

Analisis Optimasi Waktu dan Biaya *Crashing Project* Dengan Metode *Critical Path* dan *Time Cost Trade Off* Pada Proyek Pembangunan Galangan Kapal

(Studi Kasus PT. Batam Expresindo Shipyard)

Risyatiara Prasyawidandi¹, Renanda Nia Rachmadita², Dian Asa Utari³

Teknik Desain dan Manufaktur, Teknik Permesinan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia^{1,3}
Manajemen Bisnis, Teknik Bangunan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, Indonesia²
Email: risyatiarap@gmail.com¹

Abstract – The shipbuilding industry is a fabrication industry in the ship sector that involves the use of materials and manufacturing processes. When a shipbuilding project is finished later than expected, the shipyard is required under the contract agreement to pay a penalty. PT Batam Expresindo Shipyard must pay a penalty equal to 1 mill of the contract value every day because the implementation is delayed, as was the case with the 17M Aluminum Fisheries Supervisory Shipbuilding project. One solution that can be done is by crashing the project on the work that is on the critical path. This research uses Critical Path Method (CPM) and Time Cost Trade Off method. The results of the analysis found that the optimal time and cost with an alternative addition of labor and additional working hours of 5 hours from normal working hours with a productivity of 80%. The resulting crashing project duration is 30 days faster than the actual duration, from a total project duration of 222 days to 192 days with an additional crashing project cost of Rp. 76. 719,846.

Keywords: Critical Path Method, Network Planning, Primavera, Scheduling, Time Cost Trade Off

1. PENDAHULUAN

Dalam pembangunan kapal, keterlambatan penyelesaian proyek pembangunan kapal berarti pihak galangan kapal harus membayar denda (penalty) keterlambatan sesuai dengan yang tertera pada perjanjian kontrak dengan pemilik kapal (owner) yang jumlahnya tidak sedikit. Seperti dalam kasus proyek pembuatan Kapal Pengawas Perikanan Aluminium 17M ini, pelaksanaannya mengalami keterlambatan. Penjadwalan proyek yang direncanakan antar galangan dan owner tertera pada kontrak proyek dimulai pada 2 Juli 2021 dan selesai pada tanggal 31 Desember 2021, tetapi pada kenyataannya proyek mengalami keterlambatan hingga mencapai 36 hari.

Berdasarkan perjanjian yang tertera pada kontrak antara pihak galangan kapal dengan pemilik kapal (Dinas Perikanan dan Kelautan Sumatera Utara), apabila dalam pembangunan proyek kapal mengalami keterlambatan dalam penyelesaian pekerjaan, maka pihak galangan harus membayar denda sebesar 1‰ (satu permil) dari nilai kontrak per satu hari keterlambatan. Nilai kontrak dari proyek pembangunan kapal Pengawas Perikanan dan Kelautan Aluminium 17M sebesar Rp 8.406.775.000,-. Hal itu berarti galangan harus membayarkan denda jika terjadi keterlambatan sebesar Rp 8.406.775,- per hari.

PT. Batam Expresindo Shipyard merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang pembangunan kapal. Keterlambatan proyek merupakan hal yang cukup sering terjadi pada perusahaan. Permasalahan keterlambatan yang sering terjadi sebelumnya disebabkan ketidaksesuaian antara target waktu dan realisasi

penyelesaian di lapangan. Disamping perusahaan mengalami kerugian akibat denda (penalty) yang harus dibayarkan, hal tersebut berdampak pada cost produksi yang dikeluarkan untuk proyek semakin membengkak. Besarnya biaya tersebut berimbas pada keuntungan yang didapatkan perusahaan semakin kecil atau bahkan mengalami kerugian. Keterlambatan akan mengakibatkan menurunnya kepercayaan pemilik kapal untuk bekerjasama kembali dengan galangan kapal di kemudian hari, khususnya jika pemilik kapal tersebut adalah instansi pemerintahan.

Salah satu solusi dari permasalahan tersebut yang dapat dilakukan adalah dengan melakukan crashing project untuk menyesuaikan rencana pelaksanaan proyek pada awal perencanaan dengan kondisi aktual. Dalam melakukan crashing project ada beberapa alternatif yang bisa dilakukan, diantaranya dengan cara menambah jumlah jam kerja, menambah jumlah tenaga kerja, atau menambah alat kontruksi. Hal tersebut berarti dalam pelaksanaan crashing project akan meningkatkan total biaya pelaksanaan proyek. Dengan metode yang tepat diharapkan mampu meminimalkan peningkatan biaya tersebut. Penelitian ini bertujuan memberikan hasil analisis crashing project dalam mempercepat rencana pelaksanaan proyek dengan cara mengurangi durasi pelaksanaan proyek agar tidak terjadi keterlambatan tetapi dengan total biaya yang seminimum mungkin.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan dalam penjadwalan proyek kontruksi, diantaranya Critical Path Method (CPM), Precedence Diagram Method (PDM) dan Project Evaluation and Review

