



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Percepatan Durasi Proyek Reparasi Kapal BC60002 dengan Metode *Precendence Diagram Method* (PDM) dan Simulasi *Monte Carlo*

Muhammad Daffa Sihma Pradana¹⁾, Wilma Amiruddin²⁾, Ari Wibawa³⁾

¹⁾Laboratorium Kapal-Kapal Kecil dan Perikanan

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

³⁾e-mail : daffasihma@students.undip.ac.id

Abstrak

Proyek reparasi kapal BC60002 di PT. Dumas Tanjung Perak Shipyards yang mengalami keterlambatan tentunya merugikan banyak pihak sehingga *crashing duration* atau percepatan durasi proyek dalam upaya menghindari keterlambatan tentunya perlu dilakukan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui durasi percepatan, probabilitas keberhasilan percepatan, dan *cost slope* pada proyek reparasi kapal berdasarkan lintasan kritis. Teknik analisis percepatan durasi proyek dengan metode *Precendence Diagram Method* (PDM) menggunakan alternatif penambahan tenaga kerja serta penambahan jam kerja lembur dengan bantuan software Primavera dan perhitungan probabilitas keberhasilan durasi percepatan dengan simulasi Monte Carlo menggunakan bantuan software Primavera Risk Analysis. Hasil dari penelitian ini yaitu *network diagram* mempunyai 15 kegiatan kritis dari 30 kegiatan dan *crashing* proyek reparasi kapal dapat dipercepat selama 2 hari sehingga waktu penyelesaian menjadi 23 hari dari 25 hari. Simulasi Monte Carlo dan *cost slope* memiliki hasil yaitu kemungkinan penyelesaian proyek yang efektif dalam 23 hari adalah 95% dan biaya tambahan dengan menambahkan jam kerja dengan percepatan sebesar 5,75% lebih cepat dari waktu rencana awal, memiliki penambahan biaya sebesar Rp72.540.000,00 atau sebesar 136% sedangkan dengan menggunakan penambahan tenaga kerja dengan percepatan sebesar 5,75% lebih cepat dari waktu rencana awal, biaya bertambah sebesar Rp1.140.000,00 atau sebesar 2,14% dari biaya awal proyek.

Kata Kunci : Percepatan Durasi, Kapal BC60002, PDM, Simulasi Monte Carlo

1. PENDAHULUAN

Proyek dapat diartikan sebagai kegiatan yang mengalokasikan sumber daya tertentu dalam jangka waktu terbatas dan bertujuan untuk menghasilkan barang atau jasa yang kualitasnya ditentukan secara tepat [1]. Proyek merupakan kegiatan yang dinamis, sehingga pelaksanaannya harus merespon perubahan situasi dan kondisi proyek agar mencapai sebuah keberhasilan.

Tahap persiapan dan pengendalian sangatlah penting dalam sebuah proyek [2]. Hal tersebut menentukan waktu penyelesaian suatu proyek dan menentukan reputasi perusahaan. Keberhasilan proyek dapat dilihat dari waktu yang tidak mengalami keterlambatan serta memiliki *output* dengan kualitas yang tidak buruk [3].

PT. Dumas Tanjung Perak Shipyards merupakan perusahaan swasta yang membangun dan memperbaiki kapal. Kasus keterlambatan yang terjadi pada proyek reparasi kapal BC60002 tentunya berakibat fatal bagi klien dan perusahaan karena kepuasan pelanggan adalah salah satu faktor terpenting bagi bisnis dalam proyek pembuatan maupun reparasi kapal [4]. Pelanggan sering mengharapkan konstruksi kapal selesai tepat waktu, bahkan selesai sebelum waktu yang ditentukan. Hal ini dilakukan untuk menghindari kesalahan proyek sehingga dapat menyulitkan penyelesaian proyek. Oleh karena itu, rencana dan metode perencanaan kerja yang baik dalam manajemen proyek sangat diperlukan.

Proses dalam pembuatan jadwal proyek terdapat banyak pendekatan dan strategi yang perlu

dipertimbangkan. Salah satu teknik yang sering digunakan untuk sebuah proyek adalah PDM (*Precendence Diagram Method*). Berdasarkan penelitian sebelumnya tentang pemanfaatan *Precendence Diagram Method* (PDM) dalam penjadwalan proyek, teknik ini dapat membantu *project manager* menjadwalkan proyek serta menentukan hubungan antara pekerjaan serta pekerja yang tidak mampu ditunda agar proyek dapat selesai tepat waktu [5]. Penelitian lainnya menunjukkan hasil perhitungan metode PDM mengalami penghematan waktu sebanyak 97 hari sedangkan metode CPM hanya mengalami penghematan waktu sebanyak 58 hari sehingga metode PDM lebih optimal dibanding dengan metode CPM [6].

Teknik selain metode PDM yang biasa menjadi alat penting dari proses rancang yaitu teknik simulasi [7]. Berbeda dengan metode PDM, teknik simulasi digunakan ketika terdapat ketidakpastian durasi pada aktivitas proyek. Salah satu teknik simulasi yang cocok untuk proyek reparasi kapal adalah simulasi *Monte Carlo*. Simulasi ini adalah algoritma komputasi yang menghasilkan *output* numerik dari nomor sampel acak yang dapat dijadikan sebagai bentuk probabilitas keberhasilan suatu proyek [8].

Penelitian sebelumnya tentang optimasi waktu penjadwalan proyek pembuatan kapal dengan metode simulasi *Monte Carlo* didapatkan hasil bahwasannya simulasi *Monte Carlo* lebih efisien bagi seorang manajer karena probabilitas keberhasilan dari masing-masing durasi dapat langsung terlihat. Pada uji komputasi pun terlihat jika probabilitas tercapainya simulasi *Monte Carlo* lebih tinggi dibanding simulasi PERT sehingga akan memudahkan seorang manajer untuk mengambil keputusan [9]. Karena kurangnya pemahaman tentang *Monte Carlo* dan statistik, manajer proyek belum memanfaatkan simulasi *Monte Carlo* secara ekstensif. Selain itu, manajer proyek melihat penggunaannya sebagai beban bisnis [10].

