

Penerapan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) dalam Optimasi Durasi dan Biaya pada Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo

Andika Wahyu Eka Sakti dan Farida Rachmawati

Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: farida_rahma@ce.its.ac.id

Abstrak—Proyek preservasi jalan dan jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo merupakan salah satu proyek preservasi yang mengalami perlambatan pekerjaan dikarenakan adanya kegiatan mudik lebaran. Arus mudik lebaran menyebabkan bebe-rapa pekerjaan tidak dapat dilaksanakan sehingga menyebabkan pekerjaan preservasi jalan dan jembatan mengalami keterlam-batan. Selain itu, permasalahan dalam perizinan juga menyebab-kan proyek ini mengalami keterlambatan. Padahal, proyek ini terbatas pada segi waktu penyelesaiannya karena jalan dan jembatan pada ruas tersebut berpengaruh terhadap kelancaran sektor perhubungan, baik pada mobilitas manusia maupun distri-busi barang. Oleh karena itu, perlu dilakukan percepatan pengerjaan proyek agar proyek dapat selesai tepat waktu. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalisasi durasi dan biaya Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo. Salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mempercepat pengerjaan proyek serta memperoleh penambahan biaya yang paling optimal adalah dengan optimalisasi jadwal baik dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) maupun *fast tracking*. Metode TCTO dilakukan dengan melakukan *crashing* durasi proyek. Pada metode *crashing*, dilakukan analisis *Crash Duration*, *Crash Cost*, dan *Cost Slope* pada aktivitas sisa pekerjaan yang berada pada lintasan kritis, kemudian dilakukan percepatan hingga jenuh seluruhnya. Setelah itu, dilakukan rekapitulasi hasil percepatan metode *crashing* (optimum dan maksimum) dan *fast tracking*. Penelitian ini menghasilkan durasi percepatan paling optimal dengan durasi akhir 99 hari dan biaya Rp30.525.265.504,56. *Crashing* optimum belum dapat mengejar target percepatan akibat keterlambatan proyek, namun dengan percepatan maksimum dapat mengejar target percepatan.

Kata Kunci—Jembatan, Percepatan Proyek, Preservasi Jalan, *Time Cost Trade Off*.

I. PENDAHULUAN

PROYEK preservasi jalan dan jembatan merupakan salah satu contoh proyek yang sangat dibatasi dari segi durasi pengerjaan dan biayanya. Preservasi jalan merupakan tindakan pemeliharaan jalan yang dapat berupa rekonstruksi pada bagian jalan [1]. Sedangkan preservasi jembatan merupakan usaha untuk mempertahankan kondisi jembatan dalam keadaan baik dan mengembalikan kondisi jembatan sesuai kapasitas semula [2]. Jalan merupakan salah satu bagian dari jembatan, dimana jalan merupakan prasarana utama dalam sektor perhubungan yang diperlukan untuk menunjang sektor-sektor lainnya [3] sehingga keterlambatan dalam pekerjaan preservasi jalan dan jembatan akan menghambat sektor perhubungan. Salah satu contoh proyek

preservasi jalan dan jembatan adalah Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo yang dikerjakan oleh kontraktor PT. Restu Mulia Cipta Mandiri. Lingkup pekerjaan preservasi jalan dan jembatan ini terdiri dari penanganan jalan sepanjang 4,91 km dan penanganan jembatan sepanjang 178,7 m.

Dalam pelaksanaannya, terjadi perlambatan pekerjaan proyek dikarenakan adanya kegiatan mudik lebaran serta permasalahan pada perizinan penutupan jalan yang menyebabkan beberapa pekerjaan tidak dapat dilaksanakan. Akibatnya, pekerjaan preservasi jalan dan jembatan mengalami keterlambatan dalam pekerjaannya. Berdasarkan laporan progress minggu ke-19, kinerja total proyek mencapai 20,11% dari target awal sebesar 24,89%, sehingga perlu dilakukan percepatan pengerjaan proyek agar proyek dapat selesai tepat waktu. Namun, terdapat konsekuensi dengan dilakukannya percepatan pengerjaan proyek ini, yaitu adanya penambahan biaya terutama pada biaya langsung yang dapat berpengaruh terhadap keuntungan kon-tractor. Oleh sebab itu, diperlukan analisis untuk memperoleh solusi terbaik dari percepatan durasi dan pertambahan biaya langsung tersebut. Analisis tersebut merupakan analisis metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Metode TCTO merupakan metode alternatif yang dapat memberikan solusi berupa perencanaan terbaik dalam mengoptimalkan durasi pengerjaan dengan pertambahan biaya langsung yang optimum dalam menyelesaikan proyek tersebut.

