tenaga Kerja

Berikut merupakan besar nilai *normal cost* untuk setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan *Normal Cost* Pada Lintasan Kritis

No. Pekerjaan	Biaya Normal Per Hari (Rp)	ND (Hari)	Jumlah Tenaga Kerja	NC (Rp)
1	150.000	2	5	1.500.000
2	150.000	2	5	1.500.000
3	150.000	2	0	-
4	150.000	2	2	600.000
5	150.000	2	1	300.000
6	150.000	2	2	600.000
7	150.000	10	4	6.000.000
8	150.000	2	3	900.000
9	150.000	2	3	900.000
10	150.000	7	6	6.300.000
11	150.000	10	6	9.000.000
12	150.000	2	6	1.800.000
13	150.000	3	2	900.000
14	150.000	1	5	750.000
15	150.000	2	5	1.500.000
16	150.000	1	1	150.000
Total				32.700.000

3.7. Crash Cost

Besar biaya yang harus dikeluarkan secara langsung untuk menyelesaikan aktivitas setelah dilakukan percepatan disebut *Crash Cost* [12]. Biaya ini didapatkan setelah dilakukan percepatan. Alternatif percepatan yang digunakan yaitu penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja.

Perhitungan *Crash Cost* disebabkan oleh adanya penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja pada lintasan kritis.

Perhitungan besar nilai *crash cost* dapat diketahui dengan rumus :

$$CC = CCPH \times CD \times JTK \dots \dots \dots (7)$$

Keterangan :

CC : *Crash Cost*

CCPH : *Crash Cost* Pekerja Per Hari

CD : *Crash Duration*

1) *Crash Cost* Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Besar penentuan biaya upah lembur perlu diperhatikan besar biaya yang dikeluarkan, berdasarkan Peraturan Pemerintah No. 35/2021 Pasal 31 dijelaskan bahwa perusahaan yang mempekerjakan pekerja/buruh melebihi waktu kerja sebagaimana dimaksud dalam Pasal 21 ayat (2) wajib membayar Upah Kerja Lembur dengan ketentuan[13]:

- Jam kerja lembur pertama sebesar 1,5 kali upah sejam.
- Setiap jam kerja lembur berikutnya, sebesar 2 kali upah sejam.

Biaya normal = Rp 150.000/hari

Biaya normal per jam = Rp 18.750

Biaya lembur :

$$1 \text{ jam} = 1,5 \times 18.750 = 28.125 \approx 30.000$$

$$\text{Setiap jam berikutnya} = 2 \times 18.750 = 37.500 \approx 40.000$$

Biaya lembur selama 4 jam

$$= 30.000 + 40.000 + 40.000 + 40.000$$

$$= \text{Rp } 150.000$$

Berdasarkan penjelasan diatas maka besar nilai *crash cost* dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) diketahui dengan rumus :

$$CC = BLH \times CD \times JTKN \dots \dots \dots (8)$$

Keterangan :

BLH : Biaya Lembur Per Hari

JTKN : Jumlah Tenaga Kerja Normal

Tabel 9. Perhitungan *Crash Cost* Penambahan Jam Kerja (Lembur) Pada Lintasan Kritis

No. Pekerjaan	Biaya Lembur Per Hari (Rp)	CD (Hari)	Tenaga Kerja Normal	CC Jam Lembur 4 Jam (Rp)
1	150.000	1	5	750.000
2	150.000	1	5	750.000
3	150.000	0	0	-
4	150.000	2	2	-

5	150.000	2	1	-
6	150.000	1	2	300.000
7	150.000	4	4	2.400.000
8	150.000	1	3	450.000
9	150.000	1	3	450.000
10	150.000	3	6	2.700.000
11	150.000	4	6	3.600.000
12	150.000	1	6	900.000
13	150.000	1	2	300.000
14	-	1	5	-
15	150.000	1	5	750.000
16	-	1	1	-
Total				13.350.000

Besar nilai *crash cost* setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) dapat dilihat pada tabel 9.

2) *Crash Cost* Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Nilai *crash cost* dengan alternatif penambahan tenaga kerja diketahui dengan rumus :

$$CC = BTKN \times CD \times JTKP \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan :

- BTKN : Biaya Tenaga Kerja Normal
- JTKP : Jumlah Tenaga Kerja Penambahan

Berikut merupakan besar nilai *crash cost* setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dengan alternatif penambahan tenaga kerja dapat dilihat pada tabel 10.

