



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

ANALISA PENJADWALAN PROYEK PEMBANGUNAN KAPAL WISATA GLASS BOTTOM TRIMARAN PADA KONSTRUKSI HULL DENGAN PRECEDENCE DIAGRAM METHOD (PDM) DAN METODE PROJECT EVALUATION REVIEW TECHNIQUE (PERT)

Tegar Fikri Ersaputra¹⁾, Wilma Amiruddin²⁾, Ari Wibawa Santosa³⁾

Laboratorium Kapal – Lab dan Konstruksi Kapal

Departemen Teknik Perkapalan, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

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

^{*)}e-mail : tegar1701@gmail.com

Abstrak

Pembangunan sebuah kapal merupakan suatu kegiatan yang melibatkan perencanaan dan penjadwalan, tetapi pada kenyataannya di lapangan sering kali tidak sesuai dengan perencanaan. Telah dibangun kapal wisata *glass bottom trimaran* pada konstruksi *hull* selama 112 hari di sebuah galangan kapal di Surabaya. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan aktivitas pada lintasan kritis, membuat *network diagram*, dan menghitung produktivitas pekerjaan dengan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja, sehingga didapatkan *schedule* baru yang optimal. *Precedence Diagram Method* adalah metode yang digunakan untuk melakukan proses percepatan proyek pada penelitian ini dan *Project Evaluation and Review Technique* adalah metode yang digunakan untuk menghitung probabilitas keberhasilan dari waktu yang telah dilakukan percepatan. Hasil penelitian ini menunjukkan *network diagram* yang memiliki 10 kegiatan pada lintasan kritis dari 24 kegiatan. Setelah dilakukan *crashing* penambahan jam kerja didapatkan percepatan waktu proyek 7 hari waktu perencanaan awal menjadi 105 hari dan dengan metode *PERT* diperoleh probabilitas keberhasilan proyek dapat selesai dalam 105 hari yaitu 89,07% dan penambahan biaya jam lembur sebesar 53,19% sedangkan dengan menggunakan penambahan tenaga kerja didapatkan percepatan durasi 3 hari atau 2,67% dari waktu perencanaan awal dan penambahan biaya bertambah 4,39% dari biaya tenaga kerja rencana awal proyek.

Kata Kunci : Penjadwalan, Pembangunan Kapal Wisata, PDM, PERT

1. PENDAHULUAN

Pembangunan sebuah kapal merupakan suatu kegiatan konstruksi yang melibatkan perencanaan dan penjadwalan dari segi waktu maupun segi biaya untuk memperoleh hasil yang maksimal[5], proyek merupakan kegiatan yang memiliki tujuan tertentu[8].

Proyek pada umumnya memiliki perencanaan dari awal sampai akhir yang berarti proyek memiliki batas waktu (*deadline*), yang berarti proyek harus diselesaikan sebelum atau tepat pada waktu yang telah ditentukan [1].

Faktanya di lapangan sering kali terjadi masalah yang menghambat proses pembangunan kapal sehingga menyebabkan terjadinya

keterlambatan dalam proses pembangunan kapal tersebut.

Solusi guna mencegah terjadinya keterlambatan pada suatu proyek harus di siapkan oleh pihak pelaksana, salah satunya adalah menerapkan proses percepatan, namun penerapan proses percepatan tidak hanya saat terjadi keterlambatan tetapi juga dapat digunakan pada saat proyek harus selesai lebih cepat dari jadwal yang telah di tentukan, salah satu alternatif yang dapat digunakan untuk dilakukannya proses percepatan adalah penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja.

Demi kelancaran jalannya sebuah proyek dibutuhkan manajemen yang akan mengelola proyek dari awal hingga proyek berakhir, yakni manajemen proyek. Manajemen proyek

mempunyai sifat istimewa, dimana waktu kerja manajemen dibatasi oleh jadwal yang telah ditentukan [6].

Tujuan penelitian ini adalah membuat *reschedule* penjadwalan pada proyek pembangunan konstruksi *hull* kapal wisata *glass bottom* trimaran menggunakan metode *Precedence Diagram Method (PDM)* untuk menganalisis percepatan waktu dalam proyek pembangunan kapal tersebut dan metode *Project Evaluation and Review Technique (PERT)* untuk mengetahui kemungkinan selesainya proyek tersebut sesuai waktu yang telah di analisis dan mengetahui berapa perbandingan biaya upah pekerja dari perencanaan awal dengan biaya upah pekerja setelah dilakukannya percepatan

Berdasarkan pada penelitian berjudul Perancangan Manajemen Optimalisasi Pelaksanaan Proyek Dengan Metode *PERT* Dan *CPM* dari hasil yang didapatkan peluang tercapainya waktu penyelesaian proyek tepat waktu adalah 92,78% dan dapat dilakukan percepatan penyelesaian proyek dengan mempercepat aktivitas pada lintasan kritis[1].