Technique (PERT). Jika dibandingkan dengan PDM, CPM lebih cocok digunakan pada proyek yang lebih kompleks seperti proyek pembangunan Kapal Pengawas Perikanan Aluminium ini. Sedangkan PDM lebih cocok digunakan pada proyek dengan kegiatan yang tumpang tindih (overlapping) (Soeharto, 1999). Metode PERT melakukan penyusunan jadwal dan anggaran diawal sehingga metode ini banyak digunakan pada proyek-proyek riset dan penelitian dimana proyek tersebut belum pernah dilakukan dan tidak mempunyai data penyelesaian yang pasti. CPM digunakan untuk melakukan penjadwalan dan pengendalian aktivitas yang sudah pernah dikerjakan sebelumnya sehingga waktu, data, serta biaya setiap unsur kegiatan telah diketahui lebih dulu oleh evaluator. Bila PERT berfokus pada pertemuan atau meminimalkan durasi proyek diawal, CPM menekankan fokus pada ketepatan biaya proyek rencana dengan realisasi (Abdurrasyid, dkk., 2019)

Metode Critical Path Method (CPM) dipilih pada penelitian ini karna mampu mengidentifikasi jalur kritis pada sekumpulan aktivitas yang telah ditentukan ketergantungan antar aktivitasnya sehingga dapat dilakukan pencegahan keterlambatan proyek. Sedangkan metode pertukaran waktu dan biaya (time cost trade off) merupakan suatu metode yang bisa dipakai dalam kasus ini untuk mempercepat waktu pelaksanaan proyek dengan menganalisis pengaruh waktu yang dapat dipersingkat dengan penambahan biaya terhadap kegiatan yang dapat dipercepat kurun waktu pelaksanaannya sehingga dapat diketahui percepatan yang paling maksimum dan biaya yang paling minimum. Metode ini memberikan solusi alternatif kepada perencana proyek untuk menyusun perencanaan yang terbaik sehingga dapat mengoptimalkan waktu dan biaya dalam penyelesaian proyek.

Proyek pembangunan Kapal Pengawas Perikanan Aluminium milik Dinas Kelautan dan Perikanan Sumatera Utara di salah satu galangan kapal, di Batam, Kepulauan Riau ini dipilih sebagai objek penelitian dikarenakan proyek tersebut dituntut oleh pemilik kapal untuk tidak mengalami keterlambatan. Maka percepatan dilakukan pada pekerjaan ini agar tidak mengalami keterlambatan dan dapat diterima dengan pemilik kapal tepat waktu.

2. METODOLOGI .

Critical Path Method

Critical Path Method adalah suatu metode perencanaan dan pengendalian proyek-proyek yang merupakan sistem yang paling banyak digunakan diantara semua sistem yang memakai prinsip pembentukan jaringan. Dengan Critical Path Method, jumlah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan berbagai tahap suatu proyek

dianggap diketahui dengan pasti, demikian pula hubungan antara sumber yang digunakan dan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan proyek. Jadi Critical Path Method merupakan fasilitas analisa jaringan kerja yang berusaha mengoptimalkan biaya total proyek melalui pengurangan waktu penyelesaian total proyek yang bersangkutan.

Penjelasan/Terminologi dan perhitungan dalam Critical Path Method adalah:

TE/E = Waktu paling awal peristiwa (node/event) dapat terjadi (Earliest Time of Occurance)

TL/L = Waktu paling akhir peristiwa boleh terjadi (Latest Allowable Event/Occurance Time)

ES = Waktu mulai paling awal suatu kegiatan (Earliest Start Time)

EF = Waktu selesai paling awal suatu kegiatan (Earliest Finish Time)

LS = Waktu paling akhir kegiatan boleh dimulai (Latest Allowable Start Time)

LF = Waktu paling akhir kegiatan boleh selesai (Latest Allowable Finish Time)

D = Adalah kurun waktu suatu kegiatan.

Beberapa perhitungan yang harus diperhatikan dalam mengidentifikasi jalur kritis adalah sebagai berikut:

a. Perhitungan Maju (Forward Computation)

Dalam mengidentifikasi jalur kritis dipakai suatu cara yang disebut hitungan maju dengan aturan-aturan yang berlaku sebagai berikut.

