



Penerapan *Critical Chain Project Management (CCPM)* dalam Percepatan Proyek Reparasi KT. Selat Legundi II – 206 dengan Variasi Pemotongan *Safety Time*

Syamil Fahmi¹⁾, Imam Pujo Mulyatno²⁾, Ahmad Fauzan Zakki³⁾

Laboratorium Teknologi Material, Las, dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

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

Abstrak

Metode *Critical Chain Project Management (CCPM)* adalah pendekatan manajemen proyek berdasarkan *Theory of Constraints* untuk mengevaluasi durasi proyek dengan mempertimbangkan keterkaitan antar aktivitas, kebutuhan sumber daya, dan lain-lain. Analisa ini menerapkan *buffer* proyek pada rantai jalur kritis untuk mengantisipasi keterlambatan. Pada reparasi KT. Selat Legundi II – 206 durasi normal 24 hari, setelah dianalisa menggunakan metode *CCPM* dengan pemotongan *safety time* sebesar 50% dengan software menjadi 12 hari, biaya tenaga kerja menjadi Rp 67.050.000, yaitu sama dengan biaya normal, tetapi saat *buffer time* 9 hari dikonsumsi, maka terjadi kenaikan harga sebesar 38,3% atau menjadi Rp 92.700.000. Saat dianalisa menggunakan metode *CCPM* dengan pemotongan *safety time* sebesar 20% dengan software menjadi 20 hari, biaya tenaga kerja mengalami kenaikan 14,3% atau menjadi Rp 76.650.000, tetapi saat *buffer time* 4 hari dikonsumsi, maka terjadi kenaikan harga sebesar 31,3% atau menjadi Rp 88.050.000. Kedua metode ini lebih efisien dari segi waktu tetapi mengalami kenaikan dari segi biaya.

Kata Kunci : *Critical Chain Project Management (CCPM)*, *Safety Time*, *Buffer*, *Biaya Tenaga Kerja*

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara maritim yang memiliki banyak potensi alam dan manusia didalamnya [1]. Indonesia juga memiliki lokasi yang strategis yakni di antara tiga samudra dan laut [2]. Ini membuat Indonesia menjadi pusat perdagangan dan perniagaan yang penting.

Untuk memanfaatkan potensi maritimnya, Indonesia perlu mengembangkan ilmu dan teknologi yang berkaitan dengan laut [3]. Ilmu dan teknologi maritim dapat membantu Indonesia memajukan negara dan meningkatkan kesejahteraan rakyatnya. Salah satu aspek penting dalam sektor maritim adalah kapal. Kapal merupakan alat transportasi dan sarana produksi yang mendukung aktivitas ekonomi di laut [3]. Oleh karena itu, Indonesia membutuhkan kapal yang cukup, aman, dan efisien. Kapal juga perlu dirawat dengan baik agar tidak mudah rusak dan dapat beroperasi dengan lancar [4].

Galangan kapal merupakan tempat yang penting untuk membuat, memperbaiki, dan merawat kapal agar tetap aman dan efisien [5]. Galangan kapal juga berperan dalam menjaga performa kapal selama berlayar di lautan. Pemilik kapal lebih sering membutuhkan jasa reparasi dan perawatan kapal daripada pembangunan kapal baru. Mereka akan memilih galangan yang bisa menyelesaikan pekerjaan dengan cepat, berkualitas, dan hemat biaya [6]. Faktor-faktor ini akan mempengaruhi kepuasan pemilik kapal.

Untuk mempercepat proses reparasi kapal, dibutuhkan manajemen proyek yang baik. Salah satu metode yang bisa digunakan adalah *CCPM (Critical Chain Project Management)* yang bisa mengoptimalkan penjadwalan proyek dan menghindari keterlambatan [7]. Metode ini juga bisa menjaga agar proyek selesai sesuai dengan tenggat waktu kontrak. Metode *CCPM* adalah metode manajemen proyek yang dikembangkan oleh Eliyahu M. Goldratt pada 1997 untuk

mengatasi kelemahan metode CPM [8]. Metode CPM memberikan terlalu banyak waktu cadangan pada setiap aktivitas, sehingga pekerja cenderung menggunakan seluruh waktu yang ada atau bahkan menunda pekerjaan sampai batas akhir [9]. Metode CPM juga memiliki masalah lain seperti *multitasking* yang buruk, *student's syndrome*, dan *overestimated activity* [10].

Metode CCPM menggunakan *Theory of Constraints* untuk mengevaluasi durasi proyek dengan mempertimbangkan keterkaitan antar aktivitas, kebutuhan sumber daya, dan cara memperolehnya. Metode ini juga menerapkan *buffer* proyek pada akhir jalur kritis untuk mengantisipasi keterlambatan pada aktivitas-aktivitas penting. Metode CCPM berfokus pada optimalisasi pemanfaatan sumber daya, di mana sumber daya harus fleksibel dan mampu menyesuaikan aktivitas dan jalur aktivitas secara cepat agar proyek selesai tepat waktu sesuai jadwal [11].

Proyek harus selesai sebelum atau tepat waktu, keterbatasan waktu dalam menyelesaikan proyek ini menimbulkan tantangan bagi para pelaksana proyek, karena keberhasilan suatu proyek bergantung pada seberapa cepat proyek tersebut dapat diselesaikan dan hasilnya sesuai yang direncanakan [12]. Mengacu pada studi sebelumnya yaitu analisa produktivitas pada proyek reparasi Geomarin-III 649 DWT, metode CCPM berhasil menyelesaikan reparasi kapal tersebut dalam 10 hari, lebih cepat 10 hari dari durasi normal. Biaya tenaga kerja menjadi Rp 54,017,500, menghemat 35% dari biaya normal sebesar Rp 82,680,000. Tetapi, jika *buffer time* digunakan sepenuhnya, total estimasi biaya tenaga kerja akan meningkat karena perlu menambah tenaga kerja dan *buffer time* selama 9 hari untuk *project buffer* dan 3 hari untuk *feeding buffer* [13].