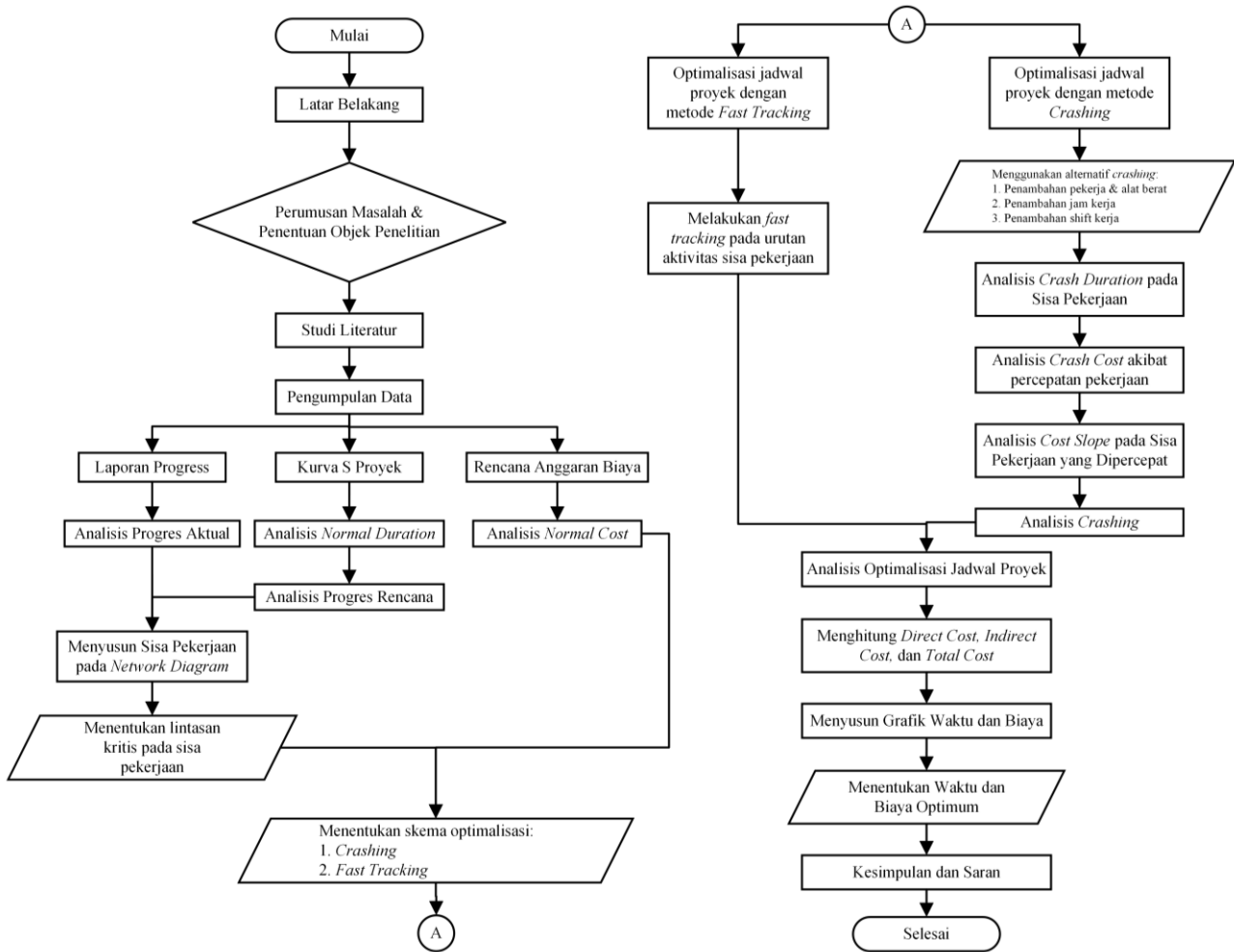
II. URAIAN PENELITIAN

A. Identifikasi Permasalahan

Identifikasi dilakukan untuk mengetahui kondisi eksisting penanganan bagasi eksisting dan menganalisis kondisi ideal yang diharapkan. Kondisi eksisting: terjadinya keterlambatan proyek yang diakibatkan oleh mudik lebaran dan permasalahan dalam perizinan penutupan jalan. Kondisi ideal: diperlukan adanya analisis untuk memperoleh durasi dan biaya optimum dalam mempercepat pengerjaan proyek.

B. Pengumpulan Data

Pengumpulan data-data yang diperlukan untuk dianalisis sehingga mendapatkan hasil akhir. Data yang diperlukan dalam perencanaan ini meliputi data sekunder yang diambil melalui sumber tertentu. Data sekunder yang didapatkan berupa kurva S proyek, laporan progres mingguan dan



Gambar 1. Diagram alir metodologi.

Rencana Anggaran Biaya (RAB).

C. Tahap Analisis Data

Analisis data dilakukan berdasarkan data yang diperoleh menggunakan teori yang digunakan pada tinjauan pustaka. Hasil dari analisis data akan menentukan durasi dan biaya optimum dalam mempercepat proyek. Beberapa tahapannya adalah sebagai berikut:

1. Tahap analisis *normal duration* dan *normal cost* pada proyek.
2. Tahap analisis progress aktual berdasarkan laporan progress mingguan.
3. Tahap menyusun *network diagram* dan menentukan lintasan kritis sisa pekerjaan.
4. Tahap penentuan skema optimasi berupa *crashing* dan *fast tracking* pada tiap sisa pekerjaan.
5. Tahap penentuan *sequencing* pada sisa pekerjaan yang dilakukan *fast tracking*.
6. Tahap analisis *crash duration*, *crash cost*, dan *cost slope* pada sisa pekerjaan yang dilakukan *crashing*.
7. Tahap analisis optimasi jadwal.
8. Tahap perhitungan *direct cost*, *indirect cost*, dan *total cost*.
9. Tahap penyusunan grafik waktu dan biaya untuk keadaan sesudah *crashing* dan *fast tracking*,
10. Tahap menentukan waktu dan biaya optimum berdasarkan grafik.

Secara keseluruhan, diagram alir penelitian disajikan pada Gambar 1.

III. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

A. Data Umum Proyek

Data proyek yang diperoleh adalah sebagai berikut:

Nama Proyek	: Preservasi Jalan dan Jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo
Kontraktor	: PT Restu Mulia Cipta Mandiri
Volume Pekerjaan	: Penanganan Jalan 4,91 km dan Penanganan Jembatan 178,7 m
Nilai Kontrak	: Rp28.739.476.306,59
Waktu Pelaksanaan	: 242 hari kalender
Masa Pemeliharaan	: 365 hari kalender

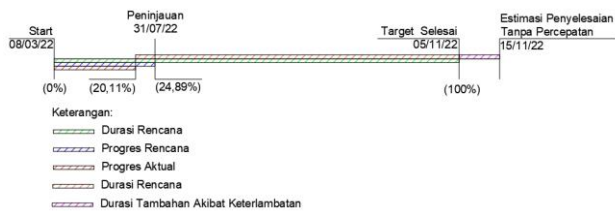
Pada proyek ini, aktivitas pekerjaan terbagi menjadi 2 pekerjaan utama, yaitu Pekerjaan Penanganan Jalan dan Pekerjaan Penanganan Jembatan, yang terbagi lagi menjadi sub pekerjaan sebagai berikut:

1. Penanganan Jalan: Rehabilitasi mayor sepanjang 4,21 km dan rekonstruksi jalan sepanjang 0,7 km.
2. Penanganan Jembatan Berkala Jembatan sepanjang 88,9 m, rehabilitasi jembatan sepanjang 77,8 m, dan penggantian jembatan sepanjang 12 m.

B. Biaya Komponen Proyek

1) Biaya Langsung (Direct Cost)

Biaya langsung pada proyek ini sebesar Rp28.739.476.306,59, dengan rekapitulasi biaya untuk tiap



Gambar 2. Progres proyek minggu ke-19.

Tabel 1. Rencana Percepatan Setiap Sub Pekerjaan

No	Pekerjaan	Sub Pekerjaan	Rencana Percepatan
1	Penanganan Jalan	Rehabilitasi Mayor	Crashing
		Rekonstruksi	Crashing
2	Penanganan Jembatan	Berkala Jembatan	Fast Track
		Rehabilitasi Jembatan	Fast Track
		Penggantian Jembatan	Fast Track

Tabel 2. Lintasan Kritis Sub Pekerjaan Rehabilitasi Mayor

Kode	Uraian Pekerjaan
26	Galian Perkerasan Beraspal dengan <i>Cold Milling Machine</i>
29	Galian Perkerasan Beton
43	Lapis Resap Pengikat-Aspal Cair/Emulsi
44	Lapis Perekat-Aspal Cair/Emulsi
46	Laston Lapis Aus Modifikasi (AC-WC Mod)
47	Laston Lapis Antara (AC-BC)
48	Laston Lapis Antara Modifikasi (AC-BC Mod)
92	Marka Jalan Termoplastik

pekerjaan utama sebagai berikut:

1. Penanganan Jalan : Rp20.238.459.916,84
 - a. Rehabilitasi Mayor : Rp17.062.650.367,81
 - b. Rekonstruksi : Rp3.175.809.549,03
2. Penanganan Jembatan : Rp8.501.016.389,75
 - a. Berkala Jembatan : Rp846.304.833,67
 - b. Rehabilitasi Jembatan : Rp3.786.159.691,55
 - c. Penggantian Jembatan : Rp3.868.551.864,54

2) *Biaya Tidak Langsung (Indirect Cost)*

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 20 Tahun 2021, biaya tak langsung pada proyek ini diasumsikan sebesar 15% dari total biaya proyek, yaitu sebesar Rp4.310.921.445,99. Selanjutnya, total biaya tidak langsung dibagi dengan durasi proyek, yaitu 242 hari sehingga didapatkan biaya tidak langsung sebesar Rp17.813.724,98 per harinya.

C. *Time Frame Pelaksanaan Proyek*

Waktu pelaksanaan Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo adalah 242 hari yang dimulai pada tanggal 8 Maret 2022 dan direncanakan selesai pada 5 November 2022. Pada laporan progress minggu ke-19, kinerja total proyek mencapai 20,11% dari target awal sebesar 24,89%. Berdasarkan laporan progres tersebut, proyek mengalami keterlambatan sebesar 4,78% sehingga diperkirakan selesai pada 15 November 2022. Progres proyek ditampilkan pada Gambar 2. Untuk optimalisasi jadwal proyek, dilakukan percepatan proyek dengan menggunakan metode *crashing* dan *fast tracking*. *Crashing* diterapkan pada pekerjaan penanganan jalan yang mengalami keterlambatan, sedangkan *fast tracking* diterapkan untuk mengoptimalkan durasi pekerjaan penanganan jembatan. Rencana percepatan pada tiap sub pekerjaan dijabarkan pada Tabel 1.

