



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisis Percepatan Waktu dan Produktivitas pada Proyek Reparasi Kapal KM Dharma Rucitra VII dengan Metode *Critical Chain Project Management* (CCPM)

Raka Fadlyan Musfar¹⁾, Parlindungan Manik²⁾, Tuswan³⁾
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 :fadlyanraka@gmail.com

Abstrak

Critical Chain Project Management (CCPM) merupakan suatu metode perencanaan proyek yang berfokus pada kinerja proyek. Metode CCPM dapat digunakan dalam mengatasi keterlambatan proyek reparasi kapal KM Dharma Rucitra VII. Metode ini menggunakan konsep *buffer time* dengan menghilangkan *safety time* dan menggantinya dalam bentuk *buffer* yang diletakkan di akhir proyek. Tujuan dari penelitian ini ialah membuat suatu penjadwalan dengan metode CCPM yang berfokus pada percepatan durasi dan produktivitas. Penerapan metode CCPM pada proyek reparasi kapal KM Dharm Rucitra VII didapatkan hasil Durasi proyek lebih cepat dibandingkan dengan CPM. Pada CCPM variasi *safety time* 50% memiliki durasi yang lebih cepat dibandingkan dengan variasi *safety time* 40% dan 30% dikarenakan semakin besar *safety time* pada setiap aktivitas maka pemotongan durasi semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat dengan variasi *safety time* 50% dapat mempercepat durasi proyek sebesar 21,43%. Perhitungan produktivitas pada penerapan CCPM variasi *safety time* 50% juga mengalami peningkatan yaitu dari 113,96/mandays menjadi 227,91/mandyas. Serta analisis biaya yang telah dilakukan didapatkan penerapan metode CCPM variasi *safety time* 50% memiliki biaya lebih rendah dibandingkan dengan variasi *safety time* 40% dan 30%. Hal tersebut dapat dilihat pada penerapan CCPM variasi *safety time* 50% mampu menghemat biaya sebesar 25%.

Kata Kunci : *Critical Chain Project Management*, Penjadwalan Proyek, Reparasi Kapal

1. PENDAHULUAN

Keterlambatan pada proyek konstruksi masih sering terjadi khususnya pada proyek pembangunan dan reparasi kapal. Keterlambatan pada proyek dapat merugikan berbagai pihak mulai dari pihak galangan maupun *owner*, untuk menghindari hal tersebut diperlukan suatu manajemen proyek yang baik agar proyek yang sudah direncanakan dapat berjalan sesuai dengan yang diinginkan karena manajemen proyek melibatkan perencanaan, pelaksanaan, dan pengendalian pekerjaan proyek untuk mencapai tujuan proyek yang telah ditetapkan [1].

Penyebab keterlambatan proyek berdasarkan penelitian sebelumnya dikatakan bahwa keterlambatan disebabkan dari berbagai

faktor antara lain jumlah peralatan yang kurang, *maintenance* peralatan yang buruk, hingga pengalokasian tenaga kerja yang kurang [2]. Untuk mengatasi permasalahan tersebut, diperlukan perencanaan atau penjadwalan yang efektif dan efisien karena hal tersebut merupakan tahap awal dalam manajemen proyek.

Critical Path Method (CPM) merupakan salah satu metode yang sering digunakan dalam menyusun penjadwalan suatu proyek. CPM adalah suatu teknik perencanaan yang melibatkan penentuan waktu terpanjang yang dibutuhkan dalam suatu penjadwalan [3]. Namun pada praktiknya, perencanaan menggunakan CPM dianggap tidak optimal karena masih menghadapi hambatan dalam pelaksanaannya [4]. Salah satu kekurangan adalah ketidakefektifan dalam

menetapkan waktu karena terlalu banyak cadangan waktu yang diberikan pada setiap kegiatan. Hal ini bisa menyebabkan pekerja cenderung memanfaatkan waktu secara berlebihan (*parkinson's law effects*) [5].

Critical Chain Project Management (CCPM) adalah salah satu metode dalam menyusun suatu penjadwalan proyek yang dikembangkan dari metode Critical Path Method (CPM). CCPM pertama kali diperkenalkan oleh Goldratt pada tahun 1997. CCPM merupakan suatu pendekatan perencanaan proyek yang berfokus pada kinerja suatu proyek [6]. Tujuan dalam menyusun suatu penjadwalan menggunakan CCPM ialah meningkatkan tingkat penyelesaian proyek dengan cara menghilangkan perilaku manusia seperti multitasking yang buruk (khususnya peralihan tugas), sindrom siswa (*students syndrom*), hukum parkinson (*Parkinson law*), penundaan dalam kotrak, dan kurangnya prioritas (tongkat estafet) [7]. Salah satu pendorong utama penerapan CCPM dapat memungkinkan waktu pengerjaan proyek yang lebih singkat [8].

Metode CCPM memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode CPM. CPM telah menjadi metode yang luas digunakan di seluruh dunia untuk perencanaan dan pengendalian proyek. Tujuan utama metode ini adalah mengidentifikasi jalur kritis proyek agar tujuan proyek dapat tercapai [9]. Namun, CPM tidak memperhitungkan ketidakpastian dalam estimasi waktu yang sering terjadi dalam proyek-proyek yang kompleks [10]. Di sisi lain, CCPM adalah metode manajemen proyek yang menggabungkan pengelolaan risiko dan manajemen sumber daya dalam perencanaan dan pengendalian proyek. Metode ini menggunakan konsep *buffer* untuk mengatasi ketidakpastian dalam estimasi waktu dan sumber daya. *Buffer* ditempatkan di akhir jalur kritis dan jalur non kritis yang dapat memberikan kelonggaran dalam alokasi sumber daya untuk mengatasi masalah dan risiko yang muncul [11]. Jika dibandingkan dengan metode tradisional, metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) memiliki potensi untuk mengurangi durasi proyek sekitar 30% [11]. Dalam proyek reparasi kapal, manajemen waktu dan sumber daya yang efektif dan efisien sangat penting agar proyek selesai tepat waktu.

Metode CCPM telah dilakukan pada penelitian sebelumnya yang digunakan untuk menganalisis percepatan durasi dalam menyusun penjadwalan proyek. Hasil penelitian ini mampu mempercepat durasi proyek sebesar 67,82% dari durasi awal [12].

Perbandingan metode CCPM dan CPM telah dilakukan pada penelitian sebelumnya. Hasil

tersebut menunjukkan bahwa CCPM dinilai efektif dalam mempercepat penjadwalan proyek. Pada proyek konstruksi rumah susun, pekerjaan *finishing* (*drywall*, pertukangan, dan pengecatan) dengan metode CCPM menunjukkan hasil durasi proyek lebih cepat sebesar 80,75% dari metode CPM [13]. Dan pada proyek pembangunan apartemen menara runkut didapatkan hasil metode CCPM lebih cepat 71,6% daripada metode CPM [14].

