



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Reschedule Dengan Critical Path Method Pada Reparasi Kapal Mooring Di Galangan Cirebon

Indah Lestari¹⁾, Imam Pujo Mulyatno²⁾, Kiryanto³⁾

¹⁾Laboratorium Kapal-Kapal Kecil dan Perikanan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*e-mail : indahlestarii@student.undip.ac.id

Abstrak

Penelitian proyek reparasi kapal MB. Transko Patin 02 di galangan PT. Dok Bahari Nusantara dilaksanakan dengan durasi 16 hari. Critical Path Method digunakan dalam sistem penjadwalan untuk menyelesaikan penelitian reschedule reparasi MB. Transko Patin 02. Penelitian ini bertujuan guna menghindari keterlambatan yang dapat merugikan pihak galangan dengan memberikan alternatif durasi waktu dan biaya optimal. Analisa percepatan proyek reparasi dilakukan dengan alternatif penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja pada pekerjaan lintasan kritis. Total biaya normal pekerjaan reparasi yang berada pada lintasan kritis Rp 30.360.000,00. Hasil analisa diperoleh percepatan durasi sebesar 31,25% yaitu 5 hari dari durasi normal 16 hari menjadi 11 hari. Pada analisa dengan alternatif jam kerja (lembur) sebesar 45,45% yaitu Rp13.800.000,00 sehingga total biaya menjadi Rp 44.160.000,00. Sedangkan hasil analisa dengan alternatif penambahan tenaga kerja diperoleh pengurangan biaya sebesar 3,03% yaitu Rp 920.000,00 sehingga total biaya menjadi Rp 29.440.000,00. Reschedule dengan alternatif penambahan tenaga kerja menghasilkan durasi dengan biaya lebih efisien dan optimal dari alternatif penambahan jam kerja (lembur).

Kata Kunci : **Reparasi Kapal, Reschedule, Critical Path Method, Percepatan Durasi**

1. PENDAHULUAN

Industri galangan kapal merupakan tempat khusus yang dilengkapi dengan fasilitas untuk menunjang proses pembuatan, perbaikan dan perawatan kapal. Perawatan serta reparasi kapal merupakan unsur penting dalam mempertahankan kondisi yang baik pada kapal agar selalu siap ketika akan beroperasi. Perawatan kapal dilakukan sebagai bentuk usaha untuk mencegah kerusakan serta mempertahankan kualitas kapal sehingga mengakibatkan berkurangnya kemampuan kapal dalam beroperasi.

Penjadwalan atau manajemen dalam perusahaan galangan berperan penting untuk mencegah serta menghadapi keterlambatan pada proyek, dengan menerapkan manajemen proyek yang baik menggunakan *Critical Path Method* pihak galangan kapal diharapkan mampu melaksanakan reparasi kapal dengan waktu penyelesaian yang efektif pada pengerjaan reparasi kapal [1].

Critical Path Method merupakan suatu metode yang memuat rangkaian komponen pekerjaan pada proyek yang menjadi bagian kritis dalam suatu proyek. Metode ini berbentuk jaringan kerja yang digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis pada proyek sehingga dapat memonitoring pekerjaan dan memprediksi waktu penyelesaian pekerjaan dengan durasi tercepat [2].

Pada suatu proyek pekerjaan konstruksi, *Microsoft Project* dapat membantu mengelola manajemen proyek dalam menyusun serta mengembangkan jadwal pekerjaan, menetapkan pengalokasian tenaga kerja, dan mengelola anggaran biaya. Penjadwalan menggunakan CPM dengan *Microsoft Project* dapat mengoptimalkan penjadwalan proyek dengan menghasilkan estimasi durasi dan tenaga kerja paling efisien, sehingga memberikan keuntungan pihak galangan dengan analisis penjadwalan proyek [3].

Pada penelitian yang berjudul "*Project management using Critical Path Method (CPM): A pragmatic study,*" penelitian tersebut meneliti

mengenai penggunaan metode CPM dalam manajemen proyek yang berlangsung di Nigeria, dan menyimpulkan penerapan metode CPM memudahkan dalam melakukan manajemen karena memfokuskan pada kegiatan jalur kritis [4].

CPM berhasil membantu mengevaluasi dan mengidentifikasi rute peti kemas yang optimal antara Asia dan Slovakia. Dalam penelitian ini ditemukan bahwa rute terpendek akan melalui Terusan Suez dan pelabuhan Koper di Slovenia dengan memakan waktu kurang dari 20 hari. Rute termurah namun terpanjang adalah rute yang menuju ke pelabuhan Hamburg [5].

Penelitian pada analisis penjadwalan dan biaya pembangunan KCR-60 (*missile boat*) milik TNI-AL dengan metode jaringan kerja, didapatkan jadwal proyek memiliki 13 aktivitas yang memiliki zero slack atau aktivitas kritis. Adanya percepatan waktu (*Crashing Project*) dengan menambah jam kerja (lembur) selama 1 jam setiap hari pada 21 kegiatan akan mempercepat dan mengurangi durasi penyelesaian proyek, yang semula 414 hari dari penyelesaian aktual pengerjaan pelaksanaan menjadi 363 hari, dengan selisih efektifitasnya adalah 51 hari (lebih efektif). Sedangkan untuk efisiensi biaya, berdasarkan analisis biaya normal pelaksanaan proyek, besarnya Rp. 20.407.094.998, menjadi Rp. 18.410.738.982, sehingga menjadi lebih efisien sebesar Rp. 2.470.548.998 [6].

CPM digunakan dalam industri pembuatan kapal pemasok platform hijau sehingga pengiriman kapal tepat waktu. Kasus keterlambatan pengiriman kapal ditentukan total periode proyek dalam mengurangi kerugian galangan kapal, pendekatan CPM diterapkan pada kapal kompleks dalam penelitian pendekatan metode jalur kritis untuk green platform supply vessel hull construction [7].

