

## Optimasi Proyek Gedung Puskesmas dengan Metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO)

Fitria Nadia Indriati<sup>1</sup>, Nono Suhana<sup>1</sup>, Wachid Hasyim<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Wiralodra, Indramayu

\*e-mail: wachidhasyim@unwir.ac.id

### ABSTRAK

Proyek konstruksi sering menghadapi permasalahan keterlambatan waktu dan pembengkakan biaya yang dapat menurunkan efisiensi pelaksanaan. Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan durasi dan biaya pada proyek pembangunan Gedung fasilitas kesehatan di Kabupaten Indramayu dengan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO). Metode CPM digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis proyek berdasarkan hubungan antar aktivitas, sedangkan metode TCTO diterapkan untuk melakukan percepatan melalui strategi penggantian material pada pekerjaan tertentu. Hasil analisis menunjukkan bahwa jalur kritis proyek terdiri dari aktivitas A-B-C-D-E-G-H-I-J dengan durasi awal sebesar 151 hari. Penerapan metode TCTO pada pekerjaan dinding, atap, dan langit-langit menghasilkan percepatan durasi proyek menjadi 133 hari atau berkurang 18 hari dari kondisi awal. Selain itu, terjadi efisiensi biaya sebesar Rp 32.909.752 atau sekitar 1,83% dari total anggaran proyek. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggantian material merupakan strategi yang efektif dalam mengoptimalkan waktu dan biaya proyek tanpa mengurangi kualitas pekerjaan.

**Kata kunci:** CPM, TCTO, jalur kritis, optimasi proyek, manajemen konstruksi

### ABSTRACT

*Construction projects often experience delays and cost overruns that reduce overall efficiency. This study aims to optimize the duration and cost of the Temiyang Public Health Center building project in Indramayu Regency using the Critical Path Method (CPM) and Time Cost Trade Off (TCTO). The CPM method is applied to identify the project's critical path based on activity relationships, while the TCTO method is used to accelerate the project through material substitution strategies in selected activities. The results show that the critical path consists of activities A-B-C-D-E-G-H-I-J with an initial project duration of 151 days. The implementation of TCTO on wall, roof, and ceiling works reduces the project duration to 133 days, achieving an acceleration of 18 days. In addition, cost efficiency of Rp 32,909,752 (approximately 1.83% of the total project budget) is obtained. These findings indicate that material substitution is an effective strategy for optimizing project time and cost without compromising construction quality.*

**Keywords:** CPM, TCTO, critical path, project optimization, construction management

## 1. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur kesehatan merupakan salah satu aspek penting dalam meningkatkan kualitas pelayanan masyarakat. Salah satu fasilitas yang memiliki peran strategis adalah Puskesmas sebagai pelayanan kesehatan tingkat pertama. Untuk mendukung fungsi tersebut, diperlukan sarana dan prasarana yang memadai, termasuk pembangunan gedung yang representatif. Proyek pembangunan gedung fasilitas kesehatan di Kabupaten Indramayu merupakan upaya pemerintah dalam meningkatkan kualitas layanan kesehatan. Namun, dalam pelaksanaannya, proyek konstruksi sering menghadapi berbagai kendala seperti keterlambatan waktu penyelesaian dan pembengkakan biaya yang dapat mengurangi efisiensi proyek.

Permasalahan keterlambatan proyek umumnya disebabkan oleh kurang optimalnya perencanaan, pengendalian waktu, serta pemanfaatan sumber daya yang tersedia. Keterlambatan tidak hanya berdampak pada mundurnya waktu penyelesaian proyek, tetapi juga berpotensi meningkatkan biaya pelaksanaan akibat bertambahnya durasi kerja, biaya tenaga kerja, dan penggunaan peralatan. Oleh karena itu, diperlukan suatu metode analisis yang mampu mengidentifikasi aktivitas-aktivitas kritis dalam proyek sehingga dapat dilakukan pengendalian secara lebih efektif dan efisien.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa metode *Critical Path Method* (CPM) merupakan salah satu teknik yang efektif dalam menentukan jalur kritis proyek dan mengidentifikasi aktivitas yang berpengaruh langsung terhadap durasi penyelesaian proyek. Selain itu, metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) telah banyak

digunakan untuk melakukan optimasi waktu dan biaya proyek melalui percepatan aktivitas tertentu, baik dengan penambahan sumber daya maupun perubahan metode pelaksanaan. Namun demikian, sebagian besar penelitian masih berfokus pada percepatan melalui lembur atau penambahan tenaga kerja, sehingga kajian terkait strategi alternatif seperti penggantian material masih relatif terbatas.

