



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Optimasi *Reschedule* Reparasi Kapal KMP. Tribuana 1 dan MT. Bulue Star 5 menggunakan Metode *Time cost trade off* dengan 8 Variasi *Crashing* Berbasis CPM

Davierend Asfala¹⁾, Imam Pujo Mulyatno²⁾, Parlindungan Manik³⁾

¹⁾Laboratorium Perencanaan Kapal Dibantu Komputer

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

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

Abstrak

Optimasi *reschedule* reparasi 2 kapal yang dilaksanakan secara simultan bertujuan untuk mencegah keterlambatan dari pengerjaan proyek yang berdasarkan *repair list* untuk mendapatkan skenario pengerjaan yang paling efektif untuk menyelesaikan proyek dengan mempertimbangkan biaya dan durasi yang optimum, metode yang digunakan pada penelitian ini adalah *time cost trade off* berbasis *critical path method* dengan variabel durasi, tenaga kerja, dan biaya, *reschedule* reparasi proyek diuji dengan 8 variasi *crashing*. Dari hasil pengujian didapatkan beberapa kesimpulan mengenai variasi dalam pengerjaan proyek bahwa Dalam skenario normal, proyek ini akan memakan waktu total selama 144 hari dengan biaya sebesar 50,400,000. berdasarkan *crashing* dengan variasi A1, waktu pengerjaan proyek dapat berkurang menjadi 134 hari dengan tambahan biaya 4,550,000, atau sebesar 9.03% biaya dari pengerjaan normal. Skenario A2 dan A3 juga menunjukkan efisiensi serupa dengan penambahan biaya sebesar 18.08% dan 15.08%. Sedangkan di sisi lain, pengerjaan proyek dengan scenario B1 menghasilkan pengurangan durasi pengerjaan proyek hingga 118 hari dengan tambahan biaya Rp.4.316.666,- pada pengerjaan B2 menghasilkan pengurangan durasi proyek 29,86% dengan biaya Rp.5.623.333,- skenario B3 memungkinkan pengurangan yang signifikan waktu penyelesaian menjadi 86 hari dengan penambahan biaya sebesar 12.15%

Kata Kunci : *Crashing*, *time cost trade off*, lembur, tenaga kerja

1. PENDAHULUAN

Kapal memerlukan perawatan reparasi kapal kegiatan yang dilakukan secara berkala ini penting dilakukan untuk menjaga kondisi kapal agar tetap layak operasi. Reparasi kapal dapat dilakukan untuk memperbaiki kerusakan yang terjadi pada kapal, atau untuk meningkatkan kinerja kapal[1].

Manajemen dalam penjadwalan sangat penting dalam mengatur kegiatan pada suatu proyek, penjadwalan penting dilakukan guna mengatur jumlah tenaga kerja, estimasi biaya yang berguna dalam proyek[2] Salah satu cara untuk mempercepat waktu penyelesaian pekerjaan reparasi adalah dengan menggunakan metode *time cost trade off* yang bertujuan mempercepat durasi penyelesaian proyek dan menganalisa sejauh apa suatu proyek bisa dipercepat tanpa menyebabkan pamanbahan biaya yang signifikan[3]. *crashing*.

Metode *crashing* adalah metode yang digunakan untuk mengurangi waktu penyelesaian pekerjaan reparasi dengan menambah sumber daya atau meningkatkan produktivitas.

Perencanaan yang baik tentunya dapat memebrikan keuntungan bagi perusahaan baik dari segi waktu, biaya, serta sumber daya manusia. Jika jumlah *item* pekerjaan pada *repair list* semakin banyak maka tentunya pihak galangan akan kesulitan dalam menyelesaikan proyek[4]. Maka dari itu penjadwalan proyek harus bisa dioptimalkan dengan baik untuk kebutuhan perusahaan.

Meninjau penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dengan melihat hasil analisis dan pembahasannya pada penelitian yang menerapkan metode serupa dalam upaya percepatan dalam pembangunan kapal angkut tank 7900 DWT dengan ditambah jam lembur selama 4 jam

didapatkan pengurangan waktu pengerjaan dari 152 hari menjadi 130 hari dengan tambahan biaya sebesar Rp 37.498.629,00[5].

Analisis yang dilakukan pada reparasi kapal KM. Fajar Bahari V dengan ditambahkan 4 jam kerja dan juga tambahan tenaga kerja menghasilkan efisiensi waktu sebesar 30% hingga pekerjaan dapat diselesaikan selama 14 hari dengan penambahan biaya 0,56% atau senilai Rp. 9.150.000,00 hingga total biaya dalam percepatan proyek senilai Rp. 1.567.734.500,00 yang sebelumnya Rp.1.558.584.500,00. Jika dikerjakan dalam keadaan normal[6].

Pada pembangunan kapal kelas 1 kenavigasian dengan penambahan jam lembur selama 4 jam dan penambahan tenaga kerja dapat mengurangi waktu penyelesaian proyek selama 25 hari dari 225 hari dengan keterlambatan 30 hari, dengan tambahan biaya Rp. 234.889.654.211,10[7].

Penelitian yang dilakukan dalam percepatan pengerjaan proyek dengan metode yang sama pada penambahan jam kerja didapatkan efisiensi waktu 14,71% dengan biaya tambahan 6,23% sedangkan dengan penambahan tenaga kerja menghasilkan efisiensi waktu senilai 16,18% dengan 3,36% biaya tambahan[8].

Maka berdasarkan beberapa hasil penelitian diatas penelitian ini bertujuan untuk menentukan strategi *crashing* yang optimal dapat mengurangi waktu penyelesaian pekerjaan reparasi dengan biaya yang minimal. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak dalam membantu perusahaan galangan untuk menentukan strategi *crashing* yang optimal untuk pekerjaan reparasi kapal, meningkatkan efisiensi dan efektivitas pekerjaan reparasi kapal.

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan pada penelitian ini merupakan data kapal yang diperoleh dari PT. Dock Kodja Bahari Galangan 1 Jakarta Utara, data yang diperoleh berupa *repair list* dan *main schedule* dari kapal KMP. Tribuana 1 dan MT. Blue Star 5

Tabel 1. Ukuran Utama KMP. Tribuana 1 dan MT. Blue Star 5

Dimensi	KMP. Tribuana 1	MT. Blue Star 5
LOA	117,67 meter	50,8 meter
Breadth	21 meter	8,8 meter
Height	10,9 meter	4,2 meter
Draught	6 meter	4,2 meter
GT	6166 Ton	367 Ton
NT	1856 Ton	112 Ton

2.2. Pengumpulan Data

Data yang diperoleh bersumber dari pihak galangan kapal Dock Kodja Bahari Galangan 1. berupa data *repair list* dan *main schedule*. Serta data pendukung berupa buku, jurnal, dan penelitian sebelumnya.