Merujuk penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, *Time Acceleration Analysis and Optimal Cost of Hospital Hospital Development Project on Ship Building Using Critical Path Method* menghasilkan crash duration menjadi 412 hari dari durasi awal 450 hari dengan peningkatan cost dan produktivitas [8].

Berdasarkan *Analysis of the Acceleration Time And Optimal Costs of the Shipbuilding Project Specified In the Electrical System With the Critical Path Method* diperoleh hasil berupa crash duration selama 160 hari dari 870 hari dengan lintasan kritis sebanyak 34 aktivitas dengan pengoptimalan biaya dan produktivitas [9].

Analysis of Time Acceleration Costs in Level Building Using Critical Path Method mendapatkan hasil *crash duration* menggunakan CPM dari 119 hari menjadi 104 hari sehingga biaya dan produktivitas meningkat [10].

Pada analisa *reschedule* reparasi kapal KN.KUMBA 470 DWT menggunakan *Critical Path Method* di galangan Semarang, mengalami kemajuan menjadi 41 hari untuk pekerjaan induk dengan 12 aktivitas kritis dan 42 hari untuk pekerjaan tambah dengan 18 aktivitas kritis dari schedule proyek awal 50 hari. Produktivitas sebesar 23,8kg/*Mandays* mengalami kenaikan biaya Rp 384.320.000 sebesar 2,5% untuk pekerjaan induk dan Rp 455.220.000 sebesar 4% untuk pekerjaan tambah [11].

Selain itu studi penjadwalan ulang pekerjaan reparasi pada kapal MV. AWU dengan *network diagram* dan *Critical Path Method*, menghasilkan percepatan durasi lebih pendek 4 hari yang semula 20 hari menjadi 13 hari dengan penambahan tenaga pekerja 35 orang menjadi 55 orang. Produktivitas sebesar 31,61kg/orang dalam satu hari dengan biaya produktivitas Rp 4.560/kg. Setelah penambahan jumlah tenaga kerja sebanyak 10 orang, produktivitas menurun menjadi 29 kg/orang dalam satu hari dan biaya produktivitas menjadi Rp 5.130/kg [12].

Pada optimalisasi *repair schedule* KN PANAH P.207 menggunakan *Critical Path Method* mempercepat pekerjaan repair terjadi pengurangan durasi proyek 2 hari yang awalnya 30 hari menjadi 28 hari dengan produktivitas difokuskan pada pekerjaan *sandblasting* & pengecatan lambung. Sebelum *crashing* total biaya untuk tenaga kerja *sandblasting* dan pengecatan lambung sebesar Rp 7.020.000, produktivitas 61,02 m² (perorang) dan harga produktivitas Rp 2.131/m². Setelah *crashing* pekerjaan *sandblasting* & pengecatan lambung durasi awal 9 hari menjadi 7 hari dengan penambahan pekerja semula 3 orang menjadi 8 orang, sehingga biaya total Rp 7.280.000 dan produktivitas 58,84 m²/orang dengan harga produktivitas Rp 2.209 / m². Kenaikan harga pekerjaan *sandblasting* dan pengerjaan lambung sebesar 3,6% yaitu Rp 260.000 [13].

Penelitian ini akan menganalisis proyek reparasi kapal MB. Tranko Patin 02 menggunakan *Critical Path Method* sehingga pekerjaan reparasi dapat diselesaikan dengan waktu yang optimal.

Analisis ini bertujuan mendapatkan alternatif durasi dan biaya proyek yang paling efisien. *Crashing* proyek reparasi dilakukan untuk mencari durasi waktu dan biaya optimal sehingga tidak terjadi keterlambatan, dengan memberikan

alternatif penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja pada pekerjaan yang kritis.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Pada penelitian ini akan menggunakan Kapal MB. Transko Patin 02 yang di reparasi pada galangan PT. Dok Bahari Nusantara, dengan menganalisis *main schedule* dan *repair list* sehingga bisa mendapatkan durasi percepatan serta biaya yang optimal.



Gambar 1. Kapal MB. Transko Patin 02

Gambar 1 merupakan gambar kapal MB. Transko Patin 02 ketika melakukan reparasi di galangan PT. Dok Bahari Nusantara, Cirebon, yang memiliki ukuran utama kapal sebagai berikut:

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal

No	Nama	Ukuran
1.	<i>Length Over All</i>	14,00 meter
2.	<i>Breadth</i>	4,20 meter
3.	<i>Height</i>	2,50 meter
4.	<i>Draught</i>	1,00 meter
5.	<i>Gross Tonnage</i>	28 Ton
6.	<i>Speed</i>	8 knot

2.2. Pengolahan Data

Pengelolaan data pada penelitian ini dimulai dengan membuat *network diagram* serta melakukan analisa pada lintasan kritis dan penentuan penggunaan sumber daya yang dianalisis menggunakan *Critical Path Method* dengan bantuan *software Microsoft Project*.

Critical Path Method digunakan untuk mengetahui aktivitas pekerjaan yang berada pada jalur lintasan kritis dalam seluruh rangkaian kegiatan proyek [15]. Berikut langkah-langkah pengelolaan data yang dilakukan pada penelitian ini :

1. Analisa *Schedule* dengan *Microsoft Project*

Merancang *schedule* setelah di percepat dengan menggunakan *software Microsoft Project*, dan pengaplikasian jadwal secara efisien sesuai dengan tempat galangan.