Selanjutnya di penelitian lain pada percepatan proyek reparasi KM Srikandi Line 767 DWT dengan menggunakan metode CCPM, total durasi proyek menjadi 9 hari termasuk *buffer time* selama 3 hari. Durasi ini lebih singkat daripada perkiraan sebelumnya, yaitu 12 hari. Selain itu, ada penghematan biaya tenaga kerja sebesar 34%, dari biaya awal Rp 103.584.000,00 menjadi Rp 67.875.000,00. Dan penambahan sebesar 9,3% jika *buffer time* digunakan seluruhnya [14]. Dari pembahasan tersebut didapati metode CCPM membuat durasi proyek menjadi lebih singkat serta lebih hemat dari segi biaya. Dengan menerapkan metode ini, diharapkan sebuah proyek dapat diselesaikan tepat waktu dengan penghematan biaya bagi pihak galangan.

Maka dari itu penelitian ini didasarkan pada analisis jadwal reparasi kapal tugboat Selat

Legundi II – 206, sebuah kapal tugboat yang memiliki dimensi panjang 23,50 m dan lebar 7 m. Dalam perencanaan awal, reparasi kapal ini diharapkan dapat selesai dalam waktu 24 hari. Namun, pelaksanaannya mengalami keterlambatan selama 11 hari dari rencana semula. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mempercepat proyek reparasi kapal dengan durasi yang lebih singkat, menghitung biaya tenaga kerja langsung, mencegah kesalahan yang timbul akibat perilaku manusia dan mengestimasi *buffer time* dengan menggunakan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM). Dengan latar belakang tersebut, penulis melakukan penelitian tentang “Penerapan *Critical Chain Project Management* (CCPM) dalam Percepatan Proyek Reparasi KT. Selat Legundi II – 206 dengan Variasi Pematangan *Safety Time*”.

2. METODE

Penelitian ini merupakan proyek reparasi Kapal Tugboat Selat Legundi II – 206 yang dimiliki oleh galangan PT. Dok Bahari Nusantara dengan nomor IMO 8654118. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi *Repair List*, *Main Schedule*, jumlah tenaga kerja dan jam kerja, Biaya tenaga kerja, volume dan bobot setiap pekerjaan dan data ukuran utama KT. Selat Legundi II – 206.



Gambar 1. Kapal Tugboat Selat Legundi II – 206

Tabel 1. *Principal Dimension* Selat Legundi II - 206

No.	<i>Principal Dimension</i>	<i>Measurements</i>
1	<i>Length Over All (LOA)</i>	23,50 m
2	<i>Length Between Perpendiculars (LPP)</i>	21,93 m
3	<i>Breadth (B)</i>	7,00 m
4	<i>Depth (D)</i>	3,10 m
5	<i>Draft (d)</i>	2,40 m
6	<i>Gross Tonnage</i>	129,00 Ton

Penelitian ini menggunakan metode CCPM, yang merupakan pengembangan dari metode CPM. Metode ini bekerja dengan mengoptimalkan para pekerja dan mengganti *safety time* dengan *buffer time*. *Buffer time* yang digunakan ada dua jenis, yaitu *feeding buffer* dan *project buffer*.

Feeding Buffer diletakkan di antara titik kegiatan non-kritis yang bertemu dengan kegiatan kritis. Selain itu, *Project buffer* ditempatkan pada akhir proyek untuk mengantisipasi kemungkinan penundaan dan memastikan kelancaran penyelesaian keseluruhan proyek [15] yang dengan kata lain *project buffer* ditempatkan diakhir jalur kritis. Metode *Root Square Error* (RSEM), digunakan untuk menentukan *project buffer* dan *feeding buffer* dengan dua estimasi durasi aktivitas. Estimasi aman (S) memiliki pengaman cukup untuk mengatasi kemungkinan keterlambatan yang besar, Dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

S_i = waktu aman;

A_i = waktu optimis;

n = banyak aktivitas di rantai kritis

$$2\sigma = 2\sqrt{\left(\frac{S_1-A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2-A_2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_n-A_n}{2}\right)^2} \quad (1)$$

Sedangkan waktu optimis (A) merupakan waktu yang diasumsikan tanpa waktu cadangan, pada penelitian ini waktu optimis akan menggunakan 50% dan 80% dari estimasi aman tersebut.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mendapatkan data, selanjutnya adalah menganalisisnya dengan menggunakan *software microsoft project* untuk mendapatkan hasil dan pembahasan. Hasil dan pembahasan yang diperoleh berdasarkan analisa penelitian ini adalah sebagai berikut.

3.1. Penjadwalan Proyek Dengan Metode *Critical Chain Project Management*

Proses awal dalam perencanaan jadwal proyek reparasi dengan metode CCPM adalah menentukan urutan aktivitas pekerjaan dengan bantuan *software manajemen proyek* seperti *Microsoft Project*. *Software* ini diciptakan untuk mendukung perencanaan proyek seperti membantu menetapkan sumber daya untuk berbagai aktivitas, mengelola anggaran, dan melakukan analisis beban kerja [16].

