

# ANALISIS EVALUASI MANAJEMEN WAKTU DAN BIAYA MENGGUNAKAN METODE CPM, PERT, DAN TCTO PADA PELAKSANAAN LAPIS PONDASI ATAS (LPA) PROYEK JLS LOT 6 TULUNGAGUNG—TRENGGALEK

Dwi Eggyna Ali Putri\*, N. Bambang Revantoro, Eko Suwarno

Universitas Negeri Malang, Jl. Semarang No. 5 Malang, Jawa Timur, Indonesia

\*Corresponding author, email: dwi.eggyna.18052@students.um.ac.id

doi: 10.17977/um068.v4.i7.2024.2

## Kata kunci

keterlambatan proyek  
jadwal  
biaya  
metode CPM  
metode PERT  
metode TCTO  
efisiensi

## Abstrak

Permasalahan keterlambatan proyek terjadi pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) di Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek, yang disebabkan oleh cuaca hujan, ketidaksesuaian tanah dasar, serta keterbatasan alat berat. Keterlambatan ini mencapai -6,361% atau sekitar Rp. 739.625.414,496 dengan 30 hari keterlambatan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perhitungan waktu dan biaya pekerjaan LPA menggunakan metode CPM, PERT, dan TCTO serta menilai efisiensi penerapannya di lapangan untuk meminimalkan keterlambatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode CPM memprediksi waktu penyelesaian 112 hari, sedangkan metode PERT mempersingkatnya menjadi 109 hari dengan efisiensi waktu 2,67%. Total biaya proyek mencapai Rp. 3,482,951,413,50 dengan penyelesaian proyek sebesar 50,80%. Metode TCTO pada CPM dengan alternatif penambahan jam lembur dan alat berat menghasilkan deviasi 12 hari dan efisiensi waktu 10,7%, namun biaya meningkat sebesar Rp. 218,643,840,00 (kenaikan 6,27%). Pada metode PERT, TCTO mempercepat penyelesaian 13 hari dengan efisiensi 11,60% dan kenaikan biaya Rp. 119,217,586 (5,78%). Faktor utama keterlambatan mencakup cuaca, kondisi lapangan, kapasitas alat, kesiapan, kualitas, dan spesifikasi material. Metode PERT cocok diterapkan di lapangan karena menggunakan tiga estimasi waktu, sementara metode TCTO tepat untuk mempercepat pekerjaan yang tertunda dengan solusi alternatif.

## 1. Pendahuluan

Proyek konstruksi merupakan salah satu kegiatan yang dilakukan dalam jangka waktu yang telah ditetapkan sehingga perlu tiga hal utama yang saling berkaitan yaitu waktu, biaya, dan mutu (Basriati & Melda, 2017). Bila terjadi keterlambatan terhadap pelaksanaannya, maka berdampak kepada pemilik proyek maupun pihak kontraktor. Salah satu dampak keterlambatan proyek bagi pemilik proyek yaitu berkurangnya potensial income dari fasilitas yang dibangun, sedangkan keterlambatan bagi pihak kontraktor yaitu meningkatnya biaya tidak langsung (indirect cost), seperti pengeluaran gaji karyawan, sewa peralatan, berkurangnya keuntungan yang diperoleh, serta mundurnya waktu pelaksanaan pekerjaan proyek (Adriadi & Solihin, 2021).

Berdasarkan hasil observasi, masalah keterlambatan terjadi di proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek. Proyek JLS Lot 6 merupakan salah satu proyek pembangunan jalur pantai lintas selatan yang meliputi Prigi—Bts. Tulungagung - Klatak—Brumbun dengan panjang 17,78 Km dengan kontraktor utama yaitu PT. PP (Persero) Tbk. Adapun keterlambatan terjadi di minggu ke-77 dengan total keterlambatan proyek mencapai -6.361 % pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA).

Permasalahan keterlambatan pada proyek dapat diantisipasi dengan melakukan percepatan dalam pelaksanaannya, namun harus tetap memperhatikan adanya faktor biaya (Yoni, dkk., 2013). Dalam melakukan percepatan pelaksanaan proyek ada beberapa alternatif yang dapat diterapkan, antara lain penambahan waktu kerja atau jam lembur, penambahan tenaga kerja, penggunaan

metode kerja yang efektif, serta penggunaan peralatan yang lebih produktif (Oktavia, dkk., 2019). Dari uraian tersebut pihak kontraktor harus bisa efektif dan efisien dalam menempatkan alternatif yang akan digunakan disetiap pekerjaan yang mengalami keterlambatan agar biaya yang dikeluarkan tidak mengalami pembengkakan dan sesuai dengan rencana awal tanpa mengurangi kualitas dari mutu.

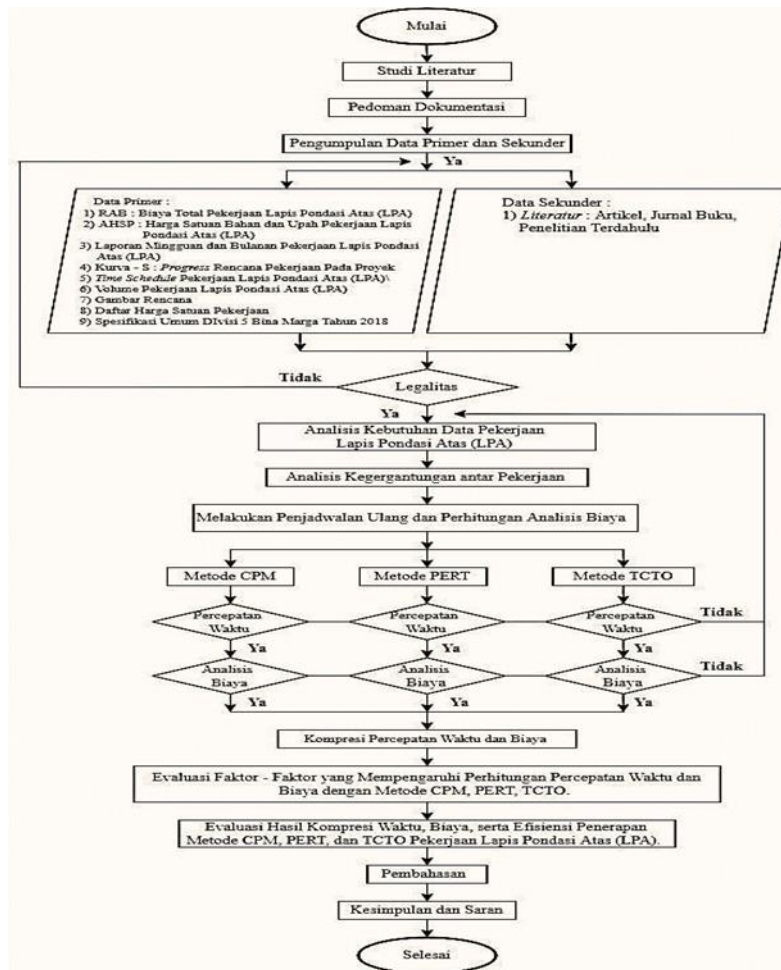
Salah satu cara atau upaya untuk mengatasi perencanaan serta pengendalian proyek dengan menggunakan beberapa metode yang akan dilakukan dalam penelitian ini, antara lain dengan metode Critical Path Method (CPM), Project Evaluation and Review Technique (PERT) dan Time Cost Trade Off (TCTO). Menurut Grace, dkk. (2013) penggunaan metode CPM dapat mengetahui analisis jaringan kerja berupa jumlah waktu untuk menyelesaikan pekerjaan dengan pasti serta mengutamakan pengoptimalan biaya dengan pengurangan atau percepatan waktu pada jalur lintasan kritis. Menurut penelitian Mas'ud & Wijayanti (2017) dengan metode PERT dapat menganalisis unsur yang belum pasti, lalu dianalisis kemungkinan sejauh mana proyek menyimpang atau memenuhi dengan menggunakan metode probabilistik dan analisis jaringan kerja. Sedangkan menurut Chusairi (2015) metode TCTO memungkinkan untuk dilakukannya pertukaran waktu terhadap biaya proyek dengan melakukan analisis penambahan biaya proyek yang akan terjadi akibat dilakukannya pengurangan durasi pekerjaan sehingga output yang dihasilkan berupa waktu dan biaya yang optimal. Sehingga dengan menggunakan kombinasi dari metode CPM dan PERT didapatkan hasil yang efektif untuk mengevaluasi durasi waktu pada lintasan jalur kritis dan mengetahui persentase penyelesaian proyek dengan cara probabilistik, sedangkan dengan menggunakan metode TCTO dapat mengetahui besar nilai efisiensi biaya dan waktu yang dikeluarkan setelah dilakukan pengurangan durasi pekerjaan dan penambahan biaya optimum dengan dilakukan penambahan beberapa alternatif.

Berdasarkan beberapa penelitian yang telah dilakukan sebelumnya dan hasil observasi dari faktor-faktor yang menyebabkan keterlambatan pada pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (LPA) pada proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek. Maka perlu dilakukan penelitian terkait dengan hal tersebut, diharapkan dari penelitian ini dapat meminimalisir keterlambatan dengan melakukan analisis faktor-faktor yang mempengaruhi percepatan waktu dengan penambahan biaya paling optimal menggunakan metode CPM, PERT, dan TCTO dari hasil perhitungan waktu dan biaya, serta efisiensi penerapan metode tersebut pada pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (LPA) proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek.

## **2. Metode**

### **2.1. Rancangan Penelitian**

Tahapan dalam melaksanakan penelitian ini sesuai dengan diagram alir yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## 2.2. Variabel Penelitian

Penelitian ini memiliki tiga variable, yaitu variabel bebas, variabel kontrol, dan variabel terikat, dimana variabel bebas yaitu metode CPM, metode PERT, metode TCTO. Variabel kontrol penelitian ini yaitu progres pekerjaan lapis pondasi atas, durasi pekerjaan lapis pondasi atas, analisa harga satuan pekerjaan lapis pondasi atas, rencana anggaran biaya pekerjaan lapis pondasi atas, dan faktor waktu dan faktor biaya. Variabel terikat pada penelitian ini yaitu percepatan waktu dan analisis biaya.

## 2.3. Pengumpulan Data

Data yang diterapkan dalam penelitian ini dibagi menjadi dua yaitu data primer, data sekunder. Data primer yang diperoleh peneliti secara langsung yaitu dari pihak kontraktor PT. PP (Persero) Tbk. Berupa data-data proyek yang dibutuhkan dalam penelitian seperti gambar rencana, RAB, laporan harian, dan mingguan pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (LPA), Time schedule, kurva s, daftar harga satuan pekerjaan, spesifikasi umum divisi 5 Bina Marga tahun 2018. Sedangkan untuk data sekunder pada penelitian ini yaitu data yang diperoleh melalui pihak lain, maupun secara tidak langsung. Berupa studi literatur seperti artikel, jurnal, buku, serta penelitian terdahulu.

## 2.4. Skenario Percepatan Waktu dan Biaya

Skenario dalam melakukan percepatan waktu dan biaya pada penelitian ini dengan melakukan penambahan tenaga kerja dengan menggunakan sistem shift, dan penambahan jumlah alat berat saat lembur. Sistem shift dibagi menjadi 4, dimana setiap shift akan dilakukan durasi selama 8 jam dan dimulai pukul 07.00 WIB. Sehingga dalam 1 hari akan dibagi menjadi 4 shift lalu dibagi sesuai dengan pekerjaan perharinya.

## 2.5. Analisis Data

Pada penelitian ini dilakukan evaluasi waktu dan biaya dengan metode CPM, PERT, dan TCTO pada pekerjaan lapis pondasi atas (LPA) dengan bantuan aplikasi Microsoft Project dan Microsoft Excel. Data primer dan sekunder diolah Kembali untuk mendapatkan hasil yang sesuai dengan harapan berupa biaya serta waktu yang optimal, sesuai dengan tahapan sebagai berikut.