Tabel 3. Lintasan Kritis Sub Pekerjaan Rekonstruksi

Kode	Uraian Pekerjaan
44	Lapis Perekat-Aspal Cair/Emulsi
49	Laston Lapis Fondasi Modifikasi (AC-Base Mod)
92	Marka Jalan Termoplastik

Tabel 4. Lintasan Kritis Sub Pekerjaan Berkala Jembatan

Kode	Uraian Pekerjaan
26	Galian Perkerasan Beraspal dengan <i>Cold Milling Machine</i>
44	Lapis Perekat-Aspal Cair/Emulsi
46	Laston Lapis Aus Modifikasi (AC-WC Mod)
67	Sandaran (<i>Railing</i>)
68	Papan Nama Jembatan
78	Perbaikan Dengan Cara Graut
83	Pengecatan struktur baja pada daerah kering tebal 80 mikron
86	Penggantian dan Perbaikan Sambungan Siar Muai Tipe Asphaltic Plug
101	Pemeliharaan Kinerja Jembatan PURUT bentang 22,2 m
102	Pemeliharaan Kinerja Jembatan CURAH MENJANGAN Bentang 11,4 m
103	Pemeliharaan Kinerja Jembatan REJOSO I bentang 48,2 m
104	Pemeliharaan Kinerja Jembatan BEJI bentang 7,1 m

Tabel 5. Lintasan Kritis Sub Pekerjaan Rehabilitasi Jembatan

Kode	Uraian Pekerjaan
52	Beton struktur, fc'30 MPa
59	Pemasangan Baja Struktur
92	Marka Jalan Termoplastik

D. *Menyusun Network Diagram*

Dilakukan pembuatan diagram jaringan kerja (*Network Diagram*) pada aktivitas sisa pekerjaan berdasarkan hubungan antar aktivitas pekerjaan. Penentuan hubungan antar aktivitas pekerjaan telah dikonsultasikan dengan pihak kontraktor sehingga hubungan antar aktivitasnya sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. *Network Diagram* dibuat dengan program bantu *Microsoft Project* dengan menyusun uraian tiap aktivitas sisa pekerjaan. *Network Diagram* disajikan dalam bentuk *Arrow Diagram*.

E. *Menentukan Lintasan Kritis*

Data aktivitas sisa pekerjaan yang berada pada lintasan kritis tiap sub pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 2 hingga Tabel 6.

F. *Analisis Durasi Normal dan Biaya Normal*

1) *Durasi Normal*

Durasi normal aktivitas pekerjaan didapatkan berdasarkan data yang diperoleh melalui analisis data yang didapat di lapangan. Pada penelitian ini, *normal duration* diambil berdasarkan kurva S proyek yang telah tercantum pada kontrak dan didapat durasi normal sisa pekerjaan untuk setiap sub pekerjaan adalah sebagai berikut:

- a. Penanganan jalan: Rehabilitasi mayor 91 hari dan rekonstruksi 107 hari.
- b. Penanganan Jembatan: Berkala jembatan 91 hari, rehabilitasi jembatan 97 hari, dan penggantian jembatan 91 hari.

2) *Biaya Normal*

Perhitungan *normal cost* atau biaya normal tiap aktivitas pekerjaan pada penelitian ini berdasarkan pada harga satuan tiap volume pekerjaan berdasarkan kontrak yang telah disetujui. *Normal cost* dihitung dengan cara berikut:

$$Normal\ Cost = Volume \times Harga\ Satuan$$

Tabel 6.
Lintasan Kritis Sub Pekerjaan Penggantian Jembatan

Kode	Uraian Pekerjaan
9	Pengujian Parameter Kebisingan dan/atau Getaran Lainnya
13	Pengujian Parameter Udara Emisi dan Ambien lainnya
21	Pasangan Batu dengan Mortar
30	Timbunan Biasa dari sumber galian
31	Timbunan Pilihan dari sumber galian
32	Penimbunan Kembali Berbutir (<i>Granular Backfill</i>)
37	Lapis Pondasi Agregat Kelas A
39	Perkerasan Beton Semen
41	Lapis Fondasi Agregat Semen Kelas A (<i>Cement Treated Base = CTB</i>)
44	Lapis Perekat-Aspal Cair/Emulsi
45	Laston Lapis Aus (AC-WC)
46	Laston Lapis Aus Modifikasi (AC-WC Mod)
49	Laston Lapis Fondasi Modifikasi (AC-Base Mod)
53	Beton struktur, fc'20 Mpa (Bahu Jalan)
54	Beton, fc'15 Mpa
56	Baja Tulangan Polos-BjTP 280
57	Baja Tulangan Sirip BjTS 420A
61	Pasangan Batu
92	Marka Jalan Termoplastik
94	Rambu Jalan Tunggal dengan Pemantul <i>High Intensity Grade</i>
96	Rel Pengaman

Tabel 7.
Rekapitulasi *Normal Cost* tiap Divisi Pekerjaan

Pekerjaan	<i>Normal Cost</i>
Divisi 1. Umum	Rp 449.277.666,67
Divisi 2. Drainase	Rp 931.397.937,13
Divisi 3. Pekerjaan Tanah dan Geosintetik	Rp 1.347.622.394,94
Divisi 4. Pekerjaan Preventif	Rp -
Divisi 5. Perkerasan Berbutir	Rp 8.973.501.600,09
Divisi 6. Perkerasan Aspal	Rp11.888.801.207,52
Divisi 7. Struktur	Rp 3.266.777.300,20
Divisi 8. Rehabilitasi Jembatan	Rp 1.406.593.455,13
Divisi 9. Pekerjaan Harian & Pekerjaan Lain-Lain	Rp 346.877.412,14
Divisi 10. Pekerjaan Pemeliharaan Kinerja	Rp 128.627.332,77
Total	Rp28.739.476.306,59

Rekapitulasi *normal cost* tiap divisi pekerjaan dapat dilihat pada Tabel 7.