Tabel 10. Perhitungan *Crash Cost* Penambahan Tenaga Kerja Pada Lintasan Kritis

No. Pekerjaan	Biaya Normal Per Hari (Rp)	CD (Hari)	Jumlah Tenaga Kerja <i>Crashing</i>	CC Penambahan Tenaga Kerja (Rp)
1	150.000	1	7	1.050.000
2	150.000	1	7	1.050.000
3	150.000	0	0	-
4	150.000	2	2	600.000
5	150.000	2	1	300.000
6	150.000	1	3	450.000
7	150.000	4	6	3.600.000
8	150.000	1	4	600.000

9	150.000	1	4	600.000
10	150.000	3	8	3.600.000
11	150.000	4	8	4.800.000
12	150.000	1	8	1.200.000
13	150.000	1	3	450.000
14	150.000	1	5	750.000
15	150.000	1	7	1.050.000
16	150.000	1	1	150.000
Total				20.250.000

3.8. *Cost Slope*

Cost Slope merupakan penambahan biaya langsung yang dikeluarkan dalam mengurangi durasi dari tiap aktivitas pekerjaan [14]. Besar nilai *cost slope* pada tiap pekerjaan didapatkan dengan rumus :

$$Cost\ Slope = \frac{CC-NC}{ND-CD} \dots\dots\dots(10)$$

Besar nilai *Cost Slope* pada setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dengan alternatif penambahan tenaga kerja dan jam kerja dapat dilihat pada tabel 11.

Tabel 11. Perhitungan *Cost Slope* pada lintasan kritis

A	B	C	D	E	F
1	1.800.000	1.500.000	2	1	300.000
2	1.800.000	1.500.000	2	1	300.000
3	-	-	2	0	-
4	600.000	600.000	2	2	-
5	300.000	300.000	2	2	-
6	750.000	600.000	2	1	150.000
7	6.000.000	6.000.000	10	4	-
8	1.050.000	900.000	2	1	150.000
9	1.050.000	900.000	2	1	150.000
10	6.300.000	6.300.000	7	3	150.000
11	8.400.000	9.000.000	10	4	-
12	2.100.000	1.800.000	2	1	-
					100.000
13	750.000	900.000	3	1	300.000
14	750.000	750.000	1	1	-75.000
15	1.800.000	1.500.000	2	1	300.000
16	150.000	150.000	1	1	-

Keterangan:

- B : Nilai Total *Crash Cost* Penambahan Jam Kerja (Lembur) dan Penambahan Tenaga Kerja.
- C : Nilai *Normal Cost*.
- D : Nilai *Normal Duration*.
- E : Nilai *Crash Duration* Penambahan Jam Kerja (Lembur) dan Penambahan Tenaga Kerja.

F : Nilai *Cost Slope* Penambahan Jam Kerja (Lembur) dan Penambahan Tenaga Kerja.

a : Waktu Optimis
 m : Waktu Realistis
 b : Waktu Pesimis

3.9. Analisa Menggunakan Metode PERT

Metode PERT bertujuan untuk mencari nilai probabilitas keberhasilan percepatan berdasarkan percepatan yang telah dilakukan. Penelitian ini menggunakan metode PERT untuk menghitung probabilitas keberhasilan perhitungan *crashing* yang telah dilakukan di atas.

1) *Expected Time*

Expected time merupakan waktu kegiatan yang diharapkan dapat terjadi. *Expected Time* dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$te = \frac{a+b+4m}{6} \dots\dots\dots(11)$$

Pada rumus diatas, nilai *te* merupakan *expected time* yang didapatkan dengan penambahan nilai waktu optimis, waktu pesimis, dan waktu realistis dikali 4 yang dibagi dengan 6.

Besar nilai *Expected Time* pada setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 12.

Tabel 12. Perhitungan Nilai *Expected Time* pada lintasan kritis

No. Pekerjaan	Waktu (Hari)			<i>Expected Time</i>
	a	m	b	
1	1	2	3	2
2	1	2	3	2
3	1	2	3	2
4	1	2	3	2
5	1	2	3	2
6	1	2	3	2
7	4	10	16	10
8	1	2	4	2
9	1	2	4	2
10	3	7	11	7
11	4	10	16	10
12	1	2	3	2
13	1	3	5	3
14	1	1	2	1
15	1	2	3	2
16	1	1	2	1

Keterangan :

2) *Varians dan Standar Deviasi*

Menentukan varian waktu penyelesaian kegiatan dapat digunakan dengan rumus:

$$V(te) = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \dots\dots\dots(12)$$

V(te) merupakan nilai *varians* yang didapatkan dari waktu pesimis dikurangi waktu optimis dibagi 6 lalu dikuadratkan.

Besar nilai *Varians* pada setiap pekerjaan pada jalur lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 13.