Metode CCPM juga dinilai efektif dalam meningkatkan produktivitas. Pada penelitian sebelumnya, analisis produktivitas pada proyek reparasi kapal Geomerin-III 649 DWT dilakukan untuk melihat dampak dari penerapan metode CCPM. Dengan penerapan metode CCPM disimpulkan pekerja menjadi lebih produktif dari sebelumnya [15].

Proses *crashing project* dapat digunakan sebagai alternatif dalam mempercepat durasi suatu pekerjaan [16]. Berdasarkan penelitian yang telah sebelumnya, *crashing project* dapat mempercepat proyek pembangunan jembatan Sei Hanyu Kabupaten Kapuas selama 44 hari atau 4,07% [17]. Metode *crashing* juga digunakan pada proyek Pembangunan Ruang Rawat Inap Kelas III RSUD Kabupaten Serang-Banten dan dapat dipercepat pada waktu optimum 3 jam kerja lembur sebesar 27,83% dari durasi awal dengan penambahan biaya sebesar Rp 423.098.748 [18].

Penelitian ini mengambil data proyek reparasi kapal KM Dharma Rucitra VII. Proses reparasi kapal KM Dharma Rucitra VII direncanakan melakukan reparasi pada tanggal 4 Januari 2023 hingga 14 Januari 2023. Namun realisasinya proyek reparasi kapal KM Dharma Rucitra VII selesai di tanggal 4 Februari 2023 yang mana mengalami keterlambatan 11 hari dari perencanaan awal.

Penjadwalan dengan Metode CCPM dapat disimpulkan dari penjabaran tersebut dinilai efektif dalam mempercepat durasi proyek. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk membuat suatu penjadwalan dengan metode CCPM yang berfokus pada percepatan durasi dan produktivitas tenaga kerja.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Proyek reparasi kapal KM Dharma Rucitra VII merupakan objek yang dipilih pada penelitian tugas akhir ini. Proses reparasi kapal ini dilakukan di PT. Janata Marina Indah.

Tabel 1. Ukuran Utama KM Dharma Rucitra VII

No	Dimensi	Ukuran
1	LOA	142,5 m
2	LBP	133,0 m
3	Height	15,6 m
4	Draft	7,01 m

2.2. Pengumpulan Data

Data yang akan diolah dalam penelitian ini yaitu data yang diambil oleh penulis di PT. Janata Marina Indah, data yang diambil merupakan data *schedule docking, monitoring schedule*, volume pekerjaan serta studi literatur diperoleh dari beberapa dokumen pendukung seperti buku, jurnal, internet, dan data – data dari penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Data daftar kegiatan dan durasi proyek dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Daftar Kegiatan

Kegiatan	Kode Kegiatan	Kegiatan Sebelumnya	Durasi (Hari)
Kapal naik dock	A	-	1
Dilakukan <i>Scrapping</i> pada bawah garis air	B	A	1
Pencucian air tawar pada bawah garis air	C	B	2
<i>Sandblasting</i> pada bawah garis air	D	C	2
Pengecatan <i>bottom</i>	E	D	2
Pemasangan zink anoda	F	E	2
Pencucian air tawar pada atas garis air	G	A	2
<i>Sandblasting</i> pada atas garis air	H	G	2
Pengecatan <i>bottop, draft, dan plimsol mark</i>	I	H	2
Perawatan <i>seachest</i>	J	D	7
Perawatan poros propeller dan propeller	K	A	2
Perawatan poros kemudi	L	K	2
Perawatan perpipaan	M	A	7

Tabel 2. Daftar Kegiatan (Lanjutan)

Kegiatan	Kode Kegiatan	Kegiatan Sebelumnya	Durasi (Hari)
<i>Cleaning</i> tangki-tangki	N	A	7
<i>Ultrasonic test</i>	O	A	2
Pengerjaan <i>replating</i>	P	O	7
<i>Sea trial</i>	Q	J, M, N, P	1

2.3. Waktu Slack atau Float

Waktu *slack* atau waktu bebas merupakan waktu yang tersedia bagi setiap kegiatan untuk ditunda tanpa mengakibatkan keterlambatan pada proyek secara keseluruhan. Waktu *slack* dapat dihitung melalui persamaan 1 dan persamaan 2 [19].

$$Slack = LS - ES \quad (1)$$

$$Slack = LF - EF \quad (2)$$

Keterangan :

LS = waktu mulai paling akhir dari kegiatan

ES = waktu mulai paling awal dari kegiatan

LF = waktu penyelesaian paling akhir suatu kegiatan

EF = waktu penyelesaian paling awal suatu kegiatan

2.4. Critical Chain Project Management (CCPM)

CCPM adalah suatu metode yang digunakan dalam menyusun penjadwalan dan pengendalian suatu proyek yang dikembangkan berdasarkan *theory of constraints* dengan tujuan meningkatkan kinerja proyek. Menurut Gray dan Larson (2007), *theory of constraints* adalah memusatkan perhatian pada model batasan kunci yang secara langsung berkontribusi pada kinerja sistem, mengatur *buffer* untuk mengoptimalkan proses, dan memanfaatkan kapasitas yang ada secara optimal. *Theory of constraints* menyatakan bahwa setiap proyek akan terpengaruh oleh satu atau beberapa batasan sumber daya, di mana kapasitas batasan dalam aktivitas tersebut memengaruhi durasi keseluruhan proyek [11].

Menghilangkan Safety Time

CCPM mengatasi variasi dengan mengintegrasikan *buffer* ke dalam penjadwalan proyek, yang berbeda dengan metode lain yang mencoba menghadapinya dengan menambahkan waktu cadangan pada setiap estimasi durasi aktivitas. Sedangkan CCPM sebaliknya,

menempatkan waktu cadangan pada tahap akhir seluruh proyek.

