

Analisis *Reschedule* Keterlambatan Proyek Reparasi Dua Kapal dengan Metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada KM. Kendhaga Nusantara 4 dan TB. Sorowako Star

Keisha Nandhini Syahada, Good Rindo¹, Ari Wibawa Budi Santosa¹, Naufal Abdurahman Prasetyo²

¹Universitas Diponegoro,
Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
²Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

E-mail: keishans@students.undip.ac.id, good.rindo@ft.undip.ac.id,
ariwibawabudisantosa@lecturer.undip.ac.id, abdurahman@polibatam.ac.id

Abstrak

Reschedule akibat keterlambatan proyek reparasi dua kapal yang dikerjakan simultan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO), data yang di dapat berupa repair list masing-masing kapal. Untuk mempercepat penyelesaian proyek serta mencapai efisiensi waktu dan biaya yang paling optimal. didapatkan melalui perhitungan alternatif percepatan seperti penambahan tenaga kerja dan jam kerja pada lintasan kritis. Langkah - langkah percepatan mencakup penambahan jam kerja dari 2 jam dan 4 jam dan peningkatan jumlah tenaga kerja. Hasil analisis menunjukkan bahwa percepatan durasi yang paling optimal dicapai melalui penambahan jam kerja lembur selama 4 jam dan penambahan 21 tenaga kerja, yang berhasil mengurangi durasi proyek dari 55 hari menjadi 20 hari, dengan efisiensi waktu sebesar 64% dan penghematan biaya dari Rp 393.300.000 menjadi Rp 390.330.000 yaitu Rp 2.970.000 atau sekitar 0,7%.

Kata kunci: *Reparasi, Time Cost Trade Off, Critical Path Method, Reschedule, Keterlambatan Proyek*

Abstract

The rescheduling due to delays in the repair project of two ships being worked on simultaneously was carried out using the Critical Path Method (CPM) and Time Cost Trade Off (TCTO). The data obtained came from the repair lists of each ship. The aim was to expedite project completion and achieve the most optimal time and cost efficiency. Acceleration alternatives were calculated, such as adding labor and extending work hours on the critical path. The acceleration steps included adding 2 and 4 extra working hours and increasing the number of workers. The analysis results showed that the most optimal time reduction was achieved by adding 4 hours of overtime and 21 additional workers, successfully reducing the project duration from 55 days to 20 days, with a time efficiency of 64% and a cost savings from Rp 393,300,000 to Rp 390,330,000, a savings of Rp 2,970,000 or around 0.7%. The daily productivity for scrapping work reached a maximum of 650 m²/day, while the increase in labor and 2 extra working hours resulted in 780 m²/day, and 4 extra working hours resulted in 845 m²/day.

Keywords : *Repair, Time Cost Trade Off, Critical Path Method, Reschedule, Project Delay*

1. Pendahuluan

Air laut memiliki sifat yang sangat korosif dan merusak, sehingga kapal yang terus bersentuhan dengan air laut rentan mengalami kerusakan. Oleh karena itu, kapal perlu menjalani perawatan rutin untuk mencegah kerusakan serius. Perawatan ini bertujuan mencegah kerusakan kapal selalu dalam kondisi operasional yang optimal dan mampu memenuhi jadwal pelayaran yang telah ditentukan secara tepat waktu [1].

Keterlambatan proyek perbaikan kapal dipengaruhi berbagai faktor diantaranya, Keterlambatan pasokan material, pengaruh kondisi cuaca, keterbatasan jumlah tenaga kerja, serta fasilitas galangan yang kurang memadai [2].

Metode yang bisa digunakan dalam proses penjadwalan merupakan metode *Critical Path Method* (CPM). *Critical Path Method* (CPM) adalah teknik manajemen proyek yang digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis dalam proyek, yaitu serangkaian aktivitas yang menentukan waktu penyelesaian terpanjang. Dengan mengidentifikasi jalur kritis ini, CPM memungkinkan pemantauan pekerjaan secara efektif dan memperkirakan waktu penyelesaian proyek dengan lebih akurat [3]. Metode ini membantu memastikan bahwa semua aktivitas penting diselesaikan tepat waktu, sehingga proyek dapat berjalan sesuai jadwal tanpa mengalami keterlambatan dan dibantu dengan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) yang memiliki fungsi Untuk mempercepat pekerjaan proyek dan menganalisis durasi yang bisa dipersingkat dengan menambahkan biaya pada kegiatan reparasi yang menghasilkan percepatan waktu dan minimum biaya yang paling sesuai.