Menurut penelitian berjudul Optimasi Pelaksanaan Proyek Kontruksi Dengan Metode *PERT* Dan *CPM*. Penelitian ini melakukan percepatan proyek dengan menambah waktu kerja lembur sehingga mendapatkan durasi 162,17 hari atau 8 hari lebih cepat dari waktu semula dan memiliki probabilitas pencapaian proyek sebesar 98,42%[2].

Menurut penelitian berjudul Perencanaan Penjadwalan Waktu Dengan Metode *PDM (Precedence Diagram Method)* Studi Kasus: Pembangunan Jembatan Desa Rantau Limau Manis, Kecamatan Tabir Ilir, Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi di dapatkan hasil percepatan waktu sebesar 15 hari dari waktu normal proyek [3].

Berdasarkan penelitian berjudul Optimalisasi Pembangunan Proyek Apartemen SGC Cibubur dengan Menggunakan Metode *Precedence Diagram Method (PDM)* didapatkan bahwa durasi proyek dapat di optimalkan dengan metode *PDM* karena adanya kegiatan yang di tumpah tindih pada kegiatan proyek tersebut [4].

Berdasarkan penelitian berjudul Optimalisasi Waktu Proyek Dengan Penambahan Jam kerja dengan *Precedence Diagram Method (Studi Kasus Proyek Rumah Susun Sederhana Sewa Pekanbaru)* dengan penambahan jam kerja dapat mempersingkat waktu total pengerjaan proyek dari 245 hari kerja menjadi 195 hari kerja[10].

Berdasarkan Penelitian sebelumnya dengan judul “Implementasi *Project Evaluation and Review Technique (PERT)*,” probabilitas

keberhasilan tercapainya proyek menggunakan metode *PERT* setelah dilakukan percepatan adalah 81,33%[11] dan berdasarkan penelitian berjudul “Analisa Penjadwalan Proyek Menggunakan *PDM* dan *PERT* Serta *Crash Project* (Studi kasus: Pembangunan Gedung Main Power House PT. Adhi Karya),” probabilitas keberhasilan proyek menggunakan metode *PERT* setelah dilakukannya percepatan adalah 52%[12].

Diharapkan dari hasil penelitian ini, dapat dijadikan referensi bagi perusahaan terkait untuk melaksanakan penjadwalan pembangunan kapal agar penjadwalan dapat terealisasi dengan baik serta dapat dijadikan referensi apabila perusahaan ingin menambah pekerja atau menambah jam kerja dengan memperhitungkan aspek penambahan biaya dari rencana awal[13].

2. METODE

2.1. Objek Penelitian

Objek pada penelitian ini menggunakan data *main schedule* dan volume pekerjaan Kapal Wisata *Glass bottom* Trimaran di galangan PT. Dumas Shipyard Surabaya. *Main schedule* serta volume pekerjaan yang di dapat akan ditentukan jalur pekerjaan kritis untuk mengoptimalkan durasi dan ditentukan Probabilitas keberhasilannya. Pengolahan data dibantu menggunakan *Precedence Diagram Method (PDM)* dengan alternatif penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja pada bagian pekerjaan kritis dan menggunakan *Project Evaluation and Review Technique (PERT)* untuk menentukan probabilitas keberhasilannya. Tabel 1 menunjukkan ukuran utama kapal wisata *glass bottom* trimaran.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal Wisata *Glass bottom* Trimaran

No	Dimensi	Skala Penuh
1	LOA	23,1 m
2	<i>Breadth</i>	8,0 m
3	<i>Height</i>	3,0 m
4	<i>Draught</i>	2,22 m
5	<i>Speed (Vs)</i>	12 knot

2.2. Pengumpulan Data dan Pengolahan Data

Analisis dan pengolahan data dalam penelitian ini diperlukan data primer dan data sekunder yaitu:

Proses pengumpulan data dari hasil wawancara dengan pihak terkait di Sebuah galangan kapal di Kota Surabaya sebagai tempat Kapal Wisata *Glass bottom* Trimaran dibangun.