Metode Pengukuran Buffer

Metode yang paling sering digunakan untuk menghitung *feeding buffer* dan *project buffer* adalah *Root Square Error Method* (RSEM) [11]. Metode ini menggunakan dua estimasi dari setiap aktivitas yaitu waktu estimasi aman dari 100% kemungkinan (S) dan waktu optimis (A) adalah pengurangan durasi aktivitas yang besarnya divariasikan sebesar 50%, 40%, dan 30% dari estimasi aman. Besaran *buffer* dapat dihitung dengan persamaan 3.

$$B = 2 \times \sqrt{\left(\frac{S_1 - A_1}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_i - A_i}{2}\right)^2} \quad (3)$$

Keterangan :

B = Buffer

S₁ = Waktu Aman

A₁ = Waktu Optimis

2.5. Produktivitas

Perencanaan sumber daya untuk menjalankan proyek harus mencakup perhitungan jumlah tenaga kerja yang diperlukan. Produktivitas merupakan hubungan antara hasil (*output*) dengan sumber daya yang digunakan (*input*) [20]. Perhitungan Produktivitas tenaga kerja dapat dihitung dengan persamaan 4.

$$\text{Produktivitas} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Waktu} \times \text{Tenaga Kerja}} \quad (4)$$

2.6. Pengolahan Data

CCPM berfokus pada konsep rantai kritis, yaitu serangkaian aktivitas yang saling ketergantungan dan memiliki dampak signifikan terhadap jadwal proyek secara keseluruhan. Dari *Work Breakdown Structure* (WBS) dapat dibuat jaringan kerja yang dapat mengetahui pembagian aktivitas kerja serta urutan kegiatan. Setelah itu menentukan jalur kritis menggunakan metode perhitungan maju dan perhitungan mundur sehingga didapat lintasan kritis dari kegiatan dengan *float/slack* yang memiliki nilai 0.

Penerapan pada metode CCPM, langkah awal yang dilakukan ialah menghilangkan *safety time* dengan variasi presentase pengurangan durasi aktivitas sebesar 50%, 40%, dan 30% yang kemudian diganti dengan *buffer time* yang diletakkan diakhir dari aktivitas kerja. Dalam perhitungan *buffer* pada penelitian ini

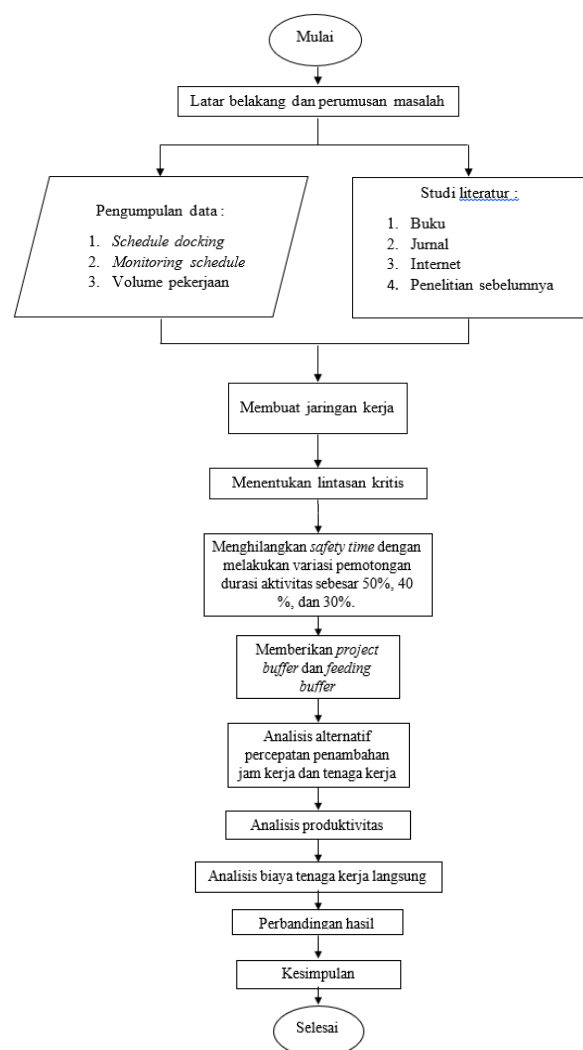
menggunakan *Root Square Error Method* (RSEM). Metode ini menggunakan dua estimasi dari setiap aktivitas yaitu waktu estimasi aman dari 100% kemungkinan (S) dan waktu optimis (A) adalah pengurangan durasi aktivitas yang besarnya divariasikan sebesar 50%, 40%, dan 30% dari estimasi aman. Setelah dilakukan penjadwalan menggunakan metode CCPM.

Pada penelitian ini dilakukan alternatif percepatan penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja. Hasil dari alternatif percepatan penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja nantinya akan dibandingkan dengan penerapan metode CCPM.

Perhitungan produktivitas yang telah dilakukan penerapan dalam metode CCPM Dan melakukan perbandingan hasil analisis total durasi dan produktivitas pada penerapan metode CCPM.

2.7. Diagram Alir Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat melalui diagram pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

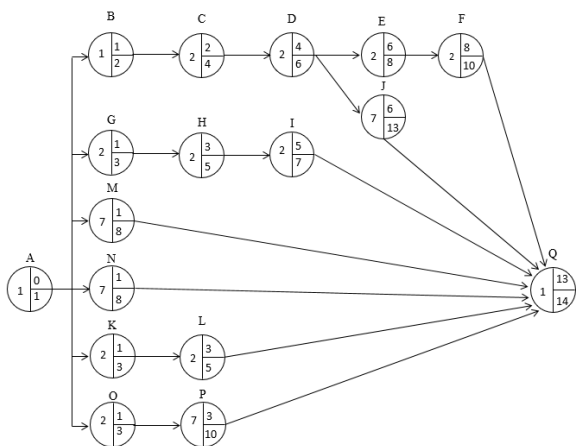
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Menyusun Jaringan Kerja

Jaringan kerja perlu dilakukan pengidentifikasian lingkup proyek pada kegiatan-kegiatan proyek. Jaringan kerja memberikan kerangka kerja untuk sistem informasi proyek yang memungkinkan manajer proyek membuat keputusan mengenai waktu dan kinerja proyek [21]. Menyusun jaringan kerja menggunakan WBS (*Work Breakdown Structure*) dapat mempermudah pembagian aktivitas kerja menjadi lebih rinci sehingga diketahui lintasan kerja. Setelah mendapatkan data waktu dan kegiatan kerja yang dapat dilihat pada Tabel 2, langkah selanjutnya adalah menganalisis waktu kegiatan yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Perhitungan Maju

Kode Kegiatan	Durasi (Hari)	Perhitungan Maju (Hari)	
		ES	EF
A	1	0	1
B	1	1	2
C	2	2	4
D	2	4	6
E	2	6	8
F	2	8	10
G	2	1	3
H	2	3	5
I	2	5	7
J	7	6	13
K	2	1	3
L	2	3	5
M	7	1	8
N	7	1	8
O	2	1	3
P	7	3	10
Q	1	13	14