Penelitian sebelumnya yang menganalisa mengenai penerapan Metode *Time Cost Trade-Off* (TCTO) dan *Project Evaluation and Review Technique* (PERT) menghasilkan percepatan pengerjaan 16% yaitu 4 hari lebih cepat dari durasi normal 24 hari kerja menjadi 20 hari kerja dengan penambahan jumlah biaya sebesar 0,41% sebanyak Rp 900.000 dari biaya normal Rp 213.450.000 menjadi Rp 214.350.000 [4].

Merujuk pada penelitian sebelumnya mengenai percepatan waktu dengan menggunakan metode *Critical Path Method* menghasilkan waktu percepatan sebanyak 15 hari dari durasi normal 119 hari menjadi 104 hari dengan biaya normal Rp 30.901.500 menjadi Rp 26.037.000 yang mana dapat menghemat biaya sebesar Rp 4.864.500 [5].

Menurut penelitian yang mengevaluasi pembangunan dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* didapatkan durasi awal proyek semula 114 hari berubah menjadi 93 hari yang menghemat waktu sebanyak 21 hari dengan penambahan biaya sebanyak Rp 28.953.213 dari yang semula nya Rp 2.618.449.000 menjadi Rp 2.647.402.213 [6].

Berdasarkan penelitian sebelumnya yang melakukan percepatan menggunakan metode *Critical Path Method* dan *Project Evaluation and Review Technique* dijelaskan bahwa proyek selesai dalam waktu 23 hari dari yang semula nya 30 hari yang mana lebih cepat 6 hari dari durasi normal proyek dengan penambahan jam kerja selama 4 jam dan peningkatan biaya sebesar Rp 750.000 dari biaya awal Rp 64.350.000 menjadi Rp 65.100.000 [7].

Tujuan dari penelitian ini dikarenakan kurangnya penelitian yang membahas mengenai penggabungan antara metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO) dalam manajemen proyek, maka dari itu penelitian ini akan melakukan penjadwalan ulang dengan menggabungkan dua metode tersebut. Metode CPM dan TCTO dipilih karena keduanya secara langsung fokus pada penjadwalan dan biaya, yang sangat relevan dengan masalah keterlambatan dalam proyek reparasi. CPM membantu mengidentifikasi aktivitas kritis, sedangkan TCTO memberikan solusi optimal dengan mempertimbangkan biaya percepatan. Meskipun ada metode lain seperti *Project Evaluation Review Technique*, *Earn Value Management*, *Critical Chain Project Method* atau *Fast Tracking*. Metode CPM dan TCTO lebih tepat karena memberikan kombinasi terbaik antara analisis waktu dan biaya untuk rescheduling dan percepatan proyek.

2. Metode dan Bahan

2.1 Objek Penelitian

Penelitian ini menganalisis dua proyek kapal reparasi KM. Kendhaga Nusantara 4 dan TB. Sorowako Star yang direparasi di PT. Dok Bahari Nusantara dengan nomor IMO 9854650 dan 8737154 dengan ukuran utama yang ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

Dimensi	KM. Kendhaga	TB. Sorowako
	Nusantara 4	Star
<i>Ship Type</i>	<i>Container Vessel</i>	<i>Tug Boat</i>
LOA	74,05 m	27,0 m
<i>Breadth</i>	17,20 m	7,5 m
<i>Depth</i>	4,9 m	3,6 m
<i>Gross Tonnage</i>	1,789 ton	181 ton

Proyek reparasi ini dilaksanakan di *graving dock* yang sama dengan pengerjaan di waktu yang berbeda. Galangan kapal ketika penyusunan *schedule* masih dilakukan terpisah yakni satu *schedule* untuk satu pengerjaan proyek reparasi yang mengakibatkan kurangnya efisiensi alokasi tenaga kerja di setiap bengkel terhadap sebuah proyek yang mengakibatkan seringnya terjadi keterlambatan pada suatu pekerjaan proyek. Dengan adanya permasalahan diatas maka penelitian ini akan menggabungkan dua *schedule*

reparasi kapal dengan *microsoft project* berbasis *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO) dengan tujuan meningkatkan efektivitas dan efisiensi pekerjaan galangan dalam melakukan sebuah proyek reparasi.

2.2 Metode *Critical Path Method* dan *Time Cost Trade Off*

Tahap pengolahan dalam penelitian dimulai dengan pengumpulan data. Kemudian dilakukan analisis dan pembuatan *network diagram* menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) untuk menghasilkan lintasan kritis yang pengerjaannya dibantu *software Microsoft Project*. Metode ini membantu dalam perencanaan jadwal yang direncanakan untuk membantu dalam pelaksanaan proyek.