Berdasarkan kondisi tersebut, penulis melakukan penelitian berupa *Analisa Percepatan Durasi Proyek Reparasi Kapal BC60002 Dengan Metode Precendence Diagram Method* (PDM) dan *Simulasi Monte Carlo*. Metode PDM digunakan untuk mengetahui durasi penyelesaian proyek reparasi kapal berdasarkan lintasan kritis sedangkan simulasi *Monte Carlo* digunakan untuk menentukan probabilitas durasi setiap aktivitas proyek reparasi kapal.

Penelitian ini bertujuan untuk menyelesaikan berbagai tantangan yang dihadapi dalam industri perkapalan, khususnya pada proyek reparasi kapal BC60002. Selain itu, tujuan lainnya

dalam penelitian ini adalah pertama, untuk mengetahui lintasan kritis dari proyek reparasi kapal BC60002. Kedua, mengevaluasi dan mengetahui percepatan waktu yang dapat dicapai dengan menerapkan metode *Precendence Diagram Method* (PDM) serta menilai probabilitas keberhasilan proyek reparasi kapal BC60002 dengan menggunakan metode simulasi *Monte Carlo*. Dan ketiga, untuk mengidentifikasi dan menghitung biaya personel dalam waktu normal serta waktu yang telah dipercepat pada proyek reparasi tersebut.

2. METODE

Penelitian ini menggunakan *Precendence Diagram Method* (PDM) untuk mengetahui lintasan kritis pekerjaan sehingga dapat dilakukan percepatan durasi reparasi dan kemudian menggunakan Simulasi *Monte Carlo* dan perhitungan *Cost Slope* untuk mengetahui probabilitas keberhasilan percepatan serta biaya yang dibutuhkan setelah dilakukan percepatan durasi.

Pengumpulan data primer dilakukan di PT Dumas Tanjung Perak Shipyards. Data tersebut berupa data durasi normal pekerjaan, jumlah tenaga kerja serta volume pekerjaan, dan upah tenaga kerja. Selain itu, data lainnya seperti buku, artikel, dan jurnal-jurnal penelitian terdahulu dibutuhkan sebagai data pendukung pada penelitian ini.

2.1 *Precendence Diagram Method* (PDM)

Durasi proyek merupakan sejumlah waktu yang dibutuhkan dalam suatu pembangunan atau reparasi kapal. Metode PDM digunakan untuk menentukan waktu penyelesaian suatu proyek. Pendekatan PDM memiliki keunggulan dibandingkan dengan diagram panah karena memungkinkan tumpang tindihnya hubungan tanpa perlu aktivitas fiktif atau *dummy*, sehingga menyederhanakan jaringan kerja.

Dalam studi ini, jalur kritis pekerjaan diidentifikasi menggunakan pendekatan PDM, setelah itu tenaga kerja dan jam kerja lembur ditambahkan untuk memperpendek durasi proyek. Jalur kritis adalah rangkaian kegiatan penting dari awal hingga akhir proyek. Kegiatan pada jalur kritis tidak dapat ditunda atau terlambat karena akan berdampak pada waktu penyelesaian suatu proyek. Adapun beberapa rumus perhitungan yang dilakukan dalam proses *Precendence Diagram Method* (PDM) sebagai berikut.

1. Lintasan kritis dan Durasi Normal.
2. Produktivitas Harian Normal.

$$PHN = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Durasi}} \quad (1)$$

Dimana, PHN adalah Produktivitas Harian Normal.

3. Percepatan dengan Penambahan Jam Kerja Lembur.

$$PNJ = \frac{PHN}{\text{Jam Kerja}} \quad (2)$$

$$PPJK = PHN + (PNJ \times EP \times PJL) \quad (3)$$

$$PPP = \frac{PPJK - PHN}{PHN} \times 100\% \quad (4)$$

Dimana, PNJ adalah Produktivitas Normal Tiap Jam, PHN adalah Produktivitas Harian Normal, PPJK adalah Produktivitas Penambahan Jam Kerja, EP adalah Efisiensi Produksi (0,6), PJL adalah Penambahan Jam Lembur (4 jam), dan PPP adalah Persentase Peningkatan Produktivitas.

4. Percepatan dengan Penambahan Tenaga Kerja

$$PTK = TKN \times 30\% \quad (5)$$

$$PPTK = \frac{PHN + (PHN \times PTK)}{TKN} \quad (6)$$

Dimana, PTK ialah Penambahan Tenaga Kerja, TKN ialah Tenaga Kerja Normal, PPTK ialah Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja, dan PHN ialah Produktivitas Harian Normal.

5. Crash Duration

$$\text{Crash Duration Jam Kerja} = \frac{\text{Volume}}{PPJK} \quad (7)$$

$$\text{Crash Duration Tenaga Kerja} = \frac{\text{Volume}}{PPTK} \quad (8)$$

Dimana, PPJK ialah Produktivitas Penambahan Jam kerja, dan PPTK ialah Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja.

2.2 Simulasi Monte Carlo

Proses yang terjadi pada simulasi *Monte Carlo* dapat meniru proses nyata serta mudah dipahami sehingga sangat membantu dalam mengatasi masalah ketidakpastian. Simulasi ini menggunakan metode pengambilan sampel untuk memecahkan masalah kuantitatif. Teknik populer untuk memodelkan perhitungan probabilitas yang menangani banyak komponen risiko dalam manajemen proyek adalah simulasi ini. Pembuatan model adalah langkah pertama dalam simulasi; Semua variabel model diberikan nilai dan

probabilitasnya sendiri. Distribusi probabilitas dari nilai sistem dihitung sebagai produk sampingan dari simulasi. Simulasi ini melakukan percobaan berulang-ulang, atau yang kita sebut dengan iterasi. Tergantung dari sistem yang akan ditinjau, iterasi yang digunakan yaitu ratusan bahkan ribuan iterasi. Simulasi *Monte Carlo* pada penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software Primavera Risk Analysis*.

