



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Reschedule Reparasi Tiga Unit Kapal menggunakan Metode Critical Chain Project Management (CCPM)

Kartika Nur Aeni¹⁾, Imam Pujo Mulyatno¹⁾, Good Rindo¹⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

*e-mail : kartikanuraeni@students.undip.ac.id, imampujomulyatno@lecturer.undip.ac.id,
goodrindo@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Reparasi kapal berdasarkan repair list pada setiap kapal banyak mengalami keterlambatan karena sistem pekerjaan reparasi terpisah padahal sistem fasilitas saling memiliki ketergantungan, maka dari itu penelitian ini dilakukan penjadwalan ulang reparasi dengan menggabungkan repair list tiga unit kapal secara simultan sehingga diantisipasi keterlambatannya menggunakan metode critical chain project manajemen (CCPM). CCPM merupakan suatu metode manajemen proyek yang berfokus pada pengelolaan sumber daya. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis durasi pada aktivitas kritis, menghitung biaya tenaga kerja, serta menentukan nilai buffer pada proyek reparasi tiga unit kapal. Hasil perhitungan pada penelitian ini didapatkan 22 aktivitas kritis dengan lama durasi reparasi 14 hari sudah termasuk penggunaan buffer, dan lebih cepat 6 hari dari durasi awal. Biaya tenaga kerja yang diperoleh dengan metode CCPM yaitu Rp. 141.131.250,- dan lebih hemat 25,8% dari biaya awal Rp. 190.200.000,- karena ada resources levelling dan buffer time yang menekan biaya pada sistem critical chain project management. Penelitian ini juga memperhitungkan nilai produktivitas, dimana produktivitas optimal terjadi pada pekerjaan replating, pengetesan plate deck, serta bangunan kapal sebesar 1000 kg/hari dan hasil analisis mengenai jumlah peralatan memenuhi dalam kegiatan proyek reparasi setelah dilakukan reschedule menggunakan critical chain project management.

Kata Kunci : Reschedule, Critical Chain Project Management, Buffer Time, Resources Levelling

1. PENDAHULUAN

Industri maritim memiliki peranan yang sangat penting dalam perekonomian dunia. Persentase sebesar 80% dari perdagangan global berdasarkan volume, transportasi laut merupakan sarana yang paling penting dalam lingkup perdagangan Internasional [1]. Industri perkapalan memiliki pengaruh yang besar pada kegiatan perdagangan Internasional. Terutama di Indonesia yang menjadi tempat jalur lalu lintas perdagangan Internasional. Sebagai negara yang menjadi poros maritim dunia dan letak yang strategis ini mampu mendorong negara Indonesia untuk ikut andil dalam kegiatan perdagangan Internasional, oleh karena itu, tidak sedikit galangan di Indonesia dibangun untuk membuat dan memperbaiki kapal agar performa kapal dapat terjaga dengan baik. Hal

ini dilakukan dengan tujuan dapat menunjang kegiatan perdagangan antar pulau maupun antar negara dan Indonesia terlibat dalam perdagangan Internasional.

Kapal yang beroperasi harus memenuhi kriteria dan mentaati peraturan dari Badan Klasifikasi dan regulasi yang berlaku. Badan Klasifikasi mengeluarkan peraturan untuk menjaga keamanan serta keselamatan, maka diperlukan perawatan rutin. Lama tidaknya kegiatan reparasi tergantung dari lingkup pekerjaan yang dilakukan. Lingkup waktu pekerjaan perbaikan kapal umumnya disiapkan oleh pengawas kapal yang bertanggung jawab atas kapalnya dan dibantu dengan ABK kapal. Galangan menggunakan ruang lingkup kerja ini agar dapat mengatur estimasi seperti penjadwalan, alokasi tenaga kerja, pengadaan material, dan mobilisasi peralatan [2].

Penjadwalan yang telah dibuat di awal tidak menutup kemungkinan kurang sesuai dengan realisasi di lapangan, sehingga pekerjaan dapat mengalami keterlambatan dari waktu yang telah ditetapkan. Penyebab lain terjadinya keterlambatan yaitu manajemen waktu yang buruk, SDM yang kurang terampil, penambahan atau pengembangan pekerjaan [3]. Berdasarkan penjelasan tersebut, manajemen memiliki pengaruh besar terhadap keberlangsungan suatu pekerjaan.

Penelitian ini berfokus pada manajemen *reschedule* reparasi tiga unit kapal menggunakan metode CCPM dengan memanfaatkan penggunaan *buffer*. Penjadwalan ulang dilakukan dengan mempertimbangkan kondisi peralatan dan fasilitas yang ada pada galangan yang dapat menunjang keberjalanan proyek reparasi tiga unit kapal.

Merujuk penelitian proyek pembangunan dinding penahan tanah dan dermaga ABC yang dilaksanakan oleh PT. A mengalami keterlambatan karena adanya penjadwalan proyek yang tidak baik. Penelitian ini mengevaluasi penjadwalan proyek menggunakan metode CCPM untuk menghasilkan jadwal yang optimal. Hasil penelitian menunjukkan perolehan *buffer* 4 hari dan durasi proyek 53 hari dengan periode penjadwalan eksisting 432 hari menjadi 379 hari tanpa konsumsi *buffer* [4].

