

ANALISA *RESCHEDULE REPAIR* KM STU MENGGUNAKAN METODE *CRITICAL CHAIN PROJECT MANAGEMENT*

¹Zulia Wulan Sari, ²Dira Ernawati

¹Jurusan Teknik Industri

Universitas Pembangunan Nasional

"Veteran" Jawa Timur

zuliawulansari123@gmail.com

²Jurusan Teknik Industri

Universitas Pembangunan Nasional

"Veteran" Jawa Timur

dira.ti@upnjatim.ac.id

Article history:

Received 1th of December, 2024

Revised 6th of December, 2024

Accepted 12th of December, 2024

Abstract

PT XYZ is the largest shipyard company in Indonesia. As the largest shipyard, PT XYZ is required to complete new shipbuilding and repair projects quickly, in accordance with the agreement stated in the contract agreed between the shipowner or his representative and the shipyard. In this case, project scheduling planning plays a very important role to ensure that each stage of work can be completed efficiently and on time. However, the schedule designed from the start is not always fully aligned with the implementation in the field, so that the work has the potential to be delayed from the specified time. The delay also occurred in the KM STU repair project carried out by PT XYZ. Therefore, a reschedule was carried out using the Critical Chain Project Management method. By implementing the CCPM method, the results showed that the project duration was 13 days with an additional project buffer of 3.5 days and a cost of IDR 266,000,000 which was the same as the normal duration or initial condition. However, if the buffer time in the CCPM duration is fully used, the total cost obtained will increase to IDR 304,080,000 or around 14.3% of the CCPM cost without a buffer. Meanwhile, worker productivity by implementing the Critical Chain Project Management method has increased compared to before. Previously, the average worker productivity was 27.45/mandays. Then after implementing the CCPM method, the average worker productivity became 54.89/mandays. Based on the results of the study, it can be seen that the Critical Chain Project Management method is more effective and efficient than the previous method. So that the results of this study can be used by the company as a reference in planning the next repair project schedule.

Keywords: *Critical Chain Project Management, Microsoft Project, Project Management, Repair*

Pendahuluan

Sebagai negara maritim yang sebagian besar wilayahnya terdiri dari perairan, Indonesia menjadikan kapal sebagai moda transportasi utamanya. Untuk memastikan kelancaran operasionalnya, setiap kapal membutuhkan perawatan dan perbaikan secara rutin agar kapal dapat berfungsi dengan optimal dan memenuhi standar keselamatan yang berlaku. Reparasi ini melibatkan perbaikan pada komponen-komponen yang sudah tidak memenuhi standar klasifikasi atau mengalami kerusakan [1]. Tingginya kebutuhan akan layanan perawatan dan perbaikan kapal menciptakan peluang besar bagi industri galangan kapal di Indonesia. PT XYZ merupakan perusahaan galangan kapal terbesar di Indonesia. Sebagai galangan kapal terbesar, PT XYZ memiliki tanggung jawab untuk menyelesaikan proyek pembangunan kapal baru maupun perbaikan kapal dengan efisiensi waktu yang tinggi. Hal ini dilakukan sesuai dengan ketentuan yang telah disepakati dalam kontrak antara pemilik kapal (*owner*) atau perwakilannya dan pihak galangan. Kecepatan penyelesaian proyek menjadi salah satu indikator utama kinerja galangan, karena berpengaruh langsung terhadap kepuasan pelanggan dan keberlanjutan kerja sama di masa depan [2]. Perencanaan penjadwalan proyek memegang peranan yang sangat penting untuk memastikan setiap tahapan pekerjaan dapat diselesaikan dengan efisien dan tepat waktu. Pada proses ini, tidak hanya pengalokasian waktu yang diperhitungkan, tetapi juga berbagai keterbatasan lainnya untuk memastikan bahwa penyelesaian proyek dapat dicapai secara optimal [3]. Namun jadwal yang telah disusun pada awal perencanaan, pelaksanaannya di lapangan sering kali tidak sepenuhnya sesuai, sehingga terdapat potensi terjadinya keterlambatan dalam penyelesaian pekerjaan dibandingkan dengan waktu yang telah ditetapkan. Hal ini juga terjadi pada proyek reparasi KM STU yang mengalami keterlambatan. Oleh karena itu perlu dilakukan *reschedule* dengan mempercepat durasi proyek menggunakan metode *Critical Chain Project Management*.

Metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) adalah pendekatan yang bertujuan menghilangkan alokasi waktu aman (*safety time*) pada setiap aktivitas individu. Sebagai gantinya, metode ini memperkenalkan penggunaan waktu penyangga (*buffer time*) yang ditempatkan di akhir *critical chain*. Waktu penyangga ini berfungsi sebagai cadangan untuk memastikan kelancaran pelaksanaan proyek secara keseluruhan. Dengan adanya *buffer time*, ketidakpastian yang muncul selama pelaksanaan proyek dapat diatasi, sehingga risiko keterlambatan dapat diminimalkan [4]. *Critical Chain Project Management* dikembangkan untuk mengatasi kekurangan pada metode *Critical Path Method* (CPM). Salah satu kelemahan CPM adalah pemberian waktu cadangan pada setiap aktivitas yang sering kali membuat jadwal menjadi terlalu panjang sehingga sumber daya cenderung menggunakan seluruh waktu yang tersedia (*parkinson's law effect*). Selain itu, CPM juga menghadapi kendala seperti *multitasking* yang tidak optimal, kebiasaan menunda pekerjaan hingga mendekati tenggat waktu (*student's syndrome*), dan estimasi waktu aktivitas yang cenderung berlebihan [5].