2.3 Cost Slope

Cost Slope adalah rasio kenaikan biaya terhadap percepatan waktu penyelesaian proyek. *Cost Slope* dapat ditentukan dengan membagi selisih antara biaya *normal cost* dan biaya *crash cost* dengan selisih antara durasi *normal duration* dengan *crash duration*. Hasil dari *Cost Slope* digunakan untuk mengetahui perbandingan biaya percepatan dengan biaya awal. Perlu digarisbawahi bahwa fokusnya hanya pada tugas-tugas yang berada di jalur krusial.

Rumus-rumus perhitungan untuk mendapatkan *Cost Slope* adalah sebagai berikut:

1. Normal Cost

$$NC = NCPH \times ND \times JP \quad (9)$$

Dimana, NC ialah *Normal Cost*, NCPH ialah *Normal Cost Pekerja Per Hari*, ND ialah *Normal Duration*, dan JP ialah Jumlah Pekerja Normal.

2. Crash Cost

$$CCPH = NCPH + BL \quad (10)$$

$$CCJL = CCPH \times CD \times JP \quad (11)$$

$$CCTK = NCPH \times PTK \times CD \quad (12)$$

Dimana, CCPH ialah *Crash Cost Pekerja Per Hari*, NCPH ialah *Normal Cost Pekerja Per Hari*, BL ialah *Biaya Lembur Per Hari*, CCJL ialah *Crash Cost Penambahan Jam Lembur*, CCPH ialah *Crash Cost Pekerja Per Hari*, CD ialah *Crash Duration*, dan JP ialah Jumlah Pekerja Normal.

3. Cost Slope

$$CS = \frac{CC - NC}{ND - CD} \quad (13)$$

Dimana, CS ialah *Cost Slope*, CC ialah *Crash Cost*, ND adalah *Normal Duration*, NC ialah *Normal Cost*, dan CD ialah *Crash Duration*.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Analisa *Precendence Diagram Method*

Perbaikan kapal BC60002 berlangsung dari tanggal 14 Januari 2022 hingga 17 Februari 2022, total 25 hari dihabiskan untuk memperbaiki kapal BC60002. Hari kerja berlangsung mulai dari jam 8 pagi sampai jam 5 sore, Senin sampai Kamis, dengan istirahat makan siang dari jam 12 siang sampai jam 1 siang; pada hari Jumat, hari kerja berlangsung mulai dari jam 8 pagi sampai jam 6 sore, dengan makan siang yang dibagi menjadi dua bagian yaitu jam 11.30 dan jam 13.30.

Penelitian ini menggunakan *Microsoft Excel* dan *Primavera* untuk menguji efisiensi pendekatan PDM dalam mengurangi durasi proyek. Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan untuk percepatan durasi percepatan durasi proyek sebagai berikut:

3.1.1 Lintasan Kritis dan Durasi Normal

Durasi reguler dalam studi ini berpusat pada jalur kritis, yang merupakan urutan tugas-tugas penting yang harus diselesaikan dari awal proyek hingga selesai.

Tabel 1. Durasi Normal Kegiatan Kritis

No	Kegiatan	Durasi Normal (hari)
A	Docking	1
B	Pembersihan dengan scraping badan kapal	2
F	Pengecatan bangunan atas	5
G	Perbaikan pintu pengunci RIB Platform	5
I	Bongkar dan pasang propeller baru	2
J	Penbersihan propeller	1
K	Pemeriksaan clearance poros baling-baling	1
L	Pemeriksaan clearance poros kemudi	1
M	Penggantian pipa hydraulic windlass	8
O	Pemeliharaan bow thruster	8
V	Kalibrasi magnetic compass	1
W	Perbaikan rubber boat (bocor)	6
X	Penggantian throttle dan wire mesin	10
Z	Service engine mercury 2x60 HP (include spareparts)	10
AD	Undocking dan Sea Trial	1

Berdasarkan pada Tabel 1, dengan bantuan *software Primavera*, lintasan kritis dalam proyek reparasi kapal BC60002 berjumlah 15 kegiatan dari total 30 kegiatan. Analisa percepatan durasi dilakukan pada pekerjaan lintasan kritis tersebut.

3.1.2 Perhitungan Produktivitas Harian Normal

Perbandingan antara sumber daya yang digunakan (*input*) dan hasil (*output*) disebut produktivitas. Sebelum melakukan analisis, aktivitas yang berada di jalur kritis yang memiliki risiko keterlambatan yang signifikan akan ditentukan produktivitas harian normalnya. Untuk membandingkan tingkat produktivitas sebelum dan sesudah akselerasi, produktivitas harian biasa harus dihitung.

Contoh perhitungan produktivitas harian normal pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (1) dimana volume pekerjaan sebesar 332 kg dan durasi selama 2 hari, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{PHN} &= \text{Volume Pekerjaan} / \text{Durasi} \\ &= 332 \text{ kg} / 2 \text{ hari} \\ &= 166 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Hasil keseluruhan dari perhitungan produktivitas harian normal pada lintasan kritis proyek reparasi pada kapal BC60002 dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Produktivitas Harian Normal

No	Durasi Normal (hari)	Volume (kg)	PHN (kg/hari)
A	1	1	1
B	2	332	166
F	5	560	112
G	5	1	0,2
I	2	2	1
J	1	2	2
K	1	2	2
L	1	2	2
M	8	1	0,13
O	8	1	0,13
V	1	1	1,00
W	6	1	0,17
X	10	1	0,10
Z	10	2	0,20
AD	1	1	1,00

3.1.3 Percepatan dengan Penambahan Jam Kerja Lembur

Percepatan yang dapat dilakukan untuk memperkecil durasi proyek adalah dengan menambah jam kerja lembur yang disesuaikan dengan kebutuhan pekerjaan. Penambahan jam kerja meningkatkan produktivitas hingga 60% dibandingkan dengan jam kerja reguler. Tahapan dalam perhitungan percepatan dengan penambahan jam kerja lembur, yaitu perhitungan produktivitas normal per jam, perhitungan produktivitas penambahan jam kerja lembur, dan perhitungan persentase peningkatan produktivitas.