2.3. Pengolahan Data

Untuk mempercepat pekerjaan proyek dapat dilakukan dengan Pertukaran antara waktu dan biaya (*Time Cost Trade Off*) yang merupakan salah satu metode yang digunakan untuk mempercepat proyek. Saat merencanakan jadwal pembangunan kapal, tujuannya adalah menghasilkan jadwal yang realistis dengan perkiraan biaya yang masuk akal. Dalam metode ini, durasi aktivitas dikompresi dengan menambahkan faktor-faktor seperti tenaga kerja dan jam kerja, dengan usaha agar penambahan biaya minimal. Berikut merupakan langkah-langkah pengolahan data :

1. Melakukan penggabungan *main schedule* kapal KMP. Tribuana 1 dan MT. Blue Star 5
2. Menyusun kegiatan dengan *work breakdown structure* berdasarkan pekerjaan pada jadwal.
3. Menentukan successor dan predecessor pada *schedule* di *Microsoft project*
4. Menentukan aktivitas yang terdapat pada lintasan kritis untuk dilakukan *crashing*.
5. Menghitung produktivitas harian pada pekerjaan yang terdapat pada *critical path*.

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

$$PPJ = PHN : JKN \quad (2)$$

Dimana *PHN* merupakan produktivitas harian normal, *PPJ* merupakan produktivitas perjam. *JKN* merupakan jam kerja normal.

6. Melakukan perhitungan biaya pengerjaan proyek secara normal

$$NC = NCH \times ND \quad (3)$$

NC merupakan *normal cost*, *NCH* merupakan *normal cost* harian dan *ND* merupakan *normal duration*.

7. Melakukan perhitungan percepatan penyelesaian dengan variasi *crashing* sebagai berikut :

Tabel 2. Skenario variasi pengerjaan

Skenario pengerjaan	Jam Lembur	Jumlah Penambahan Tenaga Kerja
Normal	-	-
A1	1 Jam	-
A2	2 Jam	-
A3	3 Jam	-
A4	4 jam	-
B1	-	1 Orang
B2	-	2 Orang
B3	-	3 Orang

8. Menghitung produktivitas lembur, *crash duration*, *crash cost*, dan *cost slope* pada *crashing* dengan penambahan jam kerja.

$$PPJL = (JKN \times PPJ) + (DL \times KPP \times PPJ) \quad (4)$$

$$CD = \frac{VP}{PPJL} \quad (5)$$

$$CCH = NCH + BLH \quad (6)$$

$$CC = CCH \times CD \quad (7)$$

$$CS = \frac{CC - NC}{ND - CD} \quad (8)$$

Dimana *PPJL* adalah produktivitas penambahan jam lembur, *JKN* adalah jam kerja normal, *PPJ* adalah produktivitas perjam, *DL* merupakan durasi lembur, *KPP* adalah koefisien penurunan produktivitas, *CD* merupakan *crash duration*, *VP* merupakan volume pekerjaan, *CCH* adalah *crash cost* harian, *NCH* adalah *normal cost* harian dan *BLH* biaya lembur harian, *CC* adalah *crash cost*.

9. Perhitungan *normal cost* dan *crash cost* harian dan untuk penambahan tenaga kerja.

$$NC = (TKN \times NC) \quad (9)$$

$$CCH = (TKN \times NC) + (TTK \times NC) \quad (10)$$

10. Melakukan Analisa dengan perbandingan dari nilai *cost slope* dan percepatan durasi dari masing-masing percobaan.

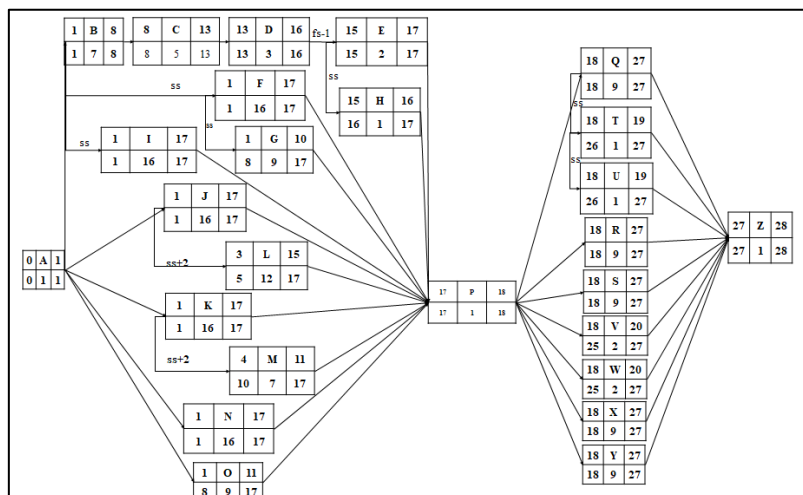
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah dilakukannya pengumpulan data dan dilakukan pengolahan data, maka didapatkan berupa hasil Analisa dan pembahasan sebagai berikut :

3.1. Penyusunan Urutan Antar Aktivitas

Penyusunan aktivitas kritis dilakukan dengan penggabungan main schedule dari kapal KMP. Tribuana 1 dan MT. Blue Star 5 yang dilaksanakan berdasarkan *work breakdown structure*. Dari hubungan 2 *main schedule* tersebut.

Penggabungan main *schedule* pada item pekerjaan dibantu oleh *Software Microsoft project*. Dengan langkah pengerjaan dalam mendapatkan lintasan kritis dengan menentukan aktifitas pendahulu (*predecessor*) dan didahului (*successor*). Kemudian menentukan hubungan antar aktivitas pada *work breakdown structure* sehingga didapatkan lintasan kritis, lalu dilakukan perhitungan maju dan perhitungan untuk dapat menentukan free float, total float, serta slack yang menunjukkan jumlah waktu yang tersedia untuk menyelesaikan suatu tugas atau aktivitas tanpa mempengaruhi jadwal penyelesaian proyek secara keseluruhan.



Gambar 1. Network diagram proyek

3.2. Lintasan Kritis

Jalur kritis adalah rangkaian kegiatan yang harus diselesaikan tepat waktu agar proyek dapat diselesaikan tepat waktu. Keterlambatan pada salah satu kegiatan di jalur kritis akan menyebabkan keterlambatan pada keseluruhan proyek[9].