- Kecuali kegiatan awal, maka suatu kegiatan baru dapat dimulai bila kegiatan yang mendahuluinya (predecessor) telah selesai.
- Waktu paling awal suatu kegiatan adalah = 0
- Waktu selesai paling awal suatu kegiatan adalah sama dengan waktu mulai paling awal, ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan.

$$EF = ES + D \text{ atau} \quad (2.1)$$

$$EF(i-j) = ES(i-j) + D(i-j) \quad (2.2)$$

- Bila suatu kegiatan memiliki dua atau lebih kegiatan pendahulunya, maka ES-nya adalah EF terbesar dari kegiatan-kegiatan tersebut.

b. Perhitungan Mundur (Backward Computation)

Perhitungan mundur dimaksudkan untuk mengetahui waktu atau tanggal paling akhir kita masih dapat memulai dan mengakhiri kegiatan tanpa menunda kurun waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan, yang telah dihasilkan dari

perhitungan maju (Widiasanti & Lenggogeni, 2013). Aturan yang berlaku dalam perhitungan mundur adalah sebagai berikut:

- Hitungan mundur dimulai dari ujung kanan, yaitu dari hari terakhir penyelesaian proyek suatu jaringan kerja.

- Waktu mulai paling akhir suatu kegiatan adalah sama dengan waktu selesai paling akhir, dikurangi kurun waktu/durasi kegiatan yang bersangkutan, atau $LS = LF - D$

$$(2.3)$$

- Bila suatu kegiatan memiliki dua atau lebih kegiatan berikutnya, maka waktu paling akhir (LF) kegiatan tersebut adalah sama dengan waktu mulai paling akhir (LS) kegiatan berikutnya yang terkecil.

Sifat atau syarat umum jalur kritis adalah:

1. Pada kegiatan pertama $ES = LS = 0$ atau $E(1) = L(1) = 0$.
2. Pada kegiatan terakhir atau terminal: $LF = EF$
3. Float total $TF = 0$
- c. Float/Slack

Float/Slack adalah sejumlah waktu yang tersedia dalam suatu kegiatan sehingga kegiatan tersebut dapat ditunda atau diperlambat dengan sengaja atau tidak, tanpa menyebabkan keterlambatan penyelesaian proyek.

- d. Lag,

Menurut Husen (2010) adalah sejumlah waktu tunggu dari suatu periode kegiatan J terhadap kegiatan I yang telah dimulai, terjadi pada hubungan SS dan SF.

- e. Lead

Menurut Husen (2010) adalah sejumlah waktu yang mendahului dari suatu periode kegiatan J sesudah kegiatan I sebelum selesai, terjadi pada hubungan FS dan FF.

Time Cost Trade Off

Time cost trade off analysis merupakan kompresi jadwal untuk mendapatkan proyek yang lebih menguntungkan dari segi waktu (durasi), biaya, dan pendapatan. Tujuannya adalah memampatkan proyek dengan durasi yang dapat diterima dan meminimalisasi biaya total proyek. Pengurangan durasi proyek dilakukan dengan memilih aktivitas tertentu.

Menurut Soeharto (1999), langkah-langkah mempersingkat waktu diuraikan sebagai berikut:

1. Menghitung waktu penyelesaian proyek dan mengidentifikasi float dengan kurun waktu normal.
2. Menentukan biaya normal masing-masing kegiatan
3. Menentukan biaya dipercepat masing-masing kegiatan
4. Menghitung cost slope masing-masing komponen kegiatan
5. Mempersingkat kurun waktu kegiatan, dimulai dari kegiatan kritis yang mempunyai cost slope terendah.
6. Setiap kali selesai mempercepat kegiatan, teliti kemungkinan adanya float yang mungkin dapat dipakai untuk mengulur waktu kegiatan yang bersangkutan untuk memperkecil biaya.
7. Bila dalam proses mempercepat waktu proyek terbentuk jalur kritis baru, maka percepat kegiatan-kegiatan kritis yang mempunyai kombinasi slope biaya terendah.
8. Meneruskan mempersingkat waktu kegiatan sampai titik proyek dipersingkat.

9. Membuat tabulasi biaya versus waktu, gambarkan dalam grafik dan hubungkan titik normal (biaya dan waktu normal), titik yang terbentuk setiap kali mempersingkat kegiatan sampai dengan Titik Proyek Dipercepat (TPD).
10. Hitung biaya tidak langsung proyek dan gambarkan pada grafik di atas.
11. Jumlahkan biaya langsung dan biaya tak langsung untuk mencari biaya total sebelum kurun waktu yang diinginkan.
12. Periksa pada grafik biaya total untuk mencapai waktu optimal yaitu kurun waktu penyelesaian proyek dengan biaya terendah.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kapal Pengawas Perikanan dan Kelautan Aluminium adalah kapal milik Dinas Perikanan dan Kelautan Provinsi Sumatera Utara. Proses pengerjaan proyek ini dilakukan di salah satu galangan yang ada di Batam, Kepulauan Riau tepatnya di PT. Batam Expresindo Shipyard. Berdasarkan kesepakatan kontrak antara pihak galangan kapal dengan Dinas Perikanan dan Kelautan Provinsi Sumatera Utara, proyek ini dimulai pada tanggal 1 Juli 2021 dan direncanakan launching pada tanggal 31 Desember 2021. Jangka waktu penyelesaian proyek ini adalah 6 bulan tepatnya 183 hari.

