

# Optimasi Waktu dan Biaya Proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1 dengan Metode *Time Cost Trade Off*

El Alivi Nur Azmia dan Mohammad Arif Rohman  
Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)  
*e-mail*: arif@ce.its.ac.id

**Abstrak**—Proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1 merupakan salah satu proyek yang mengalami keterlambatan penyelesaian proyek karena faktor cuaca hujan deras terus menerus. Padahal, pembangunan Bendungan Bagong pada proyek ini bertujuan untuk mereduksi banjir Kota Trenggalek secara signifikan. Selain itu, Bendungan Bagong ini masuk dalam daftar Proyek Strategis Nasional (PSN) untuk menambah jumlah tampungan air dalam rangka mendukung program ketahanan pangan dan air. Oleh karena itu, perlu dilakukan percepatan jadwal pelaksanaan atau optimasi waktu pelaksanaan proyek agar biaya yang dikeluarkan tidak terus meningkat seiring dengan keterlambatan jadwal. Penelitian akan dilakukan untuk mengetahui durasi dan biaya percepatan yang optimum pada proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1 dengan menggunakan metode *Time Cost Trade Off*. Dalam melakukan sebuah percepatan terhadap durasi penyelesaian proyek, perlu dilakukan penekanan waktu aktivitas, diusahakan agar biaya yang ditimbulkan seminimal mungkin. Penekanan dilakukan pada aktivitas yang berada dalam lintasan kritis dan mempunyai *cost slope* terendah. Langkah-langkah yang diperlukan dalam melakukan percepatan ini adalah identifikasi aktivitas sisa pekerjaan, penyusunan *network diagram* serta lintasan kritis, menentukan *crash duration* dan *crash cost*, menghitung *cost slope*, dan melakukan tahap iterasi. Penelitian ini menghasilkan durasi percepatan paling optimum dengan durasi akhir 678 hari dan biaya Rp835.252.140.947,00. Hasil ini didapat pada iterasi ke delapan, dimana pada iterasi ke sembilan, biaya total proyek hasil iterasi menunjukkan adanya kenaikan biaya hingga pada iterasi ke sepuluh, sehingga diambil hasil optimum pada iterasi ke delapan.

**Kata Kunci**—Bendungan Bagong, *Crashing*, Optimasi, *Time Cost Trade Off*.

## I. PENDAHULUAN

PEMBANGUNAN di Indonesia terus meningkat, tidak terkecuali dengan pembangunan bendungan sebagai penampungan air dan pengendali banjir. Pembangunan Bendungan Bagong bertujuan untuk mereduksi banjir pada Kota Trenggalek. Selain itu, Bendungan Bagong memiliki potensi multiguna, yaitu sebagai waduk penampung air, sumber daya air dan sebagai tempat wisata atau rekreasi. Bendungan Bagong termasuk kedalam daftar Proyek Strategis Nasional (PSN) untuk menambah jumlah tampungan air dalam rangka mendukung program ketahanan pangan dan air. Hal ini mendorong para manajer proyek untuk dapat menyelesaikan proyek tepat waktu. Meskipun begitu, berbagai masalah selama proyek berlangsung tidak dapat dihindari. Kegiatan proyek dapat diartikan sebagai suatu kegiatan sementara untuk menghasilkan produk, layanan, atau hasil yang unik [1]. Sumber daya yang dimaksud seperti tenaga kerja, material, dan peralatan. Semua sumber daya tersebut sangat penting untuk kelancaran suatu proyek.

Setiap proyek memiliki serangkaian tujuan yang harus dicapai agar berhasil. Untuk mencapai tujuan tersebut, ada batasan yang harus dipenuhi yaitu besar biaya (anggaran) yang dialokasikan, jadwal, serta mutu yang harus dipenuhi. Sebuah proyek membutuhkan manajemen yang dapat mengelola proyek dari awal hingga proyek berakhir, yakni manajemen proyek agar berjalan baik. Lancarnya proses suatu proyek dapat dilakukan bila ada konsep perencanaan yang matang dan didasarkan pada data, informasi, kemampuan, dan pengalaman [2].

Semakin kompleks suatu proyek, maka semakin banyak tantangan yang harus dihadapi, mulai dari perencanaan, sampai pada pelaksanaan proyek. Jika hal-hal tersebut tidak ditangani dengan benar, maka berbagai masalah akan muncul seperti keterlambatan penyelesaian proyek, penyimpangan mutu, biaya membengkak, dan lain sebagainya yang sangat merugikan bagi pelaksana proyek [3].