Tabel 13. Perhitungan Nilai *Varians* pada lintasan kritis

No. Pekerjaan	Waktu (hari)		<i>Varians</i>
	a	b	
1	1	3	0,11
2	1	3	0,11
3	1	3	0,11
4	1	3	0,11
5	1	3	0,11
6	1	3	0,11
7	4	16	4
8	1	4	0,25
9	1	4	0,25
10	3	11	1,78
11	4	16	4
12	1	3	0,11
13	1	5	0,44
14	1	2	0,03
15	1	3	0,11
16	1	2	0,03
Total			11,67

Nilai standar deviasi didapatkan dari total nilai *varians* pada jalur lintasan kritis. Rumus yang digunakan yaitu:

$$S = \sqrt{\left(\frac{b-a}{6}\right)^2} \dots\dots\dots(13)$$

Pada rumus diatas, nilai S merupakan nilai standar deviasi yang didapatkan dari total nilai *varians* jalur lintasan kritis yang diakarkan.

Standar deviasi atau simpangan baku merupakan salah satu cara mengukur variasi sekelompok data kuantitatif. Besar nilai standar deviasi menunjukkan tingkat *varians* dari sekumpulan data[15].

Standar Deviasi

$$S = \sqrt{11,67} = 3,42$$

3) Probabilitas (Z)

Menghitung probabilitas percepatan proyek dapat diselesaikan dalam batas waktu hari menggunakan rumus:

$$Z = \frac{T(d)-TE}{S} \dots\dots\dots(14)$$

Pada rumus diatas, nilai Z merupakan nilai probabilitas dimana nilai tersebut didapatkan dari hasil pengurangan dari durasi normal dengan durasi percepatan dibagi dengan standar deviasi yang telah didapatkan. Sehingga probabilitas proyek dapat diselesaikan dalam waktu 20 hari berdasarkan percepatan yang telah dilakukan sebelumnya pada metode TCTO yaitu:

$$Z = \frac{24-20}{3,42} = 1,1710$$

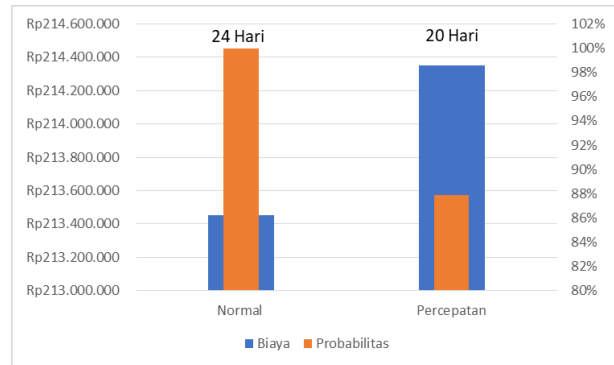
Pada tabel distribusi normal 1,1710 menunjukkan hasil 0,8790. Maka, kemungkinan proyek dapat diselesaikan dalam waktu 20 hari adalah 87,90%.

3.10. Hasil Analisa

Setelah penerapan metode *Time Cost Trade Off* dan *Project Evaluation and Review Technique* dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja pada pekerjaan KT. Selat Legundi II – 206 yang terdapat pada lintasan kritis diperoleh sebagai berikut:

- 1) Total biaya normal dan durasi normal pekerjaan sebelum percepatan :
 Total Biaya Normal Rp 213.450.000
 Total Durasi Normal 24 Hari
- 2) Penambahan biaya setelah percepatan akibat penambahan jam kerja (lembur) dan tenaga kerja pada pekerjaan kritis:
 Crash Cost Pada Pekerjaan Kritis Rp 33.600.000
 Biaya Normal Pada Pekerjaan Kritis Rp 32.700.000
 Penambahan Biaya Rp 900.000
- 3) Total biaya dan waktu setelah percepatan akibat penambahan jam kerja (lembur) dan tenaga kerja pada pekerjaan kritis:
 Total Biaya Percepatan Rp. 214.350.000
 Total Durasi Percepatan 20 Hari

- 4) Berdasarkan penerapan metode PERT pada percepatan yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh probabilitas keberhasilan proyek ini dapat diselesaikan dalam waktu 20 hari sebesar 87,90%.