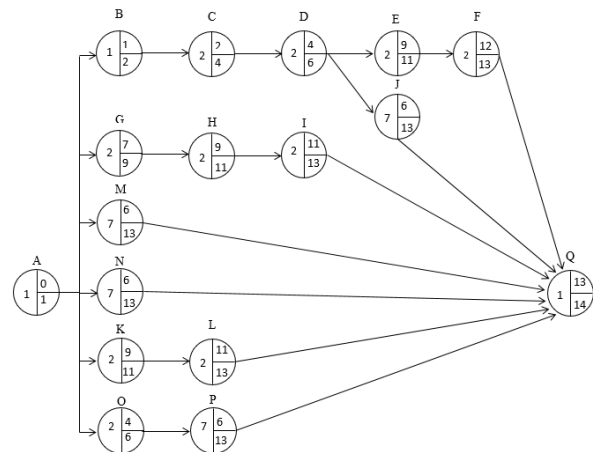
Gambar 2. Network Diagram Perhitungan Maju

Perhitungan maju dilakukan untuk dapat melihat waktu ES dan EF. Maka selanjutnya akan

dilanjutkan dengan perhitungan mundur untuk mendapatkan waktu LS dan LF yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Mundur

Kode Kegiatan	Durasi (Hari)	Perhitungan Mundur (Hari)	
		LS	LF
A	1	0	1
B	1	1	2
C	2	2	4
D	2	4	6
E	2	9	11
F	2	11	13
G	2	7	9
H	2	9	11
I	2	11	13
J	7	6	13
K	2	9	11
L	2	11	13
M	7	6	13
N	7	6	13
O	2	4	6
P	7	6	13
Q	1	13	14



Gambar 3. Network Diagram Perhitungan Mundur

Hasil perhitungan pada Tabel 4 dihasilkan nilai LS (*Latest Start*) dan LF (*Latest Finish*). Pada Tabel 3 contoh yang didapatkan pada nilai ES pada peristiwa H adalah 3 yang menunjukkan bahwa peristiwa J paling cepat dimulai pada hari ke 3. Sedangkan pada Tabel 4 contoh yang didapatkan pada nilai LF pada peristiwa H adalah 11 yang menunjukkan bahwa peristiwa H paling lambat selesai dikerjakan pada hari ke 11.

3.2. Menentukan Jalur Kritis

Identifikasi jalur kritis dilakukan dengan menghitung *total float* yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Total *Float*

Kode Kegiatan	Perhitungan Maju (Hari)		Perhitungan Mundur (Hari)		Total <i>Float</i> (Hari)
	ES	EF	LS	LF	
	A	0	1	0	
B	1	2	1	2	0
C	2	4	2	4	0
D	4	6	4	6	0
E	6	8	9	11	3
F	8	10	11	13	3
G	1	3	7	9	6
H	3	5	9	11	6
I	5	7	11	13	6
J	6	13	6	13	0
K	1	3	9	11	8
L	3	5	11	13	8
M	1	8	6	13	5
N	1	8	6	13	5
O	1	3	4	6	3
P	3	10	6	13	3
Q	13	14	13	14	0

Hasil perhitungan pada Tabel 5, didapatkan penjadwalan dengan metode CPM dengan total durasi proyek sebesar 14 hari, dan dapat ditentukan jalur kritis yang dimana jalur kritis merupakan aktivitas yang memiliki total *float* = 0, aktivitas yang memiliki total *float* = 0 terdiri dari aktivitas A-B-C-D-J-Q, maka jalur yang melewati aktivitas-aktivitas tersebut adalah jalur kritis.

3.3. Penerapan Metodee CCPM

Menghilangkan *Safety Time*

Metode CCPM menggunakan konsep *buffer* dengan menghilangkan *safety time* yang sudah ada dalam penjadwalan proyek. Dalam penelitian ini melakukan variasi dalam pengurangan durasi aktivitas untuk menghilangkan *safety time*. Variasi presentase pengurangan durasi aktivitas sebesar 50%, 40%, dan 30%. Pengurangan durasi aktivitas dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Pengurangan Durasi Aktivitas

Kode Kegiatan	CPM	Durasi (Hari)		
		CCPM	CCPM	CCPM
		<i>Safety time</i>	<i>Safety time</i>	<i>Safety time</i>
		50%	40%	30%
A	1	0,5	0,6	0,7
B	1	0,5	0,6	0,7
C	2	1	1,2	1,4
D	2	1	1,2	1,4
E	2	1	1,2	1,4
F	2	1	1,2	1,4
G	2	1	1,2	1,4
H	2	1	1,2	1,4
I	2	1	1,2	1,4
J	7	3,5	4,2	4,9

Tabel 6. Hasil Pengurangan Durasi Aktivitas (Lanjutan)

Kode Kegiatan	CPM	Durasi (Hari)		
		CCPM	CCPM	CCPM
		<i>Safety time</i>	<i>Safety time</i>	<i>Safety time</i>
		50%	40%	30%
K	2	1	1,2	1,4
L	2	1	1,2	1,4
M	7	3,5	4,2	4,9
N	7	3,5	4,2	4,9
O	2	1	1,2	1,4
P	7	3,5	4,2	4,9
Q	1	0,5	0,6	0,7

Memasukkan *Buffer* pada Penjadwalan CCPM

Perhitungan *buffer* dilakukan untuk dapat ditambahkan ke dalam penjadwalan proyek. Pengurangan durasi aktivitas dalam metode ini meningkatkan potensi terjadinya keterlambatan yang lebih besar. Oleh karena itu, untuk mencegah keterlambatan, diperlukan penambahan *buffer* atau waktu cadangan. *Buffer* ini nantinya akan disisipkan ke dalam jadwal proyek yang telah dilakukan pengurangan durasi aktivitas, sehingga menghasilkan jadwal yang lebih aman.

Menghitung *Feeding Buffer*

Feeding buffer merupakan waktu cadangan yang diletakkan pada akhir jalur non kritis. *Feeding buffer* digunakan sebagai waktu cadangan pada jalur non kritis sehingga dapat melindungi kegiatan dari keterlambatan yang dapat berpengaruh pada jalur kritis. Hasil perhitungan *feeding buffer* dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. *Summary Feeding Buffer*

No	Jalur Non Kritis	<i>Feeding Buffer</i> (Hari)		
		CCPM	CCPM	CCPM
		<i>Safety time</i>	<i>Safety time</i>	<i>Safety time</i>
		50%	40%	30%
1	A-B-C-D-E-F	2,12	1,70	1,27
2	A-G-H-I	1,80	1,44	1,08
3	A-M	3,54	2,83	2,12
4	A-N	3,54	2,83	2,12
5	A-K-L	1,50	1,20	0,90
6	A-O-P	3,67	2,94	2,20

Menghitung *Project Buffer*

Project buffer merupakan waktu cadangan yang diletakkan pada akhir jalur kritis. *Project buffer* digunakan sebagai waktu cadangan pada jalur kritis sehingga dapat melindungi waktu penyelesaian proyek dari keterlambatan. Hasil perhitungan *project buffer* dapat dilihat pada Tabel 8.