2. Analisa *Network Diagram* Pada *Schedule*

Network Diagram merupakan rangkaian kegiatan yang digunakan dalam menyelesaikan proyek pekerjaan. Jaringan kerja ini disusun berdasarkan urutan kegiatan yang terdapat pada proyek serta hubungan antar kegiatan dan waktu durasi pada setiap pekerjaan [14]. Berdasarkan urutan kegiatan reparasi, maka dapat dibuat rencana *network diagram* dengan memasukan data yang digunakan untuk membuat *schedule* reparasi MB. Transko Patin 02 sehingga rencana *network diagram* sesuai urutan kegiatan. Setelah merancang *network diagram*, maka akan menghasilkan detail sebagai berikut :

a. Diketahui kegiatan kritis.

b. Dihasilkan saat paling cepat terjadinya *Earliest Event Time* (EET) dan saat paling lambat terjadinya *Latest Event Time* (LET) sehingga diketahui *slack*.

c. Dihasilkan jalur lintasan kritis.

3. Analisis Perhitungan Produktivitas Tenaga Kerja

Menghitung produktivitas tenaga kerja berdasarkan sumber data proyek- yaitu volume pekerjaan, jumlah tenaga kerja saat melakukan pekerjaan tersebut, serta durasi dalam menyelesaikan pekerjaan. Lalu dapat dihitung dengan rumus untuk mendapatkan produktivitas tenaga kerja.

4. Analisis Perhitungan *Crashing*

Crashing dilakukan untuk mempersingkat durasi pekerjaan. Pengurangan durasi ini menggunakan *crashing program*. Ada beberapa cara untuk melakukan *crashing*, dalam penelitian ini dengan dua cara yaitu penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja (lembur). Lalu dibandingkan cara mana yang lebih efektif. Adapun langkah langkah yang akan dilakukan adalah :

a. Analisis *Crash Duration*

Crash duration adalah durasi kegiatan setelah dilakukannya *crash* program pada kegiatan pembangunan kapal.

b. Analisis *Crash Cost*

Crash cost adalah besarnya biaya atau upah pekerja yang diperlukan untuk menyelesaikan kegiatan dengan kurun waktu dipercepat.

c. Analisis *Cost Slope*

Cost slope adalah penambahan biaya langsung (*direct cost*) untuk mempercepat suatu aktifitas per satuan waktu.

d. Penentuan durasi waktu dan biaya optimum setelah mengalami percepatan dengan penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data pengerjaan proyek reparasi kapal MB. Transko Patin 02 yang didapatkan dari galangan PT. Dok Bahari Nusantara akan dianalisis dengan menggunakan *Critical Path Method* dan bantuan *software Microsoft Project 2013*, sehingga didapatkan hasil dan pembahasan sebagai berikut:

3.1. Penyusunan Urutan Pekerjaan Reparasi

Penyusunan urutan pekerjaan pada reparasi dilakukan agar reparasi dapat terlaksana sesuai dengan perencanaan *schedule*. Penyusunan aktivitas dilakukan berdasarkan *predecessors*. *Predecessors* merupakan kegiatan yang dilakukan sebelum kegiatan yang bersangkutan terlaksana. *Succesor* merupakan kegiatan yang dilakukan setelah kegiatan yang bersangkutan terlaksana. Keterkaitan antar kegiatan pada dinyatakan dalam *Finish to Start (FS)* dan *Start to Start (SS)* dengan *lag time*. Keterkaitan *lag time* dengan antar aktivitas berguna agar durasi waktu pengerjaan proyek lebih efisien.

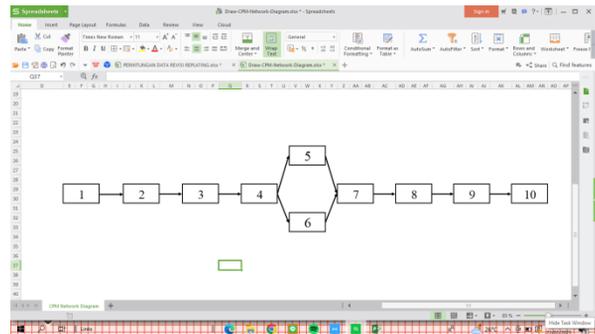
Identifikasi dan penyusunan urutan pekerjaan merupakan langkah pertama yang dilakukan agar penjadwalan reparasi menggunakan bantuan *software Microsoft Project* menjadi lebih mudah. Penyusunan urutan pekerjaan pada reparasi menggunakan *software Microsoft Project 2013* dapat dilihat pada gambar 2.

Task Name	Durasi	Start	Finish
Proyek Kapal MB. Transko Patin 02	16 days	Mon 15/11/21	Tue 30/11/21
Docking	1 day	Mon 15/11/21	Mon 15/11/21
Undocking	1 day	Tue 30/11/21	Tue 30/11/21
Sea Trial dan Compasseren	1 day	Mon 29/11/21	Wed 01/12/21
II. Perawatan dan Pengecatan	0 days		
Sekrap, Buka Greating dan Water Jetting	1 day	Tue 16/11/21	Tue 16/11/21
Fullblasting Hull	3 days	Wed 17/11/21	Fri 19/11/21
Swepblasting Deck	2 days	Tue 23/11/21	Wed 24/11/21
UT Thickness Gauging	1 day	Sat 20/11/21	Sat 20/11/21
Pengecatan Lambung	3 days	Fri 19/11/21	Sun 21/11/21
Pengecatan Deck	2 days	Wed 24/11/21	Thu 25/11/21
III. Propulsi	0 days		
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller dan Shaft Propeller	7 days	Tue 23/11/21	Mon 29/11/21
Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder dan Rudder Stock	7 days	Tue 23/11/21	Mon 29/11/21
Fabrikasi Shaft Propeller	4 days	Tue 23/11/21	Fri 26/11/21
Ganti Baru Cutlass Bearing	2 days	Fri 26/11/21	Sat 27/11/21
IV. Outfitting	0 days		
Dismantle Zinc Anode dan Dapra	1 day	Mon 15/11/21	Mon 15/11/21
Dismantle, Fabrikasi dan Install Pisang-Pisang Baru	3 days	Mon 15/11/21	Wed 17/11/21
Replating Plat	3 days	Wed 24/11/21	Fri 26/11/21

Gambar 2. Penyusunan Urutan Pekerjaan Reparasi Kapal MB. Transko Patin 02 di *Microsoft Project*

3.2. Network Diagram

Network diagram merupakan suatu rangkaian kegiatan yang digunakan untuk membantu menyelesaikan proyek pekerjaan. Jaringan kerja ini disusun berdasarkan urutan kegiatan yang terdapat pada proyek serta hubungan antar kegiatan dan waktu durasi pada setiap pekerjaan [7].