Dalam pelaksanaannya, proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1 ini mengalami keterlambatan karena faktor cuaca buruk yang mengganggu proses pembangunan. Bendungan Bagong yang direncanakan akan selesai pada tahun 2024, pada bulan Oktober baru mencapai 6,95% dari 8,48% yang direncanakan. Sehingga, dapat diketahui terdapat keterlambatan jadwal sebesar 1,53%. Keterlambatan jadwal ini tentu saja akan mengakibatkan *domino effect* seperti waktu penyelesaian proyek yang tidak sesuai jadwal dan biaya membengkak.

Untuk mengatasi hal tersebut, harus dilakukan percepatan jadwal pelaksanaan atau optimasi waktu pelaksanaan proyek agar biaya yang dikeluarkan tidak terus meningkat seiring dengan keterlambatan jadwal. Percepatan waktu pelaksanaan akan mengakibatkan kenaikan biaya langsung (*direct cost*) proyek dibanding waktu pelaksanaan normal. Namun, dapat juga membesarnya biaya langsung justru membuat total biaya percepatan menjadi lebih kecil dari pada total biaya normal sehingga akan terjadi tawar menawar antar waktu dan biaya. Hal ini akan memberikan kondisi yang dilematis sehingga diperlukan usaha agar proyek dapat diselesaikan menggunakan waktu yang optimum dengan biaya yang minimum.

## II. METODE PENELITIAN

### A. Konsep Penelitian

Metode analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode analisis deskriptif, yaitu metode memecahkan suatu masalah dengan mengumpulkan data kuantitatif, kemudian disusun, diolah dan dianalisis sehingga diperoleh hasil akhir, yang dijelaskan dalam bentuk deskriptif. Pada

penelitian ini akan dianalisis aktivitas sisa pekerjaan untuk mengetahui durasi normal sisa pekerjaan yang ada kemudian dilakukan analisis *Time Cost Trade Off* untuk menemukan waktu dan biaya optimal setelah dilakukan percepatan.

### B. Data Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data sekunder berupa jadwal proyek, Rencana Anggaran Biaya (RAB), dan data pendukung berupa gambar perencanaan dan laporan mingguan atau bulanan.

### C. Analisis Data

#### 1) Analisis Aktivitas Sisa Pekerjaan

Identifikasi aktivitas apa saja yang belum dikerjakan dan diselesaikan dari rencana proyek. Analisis dilakukan pada aktivitas pekerjaan yang mengalami keterlambatan untuk mendapatkan durasi normal dan biaya normal. Aktivitas sisa yang didapat disusun dalam sebuah *network diagram* sehingga menghasilkan lintasan kritis. Pada lintasan kritis ini lah akan dilakukan *crashing* atau percepatan.

#### 2) Analisis Time cost Trade Off (TCTO)

Dalam melakukan percepatan, perlu dilakukan penekanan waktu pada aktivitas pekerjaan yang memiliki *cost slope* terendah pada aktivitas yang berada pada lintasan kritis [4]. *Cost slope* merupakan perbandingan antara besarnya pertambahan biaya dengan percepatan durasi pekerjaan [5]. *Cost slope* didapat dengan menghitung *crash duration* dan *crash cost*. Perhitungan *crash duration* dan *crash cost* dihitung dengan mencari produktivitas *crashing* tiap pekerjaannya terlebih dahulu. Setelah mendapatkan produktivitas *crashing*, maka *crash duration* dan *crash cost* dapat dihitung. Setelah mendapatkan *cost slope* untuk masing-masing pekerjaan pada lintasan kritis, maka dilakukan kompresi durasi dari nilai *cost slope* yang paling rendah. Agar biaya tambahan hasil percepatan seminimum mungkin. Kemudian aktivitas disusun kembali dan dilakukan kompresi durasi hingga lintasan jenuh. Setelah melakukan iterasi TCTO, maka didapatkan *direct cost*, *indirect cost* serta *total cost* dari masing-masing kompresi. Bagan alir penelitian dapat dilihat dalam Gambar 1.