Gambar 1. Grafik Hubungan durasi, Probabilitas, dan Biaya

Berdasarkan grafik diatas, durasi normal pada proyek KT. Selat Legundi II – 206 selama 24 hari dengan biaya Rp 213.450.000. Percepatan dilakukan menggunakan alternatif penambahan jam kerja dan tenaga kerja pada pekerjaan yang berada pada lintasan kritis dan menghasilkan percepatan selama 4 hari. Namun, percepatan tersebut menyebabkan penambahan biaya sebanyak Rp 900.000. Durasi setelah dilakukan percepatan semula 24 hari menjadi 20 hari. Penambahan biaya yang terjadi setelah dilakukan percepatan menjadi Rp 214.350.000. Percepatan yang dihasilkan diterapkan metode PERT dan diperoleh probabilitas keberhasilan proyek ini dapat diselesaikan dalam waktu 20 hari sebesar 87,90%.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diperoleh setelah dilakukan pengolahan data reparasi KT. Selat Legundi II – 206 yaitu pada perhitungan *crashing project* dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* akibat penambahan jam kerja (lembur) dan tenaga kerja pada pekerjaan yang terdapat pada lintasan kritis proyek reparasi KT. Selat Legundi II – 206 menghasilkan percepatan waktu lebih efisien sebesar 16% yaitu 4 hari dari durasi normal yang semula 24 hari menjadi 20 hari. Akibat dari penambahan jam kerja (lembur) dengan tenaga kerja normal dan penambahan tenaga kerja pada jam kerja normal juga menghasilkan penambahan biaya sebesar 0,41% yaitu Rp 900.000 dari total biaya pada durasi normal sebesar Rp 213.450.000 menjadi Rp 214.350.000 pada biaya total setelah dilakukan percepatan. Berdasarkan percepatan durasi yang telah diterapkan menggunakan metode TCTO, diterapkan metode *Project Evaluation and*

Review Technique dan dapat diperoleh keberhasilan proyek ini dapat diselesaikan dalam waktu 20 hari sebesar 87,90%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. N. WK, M. Basuki, and E. Pranatal, "Analisa Biaya Dan Waktu Project Crashing Pada Pembangunan Kapal Baru (Studi Kasus Pembangunan Kapal Cargo Ro-Pax 300 Di Pt . Adiluhung Sarana Segara Indonesia)," *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. VI 2018 Inst. Teknol. Adhi Tama Surabaya*, pp. 101–108, 2018.
- [2] A. Abdurrasyid, L. Luqman, A. Haris, and I. Indrianto, "Implementasi Metode PERT dan CPM pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembangunan Kapal," *Khazanah Inform. J. Ilmu Komput. dan Inform.*, vol. 5, no. 1, pp. 28–36, 2019, doi: 10.23917/khif.v5i1.7066.
- [3] I. Puspitasari, "Evaluasi Penjadwalan Waktu Dan Biaya Pada Pembuatan Kapal Perang SSV-1 BRP Tarlac (LD-601) Di Pt PAL Indonesia (Persero) Surabaya Dengan Metode Jalur Kritis," 2017.
- [4] N. Izzah, M. R. Hidayat, and ..., "Analisis Penentuan Waktu Dan Biaya Menggunakan Metode Timecost Trade Off (Tcto) Di Pt. Abc," *Cyber-Techn*, vol. 14, no. 02, pp. 56–68, 2020, [Online]. Available: <https://ojs.stt-pomosda.ac.id/index.php/April20/article/view/179>
- [5] Z. E. Safitri, S. Basriati, R. Wulandari, "Analisis Optimasi Biaya dan Waktu dengan Metode PERT dan TCTO," *Fondasi J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, pp. 353–360, 2015, doi: 10.36055/jft.v4i1.1221.
- [6] N. I. R.S.Musa, J. Kusuma, "OPTIMASI WAKTU DAN BIAYA DENGAN METODE TIME COST TRADE OFF PADA PROYEK PEMBANGUNAN KELAS DARURAT," pp. 1–10.
- [7] E. Wulfarm I, *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. 2004.
- [8] I. Soeharto, *Manajemen Proyek Jilid I (Dari Konseptual Sampai Operasional)*, Edisi Kedua, vol. 60, no. 5. 1999. doi: 10.3938/jkps.60.674.
- [9] T. H. Ali, *Prinsip-Prinsip Network Planning*. 1992.
- [10] A. F. Setiawan, *Smart Project Plan With Microsoft Office Project 2007*. 2008.
- [11] A. Maddeppungeng and I. Suryani, "Analisis Optimasi Biaya Dan Waktu Dengan Metode TCTO (Time Cost Trade Off)," *Fondasi J. Tek. Sipil*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [12] T. S. J. Hutapea, P. I. Mulyanto, and P. Manik, "Studi Penjadwalan Ulang Pekerjaan Reparasi pada Kapal MV. Awu dengan Network Diagram dan Critical Path Method (CPM)," *Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 4, pp. 555–562, 2020.
- [13] *Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021 Tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja*, no. 086142. 2021, p. 42.
- [14] M. A. Eirgash and V. Toğan, "Time-Cost Trade-Off Optimization Using Siemens ' s Effective Cost Slope Time-Cost Trade-Off Optimization Using Siemens ' s Effective Cost Slope Method," *Conf. Pap.*, no. April, 2019.
- [15] D. R. Ananda and M. Fadhli, *STATISTIK PENDIDIKAN Teori dan Praktik Dalam Pendidikan*, vol. 5, no. 3. 2018.