



Analisis Optimalisasi Jadwal dengan menggunakan *Critical Path Method* (CPM) pada Proyek Pembangunan Kapal *Tugboat* 156,67 DWT

Galuh Pramudita Diswanto¹⁾, Imam Pujo Mulyatno²⁾, Good Rindo³⁾

¹⁾Laboratorium Teknologi Material dan Produksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*}e-mail : galuhpramuditadisw@students.undip.ac.id, imampujomulyatno@lecturer.undip.ac.id, goodrindo@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Optimalisasi jadwal sangat diperlukan untuk mencegah keterlambatan. Keterlambatan dapat mengakibatkan denda pada galangan. Pada proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT dengan *time schedule* di salah satu galangan di Banten mengalami keterlambatan pengerjaan. Penelitian ini bertujuan untuk penjadwalan ulang proyek pembangunan kapal dengan alternatif penambahan waktu kerja dan tenaga kerja dengan menggunakan *critical path method* (CPM). Metode ini digunakan untuk memperoleh penjadwalan proyek yang lebih optimal dengan mempercepat waktu penyelesaian dari durasi normal. Analisis dilakukan untuk mengetahui produktivitas, *network diagram*, jalur kritis, *crash duration* dari penambahan waktu kerja (*lembur*) dan penambahan tenaga kerja. Hasil penelitian ini menunjukkan, *network diagram* menghasilkan 23 pekerjaan pada lintasan kritis dengan alternatif paling efektif untuk percepatan proyek pembangunan kapal *tugboat* yaitu, penambahan waktu kerja (*lembur*) selama 4 jam dan persentase penambahan tenaga kerja 30% mengakibatkan penambahan tenaga kerja sebanyak 115 pekerja atau 23% lebih banyak dari tenaga kerja awal. Kedua alternatif ini menghasilkan durasi dibawah durasi normal, yaitu 385 hari dari durasi awal 434 hari atau 13% lebih singkat dari durasi normal dengan produktivitas optimal sebesar 136,6 kg/hari. Peralatan dan fasilitas galangan sudah mencukupi untuk mendukung percepatan proyek setelah penambahan tenaga kerja.

Kata Kunci : *Critical Path Method*, *Crash Duration*, *Time Schedule*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan kapal baru dianggap sebagai proses produksi yang penting oleh industri dok dan galangan kapal, dengan tujuan agar kapal-kapal baru yang dihasilkan dapat memenuhi kebutuhan pasar. Tingkat produktivitas yang tinggi, yaitu kemampuan membangun kapal berdasarkan spesifikasi dan standar mutu yang ditentukan, dengan harga bersaing, serta dalam waktu penyelesaian yang cepat, dapat dilihat sebagai tolok ukur kredibilitas suatu galangan[1].

Kendala seperti keterlambatan dihadapi dalam menyelesaikan suatu proyek. Keterlambatan dianggap sebagai suatu aspek yang harus diantisipasi oleh pelaksana proyek maupun galangan kapal, karena dapat mempengaruhi nama baik semua pihak yang terlibat. Keterlambatan

dalam menyelesaikan proyek juga berakibat pada munculnya denda yang harus ditanggung oleh pelaksana proyek maupun galangan kapal. Potensi keuntungan yang dapat diperoleh menjadi berkurang sehingga keterlambatan penyelesaian proyek harus dihindari dengan penjadwalan yang sistematis, seperti *time schedule*. *Time schedule* memiliki peranan penting dalam perusahaan, karena dapat merencanakan secara akurat setiap tahap pembuatan kapal serta memastikan bahwa semua pekerjaan dilaksanakan sesuai dengan standar mutu yang ditetapkan dan peraturan yang berlaku[2].

Penelitian ini menggunakan metode *critical path method* (CPM) dalam penjadwalan ulang proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT. CPM merupakan metode yang sering digunakan dalam pengendalian dan perencanaan proyek,

seperti pada pembangunan kapal baru dan perbaikan kapal[3]. Metode ini memiliki keunggulan untuk menganalisis durasi total dengan mengidentifikasi jalur kritis, serta menghitung *float time* untuk setiap kegiatan dengan tujuan mengurangi kemungkinan keterlambatan dalam proyek serta dapat menentukan sejauh mana proyek dapat dipercepat dalam hal durasi pengerjaan.

Penelitian ini mengambil data kapal *tugboat* di salah satu galangan di daerah Banten, perencanaan awal pada pelaksanaan proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT, menggunakan *s-curve* dan *time schedule*. Kapal ini memiliki panjang 26 meter serta lebar 8 meter dengan kecepatan maksimum 10 knot. Proyek pembangunan dilaksanakan mulai 06 Agustus 2021 hingga 31 Maret 2023 atau selama 434 hari. Realisasi pembangunan kapal *tugboat* selesai dibangun pada bulan Maret yang mana terjadi keterlambatan 30 hari dari penjadwalan proyek awal.

Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh dari penambahan waktu kerja (lembur) dan tenaga kerja serta menganalisis kondisi peralatan dan fasilitas galangan setelah penambahan tenaga kerja pada proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT agar dapat meminimalisir potensi keterlambatan pada proyek pembangunan kapal.