Contoh Perhitungan untuk mengetahui produktivitas normal per jam pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (2) dimana produktivitas harian normal sebesar 166 kg/hari dan jam kerja selama 8 jam adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PNJ} &= \text{PHN} / \text{Jam Kerja} \\ &= 166 \text{ kg/hari} / 8 \text{ jam} \\ &= 20,75 \text{ kg/jam} \end{aligned}$$

Contoh Perhitungan produktivitas penambahan jam lembur pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (3) dimana produktivitas harian normal sebesar 166 kg/hari, produktivitas harian normal per jam sebesar 20,75 kg/jam, efisiensi produksi sebesar 60%, dan penambahan jam lembur selama 4 jam, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{PPJK} &= \text{PHN} + (\text{PNJ} \times \text{EP} \times \text{PJJ}) \\ &= 166 \text{ kg/hari} + (20,75 \text{ kg/jam} \times 0,6 \times 4 \text{ jam}) \\ &= 215,8 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan persentase peningkatan produktivitas pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (4) dimana produktivitas penambahan jam lembur sebesar 215,8 kg/hari dan produktivitas harian normal sebesar 166 kg/hari, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{PPP} &= (\text{PPJK} - \text{PHN}) \times 100\% / \text{PHN} \\ &= (215,8 \text{ kg/hari} - 166 \text{ kg/hari}) \times 100\% / 166 \text{ kg/hari} \\ &= 0,3 \end{aligned}$$

Tabel 3 menampilkan perhitungan produktivitas total dengan penambahan jam lembur pada jalur kritis proyek reparasi kapal BC60002.

Tabel 3. Produktivitas Setelah Penambahan Jam Lembur

No	PHN (kg/hari)	PNJ (kg/jam)	PPJK (kg/hari)	PPP
A	1,00	0,13	1,30	0,3
B	166,00	20,75	215,80	0,3
F	112,00	14,00	145,60	0,3
G	0,20	0,03	0,26	0,3
I	1,00	0,13	1,30	0,3
J	2,00	0,25	2,60	0,3
K	2,00	0,25	2,60	0,3
L	2,00	0,25	2,60	0,3
M	0,13	0,02	0,16	0,3
O	0,13	0,02	0,16	0,3
V	1,00	0,13	1,30	0,3
W	0,17	0,02	0,22	0,3
X	0,10	0,01	0,13	0,3
Z	0,20	0,03	0,26	0,3
AD	1,00	0,13	1,30	0,3

3.1.4 Percepatan dengan Penambahan Tenaga Kerja

Penambahan lebih banyak personel ke proyek perbaikan kapal BC60002 adalah cara lain untuk mempercepat proyek serta menghasilkan proyek yang lebih produktif. Dalam analisis proyek ini, produktivitas harian meningkat sebesar 30% dari hasil produktivitas harian pada penambahan jam kerja lembur. Tahapan dalam perhitungan percepatan dengan penambahan tenaga kerja, yaitu perhitungan penambahan tenaga kerja dan perhitungan produktivitas setelah tenaga kerja ditambahkan.

Contoh perhitungan penambahan jumlah tenaga kerja pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (5) dimana tenaga kerja normal sebanyak 3 orang, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{PTK} &= \text{TKN} \times 30\% \\ &= 3 \text{ orang} \times 30\% \\ &= 0,9 \approx 1 \text{ orang} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan produktivitas penambahan tenaga kerja pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (6) dimana produktivitas harian normal sebesar 166 kg/hari, penambahan tenaga kerja sebanyak 1 orang, dan tenaga kerja normal sebanyak 3 orang, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{PPTK} &= \text{PHN} + (\text{PHN} \times \text{PTK}) / \text{TKN} \\ &= 166 \text{ kg/hari} + (166 \text{ kg/hari} \times 1 \text{ orang}) / 3 \text{ orang} \\ &= 221,33 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Hasil akhir dari angka produktivitas perbaikan kapal BC60002 setelah menambahkan personel di jalur kritis ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Produktivitas Setelah Penambahan Tenaga Kerja

No	Durasi Normal (hari)	PTK (orang)	Tenaga Kerja Normal (orang)	Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja (kg/hari)
A	1	1	3	1,33
B	2	1	3	221,33
F	5	5	16	147,00
G	5	1	4	0,25
I	2	2	6	1,33
J	1	1	2	3,00
K	1	2	6	2,67
L	1	2	6	2,67
M	8	1	3	0,17
O	8	2	6	0,17
V	1	1	2	1,50
W	6	1	4	0,21
X	10	1	2	0,15
Z	10	1	4	0,25
AD	1	1	3	1,33

3.1.5 Crash Duration

Crash Duration adalah total waktu terpendek untuk menyelesaikan setiap aktivitas dalam proyek. Perhitungan *crash duration* di jalur kritis setelah percepatan dibutuhkan untuk karena peningkatan produktivitas memerlukan durasi yang lebih pendek dari biasanya.