Task Name	Duratio	Start	Finish	Predecessors
BIAYA	24 days	Sun 29-08-21	Tue 21-09-21	
Fees for Classification, Maritime Authorities and Other Institutions	21 days	Wed 01-09-21	Tue 21-09-21	
Classification (BKI) survey and endorsed certificate entry	1 day	Wed 01-09-21	Wed 01-09-21	7FS-2 days
Classification (BKI) survey and endorsed certificate exit	2 days	Mon 20-09-21	Tue 21-09-21	164FS-1 day
Maritime authorities survey and certificate entry	1 day	Thu 02-09-21	Thu 02-09-21	3
Maritime authorities survey and certificate exit	2 days	Mon 20-09-21	Tue 21-09-21	4FS-2 days
Ultrasonic thickness gauging measurement (UTM), as per SS 3 requirement	2 days	Wed 01-09-21	Thu 02-09-21	138FS-7 days
Dry Docking	22 days	Sun 29-08-21	Sun 19-09-21	
Docking	2 days	Mon 30-08-21	Tue 31-08-21	11FS-1 day
Undocking	2 days	Sat 18-09-21	Sun 19-09-21	149;154
Floating charge for floating repair, per day	2 days	Sun 29-08-21	Mon 30-08-21	

Gambar 2. Tampilan durasi pekerjaan dan Predecessor di MS. Project reparasi KT. Selat Legundi II – 206

Hasil yang diperoleh setelah menetapkan hubungan antar aktivitas pekerjaan adalah adanya jalur kritis yang tercantum pada dalam tabel 2 dibawah ini:

Tabel 2. Aktivitas jalur kritis pada durasi normal

No	Nama Pekerjaan	LS	ES	TF
F	Floating charge for floating repair, per day	0	0	0
D	Docking	1	1	0
H	Hull scraping, include sea chest, skeg and rudder/kort nozzle	3	3	0
I	Hull cleaning with high pressure washing, bottom until bulwark	4	4	0
J	Full blasting SA 2½, bottom until external bulwark	3	3	0
C	Ultrasonic thickness gauging measurement (UTM), as per SS 3 requirement	3	3	0
G	Replating for hull construction, estimate	4	4	0
K	Hull coating, material owner supply	9	9	0
L	Hull marking, material owner supply	17	17	0
M	Hull (P/S)	17	17	0
E	Undocking	20	20	0
N	Peluncuran	22	22	0
A	Classification (BKI) survey and endorsed certificate exit	22	22	0
B	Maritime authorities survey and certificate exit	22	22	0
O	SeaTrial	22	22	0
P	Delivery	23	23	0

Jalur lintasan kritis adalah jalur yang berisi aktivitas yang jika terlambat akan menunda proyek secara keseluruhan. Untuk menentukan jalur ini, perlu menghitung nilai ES, EF, LS, dan LF dari setiap aktivitas pekerjaan. Nilai-nilai ini digunakan untuk menghitung total *slack time*, yaitu selisih waktu antara waktu paling awal dan paling lambat suatu aktivitas. Aktivitas yang memiliki total *slack time* = 0 termasuk dalam jalur lintasan kritis [17]. Waktu penyelesaian proyek ditentukan oleh istilah-istilah berikut: ES (*Earliest activity start time*), EF (*Earliest activity finish time*), LS (*Latest activity start time*), dan LF (*Latest activity finish time*) [18].

Setelah didapatkan jalur lintasan kritis, dilakukan pemotongan *safety time* sebesar 50% pada setiap aktivitas dan dilanjutkan dengan pemotongan ulang sebesar 20%. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan pemborosan waktu dan mengatasi kendala-kendala yang ada selama proyek berlangsung. Dengan menerapkan *Theory of Constraints*, proyek dapat diselesaikan dengan lebih cepat [11]. Tabel 3 menunjukkan ringkasan pekerjaan saat durasi normal dan durasi dengan metode CCPM 50% dan CCPM 80% untuk setiap aktivitas pekerjaan.

Tabel 3. Ringkasan Penjadwalan CCPM

Kode Sub Aktivitas	Durasi Normal	Durasi CCPM 50%	Durasi CCPM 80%
1	21 days	9,5 days	13 days
2	22 days	10 days	17,5 days
3	10 days	6 days	9 days
4	10 days	3 days	7 days
5	16 days	7 days	13 days
6	4 days	2 days	2,5 days
7	16 days	6,5 days	12,5 days
8	18 days	5,5 day	13 days
9	4 days	4 days	3,5 days
10	9 days	5,5 days	6,5 days
11	15 days	6 days	12 days
12	12 days	2,5 days	8 days
13	17 days	4,5 day	13 days
14	15 days	4 days	10 days
15	16 days	7,5 days	11 days
16	10 days	4 days	8,5 days
17	2 days	1 day	1,5 days
18	13 days	3,5 days	9 days
19	3 days	1,5 days	2,5 days
20	4 days	1 day	6 days
21	2 days	2 days	3 days

Keterangan :

- 1 : Fees for Classification, Maritime Authorities and Other Institutions
- 2 : Dry Docking
- 3 : General Hull Work
- 4 : Repair Welding

