



ANALISIS 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 Putri¹, N. Bambang Revantoro² dan Eko Suwarno³

¹Universitas Negeri Malang, email: dwi.eggyna.1805236@students.um.ac.id

²Universitas Negeri Malang, email: nemesius.bambang.ft@um.ac.id

³Universitas Negeri Malang, email: eko.suwarno.ft@um.ac.id

Abstrak

Permasalahan keterlambatan proyek terjadi pada pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trennggalek. Adapun faktor permasalahan keterlambatan yaitu cuaca yang hujan membuat pelaksanaan di lapangan terhambat, tanah dasar tidak sesuai dengan kriteria, ketidaksiapan dan terbatasnya alat berat dalam mengoperasikan bahan material dalam pelaksanaan penghamparan pada Lapis Pondasi Atas (LPA). Nilai keterlambatan pekerjaan LPA sebesar -6,361 % dengan total mencapai \pm Rp. 739.625.414,496 serta keterlambatan 30 hari. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mengevaluasi perhitungan waktu serta biaya pekerjaan Lapis Pondasi Atas (LPA) menggunakan metode CPM, PERT serta percepatan dengan metode TCTO serta mengetahui penerapan efisiensi dari metode tersebut di lapangan. Pada perhitungan waktu dan biaya menggunakan data-data Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trennggalek, sehingga didapatkan waktu dan biaya dari metode tersebut kemudian dilakukan analisis terkait faktor-faktor yang mempengaruhi perhitungan dengan studi literatur serta pengamatan di lapangan, serta mengetahui analisis terkait efisiensi penerapan ketiga metode di lapangan dengan tujuan meminimalisir keterlambatan proyek dengan biaya optimal. Hasil dari penelitian ini yaitu: (1) waktu penyelesaian dari perhitungan metode CPM yaitu 112 hari, penyelesaian metode PERT 109 hari dengan efisiensi waktu 2.67 % dan penyelesaian proyek sebesar 50.80 % dengan total biaya keadaan lapangan Rp. 3,482,951,413.50; percepatan metode TCTO pada waktu CPM dengan alternatif penambahan jam lembur dan alat berat memperoleh deviasi sebanyak 12 hari dan efisiensi waktu penyelesaian sebesar 10.7 % dengan penambahan biaya sebesar Rp. 218,643,840.00 serta persentase kenaikan biaya 6.27%; percepatan TCTO pada waktu PERT dengan alternatif penambahan tenaga kerja jam lembur dan alat berat memperoleh deviasi 13 hari dan efisiensi waktu penyelesaian sebanyak 11.60 % serta biaya bertambah sebesar Rp. 119,217,586 dengan persentase kenaikan biaya 5.78 %; faktor yang menyebabkan adanya keterlambatan yaitu faktor teknis yang dipengaruhi oleh cuaca, dan kondisi lapangan, faktor alat dipengaruhi oleh kapasitas alat, serta faktor material dipengaruhi oleh kesiapan material, kualitas material, dan spesifikasi material; Metode PERT tepat digunakan di lapangan karena pada pelaksanaannya menerapkan tiga estimasi waktu; metode TCTO tepat digunakan dalam melakukan percepatan waktu pada pekerjaan-pekerjaan yang mengalami keterlambatan dengan melakukan alternatif penyelesaian.

Kata kunci: Keterlambatan Proyek, Jadwal, Biaya, Metode CPM, Metode PERT, Metode TCTO, Efisiensi

1. PENDAHULUAN

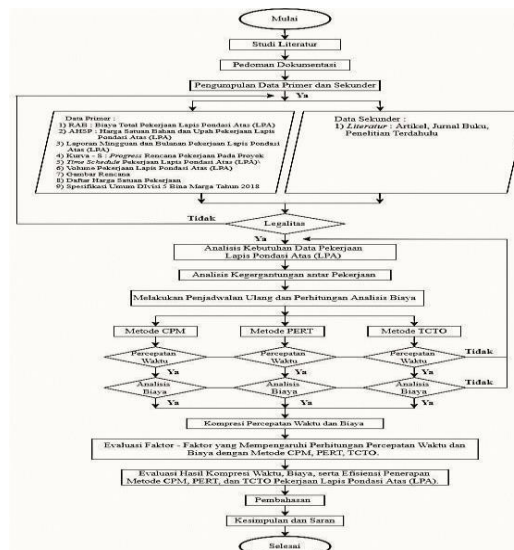
Manajemen konstruksi merupakan salah satu ilmu yang berfokus dalam mengelola suatu kegiatan dengan skala yang bervariasi, mulai dari yang kecil hingga besar dan memiliki tujuan utama berupa rupa hasil akhir serta sangat berpengaruh pada waktu dan biaya (Irawan dkk., 2020). Proyek konstruksi menerapkan manajemen dalam pelaksanaannya dan dilakukan dalam jangka waktu yang telah ditetapkan sehingga perlu tiga komponen 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. 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).