Tabel 3. Pekerjaan pada lintasan kritis

Kode	Pekerjaan	Durasi (hari)	Slack (hari)
A	docking	1	0
B	bottom area	7	0
C	topside area	5	0
D	superstructure area	3	0
E	draft mark, plimsol	2	0
F	jangkar dan rantai	16	0
G	sea chest dan strainer	16	0
H	poros baling-baling	16	0
I	poros kemudi	16	0
J	plat datar	16	0
K	docking repair	1	0
L	skrap, sandblasting, pengecatan	9	0
M	sea chest, sea valve & slupper	9	0
N	jangkar, rantai jangkar	9	0
O	replating	9	0
P	pekerjaan pipa	9	0
Q	Undocking	1	0

3.3. Perhitungan Produktivitas Harian

Perhitungan produktivitas harian dilakukan untuk mengetahui nilai dari produktivitas pekerja yang digunakan untuk mengetahui sejauh mana pekerja dapat mencapai target produktivitas dalam satu hari.

Contoh perhitungan produktivitas pada pekerjaan perawatan bottom area dimana volume pekerjaan 10,980 m² dengan durasi pengerjaan selama 5 hari maka :

$$PHN = \frac{10,980}{5}$$

$$PHN = 1568 \text{ Kg/hari}$$

Kemudian menentukan nilai produktivitas perjam, hal ini untuk mengetahui nilai produktivitas lembur nantinya

Contoh perhitungan produktivitas perjam pada pekerjaan perawatan bottom area :

Dimana :

Produktivitas harian normal = 1568,57

Jam kerja normal = 8 jam

PPJ = 1568,57 : 8

PPJ = 196,07 Kg/jam

Berikut merupakan hasil perhitungan produktivitas harian dan produktivitas perjam terdapat pada tabel

Tabel 4. Prod. harian dan prod. perjam

Kode	Durasi (hari)	Volume	Prod. harian	Prod. perjam
A	1	1	1.00	0.13
B	7	10980	1568.57	196.07
C	5	1800	360.00	45.00
D	3	6412	2137.33	267.17
E	2	1	0.50	0.06
F	16	2	0.13	0.02
G	16	8	0.50	0.06
H	16	8	0.50	0.06
I	16	8	0.50	0.06
J	16	10000	625.00	78.13
K	1	1	1.00	0.13
L	9	3570	396.67	49.58
M	9	13	1.44	0.18
N	9	2	0.22	0.03
O	9	1000	111.11	13.89
P	9	16	1.78	0.22
Q	1	1	1.00	0.13

3.4. Perhitungan Normal Cost

Normal cost merupakan biaya yang perlu dikeluarkan dalam menyelesaikan proyek dengan kondisi normal[10]. Pada penelitian ini upah pekerja adalah Rp. 350.000,- perharinya atau Rp. 43.750,- perjamnya.

Contoh perhitungan normal cost pada pekerjaan replating dimana normal cost pekerjaan Rp. 350.000 dengan normal duration selama 16 hari maka :

$$NCH = 350.000 \times 16$$

$$NCH = 5.600.000,$$

Tabel 5. perhitungan Normal cost

Kode	Tk. normal	Durasi (hari)	Normal Cost harian	Normal cost
A	2	1	350,000	350,000
B	8	7	350,000	2,450,000
C	4	5	350,000	1,750,000
D	6	3	350,000	1,050,000
E	2	2	350,000	700,000
F	3	16	350,000	5,600,000
G	4	16	350,000	5,600,000
H	3	16	350,000	5,600,000
I	3	16	350,000	5,600,000
J	8	16	350,000	5,600,000
K	2	1	350,000	350,000
L	5	9	350,000	3,150,000
M	3	9	350,000	3,150,000
N	3	9	350,000	3,150,000
O	3	9	350,000	3,150,000

Kode	Tk. normal	Durasi (hari)	Normal Cost harian	Normal cost
P	3	9	350,000	3,150,000
Q	2	1	350,000	350,000

3.5. Perhitungan Crashing A1

Pada metode *crashing* A1 dengan menambahkan 1 jam lembur, pekerjaan jam lebur dilaksanakan setelah jam kerja normal selesai yaitu pada jam 17.00-18.00, harga upah 1 jam lembur pada satu jam pertama adalah 1,5 kali dari upah harian perjam yaitu sebesar Rp.60.000,- dengan menambahkan 1 jam lembur produktivitas pekerja akan mengalami penurunan menjadi 90%. Berikut contoh perhitungan efisiensi setelah peningkatan waktu kerja pada bagian *replating*. Dimana jam kerja normal selama 8 jam produktivitas penambahan jam kerja 78,125 dengan durasi lembur selama 1 jam dan penurunan produktivitas sebesar 90% Maka,

$$PPJL = (8 \times 78,125) + (1 \times 0,9 \times 78,125)$$

$$PPJL = 695,3125 \text{ Kg/Hari}$$

Perhitungan *crash duration* didapatkan dengan membandingkan total volume pekerjaan dengan nilai produktivitas yang diperoleh setelah dilakukan *crashing*.

Contoh perhitungan dari *crash duration* pada pengerjaan *replating* plat datar dimana volume pekerjaan sebanyak 10000 kg dan produktivitas penambahan jam lembur 695,31 Maka,

$$CD = 10000/695,31$$

$$CD = 14,38 \approx 15 \text{ hari}$$

Perhitungan *crash cost* harian untuk pekerjaan dengan penambahan jam kerja selama 1 jam dihitung sebesar Rp. 350.000,-

Maka dengan biaya harian normal sebanyak Rp. 350.000,- dan uang lembur pada 1 jam pertama adalah Rp.70.000,- maka *crash cost* harian adalah Rp. 420.000,-

Kemudian untuk menghitung *crash cost* Berikut contoh perhitungan *crash cost* pada pekerjaan *replating* plat datar dimana *crash cost* harian sejumlah Rp. 420.000 dan *crash duration* selama 15 Hari. maka,

$$\text{Crash Cost} = CCH \times CD$$

$$= \text{Rp. } 420.000,- \times 15$$

$$= \text{Rp. } 6.300.000,-$$

Cost slope merupakan sejumlah biaya tambahan yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengurangi durasi dari pengerjaan

proyek[11]. Dibawah ini contoh perhitungan dari *cost slope* pada pekerjaan *replating* plat datar. Dimana *crash duration* sebesar Rp. 6.300.000 dan *normal cost* Rp. 5.600.000 dan durasi normal selama 16 hari dan *crash duration* 15 hari maka,

$$CS = (6.300.000-5.600.000)/(16-15)$$

$$= 700.000$$

Berikut data perhitungan dari produktivitas lembur, *crash duration*, *crash cost* dan *cost slope* pada masing-masing *item* pekerjaan pada lintasan kritis.

