



ISSN 2338-0322

JURNAL TEKNIK PERKAPALAN

Jurnal Hasil Karya Ilmiah Lulusan S1 Teknik Perkapalan Universitas Diponegoro

Analisa Shop Level Planning dengan Precedence Diagram Method pada Dua Unit Reparasi Kapal

Evi Aisah Hasibuan¹⁾, Imam Pujo Mulyatno²⁾, Wilma Amiruddin³⁾

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 : eviaisahhasibuan@students.undip.ac.id, imampujomulyatno@lecturer.undip.ac.id,
wilmaamiruddin@lecturer.undip.ac.id

Abstrak

Analisa shop level planning diperlukan untuk mengetahui tingkat produktivitas pada setiap bengkel berdasarkan repair list, urutan pekerjaan dan dihitung berdasarkan jalur kritis. Penelitian ini bertujuan untuk menggabungkan dua repair list pada kapal X dan kapal Y sehingga diperoleh penjadwalan baru dengan alternatif penambahan waktu kerja dan tenaga kerja menggunakan shop level planning dan precedence diagram method dengan mempertimbangkan keadaan fasilitas, peralatan galangan. Hasil analisis penelitian ini menghasilkan 18 lintasan kritis dan memperoleh percepatan durasi proyek lebih optimal dengan alternatif penambahan jam kerja selama 4 jam dan penambahan tenaga kerja dengan persentase 30%, mengakibatkan penambahan tenaga kerja 44 orang atau 30%, lebih banyak dari tenaga kerja awal dan pada kedua alternatif ini menghasilkan durasi dibawah normal yaitu dari 28 hari menjadi 13 hari atau sebesar 54%, lebih cepat dari durasi normal dengan produktivitas 403,79 kg/ hari, dan dihasilkan analisa nilai berupa produktivitas disetiap bengkel yaitu bengkel replating menghasilkan produktivitas sebesar 101,53 kg/ hari orang, bengkel sandblasting dan pengecatan menghasilkan produktivitas sebesar 131,99 m²/hari orang, sedangkan bengkel perpipaan menghasilkan produktivitas sebesar 68,14 kg / hari orang. Berdasarkan hasil perhitungan utilitas galangan sudah mencukupi dengan kebutuhan galangan yaitu trafo las SMAW 105 kg/unit hari, trafo las GTAW 4,037 kg/ unit hari, mesin NC cutting 2632 kg/unit hari, mesin bending pipa 554 kg/unit hari, mesin pemotong 2148 kg/unit hari, pompa cat 478 m²/unit hari, compressor sandblasting 717 m²/unit hari.

Kata Kunci : Shop Level Planning, Precedence Diagram Method, Crashing Duration

1. PENDAHULUAN

Galangan kapal sebagai suatu tempat khusus yang dilengkapi dengan fasilitas yang menunjang proses pembuatan, perbaikan, dan perawatan kapal. Perbaikan dan perawatan kapal dapat dilakukan dengan sesuai waktu yang ditentukan agar kapal tersebut dapat mempertahankan kondisi kapal yang baik dan dapat beroperasi dan tidak ada hambatan untuk berlayar. Sebelum kegiatan perbaikan kapal dari pihak galangan akan membuat *schedule* yang nantinya akan dipergunakan dalam waktu reparasi kapal sehingga di suatu proyek reparasi kapal tidak mengalami keterlambatan proyek dan diselesaikan tepat

waktu dan mengelola proyek mulai dari perencanaan, penjadwalan dengan pengendalian dari proyek tersebut [1].

Merujuk penelitian terdahulu, bahwa metode CPM menghasilkan durasi selama 178 hari, sedangkan metode PDM menghasilkan durasi selama 141 hari dan metode PERT menghasilkan durasi selama Penerapan penelitian *precedence diagram method* (PDM) perkembangan proyek konstruksi menunjukkan durasi proyek yang efektif [2]. Penelitian berjudul *precedence diagram method case study : surabaya's city outer east ring road construction project* (segment 1) proyek akan berdampak pada peningkatan efisiensi waktu yang telah sebelumnya

direncanakan dari 180 hari kerja menjadi 175 hari kerja dengan menggunakan metode *crashing project* [3]. Penelitian pembangunan kapal wisata glass bottom trimaran pada konstruksi hull dengan *precedence diagram method* (PDM) dan metode *project evaluation review technique* (PERT) menghasilkan 112 hari dan untuk *network diagram* memiliki 10 kegiatan pada lintasan kritis menjadi 105 hari untuk probabilitas keberhasilan dalam 105 hari yaitu 89,07% dan penambahan biaya jam lembur sebesar 53,19 % dan penambahan tenaga kerja di dapatkan durasi 3 hari atau 2,67% dari waktu perencanaan awal dan penambahan biaya bertambah 4,39% [4]. Penelitian tentang analisa perbandingan metode CPM (*critical path method*), PDM (*precedence diagram method*), dan PERT (*project evaluation and review technique*). Terdapat tiga penjadwalan, yaitu penjadwalan A, penjadwalan B, dan Penjadwalan C yang diterapkan pada masing-masing metode. Didapatkan hasil dari penjadwalan menggunakan metode CPM pada penjadwalan A 48 hari, penjadwalan B 33 hari, dan penjadwalan C 21 hari. Hasil metode PDM pada penjadwalan A 48 hari, penjadwalan B 33 hari, dan penjadwalan C 21 hari sama seperti metode CPM. Sedangkan hasil dari metode PERT pada penjadwalan A 48 hari, penjadwalan B 34 hari 5 jam 1 menit, dan penjadwalan C 22 hari 5 jam 21 menit [5]. Penelitian tentang analisis penjadwalan proyek *docking intermediate survey* pada kapal tunda x dilakukan perbandingan antara *critical path method* (CPM) dan *precedence diagram method* (PDM). Diperoleh hasil durasi pekerjaan 33 hari dengan menggunakan CPM, sedangkan menggunakan metode PDM didapatkan durasi selama 24 hari [6]. Penerapan penelitian *precedence diagram method* (PDM) perkembangan proyek konstruksi menunjukkan durasi proyek yang optimal adalah 100 hari dengan efisiensi waktu selama 20 hari atau sebesar 16,67% dan total biaya sebesar Rp13.060.754.232,00 dengan efisiensi biaya sebesar Rp528.158.094,00 [7]. Penelitian analisa *network diagram planning* reparasi kapal KM.Tonase Line sebelum pengoptimalan durasi waktu dalam pengerjaan membutuhkan waktu 30 hari dan setelah melakukan analisa menggunakan *critical path method* didapatkan penyelesaian selama 22 hari [1]. Penelitian *the cost obtained by applying precedence diagram method toward the time optimization on building development projects* menunjukkan bahwa kemajuan proyek berpengaruh terhadap biaya dan waktu dengan

adanya *precedence diagram method* menghasilkan durasi yang paling optimal 120 hari dari durasi normal [8].