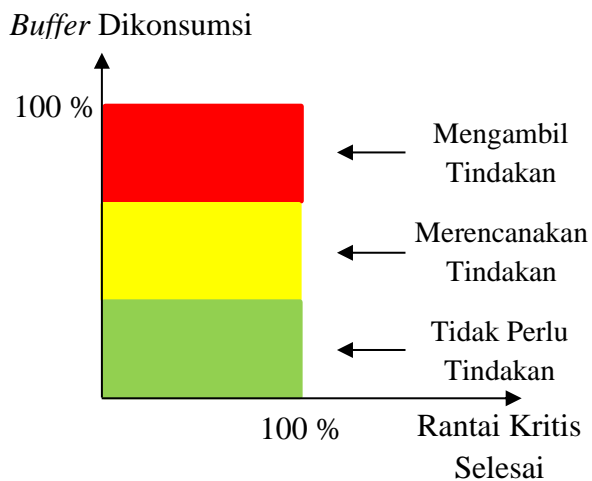
Tabel 8. *Summary Project Buffer*

No	Jalur Kritis	Project Buffer (Hari)		
		CCPM	CCPM	CCPM
		Safety	Safety	Safety
		time 50%	time 40%	time 30%
1	A-B-C-D-J-Q	3,87	3,10	2,32

Hasil Perhitungan pada Tabel 8 akan dimasukkan ke dalam penjadwalan metode CCPM sehingga total durasi penjadwalan dengan metode CCPM ialah 11 hari pada variasi CCPM *safety time* 50%, 11,5 hari pada variasi CCPM *safety time* 40%, dan 12 hari pada variasi CCPM *safety time* 30%.

Analisis Buffer Management

Buffer management digunakan untuk menjaga jadwal proyek tanpa mengubah inti dari rantai kritis. *Buffer management* dibagi menjadi tiga kategori warna. Warna hijau mengindikasikan wilayah yang memiliki nilai sepertiga awal dari penggunaan yang menunjukkan zona aman. Warna kuning menggambarkan zona transisi di mana tindakan harus direncanakan dengan kemungkinan waktu *buffer* akan terpakai dengan cepat. Warna merah menggambarkan wilayah di mana tindakan yang telah direncanakan sebelumnya harus dilaksanakan [11]. Untuk lebih jelas bisa dilihat pada Gambar 4.

Gambar 4. Indikator Zona Penggunaan *Buffer*

Hasil perhitungan dan analisis sebelumnya telah diperoleh besaran *project buffer*, dari hasil tersebut dapat menentukan zona-zona tertentu sebagaimana yang dijelaskan dalam Tabel 9.

Tabel 9. Presentase Penggunaan Durasi *Project Buffer*

Zona Penggunaan Buffer	Durasi Terpakai (Hari)		
	Project	Project	Project
	Buffer	Buffer	Buffer
	CCPM	CCPM	CCPM
	Safety	Safety	Safety
	time 50%	time 40%	time 30%
	3,87	3,10	2,32
0% - 33%	< 1,28	< 1,02	< 0,77
34% - 67%	1,28-2,63	1,02-2,11	0,77-1,58
68% - 100%	> 2,63	> 2,11	> 1,58

Presentase penggunaan durasi *project buffer* memberikan informasi yang sangat berharga kepada tim pelaksana proyek untuk mengambil langkah-langkah terkait pengendalian selama pelaksanaan proyek, terutama dalam mengatasi risiko yang dapat mengakibatkan keterlambatan proyek. Dengan mengurangi risiko yang mungkin timbul, secara efektif dapat mengendalikan penggunaan durasi *project buffer*.

3.4. Alternatif Percepatan

Alternatif percepatan dilakukan untuk mempersingkat durasi kegiatan dengan menambah jam kerja (lembur) maupun tenaga kerja. Langkah pertama yang dilakukan ialah menghitung Produktivitas Harian Normal (PHN) dengan persamaan 5.

$$PHN = \frac{\text{Volume}}{\text{Durasi}} \quad (5)$$

Perhitungan produktivitas harian normal pada tiap item pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Hasil Perhitungan Produktivitas Harian Normal

Kode Kegiatan	Durasi (Hari)	Volume Pekerjaan	PHN (/hari)
A	1	1 kapal	1
B	1	3593 m ²	3593
C	2	3593 m ²	1796,5
D	2	3593 m ²	1796,5
E	2	7186 m ²	3593
F	2	110 unit	55
G	2	465,5 m ²	232,75
H	2	465,5 m ²	232,75
I	2	931 m ²	465,5
J	7	3 unit	0,42857
K	2	3 unit	1,5
L	2	6 unit	3
M	7	149,1 m	21,3
N	7	129,54 ton	18,5057
O	2	2 titik	1
P	7	6,97986 ton	0,99712
Q	1	1 kapal	1

Penambahan Jam Kerja

Proyek ini menggunakan waktu kerja 8 jam per hari. Dalam penelitian ini akan menggunakan asumsi penambahan jam kerja lembur selama 4 jam. Namun penambahan jam kerja lembur dapat menimbulkan penurunan produktivitas sebesar 60% [22]. Untuk melakukan perhitungan produktivitas normal setiap jam dapat menggunakan persamaan 6.

$$PNJ = \frac{PHN}{\text{Jam Kerja Normal}} \quad (6)$$

Perhitungan produktivitas total jam kerja lembur dapat dihitung menggunakan persamaan 7.

$$PPJK = PHN + (PNJ \times EP \times DJL) \quad (7)$$

Keterangan :

- PPJK = Produktivitas Penambahan Jam Kerja
- PNJ = Produktivitas Normal per Jam
- PHN = Produktivitas Harian Normal
- EP = Efisiensi Produktivitas
- DJL = Durasi Jam Lembur

Perhitungan *crash duration* dilakukan setelah diperoleh nilai produktivitas total jam kerja lembur. Berikut merupakan perhitungan persamaan *Crash Duration* (CD) dari alternatif penambahan jam kerja.

$$CD \text{ Jam Kerja} = \frac{\text{Volume}}{PPJK} \quad (8)$$

Hasil persamaan di atas dapat dilihat pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Perhitungan *Crash Duration* Jam Kerja

Kode Kegiatan	Volume	PPJK (/hari)	<i>Crash Duration</i> Jam Kerja (Hari)
A	1 kapal	1,3	0,77
B	3593 m ²	4670,9	0,77
C	3593 m ²	2335,45	1,54
D	3593 m ²	2335,45	1,54
E	7186 m ²	4670,9	1,54
F	110 unit	71,5	1,54
G	465,5 m ²	302,575	1,54
H	465,5 m ²	302,575	1,54
I	931 m ²	605,15	1,54
J	3 unit	0,55714	5,38
K	3 unit	1,95	1,54
L	6 unit	3,9	1,54
M	149,1 m	27,69	5,38
N	129,5 ton	24,0574	5,38
O	2 titik	1,3	1,54
P	6,98 ton	1,296	5,38
Q	1 kapal	1,3	0,77

Perhitungan pada Tabel 11 diperoleh total durasi dari alternatif penambahan jam kerja lembur 4 jam sebesar 10,77 atau 11 hari.