Tabel 6. Prod. Lembur, *crash duration*, *crash cost* dan *cost slope* dengan 2 jam lembur

A	B	C	D	E
A	1.11	1	420,000	-
B	1,745.04	6	2,940,000	-
C	400.50	5	2,100,000	-
D	2,377.78	3	1,260,000	-
E	0.56	2	840,000	-
F	0.14	14	6,300,000	700,000
G	0.56	14	6,300,000	700,000
H	0.56	14	6,300,000	700,000
I	0.56	14	6,300,000	700,000
J	695.31	14	6,300,000	700,000
K	1.11	1	420,000	-
L	441.29	8	3,360,000	210,000
M	1.61	8	3,360,000	210,000
N	0.25	8	3,360,000	210,000
O	123.61	8	3,360,000	210,000
P	1.98	8	3,360,000	210,000
Q	1.11	1	420,000	-

Keterangan :

A : *Item* pekerjaan pada lintasssan kritis

B : Nilai produktivitas lembur

C : *Crash duration*

D : *Crash cost*

E : *Cost slope*

3.6. Perhitungan Crashing A2

Pada metode *crashing* A2 dengan menambahkan 2 jam lembur, pekerjaan jam lebur dilaksanakan setelah jam kerja normal selesai yaitu pada jam 17.00-19.00, harga upah 1 jam lembur pada satu jam pertama adalah 1,5 kali dan 2 kali pada jam berikutnya dari upah harian perjam yaitu sebesar Rp.160.000,- dengan menambahkan 2 jam lembur produktivitas pekerja akan mengalami penurunan menjadi 80%. Berikut contoh perhitungan efisiensi setelah peningkatan waktu kerja pada bagian *replating* Dimana jam kerja normal selama 8 jam produktivitas penambahan jam kerja 78,125 dengan durasi lembur selama 2

jam dan penurunan produktivitas sebesar 80%
Maka,

$$PPJL = (8 \times 78,125) + (2 \times 0,8 \times 78,125)$$

$$PPJL = 750,0 \text{ Kg/Hari}$$

Perhitungan *crash duration* didapatkan dengan membandingkan total volume pekerjaan dengan nilai produktivitas yang diperoleh setelah dilakukan *crashing*. Contoh perhitungan dari *crash duration* pada pengerjaan *replating* plat datar dimana volume pekerjaan sebanyak 10000 kg dan produktivitas penambahan jam lembur 750,00
Maka,

$$CD = 10000/750,0$$

$$CD = 13,33 \approx 14 \text{ hari}$$

Perhitungan *crash cost* harian untuk pekerjaan dengan penambahan jam kerja selama 2 jam. Maka dengan biaya harian normal sebanyak Rp. 350.000,- dan uang lembur pada 1 jam pertama adalah Rp.160.000,- maka *crash cost* harian adalah Rp. 510.000,-

Kemudian untuk menghitung *crash cost* Berikut contoh perhitungan *crash cost* pada pekerjaan *replating* plat datar. dimana *crash cost* harian sejumlah Rp. 510.000 dan *crash duration* selama 14 Hari. maka,

$$\begin{aligned} \text{Crash Cost} &= CCH \times CD \\ &= \text{Rp. } 510.000,- \times 14 \\ &= \text{Rp. } 7.1400.000,- \end{aligned}$$

Cost slope merupakan sejumlah biaya tambahan yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengurangi durasi dari pengerjaan proyek[11]. Dibawah ini contoh perhitungan dari *cost slope* pada pekerjaan *replating* plat datar Dimana *crash duration* sebesar Rp. 7.140.000 dan *normal cost* Rp. 5.600.000 dan durasi normal selama 16 hari dan dan *crash duration* 14 hari maka,

$$CS = (7.140.000-5.600.000)/(16-14)$$

$$CS = 770.000$$

Berikut data perhitungan dari produktifitas lembur, *crash duration*, *cost slope* dan *cost slope* pada masing-masing *item* pekerjaan pada lintasan kritis dapat dilihat pada tabel berikut :

Tabel 7. Prod. Lembur, *crash duration*, *crash cost* dan *cost slope* dengan 2 jam lembur

A	B	C	D	E
A	1.2	1	510,000	-

B	1882.3	6	3,060,000	610,000
C	432.0	5	2,550,000	-
D	2564.8	3	1,530,000	-
E	0.6	2	1,020,000	-
F	0.2	14	7,140,000	770,000
G	0.6	14	7,140,000	770,000
H	0.6	14	7,140,000	770,000
I	0.6	14	7,140,000	770,000
J	750.0	14	7,140,000	770,000
K	1.2	1	510,000	-
L	476.0	8	4,080,000	930,000
M	1.7	8	4,080,000	930,000
N	0.3	8	4,080,000	930,000
O	133.3	8	4,080,000	930,000
P	2.1	8	4,080,000	930,000
Q	1.2	1	510,000	-

Keterangan :

A : *Item* pekerjaan pada lintasssan kritis

B : Nilai produktivitas lembur

C : *Crash duration*

D : *Crash cost*

E : *Cost slope*

3.7. Perhitungan *Crashing* A3

Pada metode *crashing* A3 dengan menambahkan 3 jam lembur, pekerjaan jam lebur dilaksanakan 1 jam pada jam 07.00-0.800 dan 2 jam pada jam 17.00-19.00 harga upah 1 jam lembur pada satu jam pertama adalah 1,5 kali dan 2 kali pada jam berikutnya dari upah harian perjam yaitu sebesar Rp.240.000,- dengan menambahkan 3 jam lembur produktivitas pekerja akan mengalami penurunan menjadi 70%. Contoh perhitungan efisiensi setelah peningkatan waktu kerja pada bagian *replating* Dimana jam kerja normal selama 8 jam produktivitas penambahan jam kerja 78,125 dengan durasi lembur selama 3 jam dan penurunan produktivitas sebesar 70% Maka,

$$PPJK = (8 \times 78,125) + (3 \times 0,7 \times 78,125)$$

$$PPJK = 789,1 \text{ Kg/Hari}$$

Perhitungan *crash duration* didapatkan dengan membandingkan total volume pekerjaan dengan nilai produktivitas yang diperoleh setelah dilakukan *crashing*. Contoh perhitungan dari *crash duration* pada pengerjaan *replating* plat datar dimana volume pekerjaan sebanyak 10000 kg dan produktivitas penambahan jam lembur 789,1
Maka,

$$CD = 10000/789,1$$

$$CD = 12,7 \approx 13 \text{ hari}$$

Perhitungan *crash cost* harian untuk pekerjaan dengan penambahan jam kerja selama 3 jam, maka dengan biaya harian normal sebanyak Rp. 350.000,- dan uang lembur pada 1 jam pertama adalah Rp.240.000,- maka *crash cost* harian adalah Rp. 590.000,-

Berikut contoh perhitungan *crash cost* pada pekerjaan replatting plat datar dimana *crash cost* harian sejumlah Rp. 590.000 dan *crash duration* selama 13 Hari. maka,

$$\begin{aligned} \text{Crash Cost} &= CCH \times CD \\ &= \text{Rp. } 590.000,- \times 13 \\ &= \text{Rp. } 7.670.000,- \end{aligned}$$