1. Melakukan *work breakdown structure (WBS)* pada pelaksanaan LPA
2. Melakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan metode CPM
  - a. Mengidentifikasi komponen-komponen pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) serta durasi pekerjaan.
  - b. Menyusun diagram jaringan kerja dengan menggunakan Microsoft Project.
  - c. Mengidentifikasi pekerjaan yang berada di jalur kritis
  - d. Menghitung biaya durasi normal dengan menambahkan semua biaya di tiap item pekerjaan
3. Melakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan metode PERT untuk mengetahui persentase peluang penyelesaian proyek :
  - a. Menentukan probabilitas dengan tiga estimasi waktu yaitu waktu optimis (a), waktu pesimis (b), dan waktu realistis (m) disetiap item pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA)
  - b. Menghitung pendekatan durasi rata-rata (Te):
$$Te = (a+4m+b)/6$$
  - c. Menyusun diagram jaringan berdasarkan waktu Te
  - d. Menentukan kegiatan yang berada di jalur kritis.
  - e. Menghitung deviasi standar kegiatan (S):
$$S = \frac{1}{6} b - a$$
  - f. Menghitung nilai varians kegiatan proyek V(te):
$$S^2 = [ 1/6 b-a]^2$$
  - g. Menghitung angka kemungkinan untuk mencapai target (Z), dengan rumus :
$$Z = \frac{Tx-Te}{s}$$
  - h. Melakukan perhitungan biaya pada metode PERT
4. melakukan percepatan waktu dan biaya menggunakan metode TCTO dengan menggunakan hasil metode CPM dan PERT:
  - a. Menentukan alternatif berupa penambahan jam lembur, dan penambahan tenaga kerja untuk mendapatkan hasil waktu dan biaya yang efisien.
  - b. Membuat penjadwalan ulang dengan metode CPM dan PERT untuk mendapatkan durasi waktu normal
  - c. Menentukan biaya normal di masing-masing kegiatan

- d. Melakukan penentuan biaya dipercepat pada masing-masing kegiatan.
  - e. Mempersingkat durasi waktu kegiatan, dimulai dengan kegiatan kritis yang memiliki cost slope terendah.
  - f. Jika dalam proses mempercepat waktu pelaksanaan proyek terbentuk jalur kritis baru, maka kompresi dilakukan terhadap kegiatan kritis (baik kegiatan kritis awal dan baru) yang mempunyai cost slope terendah. Kompresi dihentikan bila terdapat lintasan kritis dimana aktivitas telah mengalami jenuh seluruhnya (tidak dapat dikompres lagi).
  - g. Melakukan perhitungan biaya langsung dan biaya tidak langsung.
  - h. Melakukan penambahan hasil perhitungan biaya langsung dan tidak langsung akibat adanya penambahan jam kerja atau dengan penambahan tenaga kerja, sehingga mendapatkan biaya total proyek yang baru
  - i. Membuat tabulasi biaya dan waktu dengan membuat grafik lalu menghubungkan titik yang terbentuk disetiap kali mempersingkat kegiatan.
  - j. Membuat grafik hubungan waktu dan biaya langsung, biaya tidak langsung, dan biaya total untuk masing-masing penambahan jam kerja atau penambahan tenaga kerja.
  - k. Melakukan pemeriksaan grafik biaya total untuk mencapai waktu optimal, yaitu kurun waktu penyelesaian proyek dengan biaya terendah.
5. membuat daftar dan menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi hasil perhitungan waktu dan biaya pelaksanaan LPA
  6. melakukan evaluasi efisiensi pada perhitungan waktu dan biaya pelaksanaan LPA dengan metode CPM, PERT, dan TCTO

### 3. Hasil dan Pembahasan

#### 3.1. Hasil

##### 3.1.1. Perhitungan Metode CPM

Perhitungan dengan menggunakan metode CPM memiliki tujuan untuk mencari lintasan jalur kritis dengan diagram jaringan kerja, sehingga hasil yang didapat berupa waktu penyelesaian proyek serta pekerjaan yang termasuk dalam lintasan kritis.

##### 3.1.2. Komponen Pekerjaan LPA

Berikut ini merupakan durasi normal dan biaya pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (LPA) proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yang dapat dilihat pada Tabel 1.

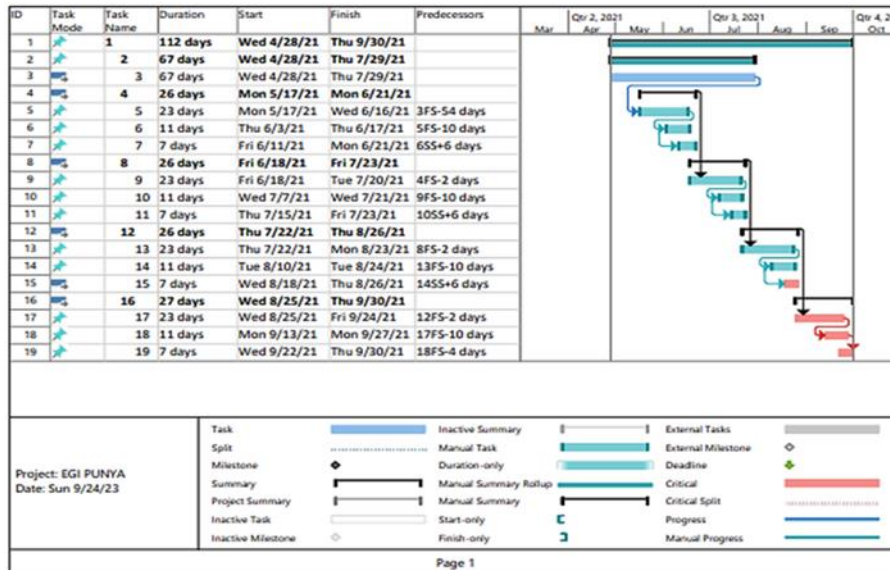
**Tabel 1. Komponen Pekerjaan LPA**

No.	Nama Pekerjaan	Durasi (Hari)	Biaya (Rp)
A.	Pekerjaan Persiapan Lapis Pondasi Atas (LPA)	-	-
1	Penyiapan Badan Jalan ( <i>Top Subgrade</i> )	67	Rp 1,085,823,600.00
B.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kanan Jalan	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	Rp 92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	7	Rp 299,594,646.75
C.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kiri Jalan	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	Rp 92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	7	Rp 299,594,646.75
D.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kanan Jalan	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	Rp 92,659.88

No.	Nama Pekerjaan	Durasi (Hari)	Biaya (Rp)
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	Rp 299,594,646.75
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kiri Jalan	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm	23	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	Rp 92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	Rp 299,594,646.75
Total			Rp 3,482,951,413.50

### 3.1.3. Diagram Jaringan Kerja Metode CPM

Berikut ini merupakan hasil dari penentuan dan perhitungan diagram jaringan kerja pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) dengan menggunakan *Microsoft Project* yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Jaringan Kerja Metode CPM

Hasil dari diagram jaringan kerja diatas menunjukkan lintasan kritis pekerjaan LPA pada garis yang berwarna merah yaitu 15 – 17 – 18 – 19 dengan waktu penyelesaian sebesar 112 hari.

### 3.1.4. Perhitungan Biaya Normal

Berikut ini adalah perhitungan biaya total pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Perhitungan Biaya Normal

No.	Nama Pekerjaan	Volume	Satuan	Biaya (Rp)
A.	Pekerjaan Persiapan Lapis Pondasi Atas	-	-	-
1.	Penyiapan Badan Jalan (Top Subgrade)	36376.00	m <sup>2</sup>	Rp 1,085,823,600.00
B.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	Rp 92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
C.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	Rp 92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
D.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	Rp 92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	Rp 92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	842.3625	m <sup>3</sup>	Rp 299,594,646.75
Total				Rp 3,482,951,413.50

### 3.1.5. Perhitungan Metode PERT

mengetahui mencari lintasan jalur kritis dengan diagram jaringan kerja, serta mengetahui waktu penyelesaian proyek dengan menggunakan tiga estimasi waktu yang berbeda sehingga dengan mengetahui presentase probabilitas penyelesaian proyek pada waktu tertentu.

### 3.1.6. Probabilitas Tiga Estimasi Waktu

Dalam menentukan waktu optimis dilakukan asumsi dengan menambahkan tenaga kerja sebanyak 20% pada jalur kritis waktu realistis, dan untuk waktu realistis menggunakan waktu real di lapangan. Untuk waktu pesimis dilakukan asumsi dengan waktu hambatan / keterlambatan penyelesaian pekerjaan Lapis Pondasi Atas pada proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek. Berikut ini merupakan tiga estimasi waktu yang diuraikan pada Tabel 3.

**Tabel 3. Probabilitas Tiga Estimasi Waktu (Three Times Estimate)**

No.	Nama Pekerjaan	Waktu Realistis (m)	Waktu Pesimis (b)	Waktu Optimis (a)
A.	Pekerjaan Persiapan Lapis Pondasi Atas (LPA)	-	-	-
1	Penyiapan Badan Jalan (Top Subgrade)	67	69	50
B.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	7	14	5
C.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6
3	Pemadatan Agregat Layer 1	7	14	5
D.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16
2	Pembasahan Agregat A setelah penghamparan	11	18	6
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	14	5
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	14	5

### 3.1.7. Perhitungan Pendekatan Durasi Rata-Rata (Te)

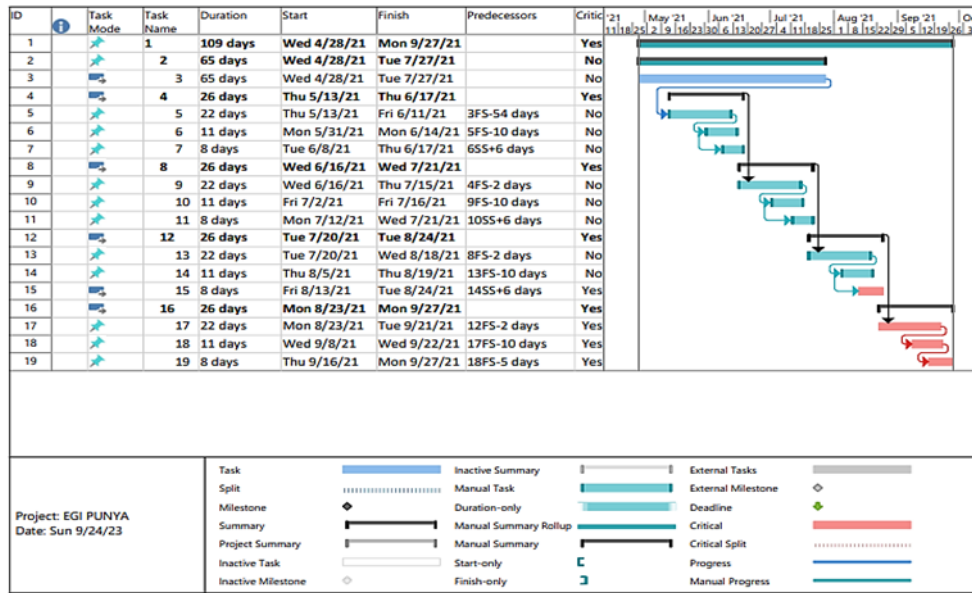
Dalam menentukan nilai pendekatan durasi rata-rata (Te) menggunakan tiga estimasi waktu. Berikut ini merupakan perhitungan nilai Te yang dapat dilihat pada Tabel 4.

**Tabel 4. Perhitungan Nilai Te**

No.	Nama Pekerjaan	Waktu Realistis (m)	Waktu Pesimis (b)	Waktu Optimis (a)	Te
A.	Pekerjaan Persiapan Lapis Pondasi Atas (LPA)	-	-	-	-
1	Penyiapan Badan Jalan (Top Subgrade)	67	69	50	64
B.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kanan Jalan	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16	22
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6	11
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	7	14	5	8
C.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kiri Jalan	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16	22
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6	11
3	Pemadatan Agregat Layer 1	7	10	6	8
D.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kanan Jalan	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	21	22
2	Pembasahan Agregat A setelah penghamparan	11	12	10	11
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	10	6	8
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kiri Jalan	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	21	22
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	12	10	11
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	10	6	8

### 3.1.8. Diagram Jaringan Kerja Metode PERT

Berdasarkan hasil perhitungan dengan melakukan pendekatan dengan durasi rata-rata (Te) dapat dilakukan pembuatan diagram jaringan kerja serta jalur kritis yang baru. Berikut merupakan hasil perhitungan diagram kerja pada pelaksanaan lapis pondasi atas (LPA) menggunakan *Microsoft Project* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Jaringan Kerja Metode PERT

Pada diagram jaringan dengan menggunakan aplikasi Microsoft project didapatkan jalur kritis pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yaitu 15 - 17 - 18 - 19 dengan total waktu penyelesaian sebesar 109 hari.