Penambahan Tenaga Kerja

Penelitian ini menggunakan asumsi penambahan 30% tenaga kerja yang diperoleh pada peningkatan produktivitas pada penambahan jam kerja. Untuk perhitungannya penambahan tenaga kerja dapat dihitung menggunakan persamaan 9.

$$TKP = TKN \times 30\% \quad (9)$$

Perhitungan produktivitas setelah menambah tenaga kerja dapat dihitung menggunakan persamaan 10.

$$PPTK = PHN + \left(PHN \times \frac{TKP}{TKN} \right) \quad (10)$$

Keterangan :

- PPTK = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja
- TKP = Tenaga Kerja Percepatan
- TKN = Tenaga Kerja Normal

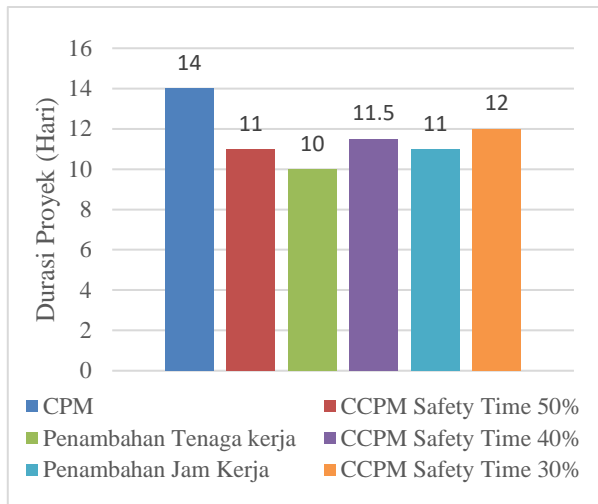
Perhitungan *crash duration* dilakukan setelah diperoleh nilai produktivitas total tenaga kerja. Berikut merupakan perhitungan persamaan *crash duration* (CD) dari alternatif penambahan tenaga kerja.

$$CD \text{ Jam Kerja} = \frac{\text{Volume}}{PPTK} \quad (11)$$

Tabel 12. Hasil Perhitungan *Crash Duration* Tenaga Kerja

Kode Kegiatan	Volume	PPTK (/hari)	<i>Crash Duration</i> Tenaga Kerja (Hari)
A	1 kapal	1,25	0,80
B	3593 m ²	4790,67	0,75
C	3593 m ²	2309,79	1,56
D	3593 m ²	2515,1	1,43
E	7186 m ²	5030,2	1,43
F	110 unit	73,33	1,50
G	465,5 m ²	299,25	1,56
H	465,5 m ²	325,85	1,43
I	931 m ²	651,7	1,43
J	3 unit	0,6	5,00
K	3 unit	1,875	1,60
L	6 unit	4	1,50
M	149,1 m	28,4	5,25
N	129,5 ton	24,67	5,25
O	2 titik	1,25	1,60
P	6,98 ton	1,329497	5,25
Q	1 kapal	1,25	0,80

Perhitungan pada Tabel 12 diperoleh total durasi dari alternatif penambahan tenaga kerja sebesar 10,34 atau 10 hari. Setelah didapatkan durasi proyek dari variasi yang dilakukan, maka dapat disimpulkan perbandingan durasi pada setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Perbandingan Durasi Proyek

Perbandingan grafik pada Gambar 5 menunjukkan perbedaan percepatan durasi proyek pada setiap variasi. Pada penerapan CCPM dengan variasi *safety time* 50% durasi proyek mampu dipercepat sebesar 21,43%, untuk variasi *safety time* 40% durasi proyek mampu dipercepat sebesar 17,86%, dan variasi *safety time* 30% durasi proyek mampu dipercepat sebesar 14,29%. Sedangkan durasi Proyek dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja mampu dipercepat sebesar 21,43% dan tenaga kerja sebesar 28,57%.

3.5. Analisis Produktivitas

Perhitungan produktivitas diperlukan sebagai dasar perbandingan antara produktivitas sebelum dan sesudah dilakukannya penerapan dengan metode CCPM. Data volume pekerjaan dan tenaga kerja dapat dilihat pada Tabel 13.

Tabel 13. Data Volume Pekerjaan dan Tenaga Kerja

Kode Kegiatan	Tenaga Kerja (Orang)	Volume Pekerjaan
A	8	1 kapal
B	9	3593 m ²
C	7	3593 m ²
D	5	3593 m ²
E	5	7186 m ²
F	3	110 unit
G	7	465,5 m ²
H	5	465,5 m ²
I	5	931 m ²
J	5	3 unit

Tabel 13. Data Volume Pekerjaan dan Tenaga Kerja (Lanjutan)

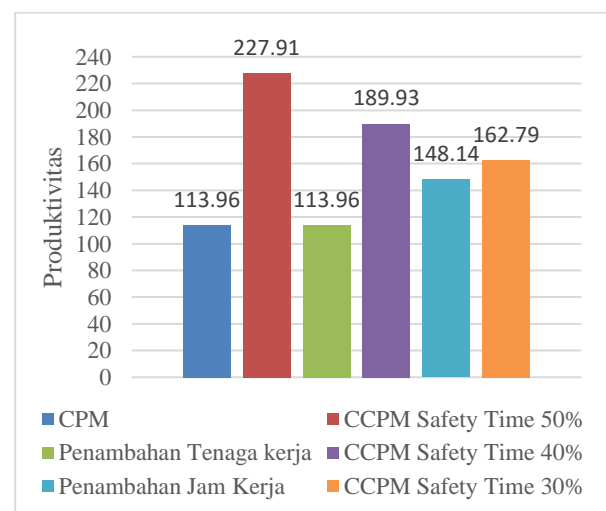
Kode Kegiatan	Tenaga Kerja (Orang)	Volume Pekerjaan
K	4	3 unit
L	3	6 unit
M	3	149,1 m
N	6	129,54 ton
O	4	2 titik
P	9	6,97986 ton
Q	8	1 kapal

Hasil perhitungan rata-rata produktivitas tenaga kerja pada tiap variasi dapat dilihat pada Tabel 14.