G. *Optimalisasi Jadwal Proyek dengan Metode Fast Tracking*

Percepatan aktivitas sisa pekerjaan menggunakan metode *fast tracking* dilakukan pada Pekerjaan Penanganan Jembatan. Durasi Pekerjaan Penanganan Jembatan adalah selama 100 hari yang terdiri atas sub pekerjaan berkala jembatan, sub pekerjaan rehabilitasi jembatan, dan sub pekerjaan penggantian jembatan. Analisis *fast track* pada tiap sub pekerjaan adalah sebagai berikut:

1) *Analisis Fast Track pada Sub Pekerjaan Berkala Jembatan*

Berdasarkan lintasan kritis yang didapat melalui *network diagram*, *fast track* tidak dapat dilakukan pada sub pekerjaan berkala jembatan. Hal ini dikarenakan terdapat 4 aktivitas pekerjaan, yaitu pekerjaan 101, 102, 103, dan 104 yang memiliki durasi penuh dari awal sub pekerjaan hingga akhir sub pekerjaan.

2) *Analisis Fast Track pada Sub Pekerjaan Rehabilitasi Jembatan*

Berdasarkan lintasan kritis yang didapat melalui *network diagram*, *fast track* dapat dilakukan pada pekerjaan 92 yaitu Pekerjaan Marka Jalan Termoplastik. Pekerjaan 92 dimulai

lebih awal 56 hari atau dimulai 21 hari setelah Pekerjaan 52 dimulai dengan asumsi bahwa pekerjaan 52 yang merupakan Pekerjaan Beton Struktur fc' 30 Mpa telah berumur 14 hari sehingga pekerjaan 92 dapat dimulai setelah beton berumur 14 hari.

3) *Analisis Fast Track pada Sub Pekerjaan Penggantian Jembatan*

Berdasarkan lintasan kritis yang didapat melalui *network diagram*, *fast track* dapat dilakukan pada pekerjaan 9, 39, dan 44. Pekerjaan 9 adalah Pekerjaan Pengujian Parameter Kebisingan dan/atau Getaran Lainnya, dengan *predecessor* 53FS + 14 hari. Pekerjaan 53 adalah Pekerjaan Beton Struktur Bahu Jalan dengan durasi 35 hari dengan *slack time* 14 hari sebelum pekerjaan 9 dimulai. Beton memerlukan waktu 28 hari agar berada di kuat tekan tertingginya sehingga memungkinkan untuk memulai pekerjaan 9 setelah pekerjaan 53 berjalan 28 hari (53SS+28). Pekerjaan 39 dapat dilakukan 1 hari setelah pekerjaan 41 dimulai, sehingga pekerjaan 39 dimulai lebih cepat 20 hari (41SS+1 hari). Pekerjaan 44 dapat dilakukan 1 hari setelah pekerjaan 49 dimulai, sehingga pekerjaan 44 dimulai lebih cepat 6 hari (49SS+1 hari). Rekapitulasi hasil analisis *fast tracking* ditampilkan pada Tabel 8.

H. *Optimalisasi Jadwal Proyek dengan Metode Crashing*

1) *Alternatif Percepatan Crashing*

Penentuan alternatif percepatan yang digunakan pada setiap aktivitas pekerjaan di sub pekerjaan rehabilitasi mayor dan sub pekerjaan rekonstruksi dengan mempertimbangkan luas area kerja beserta saran dari pihak kontraktor. Alternatif percepatan tiap aktivitas pekerjaan ditunjukkan pada Tabel 9.

2) *Produktivitas Crashing*

Setelah alternatif percepatan ditentukan, dilakukan perhitungan produktivitas harian setelah dilakukan percepatan yang disebut dengan produktivitas *crashing*. Produktivitas *crashing* diperoleh melalui penjumlahan produktivitas normal dengan produktivitas harian dari sekanrio *crashing*. Contoh perhitungan produktivitas *crashing* adalah sebagai berikut:

- a. Percepatan dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Selama 3 Jam pada Pekerjaan Lapis Perekat-Aspal Cair/Emulsi Pada Sub Pekerjaan Rehabilitasi Mayor
Volume = 12.081,69 liter, durasi normal = 63 hari, produktivitas normal = 191,77 liter/hari = 27,4 liter/jam. Produktivitas setelah *crashing* dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas} &= (\text{Jam kerja normal} \times \text{Produktivitas Normal}) \\ &\quad + (\text{jam kerja lembur} \times \text{produktivitas} \\ &\quad \times \text{efisiensi}) \\ &= (7 \text{ jam} \times 27,4 \text{ liter/jam}) + (3 \text{ jam} \times 27,4 \text{ liter/jam} \times 30\%) \\ &= 249,3 \text{ liter/hari} \end{aligned}$$

- b. Percepatan dengan Penambahan Tenaga Kerja dan Alat Berat pada Pekerjaan Galian Perkerasan Beton pada Sub Pekerjaan Mayor

Volume = 5.359 m³, durasi normal = 133 hari, produktivitas normal = 40,29 m³/hari = 5,76 m³/jam, produktivitas grup = 1,25 m³/jam, jumlah pekerja dan alat berat = 6 orang dan 3 *jack hammer*, tambahan pekerja dan alat berat = 30% × 6 orang = 2 orang dan 1 *jack hammer*. Produktivitas setelah *crashing* dihitung sebagai berikut.