- 5 : Hull Outfitting
- 6 : Eye Pad
- 7 : Man Hole/Deck Sheel, Hatch Coming
- 8 : Side Schuttle, Windows and WT/WET Steel Door
- 9 : Hand Rail/Railling and Ladder
- 10 : Maintenance Ventilator, Louver, Mushroom and Motor
- 11 : Maintenance Collard, Cross Bit, Fairlead/Roller and Towing Line
- 12 : Electrical Support & Foundation Steel Work
- 13 : LSA & FFA Steel Work
- 14 : Bottom Plugs, Sea Chests and Bilge Wells
- 15 : Hull Blasting & Painting
- 16 : Deck Blasting & Painting
- 17 : Fabrication & Install Anode Foundation
- 18 : Install Anode for Hull (Bolt Type), Material Owner Supply
- 19 : Fabrication & Install Anode Foundation
- 20 : Install Anode for Water Ballast tk., Material Owner Supply
- 21 : Megger Test

Tidak terjadi perubahan pada jalur kritis yang telah didapatkan sebelumnya, yang berubah dari penjadwalan proyek reparasi tersebut hanyalah durasinya yang menjadi lebih cepat akibat pemotongan durasi. Selanjutnya adalah mencari nilai *buffer* masing-masing untuk *project buffer* dan *feeding buffer* menggunakan metode RSEM. Detail perhitungan dapat dilihat pada tabel 4 dan 5 untuk penjadwalan CCPM berdurasi 50% dan tabel 6 dan 7 untuk penjadwalan CCPM berdurasi 80%.

Tabel 4. Perhitungan *Project Buffer* Penjadwalan CCPM 50%

Nama Pekerjaan	Durasi Aman (S)	Durasi Tercepat (A)	S - A	(S - A) ²
A	2	1	1	1
B	2	1	1	1
C	2	1	1	1
D	2	1	1	1
E	2	1	1	1
F	2	1	1	1
G	10	5	5	25
H	2	1	1	1
I	2	1	1	1
J	7	3,5	3,5	12,25
K	10	5	5	25
L	2	1	1	1
M	3	1,5	1,5	2,25
N	1	0,5	0,5	0,25
O	2	1	1	1
P	1	0,5	0,5	0,25
Total				75,00

Keterangan:

- A : *Classification (BKI) survey and endorsed certificate exit*
- B : *Maritime authorities survey and certificate exit*
- C : *Ultrasonic thickness gauging measurement (UTM), as per SS 3 requirement*
- D : *Docking*
- E : *Undocking*
- F : *Floating charge for floating repair, per day*
- G : *Replating for hull construction, estimate*
- H : *Hull scraping, include sea chest, skeg and rudder/kort nozzle*
- I : *Hull cleaning with high pressure washing, bottom until bulwark*
- J : *Full blasting SA 2½, bottom until external bulwark*
- K : *Hull coating, material owner supply*
- L : *Hull marking, material owner supply*
- M : *Hull (P/S)*
- N : *Peluncuran*
- O : *SeaTrial*
- P : *Delivery*

$$\begin{aligned} \text{Project Buffer} &= \sqrt{(S_1 - A_1)^2 + \dots (S_n - A_n)^2} \\ &= \sqrt{75,00} \\ &= 8,66 \sim 9 \text{ hari} \end{aligned}$$

Project buffer yang didapatkan ditempatkan di ujung jalur kritis agar keberlangsungan proyek dapat terlindungi dari dinamisnya aktivitas yang mungkin terjadi selama keberlangsungan proyek reparasi [9], dikarenakan metode *Critical Chain Project Management* digunakan untuk mencapai jadwal yang efisien dan optimal dengan menghilangkan waktu aman yang ada pada setiap aktivitas, yang kemudian digantikan dengan *buffer* tersebut. Selanjutnya untuk perhitungan *feeding buffer* penjadwalan CCPM berdurasi 50% pada persimpangan kegiatan non-kritis dengan kritis dilakukan perhitungan pada pekerjaan *install anode for hull*.

Tabel 5. Perhitungan *Feeding Buffer* Penjadwalan CCPM 50%

Nama Pekerjaan	Durasi Aman (S)	Durasi Tercepat (A)	S - A	(S - A) ²
Q	3	1,5	1,5	2,25
Total				2,25

Keterangan:

- Q : *Install anode for hull (bolt type), material owner supply*

$$\begin{aligned} \text{Feeding Buffer} &= \sqrt{(S_1 - A_1)^2 + \dots (S_n - A_n)^2} \\ &= \sqrt{2,25} \\ &= 1,5 \text{ hari} \end{aligned}$$

Dengan menerapkan metode CCPM dan menganalisanya dengan menggunakan durasi yang sudah dipotong 50% dari waktu awal, ditemukan total durasi untuk proses reparasi adalah 12 hari, lebih cepat 12 hari dari durasi awal yaitu 24 hari. Berdasarkan perhitungan dengan RSEM, *buffer* untuk *project buffer* ini adalah 9 hari, sementara untuk *feeding buffer* adalah 1,5 hari. Setelah mendapatkan nilai *buffer* untuk penjadwalan CCPM berdurasi 50%, dilanjutkan dengan menghitung *buffer* untuk *project buffer* dan *feeding buffer* untuk penjadwalan CCPM berdurasi 80%.