Merujuk pada penelitian terdahulu, metode jalur kritis dapat digunakan dalam pelaksanaan proyek selama 180 hari kerja dengan 22 aktivitas yang berada pada lintasan kritis yang membutuhkan waktu 20,635 jam, setelah melakukan *rescheduling* pelaksanaan proyek berlangsung menjadi 172 hari kerja, terdapat 7 aktivitas lintasan kritis dengan menghabiskan waktu 18,339 jam[4]. Penelitian lainnya menunjukkan bahwa meminimalkan total durasi proyek dapat menggunakan metode CPM, mengingat terbatasnya waktu dan sumber daya yang tersedia[5]. Penelitian dengan menggunakan CPM-Crashing, CPM-PERT dan CCPM. CPM-Crashing dapat dapat mempercepat durasi proyek dengan meningkatkan anggaran sumber daya, CPM-PERT dapat memberikan kemungkinan penyelesaian proyek dan CCPM dapat memberikan jadwal proyek baru. Didapatkan hasil proyek tidak tertunda sangat rendah, yaitu 55% proyek dapat selesai tepat waktu[6]. Penelitian lainnya mengenai proyek perbaikan kapal kapal MT Asumi XXVI dengan menerapkan metode CPM mendapatkan hasil analisis, bahwa terdapat 19 jalur kritis dalam *network diagram* yang dapat diselesaikan dalam 21 hari dengan melibatkan 40 tenaga kerja. Proyek perbaikan kapal tersebut berhasil dipercepat, sehingga durasi total menjadi 17 hari, adanya

penambahan tenaga kerja menjadi 40 orang dari 61 orang dan total lintasan kritis tetap sebanyak 19 aktivitas[7].

Penelitian yang telah diteliti sebelumnya menunjukkan bahwa metode penjadwalan proyek akan menghasilkan penjadwalan baru yang lebih efektif. Metode ini akan sangat berpengaruh dalam keberhasilan proyek pembangunan kapal serta keuntungan yang diperoleh pihak galangan. Diharapkan penelitian ini dapat menjadi referensi bagi perusahaan dalam melaksanakan penjadwalan proyek pembangunan kapal agar berjalan sesuai waktu yang telah disusun, serta menjadi referensi apabila perusahaan ingin melakukan penambahan tenaga kerja ataupun waktu kerja (lembur).

2. METODE

Metode penelitian merupakan proses sistematis yang digunakan untuk menghasilkan penelitian yang terstruktur. Penelitian ini menganalisis mengenai *reschedule* pada proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT. Data berupa *general arrangement*, *time schedule* dan *s-curve* yang diperoleh dari hasil wawancara dan survei dengan pihak terkait untuk memperoleh data. Metode yang digunakan dalam penelitian ini yaitu metode CPM (*Critical Path Method*) yang kemudian dianalisis untuk mempercepat durasi dengan tujuan mengurangi waktu penyelesaian proyek dengan alternatif penambahan waktu kerja dan tenaga kerja serta mempertimbangkan ketersediaan peralatan dan fasilitas galangan setelah penambahan tenaga kerja. Penelitian ini menggunakan *software microsoft project*, *software* yang digunakan secara luas untuk perencanaan, penjadwalan, alokasi sumber daya, dan pemantauan kemajuan proyek secara efisien[8].

2.1. Objek Penelitian

Objek penelitian penyusunan tugas akhir ini adalah proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT milik galangan di Banten. Gambar 1 merupakan *principal dimension* kapal *tugboat*.

Tabel 1. *Principal Dimension* Kapal *Tugboat*

No	Dimensi	Ukuran
1.	<i>Length Over All (LOA)</i>	26 m
2.	<i>Length Between Perpendicular (LBP)</i>	23,68 m
3.	<i>Breadth (Moulded)</i>	8 m
4.	<i>Height (Moulded)</i>	3,65 m
5.	<i>Draught (Hull)</i>	3 m
6.	<i>Deadweight</i>	156,67 ton
7.	<i>Gross Tonnage</i>	254 ton
8.	<i>Net Tonnage</i>	76 ton
9.	<i>Speed</i>	10 knot

2.2. Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan dalam penelitian ini dilakukan pada salah satu galangan di Banten. Data yang dikumpulkan dalam penelitian ini, yaitu data-data yang didapatkan dari diskusi dan wawancara dengan pihak terkait untuk memperoleh data, mencakup *time schedule*, *s-curve*, dan *general arrangement*. Data pendukung lainnya untuk melengkapi data yang diperoleh mencakup jurnal penelitian, buku pedoman, artikel, dan penelitian yang sebelumnya telah diteliti.

2.3. Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan dalam penelitian ini, antara lain adalah melakukan analisis jadwal menggunakan *software microsoft project* untuk mengelompokkan kegiatan dalam beberapa pekerjaan sesuai dengan *work breakdown structure* (WBS). Menetapkan *predecessor* untuk setiap pekerjaan dalam menyusun *network diagram*. *Network diagram* yang telah dibuat kemudian dianalisis untuk menghitung waktu mulai paling awal (*earliest start*), waktu paling awal selesai (*earliest finish*), waktu mulai paling akhir (*latest start*), waktu selesai paling akhir (*latest finish*) dan *total float* serta menganalisis jalur kritis dengan menggunakan CPM dengan catatan *total float* = 0 (nol), kemudian menganalisis produktivitas pada pekerjaan kritis dengan variasi penambahan waktu kerja (lembur) dan tenaga kerja serta melakukan perhitungan *crash duration* untuk mengantisipasi keterlambatan penyelesaian proyek dengan waktu kerja (lembur) dan tenaga kerja dengan mempertimbangkan ketersediaan peralatan dan fasilitas galangan setelah penambahan tenaga kerja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT yang dilaksanakan selama 20 bulan, dimulai dari tanggal 06 Agustus 2021 sampai 31 Maret 2023, dimana proyek pengerjaan ini dikerjakan selama 6 hari kerja setiap minggunya dengan waktu normal kerja adalah 8 jam per hari (08.00 – 16.00) dengan jeda istirahat selama 1 jam (12.00 – 13.00).