Mengacu pada penelitian sebelumnya yaitu Analisis penjadwalan menggunakan metode CPM dan CCPM pada proyek pengerukan di pelabuhan Bias Munjul menunjukkan bahwa jalur kritis untuk kedua metode adalah sama yaitu AA-AK-AL-BA-BB-BC-BD-DA-DB. Meskipun jalur kritisnya sama namun durasi pengerjaannya berbeda. Pada metode CPM membutuhkan waktu 239 hari, sedangkan pada metode CCPM hanya membutuhkan waktu selama 231 hari. Dengan demikian, metode CCPM lebih efektif dalam hal efisiensi waktu karena berhasil mengurangi durasi pekerjaan hingga 8 hari kerja dibandingkan metode CPM [6]. Selain itu, dalam Analisis pengendalian biaya dan waktu pada proyek *storage tank* 1000 MT dan pembangunan WWTP, penerapan CCPM berhasil mempercepat penyelesaian proyek dari yang semula direncanakan 231 hari menjadi 144 hari. Artinya, proyek selesai 87 hari lebih cepat atau 37% lebih efisien dibandingkan dengan jadwal awal yang direncanakan [7]. Dari kedua hasil penelitian tersebut didapatkan bahwa metode *Critical Chain Project Management* lebih efektif dan efisien karena dapat mempersingkat durasi proyek. Kedua penelitian ini juga memiliki kelemahan karena tidak mencakup analisis pada manajemen *buffer*, biaya proyek dan produktivitas pekerja. Dengan demikian, pada penelitian ini akan dilaksanakan analisis terhadap kedua aspek tersebut.

Berdasarkan permasalahan dan penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian ini untuk menganalisa dan menentukan total durasi proyek reparasi KM STU, menghitung total biaya tenaga kerja langsung, dan mengetahui produktivitas pekerja dengan menggunakan metode *Critical Chain Project Management*. Karena mempergunakan metode *Critical Chain Project Management* dimana durasi proyek akan dipotong sebesar 50%, maka perlu dilakukan pemerataan sumber daya dengan melakukan *resource levelling*. *Resource leveling* atau pemerataan sumber daya adalah metode yang bertujuan untuk menyeimbangkan alokasi sumber daya dengan memastikan jenis dan jumlah yang dibutuhkan tersedia sesuai kebutuhan dengan cara mengurangi penggunaan sumber daya pada periode puncak dan memindahkannya ke waktu – waktu lain dengan tingkat kebutuhan yang lebih rendah [8]. Dalam penyelesaiannya, penelitian ini menggunakan bantuan *software* Microsoft Project untuk melakukan analisis. Microsoft Project merupakan *software* manajemen proyek yang dirancang untuk membantu dalam merencanakan, mengelola, memantau, dan melaporkan berbagai data proyek. Dengan menggunakan Microsoft Project dapat memudahkan pengelolaan rencana dan waktu pekerjaan, sehingga dapat memantau dan mengevaluasi setiap tahapan saat proyek sedang berjalan [9]. Dengan adanya penelitian ini diharapkan dapat membantu perusahaan memastikan proyek reparasi KM STU selesai tepat waktu. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat dijadikan panduan dalam menyusun jadwal proyek reparasi kapal berikutnya yang akan dilakukan oleh PT XYZ.

Metode Penelitian

Penelitian ini ialah penelitian kuantitatif dengan mempergunakan objek penelitian proyek *repair* KM

STU yang dilaksanakan oleh PT XYZ. Metode pengumpulan data diperoleh melalui data histori perusahaan. Data yang diperoleh berupa *repair list*, volume pekerjaan, jam kerja, jumlah tenaga kerja dan biaya tenaga kerja. Berikut merupakan *principal dimension* KM STU:

Tabel 1. *Principal Dimension* KM STU

No	<i>Principal Dimension</i>	<i>Measurement</i>
1	LOA	90,35 m
2	<i>Breadth</i>	22,80
3	<i>Height</i>	6 m
4	<i>Draught</i>	4 m
5	GT	3,825
6	<i>Displacement</i>	7.307 Ton

Pada penelitian ini teknik analisis data yang digunakan terdapat beberapa macam, yaitu:

1. Melakukan analisa menggunakan Microsoft Project.
2. Menyusun *network* diagram dengan menentukan hubungan antar aktivitas, serta melakukan perhitungan maju (ES, EF) dan perhitungan mundur (LS, LF).
3. Melakukan analisa perhitungan dengan metode *Critical Chain Project Management* yang meliputi,
 - a. Menghitung *critical chain*
 - b. Mengidentifikasi critical path dengan memasukkan perhitungan *project buffer* yang diletakkan diakhir durasi dan *feeding buffer* yang diletakkan diantara pekerjaan kritis dan non – kritis. Perhitungan *project buffer* dan *feeding buffer* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus RSEM sebagai berikut:

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

Ket:
 S = Durasi normal
 A = Durasi CCPM
 σ = *Buffer*
 - c. Melakukan *resources levelling* untuk pemerataan sumber daya manusia agar proyek dapat berjalan dengan optimal.
4. Analisa manajemen *buffer* untuk memantau penggunaan *buffer*.
5. Analisa biaya tenaga kerja
6. Menghitung nilai produktivitas

Hasil dan Pembahasan

Penjadwalan Proyek Menggunakan Microsoft Project

Dalam perencanaan jadwal proyek dengan metode CCPM, langkah awal yang dilakukan adalah dengan menentukan urutan aktivitas pekerjaan serta hubungan ketergantungan dengan memanfaatkan *software* Microsoft Project. Microsoft Project merupakan sebuah *software* untuk mengelola berbagai aspek proyek mulai dari perencanaan, pengawasan, hingga pelaporan data proyek secara keseluruhan [10]. Berikut tabel durasi normal:

Tabel 2. Durasi Normal dan *Predecessors* KM STU

ID	<i>Duration</i>	<i>Predecessors</i>	<i>Successors</i>
AA	1		AB[SS];AC[SS];AD[SS];AE[SS];BA[SS];BF[SS];BG[SS];BH[SS];CCA;CDA;CF;CG
CCA	1	AA	CDA[SS];CAA;CBA;CCB;CDB;DA[SS];CF[SS];CG[SS]

ID	Duration	Predecessors	Successors
CCB	2	CBA[SS]; CCA; CDA; CAA[SS]	CDB[SS]; CCC
CCC	3	CCB	CBB[SS]; GCA[FS+1 day]; CDD[FS+1 day]; CAC; CBC; CCD
CCF	3	CBE[SS+1 day]	CDF[SS]; CCG; CDG
CCG	3	CCF	CE; GCH
CDA	1	A[SS]	G[SS]
CDB	2	CCB[SS]; CBA[SS]; CAA[SS]; CCA; CDA	CDC
CDC	3	CDB	GCA[FS+1 day]; CDD[FS+1 day]; CAC; CBC; CCD
CE	1	CAF; CBF; CCG; CDG	GCH
CF	2	AA; CDA[SS]; CCA[SS]	CG[SS]; GCH
FA	7	EA[SS]	FB
FB	4	FA	GCH
GAA	3	GCB[SS]	GAB[SS+1 day]; GBA[SS+1 day]; GCH; GBC[SS+3 days]
GBC	7	GAA[SS+3 days]	GBD[FS-1 day]
GBD	1	GBC[FS-1 day]	GCH
GCA	1	CAB[FS+1 day]; CBB[FS+1 day]; CCC[FS+1 day]; CDC[FS+1 day]	GCB
GCB	1	GCA	GCC; GAA[SS]
GCC	1	GCB	GCD
GCD	1	GCC	GCE; GCF
GCF	1	GCD; GCE[SS]	GCG
GCG	1	GCF	GCH[FS+6 days]
GCH	1	CAF; CBF; CCG; CDG; CE; CF; ED; FB; GAD; GBD; GC G[FS+6 days]; GAA	G C I
GCI	4	GCH	

Berdasarkan tabel diatas, dapat diketahui bahwa dengan menyusun penjadwalan proyek menggunakan *software* Microsoft Project dapat diketahui dengan mudah *predecessors* dan *successor* dari tiap aktivitas pekerjaan. *Predecessor* adalah pekerjaan yang harus diselesaikan sebelum pekerjaan berikutnya dimulai, sementara *successor* adalah pekerjaan yang dilaksanakan sesudah pekerjaan sebelumnya selesai [11].

Network Diagram dan Rantai Kritis

Setelah data mengenai urutan aktivitas pekerjaan didapatkan maka selanjutnya dapat menyusun jaringan kerja atau *network diagram*. *Network diagram* adalah urutan kegiatan dan hubungan antar

aktivitas pada suatu proyek [12].

Tabel 3. Aktivitas pada Jalur Kritis dengan Durasi Normal

ID	Task Name	ES	EF	LS	LF	TF
AA	<i>Docking</i>	0	1	0	1	0
CCA	<i>Scraping</i> dari kerang dan teritip <i>Est</i> 20 %	1	2	1	2	0
CCB	<i>Spot blasting</i> <i>Est</i> 20 %	2	4	2	4	0
CCC	<i>Sweep blasting</i> <i>Est</i> 80 %	4	7	4	7	0
CCF	1 x FC <i>Sealer</i>	12	15	12	15	0
CCG	1 x FC <i>Anti Fouling</i>	15	18	15	18	0
CDA	<i>Scraping</i> dari kerang dan teritip <i>Est</i> 90 %	1	2	1	2	0
CDB	<i>Spot blasting</i> <i>Est</i> 30 %	2	4	2	4	0
CDC	<i>Sweep blasting</i> <i>Est</i> 70 %	4	7	4	7	0
CE	Pengecatan ulang <i>plimsol mark</i> , <i>draft mark</i> dan <i>water line</i> lambung kapal	18	19	18	19	0
CF	Bongkar & pasang zink anode <i>est</i> :	1	3	1	3	0
FA	Buka <i>sea valve</i> , bersihkan dan disekir disiapkan untuk pemeriksaan klass, kemudian dipasang	8	15	8	15	0
FB	Buka <i>sea chest</i> , bersihkan dan disiapkan untuk pemeriksaan klass kemudian dicat dengan	15	19	15	19	0
GAA	Bongkar dan pasang propeller / baling baling	9	12	9	12	0
GBC	Cabut shaft [dia 465 mm / L 6800 mm]	12	14	12	14	0
GBD	Ganti baru <i>In / Out bound Packing / simplex seal</i> [Dia 500 mm]	14	15	18	19	0
GCA	Lepas Kwadran	7	8	7	8	0

ID	Task Name	ES	EF	LS	LF	TF
GCB	kemudi Lepas daun kemudi dan bawa ke work shop	8	9	8	9	0
GCC	Lepas rudder stock dan Pintel di bawa ke <i>work shop</i>	9	10	9	10	0
GCD	Lakukan pemeriksaan kelurusan dan keretakan rudder stock / shaft	10	11	10	11	0
GCF	Pelaksanaan kontak <i>peace</i> antara Taper Pintel dan Daun Kemudi	11	12	11	12	0
GCG	Ukur <i>clearance upper neck bush</i> dan <i>lower bush position</i> dan di buatkan <i>recordnya</i>	12	13	12	13	0
GCH	<i>Undocking</i>	19	20	19	20	0
GCI	Sandar	20	24	20	24	0

Jalur kritis adalah jalur yang terdiri dari serangkaian kegiatan dengan total waktu terlama yang menentukan durasi penyelesaian proyek tercepat [13]. Dari tabel 2. diketahui bahwa terdapat 24 aktivitas pekerjaan di jalur kritis. Aktivitas yang berada di jalur kritis, seperti pekerjaan *Scraping* dari kerang dan teritip Est 20 % dengan ID CCA, menunjukkan hasil ES (*Early Start*) sebesar 1, EF (*Early Finish*) sebesar 2, LS (*Late Start*) sebesar 1, LF (*Late Finish*) sebesar 2, dan TF (*Total Float*) sebesar 0. *Float* adalah waktu yang tersedia bagi suatu kegiatan untuk ditunda tanpa mempengaruhi kegiatan selanjutnya atau tanggal penyelesaian proyek [14]. Suatu aktivitas dikatakan berada di jalur kritis jika nilai *float* sama dengan 0, yang berarti tidak ada waktu cadangan untuk menunda kegiatan tersebut tanpa mengganggu jadwal penyelesaian proyek secara keseluruhan [3].