Contoh perhitungan *crash duration* penambahan jam kerja lembur pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (7) dimana volume pekerjaan sebesar 332 kg dan produktivitas penambahan jam kerja lembur sebesar 215,8 kg, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Crash Duration Jam Kerja} &= \text{Volume} / \text{PPJK} \\ &= 332 \text{ kg} / 215,8 \\ &\quad \text{kg/hari} \\ &= 1,54 \approx 1 \text{ hari} \end{aligned}$$

Contoh perhitungan *crash duration* penambahan tenaga pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (8) dimana volume pekerjaan sebesar 332 kg dan produktivitas penambahan tenaga kerja sebesar 221,3 kg/hari, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{Crash Duration Tenaga Kerja} &= \text{Volume} / \text{PPTK} \\ &= 332 \text{ kg} / 221,3 \\ &\quad \text{kg/hari} \\ &= 1,5 \approx 1 \text{ hari} \end{aligned}$$

Tabel 5. *Crash Duration* Setelah Penambahan Jam Lembur

No	Volume (kg)	Produktivitas Penambahan Jam Lembur (kg/hari)	<i>Crash Duration</i> Penambahan Jam Lembur (hari)
A	1	1,3	0,77
B	332	215,8	1,54
F	560	145,6	3,85
G	1	0,26	3,85
I	2	1,30	1,54
J	2	2,60	0,77
K	2	2,60	0,77
L	2	2,60	0,77
M	1	0,16	6,15
O	1	0,16	6,15
V	1	1,30	0,77
W	1	0,22	4,62
X	1	0,13	7,69
Z	2	0,26	7,69
AD	1	1,30	0,77

Tabel 6. *Crash Duration* Setelah Penambahan Tenaga Kerja

No	Volume (kg)	PPTK (kg/hari)	<i>Crash Duration</i> Penambahan Tenaga Kerja (hari)
A	1	1,33	0,75
B	332	221,33	1,50
F	560	147,00	3,81
G	1	0,25	4,00
I	1	1,33	1,50
J	2	3,00	0,67
K	2	2,67	0,75
L	2	2,67	0,75
M	2	0,17	6,00
O	1	0,17	6,00
V	1	1,50	0,67
W	1	0,21	4,80
X	1	0,15	6,67
Z	1	0,25	8,00
AD	2	1,33	0,75

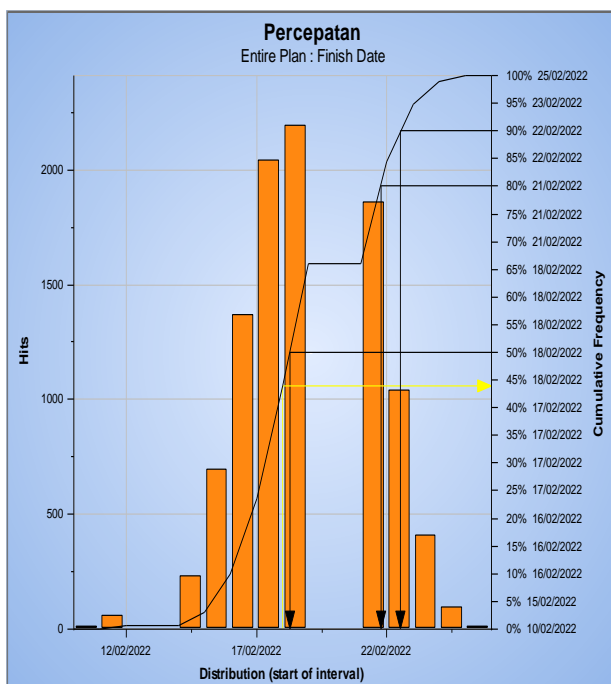
Tabel 5 dan 6, masing-masing, menyajikan temuan umum dari estimasi *crash duration* setelah tenaga kerja dan jam kerja ditambahkan ke lintasan utama proyek reparasi pada kapal BC60002.

Hasil dari perhitungan *crash duration* penambahan jam kerja lembur sebanyak 4 jam/hari dan penambahan tenaga kerja sebanyak 30% pada lintasan kritis kemudian diinput pada *software Primavera* sehingga waktu percepatan dapat diketahui. Nilai percepatan yang dihasilkan masing-masing penambahan memiliki nilai yang sama, yaitu durasi pekerjaan proyek dapat dipercepat 2 hari dari 25 hari menjadi 23 hari.

3.2 Analisa Simulasi Monte Carlo

Monte Carlo digunakan untuk mengetahui probabilitas keberhasilan proyek setelah dilakukan percepatan. Pada penelitian ini dilakukan proses simulasi *Monte Carlo* dengan menggunakan *software Primavera Risk Analysis*. Beberapa langkah untuk menjalankan simulasi *Monte Carlo* adalah sebagai berikut:

1. Rekapitulasi hasil kuesioner berupa durasi optimis, durasi realistis dan durasi pesimis setiap pekerjaan seperti yang terlihat pada Tabel 7.
2. Menetapkan 10.000 iterasi karena ide dasar metode ini adalah berulang-ulang mengurangi variabel yang tidak diketahui secara acak.
3. Hasil dari analisis *Monte Carlo* yang dilakukan dengan perangkat lunak *Primavera Risk Analysis* ditampilkan dalam diagram distribusi frekuensi.



Gambar 1. Probabilitas keberhasilan percepatan proyek

Tabel 7. Waktu Optimis, Realistis, Dan Pesimis

No	Waktu (hari)		
	Optimis	Realistis	Pesimis
A	1	1	1
B	1	2	3
F	3	5	6
G	3	5	6
I	1	2	3
J	1	1	1
K	1	1	1
L	1	1	1
M	5	6	8
O	7	8	10
V	1	1	1
W	5	6	8
X	9	10	13
Z	9	10	13
AD	1	1	1

Berdasarkan pada Gambar 1, proses simulasi *Monte Carlo* dengan bantuan *software Primavera Risk Analysis*, pekerjaan yang awalnya selesai dalam waktu 25 hari dapat dipercepat menjadi 23 hari dengan peluang keberhasilan percepatan sebesar 95% pada saat perbaikan kapal BC60002 di PT Dumas Tanjung Perak Shipyards dengan penambahan jam kerja lembur dan pekerja.

3.3 Analisa Biaya Percepatan

Biaya merupakan salah satu aspek yang perlu ditimbangkan dalam suatu proyek. Pada penelitian ini, biaya yang dihasilkan akibat dari percepatan durasi tentunya akan berbeda dengan biaya awal proyek. Percepatan akan dikatakan optimal apabila biaya yang dihasilkan tidak terlalu tinggi. Adapun beberapa tahapan untuk mengetahui biaya dari percepatan durasi sebagai berikut:

3.3.1 Normal Cost

Biaya yang dibutuhkan untuk menyelesaikan segala aktivitas proyek dalam jangka durasi tertentu disebut sebagai *normal cost*. Penelitian ini mendapatkan nilai biaya tenaga kerja harian dari hasil wawancara pihak galangan yaitu sebesar Rp180.000,00 dengan perhitungan upah minimum regional dibagi dengan jumlah hari bekerja dalam sebulan seperti yang dapat dilihat pada Tabel 8.