Berdasarkan Analisa *reschedule* reparasi kapal BG. KFT 8005 menggunakan CCPM ditempuh selama 61 hari dengan biaya sebesar Rp 69.078.000,- dan ketika *buffer time* digunakan maka durasi proyek menjadi 68 hari dengan biaya sebesar Rp. 79.089.166,- [5]. Perhitungan kapal Geomarin-III 649 DWT dengan metode yang sama didapatkan hasil 10 hari lebih cepat dari durasi normal dengan biaya sebesar Rp. 54.017,- dan menghemat biaya sekitar 35% [6].

Penelitian *reschedule* reparasi kapal BC30002 dengan menggunakan perbandingan metode CPM dan CCPM ini didapatkan hasil yang berbeda, dimana pada metode CPM durasi proyek selama 98 hari dengan biaya Rp. 1.369.520.000,- sedangkan pada metode CCPM durasi proyek selama 71 hari dengan biaya tenaga kerja sebesar Rp. 684.760.000,- [7]. Berdasarkan studi kasus unit pompa mentah dan propilena instalasi kompresor di Timur Tengah menunjukkan bahwa metode CCPM efektif menangani ketidakpastian, mengurangi durasi konstruksi pekerjaan pipa sekitar 35% jika dibandingkan dengan metode tradisional [8].

Tujuan penelitian ini yaitu untuk melakukan *reschedule* reparasi tiga unit kapal secara simultan menggunakan metode *critical chain project management*. CCPM dirancang khusus untuk mengelola proyek dengan lebih efisien, terutama

dalam mengatasi adanya ketidakpastian dalam keberjalanan proyek. *Buffer time* dalam CCPM digunakan untuk mengatasi adanya ketidakpastian tersebut dengan melindungi pekerjaan baik pada jalur kritis maupun non kritis.

2. METODE

Metode pengumpulan data didapatkan melalui wawancara dari pihak galangan X. Data yang diperoleh berupa *repair list* dari ketiga unit kapal dan fasilitas serta peralatan yang ada di galangan untuk menunjang kegiatan reparasi kapal. Terdapat tiga data kapal yang diperlukan untuk penelitian ini.

Tabel 1. Ukuran Utama Tiga Unit Kapal

	Kapal X	Kapal Y	Kapal Z
LOA	61,7 m	16,79 m	28 m
B	12 m	5,18 m	5,8 m
T	3,8 m	1,23 m	-
V	9 knot	7 knot	16 knot

Keterangan :

LOA : Panjang kapal (m)

B : Lebar kapal (m)

T : Sarat kapal (m)

V : Kecepatan kapal (knot)

Tabel 1 membahas mengenai data ukuran utama tiga unit kapal. Kapal X merupakan kapal riset dengan panjang 61,7 m, tipe kapal Y ialah *working boat* dengan panjang 16,79 m, dan kapal Z ialah kapal milik angkatan laut yang memiliki panjang 28 m.

Tahap pengolahan data dapat dilakukan setelah data-data yang dibutuhkan terkumpul. Hal pertama yang dilakukan yaitu memastikan data yang dibutuhkan sudah ada, selanjutnya melakukan analisa *schedule* menggunakan *microsoft project*. Pembuatan *network diagram* dilakukan dengan menentukan jaringan kegiatan yang saling ketergantungan dengan membuat perhitungan maju yang terdiri dari ES (*early start*) dan EF (*early finish*) dan perhitungan mundur yakni LS (*latest start*) dan LF (*latest finish*) [8], serta menentukan rantai kritis pada durasi normal dan durasi setelah dilakukan pemotongan waktu dengan menggunakan metode *critical chain project management*.

Metode CCPM perlu menghitung besarnya nilai *buffer* pada rantai kritis (*project buffer*) dan rantai non kritis (*feeding buffer*). Rumus yang dapat digunakan untuk menghitung nilai *buffer* yaitu menggunakan rumus RSEM sebagai berikut,

$$2\sigma = 2x \sqrt{\left(\frac{S1-A1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S2-A2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{Sn-An}{2}\right)^2} \quad (1)$$

Langkah selanjutnya, melakukan *resource levelling* untuk pemerataan sumber daya agar keberjalanan proyek reparasi dapat optimal. Setelah dilakukan perhitungan *buffer*, maka perlu dilakukannya manajemen *buffer* untuk memantau penggunaan *buffer* selama proyek berlangsung. Perhitungan selanjutnya yaitu menghitung biaya tenaga kerja dan nilai produktivitas pada durasi normal dan setelah dilakukan pemotongan durasi menggunakan metode *Cut & Paste Method* (C&PM) pada *Critical Chain Project Management* dengan memperhatikan fasilitas dan peralatan yang tersedia di galangan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan pada penelitian ini dilakukan beberapa tahap, mulai dari melakukan analisis *schedule*, analisis *network diagram*, perhitungan *buffer*, perhitungan biaya reparasi, perhitungan produktivitas harian, dan menganalisis kondisi fasilitas dan peralatan yang tersedia di galangan. Berdasarkan dari hasil pengumpulan dan pengolahan data, maka didapatkan hasil pembahasan sebagai berikut :