Cost slope merupakan sejumlah biaya tambahan yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengurangi durasi dari pengerjaan proyek[11]. Dibawah ini contoh perhitungan dari *cost slope* pada pekerjaan replatting plat datar Dimana *crash duration* sebesar Rp. 7.670.000 dan *normal cost* Rp. 5.600.000 dan durasi normal selama 16 hari dan dan *crash duration* 13 hari maka,

$$\begin{aligned} CS &= (7.670.000-5.600.000)/(16-13) \\ CS &= 690.000 \end{aligned}$$

Berikut merupakan data dari produktivitas lembur, *crash duration*, dan *crash cost* dari penambahan jam kerja dapat dilihat pada tabel

Tabel 8. Prod. Lembur, *crash duration*, *crash cost* dengan 3 jam lembur

A	B	C	D	E
A	1.26	1	590,000	-
B	1980.32	6	3,540,000	1,090,000
C	454.50	4	2,360,000	610,000
D	2698.38	3	1,770,000	-
E	0.63	2	1,180,000	-
F	0.16	13	7,670,000	690,000
G	0.63	13	7,670,000	690,000
H	0.63	13	7,670,000	690,000
I	0.63	13	7,670,000	690,000
J	789.06	13	7,670,000	690,000
K	1.26	1	590,000	-
L	500.79	7	4,130,000	490,000
M	1.82	7	4,130,000	490,000
N	0.28	7	4,130,000	490,000
O	140.28	7	4,130,000	490,000
P	2.24	7	4,130,000	490,000
Q	1.26	1	590,000	-

Keterangan :

A : *Item* pekerjaan pada lintasssan kritis

B : Nilai produktivitas lembur

C : *Crash duration*

D : *Crash cost*

E : *Cost slope*

3.8. Perhitungan *Crashing* A4

Pada metode *crashing* A4 dengan menambahkan 4 jam lembur, pekerjaan jam lebur dilaksanakan 2 jam pada jam 07.00-0.800 dan 3 jam pada jam 17.00-20.00 harga upah 1 jam lembur pada satu jam pertama adalah 1,5 kali dan 2 kali pada jam berikutnya dari upah harian perjam yaitu sebesar Rp.670.000,- dengan menambahkan 4 jam lembur produktivitas pekerja akan mengalami penurunan menjadi 60%. Berikut contoh perhitungan efisiensi setelah peningkatan waktu kerja pada bagian replatting Dimana jam kerja normal selama 8 jam produktivitas penambahan jam kerja 78,125 dengan durasi lembur selama 4 jam dan penurunan produktivitas sebesar 60% Maka,

$$\begin{aligned} PPJK &= (8 \times 78,125) + (4 \times 0,6 \times 78,125) \\ PPJK &= 812,5 \text{ Kg/Hari} \end{aligned}$$

Perhitungan *crash duration* didapatkan dengan membandingkan total volume pekerjaan dengan nilai produktivitas yang diperoleh setelah dilakukan *crashing* contoh perhitungan dari *crash duration* pada pengerjaan replatting plat datar dimana volume pekerjaan sebanyak 10000 kg dan produktivitas penambahan jam lembur 812,5 Maka,

$$CD = 10000/812,5$$

$$CD = 12,31 \approx 13 \text{ hari}$$

Perhitungan *crash cost* harian untuk pekerjaan dengan penambahan jam kerja selama 3 jam maka dengan biaya harian normal sebanyak Rp. 350.000,- dan uang lembur pada 1 jam pertama adalah Rp.320.000,- maka *crash cost* harian adalah Rp. 670.000,-

Berikut contoh perhitungan *crash cost* pada pekerjaan replatting plat datar dimana *crash cost* harian sejumlah Rp. 670.000 dan *crash duration* selama 13 Hari. maka,

$$\begin{aligned} \text{Crash Cost} &= CCH \times CD \\ &= \text{Rp. } 670.000,- \times 13 \\ &= \text{Rp. } 8.710.000,- \end{aligned}$$

Cost slope merupakan sejumlah biaya tambahan yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengurangi durasi dari pengerjaan proyek[11]. Dibawah ini contoh perhitungan dari *cost slope* pada pekerjaan replatting plat datar Dimana *crash duration* sebesar Rp. 8.710.000 dan *normal cost* Rp. 5.600.000 dan

durasi normal selama 16 hari dan dan *crash duration* 13 hari maka,

$$CS = (8.710.000-5.600.000)/(16-13)$$

$$CS = 1.036.667$$

Berikut merupakan data dari produktivitas lembur, *crash duration*, dan *crash cost* dan *cost slope* dari penambahan jam kerja dapat dilihat pada tabel

Tabel 9. Prod. Lembur, *crash duration*, *crash cost* dengan 4 jam lembur

A	B	C	D	E
A	1.26	1	590,000	-
B	1980.32	6	3,540,000	1,090,000
C	454.50	4	2,360,000	610,000
D	2698.38	3	1,770,000	-
E	0.63	2	1,180,000	-
F	0.16	13	7,670,000	690,000
G	0.63	13	7,670,000	690,000
H	0.63	13	7,670,000	690,000
I	0.63	13	7,670,000	690,000
J	789.06	13	7,670,000	690,000
K	1.26	1	590,000	-
L	500.79	7	4,130,000	490,000
M	1.82	7	4,130,000	490,000
N	0.28	7	4,130,000	490,000
O	140.28	7	4,130,000	490,000
P	2.24	7	4,130,000	490,000
Q	1.26	1	590,000	-

Keterangan :

A : *Item* pekerjaan pada lintasssan kritis

B : Nilai produktivitas lembur

C : *Crash duration*

D : *Crash cost*

E : *Cost slope*

3.9. Perhitungan *Crashing* B1

Pada metode *crashing* B1 dengan menambahkan 1 orang tenaga kerja secara merata pada semua *item* pekerjaan, pekerjaan dilaksanakan dengan waktu normal pada jam 08.00-17.00. Berikut perhitungan produktivitas penambahan tenaga kerja.