Contoh perhitungan *normal cost* pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (9) dimana *normal cost* pekerja per hari sebesar Rp180.000,00, *normal duration* selama 2 hari, dan jumlah pekerja sebanyak 3 orang, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{NC} &= \text{NCPH} \times \text{ND} \times \text{JP} \\ \text{NC} &= \text{Rp}180.000,00 \times 2 \text{ orang} \times 3 \text{ hari} \\ &= \text{Rp}1.080.000,00 \end{aligned}$$

Berdasarkan data biaya tenaga kerja harian yang didapatkan sebelumnya, nilai tersebut dihitung untuk mengetahui *normal cost* pada jalur kritis. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 9 dengan nilai total Rp53.280.000,00.

Tabel 8. Biaya Tenaga Kerja Harian

No	Tenaga Kerja Normal (orang)	Biaya Tenaga Kerja/Hari (Rp)
A	3	180.000
B	3	180.000
F	16	180.000
G	4	180.000
I	6	180.000
J	2	180.000
K	6	180.000
L	6	180.000
M	3	180.000
O	6	180.000
V	2	180.000
W	4	180.000
X	2	180.000
Z	4	180.000
AD	3	180.000

Tabel 9. *Normal Cost*

No	Tenaga Kerja Normal (orang)	Biaya Tenaga Kerja/Hari (Rp)	Durasi Normal (hari)	<i>Normal Cost</i> (Rp)
A	3	180.000	1	540.000
B	3	180.000	2	1.080.000
F	16	180.000	5	14.400.000
G	4	180.000	5	3.600.000
I	6	180.000	2	2.160.000
J	2	180.000	1	360.000
K	6	180.000	1	1.080.000
L	6	180.000	1	1.080.000

No	Tenaga Kerja Normal (orang)	Biaya Tenaga Kerja/Hari (Rp)	Durasi Normal (hari)	<i>Normal Cost</i> (Rp)
M	3	180.000	8	4.320.000
O	6	180.000	8	8.640.000
V	2	180.000	1	360.000
W	4	180.000	6	4.320.000
X	2	180.000	10	3.600.000
Z	4	180.000	10	7.200.000
AD	3	180.000	1	540.000
Total				53.280.000

3.3.2 *Crash Cost*

Biaya yang dihasilkan dalam suatu proyek setelah proses percepatan selesai disebut sebagai *crash cost*. Tenaga kerja tambahan yang diperlukan untuk setiap tugas serta empat jam kerja lembur mengakibatkan perlunya biaya tambahan. Menurut pengamatan dan informasi yang didapatkan bahwa biaya yang diperoleh dari penambahan empat jam kerja ekstra adalah dua kali lipat dari biaya tenaga kerja harian.

Contoh perhitungan *crash cost* pekerja harian pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (10) dimana *normal cost* pekerja per hari sebesar Rp180.000,00, biaya lembur per hari sebesar Rp360.000,00, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{CCPH} &= \text{NCPH} + \text{BL} \\ \text{CCPH} &= \text{Rp}180.000,00 + \text{Rp}360.000,00 \\ &= \text{Rp}540.000,00 \end{aligned}$$

Hasil keseluruhan dari perhitungan *crash cost* pekerja per hari di lintasan kritis dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. *Crash Cost* Pekerja Harian

No	Biaya Tenaga Kerja/Hari (Rp)	Biaya Lembur (Rp)	<i>Crash Cost</i> /Hari (Rp)
A	180.000	360.000	540.000
E	180.000	360.000	540.000
F	180.000	360.000	540.000
G	180.000	360.000	540.000
H	180.000	360.000	540.000
I	180.000	360.000	540.000
J	180.000	360.000	540.000
L	180.000	360.000	540.000
N	180.000	360.000	540.000
Q	180.000	360.000	540.000

No	Biaya Tenaga Kerja/Hari (Rp)	Biaya Lembur (Rp)	Crash Cost/Hari (Rp)
S	180.000	360.000	540.000
U	180.000	360.000	540.000
AC	180.000	360.000	540.000

Contoh perhitungan *crash cost* penambahan jam lembur pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (11) dimana *crash cost* pekerja per hari sebesar Rp 540.000,00, *crash duration* selama 1 hari, jumlah pekerja setelah penambahan jam lembur sebanyak 3 orang, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{CCJL} &= \text{CCPH} \times \text{CD} \times \text{JP} \\ \text{CCJL} &= \text{Rp}540.000,00 \times 1 \text{ hari} \times 3 \text{ orang} \\ &= \text{Rp}1.620.000,00 \end{aligned}$$

Penambahan personel pada pekerjaan dalam proyek memungkinkan kegiatan dapat diselesaikan dengan lebih cepat dan lebih produktif sehingga produktivitas harian meningkat sebesar 30% dari hasil produktivitas harian dengan menambah waktu lembur.