Berdasarkan tujuan penelitian akan menganalisa dengan menggabungkan dua *repair list* kapal X dan kapal Y dengan penerapan *shop level planning* dan *precedence diagram method* mendapatkan jalur kritis dengan dengan bantuan *microsoft project* dan menambahkan variasi waktu kerja dan tenaga kerja dan mempertimbangkan peralatan dan fasilitas yang dimiliki galangan, serta mendapatkan nilai produktivitas tenaga kerja disetiap bengkelnya dengan mendapatkan durasi yang optimal.

2. METODE

2.1 Objek Penelitian

Objek penelitian yang digunakan pada penyusunan tugas akhir ini yaitu *main schedule* dan *repair list* proyek reparasi kapal X dan kapal Y yang ada di galangan Semarang.

Tabel 1. Ukuran Utama Kapal X dan Kapal Y

Dimensi	Kapal X	Kapal Y
LOA (m)	96,96	85,92
LPP (m)	89,28	78
Breadth (m)	15,50	15
DRAFT(m)	8,36	4,32
GT (ton)	4300	2111

Keterangan :

LOA (*Length Over All*) : Panjang keseluruhan pada kapal yang dihitung dari ujung Haluan sampai ujung buritan kapal,

LPP (*Length Between Perpendicular*) : Jarak mendatar antara garis tegak Haluan sampai dengan garis tegak buritan yang diukur pada garis muatan penuh,

Breadth : Lebar kapal yang diukur pada sisi dalam plat ditengah kapal,

Draft : Sarat air kapal atau jarak vertical antara garis air sampai dengan lunas kapal.

2.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data yang diperlukan pada penelitian tugas ini dapat berupa Ukuran utama kapal, *main schedule* kapal serta *repair list*, tenaga kerja dan alat peralatan yang ada di galangan semarang. Data pendukung yang diperlukan dalam penelitian dapat berupa jurnal, buku, internet, dan penelitian sebelumnya.

2.3 Pengolahan Data

Pengolahan analisa data yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini yaitu melakukan analisa *main schedule* beserta *repair listnya* dan tenaga kerja dengan pengolahan data dengan bantuan *microsoft project* dan mengelompokkan data setiap pekerjaan sesuai *work breakdown structure* (WBS), selanjutnya menentukan *predecessor* di setiap pekerjaan dan dapat Menyusun *network diagram* sehingga dapat menganalisis perhitungan maju yang berupa *earliest start* (waktu paling awal) dan *earliest finish* (waktu paling awal selesai) dan perhitungan mundur dapat berupa *late start* (waktu mulai paling lambat) dan *late finish* (waktu paling lambat selesai), dapat menentukan jalur kritis atau total float dengan menggunakan *precedence diagram method* dengan catatan total float = 0, selanjutnya menganalisis produktivitas pada pekerjaan yang ada pada jalur kritis dengan alternatif penambahan waktu kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja, sehingga dapat diolah dengan perhitungan *crashing duration* agar tidak mengalami keterlambatan proyek dan mempertimbangkan keadaan fasilitas dan alat peralatan setelah adanya penambahan tenaga kerja serta memperhitungkan nilai produktivitas setiap bengkel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan pengumpulan data dan analisis hasil penelitian, didapatkan hasil sebagai berikut:

3.1 Analisis Repair List

Analisis *repair list* dalam setiap pekerjaan kapal X dan kapal Y dapat dilakukan dengan sesuai pekerjaan agar suatu proyek reparasi kapal ini berjalan dengan waktu yang ditentukan.

Berdasarkan penelitian ini, melakukan penyusunan dua *repair list* kapal di setiap pekerjaan dengan bantuan *microsoft project* dengan mengelompokkan ke dalam pekerjaan *work breakdown structure* (WBS), setelah itu menentukan *predecessor* dan *successor* berbentuk *gant chart* sehingga mendapatkan jalur kritis, yang mana *predecessor* adalah kegiatan yang harus diselesaikan sebelum kegiatan yang lain dimulai, sedangkan *successor* adalah kegiatan yang akan dimulai setelah aktivitas kegiatannya selesai sehingga keduanya saling berhubungan dimana *predecessor* tugas yang harus diselesaikan sebelum *successor* dapat dimulai. Hubungan antara kegiatan dinyatakan dengan *finish to start* (FS), *start to*

finish (SF), *start to start* (SS), dan *finish to finish* (FF) [9].

3.2 Analisis Network Diagram dan Lintasan Kritis

Berdasarkan *network Diagram* dapat dilihat dari nilai ES, EF, LS dan LF yang dianalisis dengan menggunakan *precedence diagram method* dengan bantuan *microsoft project* dan jaringan *network diagram* ini dapat Menyusun urutan pekerjaan sehingga menggambarkan hubungan antara kegiatan dan waktu durasi, setelah itu didapatkan jalur kritis serta tidak memiliki penundaan waktu sehingga pekerjaan tersebut tidak mengakibatkan keterlambatan proyek reparasi pada kapal X dan kapal Y.

Hasil perhitungan pada *network diagram* tersebut, diperoleh 18 pekerjaan pada lintasan kritis terdapat pada tabel 2.