## III. HASIL DAN PEMBAHASAN

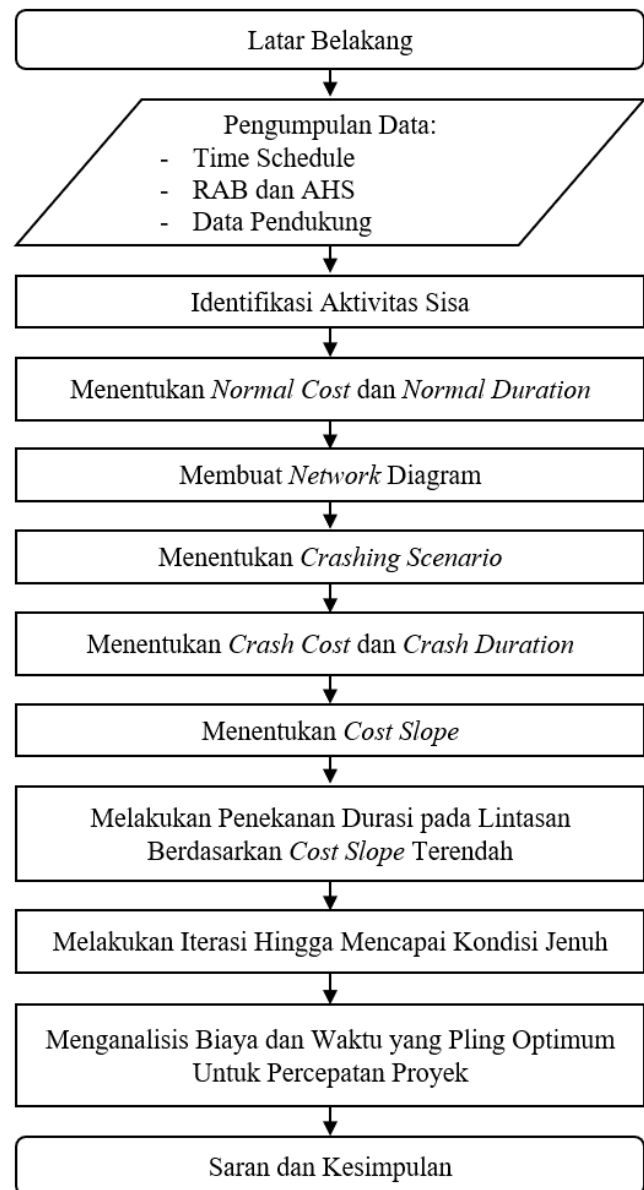
### A. Data Umum Proyek

Gambaran umum dari Proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1 adalah sebagai berikut:

Nama Proyek	: Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1
Lokasi	: Desa Sumurup dan Sengon, Kabupaten Trenggalek
Pemilik Proyek	: Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS) Brantas, Ditjen Sumber Daya Air, Kementerian PUPR
Kontraktor	: PT. Abipraya-PT. SACNA (KSO)
Nilai Kontrak	: Rp 1.124.442.000.000,00
Waktu Pelaksanaan	: 2003 hari kalender

### B. Biaya Proyek

Biaya total proyek terdiri dari biaya langsung (*direct cost*) dan biaya tidak langsung (*indirect cost*). Biaya langsung



Gambar 1. Diagram alir penelitian.

adalah semua biaya yang berhubungan dengan pelaksanaan proyek, sedangkan biaya tidak langsung adalah biaya yang secara tidak langsung berhubungan, tetapi diperlukan dalam prosesnya [6]. Biaya langsung pada proyek ini sebesar Rp869.419.819.175,00 dengan rekapitulasi biaya yang dapat dilihat pada Tabel 1.

Biaya tidak langsung meliputi biaya *contingency*, *profit*, dan *overhead* [6]. Dimana *profit* yang dimaksud disini lebih mengarah kepada *reward* yang didapat dari risiko yang diambil oleh kontraktor [7]. Biaya tidak langsung pada proyek ini adalah sebesar Rp152.800.180.825,00. Selanjutnya total biaya tidak langsung dibagi dengan durasi proyek yaitu 2003 hari sehingga didapatkan biaya tidak langsung sebesar Rp76.285.662,00 per harinya.

### C. Identifikasi Aktivitas Sisa Pekerjaan

Identifikasi aktivitas sisa pekerjaan ini dilakukan untuk mengetahui pekerjaan yang belum terlaksana pada proyek ini yang selanjutnya disebut aktivitas sisa. Aktivitas sisa diketahui dari selisih antara total volume pekerjaan dengan volume pekerjaan yang telah terlaksana. Terdapat 73 aktivitas sisa pekerjaan yang terdiri dari pekerjaan pembangunan jalan

Tabel 1.  
Rekapitulasi Biaya

Pekerjaan	Biaya
Pekerjaan Persiapan	Rp3.552.127.862,00
Pekerjaan Jalan Masuk	Rp18.315.297.074,00
Bendungan Utama	Rp844.824.931.012,00
Pekerjaan Lain-Lain	Rp2.727.463.227,00
Total	Rp869.419.819.175,00