Data – data pendukung dibutuhkan untuk melengkapi data yang ada berupa jurnal, buku pedoman, artikel, data-data penelitian yang pernah diteliti sebelumnya, dan buku mengenai manajemen proyek untuk menunjang olah data dalam penelitian ini.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembangunan Konstruksi lambung Kapal Wisata *Glass bottom* Trimaran dilaksanakan dengan durasi selama 112 hari pada tanggal 12 November 2020 sampai 7 April 2021. Pekerjaan ini memakan waktu 8 jam setiap dimulai pukul 18.00 sampai pukul 17.00 WIB dengan jam waktu istirahat selama 1 jam pada pukul 12.00 – 13.00 untuk hari Senin sampai Kamis, sedangkan pada hari jumat dimulai pukul 08.00 sampai pukul 17.00 dengan waktu istirahat selama 2 jam pada pukul 11.30 – 13.30 WIB.

Upaya mengantisipasi adanya keterlambatan yang dapat merugikan pihak – pihak yang terkait yaitu dengan dilakukan percepatan durasi untuk mempersingkat waktu dan meminimalisir adanya keterlambatan pekerjaan

3.1. Penjadwalan dan Penentuan Kegiatan Kritis

Penyusunan aktivitas pekerjaan dalam sebuah proyek merupakan suatu kegiatan yang penting karena berguna untuk mengetahui urutan aktivitas dari awal hingga akhir proyek.

Penyusunan aktivitas pekerjaan sangat di perlukan untuk mencari jalur kritis dalam perencanaan sebuah proyek. Terdapat dua istilah dalam penyusunan urutan aktivitas untuk menentukan hubungan antar aktifitas, yaitu : *predecessors* dan *successors*.

Predecessor yaitu hubungan kerja aktifitas yang dilaksanakan sebelum aktifitas berikutnya dimulai. Sedangkan *successor* merupakan hubungan kerja aktifitas yang dilaksanakan setelah aktifitas tersebut selesai. Penjadwalan dan penentuan jalur kritis pada data awal penelitian ini menggunakan *software Microsoft project* agar lebih mudah pengerjaannya. Tabel 2 menunjukkan penjadwalan menggunakan *Microsoft project*.

Tabel 2. Penjadwalan Pekerjaan Konstruksi *Hull* Kapal Wisata *Glass bottom* Trimaran

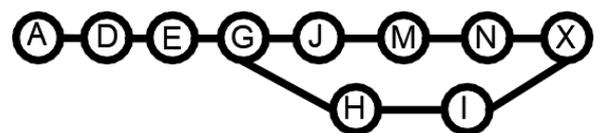
Block 113	44 days
Fabrikasi Block 113	10 days
Assembly Block 113	30 days
Erection Block 113	5 days
Block 112	55 days
Fabrikasi Block 112	10 days
Assembly Block 112	30 days
Erection Block 112	20 days
Block 114	85 days
Fabrikasi Block 114	10 days
Assembly Block 114	50 days
Erection Block 114	25 days

3.2. Analisis Network Diagram

Network Diagram adalah jaringan antar pekerjaan yang saling berhubungan dan berisi urutan, durasi, waktu mulai, waktu selesai, hingga waktu dapat terlambat dari setiap pekerjaan.

Penyusunan *network diagram* dapat dibuat dengan melakukan perhitungan maju dan perhitungan mundur untuk menentukan nilai ES (*Early Start*), EF (*Early Finish*), LS (*Latest Start*) dan LF (*Latest Finish*). Selanjutnya, apabila nilai – nilai tersebut sudah diketahui maka dapat menghitung total *slack* time tiap – tiap pekerjaan. Pekerjaan yang terdapat pada jalur kritis adalah pekerjaan yang tidak memiliki nilai total *slack* atau *slack* = 0[7].

Gambar 1 berikut merupakan bentuk *Network Diagram* dari proyek pembangunan konstruksi *hull* kapal wisata *glass bottom* trimaran dari gambar kegiatan berwarna merah serta data *slack* dapat disimpulkan data yang termasuk ke dalam jalur kritis.



Gambar 1. *Network Diagram* Kapal Wisata *Glass bottom* Trimaran

Tabel 3. Jalur Lintasan Kritis

	PEKERJAAN	ES	EF	LS	LF	TF
A	Fabrikasi Block 113	0	10	0	10	0
D	Fabrikasi Block 112	7	12	7	12	0
E	Assembly Block 112	11	41	11	41	0
G	Fabrikasi Block 114	11	21	11	21	0
H	Assembly Block 114	21	71	21	71	0
I	Erection Block 114	71	96	71	96	0
J	Fabrikasi Block 111	25	35	25	35	0
M	Fabrikasi Block 212	35	40	35	40	0
N	Assembly Block 212	40	60	40	60	0
X	Erection Block 311	97	113	97	113	0

Berdasarkan Tabel 3, terdapat 10 pekerjaan pada lintasan kritis yang memiliki total *slack* = 0