Tabel 6. Perhitungan *Project Buffer* Penjadwalan CCPM 80%

Nama Pekerjaan	Durasi Aman (S)	Durasi Tercepat (A)	S - A	(S - A) ²
A	2	1,5	0,5	0,25
B	2	1,5	0,5	0,25
C	2	1,5	0,5	0,25
D	2	1,5	0,5	0,25
E	2	1,5	0,5	0,25
F	2	1,5	0,5	0,25
G	10	8	2	4
H	2	1,5	0,5	0,25
I	2	1,5	0,5	0,25
J	7	5,5	1,5	2,25
K	10	8	2	4
L	2	1,5	0,5	0,25
M	3	2,5	0,5	0,25
N	1	1	0	0
O	2	1,5	0,5	0,25
P	1	1	0	0
Total				13,00

$$\begin{aligned} \text{Project Buffer} &= \sqrt{(S_1 - A_1)^2 + \dots (S_n - A_n)^2} \\ &= \sqrt{13,00} \\ &= 3,61 \sim 4 \text{ hari} \end{aligned}$$

Project buffer yang didapatkan tersebut ditempatkan di ujung jalur kritis proyek agar keberlangsungan proyek dapat terlindungi dari dinamisnya aktivitas yang mungkin terjadi selama keberlangsungan proyek [9]. Selanjutnya untuk perhitungan *feeding buffer* penjadwalan CCPM berdurasi 80% pada persimpangan kegiatan non-kritis dengan kritis dilakukan perhitungan pada pekerjaan *install anode for hull*.

Tabel 7. Perhitungan *Feeding Buffer* Penjadwalan CCPM 80%

Nama Pekerjaan	Durasi Aman (S)	Durasi Tercepat (A)	S - A	(S - A) ²
Q	3	2,5	0,5	0,25
Total				0,25

$$\begin{aligned}
 \text{Feeding Buffer} &= \sqrt{(S_1 - A_1)^2 + \dots + (S_n - A_n)^2} \\
 &= \sqrt{0,25} \\
 &= 0,5 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Dengan menerapkan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dan menganalisisnya dengan menggunakan durasi yang sudah dipotong 20% dari waktu awal, ditemukan bahwa total durasi untuk proses reparasi adalah 20 hari, lebih cepat 4 hari dari durasi awal yaitu 24 hari. Selain itu, dengan perhitungan RSEM, didapatkan *buffer* untuk *project buffer* ini adalah 4 hari, sementara untuk *feeding buffer* adalah 0,5 hari.

Selanjutnya setelah mengurangi durasi aktivitas pekerjaan sebesar 50% dan 20% dari penjadwalan awal adalah meniadakan aktivitas *multitasking* atau mengerjakan lebih dari satu pekerjaan dalam satu waktu, meniadakan aktivitas *multitasking* ini dilakukan dengan menerapkan metode *resource levelling*. Metode ini sering diterapkan saat sumber daya harus melakukan tugas yang serupa secara bersamaan atau ketika ada jumlah tenaga kerja yang berlebihan pada suatu aktivitas tertentu (*overallocated resources*).

Resource Name	Max. Units	Peak	Std. Rate
Welder	8	8	Rp18.750/hr
Tukang Cat	4	4	Rp18.750/hr
Tukang Sandblasting	2	2	Rp18.750/hr
Mekanik	17	20	Rp18.750/hr
Administratif	3	3	Rp18.750/hr

Gambar 3. *Resource Sheet* Durasi Proyek 50% pada *MS. Project* Hasil Penjadwalan CCPM

Resource Name	Max. Units	Peak	Std. Rate
Welder	8	8	Rp18.750/hr
Tukang Cat	4	4	Rp18.750/hr
Tukang Sandblasting	2	2	Rp18.750/hr
Mekanik	17	19	Rp18.750/hr
Administratif	3	3	Rp18.750/hr

Gambar 4. *Resource Sheet* Durasi Proyek 80% pada *MS. Project* Hasil Penjadwalan CCPM

Diketahui pada gambar 3 dan 4 terdapat kesalahan dalam alokasi tenaga kerja untuk pekerja mekanik. Kesalahan ini menunjukkan bahwa terdapat penggunaan tenaga kerja yang melebihi

kapasitas pada pekerjaan yang menggunakan tenaga kerja mekanik tersebut, yang mengakibatkan beberapa pekerja melakukan lebih dari satu pekerjaan secara bersamaan. Untuk mengatasi kesalahan ini, langkah yang harus diambil adalah menambahkan lebih banyak pekerja dan menggeser jadwal aktivitas pekerjaan yang menggunakan tenaga kerja yang sama agar tidak terjadi *overallocated*.

Pada pekerjaan mekanik ditambahkan tiga orang dan dua orang pekerja untuk memenuhi kebutuhan pekerja dalam proyek reparasi KT. Selat Legundi II – 206 dan memindahkan pekerjaan non-kritis untuk menjaga pekerjaan di jalur kritis dan menghindari *overallocated*, penambahan tiga pekerja mekanik untuk penjadwalan CCPM berdurasi 50% dan penambahan dua pekerja mekanik untuk penjadwalan CCPM berdurasi 80% adalah untuk mengoptimalkan biaya pekerjaan. Hasil dari perubahan ini berturut-turut dapat dilihat dalam gambar 5 dan 6 berikut:

Resource Name	Max. Units	Peak	Std. Rate
Welder	8	8	Rp18.750/hr
Tukang Cat	4	4	Rp18.750/hr
Tukang Sandblasting	2	2	Rp18.750/hr
Mekanik	20	20	Rp18.750/hr
Administratif	3	3	Rp18.750/hr

Gambar 5. *Resource Sheet* Durasi Proyek 50% pada *MS. Project* setelah *Resource Leveling*

Resource Name	Max. Units	Peak	Std. Rate
Welder	8	8	Rp18.750/hr
Tukang Cat	4	4	Rp18.750/hr
Tukang Sandblasting	2	2	Rp18.750/hr
Mekanik	19	19	Rp18.750/hr
Administratif	3	3	Rp18.750/hr

Gambar 6. *Resource Sheet* Durasi Proyek 80% pada *MS. Project* setelah *Resource Leveling*

3.2. Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung

Pembayaran yang diberikan kepada para pekerja disesuaikan dengan lokasi galangan karena setiap wilayah memiliki standar upah minimum yang berlaku untuk pekerjaannya masing-masing. Analisis perhitungan biaya dilakukan dengan *Microsoft Excel* untuk mempermudah penulisan dalam mengestimasi biaya tenaga kerja, dan *Microsoft Project* digunakan sebagai analisa perencanaan tenaga kerja.