Salah satu jenis kegiatan yang berlangsung dalam jangka waktu terbatas adalah proyek konstruksi, keberhasilan sebuah proyek tergantung pada waktu dan sumber daya yang telah ditetapkan, proyek harus diselesaikan sebelum atau tepat pada waktu yang telah ditentukan dan hasil harus sesuai dengan rencana (Mahyuddin et al., 2023). Selain itu, keterlambatan dalam konstruksi dapat didefinisikan sebagai waktu yang melampaui tanggal penyelesaian yang ditetapkan dalam kontrak atau tanggal yang disepakati oleh para pihak untuk menyelesaikan proyek (Nurhayati, 2023).

Berbagai penelitian terdahulu telah menunjukkan efektivitas metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO) dalam pengelolaan waktu dan biaya proyek konstruksi. Penelitian yang dilakukan oleh Astari et al. (2022) pada proyek pembangunan Museum XYZ menunjukkan bahwa penerapan metode CPM mampu mengidentifikasi lintasan kritis pada rangkaian aktivitas A–C–E–G–H–I–P–Q–R–T. Aktivitas tersebut mencakup pekerjaan persiapan umum, dokumentasi dan administrasi, pekerjaan atap, pekerjaan *hall*, pintu masuk, hingga pekerjaan mekanikal. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi proyek dapat dipercepat dari 152 hari menjadi 102 hari, sehingga terjadi efisiensi waktu sebesar 52 hari (Astari et al., 2022).

*Metode Time Cost Trade Off* (TCTO) telah menjadi pendekatan fundamental dalam optimasi proyek konstruksi, dengan konsep dasar bahwa perubahan waktu penyelesaian proyek akan mempengaruhi biaya yang dikeluarkan. Penelitian Nailul Izzah (2018) pada proyek perumahan PT. X menunjukkan efektivitas awal metode ini dengan mencapai efisiensi waktu 5,76% dan efisiensi biaya 0,156%, menghasilkan biaya optimal sebesar Rp. 6.753.245.793 dengan percepatan 32 hari kerja. Studi ini menetapkan fondasi penggunaan TCTO yang dikombinasikan dengan *Critical Path Method* (CPM) dan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) (Izzah, 2018).

Perkembangan signifikan terjadi pada periode 2020-2022, di mana penelitian mulai mengeksplorasi berbagai strategi percepatan. I. Hendriyani et al., (2020) pada proyek peningkatan Jalan Bina Bakti mendemonstrasikan perbandingan antara penambahan jam kerja lembur versus penambahan tenaga kerja, dengan hasil bahwa penambahan tenaga kerja lebih efisien (efisiensi biaya 0,54% dan waktu 22,86%) dibandingkan penambahan jam lembur (efisiensi biaya 0,11% dan waktu 13,47%) (Hendriyani et al., 2020). Sementara itu, R. Pratiwi et al., (2022) pada proyek penambahan bangunan pasar rakyat mengkonfirmasi temuan serupa, mencapai efisiensi waktu 16,38 hari dengan total biaya optimal Rp. 634.106.512 (Pratiwi et al., 2022).

Integrasi teknologi *software* menjadi tren penting dalam periode ini. Setiono et al., (2022) memperkenalkan penggunaan Primavera P6 untuk optimasi proyek penataan koridor Jl. Ir. Juanda Surakarta, menghasilkan *output* berupa *Gantt Chart*, *Network Diagram*, dan *Critical Path* yang memudahkan pengendalian proyek. Penelitian ini menunjukkan bahwa baik penambahan jam kerja (durasi 189 hari) maupun penambahan tenaga kerja (durasi 197 hari) dapat mengurangi durasi dan biaya proyek secara simultan (Setiono et al., 2022).

Inovasi metodologis terjadi melalui penelitian Mohammad J M Khabibulloh & Tri Joko Wahyu Adi (2022), yang mengintegrasikan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dengan TCTO pada proyek jalur ganda kereta api. Studi ini memvalidasi bahwa hasil analisis matematis manual dan *metaheuristic* PSO memberikan hasil yang hampir identik (perbedaan 0,001%), dengan durasi optimal 287 hari dan biaya percepatan Rp. 28.464.546.260, membuktikan reliabilitas pendekatan komputasional (Khabibulloh & Adi, 2022).

Penelitian terkini menunjukkan konsistensi efektivitas TCTO *across* berbagai jenis proyek. Andika Wahyu Eka Sakti & F. Rachmawati (2023), pada proyek preservasi jalan Gempol-Pasuruan-Probolinggo mencapai durasi optimal 99 hari dengan biaya Rp. 30.525.265.504,56 (Sakti & Rachmawati, 2023). Selanjutnya, Nindya et al., (2024) pada proyek peningkatan ruas jalan Kanto-Pulahenti menunjukkan bahwa penambahan 4 jam lembur lebih optimal (45 hari kerja, biaya Rp. 2.220.392.998,10) dibandingkan 2 jam lembur (47 hari kerja, biaya Rp. 2.220.570.527,10) (Nindya et al., 2024).