Tabel 2.  
Aktivitas yang Berada pada Lintasan Kritis

ID	Uraian Pekerjaan
48	Timbunan inti lempung dari <i>stockpile</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0-2 km)
49	Timbunan inti lempung dari borrow area ke <i>embankment</i> (jarak 0-2 km)
50	Timbunan filter halus dari <i>quarry</i> ke <i>embankment</i> (jarak 85-90 km)
51	Timbunan filter kasar dgn peledakan dari <i>quarry</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0-2 km)
52	Timbunan random dari <i>stockpile</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0-2 km)
53	Timbunan batu dari <i>stockpile</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0-2 km)
54	Timbunan batu dengan peledakan dari <i>quarry</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0-2 km)
55	Timbunan batu riprap dgn peledakan <i>quarry</i> (jarak 0-2 km)
59	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman 10 m - 20 m
60	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman 20 m - 30 m
61	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman > 30 m
63	Pemboran lubang sub <i>curtain grouting</i> , kedalaman 0 - 10 m
64	Pemboran lubang sub <i>curtain grouting</i> , kedalaman 10 - 20 m
66	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman 0 m - 10 m
68	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman 0 - 10 m
69	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman 10 - 20 m
70	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman 20 - 30 m
71	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman > 30 m
72	Grouting (operasional dan material)
84	Lapis Pondasi Atas/Base Course
85	Lapis Perkerasan AC - BC, t = 5 cm

masuk, cofferdam, maindam, dan pekerjaan lain-lain.

#### D. Menyusun Network Diagram dan Menentukan Lintasan Kritis

Penyusunan *network diagram* dari 73 aktivitas sisa menggunakan aplikasi Ms Project. Total waktu pengerjaan sisa pekerjaan Proyek Pembangunan Bendungan Bagong Paket 1 adalah 845 hari dengan total biaya proyek sebesar Rp843.093.958.678,00. Setelah komponen-komponen aktivitas proyek diketahui, maka *network diagram* dapat disusun pada Ms. Project.

Dari network diagram yang disusun pada Ms. Project, didapat sebanyak 21 aktivitas yang berada pada lintasan kritis yang dapat dilihat pada Tabel 2. Lintasan kritis adalah lintasan yang terdiri dari aktivitas-aktivitas kritis yang apabila terjadi keterlambatan, maka akan mengakibatkan keterlambatan proyek secara keseluruhan [8].

#### E. Crashing Scenario

Sebelum melakukan perhitungan pada biaya, durasi, dan perhitungan lainnya, perlu dilakukan penentuan alternatif skenario percepatan pekerjaan (*crashing*). Alternatif skenario percepatan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah dengan penambahan jam kerja (lembur) selama 4 jam kerja dan penambahan 1 grup alat berat.

#### F. Produktivitas Crashing

Perhitungan produktivitas *crashing* didapat melalui penjumlahan produktivitas normal dengan produktivitas hasil *crashing* [9]. Contoh perhitungan produktivitas *crashing* adalah sebagai berikut:

#### 1. Percepatan dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Selama 4 Jam pada Pekerjaan Pemasangan Pipa Pelindung

Volume = 2.347 m

Durasi Normal = 82 hari

Produktivitas Normal = 3,578 m/jam

Penambahan jam kerja (a) = 4 jam

Efisiensi kerja (b) = 60%

Produktivitas *crashing*

$$= (\text{Jam kerja per hari} \times \text{Produktivitas tiap jam} + (a \times b \times \text{Produktivitas tiap jam}))$$

$$= (8 \text{ jam} \times 3,578 \text{ m/jam}) + (4 \text{ jam} \times 0,6 \times 3,578 \text{ m/jam})$$

$$= 37,2085 \text{ m/jam}$$

#### 2. Percepatan Dengan Penambahan Alat Berat pada Pekerjaan Timbunan Inti Lempung Dari Stockpile ke Embankment (Jarak 0–2 Km)

Volume = 375.538,03 m<sup>3</sup>

Durasi Normal = 368 hari

Produktivitas Normal = 1.020,4838 m<sup>3</sup>/jam

Produktivitas 1 grup = 128,2051 m<sup>3</sup>/jam

Penambahan alat berat = 1 grup

Produktivitas penambahan grup alat

$$= \text{Produktivitas grup} \times \text{jumlah penambahan grup} \times \text{jam kerja}$$

$$= 123,2051 \text{ m}^3/\text{jam} \times 1 \text{ grup} \times 8 \text{ jam}$$

$$= 1.025,641 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Produktivitas *crashing*

$$= \text{Produktivitas normal} + \text{Produktivitas penambahan grup alat}$$

$$= 1.020,4838 \text{ m}^3/\text{jam} + 1.025,641 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 2.046,125 \text{ m}^3/\text{jam}$$

#### G. Crash Duration

Setelah mendapatkan produktivitas *crashing*, maka *crash duration* dapat dihitung. Contoh perhitungan *crash duration* pada Pekerjaan Timbunan inti Lempung dari *stockpile* ke *embankment* (jarak 0-2 km).