### 3.1.9. Perhitungan Deviasi Standar Kegiatan (S)

Deviasi standar kegiatan digunakan untuk mengetahui tingkat ketidakpastian estimasi waktu sebuah pekerjaan. Deviasi standar dapat dihitung berdasarkan dari hasil waktu optimis dan waktu realistis. Berikut ini adalah perhitungan nilai deviasi standar kegiatan pada pekerjaan LPA yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Deviasi Standar Kegiatan (S)

No.	Nama Pekerjaan	Waktu Realistis (m)	Waktu Pesimis (b)	Waktu Optimis (a)	Te	S
A.	Pekerjaan Persiapan Lapis Pondasi Atas (LPA)	-	-	-	-	-
1	Penyiapan Badan Jalan (Top Subgrade)	67	69	50	64	3.17
B.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kanan Jalan	-	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16	22	1.67
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6	11	2.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	7	14	5	8	1.50
C.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kiri Jalan	-	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16	22	1.67
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6	11	2.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	7	14	5	8	1.50
D.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kanan Jalan	-	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16	22	1.67
2	Pembasahan Agregat A setelah penghamparan	11	18	6	11	2.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	14	5	8	1.50
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kiri Jalan	-	-	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	26	16	22	1.67
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	18	6	11	2.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	14	5	8	1.50

### 3.1.10. Perhitungan Varian Kegiatan

Dari hasil perhitungan yang didapatkan dari deviasi standar kegiatan (Te) pada Tabel 5 menunjukkan adanya nilai varian kegiatan proyek V(te). Hasil dari perhitungan varian kegiatan digunakan untuk menghitung kemungkinan penyelesaian proyek (probabilitas). Berikut ini perhitungan nilai varian kegiatan V(te) yang dapat dilihat pada Tabel 6.

**Tabel 6. Hasil Perhitungan Varian Kegiatan V(te)**

No.	Nama Pekerjaan	Te	S	V(te)
A.	Pekerjaan Persiapan Lapis Pondasi Atas (LPA)	-	-	-
1	Penyiapan Badan Jalan (Top Subgrade)	64	3.17	10.03
B.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	22	0.83	2.78
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	0.33	4.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	8	0.67	2.25
C.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	22	0.83	2.78
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	0.33	4.00
3	Pemadatan Agregat Layer 1	8	0.67	2.25
D.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	22	0.83	2.78
2	Pembasahan Agregat A setelah penghamparan	11	0.33	4.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	8	0.67	2.25
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	22	0.83	2.78
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	0.33	4.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	8	0.67	2.25

### 3.1.11. Persentase Probabilitas dengan Tabel Normal Z Value

Perhitungan persentase probabilitas menggunakan tabel Z atau tabel distribusi normal serta dibutuhkan nilai expected time (te), varians dan standar deviasi pada kegiatan yang berada pada jalur kritis. Diketahui beberapa pekerjaan yang berada pada lintasan kritis yaitu 15 - 17 - 18 - 19. Berikut merupakan perhitungan nilai Z pada metode PERT yaitu sebagai berikut.

Diketahui :

Expected time (te):

$$Te = 109 \text{ hari}$$

Varian kegiatan pada lintasan kritis proyek :

$$V = 2.25 + 2.78 + 4.00 + 2.25$$

$$= 11.28$$

Standar deviasi kegiatan (Sd):

$$Sd = \sqrt{V}$$

$$= \sqrt{11.28}$$

$$= 3.36$$

Sehingga untuk menghitung nilai normal Z value dibutuhkan waktu penyelesaian yang diinginkan (Tx) serta expected time (te) pada jalur kritis.

$$\text{Normal Z value} = \frac{Tx - Te}{Sd}$$

$$= \frac{87 - 109}{3.36}$$

$$= -6.55$$

$$= 0.00 = 50 \%$$

$$\text{Normal Z value} = \frac{Te-tx}{Sd}$$

$$= \frac{112-109}{127.24}$$

$$= 0.02 = 50.80 \%$$

**Tabel 7. Perhitungan Nilai Z**

No.	Tx	Normal Z Value	Probabilitas (%)
1.	87	0.00	50 %
2.	112	0.02	50.80 %

### 3.1.12. Perhitungan Total Biaya Normal Metode PERT

Perhitungan total biaya yang dibutuhkan pada waktu yang diperoleh dari perhitungan nilai Te dihasilkan dari penambahan biaya di tiap pekerjaan pada pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek. Berikut ini merupakan perhitungan total biaya yang dapat diuraikan pada Tabel 8.

**Tabel 8. Perhitungan Biaya Normal Metode PERT**

No.	Nama Pekerjaan	Volume	Satuan	Biaya (Rp)
A.	Pekerjaan Persiapan Lapis Pondasi Atas	-	-	-
1	Penyiapan Badan Jalan (Top Subgrade)	36376.00	m <sup>2</sup>	1,085,823,600.00
B.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 1	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
C.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 1 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
D.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kanan Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 Sisi Kiri Jalan	-	-	-
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	842.3625	Liter	92,659.88
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	842.3625	m <sup>3</sup>	299,594,646.75
Total				Rp 3,482,951,413.50

### 3.1.13. Perhitungan Metode Time Cost Trade Off (TCTO)

Time Cost Trade Off (TCTO) salah satu cara yang dapat digunakan dalam menyelesaikan permasalahan keterlambatan dan mengkompres (penekanan) jaringan kerja dengan menggunakan beberapa alternatif yaitu dengan penambahan jumlah alat berat, maupun kombinasi dari beberapa alternatif tersebut. Pada penelitian ini, percepatan waktu dilakukan menggunakan metode TCTO, serta menghitung biaya dengan alternatif berupa penambahan jam kerja (lembur), dan penambahan jumlah alat berat di jam lembur pada metode CPM dan PERT dengan tujuan untuk mengetahui durasi percepatan dan biaya yang optimal untuk menyelesaikan proyek.

### 3.1.14. Perhitungan Waktu Percepatan TCTO dari Hasil Perhitungan Metode CPM

Berdasarkan hasil perhitungan waktu pada jalur kritis dengan metode CPM didapatkan hasil 112 hari, dimana waktu tersebut masih melebihi durasi dari jadwal yang telah direncanakan. Perhitungan percepatan waktu hanya dilakukan pada kegiatan yang belum dikerjakan hingga minggu ke - 77 dan berada pada jalur kritis. Adapun pekerjaan yang dilakukan percepatan yaitu hanya pekerjaan Lapis Pondasi Atas Layer 2 (Sisi Kiri Jalan). Berikut contoh perhitungan durasi percepatan pekerjaan penghamparan Agregat A layer 2 (Sisi Kiri Jalan):

Diketahui:

- a. Volume = 842.36 m<sup>3</sup>
- b. Durasi Normal = 23 hari
- Pertambahan Pekerja = 28 orang
- c. Kebutuhan Pekerja = koefisien x volume  
= 0.0395 x 842.36  
= 33 orang
- d. Produktivitas Harian Normal =  $\frac{Volume}{durasi\ normal} = 37$
- e. Kebutuhan Pekerja Dipercepat = 33 + 28
- f. Produktivitas Harian Dipercepat  
=  $\frac{Prod. Normal + (Prod. Normal \times Jumlah\ Pekerja\ Dipercepat)}{Jumlah\ Pekerja\ Normal}$   
= 69 m<sup>3</sup>/hari
- g. Durasi Percepatan =  $\frac{Volume}{Prod. Harian\ Percepatan} = 12\ Hari$

Berikut ini merupakan rekapitulas perhitungan percepatan waktu yang dapat dilihat pada Tabel 9.

**Tabel 9. Rekapitulasi Perhitungan Percepatan Waktu**

No.	Nama Kegiatan	Durasi Normal	Durasi Crash	Deviasi
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas Layer 2 (Sisi Kiri Jalan)	-	-	-
1.	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	23	12	11
2.	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	11	6	5
3.	Pemadatan Agregat A Layer 2	7	3	4

Penambahan pekerja sebanyak 28 orang didapatkan dari 20% dari nilai biaya percepatan, berikut ini merupakan perhitungan pertambahan pekerja yang diuraikan sebagai berikut.

Diketahui:

Perhitungan penambahan pekerja:

- Nilai Pekerjaan = Rp. 24,654,180,483.20
- Persentase Percepatan = 6.361 %
- Harga Pekerja/hari = Rp. 99,000.00
- Nilai Percepatan = Nilai Pekerjaan x Persentase Pekerjaan  
= Rp. 24,654,180,483.20 x 6.361%  
= Rp. 1,568,252,420.54
- Nilai Pekerja = Rp. 1,568,252,420.54 x 20%

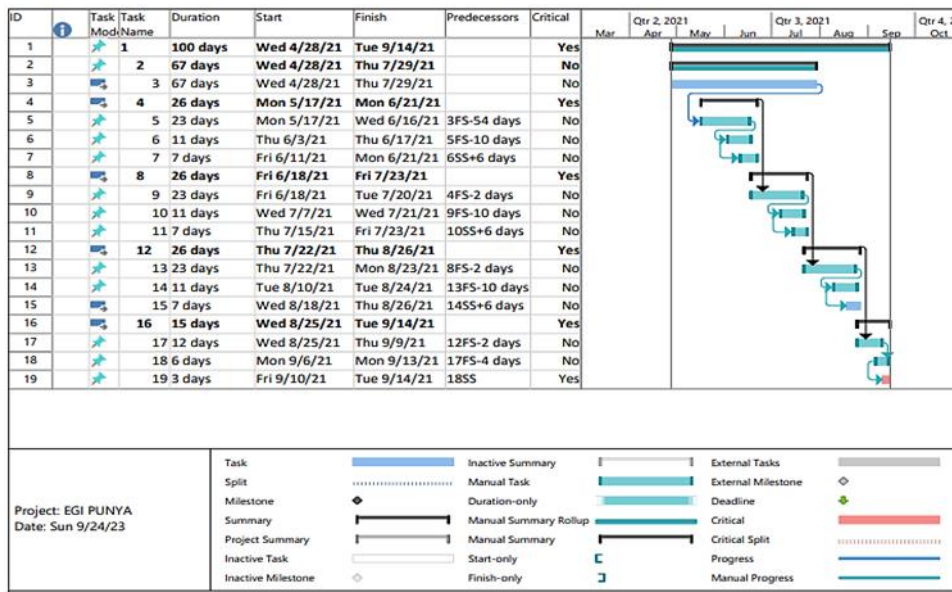
$$= \text{Rp. } 313,650,484.11$$

$$\text{Nilai Pekerja/hari} = \frac{\text{Nilai Pekerja}}{\text{durasi}} = \frac{\text{Rp.}313,650,484.11}{112} = 2,800,450.75$$

$$\text{Tenaga Kerja/hari} = \frac{\text{Nilai Pekerja/hari}}{\text{Harga/hari}} = \frac{2,800,450.75}{99,000} = 28 \text{ orang}$$

### 3.1.15. Diagram Jaringan Kerja Waktu Dipercepat

Berdasarkan dari hasil perhitungan waktu dipercepat, maka dapat dilakukan kembali pembuatan diagram jaringan kerja serta jalur kritis yang baru. Berikut ini merupakan hasil dari diagram kerja pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yang dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Hasil Durasi Percepatan CPM Menggunakan Metode TCTO

Hasil kritis terbaru pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yaitu 19 dengan waktu total penyelesaian sebesar 100 hari.

### 3.1.16. Perhitungan Biaya Percepatan

Berikut ini merupakan salah satu perhitungan biaya pertambahan alat berat, dan biaya penambahan pekerja dengan penerapan sistem shift pada pekerjaan penghamparan Agregat A Lapis Pondasi Atas (LPA) Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek, yaitu sebagai berikut.