Berdasarkan penerapan *Time Cost Trade Off* (TCTO) untuk penyesuaian yang optimal antara durasi, penambahan sumber daya, dan biaya proyek. Tujuan dari TCTO sendiri untuk meminimalkan durasi proyek awal yang telah diidentifikasi melalui analisis jalur kritis untuk memenuhi tenggat waktu tertentu sekaligus meminimalkan biaya proyek secara langsung maupun tidak langsung.

2.3 Langkah Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan pengelompokan jenis aktivitas (*Work Breakdown Structure*) bertujuan untuk mendapatkan garis besar proyek yang berisi tahapan pelaksanaan proyek. Metode CPM digunakan untuk menyusun *schedule* berdasarkan *repair list* agar mendapatkan lintasan kritis. Lalu, percepatan dilaksanakan pada proses pekerjaan di jalur kritis dengan menerapkan metode *crashing project* untuk mendapatkan durasi yang minimum. Dari hasil *crashing project* dapat menghasilkan nilai *crash duration* yang digunakan untuk mendapatkan nilai percepatan. Setelah itu hasil nilai dari *crash duration* digunakan untuk menemukan nilai *crash cost* dan *cost slope* pada pekerjaan yang terletak di jalur kritis.

2.3.1 Produktivitas Harian

Perhitungan produktivitas harian normal dilakukan pada pekerjaan yang berada di jalur kritis, yaitu aktivitas yang memiliki dampak langsung terhadap jadwal proyek. Pekerjaan di jalur kritis ini berisiko tinggi menyebabkan keterlambatan, sehingga penting untuk memastikan produktivitasnya agar proyek selesai sesuai rencana tanpa penundaan. Untuk menentukan waktu yang diperlukan perhitungan yang menggunakan rumus:

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

2.3.2 *Crashing Project*

Strategi percepatan adalah metode yang digunakan untuk mempercepat durasi pelaksanaan proyek, sehingga memungkinkan penyelesaian lebih cepat dari jadwal normal. Pendekatan ini efektif untuk

mengurangi risiko keterlambatan, memastikan proyek selesai tepat waktu, dan meningkatkan efisiensi. Dalam penelitian ini, alternatif percepatan yang digunakan meliputi, penambahan sumber daya seperti jam kerja (lembur) dan tenaga kerja.

1) Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Penambahan jam kerja lembur sering diterapkan untuk memaksimalkan penggunaan sumber daya yang sudah tersedia di lapangan. Biasanya, waktu kerja normal bagi pekerja adalah 8 jam per hari (08.00 – 17.00) dengan satu jam istirahat (12.00 – 13.00). Namun, penambahan durasi jam kerja lembur dapat mengakibatkan penurunan produktivitas. Nilai produktivitas setelah percepatan dengan penambahan jam kerja lembur dihitung menggunakan rumus:

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

Istilah yang digunakan dalam analisis ini adalah PPJK (Produktivitas Penambahan Jam Kerja), PHN (Produktivitas Harian Normal), PJN (Produktivitas Per Jam), Koef. PP (Koefisien Pengurangan Produktivitas), dan DJL (Durasi Jam Lembur).

2) Penambahan Tenaga Kerja

Durasi pelaksanaan proyek dapat dipercepat dengan meningkatkan jumlah tenaga kerja yang terlibat, serta mengoptimalkan produktivitas harian melalui penambahan jam kerja lembur. Dengan metode ini, pekerjaan dapat diselesaikan lebih cepat sehingga proyek dapat memenuhi atau bahkan melampaui target waktu yang telah ditetapkan. Dapat dihitung dengan rumus :

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

Besar nilai peningkatan produktivitas harian dengan penambahan tenaga kerja didapatkan dengan rumus :

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

Istilah tersebut meliputi PPTK (Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja), TKP (Tenaga Kerja Percepatan), dan TKN (Tenaga Kerja Normal).

2.3.3 *Crash Duration*

Crash duration adalah waktu terpendek yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek setelah penerapan metode percepatan. Penerapan teknik percepatan pada pekerjaan kritis dapat meningkatkan produktivitas dan memungkinkan penyelesaian proyek lebih cepat dari jadwal awal. Persamaan untuk menghitung besar nilai *crash duration* adalah :

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Percepatan}} \quad (5)$$

2.3.4 *Crash Cost*

Total biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu proyek pada tiap item pekerjaan setelah dilakukan percepatan [8]. Alternatif percepatan yang digunakan mencakup penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan jumlah tenaga kerja pada jalur kritis. Besar nilai *crash cost* dapat diketahui dengan rumus :

$$CC = CCPH \times CD \times JTK \quad (6)$$

Dalam analisis ini, CC (Crash Cost), CCPH (Crash Cost Pekerja Perhari), CD (Crash Duration), dan JTK (Jumlah Tenaga Kerja).