3.3 Produktivitas Harian Normal

Produktivitas merupakan perbandingan antara *output* dengan *input*. Perhitungan produktivitas diperlukan untuk perbandingan sebelum dan sesudah dilakukannya percepatan. Terlihat pada Tabel 4 merupakan produktivitas harian pada jalur kritis. Rumus produktivitas harian normal dapat dihitung dengan rumus :

$$PHN = \frac{\text{VOLUME PEKERJAAN}}{\text{DURASI (HARI)}} \quad (1)$$

PHN adalah Produktivitas Normal Harian

Tabel 4. Hasil Perhitungan Produktivitas Harian Normal Kegiatan Kritis

Pekerjaan	Vol.	Durasi (Hari)	Prod. Harian
A	11.392 kg	10	1139.20
D	12.586 kg	10	1258.60
E	12.586 kg	30	419.53
G	9.478 kg	10	947.80
H	9.478 kg	50	189.56
I	9.478 kg	25	379.12

J	14.142 kg	10	1414.20
M	4.892 kg	5	978.40
N	4.892 kg	20	244.60
X	5.190 kg	15	346.00

3.4 Alternatif Penambahan Jam Kerja

Salah satu alternatif yang bisa digunakan untuk mempersingkat waktu selesainya proyek ialah dengan penambahan jam kerja (*lembur*), tetapi juga harus disesuaikan dengan kebutuhan dan tenaga kerja.

Penambahan jam kerja (*lembur*) dilakukan selama 4 jam setelah durasi kerja normal selesai. Namun, bisa menyebabkan penurunan produktivitas sampai dengan 60% dari produktivitas jam kerja normal.

Perhitungan produktivitas normal setiap jam diperlukan untuk melakukan perhitungan produktivitas *crashing* setelah penambahan jam *lembur*, Perhitungan produktivitas normal setiap jam menggunakan rumus :

$$PPJK = PHN + (PNJ \times EP \times PJJ) \quad (2)$$

Tabel 5. Perhitungan Produktivitas Penambahan Jam Kerja (*Lembur*) Pada Kegiatan Kritis

Kode	PHN	PNJ	EP	PJJ	PPJK
A	1139.2	142.4	0,6	4	1480.9
D	1258.6	157.32	0,6	4	1636.1
E	419.53	52.44	0,6	4	545.39
G	947.8	118.47	0,6	4	1232.1
H	189.56	23.69	0,6	4	246.43
I	379.12	47.39	0,6	4	492.86
J	1414.2	176.77	0,6	4	1838.4
M	978.4	122.3	0,6	4	1271.9
N	244.6	30.57	0,6	4	317.98
X	346.0	43.25	0,6	4	449.80

Tabel 5 menunjukkan perhitungan produktivitas penambahan jam kerja pada kegiatan kritis, EP adalah Efisiensi Produksi (0,6), PJJ adalah

Penambahan Jam Lembur (4 jam), PHN adalah Produktivitas Harian Normal, PNJ adalah Produktivitas Normal setiap Jam

3.5 Alternatif Penambahan Tenaga Kerja

Penambahan tenaga kerja dalam pekerjaan proyek diharapkan mampu menghasilkan proyek yang efisien, meningkatkan produktivitas dan pekerjaan cepat selesai.

Penelitian ini mengasumsikan penambahan tenaga kerja sebesar 30% dari peningkatan produktivitas harian akibat penambahan jam kerja (lembur). Tabel 6 menunjukkan perhitungan penambahan jumlah tenaga kerja yang dapat dihitung dengan rumus :

$$PTK = TKN \times 30\% \quad (3)$$

Perhitungan produktivitas setelah penambahan tenaga kerja dapat dihitung dengan rumus :

$$PPTK = \frac{PHN + (PHN \times PTK)}{TKN} \quad (4)$$

PTK adalah Penambahan Tenaga Kerja, TKN adalah Tenaga Kerja Normal, PPTK adalah Perhitungan Produktivitas Tenaga Kerja

Tabel 6. Perhitungan Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Pada Kegiatan Kritis

Kode	PHN	TKN	PTK	PPTK
A	1139.2	3	1	1518.9
D	1258.6	4	1	1573.2
E	419.53	5	1	503.44
G	947.8	3	1	1263.7
H	189.56	4	1	236.95
I	379.12	3	1	505.49
J	1414.2	3	1	1885.6
M	978.4	2	1	1467.6
N	244.6	4	1	305.75
X	346.0	2	1	432.50