3.1. Analisis Schedule

Analisis *schedule* merupakan langkah awal dalam melakukan pengolahan data, dimana pada penelitian ini melakukan *reschedule* reparasi tiga unit kapal secara simultan menggunakan metode *critical chain project management* dengan mengaplikasikan *software microsoft project*. Hubungan antar aktivitas satu dengan lainnya dari aktivitas paling awal sampai terakhir yang berdasarkan pada *predecessor* (kegiatan yang mendahului) dan *successor* (kegiatan yang didahului) [9] untuk mendapatkan jalur kritis. Berikut tabel durasi normal:

Tabel 2. Hubungan *Predecessors* dan *Successors* pada Durasi Normal di Jalur Kritis

ID	Durasi	Predecessors	Successors
A1	1 day		4FS-0,5 days;28SS
D1	1 day	24;97;72FS+3 days	
E1	1 day	3SS	29;33;43;63FS+0,5 days;35FS+2 days
E2	4 days	28	30SS;33SS;34
E3	4 days	29SS	34;31SS
E4	4 days	30SS	34;39;32SS
E5	4 days	31SS	34
E6	4 days	28;29SS	34
E7	2 days	31;32;29;30;33	37SS;38SS;39SS

E12	7 days	34SS;31	40SS;41SS;42SS;47SS+0,5 days
E20	5 days	39SS+0,5 days;40SS	48SS
E21	4 days	47SS	49SS
E22	4 days	48SS	50SS
E23	4 days	49SS	51
F1	1 day	50;46FS+4 days;38;41FS+1 day;42FS+1 day	53FS-2 days;78
J1	1 day	51	75SS-5 days;82;79;95FS-0,5 days;85
J2	2 days	78	80
J3	2 days	79	81SS;93FS-0,5 days
J16	4 days	80FS-0,5 days	94SS
J17	2 days	93SS	96
K1	1 day	94;95FS-0,5 days;92FS-0,5 days;84FS+4 days;81FS+1 day;76FS+2 days	97
L1	1 day	96	25

Mengacu pada hasil pengolahan dari *repair list* tiga unit kapal, bisa dicari hubungan *predecessors* dan *successor* pada saat dibuat penjadwalan proyek pada *microsoft project*. Penjadwalan ulang dengan menggunakan metode CCPM dan dilakukan pemotongan durasi sebesar 50% dari durasi normal untuk menghilangkan *safety times* [10].

3.2. Analisis Network Diagram dan Rantai Kritis

Network diagram menunjukkan urutan kegiatan dan hubungan antar aktivitas dalam suatu proyek. *Network diagram* terdapat perhitungan maju dan perhitungan mundur yaitu ES (*early start*), EF (*early finish*), LS (*latest start*), dan LF (*latest finish*).

Rantai kritis merupakan jalur terpanjang dalam jaringan proyek yang mencakup ketergantungan antar kegiatan dan keterbatasan sumber daya. Pada rantai kritis terdapat perhitungan *total float* = 0.

Tabel 3. *Network Diagram* pada Lintasan Kritis

ID	Aktivitas	ES	EF	LS	LF	TF
A1	Kapal <i>docking</i>	0	0,5	0	0,5	0
D1	<i>Delivery</i>	9,5	10	9,5	10	0
E1	Kapal <i>docking</i>	0	0,5	0	0,5	0
E2	Sekrap plat	0,5	2,5	0,5	2,5	0
E3	Semprot dengan air bertekanan tinggi	0,5	2,5	0,5	2,5	0
E4	<i>Sandblasting bottom& lambung kapal</i>	0,5	2,5	0,5	2,5	0
E5	<i>Sandblasting maindeck kapal</i>	0,5	2,5	0,5	2,5	0
E6	Melakukan <i>cleaning, sandblast, dan pengecatan pada seachest box</i>	0,5	2,5	0,5	2,5	0

E7	Pelaksanaan <i>Ultrasonic Test</i> pada plat lambung, <i>deck</i> , <i>frame</i> , sekat, lunas	2,5	3,5	2,5	3,5	0
E12	Pengecekan / perbaikan penyangga lunas	2,5	6	2,5	6	0
E20	Pengecekan / perbaikan penyangga plat lambung	3,5	5,5	3,5	5,5	0
E21	Membuat gambar bukaan kulit dan <i>deck internal</i> skala 1:50	3,5	5,5	3,5	5,5	0
E22	<i>Aluminium anodes</i> ganti baru (lambung kanan, kiri, buritan, <i>sea chest</i> , <i>rudder blade</i> , <i>skeg</i>)	3,5	5,5	3,5	5,5	0
E23	Melakukan <i>replating</i> dan pengelasan pada plat dibawah garis air <i>include</i> gading	3,5	5,5	3,5	5,5	0
F1	Melakukan <i>replating</i> dan pengelasan pada <i>plate deck</i> dan bangunan kapal	5,5	6	5,5	6	0
J1	Melakukan <i>rewelding</i> pada <i>piting</i>	6	6,5	6	6,5	0
J2	Melakukan <i>rewelding</i> pada bagian alur las yang sudah tipis	6,5	7,5	6,5	7,5	0
J3	Melakukan <i>cleaning</i> pada tangki air tawar	7,5	8,5	7,5	8,5	0
J16	Melakukan <i>cleaning</i> pada tangki BBM	8	10	8	10	0
J17	Melakukan <i>cleaning</i> pada tangki LO	8	9	8	9	0
K1	<i>Undocking</i>	9	9,5	9	9,5	0
L1	<i>Sea Trial</i>	9	9,5	9	9,5	0

Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan analisis *network diagram* menggunakan *software microsoft project*. Tabel tersebut memperlihatkan terdapat 22 aktivitas pada jalur kritis.

3.3. Perhitungan Buffer

Penjadwalan ulang menggunakan metode CCPM dilakukan pengurangan durasi sebesar 50%. Hal ini bertujuan untuk menghilangkan waktu *safety time*, sehingga berbagai permasalahan seperti *student syndrome*, *multitasking*, *par'kinson's*, dan *over estimated activity durations* dapat dihilangkan [10]. Metode CCPM terdapat perhitungan *buffer* sebagai antisipasi adanya ketidakpastian. Perhitungan *buffer* dapat dilakukan

menggunakan rumus RSEM (*Root Mean Square Error Method*), yakni sebagai berikut [5]:

$$2\sigma = 2x \sqrt{\left(\frac{S1-A1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S2-A2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{Sn-An}{2}\right)^2} \quad (2)$$

Keterangan :

σ : Buffer

S1 : Durasi normal

A1 : Durasi CCPM

a. Project Buffer

Perhitungan *project buffer* hanya difokuskan pada rantai kritis. Peletakan *project buffer* ditempatkan pada akhir jalur kritis. Berikut perhitungan *project buffer*,

Tabel 4. Perhitungan *Project Buffer*

No	ID	S	A	$((S-A)/2)^2$
1	A1	1	0,5	0,0625
2	D1	1	0,5	0,0625
3	E1	1	0,5	0,0625
4	E2	4	2	1
5	E3	4	2	1
6	E4	4	2	1
7	E5	4	2	1
8	E6	4	2	1
9	E7	2	1	0,25
10	E12	7	3,5	3,0625
11	E20	5	2	2,25
12	E21	4	2	1
13	E22	4	2	1
14	E23	4	2	1
15	F1	1	0,5	0,0625
16	J1	1	0,5	0,0625
17	J2	2	1	0,25
18	J3	2	1	0,25
19	J16	4	2	1
20	J17	2	1	0,25
21	K1	1	0,5	0,0625
22	L1	1	0,5	0,0625
	Σ			15,75
	$\sqrt{\quad}$			3,968626967
	2σ			7,937253933
	σ			3,968626967

Hasil perhitungan *project buffer* dapat diketahui besarnya nilai *project buffer* yaitu 4 hari. Berdasarkan tabel 4 bisa diketahui bahwasanya proyek tersebut memiliki waktu cadangan atau waktu ekstra selama 4 hari untuk menyelesaikan proyek tersebut sebagai antisipasi apabila ada keterlambatan dalam keberjalanan proyek.

b. Feeding Buffer

Perhitungan *feeding buffer* dilakukan pada aktivitas non kritis. Peletakan dari *feeding buffer* ditempatkan di tiap ujung pekerjaan non kritis dan digabungkan pada kegiatan kritis.

Tabel 5. Perhitungan *Feeding Buffer 2*

No	ID	S	A	$((S-A)/2)^2$
1	E8	4	2	1
2	E9	6	3	2,25
3	E10	2	1	0,25
4	E11	4	2	1
5	E13	5	2,5	1,5625
6	E14	3	1,5	0,5625
7	E15	3	1,5	0,5625
	Σ			15,75
	$\sqrt{\quad}$			3,968626967
	2σ			7,937253933
	σ			3,968626967

Tabel 5 menunjukkan hasil perhitungan *feeding buffer 2*. Hasil penjadwalan ulang reparasi tiga unit kapal secara simultan didapatkan *feeding buffer* sebanyak 6, dengan perincian sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan *Feeding Buffer* Secara Keseluruhan

<i>Feeding Buffer 1</i>	7 hari
<i>Feeding Buffer 2</i>	3 hari
<i>Feeding Buffer 3</i>	1 hari
<i>Feeding Buffer 4</i>	5 hari
<i>Feeding Buffer 5</i>	3 hari
<i>Feeding Buffer 6</i>	3 hari

c. Resources Levelling

Critical Chain Project Management dirancang untuk mengatasi terjadinya keterlambatan, anggaran yang melebihi, dan sumber daya yang tidak efisien. Selain berfokus pada perhitungan *buffer*, CCPM juga melakukan *resource levelling* apabila terdapat pembagian tugas dan sumber daya yang *overlocated*. Pemerataan sumber daya ini dilakukan agar performa keseluruhan proyek dapat optimal.