### 3.1.17. Perhitungan Biaya dengan Pertambahan Alat Berat

Diketahui:

$$\text{Volume Penghamparan Agregat A} = 842.3625 \text{ m}^3$$

$$\text{Durasi Normal} = 23 \text{ Hari}$$

$$\text{Jam Kerja Efektif} = 8 \text{ Jam}$$

$$\text{Kap. Produksi Wheel Loader} = 105.66 \text{ m}^3/\text{jam}$$

(perhitungan terdapat dilampiran)

$$\text{Kap. Produksi Dump Truck} = 288 \text{ m}^3/\text{jam}$$

(perhitungan terdapat dilampiran)

Kap. Produksi <i>Motorgrader</i>	= 508.24 m <sup>3</sup> /jam (perhitungan terdapat dilampiran)
Harga Sewa Alat <i>Wheel Loader</i>	= Rp. 328,000.00 /jam
Harga Sewa Alat <i>Dump Truck</i>	= Rp. 329,000.00 /jam
Harga Sewa Alat <i>Motorgrader</i>	= Rp. 440,000.00 /jam
<i>Crashing Pekerjaan Penghamparan</i>	= 12 Hari

Jumlah Unit dan Harga Alat Berat yang dibutuhkan pada Pekerjaan Penghamparan Agregat LPA layer 2:

1. *Dump Truck*

$$\begin{aligned} \text{Jumlah } \textit{Dump Truck} &= \frac{\textit{Volume}}{\textit{Kap. Produksi Excavator} \times \textit{Durasi Normal} \times \textit{jam kerja}} \\ &= \frac{842.3625 \times 3}{4.66 \times 23 \times 8} \\ &= 0.13 \text{ unit} = 1 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kap. Prod } \textit{Dump Truck} &= \text{Jumlah } \textit{Dump Truck} \times \text{Kap. Prod } \textit{Dump Truck} \\ &= 1 \times 4.66 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 4.66 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga } \textit{Dump Truck} &= \text{Jumlah } \textit{Dump Truck} \times \text{Harga} \\ &= 1 \times \text{Rp. 328.000} \\ &= \text{Rp. 328,000.00} \end{aligned}$$

$$\textit{Crashing} = 12 \text{ hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Kap. Prod } \textit{Dump Truck} &= \text{Kap. Prod } \textit{Dump Truck} \times \textit{Crashing} \\ &= 4.66 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \text{ hari} \\ &= 55.92 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga } \textit{Dump Truck} &= \text{Harga Sewa Alat} \times \textit{Crashing} \\ &= \text{Rp. 328,000.00} \times 12 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. 3,948,000.00} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga } \textit{Dump Truck} \text{ 8 jam} &= \text{Rp. 3,948,000.00} \times 8 \text{ jam} \\ &= \text{Rp. 31,584,000.00} \end{aligned}$$

2. *Wheel Loader*

$$\text{Jumlah } \textit{Wheel Loader} = \frac{\textit{Volume}}{\textit{Kap. Prod } \textit{Wheel Loader} \times \textit{Durasi Normal} \times \textit{jam kerja}}$$

$$= \frac{842.3625 \times 3}{105.66 \times 23}$$

$$= 0.13 \text{ Unit} = 1 \text{ Unit}$$

$$\begin{aligned} \text{Kap. Prod Wheel Loader} &= \text{Jumlah Wheel Loader} \times \text{Kap. Prod Wheel Loader} \\ &= 1 \times 105.66 \text{ m}^3/\text{jam} \\ &= 105.66 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Wheel Loader} &= \text{Jumlah Wheel Loader} \times \text{Harga Sewa Alat Perjam} \\ &= 1 \times \text{Rp. 440,000.00} \\ &= \text{Rp. 440,000.00} \end{aligned}$$

$$\text{Crashing} = 12 \text{ Hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Kap. Prod Wheel Loader} &= \text{Kap. Prod Wheel Loader} \times \text{Crashing} \\ &= 105.66 \text{ m}^3/\text{jam} \times 12 \\ &= 3,168 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Wheel Loader} &= \text{Harga Sewa Alat Wheel Loader} \times \text{Crashing} \\ &= \text{Rp. 440,000.00} \times 12 \\ &= \text{Rp. 5,280,000.00} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Sewa Wheel Loader 8 jam} &= \text{Rp. 5,280,000.00} \times 8 \text{ jam} \\ &= \text{Rp. 42,240,000.00} \end{aligned}$$

### 3. Motorgrader

$$\begin{aligned} \text{Jumlah Motorgrader} &= \frac{\text{Volume}}{\text{Kap. Prod Motorgrader} \times \text{durasi normal} \times \text{jam kerja}} \\ &= \frac{842.3625 \times 3}{508.24 \times 23 \times 8} \\ &= 0.03 \text{ unit} = 1 \text{ unit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kap. Prod Motorgrader} &= \text{Jumlah Motorgrader} \times \text{Kap. Prod Motorgrader} \\ &= 1 \times 508.24 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\text{Crashing} = 12 \text{ Hari}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Motorgrader} &= \text{Jumlah Motorgrader} \times \text{Harga Sewa Alat Perjam} \\ &= 1 \times \text{Rp. 440.000,00} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kap. Prod Motorgrader} &= \text{Kap. Prod Motorgrader} \times \text{Crashing} \\ &= 508.24 \text{ m}^3/\text{jam} \times 11 \text{ Hari} \\ &= 5,590.60 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Harga Motorgrader} &= \text{Harga Sewa Alat Perjam} \times \text{Crashing} \\ &= \text{Rp. } 5,280,000.00 \\ \text{Harga Sewa Motorgrader 8 jam} &= \text{Rp. } 5,280,000.00 \times 8 \\ &= \text{Rp. } 42,240,000.00 \end{aligned}$$

Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi perhitungan penjumlahan alat berat pada waktu lembur pada percepatan waktu yang dapat dilihat pada Tabel 10.

**Tabel 10. Rekapitulasi Perhitungan Alat Berat**

No.	Jenis Pekerjaan	Biaya Alat Berat selama 8 jam (Rp)
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	Rp. 116,064,000.00
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	Rp. 7,680,000.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	Rp. 7,896,000.00
<b>Total</b>		Rp. 131,640,000.00

### 3.1.18. Perhitungan Penambahan Biaya Pekerja Pekerja Penghamparan Agregat A Layer 2 (Sisi Kiri Jalan)

Berikut ini merupakan perhitungan penambahan biaya pekerja pada pekerjaan Penghamparan Agregat A Layer 2 (Sisi Kiri Jalan).

Diketahui :

1. Perhitungan Biaya Pekerja:

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 1} &= \text{Jumlah Pekerja} \times \text{Harga Satuan} \\ &= 7 \times \text{Rp. } 99,000.00 \\ &= \text{Rp. } 693,000.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 2} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((10\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (7 \times ((10\% \times \text{Rp. } 99,000.00) + \text{Rp. } 99,000.00)) \\ &= \text{Rp. } 762,300.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 3} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((15\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (7 \times ((15\% \times \text{Rp. } 99,000.00) + \text{Rp. } 99,000.00)) \\ &= \text{Rp. } 796,950.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 4} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((15\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (7 \times ((15\% \times \text{Rp. } 72,000.00) + \text{Rp. } 72,000.00)) \\ &= \text{Rp. } 796,950.00 \end{aligned}$$

2. Perhitungan Biaya Mandor :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 1} &= \text{Jumlah Pekerja} \times \text{Harga Satuan} \\ &= 1 \times \text{Rp. } 124,300.00 \\ &= \text{Rp. } 124,300.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 2} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((10\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (1 \times ((10\% \times \text{Rp. } 124,300.00) + \text{Rp. } 124,300.00)) \\ &= \text{Rp. } 136,730.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 3} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((15\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (1 \times ((15\% \times \text{Rp. } 124,300.00) + \text{Rp. } 124,300.00)) \\ &= \text{Rp. } 142,945.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 4} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((15\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (1 \times ((15\% \times \text{Rp. } 124,300.00) + \text{Rp. } 124,300.00)) \\ &= \text{Rp. } 142,945.00 \end{aligned}$$

3. Perhitungan Biaya Operator Alat Berat :

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 1} &= \text{Jumlah Pekerja} \times \text{Harga Satuan} \\ &= 1 \times \text{Rp. } 124,300.00 \\ &= \text{Rp. } 124,300.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 2} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((10\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (1 \times ((10\% \times \text{Rp. } 124,300.00) + \text{Rp. } 124,300.00)) \\ &= \text{Rp. } 136,730.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 3} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((15\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (1 \times ((15\% \times \text{Rp. } 124,300.00) + \text{Rp. } 124,300.00)) \\ &= \text{Rp. } 142,945.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Biaya Shift 4} &= (\text{Jumlah Pekerja} \times ((15\% \times \text{Harga Satuan}) + \text{Harga Satuan})) \\ &= (1 \times ((15\% \times \text{Rp. } 124,300.00) + \text{Rp. } 124,300.00)) \\ &= \text{Rp. } 142,945.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Total Biaya Percepatan} &= \text{Biaya Shift 1} + \text{Biaya Shift 2} + \text{Biaya Shift 3} + \text{Biaya Shift 4} \\ &= \text{Rp. } 941,600.00 + 1,035,760.00 + 1,082,840.00 + 1,082,840.00 \\ &= \text{Rp. } 4,143,040.00 \end{aligned}$$

Berikut merupakan hasil dari rekapitulasi perhitungan biaya pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) pada waktu dipercepat yang dapat dilihat pada Tabel 11.

**Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Biaya Percepatan**

No.	Nama Kegiatan	Harga Normal (Rp)	Harga Percepatan (Rp)	Deviasi (Rp)
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 (Sisi Kiri Jalan)			

No.	Nama Kegiatan	Harga Normal (Rp)	Harga Percepatan (Rp)	Deviasi (Rp)
1.	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	Rp. 299,594,646.75	Rp. 329,057,046.75	Rp. 29,462,400.00
2.	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	Rp. 92,659.88	Rp. 14,823,859.88	Rp. 14,731,200.00
3.	Pemadatan Agregat A Layer 2	Rp. 299,594,646.75	Rp. 306,960,246.75	Rp. 7,365,600.00
Total		Rp. 599,281,953.38	Rp. 686,285,793.38	Rp. 87,003,840.00

### 3.1.19. Perhitungan Waktu Percepatan TCTO dari Hasil Perhitungan Metode PERT

Berdasarkan hasil perhitungan waktu pada jalur kritis dengan metode PERT didapatkan hasil durasi sebesar 109 hari, dimana waktu tersebut masih melebihi durasi dari jadwal yang telah direncanakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan perhitungan percepatan waktu dengan menerapkan alternatif berupa penambahan tenaga kerjavidan alat berat untuk memperoleh waktu yang lebih singkat. Perhitungan percepatan waktu hanya dilakukan pada kegiatan yang belum dikerjakan hingga minggu ke - 77 dan berada pada jalur kritis. Adapun pekerjaan yang dilakukan percepatan yaitu hanya pekerjaan Lapis Pondasi Atas Layer 2 (Sisi Kiri Jalan). Berikut ini merupakan salah satu contoh perhitungan Lapis Pondasi Atas Layer 2 (Sisi Kiri Jalan).