3.6 Crash Duration

Crash Duration merupakan waktu paling singkat yang dibutuhkan untuk penyelesaian tiap kegiatan pada proyek. Pada aktivitas di lintasan kritis setelah dilakukannya percepatan akan mengalami peningkatan produktivitas, maka perhitungan *Crash Duration* diperlukan sebab meningkatnya produktivitas memerlukan durasi yang lebih cepat dari waktu normal. Tabel 7 dan 8 menunjukkan perhitungan *crash duration* tenaga kerja maupun jam kerja, rumus *crash duration* tenaga kerja maupun jam kerja sebagai berikut.

$$Crash\ Duration = \frac{VOLUME\ PEKERJAAN}{Produktivitas\ Penambahan} \quad (5)$$

Tabel 7. *Crash Duration* Setelah Penambahan Jam Kerja

Kegiatan	VOLU ME	PPJK	CDJK	pembulan
A	11.392.00	1480.96	7.69	8
D	12.586.00	1636.18	7.69	8
E	12.586.00	545.3933	23.08	23
G	9.478.00	1232.14	7.69	8
H	9.478.00	246.428	38.46	38
I	9.478.00	492.856	19.23	19
J	14.142.00	1838.46	7.69	8
M	4.892.00	1271.92	3.85	4
N	4.892.00	317.98	15.38	15
X	5.190.00	449.8	11.54	11

Tabel 8. *Crash Duration* Setelah Penambahan Jam Kerja

Kegiatan	VOLUME	PPTK	CD
A	11.392.00	1518.93	8
D	12.586.00	1573.25	8
E	12.586.00	503.44	23
G	9.478.00	1263.73	8
H	9.478.00	236.95	38
I	9.478.00	505.49	19
J	14.142.00	1885.60	8
M	4.892.00	1467.60	4
N	4.892.00	305.75	15
X	5.190.00	432.50	11

PPJK adalah Produktivitas Penambahan Jam Kerja, CDJK adalah *Crash Duration* Penambahan Jam Kerja. Berdasarkan kedua Tabel di atas, kedua

alternatif yaitu penambahan jam kerja lembur sebanyak 4 jam serta penambahan tenaga kerja sebanyak 30% dari jumlah awal. Kedua alternatif yang telah dilaksanakan menghasilkan percepatan sebesar 7 hari dari waktu perencanaan semula.

3.7 Manhour Penambahan Jam Kerja dan Penambahan Tenaga Kerja

Man Hour adalah bagian penting dalam proyek karena tenaga kerja mengambil porsi besar dalam ke-banyakan kerja kontrak, memperkirakan dan melaporkan jam kerja tenaga kerja secara akurat sangat penting demi kesuksesan sebuah proyek. 1 man-hour yaitu banyaknya pekerjaan yang dapat diselesaikan dalam satu jam kerja tanpa gangguan oleh rata-rata pekerja.

Tabel 9 menunjukkan *manhour* awal, *manhour* penambahan jam kerja, dan *manhour* penambahan tenaga kerja.

Menghitung *manhour* setelah penambahan tenaga kerja harus menghitung total tenaga kerja sesuai rumus:

$$TTK = TKN + PTK \quad (6)$$

Manhour setelah penambahan jam kerja dihitung menggunakan rumus :

$$MH = \text{Tenaga Kerja} \times TDK \quad (7)$$

Manhour penambahan tenaga kerja dihitung menggunakan rumus:

$$MH = TTK \times NDJ \quad (8)$$

TTK adalah Total Tenaga Kerja, TDK adalah Total Durasi Kerja, dan NDJ adalah Normal Durasi Jam

Tabel 9. *Manhour* Sebelum dan Sesudah Dilaksanakan Penambahan Jam Kerja dan Penambahan Tenaga Kerja

Kegiatan	<i>Man Hour</i>	<i>Man Hour Penambahan Jam Kerja</i>	<i>Man Hour Penambahan Tenaga Kerja</i>
A	232	360	320
D	309	480	400
E	1.158	1800	1440
G	232	360	320
H	1.543	2400	2000
I	579	900	800
J	232	360	320
M	77	120	120
N	617	960	800
X	463	720	600

3.8 Analisa Program Evaluation and Review Technique

Penelitian ini menggunakan metode PERT untuk menghitung probabilitas keberhasilan perhitungan *crashing* yang telah dilakukan di atas. Langkah pertama yang harus dilakukan yaitu menghitung *expected time*. Tabel 10 menunjukkan waktu Optimis (a), Pesimis (b) dan Realistis (m), Serta perhitungan *Expected Time* dan *Varians*. *Expected time* dapat dihitung dengan rumus [16]:

$$te = \frac{a+b+4m}{6} \quad (9)$$

Te adalah *Expected Time*, a adalah Waktu Optimis, b adalah Waktu Pesimis, m adalah Waktu Realistis