Contoh perhitungan *crash cost* dengan menambah personel pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (12) dimana *normal cost* pekerja per hari sebesar Rp180.000,00 *crash duration* selama 1 hari, dan jumlah total pekerja setelah penambahan tenaga kerja sebanyak 4 orang, yaitu:

$$\begin{aligned} \text{CCTK} &= \text{NCPH} \times \text{PTK} \times \text{CD} \\ \text{CCTK} &= \text{Rp}180.000,00 \times 1 \text{ hari} \times 4 \text{ orang} \\ &= \text{Rp}720.000,00 \end{aligned}$$

Tabel 11. *Crash Cost* Penambahan Jam Kerja Lembur

No	Crash Cost /Hari (Rp)	Tenaga Kerja Normal (orang)	Crash Duration Jam Kerja Lembur (hari)	Crash Cost Jam Kerja Lembur (Rp)
A	180.000	3	1	1.620.000
B	180.000	3	1	1.620.000
F	180.000	16	4	34.560.000
G	180.000	4	4	8.640.000
I	180.000	6	1	3.240.000
J	180.000	2	1	1.080.000
K	180.000	6	1	3.240.000

No	Crash Cost /Hari (Rp)	Tenaga Kerja Normal (orang)	Crash Duration Jam Kerja Lembur (hari)	Crash Cost Jam Kerja Lembur (Rp)
L	180.000	6	1	3.240.000
M	180.000	3	6	9.720.000
O	180.000	6	6	19.440.000
V	180.000	2	1	1.080.000
W	180.000	4	5	10.800.000
X	180.000	2	8	8.640.000
Z	180.000	4	8	17.280.000
A	180.000	3	1	1.620.000
Total				125.820.000

Tabel 11 menampilkan hasil perhitungan *crash cost* dari jalur kritis pada proyek reparasi kapal BC60002 dengan menambah jam kerja lembur, yaitu sebesar Rp125.820.000,00 sedangkan hasil keseluruhan dari perhitungan *crash cost* penambahan tenaga kerja pada lintasan kritis proyek reparasi pada kapal BC60002 ditunjukkan pada Tabel 12 dengan nilai sebesar Rp54.720.000,00.

Tabel 12. *Crash Cost* Penambahan Personel

No	Crash Cost /Hari (Rp)	Tenaga Kerja Normal (orang)	Crash Duration Tambah Personel (orang)	Crash Cost Tambah Personel (Rp)
A	180.000	3	1	720.000
B	180.000	3	1	720.000
F	180.000	16	4	15.120.000
G	180.000	4	4	3.600.000
I	180.000	6	1	1.440.000
J	180.000	2	1	540.000
K	180.000	6	1	1.440.000
L	180.000	6	1	1.440.000
M	180.000	3	6	4.320.000
O	180.000	6	6	8.640.000
V	180.000	2	1	540.000
W	180.000	4	5	4.500.000
X	180.000	2	7	3.780.000
Z	180.000	4	8	7.200.000
AD	180.000	3	1	720.000
Total				54.720.000

3.3.3 Cost Slope

Cost slope adalah peningkatan anggaran yang diakibatkan oleh pemendekan waktu aktivitas proyek.

Contoh perhitungan *cost slope* dengan menambah waktu lembur pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (13) dimana *crash cost* sebesar Rp 1.620.000, *normal cost* sebesar Rp 1.080.000, *normal duration* selama 2 hari, dan *crash duration* selama 1 hari, yaitu:

$$CS = \frac{CC-NC}{ND-CD}$$

$$CS = \frac{Rp1.620.000 - Rp1.080.000,00}{2 \text{ hari} - 1 \text{ hari}}$$

$$= Rp540.000,00/\text{hari}$$

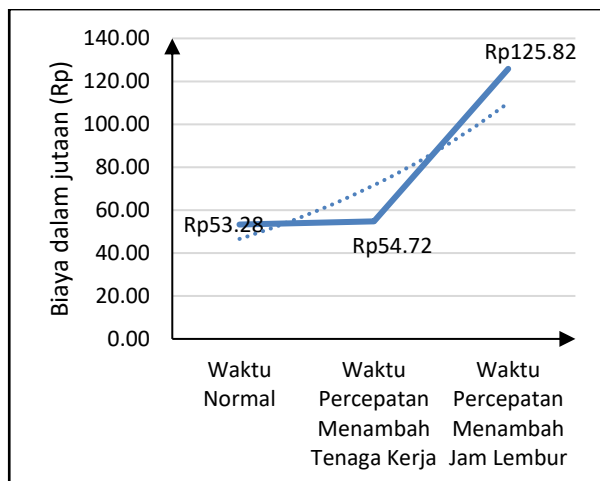
Contoh perhitungan *cost slope* dengan menambah personel pada kegiatan pembersihan dengan *scraping* badan kapal (kegiatan B) dapat menggunakan persamaan (13) dimana *crash cost* sebesar Rp720.000,00, *normal cost* sebesar Rp1.080.000,00, *normal duration* selama 2 hari, *crash duration* selama 1 hari yaitu:

$$CS = \frac{CC-NC}{ND-CD}$$

$$CS = \frac{Rp720.000 - Rp1.080.000,00}{2 \text{ hari} - 1 \text{ hari}}$$

$$= - Rp360.000,00/\text{hari}$$

Grafik dari kenaikan biaya yang dihasilkan akibat penambahan jam kerja lembur dan penambahan tenaga kerja dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Durasi Dan Biaya

Tabel 13 menunjukkan temuan keseluruhan dari perhitungan *cost slope* penambahan tenaga kerja ekstra dan jam kerja pada lintasan krusial proyek reparasi pada kapal BC60002.

Tabel 13. *Cost Slope*

No	<i>Cost Slope</i> Penambahan Jam Kerja Lembur (Rp)	<i>Cost Slope</i> Penambahan Tenaga Kerja (Rp)
A	0	0
B	540.000	- 360.000
F	20.160.000	720.000
G	5.040.000	0
I	1.080.000	-720.000
J	0	0
K	0	0
L	0	0
M	2.700.000	0
O	5.400.000	0
V	0	0
W	6.480.000	180.000
X	2.520.000	60.000
Z	5.040.000	0
AD	0	0

3.4 Pembahasan

Menurut penelitian sebelumnya, didapatkan bahwa kurangnya pekerja dan peralatan kerja yang tidak mencukupi serta jarang dirawat berkontribusi terhadap keterlambatan operasi perbaikan kapal [11]. Penelitian lainnya menyebutkan bahwa terdapat beberapa pendekatan untuk mengurangi keterlambatan proyek, termasuk mempekerjakan lebih banyak staf dan memperpanjang jam kerja [12].