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). 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 variabel, 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 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 2016*.
 - 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 (T_e):
$$T_e = \frac{(a+4m+b)}{6} \dots\dots\dots(1)$$
 - c) Menyusun diagram jaringan berdasarkan waktu T_e
 - d) Menentukan kegiatan yang berada di jalur kritis.

- e) Menghitung deviasi standar kegiatan (S):
$$S = \frac{1}{6} b - a \dots\dots\dots(2)$$
- f) Menghitung nilai varians kegiatan proyek V(te):
$$S^2 = \left(\frac{1}{6} b - a\right)^2 \dots\dots\dots(3)$$
- g) Menghitung angka kemungkinan untuk mencapai target (Z), dengan rumus :
$$Z = \frac{T_x - T_e}{s} \dots\dots\dots(4)$$
- 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

3.1. 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.

3.2. Komponen Pekerjaan LPA

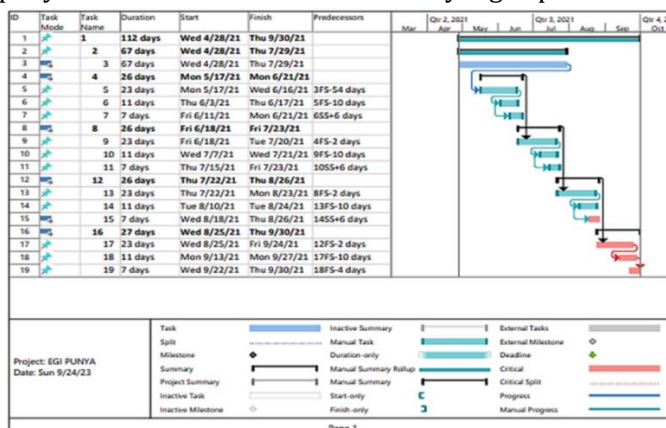
Berikut ini merupakan durasi normal dan biaya pelaksanaan Lapis Pondasi Atas (LPA) proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek yang dapat dilihat pada Tabel 1.

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
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

3.3. 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 2016*, dimana pwaktu penyelesaian selesai selama 112 hari yang dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Jaringan Kerja Metode CPM

3.4. 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.

3.5. 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 2.

Tabel 2. Probabilitas Tiga Estimasi Waktu (*Three Times Estimate*)

No.	Nama Pekerjaan	Waktu Realistis (m)	Waktu Pesimis (b)	Waktu Optimis (a)
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

3.6. Perhitungan Pendekatan Durasi Rata-Rata (Te)

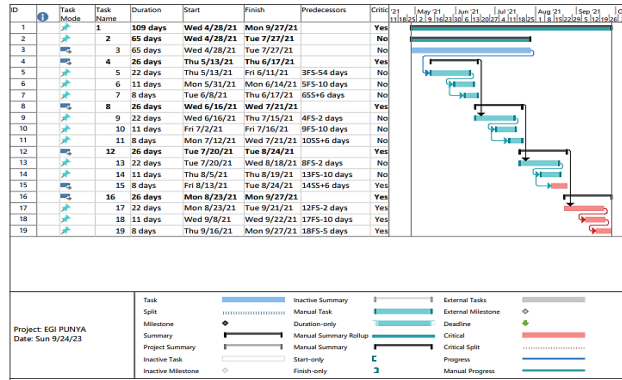
Dalam menentukan nilai pendekatan durasi rata-rata (Te) menggunakan tiga estimasi waktu. Berikut ini merupakan perhitungan nilai Te yang dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perhitungan Nilai Te

No.	Nama Pekerjaan	Waktu Realistis (m)	Waktu Pesimis (b)	Waktu Optimis (a)	Te
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

3.7. 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 dengan penyelesaian proyek selama 109 hari. Berikut merupakan hasil perhitungan diagram kerja pada pelaksanaan lapis pondasi atas (LPA) menggunakan *Microsoft Project 2016* yang dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Jaringan Kerja Metode PERT

3.8. 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 rekapitulasi perhitungan nilai Z pada metode PERT yang dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Perhitungan Nilai Z

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

3.9. 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 dengan biaya yang dikeluarkan sebesar Rp. 3,482,951,413.50.

3.10. Perhitungan Metode Time Cost Trade Off (TCTO)

Time Cost Trade Off (TCTO) merupakan metode 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.