Pembangunan kapal *tugboat* mengalami keterlambatan yang membuat penyelesaian proyek tidak sesuai dengan durasi awal. Upaya mengantisipasi adanya keterlambatan dengan melakukan *crashing* pada proyek untuk meminimalisir keterlambatan yang terjadi. Berdasarkan pengumpulan data dan analisis hasil penelitian, diperoleh hasil sebagai berikut:

3.1. Menganalisis *Schedule*

Menganalisis *schedule* kegiatan pekerjaan yang terperinci dan sistematis dalam menjalankan sebuah proyek agar proyek dapat berjalan sesuai dengan rencana yang sudah ditetapkan. Berdasarkan penelitian ini, penyusunan *schedule* pekerjaan menggunakan *software microsoft project* dengan membagi tiap pekerjaan sesuai dengan *work breakdown structure* (WBS). Penentuan *predecessor* dan *successor* dilakukan dengan cara menginput setiap pekerjaan kedalam *microsoft project* yang berbentuk *gant chart* untuk mendapatkan lintasan kritis. Kegiatan yang diselesaikan sebelum kegiatan selanjutnya dimulai, disebut *predecessor*, sedangkan kegiatan yang dilakukan sesudah kegiatan yang berkaitan, disebut *successor*. Hubungan antara kegiatan dinyatakan dengan *finish to start* (FS), *start to finish* (SF), *start to start* (SS), dan *finish to finish* (FF).

3.2. Analisis *Network Diagram* dan Lintasan Kritis

Jaringan kerja berisikan urutan kegiatan dan juga lintasan yang digunakan untuk menggambarkan semua rangkaian pekerjaan yang ada dalam sebuah proyek, disebut *network diagram*. *Network diagram* dapat mengetahui nilai dari ES, EF, LS dan LF[9]. Jalur kritis dapat diidentifikasi dengan menggunakan *total float* pada setiap pekerjaan, jika *total float* lebih dari 0 (nol) hari, maka pekerjaan tersebut dapat mengalami penundaan tanpa berdampak pada pekerjaan lain dan jika *total float* adalah 0 hari, maka pekerjaan tersebut harus dipercepat.[3].

Lintasan kritis atau jalur kritis dalam penjadwalan aktivitas adalah serangkaian kegiatan dengan jumlah waktu pengerjaan paling lama dan durasi penyelesaian proyek paling cepat, lintasan kritis mencakup aktivitas-aktivitas kritis dari awal hingga akhir jalur tersebut[10]. Hasil perhitungan pada *network diagram* tersebut, diperoleh 23 pekerjaan pada lintasan kritis terdapat pada tabel 1.

Tabel 1. Pekerjaan pada Lintasan Kritis

ID	Nama Pekerjaan	ES	EF	LS	LF	TF
A1	Pembuatan <i>Mouldloft</i>	0	7	0	7	0
B1	<i>Block</i> 1 (Fr. 12 - 24)	7	357	7	357	0
B2	<i>Block</i> 2 (Fr. 24 - 41)	34	384	34	384	0
B3	<i>Block</i> 3 (Fr. 41 - Fwd)	57	407	57	407	0

B4	Deck House	64	364	64	364	0
B5	Wheel House	109	359	109	359	0
B6	Funnel (P/S)	159	189	159	189	0
B7	Skeg (P/S)	181	226	181	226	0
C1	Side Shell Plate	226	346	226	346	0
C2	Bottom Plate	238	358	238	358	0
C3	Deck Plate	253	378	253	378	0
C4	Deck House	260	370	260	370	0
C5	Wheel House	274	364	274	364	0
C6	Internal area	311	386	311	386	0
C7	Outfit Part	371	406	371	406	0
H1	Insulasi A0 Deck Akomodasi	399	414	400	415	0
H2	Ceiling Lining Wheel House	409	424	410	425	0
H3	Ceiling Lining Crew Cabin	412	427	413	428	0
H4	Ceiling Lining Galley	412	427	413	428	0
H5	Ceiling Lining Mess Room	412	427	413	428	0
H6	Ceiling Lining Gang Way	414	429	415	430	0
I1	Prepare	429	432	430	433	0
I2	Launching	432	433	433	434	0

Analisis menggunakan CPM akan diterapkan untuk mempercepat durasi pengerjaan proyek pada 23 pekerjaan yang berada pada lintasan kritis.

3.3. Perhitungan Produktivitas Harian

Produktivitas harian biasanya dihitung pada kegiatan kritis yaitu kegiatan yang memiliki risiko keterlambatan tinggi. Perhitungan ini bertujuan untuk membandingkan hasil produktivitas sebelum dan sesudah dilakukan percepatan. Produktivitas harian secara normal diukur dengan membagi volume pekerjaan dengan durasi normal untuk setiap tugas. Berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan produktivitas harian normal [11], yaitu:

$$PHN = \frac{VP}{DN} \quad (1)$$

Keterangan:

PHN = Produktivitas Harian Normal

VP = Volume Pekerjaan

DN = Durasi Normal

Berikut contoh perhitungan harian normal pada pekerjaan *block* 1 (Fr. 12-24) sebagai berikut:

VP = 34628,43 kg

DN = 350 hari

$$PHN = \frac{VP}{DN}$$

$$= \frac{34628,43}{350}$$

$$= 98,938 \text{ kg/hari}$$

Tabel 2. Produktivitas Harian Normal

ID	Durasi	Vol. Pekerjaan	PHN
A1	7	1 ls	0,14
B1	350	34628,43 kg	98,94
B2	350	36773,33 kg	105,07
B3	350	32485,83 kg	92,82
B4	300	15378,07kg	51,26
B5	250	15378,07 kg	61,51
B6	30	787,632 kg	26,25
B7	45	1399,622 kg	31,10
C1	120	763,23 m ²	6,36
C2	120	732,12 m ²	6,10
C3	125	399,45 m ²	3,20
C4	110	388,54 m ²	3,53
C5	90	387,72 m ²	4,31
C6	75	134,6 m ²	1,79
C7	35	121,33 m ²	3,47
H1	15	15 pcs	1
H2	15	12 pcs	0,8
H3	15	12 pcs	0,8
H4	15	6 pcs	0,4
H5	15	8 pcs	0,53
H6	414	25 pcs	415
I1	429	3 ls	430
I2	432	1 ls	433

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 2, diperoleh produktivitas normal setiap kegiatan yang terdapat pada lintasan kritis.