Setelah diperoleh nilai *expected time*, selanjutnya menghitung *varians* dengan rumus:

$$V(te) = \left(\frac{b-a}{6}\right)^2 \quad (10)$$

Tabel 10. Perhitungan waktu Optimis (a), Pesimis (b) dan Realistis (m), Serta *Expected Time* dan *Varians*

KODE	WAKTU (HARI)			te	V (te)
	(a)	(m)	(b)		
A	8	10	12	0.44	10
D	8	10	12	0.44	10
E	23	30	37	5.44	30
G	8	10	12	0.44	10
H	38	50	62	16.00	50
I	19	25	31	4.00	25
J	8	10	12	0.44	10
M	4	5	6	0.11	5
N	15	20	25	2.78	20
X	11	15	19	1.78	15

Langkah selanjutnya yaitu menghitung *standar deviasi* dengan menjumlahkan *varian* pada kegiatan kritis dapat digunakan rumus :

$$S = \sqrt{\left(\frac{b-a}{6}\right)^2} \quad (11)$$

Didapatkan nilai *standar deviasi* 31,89, lalu langkah terakhir metode *PERT* yaitu menghitung probabilitas kemungkinan percepatan proyek dapat diselesaikan dalam batas waktu hari menggunakan rumus:

$$Z = \frac{T(d)-TE}{s} \quad (12)$$

Sehingga probabilitas (Z) proyek dapat diselesaikan dalam waktu 105 hari yaitu:

$$\begin{aligned} Z &= (112-105) / 31,89 \\ &= 1,2395 \end{aligned}$$

Tabel distribusi normal menunjukkan 1,2395 mempunyai hasil 0,8907. Apabila dijadikan dalam bentuk persen maka kemungkinan proyek dapat diselesaikan dalam waktu 105 hari adalah 89,07%

3.9 Normal Cost

Normal cost atau dapat disebut juga biaya normal merupakan biaya langsung yang diperlukan dalam penyelesaian kegiatan proyek secara keseluruhan dengan durasi waktu normal. Tabel 11 menunjukkan perhitungan *Normal cost* pada pada setiap kegiatan proyek pembangunan lambung kapal wisata *glass bottom* trimaran.

Tabel 11. Perhitungan *Normal Cost* pada aktivitas kegiatan proyek pembangunan lambung kapal wisata *glass bottom* trimaran

Kegiatan	Biaya Tenaga Kerja/Hari (Rp x 1000)	Tenaga Kerja NORM AL	DURASI NORM AL	TOTAL NORMAL COST (Rp x 1000)
A	160	3	10	4.800
D	160	4	10	6.400
E	160	5	30	24.000
G	160	3	10	4.800
H	160	4	50	32.000
I	160	3	25	12.000
J	160	3	10	4.800
M	160	2	5	1.600
N	160	4	20	12.800
X	160	4	15	9.600

Perhitungan *normal cost* dapat diketahui sebagai berikut :

$$NC = NCPH \times ND \times JP \quad (11)$$

NC adalah *Normal Cost*, NCPH adalah *Normal Cost Per Hari*, ND adalah *Normal Duration*, JP adalah Jumlah Pekerja

3.10 Crash Cost

Crash Cost merupakan biaya yang dikeluarkan untuk menyelesaikan suatu proyek setelah dilakukannya proses percepatan. Perhitungan *crash cost* disebabkan oleh adanya penambahan jam kerja (lembur) jam dan juga penambahan tenaga kerja pada setiap pekerjaan.

Crash Cost Penambahan Jam Kerja

Tabel 11. Perhitungan *Crash Cost* per hari

Kegiatan	Biaya Tenaga Kerja/Hari	BIAYA 4 JAM LEMBUR	CRASH COST PEKERJA PER HARI
A	160.000	160.000	320.000
D	160.000	160.000	320.000
E	160.000	160.000	320.000
G	160.000	160.000	320.000
H	160.000	160.000	320.000
I	160.000	160.000	320.000
J	160.000	160.000	320.000
M	160.000	160.000	320.000
N	160.000	160.000	320.000
X	160.000	160.000	320.000

Perhitungan *Crash Cost* per hari dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$CCPH = NCPH + BL \quad (12)$$

Tabel 12. Perhitungan *Crash Cost* Penambahan Jam Kerja (Lembur)

Kegiatan	CRASH COST PEKERJA PER HARI	Crash Duration	Jumlah Pekerja	CRASH COST
A	320000	8	4	7.680.000
D	320000	8	5	10.240.000
E	320000	23	7	36.800.000
G	320000	8	4	7680.000
H	320000	38	5	48.640.000
I	320000	19	4	18.240.000
J	320000	8	4	7.680.000
M	320000	4	3	2.560.000
N	320000	15	5	19.200.000
X	320000	11	5	14.080.000

Tabel 11, 12, dan 13 menunjukkan perhitungan *crash cost* perhari, *crash cost* penambahan jam kerja, dan *crash cost* penambahan tenaga kerja.