Volume = 375.538,03 m<sup>3</sup>

Produktivitas *crashing* = 2.046,125 m<sup>3</sup>/jam

*Crash duration* = Volume/Produktivitas *crashing*

$$= 375.538,03 \text{ m}^3 / 2.046,125 \text{ m}^3/\text{jam}$$

$$= 184 \text{ hari}$$

#### H. Crash Cost

Contoh perhitungan crash cost adalah sebagai berikut:

#### 1) Percepatan Dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Selama 4 Jam pada Pekerjaan Pemasangan Pipa Pelindung

Volume = 2.347 m

Harga satuan = Rp34.351,00

*Crash duration* = 64 hari

Upah pekerja = Rp70.500,00/jam

Upah lembur

$$= (1,5 \times \text{Upah pekerja}) + (2 \times \text{Upah pekerja} \times 3 \text{ jam})$$

$$= (1,5 \times \text{Rp}70.500,00) + (2 \times \text{Rp}70.500,00 \times 3 \text{ jam})$$

$$= \text{Rp}528.750,00$$

*Crash cost*

$$= (\text{Harga satuan pekerjaan} \times \text{volume}) + (\text{Upah lembur} \times \text{Crash duration})$$

$$= (\text{Rp}34.351,00 \times 2.347) + (\text{Rp}528.750,00 \times 64)$$

Tabel 3.  
Rekapitulasi Aktivitas Kritis dan *Cost Slope*

ID	Uraian Pekerjaan	<i>Cost Slope</i>
5	Pembersihan ( <i>Clearing</i> ) & Pencabutan Akar ( <i>Grubbing</i> )	Rp687.364,00
6	Galian Tanah Setempat	Rp2.901.897,00
7	Galian Batu mekanis dari <i>embankment</i> ke disposal (jarak 0–2 km) jarak 0,75 km	Rp7.418.862,00
43	Pembersihan ( <i>Clearing</i> ) & Pencabutan Akar ( <i>Grubbing</i> )	Rp2.357.225,00
44	Galian tanah mekanis ke disposal (jarak 0–2 km)	Rp27.261.557,00
45	Galian tanah mekanis ke <i>stockpile</i> (jarak 0–2 km)	Rp38.305.308,00
46	Galian batu mekanis ke <i>stockpile</i> (jarak 0–2 km)	Rp102.598.885,00
48	Timbunan inti lempung dari <i>stockpile</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0–2 km)	Rp47.456.640,00
49	Timbunan inti lempung dari borrow area ke <i>embankment</i> (jarak 0–2 km)	Rp34.898.713,00
50	Timbunan filter halus dari quarry ke <i>embankment</i> (jarak 85–90 km)	Rp5.677.225,00
51	Timbunan filter kasar dgn peledakan dari quarry ke <i>embankment</i> (jarak 0–2 km)	Rp36.654.583,00
52	Timbunan random dari <i>stockpile</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0–2 km)	Rp38.710.616,00
53	Timbunan batu dari <i>stockpile</i> ke <i>embankment</i> (jarak 0–2 km)	Rp38.822.686,00
54	Timbunan batu dg peledakan dari quarry ke <i>embankment</i> (jarak 0–2 km)	Rp214.598.085,00
55	Timbunan batu riprap dgn peledakan quarry (jarak 0–2 km)	Rp6.735.812,00
58	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman 0 m–10 m	Rp2.674.286,00
59	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman 10 m–20 m	Rp3.024.000,00
60	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman 20 m–30 m	Rp3.301.132,00
61	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman > 30 m	Rp2.259.000,00
63	Pemboran lubang sub <i>curtain grouting</i> , kedalaman 0–10 m	Rp2.622.375,00
64	Pemboran lubang sub <i>curtain grouting</i> , kedalaman 10–20 m	Rp1.602.581,00
66	Pemboran lubang <i>curtain grouting</i> , kedalaman 0 m–10 m	Rp4.182.545,00
68	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman 0–10 m	Rp3.374.069,00
69	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman 10–20 m	Rp3.517.714,00
70	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman 20–30 m	Rp2.504.432,00
71	Pemboran inti untuk pilot & <i>check hole</i> , kedalaman > 30 m	Rp1.833.702,00
72	Grouting (operasional dan material)	Rp4.200.000,00
73	Beton K-225	Rp5.224.148,00
74	Besi Tulangan Ulir	Rp3.644.160,00
75	<i>Bekisting Non Expose</i>	Rp5.920.000,00
76	Pemasangan Pipa Pelindung	Rp1.880.000,00
78	Redrilling untuk lubang <i>curtain grouting</i> , Kedalaman 0 m–10 m	Rp2.789.695,00
79	Redrilling untuk lubang <i>curtain grouting</i> , Kedalaman 10 m–20 m	Rp2.623.355,00
80	Redrilling untuk lubang <i>curtain grouting</i> , Kedalaman 20 m–30 m	Rp2.571.429,00
81	Redrilling untuk lubang <i>curtain grouting</i> , Kedalaman > 30 m	Rp1.179.243,00
82	Redrilling untuk lubang sub <i>curtain grouting</i> , Kedalaman 0 m–10 m	Rp2.732.400,00
84	Lapis Pondasi Atas/ <i>Base Course</i>	Rp25.005.760,00
85	Lapis Perkerasan AC–BC, t = 5 cm	Rp14.923.200,00