Contoh perhitungan efisiensi setelah peningkatan waktu kerja pada bagian replatting dimana produktivitas normal sebesar 625 dengan tenaga kerja normal sebanyak 8 orang dan penambahan 1 tenaga kerja, maka :

$$PPTK = \frac{PN + (PN \times PTK)}{TKN}$$

$$= (625 + (625 \times 1))/8$$

$$= 703,13 \text{ Kg/Hari}$$

Dimana PPTK adalah produktivitas penambahan tenaga kerja, TKT adalah tenaga kerja tambahan, dan TKN tenaga kerja normal

Perhitungan *crash duration* didapatkan dengan membandingkan total volume pekerjaan dengan nilai produktivitas yang diperoleh setelah dilakukan *crashing* contoh perhitungan dari *crash duration* pada pengerjaan *replating* plat datar dimana volume pekerjaan sebesar 10000 kg dengan produktivitas penambahan tenaga kerja 703,13 kg/hari maka :

$$CD = 10000/703,13$$

$$CD = 14,22 \approx 15 \text{ hari}$$

Perhitungan *crash cost* harian untuk pekerjaan dengan penambahan 1 tenaga kerja, berikut contoh perhitungan *crash cost harian* pada pekerjaan replatting plat datar dimana tenaga kerja normal sebanyak 8 orang dan *normal cost* sejumlah Rp. 350.000 dan penambahan tenaga kerja 1 orang maka,

$$CCH = (8 \times 350.000) + (1 \times 350.000)$$

$$= 3.150.000$$

Berikut contoh perhitungan *crash cost* pada pekerjaan replatting plat datar dimana *crash cost harian* sebesar Rp. 3.150.000 dan *crash duration* selama 15 hari maka,

$$Crash Cost = CCH \times CD$$

$$= \text{Rp. } 3.150.000 \times 15$$

$$= \text{Rp. } 47.000.000,-$$

Cost slope merupakan sejumlah biaya tambahan yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengurangi durasi dari pengerjaan proyek[11]. Dibawah ini contoh perhitungan dari *cost slope* pada pekerjaan *replating* plat datar. Dimana *crash duration* sebesar Rp. 47.250.000 dan *normal cost* Rp. 44.800.000 dan durasi normal selama 16 hari dan dan *crash duration* 15 hari maka,

$$CS = (47.250.000-44.800.000)/(16-15)$$

$$CS = 2.450.000$$

Berikut merupakan data dari produktivitas lembur, *crash duration*, *crash cost* dan *cost slope* dari penambahan tenaga kerja dapat dilihat pada tabel

Tabel 10. Prod. Lembur, *crash duration*, *crash cost* dengan 1 tambahan tenaga kerja

A	B	C	D	E
A	1.50	1	1,050,000	-
B	1,764.64	7	22,050,000	-

A	B	C	D	E
C	450.00	4	7,000,000	0
D	2,493.56	3	7,350,000	-
E	0.75	2	2,100,000	-
F	0.17	12	16,800,000	0
G	0.63	13	22,750,000	116,667
H	0.67	12	16,800,000	0
I	0.67	12	16,800,000	0
J	703.13	15	47,250,000	2,450,000
K	1.50	1	1,050,000	-
L	476.00	8	16,800,000	1,050,000
M	1.93	7	9,800,000	175,000
N	0.30	7	9,800,000	175,000
O	148.15	7	9,800,000	175,000
P	2.37	7	9,800,000	175,000
Q	1.50	1	1,050,000	-

Keterangan :

A : Item pekerjaan pada lintassan kritis

B : Nilai produktivitas penambahan tenaga kerja

C : *Crash duration*

D : *Crash cost*

E : *Cost slope*

Cost slope yang bernilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada perubahan biaya yang terkait dengan penambahan atau pengurangan jumlah tenaga kerja.

3.10. Perhitungan *Crashing* B2

Pada metode *crashing* B2 dengan menambahkan 2 orang tenaga kerja secara merata pada semua pekerjaan, pekerjaan dilaksanakan dengan waktu normal pada jam 08.00-17.00

Contoh perhitungan efisiensi setelah peningkatan waktu kerja pada bagian replatting dimana produktivitas normal sebesar 625 dengan tenaga kerja normal sebanyak 8 orang dan penambahan 2 tenaga kerja, maka :

$$PPTK = \frac{PN + (PN \times PTK)}{TKN}$$

$$= \frac{(625 + (625 \times 2))}{8}$$

$$= 781,25 \text{ Kg/Hari}$$

Dimana PPTK adalah produktivitas penambahan tenaga kerja, TKT adalah tenaga kerja tambahan, dan TKN tenaga kerja normal.

Perhitungan *crash duration* didapatkan dengan membandingkan total volume pekerjaan dengan nilai produktivitas yang diperoleh setelah dilakukan *crashing*, contoh perhitungan dari *crash duration* pada pengerjaan *replating* plat datar dimana volume pekerjaan sebesar 10000 kg dengan produktivitas penambahan tenaga kerja 781,25 kg/hari maka :

$$CD = 10000/781,25$$

$$CD = 12,8 \approx 13 \text{ hari}$$

Perhitungan *crash cost* harian untuk pekerjaan dengan penambahan 2 tenaga kerja berikut contoh perhitungan *crash cost harian* pada pekerjaan replatting plat datar dimana tenaga kerja normal sebanyak 8 orang dan *normal cost* sejumlah Rp. 350.000 dan penambahan tenaga kerja 2 orang maka,

$$CCH = (8 \times 350.000) + (2 \times 350.000)$$

$$= 3.500.000$$

Berikut contoh perhitungan *crash cost* pada pekerjaan replatting plat datar dimana *crash cost harian* sebesar Rp. 3.500.000 dan *crash duration* selama 13 hari maka,

$$Crash Cost = CCH \times CD$$

$$= \text{Rp. } 3.500.000 \times 13$$

$$= \text{Rp. } 45.500.000,-$$

Cost slope merupakan sejumlah biaya tambahan yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengurangi durasi dari pengerjaan proyek[11]. Dibawah ini contoh perhitungan dari *cost slope* pada pekerjaan *replating* plat datar Dimana *crash duration* sebesar Rp. 45.500.000 dan *normal cost* Rp. 44.800.000 dan durasi normal selama 16 hari dan dan *crash duration* 13 hari maka,

$$CS = (45.500.000 - 44.800.000) / (16 - 13)$$

$$= 233.333$$

Berikut merupakan data dari produktivitas lembur, *crash duration*, *crash cost* dan *cost slope* dari penambahan 2 tenaga kerja dapat dilihat pada tabel

Tabel 11. Prod. Lembur, *crash duration*, *crash cost* dengan 2 tambahan tenaga kerja

A	B	C	D	E
A	2	1	1,400,000	-
B	1960.7	6	21,000,000	1,400,000
C	540	4	8,400,000	1,400,000
D	2849.7	3	8,400,000	-
E	1	1	1,400,000	0
F	0.20	10	17,500,000	116,667
G	0.75	11	23,100,000	140,000
H	0.83	10	17,500,000	116,667
I	0.83	10	17,500,000	116,667
J	781.2	13	45,500,000	233,333
K	2	1	1,400,000	-
L	555.3	7	17,150,000	700,000
M	2.40	6	10,500,000	350,000
N	0.37	6	10,500,000	350,000
O	185.18	6	10,500,000	350,000
P	2.96	6	10,500,000	350,000
Q	2	1	1,400,000	-

Keterangan :

- A : *Item* pekerjaan pada lintasssan kritis
- B : Nilai produktivitas penambahan tenaga kerja
- C : *Crash duration*
- D : *Crash cost*
- E : *Cost slope*

Cost slope yang bernilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada perubahan biaya yang terkait dengan penambahan atau pengurangan jumlah tenaga kerja.