Gambar 3. *Network Diagram* Jalur Kritis

3.3. Lintasan Kritis

Lintasan kritis adalah rangkaian dari komponen-komponen kegiatan kritis yang apabila pelaksanaannya terlambat akan menyebabkan keterlambatan proyek secara keseluruhan. Penelitian pada proyek reparasi kapal MB. Transko Patin 02 ini terdapat beberapa pekerjaan yang berada pada lintasan kritis, sebagaimana bisa dilihat pada tabel berikut:

Tabel 2. Daftar Pekerjaan pada Lintasan Kritis

No	Nama Pekerjaan	Durasi
1	Docking	1
2	Fullblasting Hull	3
3	Pengecatan Lambung	3
4	Pengecatan Deck	2
5	Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	7
6	Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	7
7	Replating Plat	3
8	Bongkar, Service, Pasang Valve	5
9	Undocking	1
10	Sea Trial dan Compasseren	1

3.4. Perhitungan Produktivitas Harian

Perhitungan produktivitas dilakukan untuk membandingkan produktivitas sebelum dilakukan percepatan dan setelah dilakukan percepatan.

Persamaan perhitungan pada produktivitas harian normal, sebagai berikut:

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi Normal}}$$

Perhitungan produktivitas harian normal pekerjaan pengecatan lambung yang berada di lintasan kritis dengan volume pekerjaan sebesar 124 m² dan durasi normal pekerjaan 3 hari dapat dihitung dengan,

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{124\text{m}^2}{3 \text{ hari}} = 41,33\text{m}^2/\text{hari}$$

Perhitungan produktivitas harian pada pekerjaan yang berada di lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Produktivitas Harian

No	Nama Pekerjaan	Volume	Durasi (Hari)	Prod. Harian
1	Docking	1 kali	1	1,00
2	Fullblasting Hull	124 m ²	3	41,33
3	Pengecatan Lambung	124 m ²	3	41,33
4	Pengecatan Deck	150 m ²	2	75,00
5	Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	6 unit	7	0,86
6	Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	3 unit	7	0,43
7	Replating Plat	89 kg	3	29,67
8	Bongkar, Service, Pasang Valve	4 unit	5	0,80
9	Undocking	1 kali	1	1,00
10	Sea Trial dan Compasseren	1 kali	1	1,00

3.5. Alternatif Percepatan Pengerjaan Proyek

Alternatif percepatan pada pengerjaan proyek merupakan langkah yang dilakukan agar durasi pekerjaan dalam proyek dapat diselesaikan lebih cepat daripada durasi normal pengerjaan proyek yang telah ditentukan guna menghindari kemungkinan terjadinya keterlambatan dalam pengerjaan proyek. Dalam penelitian ini durasi pekerjaan reparasi dipercepat dengan beberapa alternatif percepatan, sebagai berikut :

3.5.1 Alternatif Penambahan Jam Kerja

Penambahan jam kerja (lembur) merupakan salah satu alternatif dalam mempersingkat waktu

penyelesaian proyek reparasi dengan tetap menyesuaikan kebutuhan serta tenaga kerja.

Durasi atau waktu normal pekerja pada proyek ini adalah 8 jam per hari (08.00 – 17.00) dengan waktu istirahat selama 1 jam (12.00-13.00), sedangkan penambahan jam kerja (lembur) selama 4 jam kerja (17.00 – 21.00) setelah durasi kerja normal selesai. Namun, penambahan jam kerja dapat mengakibatkan penurunan produktivitas hingga 60% dari produktivitas jam kerja normal.

Nilai produktivitas harian dengan alternatif percepatan melalui penambahan jam kerja (lembur), sebagai berikut:

$$\text{Prod. Crashing Setelah Penambahan Jam Kerja} = \text{Produktivitas Harian Normal} + (\text{Produktivitas Per jam Normal} \times \text{Koefisien Pengurangan Produktivitas} \times \text{Durasi Jam Lembur})$$

Perhitungan produktivitas *crashing* setelah penambahan jam kerja (lembur) untuk pekerjaan pengecatan lambung dengan produktivitas harian normal 41,33 m²/hari, produktivitas per jam normal 5,17 m²/jam, koefisien penurunan produktivitas 60% dan durasi jam lembur 4 jam sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Setelah Penambahan Jam Kerja} &= \text{Prod. Harian Normal} + (\text{Prod. Per Jam Normal} \\ &\quad \times \text{Koef. Penurunan Produktivitas} \times \text{Durasi Jam} \\ &\quad \text{Lembur}) \\ &= 41,33 + (5,17 \text{ m}^2/\text{jam} \times 0,6 \times 4 \text{ jam}) \\ &= 53,73 \text{ m}^2/\text{jam} \end{aligned}$$

Perhitungan produktivitas *crashing* setelah penambahan jam kerja (lembur) pada aktivitas pekerjaan kritis dapat di lihat pada tabel 4.