Critical Chain Project Management

Setelah menentukan jalur kritis berdasarkan durasi awal, langkah selanjutnya adalah memotong *safety time* pada setiap aktivitas pekerjaan. Pemotongan *safety time* dilakukan dengan mempergunakan *Cut and Paste Method* (C&PM) sebesar 50%. Tujuannya adalah untuk mengurangi pemborosan waktu dan mengatasi berbagai kendala yang mungkin muncul selama proyek berlangsung.

Tabel 4. Ringkasan Penjadwalan CCPM

Aktivitas	Durasi Normal	Durasi CCPM 50%
Pengedokan	21	10,5
Pelayanan Umum	21	10,5
<i>Repair Topside area</i>	13	6,5
<i>Repair Bottop area</i>	15	7,5
<i>Repair Vertical Bottom area</i>	18	9
<i>Repair Flat Bottom area</i>	17	8,5
Pengecatan plimsol, <i>draft mark</i> dan <i>water line</i>	1	0,5

Aktivitas	Durasi Normal	Durasi CCPM 50%
Bongkar & pasang zink anode	2	1
Replate Konstruksi	14	7
Repair Jangkar, Rantai Jangkar dan Bak Rantai	5	2,5
Repair Sea Valve, Sea Chest & Scupper	11	5,5
Repair Baling-Baling	10	5,5
Repair Poros Baling-baling	10	5
Repair Kemudi	7	3,5
Undocking	1	0,5
Sandar	4	2

Pada hasil pemotongan *safety time* yang telah dilakukan tidak mengubah jalur kritis yang didapatkan sebelumnya. Pemotongan *safety time* ini hanya mengubah durasi pekerjaan menjadi lebih cepat karena adanya pemotongan durasi sebesar 50%. Setelah melakukan pemotongan *safety time*, maka selanjutnya mencari nilai *buffer* untukantisipasi terhadap adanya ketidakpastian dengan menggunakan metode RSEM.

a. *Project buffer*

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

No	ID	Durasi Normal	Durasi CCPM 50%	$((S-A)/2)^2$
1	AA	1	0,5	0,0625
2	CCA	1	0,5	0,0625
3	CCB	2	1	0,25
4	CCC	3	1,5	0,5625
5	CCF	3	1,5	0,5625
6	CCG	3	1,5	0,5625
7	CDA	1	0,5	0,0625
8	CDB	2	1	0,25
9	CDC	3	1,5	0,5625
10	CE	1	0,5	0,0625
11	CF	2	1	0,25
12	FA	7	3,5	3,0625
13	FB	4	2	1
14	GAA	3	1,5	0,5625
15	GBC	7	3,5	3,0625
16	GBD	1	0,5	0,0625
17	GCA	1	0,5	0,0625
18	GCB	1	0,5	0,0625
19	GCC	1	0,5	0,0625
20	GCD	1	0,5	0,0625
21	GCF	1	0,5	0,0625
22	GCG	1	0,5	0,0625
23	GCH	1	0,5	0,0625
24	GCI	4	2	1
Σ				12,44
$\sqrt{\quad}$				3,527
2σ				7,053
σ				3,527

Perhitungan *project buffer* berfokus pada aktivitas kegiatan pada jalur kritis. Berdasarkan tabel 4. dapat diketahui bahwa nilai *project buffer* adalah 3,5 hari. Hal ini berarti untuk mengantisipasi kendala atau keterlambatan, proyek *repair* KM STU memiliki waktu cadangan selama 3,5 untuk menyelesaikan proyek tersebut. Nilai *project buffer* yang didapatkan akan disisipkan pada akhir jalur kritis.

b. *Feeding Buffer*

Tabel 6. *Feeding Buffer* Penjadwalan CCPM 50% Secara Keseluruhan

Jalur Non - Kritis	<i>Feeding Buffer</i>
AA-CDA-CDB-CDC-CDD-CDE-CDF-CDG	1,32
AA-CDA-CAA-CAB-CAC-CAD-CAE-CAF	1,089724736
AA-CCA-CCB-CCC-CCD-CCE	1,118033989
AA-CDA-CBA-CBB-CBC-CBD-CBE-CBF	1,089724736
AA-CDA-CAA-CAB-CAC-CAD-CAE-CAF	1,089724736
AA-CDA-CF-CD	0,790569415
AA-CDA-DA-DB	2,263846285
AA-CDA-CCB-CCC-GCA-GCB-GCC-GCD-GCE-	2,236067977
AA-CDA-CCB-CCC-GCA-GCB-GAA-GAB-GAC-GAD	1,414213562
AA-CDA-CCB-CCC-GCA-GCB-GAA-GBC-GBA-GBB	2,236067977
AA-CDA-CDB-CDC-CDD-	1,198957881