3.11. Perhitungan *Crashing* B3

Pada metode *crashing* B3 dengan menambahkan 3 orang tenaga kerja, pekerjaan dilaksanakan dengan waktu normal pada jam 08.00-17.00 .

Contoh perhitungan efisiensi setelah peningkatan waktu kerja pada bagian replatting dimana produktivitas normal sebesar 625 dengan tenaga kerja normal sebanyak 8 orang dan penambahan 3 tenaga kerja, maka :

$$PPTK = \frac{PN + (PN \times PTK)}{TKN}$$

$$= \frac{(625 + (625 \times 3))}{8}$$

$$= 859,37 \text{ Kg/Hari}$$

Dimana PPTK adalah produktivitas penambahan tenaga kerja, TKT adalah tenaga kerja tambahan, dan TKN tenaga kerja normal.

Perhitungan *crash duration* didapatkan dengan membandingkan total volume pekerjaan dengan nilai produktivitas yang diperoleh setelah dilakukan *crashing*, contoh perhitungan dari *crash duration* pada pengerjaan *replating* plat datar dimana volume pekerjaan sebesar 10000 kg dengan produktivitas penambahan tenaga kerja 859,37 kg/hari maka :

$$CD = 10000/859,37$$

$$CD = 11,63 \approx 12 \text{ hari}$$

Perhitungan *crash cost* harian untuk pekerjaan dengan penambahan 3 tenaga kerja dihitung menggunakan rumus berikut :

Berikut contoh perhitungan *crash cost harian* pada pekerjaan replatting plat datar dimana tenaga kerja normal sebanyak 8 orang dan *normal cost* sejumlah Rp. 350.000 dan penambahan tenaga kerja 3 orang maka,

$$CCH = (8 \times 350.000) + (3 \times 350.000)$$

$$= 3.850.000$$

Berikut contoh perhitungan *crash cost* pada pekerjaan replatting plat datar dimana *crash cost harian* sebesar Rp. 3.850.000 dan *crash duration* selama 12 hari maka,

$$Cash \ Cost = CCH \times CD$$

$$= Rp. 3.850.000 \times 12$$

$$= Rp. 46.200.000,-$$

Cost slope merupakan sejumlah biaya tambahan yang perlu dikeluarkan oleh perusahaan untuk mengurangi durasi dari pengerjaan proyek[11]. Dibawah ini contoh perhitungan dari *cost slope* pada pekerjaan *replating* plat datar dimana *crash duration* sebesar Rp. 46.200.000 dan *normal cost* Rp. 44.800.000 dan durasi normal selama 16 hari dan *crash duration* 12 hari maka,

$$CS = (46.200.000 - 44.800.000) / (16 - 12)$$

$$CS = 350.000$$

Berikut merupakan data dari produktivitas lembur, *crash duration*, *crash cost* dan *cost slope* dari penambahan 3 tenaga kerja dapat dilihat pada tabel.

Tabel 12. Prod. Lembur, *crash duration*, *crash cost* dengan 3 tambahan tenaga kerja

A	B	C	D	E
A	2.50	1	1,750,000	-
B	2156.79	6	23,100,000	3,500,000
C	630.00	3	7,350,000	175,000
D	3206.00	2	6,300,000	0
E	1.25	1	1,750,000	350,000
F	0.25	8	16,800,000	0
G	0.88	10	24,500,000	350,000
H	1.00	8	16,800,000	0
I	1.00	8	16,800,000	0
J	859.38	12	46,200,000	350,000
K	2.50	1	1,750,000	-
L	634.67	6	16,800,000	350,000
M	2.89	5	10,500,000	262,500
N	0.44	5	10,500,000	262,500
O	222.22	5	10,500,000	262,500
P	3.56	5	10,500,000	262,500
Q	2.50	1	1,750,000	-

Keterangan :

- A : *Item* pekerjaan pada lintasssan kritis
- B : Nilai produktivitas penambahan tenaga kerja
- C : *Crash duration*
- D : *Crash cost*
- E : *Cost slope*

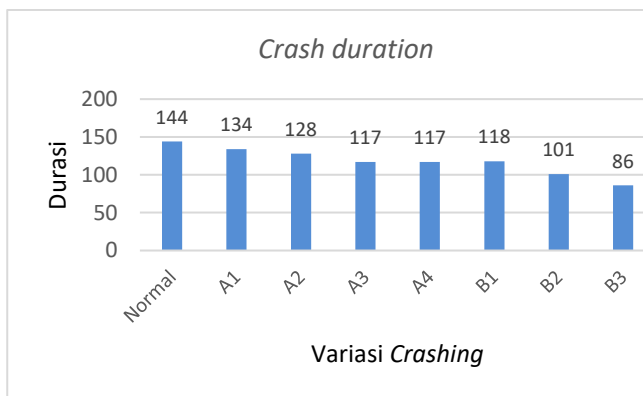
Cost slope yang bernilai 0 menunjukkan bahwa tidak ada perubahan biaya yang terkait dengan penambahan atau pengurangan jumlah tenaga kerja.

3.12. Hasil Analisa *Time Cost Trade Off*

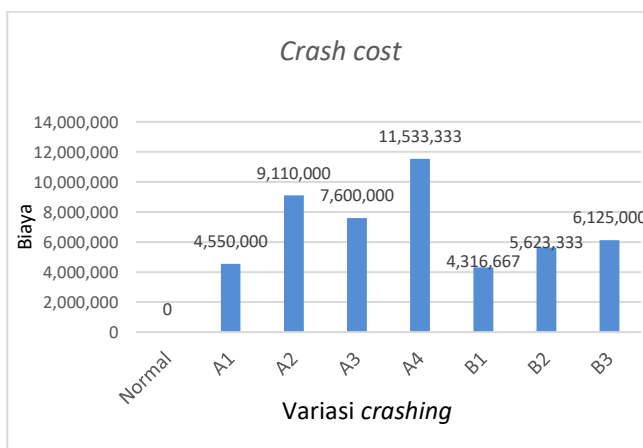
Setelah mendapatkan nilai dari *cost slope* dan bagaimana hubungan antar biaya dan waktu pada setiap variasi *crashing* maka dilakukan perbandingan mengenai perubahan durasi dan waktu pengerjaan proyek terdapat pada tabel 9