Tabel 4. Tabel Perhitungan Produktivitas *Crashing* Setelah Penambahan Jam Kerja(Lembur) pada Aktivitas Pekerjaan Kritis

Nama Pekerjaan	Prod. Harian Normal (m ² /hari)	Prod. PerJam Normal (m ² /jam)	Koef. Penurunan Prod	Durasi Jam Lembur (Jam)	Prod. Crashing Penambahan Jam Lembur (m ² /Hari)
Docking	1,00	0,13	0,6	4	1,30
Fullblasting Hull	41,33	5,17	0,6	4	53,73
Pengecatan Lambung	41,33	5,17	0,6	4	53,73
Pengecatan Deck	75,00	9,38	0,6	4	97,50
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	0,86	0,11	0,6	4	1,11

Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	0,43	0,05	0,6	4	0,56
Replating Plat	29,67	3,71	0,6	4	38,57
Bongkar, Service, Pasang Valve	0,80	0,10	0,6	4	1,04
Undocking	1,00	0,13	0,6	4	1,30
Sea Trial dan Compasseren	1,00	0,13	0,6	4	1,30

sebesar 30% dan tenaga kerja awal 3 orang dapat dihitung dengan,
 Penambahan Tenaga Kerja
 $= 30\% \times \text{Tenaga Kerja Awal}$
 $= 30\% \times 3 \text{ orang}$
 $= 0,9 \approx 1 \text{ Orang}$

Perhitungan penambahan tenaga kerja pada pekerjaan lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 5.

3.5.2 Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Rangkaian pekerjaan yang ada pada suatu proyek memiliki volume pekerjaan yang besar serta durasi pekerjaan yang cukup lama, karena itu dilakukannya alternatif melalui penambahan jumlah tenaga kerja. Dengan adanya penambahan jumlah tenaga kerja diharapkan mampu menghasilkan proyek yang efisien, meningkatkan produktivitas sehingga pekerjaan dapat terselesaikan lebih cepat..

Alternatif penambahan tenaga kerja pada penelitian proyek reparasi kapal MB. Transko Patin 02 diasumsikan dengan penambahan tenaga kerja sebesar 30% dari peningkatan produktivitas harian akibat penambahan jam kerja (lembur).

Persamaan perhitungan peningkatan produktivitas harian normal sebagai berikut:

$$\text{Peningkatan produktivitas harian normal akibat penambahan jam kerja (lembur)} = \frac{(\text{Prod.Setelah Penambahan Jam Kerja} - \text{Prod.Harian Normal}) \times 100\%}{\text{Produktivitas Harian Normal}}$$

Perhitungan peningkatan produktivitas harian normal akibat penambahan jam kerja (lembur) untuk pekerjaan pengecatan lambung yang berada di lintasan kritis dengan produktivitas harian normal sebesar 41,33 m2/hari, produktivitas setelah penambahan jam kerja (lembur) 53,73 m2/hari, tenaga kerja awal orang dapat dihitung dengan,
 Peningkatan produktivitas harian normal akibat penambahan jam kerja

$$= \frac{(53,73 \text{ m}^2/\text{hari} - 41,33 \text{ m}^2/\text{jam})}{41,33 \text{ m}^2/\text{hari}} \times 100\% = 30\%$$

Sehingga penambahan tenaga kerja akibat penambahan jam kerja (lembur) untuk pekerjaan perawatan, pengecatan pada lambung yang berada di lintasan kritis dengan peningkatan prod. harian normal akibat penambahan jam kerja (lembur)

Tabel 5. Penambahan Tenaga Kerja pada Pekerjaan Lintasan Kritis

Nama Pekerjaan	Prod. Harian Normal (m2/Hari)	Prod. Setelah ditambah Jam Lembur (m2/Jam)	Jumlah Tenaga Kerja Awal (Orang)	Peningkatan Prod. Harian normal akibat penambahan jam kerja (Lembur) (%)	Penambahan jumlah Tenaga Kerja (Orang)
Docking	1,00	1,30	0	30%	0
Fullblasting Hull	41,33	53,73	3	30%	1
Pengecatan Lambung	41,33	53,73	3	30%	1
Pengecatan Deck	75,00	97,50	3	30%	1
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	0,86	1,11	6	30%	2
Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	0,43	0,56	6	30%	2
Replating Plat	29,67	38,57	3	30%	1
Bongkar, Service, Pasang Valve	0,80	1,04	3	30%	1
Undocking	1,00	1,30	0	30%	0
Sea Trial dan Compasseren	1,00	1,30	0	30%	0

Persamaan dalam perhitungan produktivitas *crashing* setelah penambahan tenaga kerja:

$$\text{Produktivitas Crashing Setelah Penambahan Tenaga Kerja} = \frac{\text{Prod. Harian Normal} + (\text{Prod. Harian Normal} \times \text{Jumlah Pekerja Percepatan})}{\text{Jumlah Pekerja Normal}}$$

Perhitungan produktivitas *crashing* setelah penambahan tenaga kerja di salah satu aktivitas pekerjaan pengecatan lambung yang berada di

lintasan kritis dengan produktivitas harian normal sebesar 41,33 m²/hari, tenaga kerja awal 3 orang, dan penambahan tenaga kerja 1 orang dapat dihitung dengan,
Produktivitas *crashing* setelah penambahan tenaga kerja

$$= 41,33 \text{ m}^2/\text{hari} + \frac{(41,33 \text{ m}^2/\text{hari} \times 1 \text{ Orang})}{3 \text{ Orang}}$$

$$= 41,33 \text{ m}^2/\text{hari} + 13,78 \text{ m}^2/\text{Hari}$$

$$= 55,11 \text{ m}^2/\text{Hari}$$

Perhitungan produktivitas *crashing* setelah penambahan tenaga kerja pada pekerjaan lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perhitungan Produktivitas Crashing Setelah Penambahan Tenaga Kerja pada Pekerjaan Lintasan Kritis

Nama Pekerjaan	Prod. Harian Normal (m ² /Jam)	Tenaga Kerja Awal (Orang)	Penambahan Tenaga Kerja (Orang)	Prod. Crashing Penambahan Tenaga Kerja (m ² /Jam)
Docking	1,00	0	0	1,00
Fullblasting Hull	41,33	3	1	55,11
Pengecatan Lambung	41,33	3	1	55,11
Pengecatan Deck	75,00	3	1	100,00
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	0,86	6	2	1,14
Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	0,43	6	2	0,57
Replating Plat	29,67	3	1	39,56
Bongkar, Service, Pasang Valve	0,80	3	1	1,07
Undocking	1,00	0	0	1,00
Sea Trial dan Compasseren	1,00	0	0	1,00

3.6. Crash Duration

Alternatif percepatan berdampak dalam peningkatan produktivitas pada kegiatan kritis sehingga durasi pekerjaan proyek lebih singkat daripada sebelumnya. Oleh karena itu, dilakukan perhitungan *crash duration*.