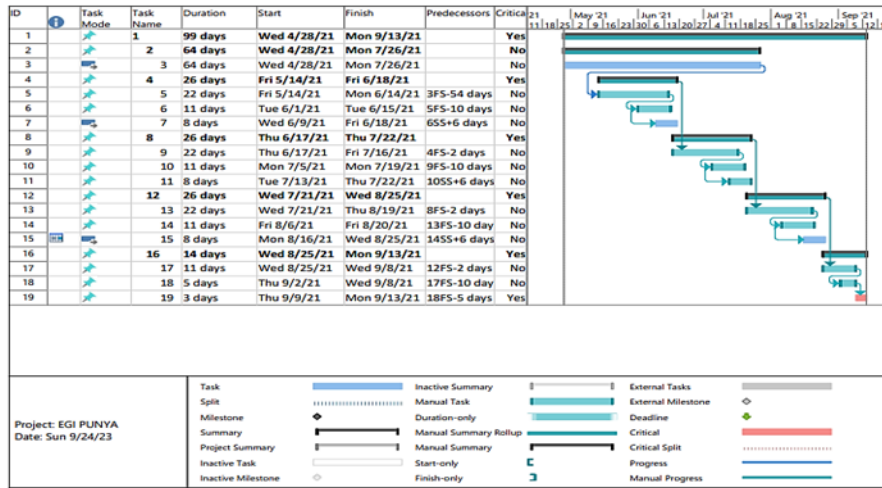
Contoh Perhitungan Pekerjaan Penghamparan Layer 2 Sisi Kiri Jalan:

- a. Volume = 842.36 m<sup>3</sup>
- b. Durasi = 22 hari
- c. Pertambahan Pekerja = 29 orang
- d. Koefisien Pekerja = 0.0395
- e. Kebutuhan Pekerja = koefisien x volume  
= 0.0395 x 842.36  
= 33 orang
- f. Produktivitas Harian Normal =  $\frac{volume}{durasi\ normal} = \frac{842.36}{22} = 38$  hari
- g. Kebutuhan Pekerja Dipercepat = Kebutuhan Pekerja + Pertambahan Pekerja  
= 33 + 29  
= 62 orang
- h. Produktivitas Harian Dipercepat :  
=  $\frac{(Prod.Normal+((Prod. Normal \times Jumlah\ Pekerja\ Dipercepat))}{Jumlah\ Pekerja\ Normal}$   
=  $\frac{(38+((38 \times 62))}{33}$   
= 73 m<sup>3</sup>/hari
- g. Durasi Percepatan =  $\frac{Volume}{Prod.Harian\ Percepatan} = 11$  hari

Pada perhitungan percepatan di metode PERT dengan metode TCTO, diperoleh hasil bahwa dengan penambahan 29 pekerja terjadi percepatan durasi sebanyak 11 hari pada pekerjaan penghamparan agregat A.

### 3.1.20. Diagram Jaringan Waktu Dipercepat

Berdasarkan dari hasil perhitungan waktu dipercepat, maka dapat dilakukan kembali pembuatan diagram jaringan kerja serta jalur kritis yang baru. Dalam menyusun diagram jaringan kerja waktu dipercepat pada metode PERT menghasilkan diagram yang sama dengan diagram pekerjaan sebelum dilakukan percepatan, namun perbedaannya terletak pada durasi pekerjaan yang dilakukan percepatan menggunakan metode TCTO dengan penerapan alternatif berupa penambahan tenaga kerja dan penambahan alat berat.



Gambar 4. Durasi Percepatan Metode PERT Menggunakan Metode TCTO

Pada diagram jaringan dengan menggunakan aplikasi *Microsoft project* didapatkan jalur kritis baru pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yaitu 19 dengan total waktu penyelesaian sebesar 99 hari.

### 3.1.21. Perhitungan Biaya Percepatan

Perhitungan biaya tambahan dalam mempercepat durasi pada metode PERT sama dengan metode CPM yaitu dengan alternatif berupa pertambahan jumlah alat berat dan menerapkan sistem shift pada pelaksanaan di lapangan, dimana sistem shift dibagi menjadi 4 dengan jumlah durasi sebesar 8 jam kerja yang dimulai pukul 07.00 WIB. Oleh karena itu, pertambahan jumlah pekerja dalam satu hari dibagi menjadi 4 shift. Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi perhitungan penambahan alat berat pada waktu lembur pada percepatan waktu yang dapat dilihat pada Tabel 12.

Tabel 12. Rekapitulasi Penambahan Jumlah Alat Berat

No.	Jenis Pekerjaan	Biaya Alat Berat Lembur (Rp)
1	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	Rp 106,392,000.00
2	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	Rp 6,400,000.00
3	Pemadatan Agregat A Layer 2	Rp 7,896,000.00
<b>Total</b>		Rp. 120,688,000.00

Berikut ini merupakan rekapitulasi perhitungan pertambahan biaya pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) dengan melakukan alternatif penambahan tenaga kerja dengan sistem shift yang dapat dilihat pada Tabel 13.

**Tabel 13. Rekapitulasi Perhitungan Pertambahan Biaya tenaga kerja**

No.	Nama Kegiatan	Harga Normal (Rp)	Harga Percepatan (Rp)	Deviasi (Rp)
E.	Pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Layer 2 (Sisi Kiri Jalan)	-	-	-
1.	Penghamparan Agregat A (Perlayer = 15 cm)	Rp. 299,594,646.75	Rp. 334,224,846.75	Rp. 34,630,200.00
2.	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	Rp. 92,659.088	Rp. 18,981,859.88	Rp. 18,889,200.00
3.	Pemadatan Agregat A Layer 2	Rp. 299,594,646.75	Rp.309,039,246.75	Rp. 9,444,600.00
Total		Rp.599,281,953.38	Rp. 684,122,753,38	Rp. 84,840,800.00

Dari hasil perhitungan biaya percepatan diketahui bahwa dengan dilakukan percepatan waktu pelaksanaan proyek pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA), maka biaya pertambahan pekerja bertambah sebesar Rp. 84,840,000.00 dari biaya pada waktu normal.

### 3.1.22. Faktor – Faktor Perhitungan Waktu dan Biaya

Pada penelitian ini dilakukan pembahasan tentang faktor-faktor yang dapat mempengaruhi perhitungan waktu dan biaya menggunakan metode CPM, PERT dan TCTO dengan mempertimbangkan aspek data-data kondisi lapangan, dan studi literatur.

Berdasarkan hasil perhitungan serta studi literatur sebagai bahan acuan yang dilakukan peneliti, metode CPM menggunakan laporan harian sebagai data utama dalam menentukan durasi pada item pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA). Dalam perhitungan metode PERT, digunakan laporan harian sebagai data utama untuk menentukan tiga estimasi waktu yaitu optimis, realistik, serta optimis. Dalam perhitungan percepatan durasi dan biaya pada metode CPM serta PERT pada metode TCTO, dibutuhkan data berupa AHSP, laporan harian, RAB, dan volume untuk mengetahui hasil waktu percepatan setelah dilakukan penambahan tenaga kerja dan biaya yang dikeluarkan setelah dilakukan percepatan. Sedangkan dalam perhitungan penambahan tenaga kerja, peneliti membutuhkan data berupa kurva S serta RAB untuk mengetahui jumlah pekerja yang dibutuhkan perharinya. Dari uraian penjelasan diatas, peneliti melakukan analisa terhadap komponen-komponen dalam menyusun data yang digunakan disetiap metode, sehingga didapatkan hasil yang dapat dilihat pada Tabel 14.

**Tabel 14. Komponen Penyusun Data**

Metode	Data yang Dibutuhkan	Komponen Penyusun
CPM	Laporan Harian	1. Jumlah Pekerja 2. Material yang datang 3. Alat yang digunakan 4. Pekerjaan yang dilakukan
	AHSP	Biaya Upah Biaya Alat Biaya Material Biaya Subkon Koefisien Upah Koefisien Alat Koefisien Material
	Kurva S	Bobot Pekerjaan Durasi Pekerjaan
	RAB	Volume Pekerjaan Biaya Pelaksanaan
2. PERT	Laporan Harian	Jumlah Pekerja Material yang datang Alat yang digunakan Pekerjaan yang dilakukan
TCTO	Laporan Harian	Jumlah Pekerja Material yang datang Alat yang digunakan Pekerjaan yang dilakukan
	AHSP	Biaya Upah Biaya Alat Biaya Material Biaya Subkon Koefisien Upah

Metode	Data yang Dibutuhkan	Komponen Penyusun
		Koefisien Alat Koefisien Material
	Kurva S	Bobot Pekerjaan Durasi Pekerjaan
	RAB	Volume Pekerjaan Biaya Pekerjaan

### 3.1.23. Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perhitungan pada Metode CPM, PERT, dan TCTO

Selanjutnya dilakukan beberapa studi literatur berupa jurnal serta penelitian terdahulu untuk mengetahui indikator dari beberapa faktor-faktor yang mempengaruhi dari hasil perhitungan waktu dan biaya dengan metode CPM, PERT, dan TCTO. Berikut ini beberapa indikator dari faktor-faktor yang diuraikan pada Tabel 15.

**Tabel 15. Indikator**

No	Indikator	Studi Literatur
1.	Alat:	
	Kapasitas alat	(Pahlevie dkk., 2019)
	Perincian alat	(Hassan dkk., 2016)
	Metode pelaksanaan	(Elvira Handayan, 2015)
	Biaya alat	((Pahlevie dkk., 2019)
	Kondisi lapangan	(Kaprina dkk., 2018)
2.	Material:	
	Kesiapan material	(Wijyaningtyas dkk., 2019)
	Perincian material	(Hassan dkk., 2016)
	Kualitas material	(Wirabakti dkk., 2014)
	Biaya materal	(Putra Agritama dkk., 2018)
3.	Teknis:	
	Cuaca	(Damayanti & Sitompul, 2021)
	Kondisi lapangan	(Damayanti & Sitompul, 2021)
	Besarnya ukuran proyek	(Damayanti & Sitompul, 2021)
	Struktural	(Putra Agritama dkk., 2018)
	Pengawasan lapangan	(Damayanti & Sitompul, 2021)
4.	SDM (Sumber Daya Manusia):	
	Pengalaman kerja	(Damayanti & Sitompul, 2021)
	Tingkat pendidikan	(Damayanti & Sitompul, 2021)
	Upah pekerja	(Damayanti & Sitompul, 2021)
	Kondisi Kesehatan	(Damayanti & Sitompul, 2021)
	Usia	(Damayanti & Sitompul, 2021)

### 3.1.24. Identifikasi Faktor yang Mempengaruhi dengan Keadaan Lapangan

Permasalahan tersebut dapat diidentifikasi faktor yang mempengaruhi proses pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) sehingga mengalami keterlambatan. Faktor-faktor tersebut dapat dilihat pada Tabel 16.

**Tabel 16. Faktor yang Mempengaruhi dengan Kondisi Lapangan**

No.	Permasalahan	Faktor
1.	Cuaca tidak mendukung	Teknis
2.	Pengadaan material	Material
3.	Ketidaksiapan alat berat dan mesin produksi	Alat

### 3.1.25. Analisis Efisiensi Penggunaan Metode CPM, PERT, dan TCTO

#### 3.1.25.1. Perhitungan Efisiensi Waktu dan Biaya

Dari hasil perhitungan yang telah diuraikan diatas, dapat dilakukan perhitungan efisiensi penggunaan metode yang digunakan dengan menerapkan alternatif berupa penambahan tenaga kerja (jam lembur) dan penambahan alat berat pada percepatan waktu. Peneliti melakukan analisis perhitungan persentase efisiensi waktu dan biaya dari metode CPM, PERT, dan TCTO yaitu sebagai berikut.