Metode CCPM berfokus untuk meningkatkan produktivitas proyek pada setiap pekerjaan di dalamnya, sehingga upah pekerja yang terlibat

pada proyek perlu ditingkatkan sejalan dengan kenaikan produktivitasnya. Akibatnya, upah pekerja ditingkatkan sebanyak 100% dari upah biasanya yaitu dari Rp 18.750 per jam menjadi Rp 37.500 per jam untuk penjadwalan CCPM 50%, sedangkan upah pekerja ditingkan sebanyak 40% dari Rp 18.750 per jam menjadi 26.250 per jam untuk penjadwalan CCPM 80%, karena menerapkan *theory of constraints* untuk mengurangi kesalahan manusia yaitu *parkinson law* dan *student syndrome*. Hasil ringkasan biaya tenaga kerja untuk durasi normal dan durasi CCPM berturut-turut pada tabel 8 dan 9.

Tabel 8. Perbandingan Biaya Normal dengan Biaya CCPM Berdurasi 50%

Kode Sub Aktivitas	Total Biaya Normal (Rp)	Total Biaya CCPM (Rp)
1	1.800.000	1.800.000
2	3.300.000	3.300.000
3	4.350.000	4.350.000
4	1.500.000	1.500.000
5	6.150.000	6.150.000
6	750.000	750.000
7	7.500.000	7.500.000
8	6.300.000	6.300.000
9	1.200.000	1.200.000
10	2.100.000	2.100.000
11	8.700.000	8.700.000
12	3.450.000	3.450.000
13	4.200.000	4.200.000
14	1.200.000	1.200.000
15	6.600.000	6.600.000
16	2.550.000	2.550.000
17	300.000	300.000
18	2.700.000	2.700.000
19	450.000	450.000
20	600.000	600.000
21	1.350.000	1.350.000
Total	67.050.000	67.050.000

Tabel 9. Perbandingan Biaya Normal dengan Biaya CCPM Berdurasi 80%

Kode Sub Aktivitas	Total Biaya Normal (Rp)	Total Biaya CCPM (Rp)
1	1.800.000	1.995.000
2	3.300.000	3.465.000
3	4.350.000	4.935.000
4	1.500.000	1.680.000
5	6.150.000	7.140.000
6	750.000	840.000
7	7.500.000	8.715.000
8	6.300.000	7.350.000
9	1.200.000	1.260.000
10	2.100.000	2.410.000

11	8.700.000	10.290.000
12	3.450.000	3.885.000
13	4.200.000	4.830.000
14	1.200.000	1.260.000
15	6.600.000	7.245.000
16	2.550.000	2.940.000
17	300.000	315.000
18	2.700.000	3.150.000
19	450.000	525.000
20	600.000	840.000
21	1.350.000	1.575.000
Total	67.050.000	76.650.000

Dengan menggunakan metode penjadwalan CCPM, ditemukan bahwa biaya keseluruhan mencapai jumlah 67.050.000 rupiah untuk penjadwalan CCPM berdurasi 50% dan 76.650.000 rupiah untuk penjadwalan CCPM berdurasi 80%. Perbedaan total biaya ini dipengaruhi dari durasi total pekerjaan yang dipercepat karena pemotongan durasi pada setiap pekerjaan. Setelah menghitung total biaya dengan kedua metode penjadwalan, kita dapat melakukan analisis biaya normal dan biaya CCPM:

- Total Biaya Normal = Rp 67.050.000
- Total Biaya CCPM 50% = Rp 67.050.000
- Total Biaya CCPM 80% = Rp 76.650.000
- Selisih CCPM 50% = Rp 0
- Selisih CCPM 80% = Rp 9.600.000

- Persentase Perbandingan Biaya Normal dengan Biaya CCPM 50%
= $\frac{Rp\ 67.050.000}{Rp\ 67.050.000}$
= 0,0 x 100%
= 0,0%

- Persentase Perbandingan Biaya Normal dengan Biaya CCPM 80%
= $\frac{Rp\ 9.600.000}{Rp\ 67.050.000}$
= 0,143 x 100%
= 14,3%

3.3. Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung saat Buffer digunakan

Pada saat durasi proyek normal yaitu 24 hari, total jam yang dihasilkan para pekerja adalah 3.576 jam dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 10. Data Total Jam yang Dihasilkan para Pekerja

Resource Name	Max. Units	Peak	Work (Hours)
Welder	8	8	776
Tukang Cat	4	4	264

Tukang	2	2	160
Sandblasting			
Mekanik	17	17	2296
Administratif	3	3	80

Dengan data tersebut dicarilah berapa sesungguhnya total jam yang dihasilkan para pekerja dalam satu hari proyek berlangsung. Dengan cara membagi total jam dengan 24 hari.

- $3.576 \text{ jam}/24 \text{ hari} = 149 \text{ jam}/1 \text{ hari}$

Diketahui dalam satu hari terdiri dari 8 jam kerja, sehingga dari total jam selama satu hari tersebut dapat diketahui berapa kira-kira orang yang bekerja secara relatif selama satu hari.