Crash duration merupakan durasi waktu yang diperlukan untuk mempercepat durasi penyelesaian proyek menjadi lebih singkat dari durasi normal proyek.

3.6.1 Crash Duration Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Persamaan perhitungan *crash duration*.

$$\text{Crash Duration} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Crashing}}$$

Perhitungan *crash duration* dengan adanya alternatif penambahan jam kerja (lembur) untuk pekerjaan pengecatan lambung yang berada di lintasan kritis dengan volume pekerjaan sebesar 124 m² dan produktivitas *crashing* setelah penambahan jam lembur 53,73 m²/hari sebagai berikut:

$$\text{Crash Duration} = \frac{124 \text{ m}^2}{53,73 \text{ m}^2/\text{hari}} = 2 \text{ Hari}$$

Perhitungan *crash duration* alternatif penambahan jam kerja (lembur) pada pekerjaan lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 7.

Tabel 7. Perhitungan *Crash Duration* Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur) pada pekerjaan lintasan kritis

Nama Pekerjaan	Volume	Prod. Crash	Crash Duration (Hari)
Docking	1 kali	1,30	1
Fullblasting Hull	124 m ²	53,73	2
Pengecatan Lambung	124 m ²	53,73	2
Pengecatan Deck	150 m ²	97,50	2
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	6 unit	1,11	5
Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	3 unit	0,56	5
Replating Plat	89 kg	38,57	2
Bongkar, Service, Pasang Valve	4 unit	1,04	4
Undocking	1 kali	1,30	1
Sea Trial dan Compasseren	1 kali	1,30	1

3.6.2 Crash Duration Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Perhitungan *crash duration* dengan adanya alternatif penambahan tenaga kerja untuk pekerjaan perawatan, pengecatan pada lambung dan deck yang berada di lintasan kritis dengan volume pekerjaan sebesar 124 m² dan produktivitas *crashing* penambahan tenaga kerja 55,11 m²/hari sebagai berikut:

$$\text{Crash Duration} = \frac{124 \text{ m}^2}{55,11 \text{ m}^2/\text{Hari}} = 2 \text{ Hari}$$

Perhitungan *crash duration* alternatif penambahan tenaga kerja pada pekerjaan lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan *Crash Duration* Alternatif Penambahan Tenaga Kerja pada Lintasan Kritis

Nama Pekerjaan	Volume	Prod. Crash	Crash Duration (Hari)
Docking	1 kali	1,00	1
Fullblasting Hull	124 m ²	55,11	2
Pengecatan Lambung	124 m ²	55,11	2
Pengecatan Deck	150 m ²	100,00	2
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	6 unit	1,14	5
Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	3 unit	0,57	5
Replating Plat	89 kg	39,56	2
Bongkar, Service, Pasang Valve	4 unit	1,07	4
Undocking	1 kali	1,00	1
Sea Trial dan Compasseren	1 kali	1,00	1

3.7. Normal Cost

Normal *cost* atau biaya normal merupakan biaya langsung yang dikeluarkan sebagai upah pekerja pada setiap pekerjaan yang proyek reparasi secara keseluruhan dengan durasi waktu normal, biaya yang akan dianalisa pada penelitian ini merupakan biaya tenaga kerja harian sebesar Rp 230.000,00 dalam proyek reparasi MB. Transko Patin 02 yang berada pada lintasan kritis.

Perhitungan normal *cost* dapat diketahui sebagai berikut :

$$\text{Normal cost} = \text{Normal cost pekerja per hari} \times \text{Normal duration} \times \text{Jumlah Pekerja Normal}$$

Perhitungan normal *cost* untuk pekerjaan pengecatan lambung yang berada di lintasan kritis dengan normal *cost* pekerja per hari sebesar Rp 230.000,00, normal duration 3 hari, dan jumlah pekerja normal 3 orang sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Normal cost} &= \text{Rp } 230.000,00 \times 3 \text{ hari} \times 3 \text{ orang} \\ &= \text{Rp } 2.070.000,00 \end{aligned}$$

Perhitungan normal *cost* pada pekerjaan lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 10.

Tabel 9. Perhitungan Normal *Cost* pada Pekerjaan Lintasan Kritis

Nama Pekerjaan	Tarif Pekerja/Hari	Normal Duration (Hari)	Jumlah Pekerja Normal (Orang)	Normal Cost
Docking	Rp 230.000,00	1	0	Rp 0,00
Fullblasting Hull	Rp 230.000,00	3	3	Rp 2.070.000,00
Pengecatan Lambung	Rp 230.000,00	3	3	Rp 2.070.000,00
Pengecatan Deck	Rp 230.000,00	2	3	Rp 1.380.000,00
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	Rp 230.000,00	7	6	Rp 9.660.000,00
Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	Rp 230.000,00	7	6	Rp 9.660.000,00
Replating Plat	Rp 230.000,00	3	3	Rp 2.070.000,00
Bongkar, Service, Pasang Valve	Rp 230.000,00	5	3	Rp 3.450.000,00
Undocking	Rp 230.000,00	1	0	Rp 0,00
Sea Trial dan Compasseren	Rp 230.000,00	1	0	Rp 0,00

3.8. Crash Cost

Crash cost merupakan besar biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan pekerjaan suatu proyek setelah dilakukan proses percepatan [14].

Perhitungan *crash cost* dilakukan karena adanya penambahan jam kerja (lembur) pada pengerjaan proyek reparasi selama 4 jam serta adanya penambahan pada tenaga kerja di setiap pekerjaan.