Selama proses pelaksanaan proyek ini terjadi beberapa hambatan yang akhirnya membuat proyek menjadi terlambat dari jadwal yang telah direncanakan dalam kontrak. Berdasarkan laporan pencapaian progres fisik per Desember 2021, proyek seharusnya telah mencapai 100% sesuai jadwal rencana. Akan tetapi, secara aktual pekerjaan yang telah dilakukan hingga bulan Desember 2021 adalah 90.408%. Proyek pembangunan kapal pengawas dan perikanan aluminium mengalami keterlambatan 46 hari dari jadwal yang telah disepakati. Keterlambatan penyelesaian proyek berarti pihak galangan harus membayar denda (penalty) keterlambatan sebesar 1 per mill dari harga proyek kapal yang tertera pada kontrak. Keterlambatan juga mengakibatkan membengkaknya biaya produksi yang dikeluarkan untuk proyek. Selain itu, keterlambatan mengakibatkan kurangnya kepercayaan konsumen.

Adapun gambaran umum dari proyek pembangunan Kapal Pengawas Kelautan dan Perikanan Aluminium 17M adalah sebagai berikut:

Tabel 1: Ukuran utama kapal pengawas perikanan dan kelautan 17M

Panjang Seluruhnya (LOA)	17,11 meter
Panjang Garis Air (LWL)	15,92 meter
Lebar (B)	4,00 meter
Tinggi (H)	1,75 meter
Sarat (T)	0,70 meter
Kecepatan Maksimal (Vt)	22,00 Knots
ABK	7 orang

Jam Kerja

1. Jam kerja biasa
 - a. Karyawan dan staff
 - Hari Senin-Kamis : 08:00 – 16:00
 - Istirahat : 12:00 – 13:00
 - Hari Jumat : 08:00 – 16:00
 - Istirahat : 11:30 – 13:00
 - b. Pekerja lapangan (*daily worker*)
 - Hari Senin-Kamis : 08:00 – 17:00
 - Istirahat : 12:00 – 13:00
 - Hari Jumat : 08:00 – 16:00
 - Istirahat : 11:30 – 13:00
 - Hari Sabtu-Minggu : 08:00 – 16:00
2. Jam kerja lembur
 - a. Pekerja lapangan (*daily worker*)
 - Hari Senin-Kamis : 08:00 – 21:00
 - Istirahat : 12:00 – 13:00
 - Hari Jumat : 08:00 – 21:00
 - Istirahat : 11:30 – 13:00

Work Breakdown Structure

Sebelum menentukan penjadwalan proyek, perlu dilakukan pengelompokan pekerjaan agar membantu proses penjadwalan dan pengendalian suatu sistem yang terstruktur. Setiap tingkat menurun pada WBS mewakili definisi komponen proyek yang semakin rinci. Adapun Work Breakdown Structure dari Proyek Pembangunan Kapal Pengawas Perikanan dan Kelautan Aluminium 17M adalah sebagai berikut:

Urutan kegiatan dalam proses pembangunan Kapal Patroli Pengawas Perikanan dengan detail pekerjaan adalah sebagai berikut:

1. *Preparation and Procurement*

Merupakan tahap pertama dalam pengerjaan proyek, yaitu segala bentuk kegiatan yang mengacu pada pemesanan, percepatan, dan pengiriman peralatan dan bahan proyek utama, terutama yang mungkin melibatkan periode pengiriman yang lama.

a) *Sign Contract*

Setelah galangan memenangkan tender, galangan harus melakukan tanda tangan kontrak yang dilakukan oleh kedua belah pihak yaitu galangan dan pemilik kapal (Dinas Perikanan dan Kelautan Sumatera Utara).

b) *Full Design*

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan desain keseluruhan (*total design*).

c) *Peralatan*

Tahap ini merupakan tahapan dimana melakukan persiapan dan pengecekan peralatan yang dibutuhkan selama proses tahap produksi.

d) *Persiapan Personal*

Pada tahap ini dilakukan persiapan man power (*personal*).

e) *Persiapan Galangan dan Peralatan Pendukung*

Tahapan ini mempersiapkan peralatan pendukung dalam pengerjaan proyek.

f) *Pengadaan Bahan Baku*

Merupakan tahap dimana pemesanan dan penerimaan bahan baku yang akan digunakan pada pengerjaan proyek.

2. *Production Hull*

a) *Bagian Awal*

Setelah kegiatan *full design*, persiapan peralatan, personal, galangan dan peralatan pendukung dan pengadaan bahan baku selesai, selanjutnya masuk ke tahap bagian awal dari *production hull*. Adapun kegiatan/pekerjaan yang termasuk dalam tahap awal dari *production hull* adalah sebagai berikut:

- *Pembersihan dan Perataan/Pelurusan Plat*
Dilakukan proses pembersihan plat yang akan digunakan dalam proses produksi.
- *Marking* atau *Lofting*
Marking merupakan pekerjaan dimana plat yang akan dipotong diberi *mark* sesuai dengan gambar kerja.
- *Pressing* dan *Cutting Plate*
Pekerjaan ini dilakukan sebelum proses fabrikasi.

b) *Fabrikasi*

Fabrikasi dilakukan setelah adanya gambar desain yang telah di approved oleh BKI Kelas, adapun urutan dari proses fabrikasi dan bagiannya adalah sebagai berikut.