Metode yang dilakukan untuk meminimalisir keterlambatan proyek pada penelitian ini yaitu metode PDM dan Simulasi *Monte Carlo*. Hasil yang didapatkan pada penelitian ini, yaitu dengan menambah personel ataupun waktu lembur selama empat jam per hari, perbaikan kapal dapat dipercepat menjadi 23 hari dari total 25 hari dengan persentase keberhasilan sebesar 95%. Dengan tambahan 136% harga untuk kerja lembur dan 2,14% untuk tenaga kerja, Hal ini juga tidak terlalu berpengaruh secara finansial. Data ini menguatkan temuan yang menyebutkan bahwa metode PDM lebih unggul karena merencanakan proyek dengan jangka waktu yang lebih pendek dengan penggunaan sumber daya yang efisien [13]. Simulasi *Monte Carlo* pun terlihat lebih masuk akal karena memperhitungkan ketidakpastian dan memberikan angka durasi dalam bentuk distribusi [14].

Pendekatan ini membantu meningkatkan tingkat kepercayaan dalam perencanaan dan

pengelolaan proyek serta membantu dalam mengidentifikasi solusi yang lebih efektif dalam menghadapi berbagai tantangan yang mungkin muncul selama pelaksanaan proyek [15].

4. KESIMPULAN

Proyek perbaikan kapal BC60002 menarik kesimpulan menggunakan *Metode Precedence Diagram (PDM)* dan *Simulasi Monte Carlo* sebagai dasar temuannya adalah dengan jumlah total 30 aktivitas dalam diagram jaringan, 15 diidentifikasi kritis menggunakan metode PDM. Dengan menambah personel dan waktu lembur selama empat jam per hari pada metode PDM, durasi proyek perbaikan kapal BC60002 dapat dipersingkat masing-masing tiga hari, dari total 25 hari menjadi 23 hari. Dengan simulasi *Monte Carlo*, peluang proyek selesai dalam 23 hari adalah 95%. Biaya penambahan jam lembur dengan durasi sebesar 5,75% lebih cepat memiliki penambahan sebesar Rp72.540.000,00 atau sebesar 136% sedangkan dengan menggunakan penambahan tenaga kerja dengan durasi sebesar 5,75% lebih cepat memiliki penambahan sebesar Rp1.140.000,00 atau sebesar 2,14% dari biaya awal proyek. Jika dibandingkan dengan jam kerja atau lembur, proyek perbaikan kapal BC60002 penambahan tenaga kerja lebih menguntungkan sebagai hasil tersebut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Soeharto, *Manajemen Proyek*. Jakarta: Erlangga, 1999.
- [2] I. Widiasanti dan Lenggogeni, *Manajemen Konstruksi*. Bandung: Remaja Rosdakarya, 2013.
- [3] H. A. Rani, *Manajemen Proyek Konstruksi*. Sleman: Budi Utama, 2016. 647, 2016.
- [4] A. B. Siswanto dan M. Afif Salim, *Manajemen Proyek*. Semarang: Pilar Nusantara, 2015.
- [5] S. Atin dan N. Cahyana, "Pemanfaatan Precedence Diagram Method (PDM) dalam Penjadwalan Proyek di PT .X," *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, vol. 2, hlm. 29–36, 2016.
- [6] E. Safitri, S. Basriati, dan L. Hanum, "Optimasi Penjadwalan Proyek Menggunakan CPM dan PDM (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Balai Nikah dan Manasik Haji KUA Kecamatan Kateman Kabupaten Indragiri Hilir)," *Jurnal Sains, Matematika, dan Statistika*, vol. 5, no. 2, hlm. 17–25, 2019.
- [7] F. S. Hillier dan G. J. Lieberman, *Introduction to Operations Research (Seventh Edition)*. New York: McGraw-Hill Higher Education, 2001.
- [8] P. L'Ecuyer dan A. B. Owen, *Monte Carlo and Quasi-Monte Carlo Methods 2008*. London, New York: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2009.
- [9] E. Pratiwi, "Mengoptimalkan Waktu Penjadwalan Proyek Pembuatan Kapal Dengan Metode Simulasi Monte Carlo," *Jurnal Matematika*, hlm. 1–11, 2017.
- [10] R. N. Roy, *A Modern Approach to Operations Management*. New Delhi: New Age International, 2005.
- [11] L. K. Padaga, I. Rochani, dan Y. Mulyadi, "Penjadwalan Berdasarkan Analisis FaktorFaktor Penyebab Keterlambatan Proyek Reparasi Kapal: Studi Kasus MV. Blossom," *Jurnal Teknik ITS*, vol. 7, no. 1, hlm. 2337–3520, 2018.
- [12] M. R. M. Istiqomah, I. P. Mulyatno, S. J. Sisworo, E. S. Hadi, dan O. Mursid, "Penjadwalan Ulang Kapal Reparasi TB. Patra Tunda 3001 Dengan Metode Jalur Kritis," *Jurnal Teknologi Perikanan dan Kelautan*, vol. 12, no. 2, hlm. 161–174, 2021.
- [13] F. Fahrian, B. Haryanto, dan M. Jamal, "Perbandingan Penjadwalan Proyek Dengan Metode PDM (Precedence Diagram Method) & CPM (Critical Path Method)," *Jurnal Teknologi Sipil*, vol. 5, no. 2, hlm. 17–25, 2022.
- [14] A. Prajoko dan E. Manurung, "Analisis Penjadwalan Proyek Konstruksi Menggunakan Simulasi Monte Carlo (Studi Kasus Pembangunan Gedung di Bintaro, Jakarta)," *Seminar Nasional Cendekiawan ke-18*, hlm. 27–32, 2018.
- [15] K. Yudhaningsih, V. R. Hughes, F. N. Fitria, U. D. Sumawati, dan H. H. Purba, "Analisis Risiko Proyek Pada Konstruksi Bangunan: Tinjauan Literatur," *Journal of Industrial and Engineering System*, vol. 3, no. 1, hlm. 32–53, 2022.