3.8.1 Crash Cost Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Perhitungan *Crash Cost* Pekerja Per Hari Akibat Penambahan Jam Kerja (Lembur)

$$= \text{Normal Cost Pekerja Per Hari} + \text{Biaya Lembur Per Hari}$$

Perhitungan *crash cost* per hari yang disebabkan oleh adanya penambahan jam kerja (lembur) pada setiap pekerjaan yang berada di lintasan kritis dengan normal *cost* pekerja per hari sebesar Rp 230.000,00 dan biaya lembur Rp 230.000,00, sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Pekerja Per Hari} \\ &= \text{Rp } 230.000,00 + \text{Rp } 230.000,00 \\ &= \text{Rp } 460.000,00 \end{aligned}$$

$$\text{Crash Cost} = \text{Crash Cost Pekerja Per Hari} \times \text{Crash Duration} \times \text{Jumlah Pekerja Normal}$$

Perhitungan *crash cost* pekerja per hari akibat penambahan jam kerja (lembur) untuk pekerjaan pengecatan lambung yang berada di lintasan kritis dengan *crash cost* pekerja per hari sebesar Rp 460.000,00, *crash duration* 2 hari, dan jumlah pekerja normal 3 orang sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Crash Cost} \\ &= \text{Rp } 460.000,00 \times 2 \text{ Hari} \times 3 \text{ orang} \\ &= \text{Rp } 2.760.000,00 \end{aligned}$$

Perhitungan *crash cost* alternatif penambahan jam kerja (lembur) pada pekerjaan lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 11.

Tabel 10. Perhitungan *Crash Cost* Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur) pada Pekerjaan Lintasan Kritis

Nama Pekerjaan	Crash Cost Pekerja/Hari (Rp/Hari)	Crash Duration (Hari)	Jumlah Tenaga Kerja Normal (Orang)	Crash Cost
Docking	Rp 460.000,00	1	0	Rp 0,00
Fullblasting Hull	Rp 460.000,00	2	3	Rp 2.760.000,00
Pengecatan Lambung	Rp 460.000,00	2	3	Rp 2.760.000,00
Pengecatan Deck	Rp 460.000,00	2	3	Rp 2.760.000,00
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	Rp 460.000,00	5	6	Rp 13.800.000,00

Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	Rp 460.000,00	5	6	Rp 13.800.000,00
Replating Plat	Rp 460.000,00	2	3	Rp 2.760.000,00
Bongkar, Service, Pasang Valve	Rp 460.000,00	4	3	Rp 5.520.000,00
Undocking	Rp 460.000,00	1	0	Rp 0,00
Sea Trial dan Compasieren	Rp 460.000,00	1	0	Rp 0,00

3.8.2 Crash Cost Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Crash Cost akibat Penambahan Tenaga Kerja

$$= \text{Normal Cost Pekerja Per Hari} \times \text{Jumlah Penambahan Tenaga Kerja} \times \text{Crash Duration}$$

Perhitungan *crash cost* penambahan tenaga kerja untuk pekerjaan pengecatan lambung dengan normal *cost* pekerja per hari Rp 230.000,00, jumlah tenaga kerja baru 4 orang, dan *crash duration* 2 hari,

$$\begin{aligned} \text{Crash Cost} &= \text{Rp } 230.000,00 \times 4 \text{ Orang} \times 2 \text{ Hari} \\ &= \text{Rp } 1.840.000,00 \end{aligned}$$

Perhitungan *crash cost* alternatif penambahan tenaga kerja pada pekerjaan lintasan kritis dapat di lihat pada tabel 12.

Tabel 11. Perhitungan *Crash Cost* Alternatif Penambahan Tenaga Kerja pada pekerjaan Lintasan Kritis

Nama Pekerjaan	Normal Cost Pekerja/Hari	Jumlah Tenaga Kerja Baru (Orang)	Crash Duration	Crash Cost
Docking	Rp 230.000,00	0	1	Rp 0,00
Fullblasting Hull	Rp 230.000,00	4	2	Rp 1.840.000,00
Pengecatan Lambung	Rp 230.000,00	4	2	Rp 1.840.000,00
Pengecatan Deck	Rp 230.000,00	4	2	Rp 1.840.000,00
Bongkar, Perawatan dan Pasang Propeller & Shaft Propeller	Rp 230.000,00	8	5	Rp 9.200.000,00
Bongkar, Perawatan dan Pasang Rudder & Rudder Stock	Rp 230.000,00	8	5	Rp 9.200.000,00
Replating Plat	Rp 230.000,00	4	2	Rp 1.840.000,00

Bongkar, Service, Pasang Valve	Rp 230.000,00	4	4	Rp 3.680.000,00
Undocking	Rp 230.000,00	0	1	Rp 0,00
Sea Trial dan Compasseren	Rp 230.000,00	0	1	Rp 0,00

3.9. Hasil Analisa

Hasil analisa data pekerjaan proyek reparasi Kapal MB. Transko Patin 02 dengan menggunakan *Critical Path Methode* (CPM) dalam memperoleh *network diagram*, lintasan kritis, produktivitas harian, produktivitas *crashing*, *crash duration*, dan *crash cost* pada pekerjaan kritis. Selanjutnya melakukan *crashing* proyek guna mendapatkan durasi serta biaya optimal dalam mempercepat durasi pengerjaan proyek.

Percepatan proyek reparasi kapal MB. Transko Patin 02 ini dianalisis dengan alternatif penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja pada pekerjaan kritis yang terdapat pada proyek reparasi.