Resource Name	Type	Initials	Peak	Max.
 Fitter	Work	F	21	15
Mekanik	Work	M	13	11
Painter	Work	P	14	17
General Service	Work	G	64	66
 Safety	Work	S	5	3
Quality Control	Work	Q	2	3
Welder	Work	W	7	15

Hasil perhitungan menyatakan adanya *overlocated* pada *fitter* dan *safety* yang ditandain dengan gambar orang pada kolom i. *Resources levelling* adalah langkah yang harus dilakukan dengan bantuan *microsoft project*. Tujuan dari *resources levelling* yaitu untuk mengatur penggunaan sumber daya secara optimal dalam proyek.

d. Manajemen Buffer

Setelah dilakukan perhitungan *project buffer*, *feeding buffer*, dan *resource levelling*, tahap selanjutnya yaitu melakukan *manajemen buffer*. Tujuan dari diadakannya *manajemen buffer* ini yaitu untuk mengetahui seberapa besar penggunaan *buffer* pada saat proyek reparasi ini berlangsung. Pembagian *manajemen buffer* terdapat 3 divisi dengan pewarnaan yang berbeda. Warna hijau menandakan zona aman, warna kuning menandakan harus membuat plan atau perencanaan, dan warna merah berarti perlu adanya *action* atau tindakan [10].

Tabel 7. Perhitungan *Manajemen Proyek*

Zona pemakaian <i>buffer</i> (%)	<i>Project buffer</i> (hari)	Durasi yang terpakai (hari)
0% - 33%	4	< 1,32
34% - 67%	4	1,32 - 2,68
68% - 100%	4	> 2,68

Hasil perhitungan *manajemen buffer* dapat diketahui bahwa pada saat *project buffer* terpakai selama 1,32 hari, maka itu masih masuk kategori zona aman. Penggunaan *project buffer* ketika terpakai selama 1,32 – 2,68 hari, maka perlu dilakukan *plan* atau perencanaan dan ketika penggunaan *project buffer* sudah berada di zona merah atau pemakaian *project buffer* sudah di atas 2,68 hari maka harus ada *action* atau tindakan.

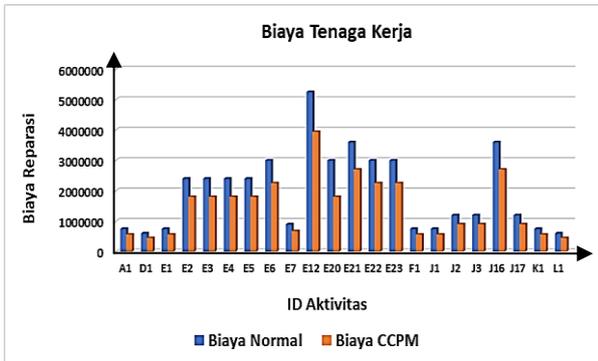
3.4. Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Perhitungan biaya tenaga kerja didapatkan dari perkalian antara durasi pekerjaan dengan jumlah pekerja. Penjadwalan ulang dengan metode CCPM ini upah pekerja meningkat sebesar 50% dari biaya standar karena metode ini berfokus pada peningkatan produktivitas karyawan dalam proyek, sehingga upah tenaga kerja disesuaikan dengan peningkatan produktivitas. Berikut merupakan contoh perhitungan pada salah satu pekerjaan di durasi normal,

- Durasi normal : 4 hari
- Durasi CCPM : 2 hari
- Upah harian normal : Rp. 150.000,-
- Upah harian CCPM : Rp. 225.000,-
- Tenaga kerja : 4 orang

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya normal} &= \text{Durasi normal} \times \text{Upah harian normal} \times \text{Tenaga kerja} \\
 &= 4 \times \text{Rp. 150.000,-} \times 4 \\
 &= \text{Rp. 2.400.000,-}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Biaya CCPM} &= \text{Durasi CCPM} \times \text{Upah} \\
 &\quad \text{harian CCPM} \times \text{Tenaga} \\
 &\quad \text{kerja} \\
 &= 2 \times \text{Rp. 225.000,-} \times 4 \\
 &= \text{Rp. 1.800.000,-}
 \end{aligned}$$



Berdasarkan hasil perhitungan besarnya biaya yang dikeluarkan untuk proyek reparasi tiga unit kapal secara simultan terdapat perbedaan biaya pada durasi normal dan setelah dilakukan *reschedule* menggunakan metode CCPM. Durasi normal biaya yang dikeluarkan untuk proyek reparasi yaitu sebesar Rp. 190.200.00,- sedangkan pada metode CCPM besar biaya yang dibutuhkan untuk reparasi ini yakni Rp. 141.131.250,-. Hasil perhitungan tersebut besar biaya yang dikeluarkan pada metode CCPM lebih hemat 25,8% dari biaya normal.