Tabel 2. Pekerjaan pada Lintasan Kritis

ID	Nama Pekerjaan	ES	EF	LS	LF	TF
A1	Replating pada lantai <i>cardeck</i>	0	18	0	18	0
A2	Ganti baru pipa bilga kamar mesin	0	18	0	18	0
B1	Kapal <i>docking</i>	18	25	18	25	0
B14	Jangkar kiri kanan berikut rantainya diturunkan, direntangkan, dibersihkan	18	25	18	25	0
B17	Pengecatan <i>bottom + bottop</i>	18	25	18	25	0
B19	Pengecatan haluan dan buritan	18	24	18	24	0
B20	Pengecatan <i>draft dan plimsol mark</i>	23	25	23	25	0
C1	Replating pada tangga buritan <i>deck</i>	10	13	10	13	0
C2	Ganti baru pipa bilga <i>cardeck</i>	11	19	11	19	0
C3	Undocking	25	28	25	28	0
D1	Kapal <i>docking</i>	27	28	27	28	0
D6	Sandblasting sisi luar <i>ramp door</i>	10	13	10	13	0
D7	Replating kulit lambung bga	11	19	11	19	0
D16	Pengecatan <i>bottom + bottop</i>	11	17	11	17	0
D20	Undocking	17	18	17	18	0
E1	Replating <i>cardeck</i> pada penutup engsel <i>ramdoor</i>	18	28	18	28	0

E2	Pekerjaan pipa pada mesin bantu	18	28	18	28	0
E3	Sea Trial	27	28	27	28	0

D20	1	1 Ls	1
E1	10	124.350,00 kg	12435
E2	10	173,39 kg	17,34
E3	1	1 Ls	1

Selanjutnya, dari 18 pekerjaan yang berada pada lintasan kritis akan dianalisis menggunakan *Precedence diagram method* untuk percepatan durasi pengerjaan proyek.

3.3 Perhitungan Produktivitas Harian

Produktivitas harian ini sebagai hubungan antara *input* dan *ouput* suatu sistem produksi umumnya produktivitas ini hubungannya lebih dinyatakan sebagai rasio dari apa yang dihasilkan (*output*) terhadap keseluruhan sumber daya yang digunakan (*input*) secara sederhana maka produktivitas ini menjadi salah satu faktor yang mempengaruhi kinerja sebuah galangan. Berikut persamaan yang digunakan dalam perhitungan produktivitas harian normal [10] [11].

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

Keterangan:

- PHN = Produktivitas Harian Normal
- VP = Volume Produktivitas
- DP = Durasi Produktivitas

Berikut contoh perhitungan harian normal pada pekerjaan *repalting cardeck* pada penutup *engsel ramdoor* sebagai berikut:

- VP = 124.350 kg
- DP = 10 hari

$$\begin{aligned} PHN &= \frac{VP}{DP} \\ &= \frac{124.350}{10} \\ &= 12435 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Hasil produktivitas harian normal untuk masing-masing pekerjaan pada lintasan kritis terdapat pada tabel 3.

Tabel 3. Produktivitas Harian Normal

ID	DP(hari)	VP kg	PHN kg/hari
A1	18	5.591,00 kg	310,61
A2	18	2010,21kg	111,68
B1	7	1 Ls	1
B14	7	2 Unit	0,29
B17	7	1428 m ²	204
B19	6	108 m ²	18
B20	2	1 Ls	0,5
C1	3	88 kg	29,33
C2	3	50,79 kg	16,93
C3	1	1 Ls	1
D1	8	1 Ls	1
D6	3	74 m ²	24,67
D7	8	2.281,86 kg	285,23
D16	6	1255 m ²	209,17

Berdasarkan hasil perhitungan pada tabel 3, diperoleh produktivitas normal setiap kegiatan yang terdapat pada lintasan kritis.

3.4 Alternatif Percepatan

Alternatif percepatan durasi ini dilakukan dengan menggunakan alternatif penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja sehingga dapat mempercepat durasi proyek yang optimal sehingga tidak terjadi keterlambatan pada proyek reparasi kapal.

3.4.1 Penambahan waktu kerja (Lembur)

Alternatif Pada Penambahan jam kerja dapat dilakukan pada lintasan kritis dimana penelitian ini menggunakan variasi penambahan jam kerja selama 1 hingga 4 jam . Proyek reparasi kapal ini memiliki waktu kerja normal selama 8 jam dimana perharinya jam (08.00-17.00) dengan waktu istirahat sealama 1 jam dari jam (12.00 -13.00). Berdasarkan produktivitas penambahan waktu jam kerja (lembur) dapat dilakukan dengan digabungkan pada produktivitas harian normal dan produktivitas jam lembur [11]. Persamaan produktivitas setelah percepatan yaitu

$$e = a + (b \times c \times d) \quad (2)$$

Keterangan :

- e = Produktivitas Baru Penambahan Waktu Kerja
- a = Produktivitas Harian Normal
- b = Produktivitas Per Waktu Normal
- c = Koefisien Produktivitas
- d = Durasi Jam Lembur

Berikut contoh perhitungan produktivitas setelah penambahan waktu kerja (lembur) pada pekerjaan *replating* lantai *cardeck* :

$$\begin{aligned} a &= 311 \text{ kg/hari} & c &= 0.6 \\ b &= 38,83 \text{ kg/jam} & DJL &= 4 \text{ jam} \\ e &= a + (b \times c \times d) \\ &= 311 + (38,83 \times 0,6 \times 4) \\ &= 403,79 \text{ kg/hari} \end{aligned}$$

Tabel 4. Perhitungan Produktivitas Sesudah Dilakukan Penambahan Waktu Kerja (Lembur) pada Lintasan Kritis

ID	a	e1	e2	e3	e4
A1	311	345,55	372,73	392,15	403,79
A2	111,7	125,64	134,02	141	145,18
B1	0,1	0,16	0,17	0,18	0,18
B14	0,3	0,32	0,35	0,37	0,38
B17	204	226,95	244,80	257,55	260,20
B19	18	20,03	21,60	22,73	23,40
B20	0,5	0,56	0,60	0,63	0,65
C1	29,33	32,63	35,20	37,03	38,13
C2	16,9	18,83	20,32	21,37	22,01
C3	1	1,11	1,20	1,26	1,30
D1	0,13	0,14	0,16	0,16	0,17
D6	24,7	27,45	29,60	31,15	31,07
D7	285,2	317,32	342,28	360,10	370,80
D16	209,2	232,70	251	264,08	271,92
D20	1	1,11	1,20	1,26	1,30
E1	12435	13834	14922	15699	16166
E2	12,34	19,29	20,81	21,89	22,54
E3	1	1,11	1,2	1,263	1,30