Tabel 4.  
Rekapitulasi Hasil Biaya *Crashing*

Iterasi	<i>Direct Cost</i>	<i>Indirect Cost</i>	Total Cost
0	Rp780.915.730.454,00	Rp64.461.384.322,00	Rp845.377.114.776,00
1	Rp780.930.653.654,00	Rp64.385.098.660,00	Rp845.315.752.314,00
2	Rp781.424.411.024,00	Rp61.943.957.479,00	Rp843.368.368.503,00
3	Rp781.449.416.784,00	Rp61.867.671.817,00	Rp843.317.088.601,00
4	Rp781.606.959.708,00	Rp61.486.243.507,00	Rp843.093.203.215,00
5	Rp781.948.227.378,00	Rp57.977.103.059,00	Rp839.925.330.437,00
6	Rp782.010.151.935,00	Rp57.519.389.087,00	Rp839.529.541.022,00
7	Rp782.637.614.959,00	Rp53.171.106.358,00	Rp835.808.721.317,00
8	Rp783.530.462.166,00	Rp51.721.678.782,00	Rp835.252.140.947,00
9	Rp797.098.346.959,00	Rp51.645.393.120,00	Rp848.743.740.079,00
10	Rp825.476.489.022,00	Rp46.534.253.771,00	Rp872.010.742.793,00

= Rp114.461.914,00

2) *Percepatan dengan Penambahan Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan Inti Lempung dari Stockpile ke Embankment (Jarak 0–2 Km)*

Volume = 375.538,03 m<sup>3</sup>

Harga satuan = Rp54.488,00

*Crash duration* = 184 hari

Sewa alat/hari = Rp5.932.080,00/jam × 8 jam  
= Rp47.456.640,00/hari

*Crash cost*

= (Harga satuan pekerjaan × volume) + (Sewa alat × *Crash duration*)

= (Rp54.488,00 × 375.538,03) + (Rp47.456.640,00 × 184)

= Rp29.194.488.249,00

I. *Cost Slope*

*Cost slope* adalah penambahan biaya yang dibutuhkan setiap melakukan pengurangan durasi. Percepatan durasi pekerjaan akan menambah biaya normal pada aktivitas pekerjaan. Contoh perhitungan *cost slope* pada Percepatan dengan penambahan alat berat pada Pekerjaan Timbunan inti lempung dari *stockpile* ke *embankment* (jarak 0–2 km) adalah sebagai berikut:

*Normal Cost* = Rp20.462.466.489,00

*Normal Duration* = 368 hari

*Crash Cost* = Rp29.194.488.249,00

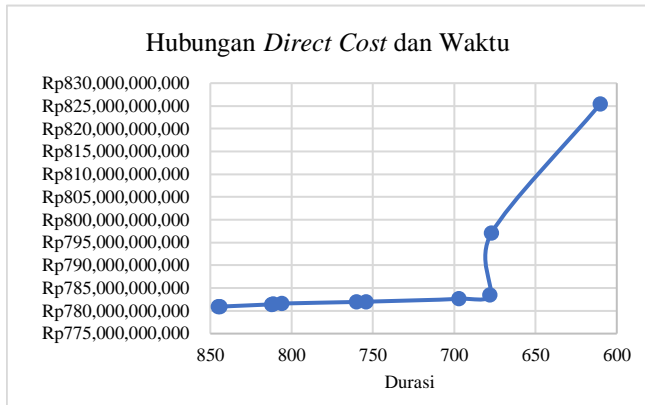
*Crash Duration* = 184 hari

*Cost Slope*

= (*crash cost* – *normal cost*)/(*normal duration* – *crash duration*)