3.5. Perhitungan Produktivitas Harian

Perhitungan produktivitas harian pada manajemen proyek itu sebagai evaluasi sejauh mana sumber daya digunakan pada suatu proyek telah memproduksi output atau hasil dalam periode waktu tertentu. Perhitungan produktivitas harian dapat diukur berdasarkan rasio antara volume pekerjaan dengan durasi normal [9].

$$Ph = \frac{\text{volume pekerjaan}}{\text{durasi normal}} \quad (3)$$

Keterangan :

Ph = Produktivitas harian

Tabel 8. Perbandingan Nilai Produktivitas Harian Normal dengan Produktivitas CCPM

ID	Durasi Normal	Durasi CCPM	Volume Pekerjaan	Produktivitas Normal	Produktivitas CCPM
A1	1	0,5	1 kali	1	2
D1	1	0,5	1 LS	1	2
E1	1	0,5	1 LS	1	2
E2	4	2	100 m ²	25	50
E3	4	2	100 m ²	25	50
E4	4	2	155 m ²	38,75	77,5

E5	4	2	133 m ²	33,25	66,5
E6	4	2	2 LS	0,5	1
E7	2	1	200 titik	100	200
E12	7	3,5	1000 kg	142,8571	285,7143
E20	5	2	1 LS	0,2	0,5
E21	4	2	100 m ²	25	50
E22	4	2	55 m ²	13,75	27,5
E23	4	2	133 m ²	33,25	66,5
F1	1	0,5	1 LS	1	2
J1	1	0,5	1 LS	1	2
J2	2	1	90 m ²	45	90
J3	2	1	90 m ²	45	90
J16	4	2	90 m ²	22,5	45
J17	2	1	1 lot	0,5	1
K1	1	0,5	1 LS	1	2
L1	1	0,5	1 LS	1	2

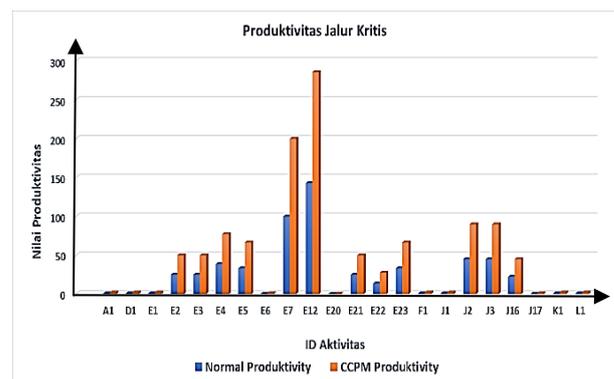
Berikut contoh perhitungan produktivitas pada durasi normal dan juga durasi CCPM pada ID E2 atau pada pekerjaan Sekrap plat seluas 100 m²

- Durasi normal = 4 hari
- Durasi CCPM = 2 hari
- Volume pekerjaan = 100 m²

$$Ph = \frac{\text{volume pekerjaan}}{\text{durasi normal}} = \frac{100}{4} = 25$$

$$Ph = \frac{\text{volume pekerjaan}}{\text{durasi CCPM}} = \frac{100}{2} = 50$$

Perbandingan antara produktivitas harian normal dengan CCPM, dapat dilihat pada grafik di bawah ini:



Grafik produktivitas jalur kritis menyatakan bahwa nilai produktivitas pada durasi CCPM lebih besar dibandingkan dengan durasi normal. Produktivitas CCPM lebih besar dikarenakan terdapat pemerataan sumber daya yang ada, selain itu karena pada CCPM terdapat sistem *buffer* atau waktu penyangga, penghindaran *multitasking*, serta pengoptimalan pekerjaan yang berfokus pada tugas kritis.

3.6. Analisis Kondisi Peralatan dan Fasilitas Galangan

Galangan harus memiliki peralatan dan fasilitas yang dapat menunjang keberjalanan proyek reparasi kapal. Penjadwalan ulang reparasi tiga unit kapal harus mempertimbangkan kondisi galangan yang sebenarnya. Berdasarkan data yang didapat dari galangan, dapat diketahui bahwasanya galangan ini memiliki *building berth* dengan ukuran 72 m x 65 m dengan kapasitas sebesar 1500 DWT, selain itu terdapat *slipway* dengan kapasitas 1000 DWT dan *floating* yang berkapasitas 750 DWT sebanyak 2 set dan 1200 GT sebanyak 2 set. Galangan X juga tersedia beberapa peralatan kerja seperti crawler crane 2 unit, forklift 3 unit, CNC 2 set, mesin gerinda tangan 50 unit, kotrek 25 unit, mesin las FCAW 16 unit, mesin las SMAW 150 unit, dan masih banyak lagi. Peralatan dan fasilitas yang ada di galangan ini sudah memenuhi dan dapat mendukung kegiatan reparasi, seperti contoh pada pekerjaan *sandblasting bottom* & lambung kapal seluas 155 m² dengan durasi pekerjaan selama 2 hari dan dikerjakan oleh 4 tenaga kerja, peralatan yang dapat dipakai dan tersedia di galangan yaitu alat *sandblast*, selang, *pipe* sejumlah 2 unit dan *kompresor* sebanyak 3 unit.