- *Fabrikasi Gading-gading Melintang dan Membujur*
- *Fabrikasi Wrang*
- *Fabrikasi Bracket-bracket*
- *Fabrikasi Sekat-sekat*
- *Fabrikasi Balok Geladak*
- *Fabrikasi Plat Kulit Lambung, Geladak dan Bangunan Atas*
- *Fabrikasi Lunas, Stern dan Stern Frame*
- *Fabrikasi Fondasi Mesin dan Balok Penguat*

c) *Perakitan Seksi-seksi (Assembly)*

Assembly merupakan tahapan dimana hasil dari proses fabrikasi dirakit, adapun urutan pengerjaan proses *assembly* dan bagiannya yaitu:

- *Perakitan Lunas, Stern dan Stern Frame*
- *Perakitan Wrang dengan Penguat dan Face Bar*
- *Perakitan Gading-Gading Melintang dan Membujur*
- *Perakitan Sekat-sekat dan Balok Penguat Serta Stringer*
- *Perakitan Plat Kulit Lambung, Geladak dan Bangunan Atas*
- *Perakitan Plat Kulit Pagar (Bullwark)*

d) *Penggabungan Konstruksi Blok-blok (Erection)*

Erection dilakukan setelah bagian-bagian dari badan kapal di *assembly*, adapun urutan bagian dari proses *erection* adalah sebagai berikut:

- *Penggabungan Konstruksi Blok Buritan*
- *Penggabungan Konstruksi Blok Ruang Akomodasi*

- Penggabungan Konstruksi Blok Ruang Haluan
- Penggabungan Konstruksi Blok Ruang Bangunan Atas (*Superstructure*)
- 3. *Installation Machinery and Outfitting*
 - a) Pemasangan Peralatan Lambung
 - b) Pemasangan Peralatan Geladak
 - c) Fabrikasi dan Perakitan Interior
 - d) Fabrikasi dan Perakitan Eksterior
 - e) Instalasi Mesin Penggerak
 - f) Instalasi Mesin Bantu
 - g) Instalasi Sistem Perpipaan

Menentukan Normal Duration

Analisa waktu pelaksanaan normal didapatkan berdasarkan data yang didapat di lapangan. Pada Tugas Akhir ini, normal duration didapatkan berdasarkan penjadwalan rencana yang telah disetujui oleh pihak galangan kapal serta pihak pemilik kapal yang tercantum pada kontrak. Diketahui untuk pekerjaan Hull dan Installation Machinery Outfitting pada pembangunan Kapal ini adalah 185 hari. Untuk durasi setiap pekerjaannya dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2: Penjadwalan *normal duration hull* dan *installation machinery outfitting*

Kode Kegiatan	Nama Kegiatan	Durasi	Predecessor	
		(Hari)		
A	Preparation and Procurement			
	1	Sign Contract	1	-
	2	Full Design	3	A1
	3	Peralatan	3	A1
	4	Persiapan Personal	3	A1
	5	Persiapan Galangan dan Peralatan Pendukung	5	A1
	6	Pengadaan Bahan Baku	5	A1
B	Production Hull			
	1	Bagian Awal		
	1.1	Pelurusan Plat/Profil	5	A6
	1.2	Marking/Lofting	10	A6 ; B11 SS
	1.3	Pressing dan Cutting Plate	10	A6 ; B12 SS
	2	Fabrikasi		
	2.1	Gading Melintang dan Membujur	20	B13
	2.2	Wrang	7	B13
	2.3	Bracket	7	B22 FS-1
	2.4	Sekat-sekat	20	B23 FS-5
	2.5	Plat Kulit Lambung dan Superstructure	40	B23 FS-5
	2.6	Balok Geladak	7	B24 FS-5
	2.7	Lunas, Stern	10	B25 FS-2
	2.8	Fondasi Mesin dan Balok Penguat	10	B27 FS-5