3.11. Perhitungan Waktu Percepatan TCTO dari Hasil Perhitungan Metode CPM

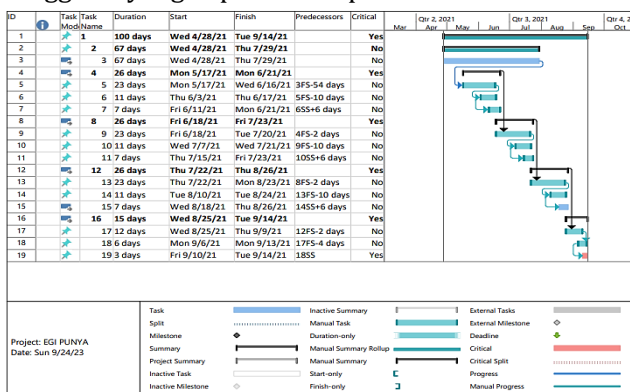
Berdasarkan hasil perhitungan waktu pada jalur kritis dengan metode CPM didapatkan hasil 112 hari, dimana waktu tersebut masih melebihi durasi dari jadwal yang telah direncanakan. Perhitungan percepatan waktu hanya dilakukan pada kegiatan yang belum dikerjakan hingga minggu ke – 77 dan berada pada jalur kritis. Adapun pekerjaan yang dilakukan percepatan yaitu hanya pekerjaan Lapis Pondasi Atas Layer 2 (Sisi Kiri Jalan). Berikut rekapitulasi durasi percepatan pekerjaan penghamparan Agregat A layer 2 (Sisi Kiri Jalan) yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. 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

3.12. 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

3.13. Perhitungan Biaya Percepatan

Berikut ini merupakan biaya pertambahan alat berat, dan biaya penambahan tenaga kerja dengan penerapan sistem shift pada waktu lembur pekerjaan penghamparan Agregat A Lapis Pondasi Atas (LPA) Proyek JLS Lot 6 Tulungagung—Trenggalek, Berikut merupakan rekapitulasi perhitungan alat berat yang dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7.

Tabel 6. Rekapitulasi Perhitungan Biaya Penambahan 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
Total		Rp.	131,640,000.00

Tabel 7. Rekapitulasi Perhitungan Biaya dengan Penambahan 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. 329,057,046.75	Rp. 29,462,400.00

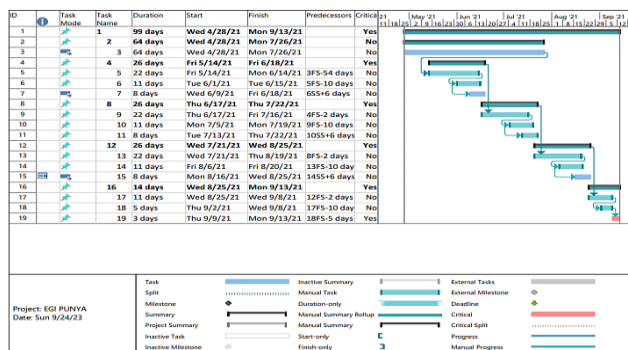
2.	Pembasahan Agregat A setelah Penghamparan	Rp. 92,659.88	Rp. 14,823,859.88	Rp. 14,731,200.00
3.	Pemadatan Agregat A Layer 2	Rp. 299,594,646.75	Rp. 306,960,246.75	Rp. 7,365,600.00
	Total	Rp. 599,281,953.38	Rp. 686,285,793.38	Rp. 87,003,840.00

3.14. 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 kerja dan alat berat untuk memperoleh waktu yang lebih singkat.

3.15. Diagram Jaringan Waktu Dipercepat

Berdasarkan dari hasil perhitungan waktu dipercepat, maka dapat dilakukan kembali pembuatan diagram jaringan kerja serta jalur kritis yang baru. Pada diagram jaringan dengan menggunakan aplikasi *Microsoft project 2016* didapatkan jalur kritis baru dengan total penyelesaian selama 99 hari



Gambar 4. Durasi Percepatan Metode PERT Menggunakan Metode TCTO

3.16. 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. Berikut ini merupakan hasil rekapitulasi perhitungan penambahan alat berat dan pertambahan tenaga kerja dengan sistem shift pada waktu lembur pada percepatan waktu yang dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9.

Tabel 8. 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
	Total	Rp. 120,688,000.00

Tabel 9. 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.	Penghampanan 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 Penghampanan	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

3.17. Faktor – Faktor Perhitungan Waktu dan Biaya

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, realistis, 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 10.

Tabel 10. Komponen Penyusun Data

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

	3. Alat yang digunakan
	4. Pekerjaan yang dilakukan
AHSP	1. Biaya Upah 2. Biaya Alat 3. Biaya Material 4. Biaya Subkon 5. Koefisien Upah 6. Koefisien Alat 7. Koefisien Material
Kurva S	1. Bobot Pekerjaan 2. Durasi Pekerjaan
RAB	1. Volume Pekerjaan 2. Biaya Pekerjaan

3.18. 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 11.

Tabel 11. 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

3.19. 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 12.

Tabel 12. 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.
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.
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.

4. PEMBAHASAN

4.1. 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 1/1000 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.

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, 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.

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 %.

4.2. 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.

4.3. 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 di jalur 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.

5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan serta pembahasan yang sudah diuraikan terkait Analisis 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 Adriadi ¹), Adi Riadhus Solihin ²). 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.
- Anggraini, 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 EFEKTIFITAS 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 Sainika 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.