1. Efisiensi Waktu dan Biaya Proyek Metode PERT

a. Efisiensi Waktu Proyek :

Diketahui :

$$\text{Waktu PERT} = 109 \text{ hari}$$

$$\text{Efisiensi Waktu Proyek} = 112 - 109 = 3 \text{ hari atau}$$

$$\text{Efisiensi Waktu Proyek} = \frac{112-109}{112} \times 100 \% = 2,67 \%$$

b. Efisiensi Biaya Proyek metode PERT saat waktu lapangan :

$$\text{Jumlah biaya pekerjaan LPA} = \text{Rp. } 3,482,951,413.50 \text{ (Biaya sesuai lapangan)}$$

2. Efisiensi Waktu dan Biaya Proyek Metode CPM pada Metode TCTO

a. Efisiensi Waktu Proyek :

Diketahui :

$$\text{Waktu CPM} = 112 \text{ hari (Waktu Keterlambatan Proyek)}$$

$$\text{Waktu Percepatan CPM dengan Metode TCTO} = 100 \text{ hari}$$

$$\text{Efisiensi Waktu Proyek} = 112 - 100 = 12 \text{ hari atau}$$

$$\text{Efisiensi Waktu Proyek} = \frac{112-100}{112} \times 100 \% = 10,7 \%$$

b. Efisiensi Biaya Proyek metode CPM setelah dilakukan percepatan dengan Metode TCTO dan penambahan alternatif berupa penambahan tenaga kerja (jam lembur dan system shift) serta penambahan jumlah alat berat:

Diketahui :

$$\text{Jumlah biaya pekerjaan LPA} = \text{Rp. } 3,482,951,413.50$$

$$\text{Pertambahan biaya tenaga kerja} = \text{Rp. } 87,003,840.00$$

$$\text{Pertambahan biaya alat berat} = \text{Rp. } 131,640,000.00$$

Efisiensi Biaya Proyek :

$$(\text{Rp. } 3,482,951,413.50 + \text{Rp. } 87,003,840.00 + \text{Rp. } 131,640,000.00) - (\text{Rp. } 3,482,951,413.50) = \text{Rp. } 218,643,840 \text{ atau}$$

Efisiensi Biaya Proyek :

$$= \frac{\text{Rp. } 3,701,595,254 - \text{Rp. } 3,482,951,413.50}{\text{Rp. } 3,482,951,413.50} \times 100 \%$$

$$= 6,27 \%$$

### 3.1.25.2. Efisiensi Waktu dan Biaya Proyek Metode PERT pada Metode TCTO

a. Efisiensi Waktu Proyek :

Diketahui :

Waktu PERT = 109 hari

Waktu Percepatan PERT dengan Metode TCTO = 99 hari

Efisiensi Waktu Proyek =  $112 - 99 = 13$  hari atau Efisiensi Waktu Proyek =  $\frac{112-99}{112} \times 100 \% = 11.60 \%$

b. Efisiensi Biaya Proyek metode PERT setelah dilakukan percepatan dengan Metode TCTO dan penambahan alternatif berupa penambahan tenaga kerja (jam lembur) dan penambahan jumlah alat berat

Diketahui :

Jumlah biaya pekerjaan LPA = Rp. 3,482,951,413.50

Pertambahan biaya tenaga kerja = Rp. 80,598,760.00

Pertambahan biaya alat berat = Rp. 120,688,000.00

Efisiensi Biaya Proyek:  $(Rp. 3,482,951,413.50 + Rp. 80,598,760.00 + Rp. 120,688,000.00) - (Rp. 3,482,951,413.50) = Rp. 201,286,760.00$  atau

Efisiensi Biaya Proyek:

$$= \frac{Rp.3,560,110,414 - Rp.3,482,951,413.50}{Rp. 3,482,951,413.50} \times 100 \%$$

= 5.78 %

### 3.1.25.3. Hasil Analisis Efisiensi Waktu dan Biaya dalam Penggunaan Metode CPM, PERT, dan TCTO

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan diatas, dapat dilakukan analisis terkait efisiensi dalam penggunaan ketiga metode tersebut. Analisis hasil perhitungan menggunakan metode CPM, PERT, dan TCTO pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Proyek Jalur Lintas Selatan (JLS) Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yang dapat dilihat pada Tabel 17.

Tabel 17. Analisis Efisiensi Penggunaan Metode

No.	Metode CPM	Metode PERT	Metode TCTO
1.	Perhitungan pada metode CPM menggunakan waktu atau durasi sebagai data utama, dan hanya digunakan satu estimasi waktu	Perhitungan pada metode PERT menggunakan durasi sebagai data utama, dan memperoleh tiga buah estimasi waktu	Perhitungan pada metode TCTO menggunakan durasi sebagai data utama
2.	Metode CPM dapat digunakan sebagai perencanaan penjadwalan proyek yang belum berlangsung	Metode PERT dapat diterapkan dalam melakukan penjadwalan pada proyek yang belum berlangsung	Metode TCTO dapat mempercepat waktu dan biaya, yang datanya dapat diperoleh dari waktu dan biaya pada metode penjadwalan CPM maupun PERT
3.	Perhitungan pada metode CPM dapat menghasilkan waktu penyelesaian proyek	Perhitungan pada metode PERT memperoleh waktu rata-rata untuk penyelesaian proyek dari tiga buah estimasi waktu	Perhitungan pada metode TCTO menghasilkan waktu normal, dan waktu percepatan

No.	Metode CPM	Metode PERT	Metode TCTO
4.	Metode CPM dapat mengetahui pekerjaan yang termasuk pekerjaan kritis sehingga dapat mengetahui waktu penyelesaian proyek dengan mempercepat pekerjaan yang termasuk dalam pekerjaan kritis	Perhitungan waktu pada metode PERT memperoleh probabilitas atau kemungkinan penyelesaian proyek dari durasi rata-rata yang telah didapatkan, serta mengetahui durasi penyelesaian proyek saat probabilitas mencapai 100 %	Perhitungan percepatan waktu pada TCTO dapat dilakukan dengan menambahkan alternatif pada penyelesaiannya
5.	Perhitungan biaya pada metode CPM menyesuaikan dengan perhitungan durasi waktu yang telah diperoleh	Perhitungan biaya pada metode PERT menyesuaikan dengan perhitungan durasi waktu yang telah diperoleh	Perhitungan biaya percepatan pada metode TCTO dihitung ulang setelah dilakukan penekanan durasi dan penambahan alternatif pada pelaksanaannya.

Berdasarkan penjabaran diatas, dalam penggunaan metode CPM dan PERT untuk menentukan hasil durasi pekerjaan proyek lebih maksimal dapat dilakukan dengan kombinasi pada metode TCTO, agar jika terjadi keterlambatan pada pelaksanaannya hasil durasi dan biaya yang dibutuhkan lebih efektif dan efisien.

### 3.2. Pembahasan

#### 3.2.1. Analisis Perhitungan Waktu dan Biaya Menggunakan Metode CPM, PERT, dan TCTO

Dari hasil perhitungan yang telah dilakukan, sesuai Perpres No. 16 Tahun 2018 setiap proyek yang mengalami keterlambatan, pihak kontraktor diharuskan membayar denda keterlambatan dari nilai pekerjaan, sehingga denda yang harus dibayar oleh pihak kontraktor yaitu sebesar Rp. 24,654,180,483/hari dan jumlah total keterlambatan biaya mencapai Rp. 739.625.414,496. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian (Gunawan & Hakim, 2022) yang menjelaskan bahwa jika suatu proyek mengalami keterlambatan, penyedia jasa mengajukan permohonan pertambahan waktu penyelesaian berupa denda berjalan sesuai berapa hari waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kekurangan lalu dikalikan 1/1000 (sepermil) dari nilai pekerjaan,

Dari hasil perhitungan metode CPM dapat dilakukan penyusunan diagram jaringan kerja yang dapat dilihat pada Gambar 1 dimana pada metode CPM menghasilkan durasi sebesar 112 hari dimana waktu tersebut merupakan durasi sesuai keadaan di lapangan dengan total biaya yang dikeluarkan sejumlah Rp. 3,482,951,413.50, Hasil tersebut sama dengan penelitian (R. Setiawan, 2021) yang melakukan penelitian pada proyek Pembangunan Jalan Tol dengan menggunakan metode CPM dengan jalur kritis, sehingga dapat diselesaikan dengan durasi pekerjaan sebesar 119 hari dengan total biaya yang dikeluarkan sejumlah Rp. 39,349,154,229,627.03.

Perhitungan pada metode PERT dilakukan tiga estimasi waktu yang dapat menghasilkan durasi penyelesaian proyek sebesar 109 hari, dimana waktu tersebut memiliki efisiensi waktu penyelesaian sebesar 2.67 % dari waktu keterlambatan proyek dengan probabilitas penyelesaian proyek sebesar 50.80 % serta total biaya yang dikeluarkan sejumlah Rp. 3,482,951,413.50. Hasil penelitian tersebut serupa dengan penelitian (Ridho & Syahrizal, 2014) dimana penelitian tersebut menjelaskan waktu penyelesaian proyek di lapangan yaitu 112 hari, lalu dilakukan kembali perhitungan menggunakan metode PERT dan menghasilkan durasi baru selama 104 hari dengan persentase penyelesaian sebanyak 47,2 %, Sedangkan untuk durasi dengan probabilitas penyelesaian sebesar 100 % dibutuhkan waktu penyelesaian sebesar 114 hari.

percepatan durasi pada metode CPM dan PERT dengan metode TCTO pada pekerjaan LPA layer dua sisi kiri jalan. Hasil percepatan pada metode CPM dengan metode TCTO deviasi waktu yang didapatkan sebesar 12 hari, dimana deviasi waktu tersebut memperoleh persentase efisiensi waktu percepatan 10.7 % dari total waktu keterlambatan menggunakan alternatif berupa penambahan tenaga kerja berupa sistem shift (lembur) dan alat berat dengan penambahan biaya sebanyak 6.27 % dari biaya pelaksanaan LPA atau Rp. 218,643,840.00, sehingga terjadi pengurangan denda sebesar Rp. 77,206,325.80 dari nilai total denda keseluruhan. Sedangkan dalam perhitungan percepatan waktu metode PERT dengan menggunakan metode TCTO diperoleh deviasi waktu sebesar 13 hari, dimana deviasi waktu tersebut memperoleh persentase efisiensi waktu percepatan sebesar 11.60 %

dari total waktu keterlambatan dengan menerapkan alternatif yang sama berupa penambahan tenaga kerja berupa sistem shift dengan penambahan biaya sebanyak 5,78 % dari biaya pelaksanaan LPA atau Rp. 201,286,760.00, sehingga terjadi pengurangan denda sebesar Rp. 119,217,586.00 dari nilai total denda keseluruhan, dengan probabilitas penyelesaian proyek sebesar 100 %. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian (I. Setiawan dkk., 2021) dimana peneliti melakukan analisis perhitungan waktu dan biaya dengan metode TCTO pada Proyek Peningkatan Jalan KM. 38 – Semoi – Sepaku – Petung Kalimantan Timur dengan melakukan alternatif kombinasi berupa penambahan alat berat dan tenaga kerja menghasilkan waktu dan biaya optimum pada pelaksanaannya.

### 3.2.2. Analisis Faktor yang Mempengaruhi Perhitungan CPM, PERT, dan TCTO

Pada penjelasan poin diatas, didapatkan hasil identifikasi beberapa faktor yang mempengaruhi metode CPM antara lain, faktor alat, material, teknis, dan SDM, sedangkan untuk metode PERT dipengaruhi faktor antara lain, faktor teknis, alat, SDM, dan material serta metode TCTO dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu, faktor SDM, teknis, alat, dan material yang selanjutnya dilakukan analisis lebih jauh terkait beberapa faktor tersebut.

Berdasarkan dari hasil analisis di lapangan dengan studi literatur diperoleh hasil bahwa faktor yang mempengaruhi keterlambatan pada proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yaitu dari faktor teknis, material, dan alat yang telah diuraikan pada Tabel 4.15. Permasalahan yang terjadi di lapangan yaitu masalah keterlambatan yang disebabkan adanya cuaca yang sering hujan membuat pelaksanaan pada alat berat tidak dapat bekerja secara maksimal, pekerjaan tanah dasar tidak sesuai kriteria sehingga mengalami kemunduran target pelaksanaan, serta ketidaksiapan material agregat kasar dan keterbatasan alat berat dalam pelaksanaan penghamparan pada pekerjaan LPA. Berikut ini merupakan hasil analisis faktor yang mempengaruhi perhitungan waktu dan biaya menggunakan metode CPM, PERT, dan TCTO yang dapat dilihat pada Tabel 18.

**Tabel 18. Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Keadaan Lapa**

No.	Permasalahan	Faktor	Indikator
1.	Cuaca sering hujan sehingga pengoperasian alat berat tidak maksimal Pekerjaan Tanah dasar tidak sesuai kriteria	Teknis	Cuaca Kondisi Lapangan
2.	Keterbatasan Alat Berat	Alat	Kapasitas Alat Kondisi Lapangan
3.	Pengadaan Material	Material	Kesiapan material Kualitas material Spesifikasi material

### 3.2.3. Analisis Efisiensi dalam Penggunaan Metode CPM, PERT, dan TCTO

Dikarenakan dalam penggunaannya, metode CPM menggunakan diagram jaringan dalam penyusunannya sehingga diagram jaringan pada metode tersebut diketahui pekerjaan-pekerjaan yang termasuk dalam lintasan kritis. Pada diagram jaringan, pekerjaan yang berada dalam lintasan kritis dapat memudahkan pihak kontraktor mengejar keterlambatan yang terjadi dengan melakukan suatu percepatan pada pekerjaan yang berada pada lintasan jalur kritis. Menurut peneliti (Ilwaru, dkk., 2018) setiap kegiatan yang berada pada jalur kritis sama dengan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan seluruh kegiatan pada proyek, sehingga kegiatan yang berada dijalar kritis telah merangkum semua waktu berjalannya kegiatan pada proyek. Sedangkan menurut (Setiawati & Dewi, 2017) penggunaan metode CPM lebih baik diterapkan pada proyek yang mempunyai metode pelaksanaan yang umum, sehingga dalam memperkirakan durasi kegiatan yang digunakan tepat.