Tabel 8.
Rekapitulasi Hasil Analisis Fast Tracking

Sub Pekerjaan	Pekerjaan	Durasi Sub Pekerjaan	Durasi Total	Biaya Normal
3 (Berkala Jembatan)	-	91	91	Rp101,877,788.77
4 (Rehabilitasi Jembatan)	92 (dimajukan 56 hari)	91	91	
5 (Penggantian Jembatan)	9 (dimajukan 21 hari)	85	91	
5 (Penggantian Jembatan)	39 (dimajukan 20 hari)	85	91	
	44 (dimajukan 6 hari)			

Tabel 9.
Alternatif Percepatan pada Sub Pekerjaan Rehabilitasi Mayor

Kode	Uraian Pekerjaan	Alternatif Percepatan
26	Galian Perkerasan Beraspal dengan <i>Cold Milling Machine</i>	Penambahan Jam Kerja
29	Galian Perkerasan Beton	Penambahan Tenaga Kerja dan Alat Berat
38	Lapis Pondasi Agregat Kelas S	Penambahan <i>Shift</i> Kerja
39	Perkerasan Beton Semen	Penambahan <i>Shift</i> Kerja
40	Lapis Pondasi bawah Beton Kurus	Penambahan <i>Shift</i> Kerja
43	Lapis Resap Pengikat - Aspal Cair/Emulsi	Penambahan Jam Kerja
44	Lapis Perekat - Aspal Cair/Emulsi	Penambahan Jam Kerja
46	Laston Lapis Aus Modifikasi (AC-WC Mod)	Penambahan <i>Shift</i> Kerja
47	Laston Lapis Antara (AC-BC)	Penambahan <i>Shift</i> Kerja
48	Laston Lapis Antara Modifikasi (AC-BC Mod)	Penambahan <i>Shift</i> Kerja
92	Marka Jalan Termoplastik	Penambahan <i>Shift</i> Kerja
93	Rambu Jalan Tunggal dengan Permukaan Pemantul <i>Engineering Grade</i>	Penambahan Tenaga Kerja

Produktivitas = Produktivitas Harian

$$\begin{aligned}
 &+ \left(\frac{\text{Produktivitas Pekerja} \times \text{Jumlah Tambahan Pekerjaan}}{\text{Jumlah Pekerja Normal}} \right) \\
 &= 5,76 \text{ m}^3/\text{jam} + (1,25 \text{ m}^3/\text{jam} \times 2/6) \\
 &= 6,17 \text{ m}^3/\text{jam} = 43,21 \text{ m}^3/\text{hari}
 \end{aligned}$$

c. Percepatan dengan Penambahan *Shift* Kerja pada Pekerjaan Marka Jalan Termoplastik pada Sub Pekerjaan Rekonstruksi

Volume = 399 m², durasi normal = 63 hari, produktivitas normal = 24,94 m² per hari, jumlah *Shift* normal adalah 1, jumlah tambahan *shift* adalah 1, sehingga total *shift* adalah 2. Produktivitas setelah *crashing* dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Produktivitas} &= \text{Produktivitas Harian Normal} \times \text{Jumlah Shift} \\
 &= 24,94 \text{ m}^2/\text{hari} \times 2 = 49,88 \text{ m}^2/\text{hari}
 \end{aligned}$$

3) Crash Duration

Setelah diketahui produktivitas *crashing* untuk tiap alternatif percepatan, langkah selanjutnya adalah menghitung durasi pekerjaan yang telah dipercepat atau *Crash Duration*. Contoh perhitungan crash duration pada Pekerjaan Lapis Perekat-Aspal Cair/Emulsi pada Sub Pekerjaan Rehabilitasi Mayor dengan alternatif percepatan penambahan jam kerja (lembur) adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
 \text{Volume Pekerjaan} &= 12.081,69 \text{ liter, produktivitas crashing} \\
 &= 249,3 \text{ liter/hari, dan crash duration} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas setelah crashing}} \\
 &= 48,5 \text{ hari.}
 \end{aligned}$$

4) Crash Cost

Selanjutnya adalah melakukan perhitungan crash cost, yaitu penambahan biaya akibat pengaplikasian alternatif pekerjaan pada tiap aktivitas pekerjaan yang dipercepat. Pada Penelitian ini, terdapat 3 alternatif percepatan, yaitu penambahan jam kerja (lembur), penambahan tenaga kerja, dan penambahan *Shift* kerja, dengan contoh perhitungan crash cost sebagai berikut:

a. Percepatan dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) selama 3 jam pada Pekerjaan Lapis Perekat-Aspal Cair/Emulsi pada Sub Pekerjaan Rehabilitasi Mayor

Dengan volume = 12.081,69 liter, harga satuan pekerjaan adalah Rp9.051,16/liter, *crash duration* = 48,5 hari, upah alat berat adalah Rp420.660,21 (sewa per jam), upah pekerja tiap grup Rp35.992,46 per jam, upah alat dan pekerja Rp420.660,21 + Rp35.992,46 = Rp456.652,67 per jam, sedangkan upah lembur dan *crash cost* dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Upah lembur} &= (1,5 \times \text{Upah Normal Alat dan Pekerja}) \\
 &+ ((2 \times \text{Upah Normal Alat dan Pekerja}) \times 2 \text{ Jam}) \\
 &= \left(1,5 \times \frac{\text{Rp}456.652,67}{\text{jam}} \times 1 \text{ jam} \right) \\
 &+ \left(\left(2 \times \frac{\text{Rp}456.652,67}{\text{jam}} \right) \times 2 \text{ jam} \right) \\
 &= \text{Rp}2.511.589,70/\text{hari}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Crash Cost} &= (\text{Harga Satuan Pekerjaan} \times \text{Volume}) \\
 &+ (\text{Upah Lembur} \times \text{Durasi Crashing}) \\
 &= (\text{Rp} 9.051,16 \times 12.081,69 \text{ liter}) + (\text{Rp}2.511.589,70 \\
 &\times 48,5 \text{ hari}) \\
 &= \text{Rp}231.165.368,51
 \end{aligned}$$

b. Percepatan dengan penambahan tenaga kerja pada Pekerjaan Galian Perkerasan Beton pada Sub Pekerjaan Mayor.