Keterangan:

- a = Produktivitas Per Jam Normal
- e 1 = Produktivitas Penambahan waktu kerja selama 1 jam
- e 2 = Produktivitas Penambahan waktu kerja selama 2 jam
- e 3 = Produktivitas Penambahan waktu kerja selama 3 jam
- e 4 = Produktivitas Penambahan waktu kerja selama 4 jam

Penambahan waktu kerja dapat menyebabkan penurunan produktivitas, dalam penambahan 1 jam kerja produktivitas menjadi 90%, penambahan 2 jam kerja nilai produktivitas sebesar 80%, pada penambahan 3 jam kerja nilai produktivitas 70%, dan penambahan 4 jam kerja mengalami penurunan 60%, sehingga didapatkan hasil perhitungan dari pekerjaan *replating* lantai *cardeck* dengan hasil 403,79 kg/hari.

3.4.2 Penambahan Tenaga Kerja

Penambahan tenaga kerja pada proyek reparasi kapal menggunakan asumsi penambahan tenaga kerja berdasarkan produktivitas harian akibat adanya penambahan waktu kerja (Lembur) selama 1 jam, 2 jam, 3 jam dan 4 jam per hari, dengan melibatkan lebih banyak tenaga kerja sehingga proyek reparasi kapal ini dapat diselesaikan dengan tepat waktu. Persamaan untuk menghitung peningkatan produktivitas sesudah penambahan waktu kerja [11], sebagai berikut:

$$d = \frac{(d - a)}{a} \times 100\% \quad (3)$$

Keterangan :

- d = Peningkatan Produktivitas Setelah Penambahan waktu kerja
- c = Produktivitas Penambahan waktu kerja
- a = Produktivitas Harian Normal
- b = Tenaga Kerja Normal
- e = Tenaga Kerja Percepatan

Berikut contoh perhitungan peningkatan produktivitas sesudah penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam pada pekerjaan *Replating Lantai Cardeck* :

- a = 311 kg/hari
- d = 403,79 kg/hari

$$d = \frac{(d - a)}{a} \times 100\%$$

$$= \frac{(403,79 - 311)}{311} \times 100\%$$

$$= 30\%$$

$$b = 10 \text{ orang}$$

Penambahan tenaga kerja percepatan dapat dihitung dengan persamaan berikut:

$$e = d \times b(\text{orang}) \quad (4)$$

Berikut contoh perhitungan penambahan tenaga kerja percepatan setelah peningkatan produktivitas penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam per hari pada pekerjaan *replating* lantai *cardeck*

$$e = 30\% \times b$$

$$= 30\% \times 10$$

$$= 13 \text{ orang}$$

Tabel 5. Penambahan Tenaga Kerja Dengan Peningkatan Produktivitas Harian Normal, Penambahan waktu kerja, dan Tenaga Kerja Percepatan pada Lintasan Kritis

ID	b	e1 11 %	e2 20 %	e3 26%	e4 30%
A1	10	11	12	13	13
A2	10	11	12	13	13
B1	10	11	12	13	13
B14	10	11	12	13	13
B17	6	7	7	8	8
B19	3	3	4	4	4
B20	8	9	10	10	10
C1	10	11	12	13	13
C2	8	9	10	10	10
C3	10	11	12	13	13
D1	10	11	12	13	13
D6	6	7	7	8	8
D7	6	7	7	8	8
D16	4	4	5	5	5
D20	10	11	12	13	13
E1	8	9	10	10	10

E2	8	9	10	10	10
E3	8	9	10	10	10

Keterangan :

- b = Tenaga Kerja Normal
- e 1 11% = Penambahan Tenaga Kerja Persentase 11%
- e 2 20% = Penambahan Tenaga Kerja Persentase 20%
- e 3 26% = Penambahan Tenaga Kerja Persentase 26%
- e 4 30% = Penambahan Tenaga Kerja Persentase 30%

Berdasarkan tabel 5 pada perhitungan percepatan tenaga kerja dengan peningkatan pada produktivitas waktu kerja sebesar 11% yaitu 16 orang, peningkatan produktivitas 20% sebesar 29 orang, peningkatan 26% sebesar 38 orang dan peningkatan produktivitas 30% sebesar 44 orang.

Produktivitas setelah penambahan tenaga kerja dihitung berdasarkan persamaan berikut:

$$d = a + \frac{(a \times c)}{b} \quad (5)$$

Keterangan:

- a : Produktivitas Harian Normal
- b : Tenaga Kerja Normal (Orang)
- c : Tenaga Kerja Percepat (Orang)
- d : Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja

Berikut contoh perhitungan penambahan tenaga kerja percepatan setelah dilakukan peningkatan produktivitas penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam perhari pada pekerjaan replating lantai cardeck

- a = 311 kg/hari
- b = 15 orang
- c = 20 orang

Besar nilai produktivitas sesudah penambahan tenaga kerja pada setiap pekerjaan untuk lintasan kritis dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 6. Perhitungan Produktivitas Sesudah Penambahan Tenaga Kerja pada Lintasan Kritis

ID	a	d1 11%	d2 20%	d3 26%	d4 30%
A1	311	344,78	372,73	391,37	403,79
A2	111,7	119,26	125,10	129,32	131,82
B1	0,1	0,15	0,16	0,16	0,17
B14	0,3	0,30	0,31	0,32	0,32
B17	204	241,40	272,00	292,40	306,00
B19	18	23,40	27,60	30,60	32,40
B20	0,5	0,56	0,60	0,63	0,65
C1	29,3	31,91	34,02	35,43	36,37
C2	16,9	50,96	78,17	96,78	108,79

C3	1	1,00	1,00	1,00	1,00
D1	0,13	0,13	0,13	0,13	0,13
D6	24,7	24,67	24,67	24,67	24,67
D7	285	285,23	285,23	285,23	285,23
D16	209,	209,17	209,17	209,17	209,17
D20	1	1,00	1,00	1,00	1,00
E1	12435	124325	124325	124325	12435
E2	12,34	22,54	22,54	22,54	22,54
E3	1	1,00	1,00	1,00	1,00

Keterangan :

- a = Produktivitas Harian Normal
- d1 11% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 11%
- d2 20% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 20%
- d3 26% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 26%
- d4 30% = Produktivitas Penambahan Tenaga Kerja Persentase 30%

Berdasarkan pada nilai penambahan tenaga kerja terhadap lintasan kritis dapat dilihat tabel diatas dengan durasi yang optimal yaitu 30%, contohnya produktivitas pada pekerjaan replating lantai cardeck 403,79 kg/ hari.