2.3.5 Cost Slope

Cost slope adalah jumlah biaya tambahan yang diperlukan untuk mengurangi durasi setiap pekerjaan dalam proyek. Ini mengukur biaya tambahan per unit waktu yang diperlukan untuk mempercepat penyelesaian pekerjaan, membantu manajer proyek dalam membuat keputusan tentang percepatan dan anggaran. Nilai *cost slope* dapat dihitung dengan :

$$Cost\ Slope = \frac{CC - NC}{ND - CD} \quad (9)$$

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Penyusunan Urutan Aktivitas

Penyusunan rangkaian aktivitas bertujuan untuk mengidentifikasi dan menentukan prioritas pekerjaan yang harus diselesaikan terlebih dahulu berdasarkan hubungan antara *Predecessor* dan *successor*. *Predecessor* adalah pekerjaan yang perlu diselesaikan sebelum kegiatan tertentu bisa dimulai. Sebaliknya, *successor* adalah pekerjaan yang bisa dimulai hanya setelah kegiatan terkait selesai. Dengan memahami dan mengatur urutan pekerjaan berdasarkan hubungan ini, kita dapat merencanakan dan mengelola proyek dengan lebih efisien, memastikan bahwa setiap tahap proses berjalan sesuai jadwal dan tidak ada hambatan yang mengganggu alur kerja. Hal ini juga membantu dalam mengalokasikan sumber daya dengan lebih tepat dan mengurangi risiko penundaan proyek [9]. Terdapat berbagai istilah dalam hubungan antar aktivitas yang mempermudah dalam menentukan ketergantungan antara satu aktivitas dengan aktivitas lainnya. Istilah-istilah ini meliputi:

1. *Start to start* (SS) : Pekerjaan *predecessor* dimulai bersamaan dengan pekerjaan *successor*.
2. *Finish to start* (FS) : Pekerjaan *predecessor* selesai kemudian baru dimulai pekerjaan *successor*.
3. *Start to finish* (SF) : Pekerjaan *successor* dimulai bersamaan dengan selesainya pekerjaan *predecessor*.
4. *Finish to finish* (FF) : Pekerjaan *predecessor* selesai bersamaan dengan selesainya pekerjaan *successor*.

Pemahaman dan penerapan hubungan ketergantungan ini sangat penting dalam manajemen proyek untuk memastikan urutan pekerjaan yang efisien dan terstruktur, menghindari penundaan, dan menjaga alur kerja proyek tetap lancar.

Berdasarkan analisis yang di ambil, penyusunan kegiatan dilakukan dengan bantuan *software Microsoft Project*, sehingga menghasilkan identifikasi kegiatan kritis pada proyek reparasi KM. Kendhaga Nusantara 4 dan TB. Sorowako Star. *Microsoft Project* adalah perangkat lunak manajemen proyek yang dirancang untuk membantu manajer proyek dalam berbagai aspek, termasuk mengembangkan rencana, menetapkan sumber daya, memantau progres, mengelola anggaran, dan menganalisis beban kerja. Dengan fitur-fitur ini, *Microsoft Project* memungkinkan manajer proyek untuk mengatur dan mengendalikan semua aspek proyek secara efektif, memastikan bahwa setiap tahap dilaksanakan sesuai dengan jadwal dan anggaran yang telah ditetapkan.

3.2 Analisis Lintasan Kritis

Lintasan kritis adalah jalur yang terdiri dari pekerjaan yang harus didahulukan sesuai dengan urutan pekerjaan yang telah direncanakan. Untuk mengidentifikasi pekerjaan yang termasuk dalam jalur kritis, perlu dilakukan perhitungan maju dan mundur. Melalui perhitungan ini, kita bisa mendapatkan nilai-nilai penting seperti ES (Early Start Time), EF (Early Finish Time), LS (Latest Allowable Start Time), dan LF (Latest Allowable Finish Time) [10]. Nilai-nilai ini membantu dalam mengidentifikasi pekerjaan yang tidak boleh tertunda tanpa mempengaruhi jadwal keseluruhan proyek, serta memastikan bahwa semua pekerjaan dilakukan tepat waktu agar proyek dapat diselesaikan sesuai rencana yang bisa dilihat di tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan *Network Diagram* Lintasan Kritis