Dengan volume 2.820,53 m³, harga satuan pekerjaan Rp195.918,82/m³, *crash duration* 68,56 hari, penambahan pekerja sebanyak 2 pekerja, upah pekerja normal per hari Rp31.726,17, upah alat per hari Rp287.000,00, upah pekerja tambahan Rp31.726,17 × 2 = Rp63.452,34, dan perhitungan *crash cost* sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Crash Cost} &= (\text{Harga Satuan Pekerjaan} \times \text{Volume}) \\
 &+ ((\text{Upah pekerja tambahan per hari} \\
 &+ \text{Upah tambahan alat per hari}) \\
 &\times \text{crash duration}) \\
 &= (\text{Rp}195.918,82 \times 2.820,53 \text{ m}^3) \\
 &+ ((\text{Rp}63.452,34 + \text{Rp}287.000,00) \\
 &\times 68,56 \text{ hari}) \\
 &= \text{Rp}576.620.637,99
 \end{aligned}$$

c. Percepatan dengan Penambahan *Shift* Kerja pada Pekerjaan Marka Jalan Termoplastik pada Sub Pekerjaan Rekonstruksi

Tabel 10.
Rekapitulasi Hasil *Crashing*

<i>Crashing</i>	Pekerjaan	Durasi Sub Pekerjaan		Durasi Total	Total Biaya Normal
		1	2		
Awal	-	91	107	107	Rp20.238.459.916,84
<i>Crashing</i> 2	92	91	99,0	99,00	Rp20.260.690.341,45
<i>Crashing</i> 2	44	91	98,0	98,00	Rp20.436.501.620,64
<i>Crashing</i> 2	46	91	91,0	91,00	Rp21.297.769.196,38
<i>Crashing</i> 1	92	84	91,0	91,00	Rp21.336.672.439,45
<i>Crashing</i> 2	38	84	78,0	84,00	Rp21.494.716.949,68
<i>Crashing</i> 1	38, 44, 46, 93	78	78,0	78,00	Rp21.846.329.927,49

Tabel 11.
Rekapitulasi Durasi dan Total Biaya

Durasi Pekerjaan		Durasi Total (Durasi Terpanjang)	Keterangan		Total Direct Cost	Indirect Cost	Total Cost
Penanganan Jalan	Penanganan Jembatan		Fast Track	Crashing			
107	97	107	-	-	Rp28.739.476.306,59	Rp1.906.068.573,23	Rp30.645.544.879,82
107	91	107	Penanganan Jembatan	-	Rp28.739.476.306,59	Rp1.906.068.573,23	Rp30.645.544.879,82
99	91	99	-	Iterasi 1	Rp28.761.706.731,21	Rp1.763.558.773,36	Rp30.525.265.504,56
98	91	98	-	Iterasi 2	Rp28.937.518.010,39	Rp1.745.745.048,38	Rp30.683.263.058,77
91	91	91	-	Iterasi 3	Rp29.798.785.586,13	Rp1.621.048.973,49	Rp31.419.834.559,62
84	91	91	-	Iterasi 5	Rp29.995.733.339,43	Rp1.621.048.973,49	Rp31.616.782.312,93
78	91	91	-	Iterasi 6	Rp30.347.346.317,24	Rp1.621.048.973,49	Rp31.968.395.290,74

Volume = 399 m², harga satuan pekerjaan Rp98.518,41 per m², *crash duration* 8 hari, penambahan *shift* kerja sebanyak 1 *shift*, upah alat berat Rp343.286,79/jam, upah pekerja tiap grup Rp53.685,08/jam, upah alat dan pekerja per *shift* (Rp343.286,79 + Rp53.685,08) × 7 jam = Rp2.778.803,08. Sedangkan *crash cost* dihitung sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 \text{Crash Cost} &= (\text{Harga Satuan Pekerjaan} \times \text{Volume}) \\
 &\quad + (\text{Upah Alat dan Pekerja per shift} \\
 &\quad \times \text{jumlah tambahan shift} \times \text{crash duration}) \\
 &= (\text{Rp}98.518,41 \times 399 \text{ m}^2) \\
 &\quad + (\text{Rp}2.778.803,08 \times 1 \times 31,5 \text{ hari}) \\
 &= \text{Rp}61.539.268,28
 \end{aligned}$$

5) Cost Slope

Cost slope merupakan penambahan biaya yang diperlukan setiap mempercepat durasi aktivitas pekerjaan. Data yang diperlukan untuk menghitung *cost slope* adalah durasi normal, biaya normal, durasi percepatan dan biaya percepatan. Percepatan durasi pekerjaan akan menambah biaya normal pada aktivitas pekerjaan. Rumus perhitungan *cost slope* adalah sebagai berikut:

$$\text{Cost Slope} = \frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}}$$

Contoh perhitungan *cost slope* pada percepatan pekerjaan marka jalan termoplastik pada sub pekerjaan rekonstruksi menggunakan alternatif penambahan *shit* kerja adalah sebagai berikut:

- Normal Cost = Rp39.308.843,67
- Normal Duration = 16 hari
- Crash Cost = Rp61.539.268,28
- Crash Duration = 8 hari
- Cost Slope

$$\begin{aligned}
 \text{Cost Slope} &= \frac{\text{Rp}61.539.268,28 - \text{Rp}39.308.843,67}{16 \text{ hari} - 8 \text{ hari}} \\
 &= \text{Rp}2.778.803,08/\text{hari}
 \end{aligned}$$