C	3	Assembly		
	3.1	Lunas, Stern	20	B27 FS+5
	3.2	Plat Kulit Lambung, Geladak, Superstructure	35	B25 FS+13
	3.3	Gading Melintang dan Membujur	20	B21 FS+46
	3.4	Wrang	15	B22 FS+70
	3.5	Sekat-sekat	15	B24 FS+57
	3.6	Plat Bullwark	10	B35 FS-10
	4	Erection		
	4.1	Buritan	15	B36
	4.2	Ruang Akomodasi	10	B41 SS+4
	4.3	Superstructure	15	B32 FS+10
	4.4	Ruang Haluan	10	B35 FS+6
	Installation Machinery and Outfitting			
	1	Pemasangan Peralatan Lambung	10	B41 SS+5
	2	Instalasi Mesin Penggerak	30	B41 FS-10
	3	Pemasangan Peralatan Geladak	5	C2 SS+7
4	Fabrikasi dan Perakitan Interior	10	C3 FS-3	
5	Fabrikasi dan Perakitan Eksterior	10	C4	
6	Instalasi Mesin Bantu	14	C2 FS-3	
7	Instalasi Sistem Perpipaan	6	C6 SS+8	

Menentukan Normal Cost

Di dalam sebuah proyek, biaya proyek dapat dibedakan menjadi dua yaitu normal cost (biaya normal) dan crash cost (biaya setelah dilakukan percepatan). Normal Cost merupakan biaya total dari masing-masing aktivitas. Perhitungan normal cost dalam Tugas Akhir ini berdasarkan dari perhitungan alokasi dana tiap-tiap pekerjaan Kapal Pengawas Perikanan Aluminium sesuai dengan Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang telah ditentukan oleh pihak galangan kapal dan tertera pada kontrak. Harga Alokasi dana pada perhitungan ini didapatkan dari pihak galangan kapal. Rincian Normal Cost dapat dilihat pada Tabel 4.2

Tabel 3: Rincian *normal cost* proyek

Deskripsi	Jumlah Total
Subtotal I Material/ Komponen Pembangunan Kapal	Rp 2.800.725.000,-
Subtotal III Jasa Pembangunan	Rp 837.000.000,-

Perhitungan normal cost ini berdasarkan data alokasi dana proyek Hull dan Outfitting yang diberikan oleh pihak galangan kapal. Total biaya dari pembangunan Hull dan Outfitting Kapal

Pengawas Perikanan Aluminium yaitu sebesar Rp 3.637.725.000,-.

Menentukan Aktivitas Kritis (Lintasan Kritis)

Setelah menemukan hubungan antar aktivitas selanjutnya adalah menentukan aktivitas apa saja yang masuk ke dalam lintasan kritis dari pekerjaan tersebut. Untuk menentukan lintasan kritis dapat dilakukan dengan menggunakan bantuan program Software Oracle Primavera. Program ini dapat membantu dalam menyusun jaringan kerja walaupun dengan jumlah item pekerjaan yang banyak. Dari hasil penjadwalan yang dilakukan dengan Oracle Primavera maka akan dapat diketahui daftar-daftar kegiatan yang masuk ke dalam kegiatan kritis. Hasil penentuan lintasan kritis yang dilakukan pada Oracle Primavera dapat dilihat pada Lampiran 3. Daftar kegiatan-kegiatan kritis ini dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 4: Daftar pekerjaan pada lintasan kritis

Nama Pekerjaan	Durasi (Hari)
Preparation and Procurement	
-Pengadaan Bahan Baku	5
Production Hull (Bagian Awal)	
-Pembersihan dan Pelurusan Plat	5
-Marking/Lofting	10
-Pressing dan Cutting Plate	10
Fabrikasi	
-Wrang	7
-Bracket	7
-Sekat-sekat	20
-Plat Kulit Lambung, Geladak	40
Assembly	
-Plat Kulit Lambung, Geladak	35
-Sekat-sekat dan Balok Penguat	15
-Plat Bulwark	10
Erection	
-Buritan	15
-Superstructure	15
Installation Machinery and Outfitting	
-Instalasi Mesin Penggerak	30
-Pemasangan Peralatan Geladak	5
-Fabrikasi dan Perakitan Interior	10
-Instalasi Mesin Bantu	14
-Instalasi Sistem Perpipaan	6

Tabel diatas menggambarkan pekerjaan yang akan dipercepat. Alasan item-item pekerjaan yang ada pada jalur kritis adalah:

1. Kegiatan kritis terpilih karena memungkinkan untuk bisa dipercepat tanpa mengganggu atau merubah alur dari network planning
2. Pada kegiatan kritis yang lain jika dipercepat maka dapat merubah jalur kritis dan mempengaruhi jumlah total dari durasi perencanaan.

Analisis Time Cost Trade Off Perhitungan Produktivitas Harian Normal

Sebelum melakukan analisis *Time Cost Trade Off* perlunya untuk menghitung produktivitas harian normal dari setiap kegiatan yang berada pada lintasan kritis. Produktivitas harian normal ini nantinya akan digunakan dalam perhitungan produktivitas setelah dilakukannya *crashing project* sebelum menentukan durasi *crashing* yang terjadi.