Tabel 14. Perbandingan Rata-Rata Produktivitas Tenaga Kerja

Variasi	Rata-Rata Produktivitas Tenaga Kerja (<i>mandays</i>)
CPM	113,96
CCPM <i>Safety Time</i> 50%	227,91
CCPM <i>Safety Time</i> 40%	189,93
CCPM <i>Safety Time</i> 30%	162,79
Penambahan Jam Kerja	148,14
Penambahan Tenaga Kerja	113,96

Hasil perhitungan pada Tabel 14 menunjukkan rata-rata produktivitas pada setiap variasi. Selanjutnya dilakukan pembuatan grafik perbandingan produktivitas yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Grafik Perbandingan Produktivitas Tenaga Kerja

Perbandingan grafik pada Gambar 6 menunjukkan perbedaan peningkatan produktivitas pada setiap variasi. Diperoleh rata-rata produktivitas CPM sebesar 113,96/*mandays*. Kemudian setelah dilakukan penerapan dengan

metode CCPM produktivitas meningkat menjadi 227,91/*mandays* pada variasi *safety time* 50%, 189,93/*mandays* pada variasi *safety time* 40%, dan 162,79/*mandays* pada variasi *safety time* 30%. Dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja produktivitas meningkat menjadi 148,14/*mandays* dan untuk penambahan tenaga kerja tidak mengalami peningkatan produktivitas.

3.6. Analisis Biaya Tenaga Kerja Langsung

Analisis Biaya pada Metode CPM dan CCPM

Perhitungan biaya langsung yang dilakukan pada penelitian ini menggunakan data yang diperoleh dari Badan Pusat Statistik tentang besaran upah pekerja rata-rata per jam Jawa Tengah pada tahun 2022 yaitu Rp 12.604,00. Data upah pekerja tersebut akan dilakukan perhitungan dengan tenaga kerja dan durasi tiap kegiatan. Dikarenakan pada metode CCPM ditekankan pada peningkatan produktivitas tenaga kerja sehingga upah pekerja pada metode CCPM harus dinaikkan selaras dengan peningkatan produktivitas. Data upah pekerja dapat dilihat pada Tabel 15.

Tabel 15. Daftar Harga Upah Pekerja

Variasi	Harga Upah Pekerja Per Jam
Normal	Rp 12.604,00
CCPM <i>Safety Time</i> 50%	Rp 18.906,00
CCPM <i>Safety Time</i> 40%	Rp 16.805,33
CCPM <i>Safety Time</i> 30%	Rp 15,304,86

Biaya tenaga kerja langsung dapat dihitung berdasarkan data pada Tabel 15. Perhitungan biaya tenaga kerja langsung dapat dilihat pada persamaan 12.

$$\text{Biaya} = \text{UP} \times \text{TK} \times \text{D} \quad (12)$$

Keterangan :

UP = Upah Pekerja
TK = Tenaga Kerja
D = Durasi

Hasil perhitungan pada persamaan 12 dapat dilihat pada Tabel 16.

Tabel 16. Hasil Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung Metode CPM dan CCPM

Kode Kegiatan	Biaya Tenaga Kerja Langsung (Rp)			
	CPM	CCPM <i>Safety time</i> 50%	CCPM <i>Safety time</i> 40%	CCPM <i>Safety time</i> 30%
A	806656	604992	645325	685658
B	907488	680616	725990	771365
C	1411648	1058736	1129318	1199901

Tabel 16. Hasil Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung Metode CPM dan CCPM (Lanjutan)

Kode Kegiatan	Biaya Tenaga Kerja Langsung (Rp)			
	CPM	CCPM <i>Safety time</i> 50%	CCPM <i>Safety time</i> 40%	CCPM <i>Safety time</i> 30%
D	1008320	756240	806656	857072
E	1008320	756240	806656	857072
F	604992	453744	483994	514243
G	1411648	1058736	1129318	1199901
H	1008320	756240	806656	857072
I	1008320	756240	806656	857072
J	3529120	2646840	2823295	2999753
K	806656	604992	645325	685658
L	604992	453744	483994	514243
M	2117472	1588104	1693977	1799852
N	4234944	3176208	3387955	3599703
O	806656	604992	645325	685658
P	6352416	4764312	5081932	5399555
Q	806656	604992	645325	685658

Analisis Biaya Penambahan Jam Kerja dan Tenaga Kerja

Perusahaan harus mentaati regulasi yang berlaku Dalam menghitung kompensasi bagi pekerja yang melakukan lembur. Penelitian ini menggunakan metode yang merujuk pada Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021. Peraturan tersebut menetapkan bahwa untuk jam kerja lembur pertama, pekerja harus dibayar 1,5 kali lipat upah normal per jam, sementara untuk jam kerja lembur berikutnya, upah yang dibayarkan harus sebesar 2 kali lipat upah jam lembur pertama. Maka rumus perhitungan upah jam lembur 4 jam dapat dilihat pada persamaan 13.

$$\text{BL} = (\text{NCPJ} \times 1,5) + (3 \times \text{NCPJ} \times 1,5 \times 2) \quad (13)$$

Keterangan :

BL = Biaya Lembur 4 Jam
NCPJ = Normal *Cost* Pekerja Per Jam

Menghitung Biaya tenaga kerja langsung pada penambahan jam kerja dan tenaga kerja dapat dilihat pada persamaan 14.

$$\text{Biaya} = \text{NCPH} \times \text{TK} \times \text{CD} \quad (14)$$

Keterangan :

NCPH = Normal *Cost* Pekerja Per Hari
TK = Tenaga Kerja

Hasil perhitungan biaya tenaga kerja langsung penambahan jam kerja dan tenaga kerja pada persamaan 14 dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Hasil Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung pada Penambahan Jam kerja dan Tenaga Kerja

Kode Kegiatan	Biaya Tenaga Kerja Langsung (Rp)	
	Penambahan Jam Kerja	Penambahan Tenaga Kerja
A	1436352	806656
B	1615896	907488
C	2513616	1411648
D	1795440	1008320
E	1795440	1008320
F	1077264	604992
G	2513616	1411648
H	1795440	1008320
I	1795440	1008320
J	6272381	3529120
K	1436352	806656
L	1077264	604992
M	3763428	2117472
N	7526857	4234944
O	1436352	806656
P	11290285	6352416
Q	1436352	806656

Perhitungan pada Tabel 16 dan Tabel 17 diperoleh biaya tenaga kerja langsung pada setiap variasi. Dapat disimpulkan perbandingan biaya tenaga kerja langsung pada setiap variasi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbandingan Biaya Tenaga Kerja Langsung

Perbandingan grafik pada Gambar 7 menunjukkan perbedaan biaya tenaga kerja

langsung pada setiap variasi. Diperoleh hasil pada penerapan CCPM dengan variasi *safety time* 50% mampu menghemat biaya sebesar 25%, variasi *safety time* 40% mampu menghemat biaya sebesar 20%, dan variasi *safety time* 30% mampu menghemat biaya sebesar 15%. Sedangkan dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja biaya meningkat sebesar 77,87% dan untuk penambahan tenaga kerja memiliki biaya yang sama besar dengan penerapan CPM.