Durasi percepatan dan biaya optimal yang di peroleh sebagai berikut:

1. Durasi normal dan total biaya normal pada aktivitas pekerjaan kritis sebelum dilakukan percepatan:

Total durasi normal : 16 Hari
Total biaya normal : Rp 30.360.000,00

2. Durasi proyek reparasi setelah percepatan pada aktivitas pekerjaan lintasan kritis.

Total durasi percepatan : 11 Hari
Percepatan durasi : 31,25% (5 Hari)

3. Total biaya setelah analisa percepatan dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) dan alternatif penambahan tenaga kerja pada aktivitas pekerjaan lintasan kritis.

- Alternatif penambahan jam kerja (lembur)
Peningkatan biaya : 45,45%
: Rp13.800.000,00
Total biaya crashing : Rp 44.160.000,00

- Alternatif penambahan tenaga kerja
Pengurangan biaya : 3,03%
: Rp 920.000,00
Total biaya crashing : Rp 29.440.000,00

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian pada pengolahan data proyek reparasi kapal MB. Transko Patin 02 dengan *Critical Path Method* (CPM) ini menghasilkan kesimpulan, sebagai berikut:

1. Hasil *crashing* proyek reparasi dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) dan alternatif penambahan tenaga kerja pada pekerjaan yang berada dalam lintasan kritis memperoleh percepatan durasi sebesar 31,25% yaitu 5 hari dari durasi normal 16 hari menjadi 11 hari.
2. Hasil *crashing* proyek reparasi dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) menghasilkan peningkatan biaya sebesar 45,45% yaitu Rp13.800.000,00 sehingga total biaya menjadi Rp 44.160.000,00.
3. Hasil *crashing* proyek reparasi dengan alternatif penambahan tenaga kerja menghasilkan pengurangan biaya sebesar 3,03% yaitu Rp 920.000,00 sehingga total biaya menjadi Rp 29.440.000,00.
4. *Crashing* proyek dengan alternatif penambahan tenaga kerja pada proyek reparasi kapal MB. Transko Patin 02 menjadi alternatif terbaik dalam penelitian ini karena menghasilkan durasi waktu yang optimal dan biaya proyek yang efisien.



Gambar 3. Hubungan Durasi & Biaya Pada Keadaan Normal dan Setelah *Crashing* Dengan Alternatif Penambahan Jam Kerja (Lembur) dan Penambahan Tenaga Kerja

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Ahola and A. Davies, "Insights for the governance of large projects: Analysis of organization theory and project management: Administering uncertainty in Norwegian offshore oil by Stinchcombe and Heimer, 2012.
- [2] D. Lock, "Manajemen Proyek (Edisi Ketiga)," Diterjemahkan oleh Ir. E. Jasfi M. Sc. Penerbit Erlangga. Jakarta, 1990. Project Management Institute. A guide To

- The Project Management Body of Knowledge: PMBOK (R) Guide, 5th Ed, Pennsylvania. USA: Project Management Institute, 2013, Pages: 589.
- [3] A. F. Setiawan, *Smart Project plan with Microsoft Project*. Jakarta: PT Dian Digital Media, 2008.
- [4] A. M. Aliyu, "Project management using Critical Path Method (CPM): A pragmatic study," *Glob. J. Pure Appl. Sci.*, vol. 18, no. 3–4, pp. 197–206, 2012.
- [5] W. Transport, "The Critical Path Method As the Method for Evaluation and Identification of the Optimal Container Trade Route Between Asia and Slovakia". *Business Logistics in Modern Management*, vol. 0, no. 0, pp. 29–42, 2017.
- [6] A. Ahmadi, S. Suparno, O. S. Suharyo, and A. D. Susanto, "Time Scheduling And Cost Of The Indonesian Navy Ship Development Project Using Network Proposal Tugas Akhir Daftar Pustaka VI-2 Diagram And Earned Value Method (Evm)(Case Study Of Fast Missile Boat Development)," *J. ASRO-STTAL*, vol. 9, no. 2, pp. 87–106, 2018.
- [7] E. Turan, & M. Güner, "A critical path method approach to a green platform supply vessel hull construction". *International Journal of Industrial Engineering: Theory Applications and Practice*, 20(7–8), 515–525, 2013.
- [8] A. Tresnadi, S. Suparno, S. Sutrisno, and W. Kusdiana, "Time Acceleration Analysis and Optimal Cost of Hospital Hospital Development Project on Ship Building Using Critical Path Method (Case Study: Pt. Pal Indonesia (Persero))," *J. ASRO*, vol. 12, no. 01, pp. 137–145, 2021, doi: 10.37875/asro.v12i01.390.
- [9] A. Tresnadi, Suparno, and Sutrisno, "Analysis of the Acceleration Time and Optimal Costs of the Shipbuilding Project Specified in the Electrical System With the Critical Path Method" *J. ASRO*, no. 34, 2020.
- [10] A. G. Mahardika, H. Fadriani, Muntiyono, S. Afyah, and G. D. Ramady, "Analysis of Time Acceleration Costs in Level Building Using Critical Path Method," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1424, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1742-6596/1424/1/012025.
- [11] Y. T. Andhani, I. P. Mulyatno, and A. W. Budi santosa, "Reschedule Reparasi Kapal KN.KUMBA 470 DWT Dengan Critical Path Method Di Galangan Semarang," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 3, Apr. 2020.
- [12] S. Hutapea, I. P. Mulyatno, and P. Manik, "Studi Penjadwalan Ulang Pekerjaan Reparasi Pada Kapal MV. Awu Dengan Network Diagram Dan Critical Path Method (CPM)," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 8, no. 4, 2020.
- [13] F. adha, I. P. Mulyatno, and K. Kiryanto, "Optimalisasi Repair Schedule KN Panah P.207 Dengan Critical Path Method Guna Mempercepat Pengerjaan Repair," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 9, no. 3, Jul. 2021.
- [14] T. H. Ali, *Prinsip-Prinsip Network Planning*, Jakarta: Gramedia, 1989.
- [15] P. MEDIA, "Smart Project plan with Microsoft Project," PT Dian Digital Media, Jakarta, 2008.