6) Hasil *Crashing*

Setelah melakukan *crashing* pada sub pekerjaan rehabilitasi mayor dan sub pekerjaan rekonstruksi, dilakukan penggabungan hasil *crashing* menjadi satu sebagai pekerjaan

penanganan jalan. Hal ini bertujuan untuk mengetahui durasi akhir dari pekerjaan penanganan jalan setelah dilakukan *crashing* serta mendapatkan besarnya biaya langsung setelah percepatan. Iterasi pada penggabungan hasil *crashing* difokuskan untuk mengurangi durasi total pekerjaan penanganan jalan. Penggabungan hasil *crashing* ditunjukkan pada Tabel 10.

1. Analisis Optimasi Jadwal Proyek

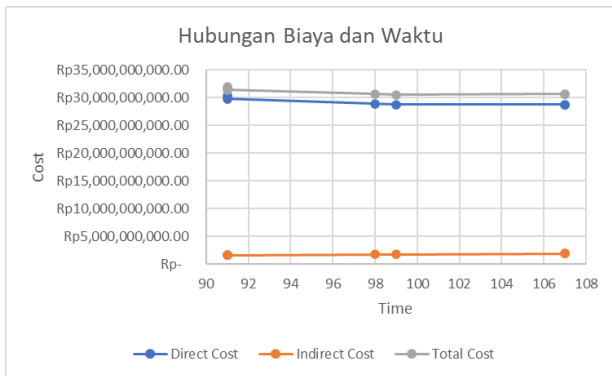
Analisis *Time Cost Trade Off* bertujuan untuk mengetahui keseimbangan total biaya dan waktu proyek setelah dilakukan percepatan. Selain itu, analisis ini juga bertujuan untuk mencapai target percepatan, yaitu percepatan maksimum dan percepatan optimum.

Percepatan maksimum merupakan percepatan durasi pekerjaan yang dilakukan secara maksimal tanpa adanya slack dan tanpa pertimbangan besar biaya percepatan yang dialami. Percepatan optimum merupakan percepatan untuk memperoleh durasi percepatan terbesar dengan biaya paling optimum atau biaya terendah.

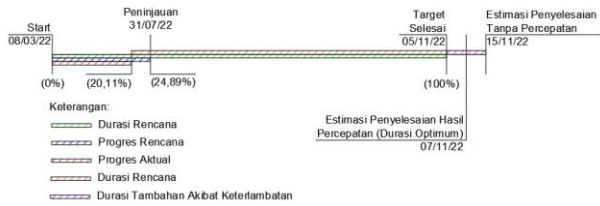
Setelah dilakukan percepatan berupa *crashing* pada Pekerjaan Penanganan Jalan dan *fast track* pada Pekerjaan Penanganan Jembatan, dilakukan penggabungan rekapitulasi percepatan menjadi satu. Hal ini bertujuan untuk mengetahui durasi akhir dan biaya total pada keseluruhan proyek. Iterasi pada penggabungan hasil percepatan difokuskan untuk mengurangi durasi total proyek. Rekapitulasi durasi akhir proyek dan total biaya proyek ditampilkan pada Tabel 11.

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 11 didapatkan grafik hubungan antara *direct cost*, *indirect cost*, *total cost* dengan durasi proyek yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Selanjutnya, dilakukan analisis pada grafik hubungan antara biaya proyek dengan durasi proyek untuk memperoleh durasi optimum dan biaya minimum hasil percepatan. Berdasarkan grafik tersebut, diperoleh bahwa durasi optimum hasil percepatan pada Proyek Preservasi Jalan dan Jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo adalah 99 hari dengan total biaya Rp30.525.265.504,56. Durasi optimum hasil percepatan proyek belum dapat mengejar target percepatan akibat keterlambatan proyek, yang ditunjukkan



Gambar 3. Grafik hubungan antara biaya proyek dengan durasi proyek.



Gambar 4. Skema hasil percepatan dengan durasi optimum.

oleh skema pada Gambar 4. Agar target percepatan akibat keterlambatan proyek dapat dikejar, perlu menggunakan

durasi minimum dari hasil percepatan sebesar 91 hari dengan total biaya Rp31.419.834.559,62.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan pada jurnal ini, didapatkan kesimpulan untuk mengejar keterlambatan proyek sebagai berikut: (1) Dengan menggunakan skenario percepatan *crashing* dan *fast track*, didapatkan durasi optimum proyek dengan mempercepat durasi proyek 8 hari dengan sisa durasi proyek 99 hari serta biaya total setelah percepatan adalah Rp30.525.265.504,56. (2) Durasi optimum hasil percepatan belum dapat mengejar target percepatan akibat keterlambatan proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] An American National Standard, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*, 4th ed. Newtown Square: Project Management Institute, Inc., 2008. ISBN: 978-1-933890-51-7.
- [2] V. Herry, M. S. Reynold, and I. Zarkasi, "Panduan Penanganan Preservasi Jembatan," Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum, 2010. ISBN: 978-602-97229-3-2.
- [3] N. A. Munggaran and A. Wibowo, "Kajian faktor-faktor penyebab kerusakan dini perkerasan jalan lentur dan pengaruhnya terhadap biaya penanganan," *J. Infrastruktur*, vol. 3, no. 01, pp. 9–18, 2017.