Selain itu, studi paling mutakhir yang dilakukan oleh A. Anggraini et al. (2025) pada proyek Jalan Muara Sahung-Naga Rantai mengkonfirmasi superioritas penambahan tenaga kerja dengan penghematan biaya Rp. 90.703.895 dan *Crash Slope* Rp. 14.758.348 per hari percepatan, kontras dengan penambahan jam lembur yang menghasilkan *Cost Slope* negatif -Rp. 205.033.638 per hari (Anggraini et al., 2025).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi jalur kritis proyek pembangunan gedung fasilitas kesehatan menggunakan metode CPM serta menentukan alternatif percepatan yang optimal menggunakan metode TCTO. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk menghitung durasi dan biaya optimal proyek setelah dilakukan percepatan dengan mempertimbangkan efisiensi dan kelayakan teknis. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah memberikan rekomendasi strategis dalam pengelolaan waktu dan biaya proyek konstruksi, khususnya melalui pendekatan penggantian material sebagai alternatif percepatan.

## 2. METODE

Penelitian ini menggunakan pendekatan deskriptif kuantitatif yang bertujuan untuk menganalisis dan mengoptimalkan waktu serta biaya pelaksanaan proyek konstruksi. Pendekatan deskriptif digunakan untuk menggambarkan kondisi aktual proyek berdasarkan data yang tersedia, khususnya dalam penyusunan jaringan kerja dan identifikasi jalur kritis menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM). Sementara itu, pendekatan kuantitatif digunakan dalam proses perhitungan durasi, analisis percepatan, serta evaluasi perubahan biaya menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). Dengan kombinasi kedua pendekatan ini, penelitian mampu memberikan hasil yang sistematis dan terukur dalam optimasi proyek.

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui hasil perhitungan durasi pekerjaan berdasarkan produktivitas tenaga kerja dan kondisi lapangan. Sedangkan data sekunder diperoleh dari dokumen proyek seperti Rencana Anggaran Biaya (RAB), daftar volume pekerjaan, serta literatur terkait metode CPM dan TCTO. Data sekunder ini berfungsi sebagai dasar dalam penyusunan hubungan antar aktivitas proyek serta estimasi biaya yang diperlukan dalam kondisi normal maupun percepatan.

Tahapan penelitian dilakukan secara sistematis dimulai dari pengumpulan data proyek, kemudian dilanjutkan dengan penyusunan *Work Breakdown Structure* (WBS) untuk mengidentifikasi seluruh aktivitas pekerjaan. Selanjutnya dilakukan penentuan hubungan antar aktivitas (*predecessor*) untuk membentuk jaringan kerja proyek (*network diagram*). Setelah itu, dilakukan analisis menggunakan metode CPM melalui perhitungan maju (*forward pass*) dan perhitungan mundur (*backward pass*) untuk memperoleh nilai waktu mulai dan selesai setiap aktivitas. Berdasarkan hasil tersebut, ditentukan jalur kritis proyek yang memiliki nilai kelonggaran waktu (*slack*) sama dengan nol. Tahap berikutnya adalah penerapan metode TCTO dengan mengidentifikasi aktivitas pada jalur kritis yang berpotensi dipercepat, kemudian dilakukan analisis percepatan melalui strategi penggantian material untuk memperoleh durasi dan biaya optimal proyek.

Teknik analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode CPM dan TCTO. Pada metode CPM, perhitungan waktu dilakukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

1. Perhitungan maju (*forward pass*)  
Secara matematis dihitung dengan persamaan (1):

$$EF = ES + D \quad (1)$$

Dengan EF adalah *earliest finish*, ES adalah *earliest start*, dan D adalah durasi aktivitas.

2. Perhitungan mundur (*backward pass*)  
Secara matematis dihitung dengan persamaan (2):

$$LS = LF - D \quad (2)$$

Dengan LS adalah *latest start*, LF adalah *latest finish*, dan D adalah durasi aktivitas.

3. Perhitungan kelonggaran waktu (*slack*)  
Perhitungan *slack* secara matematis dilakukan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Slack} &= LS - ES \text{ atau} \\ \text{Slack} &= LF - EF \end{aligned} \quad (3)$$

Aktivitas dengan nilai *slack* = 0 merupakan aktivitas yang berada pada jalur kritis.