Perhitungan *feeding buffer* dilakukan pada aktivitas yang berada di jalur non-kritis. Berdasarkan tabel 5. dapat diketahui bahwa nilai *feeding buffer* untuk jalur AA-CDA-CDB-CDC-CDD-CDE-CDF-CDG adalah 1,32 hari. Nilai *feeding buffer* yang didapatkan akan disisipkan pada tiap akhir jalur non – kritis dan digabungkan dengan aktivitas pekerjaan di jalur kritis. Penyisipan *feeding buffer* ini dilakukan untuk mengamankan jalur non – kritis dari keterlambatan sehingga tidak membahayakan aktivitas pekerjaan di jalur kritis.

c. *Resource Levelling*

Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max.	Peak
Bengkel Dock	Work		B		12	15
RH01	Work		R		15	16
RH03	Work		R		4	4
RH02	Work		R		12	12
SO	Work		S		2	2
CUS	Work		C		2	1
QA	Work		Q		1	1
SPV	Work		S		1	1
ES	Work		E		1	1
Ship Shup	Work		S		1	1
Pandu	Work		P		1	1
P3	Work		P		9	9
Jaga Dock	Work		J		4	4
RH07	Work		R		21	24

Gambar 1. *Resource Sheet* pada Microsoft Project Hasil Penjadwalan CCPM dengan *Error*

Berdasarkan gambar 1. dapat dilihat bahwa terdapat *error* pada sumber daya Bengkel Dock, RH01 dan RH07. Pada sumber daya Bengkel Dock *peak*nya sebesar 15 orang, akan tetapi sumber daya yang ada saat ini adalah 12 orang, pada RH01 terdapat 15 pekerja akan tetapi *peak* atau tingkat tertinggi kapasitas sumber daya pada proyek ini adalah sebesar 16 orang. Begitu pula pada sumber daya RH07 terdapat 21 pekerja, akan tetapi *peak* sebesar 24 pekerja. *Error* ini terjadinya karena adanya *overallocated* pada kedua sumber tersebut yang menyebabkan adanya pekerja yang mengerjakan dua atau lebih pekerjaan di waktu yang sama. Oleh karena itu perlu dilakukan *resource levelling* untuk mengatur penggunaan sumber daya secara optimal.

1	Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max.	Peak
	Bengkel Dock	Work		B		15	15
	RH01	Work		R		16	16
	RH03	Work		R		4	4
	RH02	Work		R		12	12
	SO	Work		S		2	2
	CUS	Work		C		2	1
	QA	Work		Q		1	1
	SPV	Work		S		1	1
	ES	Work		E		1	1
	Ship Shup	Work		S		1	1
	Pandu	Work		P		1	1
	P3	Work		P		9	9
	Jaga Dock	Work		J		4	4
	RH07	Work		R		24	24

Gambar 2. Resorce Sheet pada Microsoft Project Hasil Penjadwalan CCPM Setelah Resource Levelling

Berdasarkan gambar 2. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan *resource levelling* dengan cara menambahkan jumlah sumber daya di setiap jenis pekerja atau *resource name*, sehingga tidak terdapat sumber daya yang mengalami *multitasking*. Pada jenis pekerja Bengkel dock ditambahkan sebanyak 3 pekerja sehingga menjadi 15 orang, pada RH01 ditambahkan sebanyak 1 pekerja sehingga menjadi 16 orang, dan pada RH07 ditambahkan sebanyak 3 pekerja sehingga menjadi 24 orang.

Manajemen Buffer

Manajemen *buffer* merupakan elemen kunci dalam pengelolaan aktivitas pada rantai kritis jadwal proyek. Penerapan metodologi rantai kritis tidak dapat dilakukan tanpa adanya pengelolaan *buffer* yang efektif. Dalam perencanaan dan penjadwalan proyek, terdapat tiga jenis ketidakpastian utama, yaitu ketidakpastian terkait durasi pekerjaan, aliran waktu, dan sumber daya. Untuk mengatasi ketidakpastian tersebut, kebutuhan *buffer* pada setiap aktivitas diestimasi melalui pendekatan manajemen *buffer* [15]. Manajemen *buffer* diklasifikasikan ke dalam tiga kategori berdasarkan warna. Zona hijau menunjukkan sepertiga awal dari penggunaan *buffer*, yang mencerminkan kondisi aman. Zona kuning menandakan area transisi, di mana perlu dilakukan perencanaan tindakan karena *buffer* mungkin akan terkuras lebih cepat. Sementara itu, zona merah menggambarkan kondisi kritis, di mana tindakan yang telah direncanakan sebelumnya harus segera diimplementasikan. [16].

Tabel 7. Perhitungan Manajemen Proyek

Zona pemakaian <i>buffer</i> (%)	Project <i>buffer</i> (hari)	Durasi yang terpakai (hari)
0% - 33%	3,5	<1,16
34% - 67%	3,5	1,16-2,36
68% - 100%	3,5	>2,36

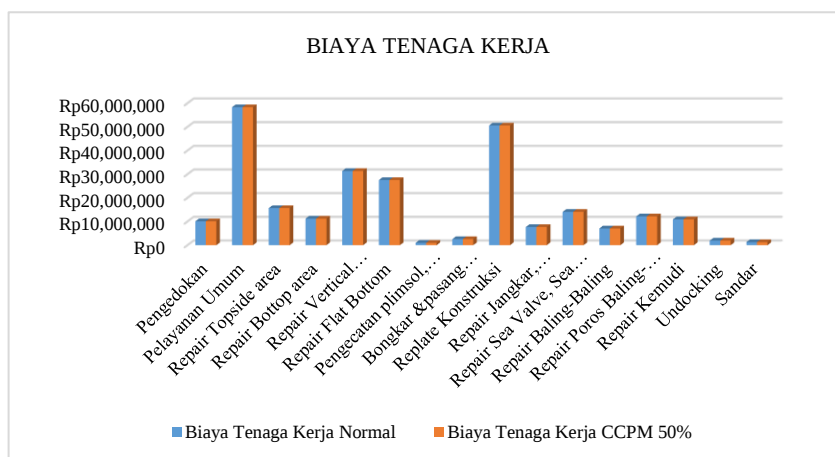
Berdasarkan perhitungan sebelumnya, didapatkan hasil *project buffer* yaitu selama 3,5 hari. Dari hasil tersebut dibagi menjadi tiga zona yang sama besar yaitu zona hijau, kuning, dan merah. Saat *project buffer* digunakan selama kurang dari 1,16 hari maka masih berada di kategori zona aman. Jika *project buffer* digunakan selama 1,16 – 2,36 hari, maka hal tersebut sudah berada di zona kuning sehingga perlu dilakukan perencanaan. Sedangkan apabila penggunaan *project buffer* sudah di atas 2,36 hari maka perencanaan yang sudah dibuat sebelumnya harus dilaksanakan.

Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Pada metode CCPM produktivitas proyek pada setiap pekerjaan akan selalu meningkat, oleh karena itu upah pekerja yang terlibat juga perlu ditingkatkan. Upah pekerja ini ditingkatkan sebesar 100% dari upah biasanya yaitu Rp 40.000/jam menjadi Rp 80.000/jam. Berikut merupakan hasil perhitungan biaya tenaga kerja langsung:

Tabel 8. Perbandingan Biaya Normal dan Biaya CCPM

Aktivitas Utama	Biaya Tenaga Kerja Normal	Biaya Tenaga Kerja CCPM 50%
Pengedokan	Rp12.160.000	Rp12.160.000
Pelayanan Umum	Rp58.320.000	Rp58.320.000
<i>Repair Topside area</i>	Rp15.680.000	Rp15.680.000
<i>Repair Bottop area</i>	Rp11.200.000	Rp11.200.000
<i>Repair Vertical Bottom area</i>	Rp31.360.000	Rp31.360.000
<i>Repair Flat Bottom</i>	Rp27.520.000	Rp27.520.000
Pengecatan plimsol, <i>draft mark</i> dan <i>water line</i>	Rp960.000	Rp960.000
Bongkar & pasang zink anode	Rp2.560.000	Rp2.560.000
<i>Replate</i> Konstruksi	Rp50.560.000	Rp36.160.000
<i>Repair</i> Jangkar, Rantai Jangkar dan Bak Rantai	Rp7.040.000	Rp7.040.000
<i>Repair Sea Valve, Sea Chest & Scupper</i>	Rp14.080.000	Rp14.080.000
<i>Repair</i> Baling-Baling	Rp7.040.000	Rp8.640.000
<i>Repair</i> Poros Baling-baling	Rp12.160.000	Rp12.160.000
<i>Repair</i> Kemudi	Rp10.880.000	Rp10.880.000
<i>Undocking</i>	Rp1.920.000	Rp1.920.000
Sandar	Rp1.280.000	Rp1.280.000
Total	Rp266.000.000	Rp266.000.000

**Gambar 3. Perbandingan Biaya Durasi Normal dan Durasi CCPM**

Berdasarkan grafik perbandingan biaya durasi normal dengan durasi CCPM dapat diketahui bahwa tidak terdapat perbedaan. Total biaya tenaga kerja kedua durasi adalah sebesar Rp 266.000.000. Hal ini terjadi karena dengan adanya pemotongan durasi pada metode CCPM mengakibatkan tingginya produktivitas pekerjaan dari durasi normal. Sehingga biaya tenaga kerja juga perlu dinaikkan menjadi dua kali biaya normal.

Perhitungan Biaya Tenaga Kerja saat *Buffer* Digunakan

Durasi normal proyek reparasi KM STU adalah selama 25 hari dengan total *work time* yang dihasilkan

oleh para pekerja adalah selama 6.650 jam dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 9. Total Jam Kerja yang Dihasilkan Para Pekerja

<i>Resource Name</i>	<i>Jumlah Pekerja</i>	<i>Jam Kerja</i>
Bengkel Dock	15	638
Pandu	1	40
Jaga Dock	4	672
P3	9	284
SO	2	184
CUS	1	32
QA	1	42
SPV	1	42
ES	1	42
Shipshup	1	42
RH01	16	638
RH02	12	1360
RH03	4	352
RH07	24	2168

Menurut data pada tabel 9. Dapat dihitung total jam kerja yang dihasilkan oleh para pekerja dalam satu hari proyek dengan cara membagi total jam pekerja dengan durasi proyek yaitu 25 hari:

- Total jam kerja dalam satu hari
 $6.650 \text{ jam} / 25 \text{ hari} = 266 \text{ jam/hari}$

Karena dalam satu hari kerja terdiri dari 8 jam, sehingga dari total jam kerja selama satu hari tersebut dapat diketahui jumlah pekerja yang bekerja secara rata-rata dalam satu hari.

- Jumlah pekerja dalam satu hari
 $266 \text{ jam} / 8 \text{ jam} = 33,25 \sim 34 \text{ orang}$

Dengan demikian, rata-rata terdapat 34 pekerja yang terlibat setiap harinya selama proyek berlangsung dengan durasi normal. Nilai ini akan digunakan sebagai acuan untuk menghitung biaya satu hari *buffer*.

- Biaya *buffer*
 $34 \text{ orang} \times \text{Rp } 40.000 \times 8 \text{ jam kerja} = \text{Rp } 10.880.000$

Biaya *buffer* ini kemudian digunakan untuk menghitung total biaya berdasarkan jumlah hari *buffer* yang digunakan.