- $149 \text{ jam}/8 \text{ jam} = 18,63 \sim 19 \text{ orang}$

Maka secara relatif dalam satu hari terdapat 19 orang yang bekerja dalam satu hari ketika proyek tersebut berlangsung dengan durasi normal. Angka inilah yang akan digunakan untuk acuan mendapatkan harga satu hari *buffer*.

- $19 \text{ orang} \times \text{Rp } 18.750 \text{ (harga normal)} \times 8 \text{ jam kerja} = \text{Rp } 2.850.000$

Rp 2.850.000 merupakan harga satu hari *buffer* ketika *buffer* digunakan. Maka dapat disimpulkan bahwa jika total *buffer* sebanyak 9 hari pada penjadwalan CCPM 50% digunakan, maka akan memakan biaya sebanyak 9 hari x Rp 2.850.000 = Rp 25.650.000, sedangkan untuk total *buffer* sebanyak 4 hari pada penjadwalan CCPM 80% digunakan, maka akan memakan biaya sebanyak 4 hari x Rp 2.850.000 = Rp 11.400.000.

Tabel 11. Ringkasan Hasil dari Penelitian Penjadwalan CCPM 50% dan 80%

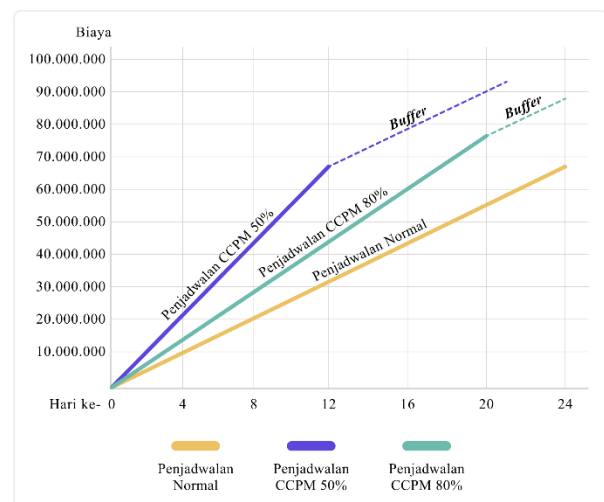
Metode Penjadwalan	Durasi Normal	CCPM 50%	CCPM 80%
Durasi Proyek	24 Hari	12 Hari	20 Hari
Biaya Proyek	67.05 Juta	67.05 Juta	76.65 Juta
% Kenaikan Durasi <i>Buffer</i>		0,0%	14,3%
Biaya <i>Buffer</i>		25.65 Juta	11.40 Juta
Biaya Total	67.05 Juta	92.70 Juta	88.05 Juta
% Total Kenaikan		38,3%	31,3%

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa biaya pekerjaan dengan metode CCPM berdurasi 50% memiliki total durasi proyek 12 hari lebih singkat, tetapi tidak ada penurunan maupun kenaikan biaya dari biaya normal. Namun, ini belum termasuk biaya *buffer* yang akan digunakan jika ada keterlambatan dalam jalur kritis atau jalur non kritis. Jika *buffer* harus digunakan, biaya sebesar

Rp 25.650.000 akan dialokasikan untuk biaya tenaga kerja selama periode *buffer*, maka terjadilah kenaikan harga sebesar 38.3% dari total biaya normal jika seluruh *buffer* tersebut digunakan.

Sedangkan metode CCPM berdurasi 80% memiliki total durasi proyek 4 hari lebih singkat, tetapi mengalami kenaikan biaya sebesar 14,2% dari biaya normal. Namun, ini belum termasuk biaya *buffer* yang akan digunakan jika ada keterlambatan dalam jalur kritis atau jalur non kritis. Jika *buffer* harus digunakan, biaya sebesar Rp 11.400.000 atau sebesar 17% dari biaya normal akan dialokasikan untuk biaya tenaga kerja selama periode *buffer*, maka terjadilah kenaikan harga sebesar 31.3% dari total biaya normal jika seluruh *buffer* tersebut digunakan.

Penggunaan *buffer* untuk penjadwalan CCPM berdurasi 50% selama 9 hari untuk aktivitas jalur kritis dan 1,5 hari untuk *feeding buffer* serta *buffer* untuk penjadwalan CCPM berdurasi 80% selama 4 hari untuk aktivitas jalur kritis dan 0,5 hari untuk *feeding buffer* akan disesuaikan dengan kebutuhan proyek jika terjadi situasi yang memerlukan waktu tambahan atau masalah yang tidak diinginkan muncul. Ini juga akan menggantikan safety time yang sebelumnya dialokasikan untuk setiap pekerjaan. Dalam metode CCPM, safety time diubah menjadi *buffer* yang ditempatkan di akhir proyek untuk mengurangi multitasking, efek parkinson law, dan keterlambatan dalam pelaksanaan setiap pekerjaan.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Durasi dan Biaya

4. KESIMPULAN

Dalam proyek reparasi KT. Selat Legundi II - 206, metode Critical Chain Project Management (CCPM) telah membuktikan efektivitasnya dalam mengurangi durasi proyek secara signifikan. Dibandingkan dengan durasi normal proyek

selama 24 hari, penjadwalan dengan metode CCPM berdurasi 50% hanya memerlukan 12 hari kerja, sementara CCPM berdurasi 80% membutuhkan 20 hari kerja. Keduanya menunjukkan efisiensi waktu yang luar biasa.

Dalam penerapan CCPM berdurasi 50%, durasi *buffer* untuk proyek ini mencakup 9 hari *project buffer* dan 1,5 hari *feeding buffer*. Sementara pada metode CCPM berdurasi 80%, durasi *buffer* terdiri dari 4 hari *project buffer* dan 0,5 hari *feeding buffer*.