Rumusnya seperti dibawah ini:

$$\text{Produktivitas harian} = \frac{\text{volume pengerjaan}}{\text{Durasi normal}} \quad (2.5)$$

$$\text{Produktivitas tiap jam} = \frac{\text{produktivitas harian}}{\text{jam kerja perhari}} \quad (2.6)$$

Contoh perhitungan produktivitas salah satu aktivitas pada kegiatan Fabrikasi Plat Kulit Lambung adalah sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas Normal} &= \frac{16.8 \text{ ton}}{40 \text{ hari}} \\ &= 0.42 \text{ ton/day} \end{aligned}$$

Detail perhitungan produktivitas normal pekerjaan Fabrikasi dan *Erection* adalah sebagai berikut.

Tabel 5: Perhitungan produktivitas normal pekerjaan fabrikasi dan erection

Nama Pekerjaan	Produktivitas Harian
Fabrikasi	
Wrang	0.055 ton/day
Bracket	0.038 ton/day
Sekat-sekat	0.214 ton/day
Plat Kulit Lambung	0.42 ton/day
Erection	
Buritan	0.325 ton/day
Superstructure	0.33 ton/day

Alternatif Percepatan

Sebelum melakukan perhitungan durasi crash dan biaya crash terlebih dahulu dilakukan rencana crashing atau scenario percepatan terutama pada pekerjaan-pekerjaan yang berada pada lintasan kritis.

Rencana crashing atau skenario percepatan dilakukan berdasarkan kebutuhan sumber daya pada tiap-tiap pekerjaan yang durasinya dapat dipercepat. Tetapi dapat juga berdasarkan lama durasi dan besarnya volume pekerjaannya. Pada Tugas Akhir ini percepatan dilakukan hanya pada pekerjaan Fabrikasi dan Erection Hull.

Pada percepatan ini dicari yang paling optimum pada segi biaya dan waktu oleh karena itu perlu dikombinasikan antara mempercepat dari sisi sumber daya manusia dan alat bantu yang digunakan dilapangan. Mempercepat dari sisi sumber daya manusia dapat dilakukan dengan penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja. Sedangkan dari sisi peralatan dapat dilakukan penambahan jam kerja pada alat kerja.

Percepatan dilakukan sebaiknya pada lintasan kritis sehingga dapat mengurangi durasi total proyek. Adapun asumsi-asumsi yang digunakan untuk menyederhanakan proses percepatan adalah:

a. Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Pemilihan alternatif lembur ini tidak hanya lembur bagi pekerja saja tetapi alat pun termasuk dalam penambahan jam lembur. Penggunaan jam lembur digunakan pada aktivitas pekerjaan fabrikasi dan erection. Pada awalnya jam kerja 8 jam ditambah 5 jam menjadi 13 jam mulai dari jam 08.00-21.00. Adanya alternative ini diharapkan setiap pekerjaan bisa selesai lebih cepat dari durasi rencana sedangkan produktifitasnya dianggap produktif 80% dari jam normal.

b. Penambahan Tenaga Kerja

Penambahan tenaga kerja digunakan pada kegiatan fabrikasi dan erection. Alternatif ini digunakan pada aktivitas dengan volume pekerjaan yang besar dan durasi yang panjang. Penambahan tenaga kerja rata-rata dengan menambahkan 1 grup pada masing-masing kegiatan fabrikasi dan erection.

Perhitungan Produktivitas Setelah Percepatan

Dari alternatif percepatan yang sudah ada dapat dihitung produktivitas harian setelah percepatan dengan menambahkan produktivitas harian normal dengan produktivitas harian dari hasil percepatan. Produktivitas harian setelah percepatan ini dapat didefinisikan sebagai kemampuan untuk dapat menyelesaikan suatu aktivitas dengan volume tertentu tiap harinya setelah adanya alternative percepatan.

Perhitungan produktivitas setelah crashing dibedakan sesuai dengan scenario percepatan yang digunakan. Detail perhitungan produktivitas setelah percepatan yang digunakan. Detail perhitungan produktivitas setelah percepatan terdapat pada Lampiran.

Crash Duration

Setelah produktivitas meningkat maka waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan aktivitas akan lebih cepat bila dibandingkan dengan sebelumnya. Pada perhitungan crash duration produktivitas percepatan pertama dengan produktivitas percepatan kedua.

Crash Cost

Crash Cost adalah jumlah biaya langsung untuk menyelesaikan pekerjaan dengan kurun waktu tersingkat. Biaya ini dikeluarkan setelah dilakukan percepatan. Pada TA ini terdapat 2 alternatif yang dilakukan, yaitu penambahan jam lembur untuk tenaga kerja dan alat dan penambahan tenaga kerja untuk setiap pekerjaannya.