3.4 Alternatif Percepatan

Alternatif percepatan adalah metode yang digunakan untuk mempersingkat waktu penyelesaian proyek dengan meminimalisir keterlambatan pelaksanaan pekerjaan proyek. Mempersingkat durasi proyek dapat menggunakan dua alternatif, seperti penambahan waktu kerja (lembur) ataupun tenaga kerja.

3.4.1 Penambahan Waktu Kerja (Lembur)

Percepatan dilakukan pada pekerjaan yang terdapat di lintasan kritis berdasarkan variasi penambahan waktu kerja (lembur). Pelaksanaan proyek ini memiliki waktu kerja normal selama 8 jam per hari (08.00 - 16.00) dengan waktu istirahat satu jam (12.00 - 13.00). Penerapan waktu kerja (lembur) pada penelitian ini dilakukan selama 1 hingga 4 jam. Perhitungan produktivitas setelah penambahan waktu kerja (lembur) dapat dilakukan dengan menggabungkan produktivitas harian normal dan produktivitas jam lembur. Persamaan produktivitas setelah percepatan [12], yaitu:

$$PPWK = PHN + (PWN \times \text{Koeff.PP} \times \text{DWL}) \quad (2)$$

Keterangan:

PPWK = Produktivitas Penambahan Waktu Kerja

PHN = Produktivitas Harian Normal

PWN = Produktivitas Per Waktu Normal

Koeff. PP = Koefisien Pengurangan Produktivitas

DWL = Durasi Waktu Lembur

Berikut contoh perhitungan produktivitas setelah penambahan waktu kerja (lembur) pada pekerjaan *block 2* (fr. 24-41):

$$PHN = 105 \text{ kg/hari}$$

$$PWN = \frac{105}{8} = 13,13 \text{ kg/jam}$$

$$\text{Koe.PP} = 0,6$$

$$\text{DWL} = 4 \text{ jam}$$

$$\begin{aligned} PPWK &= PHN + (PWN \times \text{Koeff. PP} \times \text{DWL}) \\ &= 105 + (13,13 \times 0,6 \times 4) \\ &= 136,6 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Tabel 3. Perhitungan Produktivitas Setelah dilakukan Penambahan Waktu Kerja (Lembur) pada Lintasan Kritis

ID	PWN	PPWK 1	PPWK 2	PPWK 3	PPWK 4
A1	0,02	0,16	0,17	0,18	0,19
B1	12,37	110,07	118,73	124,91	128,62
B2	13,13	116,89	126,08	132,65	136,6
B3	11,60	103,26	111,38	117,18	120,66
B4	6,41	57,03	61,51	64,72	66,64
B5	7,69	68,43	73,81	77,66	79,97
B6	3,28	29,21	31,51	33,15	34,13
B7	3,89	34,60	37,32	39,27	40,43
C1	0,80	7,08	7,63	8,03	8,27
C2	0,76	6,79	7,32	7,70	7,93
C3	0,40	3,56	3,83	4,03	4,15
C4	0,44	3,93	4,24	4,46	4,59
C5	0,54	4,79	5,17	5,44	5,60
C6	0,22	2,00	2,15	2,27	2,33
C7	0,43	3,86	4,16	4,38	4,51
H1	0,13	1,11	1,20	1,26	1,30
H2	0,10	0,89	0,96	1,01	1,04
H3	0,10	0,89	0,96	1,01	1,04
H4	0,05	0,45	0,48	0,51	0,52
H5	0,07	0,59	0,64	0,67	0,69
H6	0,21	1,85	2,00	2,10	2,17
I1	0,13	1,11	1,20	1,26	1,30
I2	0,13	1,11	1,20	1,26	1,30

Keterangan:

PWN = Produktivitas Per Waktu Normal

PPWK 1 = Produktivitas Penambahan Waktu Kerja Selama 1 Jam

PPWK 2 = Produktivitas Penambahan Waktu

Kerja Selama 2 Jam

PPWK 3 = Produktivitas Penambahan Waktu Kerja Selama 3 Jam

PPWK 4 = Produktivitas Penambahan Waktu Kerja Selama 4 Jam

Penurunan produktivitas dapat disebabkan oleh penambahan waktu kerja, dimana penambahan 1 jam kerja mengalami penurunan produktivitas menjadi 90%, penambahan 2 jam kerja mengalami penurunan sebesar 80%, penambahan 3 jam kerja mengalami penurunan 70%, dan penambahan 4 jam kerja mengalami penurunan 60%. Perhitungan produktivitas dapat dilihat pada tabel 3, dan didapatkan bahwa produktivitas optimal setelah penambahan waktu kerja selama 4 jam terjadi pada pekerjaan *block 2* (fr 12-24) dengan hasil 136,6 kg/hari.