3.5 Crashing Duration

Waktu pekerjaan yang dapat dipersingkat dan biasanya percepatan ini didapatkan dari jalur kritis yang disebut *Crashing Duration*, Selanjutnya percepatan dilakukan pada pekerjaan yang berada dalam jalur kritis sehingga mengalami peningkatan produktivitas, dan dapat mempersingkat durasi sebelumnya. Persamaan untuk menghitung besarnya nilai *crashing duration* [11], sebagai berikut:

$$cd = \frac{a}{c} \quad (6)$$

Keterangan:

- cd = *Crashing Duration*
- a = Volume Pekerjaan
- c = Produktivitas Percepatan

3.5.1 Crashing Duration Setelah Penambahan waktu kerja (Lembur)

Berikut contoh perhitungan *crashing duration* pada salah satu pekerjaan pada bagian yaitu pada pekerjaan replating lantai cadeck:

Keterangan:

- a = 5.591 kg
- c = 403,79/hari

$$cd = \frac{a}{c}$$

$$= \frac{5.591}{403,79}$$

$$= 14 \text{ hari}$$

Berikut adalah tabel perhitungan *crashing duration* dari penambahan waktu kerja selama 1, 2, 3, dan 4 jam kerja terdapat pada tabel 7.

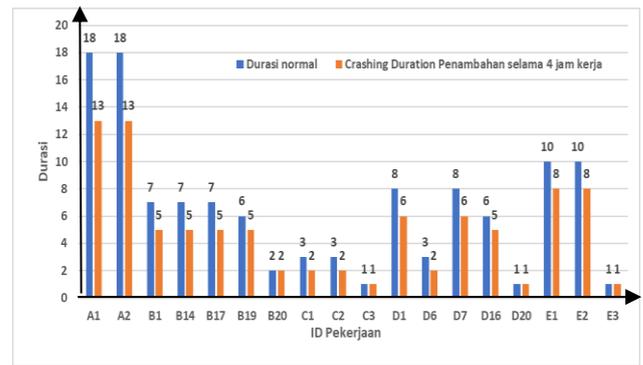
Tabel 7. Perhitungan *Crashing Duration* Variasi Penambahan Waktu Kerja Pada Lintasan Kritis

ID	a	cd 1	cd 2	cd 3	cd 4
A1	5,591	16	15	14	13
A2	2010,21	16	15	14	13
B1	1	6	6	6	5
B14	2	6	6	5	5
B17	1428	6	6	6	5
B19	108	5	5	5	5
B20	1	2	2	2	2
C1	88	3	3	2	2
C2	50,79	3	3	2	2
C3	1	1	1	1	1
D1	1	6	6	6	6
D6	74	2	2	2	2
D7	2,281,9	7	7	6	6
D16	1255	5	5	5	5
D20	1	1	1	1	1
E1	124.345	8	8	8	8
E2	173,39	8	8	8	8
E3	1	1	1	1	1

Keterangan:

- cd 1 = *Crashing Duration* Lembur 1 Jam
- cd 2 = *Crashing Duration* Lembur 2 Jam
- cd 3 = *Crashing Duration* Lembur 3 Jam
- cd 4 = *Crashing Duration* Lembur 4 Jam

Berdasarkan perhitungan waktu jam kerja yang ada pada 18 lintasan kritis sebelumnya waktu durasi yaitu 28 hari, setelah dilakukan *crashing duration* dengan penambahan waktu kerja selama 1 jam akan menghasilkan 16 hari dari durasi durasi normal atau sebesar 43%, dengan penambahan waktu kerja selama 2 jam menghasilkan percepatan durasi 15 hari dari durasi normal atau sebesar 46%, dan penambahan waktu kerja selama 3 jam menghasilkan percepatan durasi 14 hari dari durasi sebelumnya atau sebesar 50%, dan penambahan waktu kerja 4 jam yaitu 13 hari atau sebesar 54 % dari durasi sebelumnya. Berdasarkan hasil perhitungan *crashing duration* menunjukkan bahwa durasi yang optimal yaitu pada penambahan waktu jam kerja selama 4 jam dengan durasi 13 hari atau 54% lebih cepat dari durasi sebelumnya yang ada pada jalur kritis. Berikut gambar 1 yang menunjukkan *crashing duration* penambahan waktu jam kerja.



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

3.5.2 *Crashing Duration* Setelah Penambahan Tenaga Kerja

Berikut contoh perhitungan *crashing duration* pada pekerjaan *replating* lantai *cardeck*:

Keterangan:

- a = 5.591 kg
- c = 403.79 /hari

Berikut adalah tabel perhitungan *crashing duration* dari penambahan tenaga kerja sebesar 11%, 20%, 26% dan 30%, terdapat pada tabel 8.