Hasil Analisis Time Cost Trade Off

Hasil dari analisis time cost trade off berupa nilai total crash duration dan crash cost dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 6: Nilai total crash duration dan crash cost

Kegiatan	Crash Duration	Normal Cost (Rp)	Biaya Alternatif Percepatan (Rp)	Crash Cost (Rp)
Wrang	5	27.518.939	1.268.857.05	28.545.829
Sekat-sekat	5	25.300.584	1.311.142	26.611.268
Plat Kulit Lambung	7	5.861.479	1.026.857	6.888.365
Buritan	4	64.586.425	7.584.485	7.336.964
Superstructure	3	65.895.485	6.815.455	7.336.964
Total	30			76.719.846

Tabel menunjukkan perbandingan durasi pengerjaan Production Hull dan Outfitting waktu normal, durasi pengerjaan setelah keterlambatan, dan durasi pengerjaan setelah melalui analisis time cost trade off.

4. KESIMPULAN

Setelah melakukan penelitian ini, dari hasil pengolahan data dan dilakukannya perhitungan maka terdapat beberapa kesimpulan yaitu:

1. Lintasan kritis yang harus diperhatikan pada proyek Hull dan Outfitting Kapal Pengawas Perikanan dan Kelautan Alumunium 17M adalah 17 aktivitas pekerjaan diantaranya yaitu pengadaan bahan baku, pembersihan dan pelurusan plat, marking/lofting, pressing dan cutting plate, fabrikasi wrang, fabrikasi bracket, fabrikasi sekat-sekat, fabrikasi plat kulit lambung, assembly plat kulit lambut, assembly sekat-sekat dan balok penguat, assembly plat bulwark, erection buritan, erection superstructure, instalasi mesin penggerak, instalasi pemasangan dan peralatan geladak, fabrikasi dan perakitan interior, instalasi mesin bantu, dan instalasi sistem perpipaan.
2. Alternatif percepatan yang dapat digunakan untuk mencegah adanya keterlambatan adalah penambahan jam kerja dan penambahan jumlah tenaga kerja.
3. Proyek Pembangunan Kapal Pengawas Perikanan dan Kelautan dapat dipercepat selama 30 hari dari total durasi proyek 222 hari menjadi 192 hari dengan biaya penambahan crashing sebesar Rp. 76.719.846

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini dapat berjalan dengan lancar tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, peneliti mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing dan teman-teman yang telah membantu penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

7. PUSTAKA

- [1] Abdurrasyid, Luqman, Haris, A., & Indrianto. (2019). Implementasi Metode PERT dan CPM

- pada Sistem Informasi Manajemen Proyek Pembangunan Kapal. *Khazanah Informatika*, 5, 28-36.
- [2] As, A. I., Ruddianto, & Budianto. (2017). Perancangan Kapal Pembersih Eceng Gondok di Sungai Rowo Tirta Probolinggo. *Seminar MASTER 2017 PPNS*.
- [3] Asrul, I. H. (2013). *Optimization in Crashing Project Schedule with Methods Selection*.
- [4] Dipohusodo, I. (1996). *Manajemen Proyek & Konstruksi*. Kanisius.
- [5] Ervianto, W. I. (2004). *Teori Aplikasi Manajemen Proyek Konstruksi*. Andi Offset.
- [6] Fadllan. (2017). *Analisis Optimasi Waktu dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off Pada Proyek Pembangunan Kapal*.
- [7] Gaspersz, V. (2004). *Production Planning and Inventory Control*. PT Gramedia Pustaka Umum.
- [8] Husen, A. (2011). *Manajemen Proyek (Perencanaan, Penjadwalan, & Pengendalian Proyek)*. CV ANDI OFFSET.
- [9] Luthan, P. L. A., & Syafriandi. (2006). *Aplikasi Microsoft Project untuk Penjadwalan Kerja Proyek Teknik Sipil*. Andi Offset.
- [10] Ningrum, F. G. A. (2017). *Penerapan Metode Crashing Dalam Percepatan Durasi Proyek Dengan Alternatif Penambahan Jam Lembur dan Shift Kerja*.
- [11] Priyo, M., & Sumanto, A. (2016). Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi Dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*. *Semesta Teknika*, 19, 1–15.
- [12] Priyo, M., & Paridi, M. R. A. (2018). Studi Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Konstruksi Pembangunan Gedung Olahraga (Gor). *Semesta Teknika*, 21, 72–84.
- [13] Salsabil, B. R. (2021). *Optimasi Waktu dan Biaya Proyek Flue Stack Menggunakan Metode Time Cost Trade Off*.
- [14] Situmorang, P. D. (2017). *Analisa Penjadwalan Proyek Dengan Time Schedule Kurva S, PDM, dan RPWM*.
- [15] Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)*. Erlangga.
- [16] Sugiasturi, M. N. (2019). *Optimasi Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode Time Cost Trade Off*.
- [17] Wideasanti, & Lenggogeni. (2013). *Manajemen Konstruksi*. PT Remaja Rosdakarya.
- [18] Yuliandra, B., & Syahfitri, R. (2015). *Algoritma Heuristik Untuk Menentukan Biaya Crashing Minimum Pada Project Network Dengan Dua Jalur Kritis*.