3.4.2 Penambahan Tenaga Kerja

Mempersingkat waktu pelaksanaan proyek dengan opsi penambahan tenaga kerja diharapkan dapat meningkatkan efisiensi penyelesaian proyek. Penelitian ini mengasumsikan penambahan tenaga kerja berdasarkan peningkatan produktivitas harian yang disebabkan oleh penambahan waktu kerja (lembur) selama 1 jam, 2 jam, 3 jam, dan 4 jam per hari. Persamaan untuk menghitung peningkatan produktivitas sesudah penambahan waktu kerja [12], sebagai berikut:

$$PPPWK = \frac{(PPWK - PHN)}{PHN} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan:

PPPWK = Peningkatan Produktivitas Setelah Penambahan Waktu Kerja

PPWK = Produktivitas Penambahan Waktu Kerja

PHN = Produktivitas Harian Normal

TKN = Tenaga Kerja Normal

TKP = Tenaga Kerja Percepatan

Berikut contoh perhitungan peningkatan produktivitas sesudah penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam pada pekerjaan *block 2* (fr 12 -24):

$$PHN = 105 \text{ kg/hari}$$

$$PPWK = 136,6 \text{ kg/hari}$$

$$PPPWK = \frac{(PPWK - PHN)}{PHN} \times 100\%$$

$$= \frac{(136,6 - 105)}{105} \times 100\%$$

$$= 30\%$$

TKN = 45 orang

Penambahan tenaga kerja percepatan[12], dapat dijabarkan dengan persamaan berikut:

$$TKP = PPPWK \times TKN \text{ (orang)} \quad (4)$$

Berikut contoh perhitungan penambahan tenaga kerja percepatan setelah peningkatan produktivitas penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam per hari pada pekerjaan *block 2* (fr 12 -24):

$$\begin{aligned} TKP &= 30\% \times TKN \\ &= 30\% \times 45 \\ &= 59 \text{ orang} \end{aligned}$$

Tabel 4. Penambahan Tenaga Kerja Dengan Peningkatan Produktivitas Harian Normal, Penambahan Waktu Kerja, dan Tenaga Kerja Percepatan pada Lintasan Kritis

ID	TKN	TKP 11%	TKP 20%	TKP 26%	TKP 30%
A1	2	2	2	3	3
B1	45	50	54	57	59
B2	45	50	54	57	59
B3	45	50	54	57	59
B4	35	39	42	44	46
B5	35	39	42	44	46
B6	20	22	24	25	26
B7	15	17	18	19	20
C1	12	13	14	15	16
C2	8	9	10	10	10
C3	12	13	14	15	16
C4	11	12	13	14	14
C5	10	11	12	13	13
C6	10	11	12	13	13
C7	10	11	12	13	13
H1	10	11	12	13	13
H2	10	11	12	13	13
H3	8	9	10	10	10
H4	4	4	5	5	5
H5	6	7	7	8	8
H6	10	11	12	13	13
I1	8	9	10	10	10
I2	12	13	14	15	16

Keterangan:

TKN = Tenaga Kerja Normal
 TKP 11% = Tenaga Kerja Percepatan Persentase 11%
 TKP 20% = Tenaga Kerja Percepatan Persentase 20%
 TKP 26% = Tenaga Kerja Percepatan Persentase 26%
 TKP 30% = Tenaga Kerja Percepatan Persentase 30%

Berdasarkan tabel 4, perhitungan jumlah tenaga kerja percepatan dengan peningkatan produktivitas waktu kerja sebesar 11% yaitu sebanyak 43 orang, peningkatan produktivitas waktu kerja sebesar 20% yaitu sebanyak 77 orang, peningkatan produktivitas waktu kerja sebesar 26% yaitu sebanyak 101 orang, serta peningkatan produktivitas tenaga kerja sebesar 30% sebanyak 115 orang.

Produktivitas setelah penambahan tenaga kerja[12], dijabarkan berdasarkan persamaan berikut:

$$PPTK = PHN + \frac{(PHN \times TKP)}{TKN} \quad (5)$$

Keterangan:

PHN : Produktivitas Harian Normal
 TKN : Tenaga Kerja Normal (Orang)
 TKP : Tenaga Kerja Percepatan (Orang)
 PPTK : Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja

Berikut contoh perhitungan penambahan tenaga kerja percepatan setelah dilakukan peningkatan produktivitas penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam per hari pada pekerjaan *block 2* (fr 12 -24):

$$\begin{aligned} PHN &= 105 \text{ kg/hari} \\ TKN &= 45 \text{ orang} \\ TKP &= 59 \text{ orang} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PPTK &= PHN + \frac{(PHN \times TKP)}{TKN} \\ &= 105 + \frac{(105 \times 59)}{45} \\ &= 136,6 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Tabel 5. Perhitungan Produktivitas Sesudah Penambahan Tenaga Kerja pada Lintasan Kritis

ID	PHN	PPTK 11%	PPTK 20%	PPTK 26%	PPTK 30%
A1	0,02	0,16	0,17	0,18	0,19
B1	12,37	110,07	118,73	124,91	128,62
B2	13,13	116,89	126,08	132,65	136,6
B3	11,60	103,26	111,38	117,18	120,66
B4	6,41	57,03	61,51	64,72	66,64
B5	7,69	68,43	73,81	77,66	79,97
B6	3,28	29,21	31,51	33,15	34,13
B7	3,89	34,60	37,32	39,27	40,43
C1	0,80	7,08	7,63	8,03	8,27
C2	0,76	6,79	7,32	7,70	7,93
C3	0,40	3,56	3,83	4,03	4,15
C4	0,44	3,93	4,24	4,46	4,59
C5	0,54	4,79	5,17	5,44	5,60
C6	0,22	2,00	2,15	2,27	2,33
C7	0,43	3,86	4,16	4,38	4,51

H1	0,13	1,11	1,20	1,26	1,30
H2	0,10	0,89	0,96	1,01	1,04
H3	0,10	0,89	0,96	1,01	1,04
H4	0,05	0,45	0,48	0,51	0,52
H5	0,07	0,59	0,64	0,67	0,69
H6	0,21	1,85	2,00	2,10	2,17
I1	0,13	1,11	1,20	1,26	1,30
I2	0,13	1,11	1,20	1,26	1,30

$$= \frac{134,6}{2,33}$$

$$= 58 \text{ hari}$$

Tabel 6. Perhitungan *Crash Duration* Variasi Penambahan Waktu Kerja Pada Lintasan Kritis