Hasil dari implementasi metode CCPM berdurasi 50% adalah penghematan waktu sebanyak 12 hari tanpa perubahan signifikan dalam segi biaya. Namun, penjadwalan CCPM berdurasi 80% juga memberikan dampak positif dengan mempercepat proyek sebanyak 4 hari, namun, disertai dengan kenaikan biaya tenaga kerja sebesar Rp 76.650.000, atau sekitar 14,3% dari biaya normalnya.

Dengan demikian, penting untuk mencatat bahwa penggunaan waktu *buffer* dalam keberjalanan proyek akan menimbulkan biaya tambahan. Secara kumulatif, penjadwalan CCPM 50% akan memakan biaya tambahan sebesar Rp 25.650.000, sementara penjadwalan CCPM 80% akan menambah biaya sebesar Rp 11.400.000. Ini berarti terjadi kenaikan biaya secara keseluruhan sekitar 38,3% untuk penjadwalan CCPM 50% dan sekitar 31,3% untuk penjadwalan CCPM 80%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Y. Rochwulaningsih, S. T. Sulistiyono, N. N. Masruroh, and N. N. Maulany, "Marine policy basis of Indonesia as a maritime state: The importance of integrated economy," *Mar Policy*, vol. 108, Oct. 2019
- [2] D. Scott, "Indonesia Grapples with the Indo-Pacific: Outreach, Strategic Discourse, and Diplomacy," *Journal of Current Southeast Asian Affairs*, vol. 38, no. 2, pp. 194–217, Aug. 2019
- [3] B. Ma'ruf, "Aplikasi Manajemen dan Teknologi untuk Mendorong Daya Saing Industri Kapal dan Industri Pelayaran Nasional," in *Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XXI Program Studi MMT-ITS*, Surabaya, 2014.
- [4] A. A. Timur Raja and M. Basuki, "Pengembangan Sistem Aplikasi Manajemen Reparasi Kapal Berbasis Web dengan Aspek Lokasi dan Kapasitas Galangan Kapal," *Jurnal Sumberdaya Bumi Berkelanjutan*, vol. 1, no. 1, pp. 415–422, 2022.
- [5] R. Anbar Sari, R. Mutia Aprilia, Rizwan, Muhammad, and O. Kandi, "Manajemen Galangan Kapal Perikanan Di Desa Lampulo, Banda," *Jurnal Kelautan dan Perikanan Indonesia*, vol. 1, no. 3, pp. 151–156, Dec. 2021.
- [6] A. Rahman and H. Supomo, "Analisa Kepuasan Pelanggan pada Pekerjaan Reparasi Kapal dengan Metode Quality Function Deployment (QFD)," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 1, no. 1, Sep. 2012.
- [7] C. Kaufman and A. Kock, "Does project management matter? The relationship between project management effort, complexity, and profitability," *International Journal of Project Management*, vol. 40, no. 6, pp. 624–633, Aug. 2022
- [8] B. Santosa, *Manajemen Proyek*, 1st ed. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2009.
- [9] Sugiyanto, *Manajemen Proyek Rantai Kritis*, 1st ed. Surabaya: Cipta Media Nusantara, 2021.
- [10] M. Shurrab, "Traditional Critical Path Method versus Critical Chain Project Management: A Comparative View," *International Journal of Economics & Management Sciences*, vol. 4, no. 9, 2015
- [11] M. Taghipour, F. Seraj, M. Amin, and M. C. Delivand, "Evaluating CCPM Method Versus CPM in Multiple Petrochemical Projects," *International Technology and Science Publications*, vol. 3, no. 3, pp. 1–20, 2020
- [12] E. R. M. Iwawo, J. Tjakra, and P. A. K. Pratisis, "Penerapan Metode CPM pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus Pembangunan Gedung Baru Kompleks Eben Haezer Manado)," *Jurnal Sipil Statik*, vol. 4, no. 9, pp. 551–558, 2016.
- [13] A. W. B. Santosa, O. Mursid, M. A. Kalingga, S. T. P. Ahmad, and A. Trimulyono, "Productivity Analysis Using the Critical Chain Project Method Management (CCPM) on Repair Projects Geomarin-III ship 649 DWT," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 8, no. 1, pp. 80–87, Mar. 2023.
- [14] S. N. R. Maulida, I. P. Mulyatno, and O. Mursid, "Optimalisasi Repair Schedule Dengan Metode Critical Chain Project Management Guna Mempercepat Pengerjaan Repair Pada KM Srikandi Line 767 DWT," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 11, no. 1, Jan. 2023.

- [15] L. Valikonienė, “Resource *Buffers* in Critical Chain *Project* Management,” The University of Manchester, 2014.
- [16] S. Laddha, P. Chanda, and S. Khedekar, “Planning and Scheduling of A *Project* Using Microsoft *Project*,” *Int J Adv Res (Indore)*, vol. 5, no. 6, pp. 161–168, Jun. 2017
- [17] C. I. G. Nangka, M. Sibi, and J. Mangare, “Perataan Tenaga Kerja pada Proyek Bangunan dengan Menggunakan Microsoft *Project* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Terminal Akap Tangkoko Bitung),” *Jurnal Sipil Statik*, vol. 6, no. 11, pp. 867–874, Nov. 2018.
- [18] A. Izmailov, D. Korneva, and A. Kozhemiakin, “Effective *Project* Management with Theory of Constraints,” *Procedia Soc Behav Sci*, vol. 229, pp. 96–103, Aug. 2016