CCPH adalah *Crash Cost Per Hari*, NCPH adalah *Normal Cost Per Hari*, BL adalah *Biaya Lembur*

Perhitungan *Crash Cost* penambahan jam kerja dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$CCJL = CCPH \times CD \times JP \quad (13)$$

CCJL adalah *Crash Cost* penambahan Jam Lembur, CCPH adalah *Crash Cost Per Hari*, CD adalah *Crash Duration*, JP adalah *Jumlah Pekerja*

Crash Cost Penambahan Tenaga Kerja

Tabel 13. Perhitungan *Crash Cost* Penambahan Tenaga Kerja

Kegiatan	NC	PTK	Crash Duration	CRASH COST
A	160.000	4	8	5.120.000
D	160.000	5	8	6.400.000
E	160.000	6	25	28.000.000
G	160.000	4	8	5.120.000
H	160.000	5	40	32.000.000
I	160.000	4	19	12.160.000
J	160.000	4	8	5.120.000
M	160.000	3	3	1.440.000
N	160.000	5	16	12.800.000
X	160.000	5	12	9.600.000

Perhitungan *Crash Cost* penambahan Tenaga kerja dihitung menggunakan rumus sebagai berikut.

$$CCTK = NCPH \times JTK \times CD \quad (14)$$

CCTK adalah *Crash Cost* penambahan Tenaga kerja, NCPH adalah *Normal Cost Per Hari*, JTK adalah *Jumlah Tenaga Kerja*, CD adalah *Crash Duration*

3.11 Cost Slope

Cost Slope merupakan penambahan biaya langsung yang dikeluarkan dalam mengurangi durasi dari tiap aktivitas pekerjaan. Tabel 14 menunjukkan perhitungan *Cost Slope* Alternatif

Penambahan Jam Kerja dan Penambahan Tenaga Kerja

Tabel 14. Perhitungan *Cost Slope* Alternatif Penambahan Jam Kerja dan Penambahan Tenaga Kerja

Kegiatan	Kerja	
	COST SLOPE JAM KERJA (LEMBUR)	COST SLOPE TENAGA KERJA
A	1.440.000	160.000
D	1.920.000	-
E	1.828.571	800.000
G	1.440.000	160.000
H	1.386.667	-
I	1.040.000	26.667
J	1.440.000	160.000
M	960.000	-80.000
N	1.280.000	-
X	1.120.000	-

Perhitungan *Cost Slope* penambahan tenaga kerja maupun jam kerja sebagai berikut.

$$CS = \frac{CC-NC}{ND-CD} \quad (15)$$

CC adalah *Crash Cost* (tenaga kerja/Jam kerja), NC adalah *Normal Cost*, ND adalah *Normal Duration*, CD adalah *Crash Duration*

Total biaya upah perkerja normal untuk menyelesaikan pekerjaan yang terdapat pada lintasan kritis pada proyek pembangunan lambung kapal wisata *glass bottom* trimaran Rp 112.800.000,00. Terjadi penambahan biaya yang cukup besar untuk mempercepat durasi proyek dengan menggunakan penambahan jam kerja/lembur yaitu sebesar Rp 60.000.000,00 atau bertambah sebesar 53,19% dengan biaya awal proyek, sedangkan mempercepat durasi proyek dengan menggunakan penambahan tenaga kerja menambah biaya yaitu sebesar Rp 4.960.000,00 atau sebesar 4,39% dari biaya pada rencana awal proyek pembangunan lambung kapal wisata *glass bottom* trimaran.

Percepatan proyek dengan penambahan jam kerja menghasilkan 7 hari atau 6,25% waktu lebih cepat dari rencana awal tetapi tidak sepadan dengan penambahan biaya tenaga kerja yang mencapai 53,19% dari rencana biaya awal proyek, sedangkan dengan penambahan tenaga kerja

percepatan proyek menghasilkan 3 hari atau 2,67% lebih cepat dari rencana awal dengan penambahan biaya upah tenaga kerja yang sepadan yaitu sebesar 4,39% dari biaya awal proyek.