Tabel 9. Perhitungan Utilitas pada Pekerjaan Pembersihan Lambung Bawah Kapal

ID	Pekerjaan	Durasi	Tenaga Kerja	Volume Pekerjaan	Daftar Peralatan
E2	Sekrap Pelat	2	4	100 m ²	Water jet + gun Kape Alat
E4	Sandblasting bottom & lambung kapal	2	4	155 m ²	sandblast, selang, pipe kompresor Alat
E5	Sandblasting maindeck kapal	2	4	133 m ²	sandblast, selang, pipe kompresor
Total		6		388 m ²	

Perhitungan utilitas peralatan pada pekerjaan pembersihan lambung bawah kapal sebagai berikut :

a. Water jet + gun

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Durasi}}{\text{Jumlah Alat}} = \frac{6}{1} = 6 \text{ buah/hari}$$

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{388}{6 \times 6} = 11 \text{ m}^2/\text{buah/hari}$$

b. Kape

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Durasi}}{\text{Jumlah Alat}} = \frac{6}{10} = 0,6 \text{ buah/hari}$$

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{388}{6 \times 0,6} = 108 \text{ m}^2/\text{buah/hari}$$

c. Alat sandblast, selang, pipe

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Durasi}}{\text{Jumlah Alat}} = \frac{6}{2} = 3 \text{ buah/hari}$$

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{388}{6 \times 3} = 22 \text{ m}^2/\text{buah/hari}$$

d. Kompresor

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Durasi}}{\text{Jumlah Alat}} = \frac{6}{3} = 2 \text{ buah/hari}$$

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{388}{6 \times 2} = 32 \text{ m}^2/\text{buah/hari}$$

Tabel 10. Perhitungan Utilitas pada Pekerjaan Pengecatan

ID	Pekerjaan	Durasi	Tenaga Kerja	Volume Pekerjaan	Daftar Peralatan
E21	Pengecatan pada bottom area	2	6	100 m ²	Airless kompresor
E22	Pengecatan top side area	2	5	55 m ²	Airless kompresor
E23	Pengecatan maindeck & navigation deck	2	5	133 m ²	Airless kompresor
J16	Full coat	2	6	90 m ²	Airless kompresor
Total		8		378 m ²	

Perhitungan utilitas peralatan pada pekerjaan pengecatan sebagai berikut :

a. Airless (mesin painting)

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Durasi}}{\text{Jumlah Alat}} = \frac{9}{2} = 4,5 \text{ buah/hari}$$

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{378}{9 \times 4,5} = 9 \text{ m}^2/\text{buah/hari}$$

b. Kompresor

$$\text{Indeks} = \frac{\text{Durasi}}{\text{Jumlah Alat}} = \frac{9}{3} = 3 \text{ buah/hari}$$

$$\text{Utilitas} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{378}{9 \times 3} = 14 \text{ m}^2/\text{buah/hari}$$

3.7. Hasil Analisis

Hasil analisis didapatkan dari perhitungan data yang telah diolah. Penelitian ini dilakukan *reschedule* menggunakan metode CCPM pada tiga unit kapal secara simultan dan didapatkan hasil pada durasi normal untuk melakukan reparasi tiga unit kapal secara simultan yaitu 20 hari, setelah dilakukan *reschedule* menggunakan metode

CCPM dilakukan pemotongan waktu sebesar 50% untuk menghilangkan permasalahan seperti *student syndrome*, *multitasking*, *par'kinson's*, *over estimated activity durations*. Berdasarkan perhitungan dengan metode CCPM pada proyek reparasi kapal menjadi 10 hari dan terdapat 22 rantai kritis pada kegiatan reparasi tiga unit kapal secara simultan.

Perhitungan *buffer time* dilakukan setelah didapatkan aktivitas kritis. *Buffer time* terbagi menjadi 3 yaitu *project buffer*, *feeding buffer*, dan pemerataan sumber daya. Rumus yang digunakan untuk menghitung buffer yaitu RSEM. *Project buffer* didapatkan hasil selama 4 hari dan diletakkan di paling akhir aktivitas, sedangkan *feeding buffer 1* selama 7 hari, *feeding buffer 2* selama 3 hari, *feeding buffer 3* selama 1 hari, sedangkan *feeding buffer 4* selama 5 hari, *feeding buffer 5* selama 3 hari, dan *feeding buffer 6* selama 3 hari. Pemerataan sumber daya dilakukan pada *fitter* dan *safety*, hal ini dikarenakan terjadi *overlocated* sehingga perlu dilakukan *resource levelling* dengan menggunakan *microsoft project*.

Hasil penjadwalan ulang reparasi tiga unit kapal secara simultan memberikan dampak yang signifikan dari segi biaya tenaga kerja dan nilai produktivitas harian. Perhitungan biaya tenaga kerja setelah dilakukan *reschedule* reparasi tiga unit kapal menggunakan metode CCPM mengeluarkan biaya sebesar Rp. 141.131.250,- dan ini lebih hemat 25,8% dari biaya normal. Nilai produktivitas CCPM lebih besar 50% dari produktivitas normal. Hal ini dikarenakan pada metode CCPM terdapat *buffer* dan dilakukan pemerataan sumber daya agar lebih optimal.