Tabel 13. Perbandingan waktu dan biaya

skenario	durasi	cost	persentase durasi	persentase cost
Normal	144	50,400,000	100.00%	100.00%
A1	134	4,550,000	93.06%	9.03%
A2	128	9,110,000	88.89%	18.08%
A3	117	7,600,000	81.25%	15.08%
A4	117	11,533,333	81.25%	22.88%
B1	118	4,316,667	81.94%	8.56%
B2	101	5,623,333	70.14%	11.16%
B3	86	6,125,000	59.72%	12.15%



Gambar 3. Perbandingan durasi *crashing*



Gambar 4. Perbandingan *crash cost*

Dapat diperhatikan pada tabel bahwa pada pengerjaan reparasi kapal dengan metode normal total durasi pengerjaan adalah 144 hari dengan total biaya Rp. 50.400.000,- setelah dilakukan *crashing* dengan variasi penambahan 1 jam lembur dalam pengerjaan dapat selesai selama 134 atau berkurang sebesar 6,94% namun dengan tambahan

biaya lembur sebesar Rp. 4.550.000,- atau naik 9,03% dengan penambahan 2 jam kerja pekerjaan dapat selesai berkurang 11,11% dari rencana awal dengan tambahan biaya Rp. 9.110.000,- dengan penambahan 3 jam lembur pekerjaan mengalami kenaikan biaya sebanyak 15,08% atau sejumlah Rp. 7.600.000,- dengan pengerjaan proyek selama 117 hari, penambahan 4 jam lembur membuat proyek selesai sama dengan penambahan 3 jam lembur namun terdapat penambahan biaya sebesar Rp. 11.533.333,- dengan menambah 1 tenaga kerja pada masing-masing *item* pekerjaan pekerjaan diselesaikan 118 hari atau 18,06% lebih cepat dari pekerjaan awal dengan kenaikan biaya Rp. 4.316.667,- pada pengujian *crashing* dengan 2 orang tambahan tenaga kerja menghasilkan pengurangan durasi pekerjaan selama 29,86% dengan biaya Rp. 5,623.000,- pengujian dengan menambahkan 3 orang tenaga kerja menghasilkan pengurangan durasi pekerjaan proyek hingga 40,28% dengan tambahan biaya 12,15% sebesar Rp. 6.125.000,-

4. KESIMPULAN

Dengan durasi normal pekerjaan selesai dengan total 144 hari penambahan 1 jam kerja dapat mengurangi waktu pengerjaan sebesar 6,94% dengan biaya tambahan Rp. 4.550.000 pengerjaan dengan penambahan 2 jam lembur menghasilkan 128 hari dengan tambahan biaya sebesar 18,08% dari biaya awal, dengan penambahan 3 jam lembur dan 4 jam lembur pekerjaan selesai selama 117 hari atau 81,25% dari durasi awal namun dengan tambahan biaya Rp. 7.600.000 untuk 3 jam lembur dan Rp. 11.533.333 dengan 4 jam lembur, pada pengerjaan dengan penambahan 1 tenaga kerja pekerjaan dapat dikurangi menjadi 81,94% dari durasi semula dengan tambahan biaya Rp. 4.316.667 penambahan 2 jam kerja terjadi penambahan biaya sebesar Rp. 5.623.333 dengan durasi pengerjaan 101 hari, sedangkan penambahan 3 tenaga kerja pekerjaan dapat mengurangi durasi penyelesaian hingga 40,28% dengan tambahan biaya Rp. 6.125.000

Setelah dilakukan pengujian pada proyek reparasi kapal KMP. Tribuana 1 dan MT. Blue Star 5 dengan menggunakan metode *time cost trade off* yang dibantu oleh *software Microsoft project* dengan beberapa variasi pengerjaan didapatkan hasil bahwa durasi pengerjaan akan mengalami pengurangan sejalan dengan penambahan jam lembur dan penambahan tenaga kerja. Penambahan tenaga kerja lebih efektif dilaksanakan untuk mengurangi durasi proyek hal ini dikarenakan pada penambahan jam lembur terdapat pengurangan produktivitas pekerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan dan bantuan dalam penyusunan jurnal penelitian ini terutama kepada PT. Dock Kodja Bahari yang membantu dalam pengumpulan data sekunder sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. Saeon, Kiryanto, and I. P. Mulyatno, "Analisa Shop Level Planning Dengan Metode Cpm Pada Kapal Tb. Equator 06 Dan Tk Sml 3001," *Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 1, pp. 14–22, 2023.
- [2] R. R. B. Adi, D. E. Traulia, M. A. Wibowo, and F. Kristiani, "Analisa Percepatan Proyek Metode Crash Program Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung Mixed Use Sentraland," *J. Karya Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 148–158, 2019.
- [3] C. T. Hendrickson and A. Tung, "Project Management for Construction: Fundamental Concepts for Owners," 2000.
- [4] A. A. Rahmi, I. P. Mulyatno, and U. Budiarto, "Optimalisasi Repair Schedule SPOB. Prosper Three 3537 DWT Dengan Critical Path Method Guna Antisipasi Keterlambatan Proyek," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 2, pp. 214–221, 2020.
- [5] A. Kusumadwitya, P. Mulyatno, and O. Mursid, "Analisis Optimalisasi Waktu Dan Biaya Pada Proyek Pembangunan Kapal Angkut Tank 7900 DWT," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 11, no. 1, 2023.
- [6] Kiryanto, F. P. U. sadewo, and W. Amiruddin, "Optimasi Percepatan Pada Proyek Reparasi KM Fajar Bahari V Dengan Menggunakan Metode Time Cost Trade Off," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 2, p. 77, 2022.
- [7] A. Muharani, I. P. Mulyatno, and S. Jokosisworo, "Optimasi Percepatan Proyek Pembangunan Kapal Kelas I Kenavigasian dengan Metode Pendekatan Analisa Time Cost Trade Off," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 330–338, 2020.
- [8] D. A. Sofia and A. A. E. Putri, "Analisis Perbandingan Penambahan Jam Kerja dan Tenaga Kerja terhadap Waktu dan Biaya Proyek dengan Metode Time Cost Trade Off," *Ind. Res. Work. Natl. Semin.*, vol. 12, pp. 846–854, 2021.
- [9] I. Soeharto, *manajemen proyek*, 2nd ed., no. 2. jakarta: erlangga, 1999.
- [10] M. Fatimah, P. Mulyatno, and D. Chrismiarto, "Reschedule Reparasi Lambung Pada Kapal TB. Pancaran 811 dan BG. Alika 101 Dengan Shop Level Planning and Scheduling Berbasis CPM," *J. Tek. Perkapalan*, vol. XX, 2022.
- [11] M. A. Eirgash and V. Toğan, "Time-Cost Trade-Off Optimization Using Siemens ' s Effective Cost Slope Time-Cost Trade-Off Optimization Using Siemens ' s Effective Cost Slope Method," *Conf. Pap.*, no. April, 2019.