Analisis terkait dalam penggunaan metode PERT diperoleh hasil bahwa metode tersebut menerapkan tiga estimasi waktu dalam penyusunan jadwalnya, sehingga kemungkinan dalam terjadinya faktor yang tidak bisa diperkirakan dapat dihitung, serta pada metode tersebut dapat diperoleh persentase probabilitas terkait waktu dalam penyelesaian proyek. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian (Mas'ud & Wijayanti, 2017) yang menyatakan bahwa metode PERT dapat menganalisis kegiatan kegiatan yang belum pasti, dengan memberikan tiga estimasi waktu yang memiliki tujuan untuk memberi rentang waktu yang luas dalam menentukan durasi kegiatan. Berdasarkan analisis yang dilakukan peneliti, metode PERT dapat digunakan untuk penjadwalan pada pekerjaan LPA Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek, namun menurut penelitian

(Setiawati & Ariessa, 2017) berpendapat bahwa penggunaan metode PERT lebih tepat digunakan pada proyek yang metode pelaksanaannya jarang digunakan atau belum pernah diterapkan pada proyek lain dikarenakan perhitungannya menggunakan tiga estimasi waktu.

Dari hasil analisis yang dilakukan pada metode TCTO dapat menghasilkan perhitungan percepatan waktu dan biaya dengan bantuan alternatif berupa penambahan jam kerja (lembur) serta penambahan alat berat. Hasil perhitungan durasi pada metode CPM dan PERT yang telah diperoleh dari diagram jaringan dapat digunakan untuk mempercepat pekerjaan yang mengalami keterlambatan dengan menggunakan TCTO. Dari analisis tersebut didapat hasil bahwa metode TCTO dapat digunakan sebagai alternatif dalam mempercepat waktu pelaksanaan proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek pada salah satu pekerjaan yang mengalami keterlambatan dengan bantuan diagram jaringan pada metode CPM dan PERT, sehingga waktu dan biaya yang dikeluarkan memperoleh hasil yang maksimal. Analisis tersebut sesuai dengan peneliti (Kiryanto, dkk., 2022) yang menyatakan bahwa dengan menggunakan metode TCTO dengan penerapan alternatif penambahan tenaga kerja memperoleh hasil yang efisien dari segi waktu dan biaya yang optimum, serta metode TCTO dapat meminimalisir adanya keterlambatan pekerjaan pada proyek.

#### 4. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta pembahasan yang sudah diuraikan pada BAB IV dan BAB V terkait Analisis Evaluasi Manajemen Waktu dan Biaya Menggunakan Metode CPM, PERT, dan TCTO pada Pelaksanaan LPA Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek, maka dapat diambil beberapa kesimpulan yaitu sebagai berikut:

1. Perhitungan waktu dan biaya dengan metode CPM, PERT, dan TCTO menghasilkan waktu dan biaya penyelesaian yang berbeda. Waktu dan biaya penyelesaian dapat diuraikan sebagai berikut:
  - a. Perhitungan dengan metode CPM menghasilkan waktu penyelesaian selama 112 hari dengan biaya pelaksanaan sebesar Rp. 3,482,951,413.50.
  - b. Perhitungan dengan metode PERT menghasilkan waktu penyelesaian selama 109 hari memiliki dengan efisiensi waktu sebesar 2,67% dengan probabilitas penyelesaian selama 99 % dengan biaya pelaksanaan sebesar Rp. 3,482,951,413.50
  - c. Perhitungan percepatan waktu TCTO dengan waktu CPM menghasilkan deviasi sebanyak 12 hari dengan waktu penyelesaian selama 100 hari, serta efisiensi percepatan waktu penyelesaian sebesar 10.7 % pada pekerjaan LPA sisi kiri jalan dengan alternatif berupa penambahan tenaga kerja (jam lembur) dan penambahan jumlah alat berat sehingga terjadi pengurangan denda dengan alternatif tersebut sebesar Rp. 77,206,325.80 dengan persentase kenaikan penambahan biaya sebesar 6.27%.
  - d. Perhitungan percepatan waktu TCTO dengan waktu PERT menghasilkan deviasi sebanyak 13 hari dengan waktu penyelesaian selama 99 hari dengan probabilitas penyelesaian selama 100 %, serta efisiensi waktu percepatan penyelesaian sebesar 11.92 % pada pekerjaan LPA sisi kiri jalan dengan alternatif berupa penambahan tenaga kerja (jam lembur) dan penambahan jumlah alat berat sehingga terjadi pengurangan denda dengan alternatif tersebut sebesar Rp. 119,217,586.28 dengan persentase kenaikan penambahan biaya sebesar 5,78 %.
2. Faktor yang mempengaruhi pada analisis perhitungan menggunakan metode CPM, PERT, dan TCTO serta analisis pada permasalahan yang menyebabkan keterlambatan pada proyek yaitu faktor teknis, alat, dan material. Faktor teknis dipengaruhi oleh cuaca, dan kondisi lapangan. Faktor alat dipengaruhi oleh kapasitas alat, dan kondisi lapangan. Faktor material dipengaruhi oleh kesiapan material, kualitas material, dan spesifikasi material.
3. Efisiensi dalam penggunaan metode CPM, PERT, dan TCTO pada pekerjaan LPA Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yaitu sebagai berikut:

- a. Metode CPM tepat digunakan pada Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek, dikarenakan metode CPM menggunakan diagram jaringan dalam penyusunannya sehingga diketahui pekerjaan apa saja yang termasuk dalam pekerjaan kritis. Metode CPM tepat digunakan pada proyek dengan menggunakan metode pelaksanaan yang umum
- b. Metode PERT tepat digunakan pada Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek dikarenakan dalam penyusunannya menggunakan tiga estimasi waktu, sehingga jika terjadi keterlambatan dapat diperkirakan durasinya.
- c. Metode TCTO tepat digunakan dalam melakukan percepatan waktu pada pekerjaan-pekerjaan yang mengalami keterlambatan dengan melakukan alternatif penambahan tenaga kerja (jam lembur) dan penambahan alat berat dalam pelaksanaannya. Sehingga dengan melakukan kombinasi metode penjadwalan seperti metode CPM dan PERT dengan metode percepatan TCTO menghasilkan waktu dan biaya yang efektif dan efisien.

## Daftar Rujukan

- Adriadi, & Solihin, A. R. (2021). Faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek. 1(1), 451–461.
- Alami, N., Aziz, A., & Margiarti, D. (2021). Studi komparasi perbandingan rencana anggaran biaya antara metode analisa harga satuan pekerjaan (AHSP) dan standar nasional Indonesia (SNI). *Jurnal Surya Beton*, 5(1). <http://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/suryabeton>
- Anggaeni, D. N., Nugroho, M. W., & Sumarsono. (2019). Optimasi waktu dan biaya crashing dengan menggunakan metode time cost trade off. *Jurnal CIVILA*, 4(2), 310–317.
- Anggara, I. M. B., Hasan, A., & Siddik, J. (2016). Perencanaan anggaran biaya dan penjadwalan pelaksanaan pada Jalan Malikul Saleh Kecamatan Banda Raya Kota Banda Aceh dengan metode AHSP 2016.
- Angraini, E. A. (2019). Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja biaya dan waktu pada proyek konstruksi. 3(1), 11–22.
- Arianie, G. P., & Puspitasari, N. B. (2017). Meningkatkan efisiensi dan efektivitas sumber daya perusahaan (studi kasus: Qiscus Pte Ltd). 12(3), 189–196.
- Asri, D. F. L., Setiawan, T. H., & Rusdiana, Y. (2019). Analisis jaringan kerja pada evaluasi penjadwalan waktu dan biaya penyelesaian proyek dengan menggunakan metode PERT & CPM. *Jurnal Saintika Unpam: Jurnal Sains dan Matematika Unpam*, 2(2), 136. <https://doi.org/10.32493/jsmu.v2i2.3323>
- Basriati, S., & Melda, A. (2017). Analisis biaya pembangunan proyek perumahan menggunakan metode PERT dan EVM (studi kasus: Perumahan D'Lion Cluster). *Seminar Nasional Teknologi Informasi Komunikasi dan Industri*, 642–647.
- Buyanov. (2018). Metode penelitian. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 1.
- Chusairi, M. (2015). Studi optimasi waktu dan biaya dengan metode time cost trade off pada proyek pembangunan Gedung Tipe B SMPN Baru Siwalankerto. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2), 9–15.
- Deshariyanto, D., & Fansuri, S. (2010). Faktor-faktor yang mempengaruhi waktu pelaksanaan proyek konstruksi di Dinas PU. *Bina Marga Kabupaten Sumenep Dwi Deshariyanto 1*, 1–11.
- Efendi, A., & Talanipa, R. (2019). Evaluasi waktu menggunakan Critical Path Method (CPM) pada proyek Jalan Rabat Beton Desa Kamelanta. *Sang Pencerah: Jurnal Ilmiah Universitas Muhammadiyah Buton*, 5(1), 1–6. <https://doi.org/10.35326/pencerah.v5i1.316>
- Elan, U., & Febriana, E. I. (2015). Efisiensi pelaksanaan proyek dengan menggunakan Critical Path Method (CPM) pada CV. *Karunia Jaya Mandiri*. 04, 37–52.
- Febrianti, D., & Zulyaden, Z. (2018). Analisis produktivitas alat berat pada pekerjaan timbunan. *Jurnal Teknik Sipil dan Teknologi Konstruksi*, 4(1), 21–30. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v4i1.586>
- Grace, Malingkas, Tj, T., Arsjad, & Tarore, H. (2013). Menganalisis sensitivitas keterlambatan durasi proyek dengan metode CPM (studi kasus: Perumahan Puri Kelapa Gading). 1(9), 603–607.
- Hernandi, Y., & Tamtana, J. S. (2020). Faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas pekerja pada pelaksanaan konstruksi gedung bertingkat. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 3(2), 299. <https://doi.org/10.24912/jmts.v3i2.6985>
- Hidayah, I. (2018). Pengaruh penerapan aplikasi Sistem Informasi Penilaian (SIP) Bandung Juara dalam meningkatkan kinerja camat dan lurah Kota Bandung tahun 2016-2017. <https://digilib.uinsgd.ac.id/>, 1, 1–143.
- Hidayatul, F., Wahyono, H., Gusminto, E. B., & Kalimantan, J. (2018). Evaluasi penjadwalan waktu pada proyek pembangunan rumah tipe 30 di Istana Tegal Besar Kabupaten Jember dengan metode CPM (Evaluation of time schedule of type 30 housing development projects in Istana Tegal Besar of Jember with CPM method). *L Ekonomi Bisnis dan Akuntansi*, 5(7), 153–157.
- Ilma, A. (2016). Analisa penjadwalan proyek menggunakan PDM dan PERT serta crash project (studi kasus: Pembangunan Gedung Main Power House PT. Adhi Karya). 2(1), 31–43.