ID	Vol. Pekerjaan	CD 1	CD 2	CD 3	CD 4
A1	1	6	6	6	5
B1	34628,43	315	292	277	269
B2	36773,33	315	292	277	269
B3	32485,83	315	292	277	269
B4	15378,07	270	250	238	231
B5	15378,07	225	208	198	192
B6	787,63	27	25	24	23
B7	1399,62	40	38	36	35
C1	763,23	108	100	95	92
C2	732,12	108	100	95	92
C3	399,45	112	104	99	96
C4	388,54	99	92	87	85
C5	387,72	81	75	71	69
C6	134,6	67	63	59	58
C7	121,33	31	29	28	27
H1	15	13	13	12	12
H2	12	13	13	12	12
H3	12	13	13	12	12
H4	6	13	13	12	12
H5	8	13	13	12	12
H6	25	13	13	12	12
I1	3	3	3	2	2
I2	1	1	1	1	1

Keterangan:

- PHN = Produktivitas Harian Normal
- PPTK 11% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 11%
- PPTK 20% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 20%
- PPTK 26% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 26%
- PPTK 30% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 30%

Besar nilai produktivitas sesudah penambahan tenaga kerja pada setiap pekerjaan untuk lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 5. Perhitungan produktivitas optimal setelah penambahan tenaga kerja sebesar 30%, yaitu pada pekerjaan *block 2* (fr 12-24) dengan hasil 136,6 kg/hari.

3.5 Crash Duration

Waktu pengerjaan yang telah dipersingkat dari durasi normal proyek disebut, *crash duration*. Tahap selanjutnya, percepatan dilakukan pada pekerjaan di jalur kritis dengan meningkatkan produktivitas yang didapatkan dari variasi percepatan. Perhitungan *crash duration* diterapkan pada setiap pekerjaan yang berada dalam jalur kritis. Persamaan untuk menghitung besarnya nilai *crash duration*[13], sebagai berikut:

$$CD = \frac{VP}{PP} \quad (6)$$

Keterangan:

- CD = *Crash Duration*
- VP = Volume Pekerjaan
- PP = Produktivitas Percepatan

3.5.1 Crash Duration Setelah Penambahan Waktu Kerja (Lembur)

Berikut contoh perhitungan *crash duration* pada salah satu pekerjaan pada bagian *blasting & painting*, yaitu pada pekerjaan *internal area*:

Keterangan:

$$VP = 134,6 \text{ m}^2$$

$$PPWK = 2,33 \text{ m}^2/\text{hari}$$

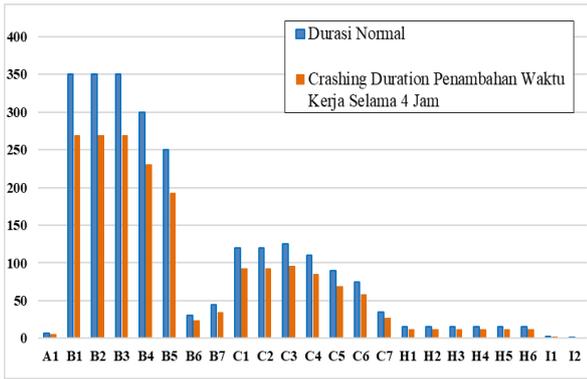
$$CD = \frac{VP}{PP}$$

Keterangan:

- CD 1 = *Crash Duration* Lembur 1 Jam
- CD 2 = *Crash Duration* Lembur 2 Jam
- CD 3 = *Crash Duration* Lembur 3 Jam
- CD 4 = *Crash Duration* Lembur 4 Jam

Berdasarkan perhitungan, variasi penambahan waktu kerja pada 23 lintasan kritis dengan jumlah waktu normal selama 434 hari. Durasi percepatan dengan penambahan waktu kerja selama 1 jam per hari adalah 410 hari atau 6% lebih cepat dari durasi normal. Penambahan selama 2 jam per hari menghasilkan durasi 400 hari atau 10% lebih cepat dari durasi normal. Penambahan selama 3 jam per hari memberikan durasi 389 hari atau 12% lebih cepat dari durasi normal dan penambahan selama 4 jam per hari menghasilkan 385 atau 13% lebih cepat dari durasi normal.

Hasil perhitungan percepatan durasi menunjukkan bahwa durasi paling optimal terjadi pada penambahan waktu kerja selama 4 jam dengan mempersingkat waktu hingga 49 hari kerja atau 13% lebih cepat. Berikut gambar 1 mengenai grafik hasil perhitungan *crash duration* dari variasi penambahan waktu kerja pada aktivitas yang berada pada jalur kritis.



Gambar 1. Grafik Perbandingan Durasi Normal dan Durasi Optimal Setelah Penambahan Waktu Kerja

3.5.2 Crash Duration Setelah Penambahan Tenaga Kerja

Berikut contoh perhitungan *crash duration* pada pekerjaan *outfit part*:

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 VP &= 121,3 \text{ m}^2 \\
 PPTK &= 4,51 \text{ m}^2/\text{hari} \\
 CD &= \frac{VP}{PP} \\
 &= \frac{121,3}{4,51} \\
 &= 27 \text{ hari}
 \end{aligned}$$

Tabel 7. Perhitungan *Crash Duration* Alternatif Penambahan Tenaga Kerja pada Lintasan Kritis