No Pekerjaan	EF	LF	TF
1	1	1	0
2	10	10	0
3	11	11	0
4	30	30	0
5	20	20	0
6	30	30	0
7	12	12	0
8	18	18	0
9	18	18	0
10	17	17	0
11	20	20	0
12	30	30	0
13	30	30	0

14	13	13	0
15	17	17	0
16	22	22	0
17	39	39	0

. Berdasarkan tabel 2. Nilai *slack time* setiap pekerjaan dapat dihitung jika semua data yang diperlukan sudah diketahui. Pekerjaan dengan *slack time* = 0 termasuk dalam lintasan kritis. Dalam proyek kapal KM. Kendhaga Nusantara 4

3.3 Menghitung Produktivitas Harian

Penelitian ini, fokus utama adalah menghitung produktivitas harian untuk mengatasi keterlambatan pada proyek reparasi kapal KM. Kendhaga Nusantara 4 dan TB. Sorowako Star Metode yang digunakan adalah *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO), yang bertujuan untuk mempercepat jadwal proyek dan meminimalisir dampak keterlambatan.

Hasil dari perhitngan produktivitas harian normal pekerjaan pada lintas kritis dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Produktivitas Harian Normal Lintasan Kritis

No Pekerjaan	Volume Pekerjaan	Durasi (hari)	Prod. Harian
1	1 kali	1	1
2	14 hari	10	1,4
3	1 hari	1	1
4	20 hari	20	1
5	8 jam	20	0,4
6	1 ls	20	0,05
7	1300 m ²	2	650
8	2 unit	18	0,1
9	3 unit	18	0,167
10	100 m	5	20
11	2 unit	7	0,286
12	1 ls	20	0,05
13	1 Ls	20	0,05
14	1 kali	1	1
15	500 mm	1	500
16	14 pcs	8	1,75
17	2 unit	25	0,08

Berdasarkan tabel 3. Hasil perhitungan produktivitas harian disusun sesuai dengan nama pekerjaan urutan yang telah ditetapkan.

3.3. Alternatif Percepatan

1) Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Penelitian ini melakukan penambahan jam kerja dengan menambahkan waktu kerja selama 2 jam dan

4 jam. Tujuannya adalah untuk mengukur perubahan dalam produktivitas harian dan efisiensi penyelesaian proyek. Serta untuk mengevaluasi bagaimana percepatan ini dapat mempengaruhi durasi proyek dan mengurangi keterlambatan. Dapat dilihat pada tabel 4. Nilai koefisien penurunan produktivitas.

Tabel 4. Koefisien Penurunan Produktivitas

Jam Lembur	Penurunan Indeks Produktivitas	Prestasi Kerja (%)
1 Jam	0,1	90
2 Jam	0,2	80
3 Jam	0,3	70
4 Jam	0,4	60

Nilai koefisien penurunan produktivitas dapat dilihat pada tabel 4. Hasil perhitungan produktivitas setelah penambahan jam kerja (lembur) 2 dan 4 jam dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Perhitungan Produktivitas Setelah Penambahan Jam Kerja (Lembur) Selama 2 dan 4 jam

No Pekerjaan	Produktivitas Penambahan Jam Kerja	
	2 Jam	4 Jam
1	1.2	1.3
2	1.68	1.82
3	1.2	1.3
4	1.2	1.3
5	0.48	0.52
6	0.06	0.07
7	780	845
8	0.13	0.14
9	0.2	0.22
10	24	26
11	0.34	0.37
12	0.06	0.07
13	0.06	0.07
14	1.2	1.3
15	600	650
16	2.1	2.28
17	0.1	0.1

Berdasarkan tabel 5. perhitungan produktivitas di atas, terdapat peningkatan produktivitas dengan setiap penambahan jam kerja lembur.

2) Penambahan Tenaga Kerja

Penambahan tenaga kerja pada proyek reparasi kapal KM. Kendhaga Nusantara 4 dan TB. Sorowako Star. Dengan menggunakan metode *Critical Path Method*

(CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO) menghasilkan peningkatan produktivitas dan mengurangi durasi proyek. Hasil menunjukkan bahwa penambahan tenaga kerja efektif dalam mengurangi keterlambatan dan memastikan penyelesaian proyek tepat waktu. Nilai produktivitas setelah penambahan tenaga kerja masing-masing pekerjaan dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Berdasarkan Peningkatan Produktivitas Jam Lembur 2 dan 4 Jam

No Pekerjaan	Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja	
	2 Jam	4 Jam
1	1.2	1.3
2	1.68	1.82
3	1.2	1.3
4	1.2	1.3
5	0.6	0.52
6	0.08	0.07
7	780	845
8	0.13	0.14
9	0.2	0.22
10	24	26
11	0.34	0.37
12	0.08	0.07
13	0.06	0.07
14	1.2	1.3
15	750	650
16	2.1	2.28
17	0.1	0.1

Berdasarkan tabel 6. Penelitian ini, produktivitas tenaga kerja pada berbagai pekerjaan menunjukkan variasi antara durasi 2 jam dan 4 jam.