- Intan, S. K., Muhyi, A., & Tengku, N. M. (2018). Alternatif percepatan waktu dengan penerapan metode time cost trade off pada proyek pembangunan jembatan (studi kasus: Proyek pekerjaan jembatan rangka). 10(1), 40–48.
- Izzah, N. (2017). Analisis pertukaran waktu dan biaya menggunakan metode time cost trade off (TCTO) pada proyek pembangunan time exchange analysis and cost using time cost trade off (TCTO) method in housing development projects in PT. X. Teknik Industri, 10(1), 51–58.
- Mas'ud, M. I., & Wijayanti, E. (2017). Analisis evaluasi biaya dan penjadwalan waktu proyek pengolahan limbah PT. Ki dengan pendekatan PERT. J-Ensitem, 3(2), 111–117. <https://doi.org/10.31949/j-ensitem.v3i2.644>
- Maskur, A., & Saadudin, M. (2016). Evaluasi pengendalian waktu dan biaya menggunakan metode PERT pada pelaksanaan pembangunan jembatan di Kabupaten Ciamis.
- Muhammad, A. H. (2018). Optimasi pelaksanaan proyek konstruksi dengan metode PERT dan CPM. <https://doi.org/10.31219/osf.io/edj6>
- Ngantung, R. K., Manoppo, F. J., & Kandou, C. D. (2021). Penerapan Value Engineering Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi Biaya Proyek Pada Pembangunan Gedung DPRD Sulawesi Utara. Jurnal Ilmiah Media Engineering, 11(1).
- Nugroho, B. S., Rusilowati, A., & Djunaidi. (2016). Pengembangan penilaian kinerja menggambar teknik potongan di SMK pada kurikulum 2013. Journal of Research and Educational Research Evaluation, 5(1), 01–07.
- Nurdiana, A. (2015). Analisis biaya tidak langsung pada proyek pembangunan Best Western Star Hotel & Star Apartement Semarang Abstrak. 36(2), 105–109.
- Rompis, A. O. M., Inkiriwang, R. L., & Sibi, M. (2019). Optimasi waktu proyek dengan penambahan jam kerja menggunakan precedence diagram method pada proyek rehabilitasi puskesmas minanga. Jurnal sipil statik, 7(9).
- Perdana, S., & Rahman, A. (2019). Penerapan manajemen proyek dengan metode CPM (Critical Path Method) pada proyek pembangunan SPBE. Amaliah: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat, 3(1), 242–250. <https://doi.org/10.32696/ajpkm.v3i1.235>
- Prhadita, R. M., Sari, S. N., & Hermawan, A. (2021). Penjadwalan menggunakan metode PERT pada proyek. 2003, 354–361.
- Pratiwi, R. E. (2012). Analisis pengaruh cost management terhadap efisiensi pada proyek konstruksi studi pada perusahaan PT. Adhi Karya (Persero) Tbk. Jurnal Bisnis Strategi, 21(2), 62–71.
- Priyo, M., & Aulia, M. R. (2016). Aplikasi metode time cost trade off pada proyek konstruksi: Studi kasus proyek pembangunan Gedung Indonesia. Semesta Teknika, 18(1), 30–43. <https://doi.org/10.18196/st.v18i1.703>
- Priyo, M., & Indraga, K. F. (2015). Analisis kinerja biaya dan jadwal terpadu dengan konsep earned value method (studi kasus: Proyek pembangunan gedung). 18(2), 106–121.
- Priyo, M., & Sumanto, A. (2016). Analisis percepatan waktu dan biaya proyek konstruksi dengan penambahan jam kerja (lembur) menggunakan metode time cost trade off: Studi kasus proyek pembangunan prasarana. Semesta Teknika, 19(1), 1–15.
- Purwanto. (2018). Teknik penyusunan instrumen uji validitas dan reliabilitas penelitian ekonomi syariah (1st ed.). Magelang: Staial Press.
- Purwanto, N. (2019). Variabel dalam penelitian pendidikan. Jurnal Teknodik, 6115, 196–215. <https://doi.org/10.32550/teknodik.v0i0.554>
- Putra, S. Z., & Murni, T. (2020). Forum bisnis dan kewirausahaan. Jurnal Teknodik, 2.
- Qomariyah, S., & Hamzah, F. (2013). Analisis network planning dengan CPM (critical path method) dalam rangka efisiensi waktu dan biaya proyek. 1(4), 408–416.
- Rahayu, P., Rafik, A., & Cahyani, R. F. (2019). Perbandingan rencana anggaran biaya (RAB) rumah konvensional dan rumah RISHA di Kota Banjarmasin. Jurnal Gradasi Teknik Sipil, 3(2), 8–16. <https://doi.org/10.31961/gradasi.v3i2.783>
- Robbin, B. A. N. (2014). Studi aplikatif spread sheet pada perhitungan (RAB) verifikasi dalam pembangunan gedung RSJ Sambang Lihum Kabupaten Banjar. Konstruksi, 1, 18–26. <http://www.riset.unisma.ac.id/index.php/ft/article/download/1685/1626>
- Roring, H. S. D. (2020). Earn value analysis pada proyek rehabilitasi gedung asrama Balai Diklat Keuangan Manado. Jurnal Ilmiah Realtech, 16(1), 1–6. <https://doi.org/10.52159/realtech.v16i1.126>
- Roziya, A. N., Purnamasari, I., & Wasono. (2018). Penjadwalan proyek dengan metode program evaluation and review technique (PERT). Jurnal Eksponensial, 9(2), 105–110. <http://jurnal.fmipa.unmul.ac.id/index.php/exponensial/article/view/305/138>
- Setiawan, I., Siboro, I., & Faisyal, M. (2021). Optimasi waktu dan biaya proyek menggunakan metode time cost trade off (TCTO). Transukma, 03(2), 114–128.
- Siagian, M. D., Siregar, R., & Nasution, E. A. (2019). Optimalisasi penjadwalan dengan analisis jaringan kerja pada kegiatan verifikasi koleksi buku di perpustakaan sekolah. InfoTekJar (Jurnal Nasional Informatika Dan Teknologi Jaringan), 4(1), 90–98. <https://doi.org/10.30743/infotekjar.v4i1.1550>
- Soehardi, F. (2018). Penggunaan Material Lokal Quarry Muara Takus Sebagai Bahan Campuran Lapisan Pondasi Atas Pada Pengerasan Jalan Raya. Program Studi Teknik Sipil, 4(1), 43–50.

- Suardi, E., Lusyana, L., & Yelvi, Y. (2017). Kajian penggunaan material pasir Sumpur Kudus untuk meningkatkan kinerja lapisan pondasi atas agregat kelas A. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 14(1), 12–19. <https://doi.org/10.30630/jirs.14.1.109>
- Sukendra, I. K. I. K. S. A. (2017). Instrumen penelitian. *Journal Academia*.
- Sulaiman, M., Munirwansyah, & Azmeri. (2017). Analisis penyebab keterlambatan pelaksanaan proyek ditinjau dari waktu pelaksanaan di Provinsi Aceh. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(2), 405–418.
- Sutama. (2016). Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, PTK, R&D.
- Syafridon, G. (2013). Konsep cadangan waktu pada penjadwalan proyek dengan critical path method (CPM) (Studi kasus: Proyek pembangunan rumah sakit Prima). *Jurnal Teknik Sipil USU*, 1. <http://jurnal.usu.ac.id/index.php/jts/article/view/1903>
- Taurusyanti, D., & Lesmana, F. (2015). Dewi Taurusyanti dan Muh. Firki Lesmana. *Jurnal*, 1(1), 32–36.
- Utomo, G., Hendriyani, I., & Aida, S. N. (2020). Evaluasi pelaksanaan proyek drainase dengan metode CPM dan PERT. *Jurnal*, 9(1), 44–52.
- Yoni, I. A. M., Warsika, I. P. D., & Sudipta, I. G. K. (2013). Perbandingan penambahan waktu kerja (jam lembur) dengan penambahan tenaga kerja terhadap biaya pelaksanaan proyek dengan metode time cost trade off (Studi kasus proyek pembangunan gedung instalasi farmasi Blahkiuh). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 17(2), 129–138.
- Izzah, N. (2018). Analisis pertukaran waktu dan biaya menggunakan metode time cost trade off (TCTO) pada proyek pembangunan perumahan di PT. X. *Rekayasa*, 10(1), 51. <https://doi.org/10.21107/rys.v10i1.3604>
- Setiawan, R. (2021). Meningkatkan efisiensi dan efektivitas jalan tol Tebangi Besar-Kayu Agung. *Juminten: Jurnal Manajemen Industri Dan Teknologi*, 2(1), 132–143.
- Damayanti, Y. A., & Sitompul, M. (2021). Analisis faktor-faktor yang mempengaruhi produktivitas tenaga kerja pada proyek pembangunan jalan tol ruas Binjai-Langsa seksi Binjai-Pangkalan Brandan. *Jurnal Rekayasa Konstruksi Mekanika Sipil (JRKMS)*, 4(September), 153–163. <https://doi.org/10.54367/jrkms.v4i2.1386>
- Elvira Handayan. (2015). Efisiensi penggunaan alat berat pada pekerjaan pembangunan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Desa AMD Kec. Muara Bulian Kab. Batanghari. *Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi*, 15(3), 90–95.
- Gunawan, S., & Azizul Hakim, E. (2022). Pelaksanaan konstruksi bangunan gedung. *Seminar Keinsinyuran*.
- Hassan, H., Mangare, J. B., & Pratasih, P. A. K. (2016). Faktor-faktor penyebab keterlambatan pada proyek konstruksi dan alternatif penyelesaiannya (Studi kasus: Di Manado Town Square III). *Jurnal Sipil Statik*, 4(11), 657–644.
- Ilwaru, V. Y. I., Rahakbauw, D. L., & Tetimelay, J. (2018). Penjadwalan waktu proyek pembangunan rumah dengan menggunakan CPM (critical path method). *Bareken: Jurnal Ilmu Matematika Dan Terapan*, 12(2), 061–068. <https://doi.org/10.30598/vol12iss2pp061-068ar617>
- Kaprina, A., Winarto, S., & Purnomo, Y. C. S. (2018). Analisa produktivitas alat berat pada proyek pembangunan gedung Fakultas Syariah dan Ilmu Hukum IAIN Tulungagung. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 1(1). <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v1i1.136>
- Kiryanto, P., Prawiro Utomo Sadewo, F., & Amiruddin, W. (2022). Optimasi percepatan pada proyek reparasi KM Fajar Bahari V dengan menggunakan metode time cost trade off. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 10(2), 77. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/naval>
- Mas'ud, M. I., & Wijayanti, E. (2017). Analisis evaluasi biaya dan penjadwalan waktu proyek pengolahan limbah PT. KI dengan pendekatan PERT. *J-Ensatec*, 3(2), 111–117. <https://doi.org/10.31949/j-ensatec.v3i2.644>
- Pahlevie, R. R., & Mubarak, F. (2021). Kajian faktor yang dipertimbangkan dalam penyediaan alat berat Excavator di Kota Banda Aceh. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil*, 15.
- Putra Agritama, R., Huda, M., & Rini, T. S. (2018). Faktor-faktor yang mempengaruhi keterlambatan proyek konstruksi di Surabaya. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 6(1), 25–32.
- Ridho, M. R., & Syahrizal. (2014). Evaluasi penjadwalan waktu dan biaya proyek dengan metode PERT dan CPM. *Jurnal Teknik Sipil USU*, 1–6.
- Setiawan, I., Siboro, I., & Faisyal, M. (2021). Optimasi waktu dan biaya proyek menggunakan metode Time Cost Trade Off (TCTO). *Jurnal*, 03(2).
- Setiawan, R. (2021). Meningkatkan efisiensi dan efektivitas jalan tol Tebangi Besar-Kayu Agung. *Juminten: Jurnal Manajemen Industri Dan Teknologi*, 2(1), 132–143.
- Setiawati, S., & Dewi, R. A. (2017). Penerapan metode CPM dan PERT pada penjadwalan proyek konstruksi (Studi kasus: Rehabilitasi/perbaikan dan peningkatan infrastruktur irigasi daerah lintas kabupaten/kota D.I Pekan Dolok).
- Wijayaningtyas, M., Seran, S., Mulyadi, L., & Inskandar, T. (2019). Pengaruh faktor eksternal dan internal terhadap produktivitas tenaga kerja proyek pembangunan gedung. *Seminar Nasional Infrastruktur Berkelanjutan 2019 Era Revolusi Industri 4.0 Teknik Sipil Dan Perencanaan*, 1–6.
- Wirabakti, D. M., Abdullah, R., & Maddeppungeng, A. (2014). Studi faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek konstruksi bangunan gedung. *Teknik Sipil Universitas Agung Tirtayasa*, 6, 15–29.