- Total biaya *buffer* jika digunakan semua
 $\text{Rp } 10.880.000 \times 3,5 \text{ hari} = \text{Rp } 38.080.000$

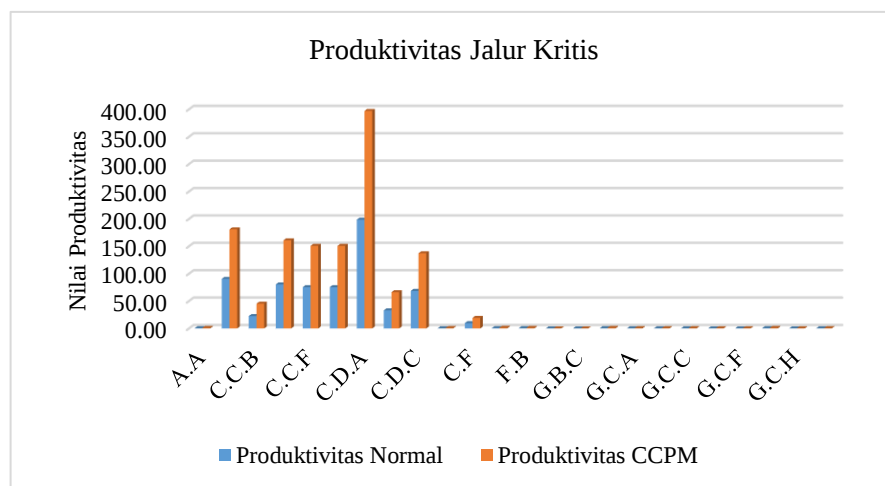
Perhitungan Produktivitas Harian

Perhitungan produktivitas harian dalam manajemen proyek digunakan sebagai alat evaluasi untuk menilai sejauh man sumber daya yang tersedia mampu menghasilkan *output* atau hasil dalam jangka waktu tertentu. Untuk menentukan produktivitas harian, diperlukan perhitungan rasio antara volume pekerjaan yang diselesaikan dengan durasi waktu yang digunakan. Perhitungan ini dapat dilakukan menggunakan persamaan tertentu [17]:

$$PrH = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi Pekerjaan}} \dots\dots\dots(2)$$

Tabel 10. Perbandingan Nilai Produktivitas Normal dengan Produktivitas CCPM

ID	Durasi Normal	Durasi CCPM	Volume Pekerjaan	Produktivitas Normal	Produktivitas CCPM
AA	1	0,5	1 kali	0,50	1,00
CCA	1	0,5	362 m ²	90,50	181,00
CCB	2	1	362 m ²	22,63	45,25
CCC	3	1,5	1447 m ²	80,39	160,78
CCF	3	1,5	1809 m ²	75,38	150,75
CCG	3	1,5	1809 m ²	75,38	150,75
CDA	1	0,5	1588,5 m ²	198,56	397,13
CDB	2	1	529,5	33,09	66,19
CDC	3	1,5	1235,5	68,64	137,28
CE	1	0,5	1 shipset	0,33	0,67
CF	2	1	77 pcs	9,63	19,25
FA	7	3,5	17 pcs	0,61	1,21
FB	4	2	8pcs	0,50	1,00
GAA	2	1,5	1 unit	0,10	0,13
GBC	7	3,5	1 unit	0,04	0,07
GBD	1	0,5	1 unit	0,50	1,00
GCA	1	0,5	1 unit	0,25	0,50
GCB	1	0,5	1 unit	0,25	0,50
GCC	1	0,5	1 unit	0,25	0,50
GCD	1	0,5	1 unit	0,17	0,33
GCF	1	0,5	1 unit	0,17	0,33
GCG	1	0,5	1 unit	0,50	1,00
GCH	1	0,5	1 unit	0,17	0,33
GCI	4	2	1 kali	0,25	0,50
Rata-Rata Produktivitas				27,45	54,89

**Gambar 4. Perbandingan Produktivitas Durasi Normal dan Durasi CCPM**

Berdasarkan grafik produktivitas jalur kritis yang ditampilkan, dapat disimpulkan bahwa tingkat produktivitas pada durasi CCPM lebih tinggi dibandingkan dengan durasi normal. Peningkatan ini terjadi karena metode CCPM mengintegrasikan beberapa strategi, termasuk pemerataan sumber daya (resource leveling), penerapan sistem *buffer* atau waktu cadangan, penghindaran multitasking, serta pengoptimalan pekerjaan yang difokuskan pada tugas-tugas kritis.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan metode Critical Chain Project Management terbukti mampu secara signifikan memperpendek waktu penyelesaian proyek. Dengan menggunakan metode ini durasi proyek reparasi KM STU dapat dikerjakan selama 13 hari dengan tambahan *buffer project* selama 3,5 hari sehingga total durasi proyek dengan metode CCPM adalah selama 16,5 hari. Dari hasil ini metode CCPM lebih cepat 8,5 hari dari durasi normal. Biaya tenaga kerja yang didapatkan dengan metode CCPM adalah sebesar Rp 266.000.000 dimana biaya ini sama besar dengan biaya tenaga kerja pada durasi normal. Hal ini terjadi karena produktivitas pekerja pada durasi CCPM lebih tinggi sehingga gaji pekerja pada durasi CCPM lebih tinggi dua kali lipat daripada durasi normal. Namun, jika *buffer time* pada durasi CCPM digunakan sepenuhnya maka total biaya yang diperoleh terdapat kenaikan menjadi Rp 304.080.000 atau sekitar 14,3% dari biaya CCPM tanpa adanya *buffer*. Produktivitas pekerja dengan menerapkan metode *Critical Chain Project Management* mengalami peningkatan dibandingkan sebelumnya. Sebelum diterapkannya metode CCPM, rata-rata produktivitas pekerja adalah sebesar 27,45/*mandays*. Kemudian setelah dilakukan penerapan metode CCPM rata-rata produktivitas pekerja menjadi 54,89/*mandays*. Sehingga dapat disimpulkan bahwa dengan dilakukan penerapan *Critical Chain Project Management*, pekerja menjadi lebih produktif dibandingkan dengan kondisi sebelumnya. Pada penelitian selanjutnya dapat menambahkan analisis mengenai kondisi peralatan dan fasilitas pada proyek serta mengintegrasikan metode CCPM dengan metode lain, seperti analisis risiko atau *lean management*.