Tabel 8. Perhitungan *Crashing Duration* Alternatif Penambahan Tenaga Kerja Pada Lintasan Kritis

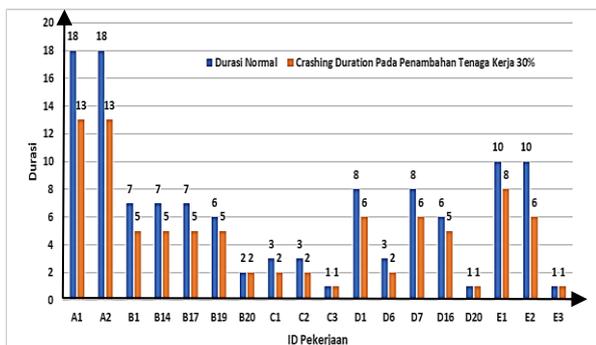
ID	a	cd 1	cd 2	cd 3	cd 4
A1	5,591	16	15	14	13
A2	2010,21	16	15	14	13
B1	1	6	6	6	5
B14	2	6	6	5	5
B17	1428	6	6	6	5
B19	108	5	5	5	5
B20	1	2	2	2	2
C1	88	3	3	2	2
C2	50,79	3	3	2	2
C3	1	1	1	1	1
D1	1	6	6	6	6
D6	74	2	2	2	2
D7	2,281,9	7	7	6	6
D16	1255	5	5	5	5
D20	1	1	1	1	1
E1	124.345	8	8	8	8
E2	173,39	8	8	8	8
E3	1	1	1	1	1

Keterangan:

- cd 11% = *Crashing Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 11%
- cd 20% = *Crashing Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 20%
- cd 26% = *Crashing Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 26%
- cd 30% = *Crashing Duration* Penambahan Tenaga Kerja Sebesar 30%

Berdasarkan perhitungan tenaga kerja yang ada pada 18 lintasan kritis sebelumnya dengan tenaga kerja normal yaitu 28 hari, setelah dilakukan *crashing duration* dengan penambahan tenaga kerja dengan persentase 11% menghasilkan sebesar 16 hari atau sebesar 43% dari tenaga kerja awal, penambahan tenaga kerja dengan persentase 20% menghasilkan 15 hari atau sebesar 46% dari tenaga kerja awal, penambahan tenaga kerja dengan persentase 26% atau sebesar 50% menghasilkan 14 hari dari tenaga kerja awal, dan penambahan tenaga kerja dengan persentase 30% menghasilkan 13 hari atau sebesar 54% dari tenaga kerja awal.

Berdasarkan hasil perhitungan didapatkan, durasi yang optimal dimana dengan persentase 30% yang menghasilkan 13% dari tenaga kerja awal. Berikut gambar 2 grafik hasil perhitungan *crashing duration* dari variasi penambahan tenaga kerja pada aktivitas yang berada pada jalur kritis.



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

3.6 Perhitungan Produktivitas Tingkat Bengkel (*Shop Level Planning*)

Perhitungan pada produktivitas ini diambil dari pengelompokkan pekerjaan setiap bengkel yang dianalisa dalam penelitian ini yang mana ada 3 bengkel yaitu bengkel *sandblasting* dan pengecatan, bengkel *replating*, bengkel perpipaan.

1. Bengkel *sandblasting* dan Pengecatan
Pekerjaan pada bengkel *sandblasting* dan pengecatan ini memiliki total volume pekerjaan 11035,1 m² dan memiliki total durasi 93 hari dan total tenaga kerja 88 orang.

$$PpMd = \frac{VT}{DT \times ISLTK}$$

$$PpMd = \frac{11035}{88 \times 0,95}$$

$$PpMd = 131,99 \text{ m}^2/\text{hari orang}$$

2. Bengkel *Replating*

Perhitungan pada bengkel *replating* ini memiliki volume total sebesar 8,250,20 dan durasi total sebesar 46 hari dan tenaga kerja sebesar 42 orang.

$$PpMd = \frac{VT}{DT \times ISLTK}$$

$$PpMd = \frac{8.250,20}{46 \times 0,91}$$

$$PpMd = 101,53 \text{ kg/hari orang}$$

3. Bengkel Perpipaan

Perhitungan pada bengkel perpipaan ini memiliki volume total 2601,76 kg dan memiliki durasi total 46 hari dan memiliki tenaga kerja 38 orang.

$$PpMd = \frac{2601,76}{46 \times 0,83}$$

$$PpMd = 68,14 \text{ kg/hariorang}$$

Keterangan :

PpMd : Produktivitas *Permandays*

VT : Volume Total

DT : Durasi Total.

Perhitungan produktivitas ini di setiap bengkel menunjukkan estimasi progress yang harus dicapai untuk setiap tenaga kerja setiap harinya.

Tabel 9. Perhitungan nilai produktivitas bengkel

No	Nama Bengkel	Produktivitas
1	Bengkel <i>sandblasting</i> dan pengecatan	131,99 m ² /hari orang
2	Bengkel <i>replating</i>	101,53 kg/hari orang
3	Bengkel perpipaan	68,14 kg / hari orang

3.7 Analisis Keadaan Peralatan dan Fasilitas Galangan Setelah Adanya Penambahan Tenaga Kerja.

Fasilitas merupakan segala bentuk sarana, ruang atau infrastruktur yang disediakan untuk mendukung sebagai aktivitas atau kegiatan dalam

suatu organisasi, instansi, atau proyek, fasilitas dapat berupa bangunan, peralatan, layanan dan sumber daya lainnya yang digunakan untuk memfasilitasi operasional dan penyelesaian tugas atau aktivitas dengan efisien dan efektif, fasilitas galangan yaitu sebuah kompleks industri yang diolah untuk menunjang untuk pembangunan, perbaikan dan pemeliharaan kapal, infrasturuktur pada alat peralatan, *graving dock* dan *floating dock*.

Tabel 10. Analisis Keadaan Peralatan dan Fasilitas Galangan Setelah Adanya Penambahan Tenaga Kerja

ID	JT	DP	DPL	JP
A1	13	Helper	Trafo las SMAW	75
		Welder	Travo las GTAW	2
		Cutter	Mesin NC cutting	3
A2	13	Helper	Mesin bending pipa	4
		Welder	Mesin pemotong trafo las SMAW	1
		Cutter	dan GTAW	77
		Qc	Pompa utama	5
B1	13	Umum	Graving dock	5
			Crane 150 Ton	1
		Produksi	Tower crane	1
			Gantry	8
B14	13	Qc	Crane, winch	8
		Umum	Windlass	
		Produksi	Pompa cat	6
B17	8	Painter	Pompa waterjet	4
		Umum	Pompa cat	6
B19	5	Painter	Compressor	6
		Umum	Pompa cat	6
B20	9	Painter	Compressor	6
		Umum	Pompa cat	6
C1	12	Helper	Trafo las SMAW	75
		Welder	Travo las GTAW	2
		Cutter	Mesin NC cutting	3
C2	11	Helper	Trafo las SMAW	75
		Welder	Travo las GTAW	2
		Cutter	Mesin NC cutting	3
C3	12	Qc	Pompa utama	5
		Umum	Graving Dock	5
		Produksi	Crane 150 Ton	1
			Tower crane	1
D1	13	Qc	Gantry Crane	8
		Umum	Pompa utama	5
			Graving Dock	5
			Crane 150 Ton	1