3.5 Crash Duration

Penerapan *crash duration* dengan penambahan tenaga kerja dan jam kerja (lembur) menghasilkan beberapa kegiatan kritis yang berhasil dipercepat. Nilai *crash duration* pada setiap pekerjaan dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Hasil perhitungan *Crash Duration*

No Pekerjaan	<i>Crash Duration</i> (Hari)	
	2 Jam	4 Jam
1	1	1
2	4	4
3	1	1
4	8	8

5	7	8
6	7	8
7	1	1
8	7	7
9	7	7
10	2	2
11	3	3
12	7	8
13	8	8
14	1	1
15	1	1
16	4	4
17	10	10

Berdasarkan tabel 7. mengenai *crash duration* pada proyek reparasi kapal KM. Kendhaga Nusantara 4 dan TB. Sorowako Star, dapat dilihat bahwa sebagian besar pekerjaan memiliki durasi percepatan yang sama antara durasi kerja 2 jam dan 4 jam.

3.6 Crash Cost

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

Biaya upah lembur pekerja harus dihitung dengan cermat, mengikuti ketentuan yang berlaku, khususnya sesuai dengan Peraturan Pemerintah No. 35/2021 Pasal 31. Peraturan ini menyatakan bahwa perusahaan yang mempekerjakan pekerja melebihi jam kerja yang ditetapkan dalam Pasal 21 ayat (2) wajib membayar upah lembur sesuai dengan ketentuan yang telah ditetapkan oleh peraturan tersebut [11]:

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

2) *Crash Cost* Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

penelitian ini, dilakukan evaluasi terhadap efektivitas penambahan tenaga kerja sebagai strategi untuk mencapai *crash duration*. Total *Crash Cost* penambahan jam kerja dan tenaga kerja dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan Total *Crash Cost* Penambahan Jam Kerja dan Tenaga Kerja.

No Pekerjaan	<i>Crash Cost</i> Total (Rp)	
	2 Jam	4 Jam
1	1.250.000	1.725.000
2	3.000.000	4.140.000
3	1.250.000	1.725.000
4	6.000.000	8.280.000

5	4.130.000	5.520.000	11	-600.000	-30.000
6	4.130.000	5.520.000	12	-143.846	-40.000
7	2.500.000	3.450.000	13	-416.667	-100.000
8	7.000.000	9.660.000	14	0	0
9	5.250.000	7.245.000	15	0	0
10	2.000.000	2.760.000	16	-150.000	135.000
11	6.000.000	8.280.000	17	-333.333	-80.000
12	4.130.000	5.520.000			
13	10.000.000	13.800.000			
14	1.250.000	1.725.000			
15	590.000	690.000			
16	3.000.000	4.140.000			
17	10.000.000	13.800.000			

Berdasarkan tabel 8. jika nilai *crash cost* dari kedua alternatif yang digunakan sudah diketahui, maka total biaya *crash cost* dapat dihitung dengan menjumlahkan nilai dari alternatif penambahan jam kerja (lembur) dan alternatif penambahan tenaga kerja.

3.7 Cost Slope

Aktivitas dengan *cost slope* tertinggi menunjukkan bahwa percepatan aktivitas tersebut memerlukan biaya tambahan yang lebih tinggi per unit waktu. Sebaliknya, aktivitas dengan *cost slope* rendah lebih ekonomis untuk dipercepat jika diperlukan.

Nilai *cost slope* pada tiap pekerjaan dengan alternatif penambahan jam kerja dan tenaga kerja dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Perhitungan Total *Cost Slope*

No Pekerjaan	<i>Cost Slope</i> (Rp)	
	2 Jam	4 Jam
1	0	0
2	-250.000	-60.000
3	0	0
4	-250.000	-60.000
5	-143.846	-40.000
6	-143.846	-40.000
7	-500.000	450.000
8	-345.455	-103.636
9	-259.091	-77.727
10	-333.333	-80.000

Tabel 10. Perhitungan Hasil Durasi, Biaya dan Tenaga Kerja

Penambahan Jam Lembur	Durasi (Hari)	Penambahan Tenaga Kerja (Orang)	Biaya (Juta)	Pengurangan Biaya (Juta)
0 Jam (Normal)	55	0	Rp 393	Rp 0

Berdasarkan tabel 9. Menghasilkan bahwa percepatan durasi pekerjaan ini melalui penambahan tenaga kerja dapat mengurangi biaya secara efektif, terutama pada durasi kerja 2 jam.