Daftar Pustaka

- [1] K. Fajar Adha, Imam Pudjo Mulyatno, "Optimalisasi Repair Schedule KN Panah P.207 Dengan Critical Path Method Guna Mempercepat Pengerjaan Repair," *Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 368–374, 2021.
- [2] M. Adrian, A. Maulana, and M. Basuki, "Analisis Pengaruh Jumlah Jam Orang (Man Hour) terhadap Tingkat Produktivitas Galangan Kapal di Surabaya," *Ocean Eng. J. Ilmu Tek. dan Teknol. Marit.*, vol. 2, no. 3, pp. 175–184, 2023, [Online]. Available: <https://journal.unimar-amni.ac.id/index.php/ocean/article/view/1184>
- [3] N. Saputra, E. Handayani, and A. Dwiretnani, "Analisa Penjadwalan Proyek dengan Metode Critical Path Method (CPM) Studi Kasus Pembangunan Gedung Rawat Inap RSUD Abdul Manap Kota Jambi," *J. Talent. Sipil*, vol. 4, no. 1, p. 44, 2021, doi: 10.33087/talentsipil.v4i1.48.
- [4] H. N. Ilmi and H. T. Tjendani, "Analisis penjadwalan dan pembiayaan pada proyek Peningkatan kualitas kawasan kumuh perkotaan sungai Kapih II Samarinda menggunakan metode critical chain Project management," *J. Sci. Res. Dev.*, vol. 6, no. 1, pp. 140–150, 2024, [Online]. Available: <http://idm.or.id/JSCR>
- [5] Sugiyanto and K. Insan, "Optimalisasi Metode Critical Chain Project Management Pada Pelaksanaan Proyek Kontruksi," *Rang Tek. J.*, vol. 5, no. 2, pp. 352–363, 2022.
- [6] R. Sekarayu, W. L. Dhanistha, and R. Akbar, "Analisis Penjadwalan Kegiatan Pengerukan pada Proyek Pembangunan Pelabuhan Bias Munjul," *J. Tek. ITS*, vol. 11, no. 3, pp. 38–50, 2022, doi: 10.12962/j23373539.v11i3.88509.
- [7] M. Khaidir, A. Abrar, J. Saputra, and N. Abdillah, "Analisis Pengendalian Biaya dan Waktu Proyek Storage Tank 1000 MT dan Building WWTP dengan Metode CCPM (Critical Chain Project Management)," *SLUMP TeS J. Tek. Sipil*, vol. 2, no. 1, pp. 42–48, 2023, doi: 10.52072/slumpstes.v2i1.578.
- [8] Z. D. Bayudhana and Z. R. Kamandang, "Material Requirement Planning Berdasarkan Hasil Resource Leveling Pada Proyek Konstruksi Jalan Tol," vol. 11, no. 1, pp. 259–271, 2023.
- [9] Z. GAZALBA, I. G. P. WARKA, and L. WIRAHMAN W, "Evaluasi Kewajaran Schedule Kontraktor Menggunakan Work Breakdown Structure (Wbs) Dan Microsoft Project (Studi Pada Proyek Pembangunan Sdn 5 Sokong, Tanjung, Lombok Utara)," *Ganec Swara*, vol. 16, no. 1, p. 1285, 2022, doi: 10.35327/gara.v16i1.264.
- [10] I. G. Ngurah Sunatha, T. I. Praganingrum, N. L. M. A. Mirayani Pradnyadari, and J. W. Atama, "Analisis Evaluasi dan Monitoring Pelaksanaan Proyek Menggunakan Metode Tracking Berbasis Microsoft Project pada Proyek Pekerjaan Penataan Kawasan Pasar Kumbasari," *J. Ilm. Kurva Tek.*, vol. 11, no. 1, pp. 16–24, 2022, doi: 10.36733/jikt.v11i1.3930.
- [11] C. Angelia, P. I. Mulyanto, and D. Chrismianto, "Aplikasi Metode Time Cost Trade Off Akibat Keterlambatan Bagian Mesin Pada Proyek Pembangunan Mooring Boat Milik PT. Pertamina Trans Kontinental," *Tek. Perkapalan*, vol. 9, no. 3, pp. 283–2, 2021.
- [12] Y. T. Andhani, I. P. Mulyatno, and A. W. B. Santosa, "Reschedule Reparasi Kapal KN.KUMBA 470 DWT Dengan

- Critical Path Method Di Galanan Semarang,” *Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 368–374, 2020.
- [13] A. B. Siswanto and M. A. Salim, “Manajemen Proyek.” CV. Pilar Nusantara, Semarang, pp. 1–96, 2020.
- [14] Santoso Joseph Teguh, *Manajemen Proyek Teknologi Informasi*. Semarang: Yayasan Prima Agus Teknik, 2023.
- [15] A. Mufahri and W. Oetomo, “Analisis Biaya Dan Waktu pada Pembangunan Rumah Sakit Tingkat III Brawijaya Surabaya menggunakan Metode Critical Chain Project Management (CCPM),” *J. Ilm. Tek. dan Manaj. Ind.*, vol. 3, no. 1, pp. 2023–852, 2023.
- [16] R. Musfar, P. Manik, and Tuswan, “Analisis Percepatan Waktu dan Produktivitas pada Proyek Reparasi Kapal KM Dharma Rucitra VII dengan Metode Critical Chain Project Management (CCPM),” *J. Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 4, p. 146, 2023.
- [17] M. H. Bahtiar, A. Wibawa, B. Santosa, and A. Trimulyono, “Implementasi Metode Critical Chain Project Management (CCPM),” vol. 11, no. 3, pp. 48–55, 2023.