Tabel 5.  
Rekapitulasi Hasil Durasi *Crashing*

Iterasi	Aktivitas Pekerjaan yang di <i>Crashing</i>	Durasi Total
0		845
1	85	844
2	68-72	812
3	84	811
4	66, 68-72, 78-82	806
5	7	760
6	6 & 7	754
7	5-7	697
8	58-61, 63-64, 68-72, 78-82	678
9	44-46	677
10	48-55	610



Gambar 2. Hubungan *direct cost* dan waktu.

$$= (Rp29.194.488.249,00 - Rp20.462.466.489,00) / (368 \text{ hari} - 184 \text{ hari})$$

$$= Rp47.456.640,00$$

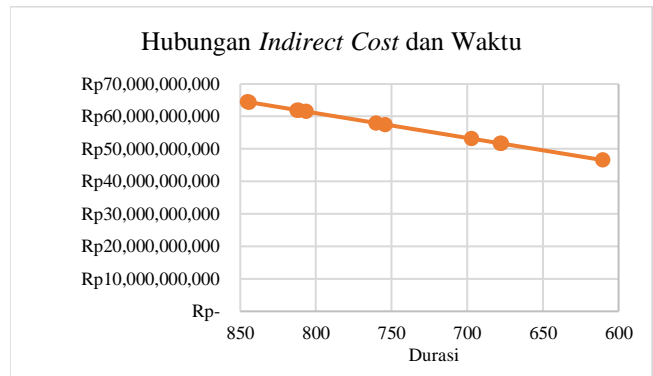
J. Analisis Time Cost Trade Off

Metode *time cost trade off* digunakan dalam percepatan yang dilakukan berdasarkan dari kegiatan yang memiliki *cost slope* terendah sampai kegiatan suatu item pekerjaan dengan *cost slope* tertinggi, kemudian dilakukan proses kompresi durasi pelaksanaan proyek dimulai dari kegiatan dengan *cost slope* terendah. Adapun contoh kompresi pada tahap ini yakni akibat penambahan alat berat dengan nilai *cost slope* terendah yang dapat mengurangi durasi total proyek.

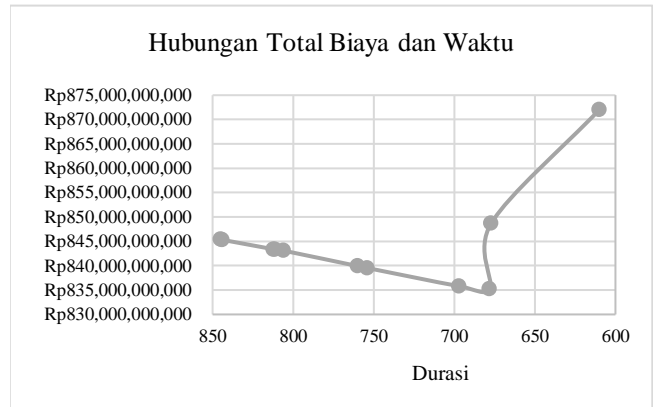
- Pekerjaan yang dicrashing = 85
- Cost Slope = Rp14.923.200,00
- Normal Duration Aktivitas = 2
- Normal Duration Proyek = 795
- Normal Direct Cost = Rp780.915.730.454,00
- Normal Indirect Cost = Rp64.461.384.322,00
- Crash Duration = 1
- Pengurangan Durasi Total Proyek = 1
- Total Durasi Proyek = 845 - 1 = 844
- Biaya *Crashing* = Rp14.923.200,00
- Direct Cost = Rp780.915.730.454,00 + Rp14.923.200,00 = Rp780.930.653.654,00
- Indirect Cost/hari = Rp76.285.662,00
- Total Indirect Cost = Rp76.285.662,00 × 844 = Rp780.930.653.654,00

Total Biaya = Direct Cost + Indirect Cost = Rp780.930.653.654,00 + Rp780.930.653.654,00 = Rp845.377.114.776,00

Perubahan Lintasan = Tidak ada perubahan  
Setelah melakukan kompresi, maka akan mendapatkan



Gambar 3. Hubungan *indirect cost* dan waktu.



Gambar 4. Hubungan *total cost* dan waktu.

lintasan kritis baru. Lalu, dilakukan kompresi dengan cara yang sama yaitu mencari *cost slope* terendah pada aktivitas di lintasan kritis yang dapat mengurangi durasi proyek. Rekapitulasi aktivitas yang berada pada lintasan kritis dan *cost slope* selama analisis *time cost trade off* dapat dilihat pada Tabel 3.