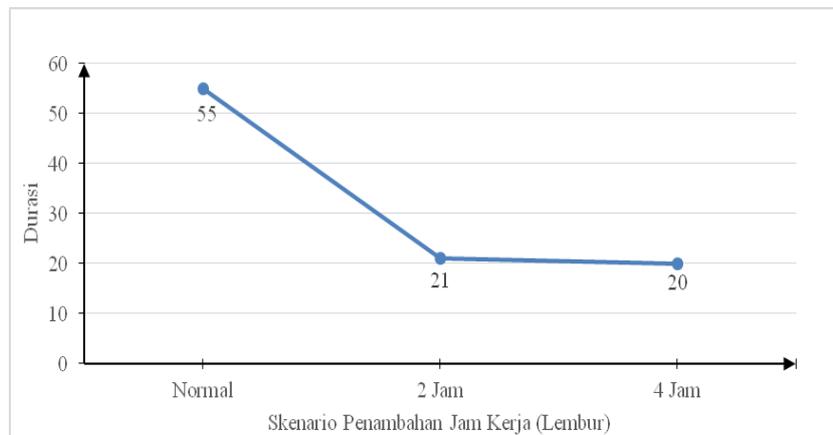
Hasil ini mengindikasikan bahwa tidak semua aktivitas dalam proyek ini dapat dipercepat secara efisien dengan penambahan tenaga kerja, dan oleh karena itu, metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO) perlu diterapkan secara selektif untuk mengoptimalkan keseimbangan antara biaya dan waktu dalam penyelesaian proyek.

3.8 Analisa Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*

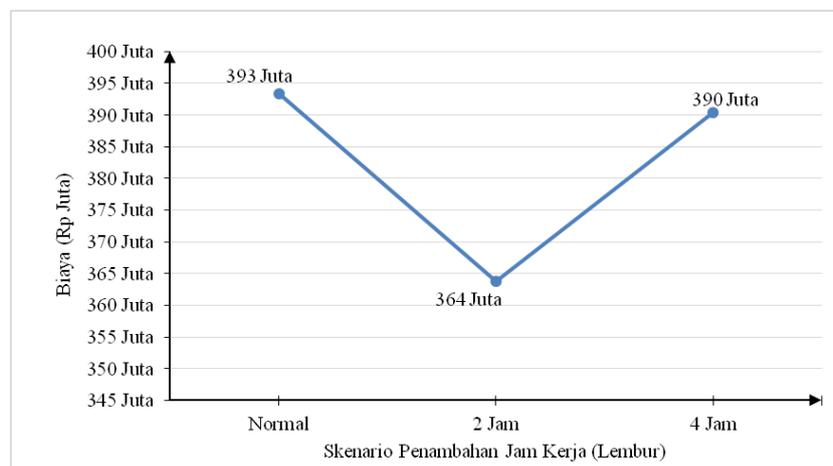
Hasil analisis *Time Cost Trade Off* (TCTO) dengan menerapkan penambahan jam kerja (lembur) dan peningkatan tenaga kerja pada jalur lintasan kritis menunjukkan dampak signifikan terhadap percepatan penyelesaian dan pengurangan biaya proyek. Strategi ini terbukti lebih efisien dibandingkan metode konvensional, menegaskan pentingnya pendekatan adaptif dalam pengelolaan proyek, khususnya saat menghadapi keterlambatan.

Penambahan jam kerja selama 2 jam, bersama dengan peningkatan jumlah tenaga kerja, berhasil mempercepat waktu pengerjaan proyek sebesar 34 hari, mengurangi durasi dari 55 hari menjadi 21 hari. Langkah ini memberikan efisiensi waktu sebesar 62% serta pengurangan biaya sebesar Rp 29.470.000, yang setara dengan sekitar 7,5% dari biaya durasi normal. Sebagai perbandingan, penambahan jam kerja selama 4 jam, dengan peningkatan tenaga kerja yang sama, mempercepat proyek sebesar 35 hari, menurunkan durasi dari 55 hari menjadi 20 hari. Meskipun efisiensi waktu meningkat menjadi 64%, pengurangan biaya hanya mencapai Rp 2.970.000, atau sekitar 0,7% dari biaya durasi normal. Bisa dilihat untuk hasil perhitungan hasil durasi, biaya, dan tenaga kerja pada tabel 10. serta perbandingan durasi normal dan setelah percepatan pada gambar 1.