4. KESIMPULAN

Pengolahan data penelitian pada proyek KM Dharma Rucitra VII dengan penerapan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) didapatkan hasil penjadwalan proyek mengalami percepatan durasi serta peningkatan produktivitas tenaga kerja.

Durasi proyek yang didapatkan pada penerapan CCPM lebih cepat dibandingkan dengan CPM. CCPM variasi *safety time* 50% memiliki durasi yang lebih cepat dibandingkan dengan variasi *safety time* 40% dan 30% dikarenakan semakin besar *safety time* pada setiap aktivitas maka pemotongan durasi semakin besar. Hal tersebut dapat dilihat dengan variasi *safety time* 50% dapat mempercepat durasi proyek sebesar 21,43%.

Produktivitas pada penerapan CCPM meningkat dibandingkan sebelumnya. CCPM variasi *safety time* 50% memiliki produktivitas lebih tinggi dibandingkan dengan variasi *safety time* 40% dan 30%. Hal tersebut dilihat produktivitas sebelum penerapan CCPM sebesar 113,96/*mandays*. Kemudian setelah dilakukan penerapan dengan metode CCPM variasi *safety time* 50% produktivitas meningkat menjadi 227,91/*mandays*. Sehingga dapat disimpulkan dengan menggunakan pendekatan *Critical Chain Project Management* (CCPM), pekerja menjadi lebih produktif dibandingkan dengan kondisi sebelumnya.

Analisis yang telah dilakukan didapatkan penerapan metode CCPM dapat menghemat biaya dari penerapan metode CPM. CCPM variasi *safety time* 50% memiliki biaya lebih rendah dibandingkan dengan variasi *safety time* 40% dan 30%. Hal tersebut dapat dilihat pada penerapan CCPM variasi *safety time* 50% mampu menghemat biaya sebesar 25%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. M. Institute, A Guide to the Management Body of Knowledge. Sixth

- Edition, Pennsylvania: Project Management Institute, 2017.
- [2] L. K. Pandaga, I. Rochani dan Y Mulyadi, "Penjadwalan Berdasarkan Analisis Faktor-Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Reparasi Kapal: Studi Kasus MV. Blossom," *Jurnal Teknik Kelautan*, vol. 7, no. 1, 2018.
- [3] P. M. Institute, A Guide to the Management Body of Knowledge. Fifth Edition, Pennsylvania: Project Management Institute, 2013.
- [4] R. S. Aminata, "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," *Ocean Engineering : Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, vol. 2, no. 4, pp. 77-89, 2023.
- [5] A. Mufahri dan W. Oetomo, "Analisis Biaya dan Waktu pada Pembangunan Rumah Sakit Tingkat III Brawijaya Surabaya Menggunakan Metode Critical Chain Project Management (CCPM)," *Jurnal Taguchi : Jurnal Ilmiah Teknik dan Manajemen Industri*, vol. 3, no. 1, pp. 852-864, 2023.
- [6] E. M. Goldratt, "Critical Chain," dalam *North River Press*, Great Barrington, 1997.
- [7] L. P. Leach, *Critical Chain Project Management*, Second Edition, Artech House, 2004.
- [8] A. Vignesh, "Critical Chain Project Management In Construction Projects," *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, vol. 6, no. 12, pp. 2655-2658, 2019.
- [9] S. Reksohadiprodjo, *Manajemen Proyek*, Yogyakarta: BPFE, 1983.
- [10] D. Setiawan dan R. Simatupang, "Pengembangan Model Simulasi Integrasi Biaya dan Jadwal Proyek Konstruksi di Bawah Ketidakpastian," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 6, no. 2, pp. 165-192, 2010.
- [11] Sugiyanto, *Manajemen Proyek Rantai Kritis*, Surabaya: Cipta Media Nusantara, 2021.
- [12] M. Shurrab, "Traditional Critical Path Method versus Critical Chain Project Management: A Comparative View," *International Journal of Economics & Management Sciences*, vol. 4, no. 09, p. 6359, 2015.
- [13] L. Anastasiu, C. Câmpian dan N. Roman, "Boosting Construction Project Timeline: The Case of Critical Chain Project Management (CCPM)," *Buildings*, no. 5, p. 1249, 2023.
- [14] M. Aulady dan C. Orleans, "Perbandingan Durasi Waktu Proyek Konstruksi Antara Metode Critical Path Method (CPM) dengan Metode Critical Chain Project Management (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Apartemen Menara Rungkut)," *Jurnal IPTEK*, vol. 20, no. 1, 2016.
- [15] A. W. B. Santosa, O. Mursid, M. A. Kalingga, S. T. P. Ahmad dan A. Trimulyono, "Productivity Analysis Using the Critical Chain Project Method Management (CCPM) on Repair Projects Geomerin-III ship 649 DWT," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 8, no. 1, pp. 80-87, 2023.
- [16] A. B. Sulistyono, Ilpan dan A. Khadijah, "Perencanaan Ulang Proyek Jalan Menggunakan Metode Critical Chain Project Management dan Metode Crashing," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 14, no. 2, pp. 261-270, 2021.

- [17] W. Oetomo, Priyoto dan Uhad, "Analisis Waktu dan Biaya dengan Metode Crashing Duration pada Keterlambatan Proyek Pembangunan Jembatan Sei Hanyu Kabupaten Kapuas," *Media Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 6, no. 1, pp. 8-22, 2017.
- [18] A. Armalisa, "Metode Crashing Terhadap Penambahan Jam Kerja Optimum pada Proyek Konstruksi," *Jurnal Teknik Sipil Universitas Serang Raya*, vol. 1, no. 1, pp. 41-58, 2021.
- [19] I. Soeharto, *Manajemen Proyek*, Jakarta: Erlangga, 1999.
- [20] H. C. Wahyuni, *Analisa Produktivitas Konsep Dasar dan Teknik Pengukuran Produktivitas*, Sidoarjo: UMSIDA Press, 2017.
- [21] E. W. Larson dan C. F. Gray, *Project Management The Managerial Process. Fifth Edition*, New York: McGraw-Hill, 2011.
- [22] W. D. Argiyan, I. P. Mulyatno dan S. Jokosisworo, "Analisa Shop Level Planning dengan Metode Jalur Kritis pada Reparasi TB. Tanjung Buyut I-206 dan TB. Arek Suroboyo-3," *Jurnal Teknik Perkapalan*, vol. 10, no. 4, 2022.