K. Analisis Optimalisasi Jadwal Proyek

Dari hasil kompresi maka seluruh item tersebut dicari percepatan waktu optimum dengan total biaya yang terendah. Analisa *time cost trade off* dengan metode *crashing* dihentikan pada tahap 10 karena biaya optimal yang menjadi tujuan analisis telah ditemukan pada tahap 8. Hasil biaya *crashing* pada Tabel 4 dan rekapitulasi hasil durasi *crashing* yang dilakukan dapat dilihat pada Tabel 5.

Dapat dilihat bahwa biaya tak langsung semakin berkurang seiring dilakukannya percepatan. Sedangkan untuk biaya langsung mengalami yang disebabkan karena adanya upah lembur pekerja itu sendiri dan penambahan sewa alat. Hubungan antara biaya langsung, biaya tak langsung, dan biaya total terhadap waktu dapat dilihat pada Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4.

Berdasarkan grafik-grafik diatas dapat diketahui bahwa semakin besar durasi proyek maka *direct cost* atau biaya langsung akan semakin kecil. Namun berbanding terbalik dengan *indirect cost* atau biaya tak langsung, semakin besar durasi proyek, *indirect cost* akan semakin besar pula.

II. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan perhitungan yang telah dilakukan, didapatkan bahwa total durasi normal proyek tanpa adanya percepatan adalah 845 hari dengan biaya total proyek sebesar Rp845.377.114.776,00. Dilakukan percepatan dengan *crasing scenario* berupa penambahan

lembur dan penambahan grup alat berat. Dari hasil analisis, waktu optimum proyek didapatkan dengan mempercepat durasi proyek 167 hari dengan sisa durasi proyek 678 hari serta biaya total adalah Rp835.252.140.947,00. Hasil ini didapat pada iterasi ke delapan, dimana pada iterasi ke sembilan, biaya total proyek hasil iterasi menunjukkan adanya kenaikan biaya menjadi Rp848.743.740.079,00, dan terus naik hingga iterasi ke sepuluh, sehingga diambil hasil optimum pada iterasi ke delapan. Hasil pada iterasi kedelapan ini merupakan hasil dengan waktu tercepat dan biaya terendah.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Project Management Institute, *The Standard For Project Management And A Guide To The Project Management Body Of Knowledge (PMBOK guide)*, 7th ed. United States: Project Management Institute, Inc., 2021.
- [2] W. Yuwono, M. E. Kaukab, dan Y. Mahfud, "Kajian metode pert-cpm dan pemanfaatannya dalam manajemen waktu dan biaya pelaksanaan proyek," *J. Econ. Manag. Account. Technol.*, vol. 4, no. 2, hal. 192–214, 2021, doi: 10.32500/jematech.v4i2.1925.
- [3] M. Kareth, H. Tarore, J. Tjakra, dan D. R. O. Walangitan, "Analisis optimalisasi waktu dan biaya dengan program primavera 6.0 (studi kasus: proyek perumahan puri kelapa gading)," *J. Sipil Statik*, vol. 1, no. 1, hal. 53–59, 2016.
- [4] A. Frederika, "Analisis percepatan pelaksanaan dengan menambah jam kerja optimum pada proyek konstruksi (Studi kasus: proyek pembangunan super villa, Peti Tenget-Badung)," *J. Ilm. Tek. Sipil*, vol. 14, no. 2, hal. 113–126, 2010.
- [5] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional*, 2nd ed. Jakarta: Erlangga, 2001.
- [6] P. D. Warsika, "Analisa Biaya dan Waktu dengan Metode Fast Track pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Gedung di Kabupaten Badung)," Departemen Teknik Sipil, Universitas Udayana, Bali, 2016.
- [7] S. Mubarak, *Construction Project Scheduling and Control*, 4th ed. United States: John Wiley & Sons, Inc, 2019. ISBN: 9780470912171.
- [8] B. F. Islami, "Analisis Percepatan dengan Menggunakan Metode Time Cost Trade Off pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Solo–Ngawi–Kertosono (Ruas: Solo–Ngawi) Sta 56+050–Sta 90+250," Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya, 2018.
- [9] M. Priyo dan A. Sumanto, "Analisis percepatan waktu dan biaya proyek konstruksi dengan penambahan jam kerja (lembur) menggunakan metode time cost trade off: studi kasus proyek pembangunan prasarana pengendali banjir," *J. Ilm. Semesta Tek.*, vol. 19, no. 1, hal. 1–15, 2016, doi: <https://doi.org/10.18196/st.v19i1.2233>.