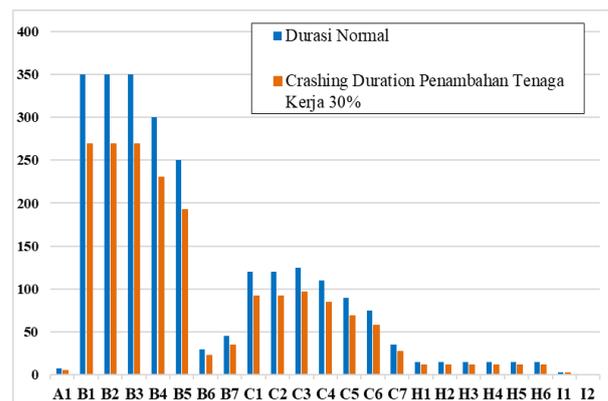
ID	Vol. Pekerjaan	CD 11%	CD 20%	CD 26%	CD 30%
A1	1	6	6	6	5
B1	34628,43	315	292	277	269
B2	36773,33	315	292	277	269
B3	32485,83	315	292	277	269
B4	15378,07	270	250	238	231
B5	15378,07	225	208	198	192
B6	787,63	27	25	24	23
B7	1399,62	40	38	36	35
C1	763,23	108	100	95	92
C2	732,12	108	100	95	92
C3	399,45	112	104	99	96
C4	388,54	99	92	87	85
C5	387,72	81	75	71	69
C6	134,6	67	63	59	58
C7	121,33	31	29	28	27
H1	15	13	13	12	12
H2	12	13	13	12	12
H3	12	13	13	12	12
H4	6	13	13	12	12
H5	8	13	13	12	12
H6	25	13	13	12	12
I1	3	3	3	2	2

Keterangan:

- CD 11% = *Crash Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 11%
- CD 20% = *Crash Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 20%
- CD 26% = *Crash Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 26%
- CD 30% = *Crash Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 30%

Berdasarkan perhitungan, durasi percepatan alternatif penambahan tenaga kerja dengan jumlah waktu normal selama 434 hari. Diketahui durasi percepatan dengan persentase penambahan 11% dari tenaga kerja awal adalah selama 410 hari atau 6% lebih cepat dari durasi normal. Persentase penambahan 20% dari tenaga kerja awal menghasilkan durasi 400 hari atau 10% lebih cepat dari durasi normal. Persentase penambahan 26% dari tenaga kerja awal memberikan durasi 389 hari atau 12% lebih cepat dari durasi normal dan persentase penambahan 30% dari tenaga kerja awal menghasilkan durasi 385 hari atau 13% lebih cepat dari durasi normal.

Hasil perhitungan percepatan durasi didapatkan, durasi paling optimal ada pada persentase penambahan tenaga kerja sebanyak 30%, yang mengakibatkan penurunan durasi hingga 49 hari atau 13% lebih cepat. Berikut gambar 2 mengenai grafik hasil perhitungan *crash duration* dari variasi penambahan tenaga kerja pada aktivitas yang berada pada jalur kritis.



Gambar 2. Grafik Perbandingan Durasi Normal dan Durasi Optimal Setelah Penambahan Tenaga Kerja

3.6 Analisis Kondisi Peralatan dan Fasilitas Galangan

Fasilitas galangan adalah kompleks industri yang didesain secara khusus untuk menunjang

berbagai tahapan dalam pembangunan, perbaikan, dan pemeliharaan kapal laut. Galangan menyediakan infrastruktur yang sangat penting, seperti gedung kerja, peralatan, *graving dock*, dan *floating dock*. Gedung kerja juga mencakup peralatan pengelasan, pemotongan logam, dan area pemasangan peralatan. Alat berat seperti *crane*, *forklift*, *excavator*, *bulldozer*, dan sebagainya, dapat mendukung angkat bahan-bahan berat dan pergerakan bagian kapal saat bersandar[14]. Pemilihan fasilitas yang efisien dan peralatan yang sesuai dapat menciptakan lingkungan kerja yang mendukung, memungkinkan pekerja untuk bekerja secara lebih efektif dan efisien. Fasilitas yang baik dan peralatan yang modern dapat mengurangi beban kerja, mempercepat proses produksi, dan meningkatkan tingkat keamanan.

Berdasarkan penelitian ini, analisis kondisi galangan dilakukan untuk mengetahui ketersediaan fasilitas ketika akan menghitung percepatan dengan penambahan tenaga kerja atau *manpower*. Analisis ini dilakukan pada penambahan tenaga kerja yang paling optimal yaitu pada persentase 30% dengan penambahan tenaga kerja sebanyak 115 pekerja. Tujuannya untuk mempertimbangkan ketersediaan peralatan dan fasilitas galangan setelah penambahan tenaga kerja. Proyek pembangunan kapal *tugboat* pada pekerjaan *hull construction* di bagian *funnel* terdapat 20 pekerja yang terbagi kedalam 2 grup, dimana dalam 1 grup berisi 10 orang kontraktor yang terbagi kedalam masing-masing pekerjaan, dalam 1 grup terdiri dari 4 *welder*, 4 *cutter* dan 2 *helper*. Satu grup menggunakan 2 trafo las SMAW (*welder*) dan 4 *brander (cutter)* serta kedua *helper* membantu pekerjaan *welder* dan *cutter*. Ketersediaan peralatan dan fasilitas di galangan sudah mencukupi untuk mendukung proyek pembangunan kapal.

3.7 Hasil Analisis

Hasil analisis menggunakan CPM untuk memperoleh percepatan durasi yang optimal berdasarkan variasi penambahan tenaga kerja dan waktu kerja (lembur) pada proyek pembangunan kapal *tugboat* di 23 jalur kritis. Durasi percepatan pada aktivitas di lintasan kritis, dengan penambahan waktu kerja (lembur) selama 1 jam setara dengan persentase penambahan tenaga kerja

11%, dan menghasilkan penambahan 43 orang dari tenaga kerja awal, dan menjadi 410 hari dari durasi awal 434 hari atau sebesar 6% dari durasi normal. Durasi percepatan pada aktivitas di lintasan kritis, dengan penambahan waktu kerja (lembur) selama 2 jam setara dengan persentase penambahan tenaga kerja 20% mendapatkan 77 orang dari tenaga kerja awal, dan menjadi 400 hari dari durasi awal 434 hari atau sebesar 10% dari durasi normal. Durasi percepatan pada aktivitas di lintasan kritis, dengan penambahan waktu kerja (lembur) selama 3 jam setara dengan persentase penambahan tenaga kerja 26% mendapatkan 101 orang dari tenaga kerja awal, dan menjadi 389 hari dari durasi awal 434 hari atau sebesar 12% dari durasi normal. Durasi percepatan pada aktivitas di lintasan kritis, dengan penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam setara dengan persentase penambahan tenaga kerja 30% mendapatkan 115 orang dari tenaga kerja awal, dan menjadi 385 hari dari durasi awal 434 hari atau sebesar 13% dari durasi normal dengan produktivitas optimal mencapai 136,6 kg/hari pada pekerjaan *hull construction* di bagian *block 2* (fr.24-41).