D6	9	Produksi	Trafo las SMAW	75
			Travo las GTAW	2
			Mesin NC cutting	3
D7	8	Helper	Trafo las SMAW	75
		Welder	Travo las GTAW	2
		Cutter	Mesin NC cutting	3
D16	5	Painter	Trafo las SMAW	75
		Umum	Travo las GTAW	2
		Qc	Mesin NC cutting	3
D20	13	Umum	Pompa cat	6
		Produksi	Compressor	6
			Pompa utama	5
E1	10	Umum	Graving Dock	5
		Produksi	Crane 150 Ton	1
			Tower crane	1
E2	10	Helper	Gantry crane	8
		Welder	Trafo las SMAW	75
		Cutter	Travo las GTAW	2
E2	10	Helper	Mesin NC cutting	3
		Welder	Mesin bending pipa	4
		Cutter	Mesin pemotong trafo las SMAW dan GTAW	77

Keterangan :

- ID : Kode Pekerjaan
- JT : Jumlah tenaga kerja
- DP : Daftar Pekerja
- DPL : Daftar Peralatan
- JP : Jumlah Peralatan yang tersedia

3.6.1 Perhitungan Utilitas Peralatan.

Perhitungan utilitas peralatan tiap bengkel untuk mengetahui pemakaian pada alat perharinya sehingga pembagian setiap pekerjaan di tiap bengkel dengan perhitungan volume pekerjaan serta dengan menggunakan jumlah tenaga kerja baru dan durasi optimal dari persentase penambahan tenaga kerja 30 %.

1. Bengkel Replating

a. Trafo las SMAW

$$\text{Indeks trafo las SMAW} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{75}{13} = 5,77 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas trafo las SMAW} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{7.872,66}{13 \times 5,36} = 105 \text{ kg/ unit hari}$$

b. Trafo las GTAW

$$\text{Indeks trafo las GTAW} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{2}{13} = 0,15 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas trafo las GTAW} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{7.872,66}{13 \times 0,14} = 4,037 \text{ kg/ unit hari}$$

c. Mesin NC cutting

$$\text{Indeks NC cutting} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{3}{13} = 0,23 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas NC cutting} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{7.872,66}{13 \times 0,21} = 2632 \text{ kg/ unit hari.}$$

2. Bengkel Perpipa

a. Mesing bending pipa

$$\text{Indeks mesin bending pipa} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{4}{13} = 0,31 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas mesin bending pipa} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2234,9}{13 \times 0,29} = 554 \text{ kg/ unit hari}$$

b. Mesin pemotong

$$\text{Indeks pemotong} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{1}{13} = 0,08 \text{ unit/hari}$$

$$\text{Utilitas pemotong} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2234,9}{13 \times 0,08} = 2280 \text{ kg/ unit hari.}$$

3. Bengkel sandblasting dan pengecatan

$$\text{a. Indeks pompa cat} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas pompa cat} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2866}{5 \times 1,2} = 478 \text{ m}^2/\text{ unit hari}$$

b. Compressor

$$\text{Indeks compressor} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas compressor} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2866}{5 \times 1,2} = 478 \text{ m}^2/\text{ unit hari}$$

c. Nozzle

$$\text{Indeks nozzle} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas nozzle} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2866}{5 \times 1,2} = 478 \text{ m}^2/\text{ unit hari}$$

d. Air Filter

$$\text{Indeks air filter} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas air filter} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2866}{5 \times 0,8} = 717 \text{ m}^2/\text{ unit hari}$$

e. Hoper pasir

$$\text{Indeks hoper pasir} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{6}{5} = 1,2 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas hoper pasir} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2866}{5 \times 1,2} = 478 \text{ m}^2/\text{ unit hari}$$

f. Kompresor sandblasting

$$\text{Indeks kompresor sandblasting} = \frac{\text{Jumlah Alat}}{\text{Total Durasi}} = \frac{4}{5} = 0,8 \text{ unit /hari}$$

$$\text{Utilitas kompresor sandblasting} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Total Durasi} \times \text{Indeks}} = \frac{2866}{5 \times 0,8} = 717 \text{ m}^2/\text{ unit hari}$$

3.7 Hasil Analisis

Hasil analisis penerapan *shop level planning* dengan *precedence diagram method* pada kapal X dan kapal Y memperoleh durasi yang lebih optimal dengan variasi penambahan tenaga kerja dan penambahan jam kerja (lembur) dengan mendapatkan 18 lintasan kritis yaitu perhitungan percepatan durasi pada penambahan waktu selama 1 jam sama dengan penambahan tenaga kerja 11% dengan menghasilkan penambahan tenaga kerja 16 orang dari tenaga kerja awal dan menjadi durasi 16 hari dari durasi normal yaitu 28 hari atau sebesar 43%, dengan penambahan waktu kerja selama 2 jam sama dengan penambahan tenaga kerja 20%, dengan menghasilkan penambahan tenaga kerja 29 orang dari tenaga kerja awal dan percepatan durasi menghasilkan 15 hari atau sebesar 46% ,dari 28 hari durasi normal, penambahan jam kerja selama 3 jam sama dengan penambahan tenaga kerja 26%, menghasilkan penambahan tenaga kerja 38 orang dari tenaga kerja awal dan menghasilkan *crashing duration* 14 hari atau sebesar 50%, dari durasi sebelumnya dan penambahan waktu kerja selama 4 jam sama dengan penambahan tenaga kerja 30%, menghasilkan penambahan tenaga kerja 44 orang dari tenaga kerja awal dari tenaga kerja