Metode CCPM dinilai lebih efektif bila dibandingkan dengan metode tradisional seperti PERT dan CPM. Penelitian repair reschedule 2 unit tongkang dan 1 unit kapal dengan metode PERT menghasilkan percepatan durasi sebesar 33% dari durasi normal [11]. Perbandingan antara metode CPM dengan CCPM pada perbaikan kapal di PT Galangan Kapal Madura yang mana pada metode CPM proyek berlangsung selama 30 hari, sedangkan pada metode CCPM berlangsung selama 20 hari [12].

4. KESIMPULAN

Keterlambatan reparasi terjadi karena adanya sistem pekerjaan yang terpisah padahal sistem fasilitas di galangan saling memiliki ketergantungan, oleh karena itu penelitian ini dilakukan penjadwalan ulang reparasi tiga unit kapal secara simultan menggunakan metode CCPM. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis durasi pada lintasan kritis, biaya

tenaga kerja, serta menghitung nilai *buffer time*. Berdasarkan hasil perhitungan setelah dilakukan penjadwalan ulang menggunakan metode *Critical Chain Project Manajemen* dan dilakukan pemotongan durasi normal sebesar 50%, didapatkan 22 jalur kritis dengan total float 0. Perhitungan sistem buffer, untuk project buffer sebesar 4 hari. Berdasarkan metode CCPM ini lama waktu yang diperlukan untuk proyek reparasi yaitu selama 10 hari, dan apabila buffer digunakan maka total durasinya menjadi 14 hari. Besar biaya yang dikeluarkan untuk proyek reparasi yaitu Rp. 141.131.250,- dan ini lebih hemat 25,8% dari biaya normal. Peralatan serta fasilitas yang tersedia di galangan sudah memenuhi dan dapat mendukung keberjalanan proyek reparasi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Lab. Material dan Manajemen yang telah mendukung penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini. Penulis juga berterima kasih kepada beberapa pihak seperti Universitas Diponegoro dan juga Galangan yang telah membantu penulis untuk memberikan informasi-informasi yang dibutuhkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Legorburu, K. R. Johnson, and S. A. Kerr, "Shipping: Shipbuilding and maritime transportation," *Build. Ind. Sea "Blue Growth" New Marit. Econ.*, no. February, pp. 257–284, 2018, doi: 10.1201/9781003337430-11.
- [2] A. K. Dev, M. Saha, and G. Bruce, *Ship Repairing: Analyses and Estimates*. Springer, 2022.
- [3] I. Baroroh, G. V. Setiawan, A. Azhar, D. Hardianto, and A. B. Widodo, "Risk Analysis of Delay in Ship Repair KM Binaiya with Bayesian Network Method," *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 8, no. 3, pp. 449–459, 2023, doi: 10.12962/j25481479.v8i3.18494.
- [4] N. Sembiring and A. Putra, "Scheduling evaluation in construction projects using the critical chain project management method," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 830, no. 3, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/830/3/032091.
- [5] M. Basuki and M. Arjun Santosa, "Analisis Perbandingan Penjadwalan Proyek Dengan Critical Path Method (CPM) Dan Critical Chain Project Management (CCPM) Pada

Reparasi Kapal Bg . Kft 8005,” *Semin. Nas. Teknol. Ind. Berkelanjutan II (SENASTITAN II)*, vol. ISSN 2775-, pp. 152–165, 2022.

- [6] A. W. B. Santosa, O. Mursid, M. A. Kalingga, and S. T. P. Ahmad, “Productivity Analysis Using the Critical Chain Project Method Management (CCPM) on Repair Projects Geomarin-III ship 649 DWT.,” *Int. J. Mar. Eng. Innov. Res.*, vol. 8, no. 1, pp. 80–87, 2023, doi: 10.12962/j25481479.v8i1.15169.
- [7] . S., G. Wirawan, D. M. Rosyid, . S., and W. L. Dhanistha, “Implementation of Critical Chain Project Management (CCPM) and Critical Path Method (CPM) on Scheduling Ship Repair Project,” *Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 14, no. 14, pp. 4736–4741, 2019. doi: 10.36478/jeasci.2019.4736.4741.
- [8] S. H. Jo, E. B. Lee, and K. Y. Pyo, “Integrating a procurement management process into Critical Chain Project Management (CCPM): A case-study on oil and gas projects, the piping process,” *Sustain.*, vol. 10, no. 6, 2018, doi: 10.3390/su10061817.
- [9] A. Husen, “Manajemen Proyek,” vol. edisi rev, p. hal. 1-253, 2011.
- [10] Sugiyanto, *Manajemen Proyek Rantai Kritis*. 2021.
- [11] H. Y. Fakhrian, M. Zaki, Ari Wibawa Budi Santosa, “Pembuatan Repair Schedule 2 Unit Tongkang Dan 1 Unit Kapal,” vol. 11, no. 4, pp. 81–91, 2023.
- [12] Rizky, S. Aminata, R. Saputra Aminata, and M. Basuki, “Analisis Perbandingan Produktivitas Jam Kerja pada Proyek Reparasi Kapal TB. Ampenan 01 dengan Metode Critical Path Method & Critical Chain Project Management di Galangan Kapal Madura,” *J. Ilmu Tek. dan Teknol. Marit.*, vol. 2, no. 4, pp. 77–89, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.58192/ocean.v2i4.1490>