Besarnya hasil percepatan atau pengurangan durasi dari penambahan tenaga kerja sebanyak 30% dan waktu kerja selama 4 jam pada penelitian yang dilaksanakan pada Reparasi kapal KMP Royal Nusantara mendapatkan durasi yang sama, yaitu 22 hari dari yang sebelumnya 25 hari kerja atau sebesar 83,33%[15]. Hasil percepatan atau pengurangan durasi proyek pembangunan dengan metode CPM dapat menyelesaikan proyek dalam waktu 131 hari, sedangkan PERT membutuhkan waktu 136 hari dari durasi awal yaitu 173 hari. Penerapan metode CPM dapat mempersingkat waktu menjadi 42 hari[16].

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang dilakukan pada penelitian proyek pembangunan kapal *tugboat* 156,67 DWT menggunakan *critical path method* (CPM) didapatkan 23 pekerjaan pada lintasan kritis, dengan alternatif paling efektif yang dapat digunakan pada percepatan proyek pembangunan kapal *tugboat* yaitu penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam dan persentase penambahan tenaga kerja 30%, didapatkan 115 orang dari tenaga kerja awal. Kedua alternatif ini menghasilkan durasi dibawah durasi normal, yaitu

385 hari dari durasi awal 434 hari atau 13% lebih cepat dari durasi normal dengan produktivitas optimal sebesar 136,6 kg/hari. Peralatan dan fasilitas galangan sudah mencukupi untuk mendukung percepatan proyek setelah penambahan tenaga kerja.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penyusun mengungkapkan rasa terima kasih kepada dosen pembimbing I dan dosen pembimbing II atas bimbingan, arahan, dan masukan yang telah diberikan selama proses penyusunan jurnal ini, serta salah satu galangan di daerah Banten yang telah memberikan data untuk pengerjaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. Maruf, *Standarisasi Tipe dan Ukuran Kapal untuk Daya Saing Berkesinambungan bagi Industri Kapal Nasional*. 2014.
- [2] M. T. Abrar Husen, "Manajemen Proyek Edisi Revisi," *Yogyakarta, CV. Andi Offset*, 2009.
- [3] Sugiyanto, *Manajemen Proyek Rantai Kritis*. 2021.
- [4] Zakia and D. Febrianti, "The Critical Path Method in Construction Project Rescheduling," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 832, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1755-1315/832/1/012009.
- [5] S. Razdan, M. Piral, A. Hanchate, N. R. Rajhans, and V. Sardar, "Application of Critical Path Method for Project Scheduling – A Case Study Application of Critical Path Method for Project Scheduling – A Case Study changing trends in Project Scheduling .," *Int. Conf. Manuf. Excell.*, no. March, 2017.
- [6] Andriyan, R. M. Putra, G. D. Rembulan, and H. Tannady, "Construction Project Evaluation Using CPM-Crashing, CPM-PERT and CCPM for Minimize Project Delays," *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1933, no. 1, 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1933/1/012096.
- [7] M. F. Fakhrija, I. P. Mulyatno, and A. F. Zakki, "Studi Penjadwalan Ulang Pekerjaan Reparasi Pada Kapal MT. Asumi XXVI Dengan Network Planning Dan Critical Path Method," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 8, no. 3, pp. 435–442, 2020.
- [8] Antonius Fran Setiawan, "Ebook MS. Project," pp. 1–85, 2008.
- [9] I. Soeharto, "Manajemen Proyek jilid I dan II Erlangga." Jakarta, 1999.
- [10] T. H. Ali, *Prinsip-prinsip Network Planning*. Gramedia Pustaka Utama, 1992.
- [11] A. Husen, "Ir. Abrar Husen, MT," vol. edisi rev, p. 253, 2011.
- [12] D. Fardila and N. R. Adawyah, "Optimasi Biaya dan Waktu Proyek Konstruksi dengan Lembur dan Penambahan Tenaga Kerja," *INERSIA Informatika dan Ekspose Has. Ris. Tek. Sipil dan Arsit.*, vol. 17, no. 1, pp. 35–46, 2021, doi: 10.21831/inersia.v17i1.39499.
- [13] A. Fika Giri, W. Hartono, and Sugiyarto, "Analisis Percepatan Proyek Menggunakan Metode Crashing Dengan Penambahan Tenaga Kerja Dan Shift Kerja (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Hotel Grand Keisha, Yogyakarta)," *e-Jurnal MATRIKS Tek. SIPIL*, vol. 5, no. 2, pp. 605–614, 2017.
- [14] Alimsanre's, "Fasilitas Galangan," 2010.
- [15] A. C. Armela, W. Amiruddin, and E. S. Hadi, "Implementasi Project Evaluation and Review Technique (PERT) pada Penjadwalan Reparasi Kapal KMP Royal Nusantara," *J. Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 2, p. 68, 2022, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/aval>
- [16] M. Kholil, B. Nurul Alfa, and M. Hariadi, "Scheduling of House Development Projects with CPM and PERT Method for Time Efficiency (Case Study: House Type 36)," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 140, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/140/1/012010.