Penambahan biaya 4,39% untuk mempercepat durasi lebih optimal karena lebih kecil dari 10% yang merupakan estimasi biaya tidak langsung.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan pada penelitian proyek pembangunan konstruksi *hull* kapal wisata *glass bottom* trimaran pada saat *crashing* menggunakan metode *Precedence Diagram Method (PDM)*, *network diagram* mempunyai 10 kegiatan kritis dari 24 kegiatan. Alternatif percepatan yang digunakan ada dua yaitu penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja (lembur). Dengan waktu normal 112 hari setelah *crashing* dengan menambah tenaga kerja durasi pekerjaan kritis didapatkan percepatan sebesar 2,67% atau 3 hari dari waktu normal dengan penambahan biaya tenaga kerja sebesar 4,39% dari rencana awal, Sedangkan dengan menambah durasi jam kerja 4 jam/hari pada pekerjaan kritis didapatkan percepatan sebesar 6,25% atau 7 hari dari durasi normal dan penambahan biaya dengan penambahan jam lembur sebesar 53,19% dengan metode *Project Evaluation and Review Technique (PERT)* diperoleh probabilitas keberhasilan proyek dapat selesai dalam percepatan 7 hari yaitu 89,07%. Berdasarkan hasil di atas dapat disimpulkan bahwa penambahan tenaga kerja lebih menguntungkan dibandingkan dengan penambahan jam kerja/lembur pada kegiatan proyek pembangunan konstruksi *hull* kapal wisata *glass bottom* trimaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Danyanti, "Optimalisasi Pelaksanaan Proyek Dengan Metode *PERT*, Dan *CPM*," *Jurnal Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, p. 58, 2018.
- [2] A. H. Muhammad, "Optimasi Pelaksanaan Proyek Konstruksi Dengan Metode *PERT* Dan *CPM*," *Jurnal Ecosystem*, vol. 17, p. 698-709, 2018.
- [3] M. Irvan, "Perencanaan Penjadwalan Waktu Dengan Metode *PDM (Precedence Diagram Method)* Studi Kasus: Pembangunan Jembatan Desa Rantau Limau Manis, Kecamatan Tabir Ilir, Kabupaten Merangin, Provinsi Jambi," *Jurnal Teknik Sipil*, p. 67, 2021.

- [4] A. Nurhidayat, B. Arianto, and W. T. Bhirawa, "Optimalisasi Pembangunan Proyek Apartemen Sgc Cibubur Dengan Menggunakan *Metode Precedence Diagram Method (PDM)*," *Jurnal Tek. Industri*, p. 30, 2021
- [5] I. Soeharto, *Manajemen Proyek Konstruksi Jilid 1 Edisi Kedua*. 1997
- [6] H. A. Rani, *Manajemen Proyek Konstruksi*, Yogyakarta. 1996.
- [7] L. Widiyanti, "Manajemen Konstruksi." 2013
- [8] L. A. Kalangi, R. J. M. Mandagi, and D. R. O. Walangitan, "Penerapan *Precedence Diagram Method* dalam Konstruksi Bangunan (Studi Kasus : Gedung Gmim Syaloom di Karombasan)," *J. Sipil Statik*, vol. 3, no. 1, pp. 49–57, 2016
- [9] A. Oktavia, "Optimasi Waktu Proyek Dengan Penambahan Jam Kerja Menggunakan *Precedence Diagram Method* Pada Proyek Rehabilitasi Puskesmas Minanga," *J. Sipil Statik*, vol. 7, no. 9, 2019.
- [10] D. Yasri, "Optimalisasi Waktu Proyek Dengan Penambahan Jam kerja dengan *Precedence Diagram Method* (Studi Kasus Proyek Rumah Susun Sederhana Sewa Pekanbaru)," *STT Pekanbaru*, p. 119-130, 2015
- [11] A. C. Armela, W. Amiruddin, and E. S. Hadi, "Implementasi *Project Evaluation and Review Technique (PERT)*," *Jurnal Tek. Perkapalan*, vol. 10, no. 2, pp. 68–76, 2022.
- [12] Suherman, "Analisa Penjadwalan Proyek Menggunakan *PDM* dan *PERT* Serta *Crash Project* (Studi kasus: Pembangunan Gedung Main Power House PT. Adhi Karya)," *J. Tek. Industri*, vol. 2, p. 31, 2016.
- [13] I. A. M. Yoni, I. P. D. Warsika, and I. G. K. Sudipta, "Perbandingan Penambahan Waktu Kerja (Jam Lembur) Dengan Penambahan Tenaga Kerja Terhadap Biaya Pelaksanaan Proyek Dengan Metode *Time Cost Trade Off* (Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Instalasi Farmasi Blahkiuh)," *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 17, no. 2, 2013.