2 Jam	21	16	Rp 364	Rp 29
4 Jam	20	21	Rp 390	Rp 2



Gambar 1. Grafik Perbandingan Durasi Normal dan Setelah Percepatan



Gambar 2. Grafik Perbandingan Biaya Normal dan Setelah Percepatan

Berdasarkan gambar 2. hasil perhitungan biaya dan durasi dari kedua alternatif di atas, rata-rata durasi setelah percepatan adalah 20,5 hari dengan rata-rata biaya sebesar Rp 377.080.000. Oleh karena itu, mengacu pada tabel (*crash cost*) alternatif percepatan yang paling optimal adalah penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja (lembur) selama 4 jam karena durasi dan biayanya berada di bawah rata-rata.

4. Kesimpulan

Hasil dari penelitian ini analisis dan perhitungan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* yang dilakukan pada proyek reparasi KM. Kendhaga Nusantara 4 dan TB. Sorowako Star dapat disimpulkan bahwa berdasarkan nilai rata-rata perhitungan kedua alternatif penambahan jam kerja dan tenaga kerja selama 2 dan 4 jam, nilai rata-rata waktu percepatan yang ada adalah 20,5 hari, dengan pengurangan biaya sebesar Rp. 377.080.000.

Dari hasil analisis rata-rata, diperoleh bahwa alternatif paling optimal antara penambahan jam kerja lembur

selama 2 dan 4 jam adalah dengan menambah jam kerja sebanyak 4 jam dan menambah tenaga kerja sebanyak 4 jam dan menambah tenaga kerja sebanyak 21 orang. Pendekatan ini terbukti menghasilkan durasi proyek yang paling efisien tanpa mengorbankan biaya, yaitu mempercepat durasi dari 55 hari menjadi 20 hari, dengan peningkatan efisiensi waktu sebesar 64%. Selain itu, strategi ini juga menghasilkan pengurangan biaya sebesar Rp 2.970.000, atau sekitar 0,7%, dari biaya normal sebesar Rp 393.300.000 menjadi Rp 390.330.000.

Daftar Pustaka

- [1] M. Mustholiq, "Manajemen Perawatan Kapal," CV. Oxy Consultant, 2019.
- [2] M. Rivki, A. M. Bachtiar, "Teknologi Reparasi Kapal," IKAPI, 2023.
- [3] J. Thoengsal, "Metode Optimalisasi Penjadwalan Pelaksanaan Proyek Konstruksi Menggunakan Metode Critical Path Method (CPM)," CV. Tohar Mulia, 2022.

- [4] M. F. K. Amrullah, U. Budiarto and A. F. Zakki, "*Penjadwalan Proyek Reparasi Kapal Tugboat Selat Legundi II-206 Dengan Metode Time Cost Trade-Off (TCTO) dan Project Evaluation And Review Technique (PERT)*," Jurnal Teknik Perkapalan, vol. 11, no. 1, 2023.
- [5] A. G. Mahardika, H. Fadriani, Muntiyono, S. Afiyah and G. D. Ramady, "*Analysis of Time Acceleration Costs in Level Building Using Critical Path Method*," Institute of Physics, 2019.
- [6] L. A. Juniarta, Kustamar and S. Aziz, "*Evaluation Of Construction Implementation On Warehouse Receipt Building Using Time Cost Trade-Off Analysis Method (Case Study of Warehouse Building Project at Tumpang, Indonesia)*," ITN Malang, 2017.
- [7] M. F. Rasidi, G. Rindo, and S. Jokosisworo, "*Analisa Percepatan Project (Project Crashing) Pada Perbaikan Kapal TB. Dermaga Mawar Kencana Menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Project Evaluation and Review Technique (PERT)*," Jurnal Teknik Perkapalan, 2024.
- [8] H. B. Ibrahim, "*Rencana dan Estimate real of Cost*," Bumi Aksara, 2001.
- [9] H. Rani, "*Manajemen Proyek Konstruksi*," Universitas Muhammadiyah 2016.
- [10] I. Soeharto, "*Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)*," IKAPI, 1999.
- [11] Presiden Republik Indonesia, "*Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja, dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja*." Republik Indonesia, 2021.