sebelumnya dan menghasilkan *crashing duration* 13 hari atau sebesar 54%, dari durasi yang sebelumnya dengan produktivitas 403,79 kg / hari pada pekerjaan *replating* lantai *cardeck*. Hasil analisis pada produktivitas di setiap bengkel yaitu bengkel *replating* menghasilkan produktivitas sebesar 101,53 kg/hari orang, bengkel *sandblasting* dan pengecatan menghasilkan produktivitas sebesar 131,99 m^2 /hari orang, sedangkan bengkel perpipaan menghasilkan produktivitas sebesar 68,14kg/hari orang. Nilai produktivitas tersebut dapat diketahui jumlah volume pekerjaan tenaga kerja yang dihitung dalam satuan hari atau perharinya. Hasil analisis yang dihasilkan pada perhitungan utilitas peralatan dengan penambahan tenaga kerja yang paling optimal yaitu 30%, penambahan tenaga kerja 44 orang sehingga dapat mempertimbangkan keadaan fasilitas dan peralatan galanga yaitu pada pekerjaan *replating* lantai *cardeck* melibatkan 13 tenaga kerja yang dibagi menjadi 1 grub subkontraktor dan operator untuk mengoperasikan *crane*, *forklift*, mesin bending dan lainnya dengan rincian 1 grub berisi 10 yang terdiri 4 *welder*, 4 *filter* dan 2 *helper*. Ketersediaan peralatan dan fasilitas sudah mencukupi setelah adanya penambahan tenaga kerja dan sudah mencukupi utilitas peralatan perhari dengan rincian : trafo las SMAW 105 kg/unit hari, trafo las GTAW 4,037 kg/unit hari, mesin NC *cutting* 2632 kg /unit hari, mesin bending pipa 551 kg/unit hari, mesin pemotong 2280 kg/buah hari, pompa cat 478 m^2 /unit hari, *compressor* 478 m^2 / unit hari, *nozzle* 478 m^2 /unit hari, *airfilter* 717 m^2 /unit hari, *hoper* pasir m^2 / unit hari, *compressor sandblasting* 717 m^2 /unit hari.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis pada penelitian proyek reparasi kapal X dan kapal Y menggunakan *shop level planning* dan *precedence diagram method* yang didapatkan 18 lintasan kritis, dari alternatif penambahan waktu kerja dan penambahan tenaga kerja mendapatkan durasi dibawah dari durasi normal atau durasi yang paling efektif adalah penambahan waktu kerja selama 4 jam dan penambahan tenaga kerja dengan penambahan waktu kerja (lembur) selama 4 jam dengan persentase 30%, didapatkan dari 44 orang dari tenaga kerja awal dan 13 hari dari durasi awal 28 hari atau 54%, lebih cepat dari durasi normal. Analisis di setiap bengkel yaitu bengkel *replating* menghasilkan produktivitas sebesar 101,53 kg/hari orang, bengkel *sandblasting* dan pengecatan menghasilkan produktivitas perhari sebesar 131,99 m^2 /hari orang, sedangkan bengkel perpipaan menghasilkan produktivitas perhari

sebesar 68,14 kg / hari orang dan Peralatan dan fasilitas galangan sudah mencukupi untuk mendukung percepatan proyek setelah adanya penambahan tenaga kerja.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] F. Iqbal, A. W. B. Santosa, and A. Trimulyono, "Reschedule Reparasi Kapal TB. Pancaran 811 Dan BG. Alikea 101 Dengan Shop Level Planning and Scheduling Menggunakan Metode Critical Chain Project Management (CCPM)," Tek. Perkapalan, vol. 7, no. 2, pp. 152–160, 2019.
- [2] S. Romadhona, F. Kurniawan, and J. Tistogondo, "Project Scheduling Analysis Using the Precedence Diagram Method (PDM) Case Study: Surabaya's City Outer East Ring Road Construction Project (Segment 1)," Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol., vol. 1, no. 2, pp. 53–61, 2021, doi: 10.52088/ijesty.v1i2.56.
- [3] H. R. Asyrofi and P. Arumsari, "Comparative analysis of CPM, PDM and PERT method on the duration of bridge work (Case study : Gelam Bridge Project)," IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci., vol. 1169, no. 1, 2023, doi: 10.1088/1755-1315/1169/1/012011.
- [4] S. Romadhona, F. Kurniawan, and J. Tistogondo, "Project Scheduling Analysis Using the Precedence Diagram Method (PDM) Case Study: Surabaya's City Outer East Ring Road Construction Project (Segment 1)," Int. J. Eng. Sci. Inf. Technol., vol. 1, no. 2, pp. 53–61, 2021, doi: 10.52088/ijesty.v1i2.56.
- [5] Nurhidayat, B. Arianto, and W. T. Bhirawa, "Optimalisasi Pembangunan Proyek Apartemen Sgc Cibubur Dengan Menggunakan Metode Precedence Diagram Method (PDM)," p. 30, 2021.
- [6] L. O. Oktafiana dan I. Baroroh, "Comparative Analysis of CPM, PDM and PERT Methods in Ship Repair Scheduling Planning KN. RB 309 Ternate 01," Berkala Sainstek, pp. 162-174, 2022.
- [7] I. N. R. W. Rizky, "Analisa Penjadwalan Proyek Docking Intermediate Survey Pada Kapal Tunda X," Other thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2023.
- [8] S. Sutrisno, A. Ahmadi, and O. S. Suharyo, "the Optimization of Multipurpose Building Development on Project Scheduling Using Precedence Diagram Method (Pdm)," Journal Asro, vol. 9, no. 1. p. 1, 2018. doi: 10.37875/asro.v9i1.46.

- [9] I. M. Tapa Yasa, I. M. A. Santiana, I. G. S. Wibawa, and I. W. Suasira, "the Cost Obtained By Applying Precedence Diagram Method Toward the Time Optimization on Building Development Projects," *Log. J. Ranc. Bangun dan Teknol.*, vol. 18, no. 2, pp. 64–71, 2018, doi: 10.31940/logic.v18i2.973.
- [10] I. A. Husein, *Manajemen Proyek Perencanaan, Penjadwalan, & Pengendalian Proyek Edisi Revisi*, Yogyakarta: ANDI, 2009.
- [11] G. P. Diswantoro, P. Mulyatno, and R. Good, "Analisis Optimalisasi Jadwal dengan menggunakan Critical Path Method (CPM) pada Proyek Pembangunan Kapal Tugboat 156,67 DWT," *J. Tek. Perkapalan*, vol. XX, no. X, p. 1, 2024.