Selanjutnya, analisis percepatan menggunakan metode TCTO dilakukan dengan menghitung perubahan waktu dan biaya akibat percepatan. Persamaan yang digunakan meliputi:

4. Selisih waktu percepatan, diperoleh dengan persamaan:

$$\Delta \text{Time} = T_{\{\text{normal}\}} - T_{\{\text{crash}\}} \quad (4)$$

5. Selisih biaya, dihitung dengan persamaan:

$$\Delta \text{Cost} = C_{\{\text{crash}\}} - C_{\{\text{normal}\}} \quad (5)$$

6. *Cost slope*, dihitung dengan persamaan (6) berikut:

$$\text{Cost slope} = \frac{C_{\text{crash}} - C_{\text{normal}}}{T_{\text{normal}} - T_{\text{crash}}} \quad (6)$$

Nilai *cost slope* digunakan untuk menentukan efisiensi percepatan, di mana aktivitas dengan nilai *cost slope* paling kecil diprioritaskan untuk dilakukan percepatan. Dalam penelitian ini, pendekatan TCTO dilakukan melalui strategi penggantian material yang bertujuan untuk meningkatkan produktivitas kerja tanpa menurunkan kualitas konstruksi. Dengan demikian, metode analisis yang digunakan mampu memberikan gambaran yang komprehensif dalam menentukan durasi dan biaya optimal proyek.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan pada proyek pembangunan gedung fasilitas kesehatan yang berlokasi di Kabupaten Indramayu. Proyek ini bertujuan untuk menyediakan fasilitas pelayanan kesehatan yang memadai bagi masyarakat. Dalam penelitian ini, analisis difokuskan pada optimasi waktu dan biaya proyek menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO). Tahap awal analisis dilakukan dengan menyusun struktur rincian pekerjaan atau *Work Breakdown Structure* (WBS) yang bertujuan untuk mengelompokkan seluruh aktivitas proyek menjadi bagian-bagian yang lebih terstruktur sehingga memudahkan proses analisis penjadwalan.

Berdasarkan hasil penyusunan WBS, diperoleh sejumlah aktivitas utama proyek yang meliputi pekerjaan persiapan, tanah, fondasi, struktur beton bertulang, dinding, sanitasi, atap, langit-langit, elektrik, lantai, serta pekerjaan pendukung lainnya. Selanjutnya dilakukan penentuan hubungan antar aktivitas (*predecessor*) dengan mempertimbangkan urutan logis pelaksanaan pekerjaan di lapangan. Hubungan yang digunakan terdiri dari *finish to start* (FS), *start to start* (SS), dan *finish to finish* (FF). Penyusunan hubungan antar aktivitas ini menjadi dasar dalam pembentukan jaringan kerja (*network diagram*) yang digunakan dalam analisis CPM.

Analisis menggunakan metode CPM diawali dengan perhitungan durasi setiap pekerjaan. Adapun durasi pekerjaan ditentukan dengan mengalikan koefisien produktivitas pekerja dengan volume pekerjaan serta dibagi dengan jumlah pekerja yang digunakan pada pekerjaan tersebut. Selanjutnya disusun perhitungan maju (*forward pass*) untuk menentukan waktu mulai paling awal (*earliest start/ES*) dan waktu selesai paling awal (*earliest finish/EF*) setiap aktivitas. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa aktivitas awal proyek dimulai dari pekerjaan persiapan dengan  $ES = 0$  dan  $EF = 1$  hari. Perhitungan dilanjutkan secara berurutan hingga aktivitas terakhir, yaitu pekerjaan lantai, yang memiliki EF sebesar 151 hari. Dengan demikian, durasi total proyek berdasarkan perhitungan CPM adalah 151 hari.

Selanjutnya dilakukan perhitungan mundur (*backward pass*) untuk menentukan waktu mulai paling akhir (*latest start/LS*) dan waktu selesai paling akhir (*latest finish/LF*). Hasil analisis menunjukkan bahwa beberapa aktivitas memiliki nilai LS dan LF yang sama dengan ES dan EF, yang menandakan bahwa aktivitas tersebut tidak memiliki kelonggaran waktu (*slack* = 0). Aktivitas-aktivitas tersebut merupakan bagian dari jalur kritis proyek. Berdasarkan hasil perhitungan, jalur kritis proyek terdiri dari rangkaian aktivitas A-B-C-D-E-G-H-I-J, yang mencakup pekerjaan persiapan hingga pekerjaan lantai. Lebih detail ditunjukkan dalam Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan *slack* tiap pekerjaan

| Aktivitas | Uraian Pekerjaan | Durasi (Hari) | ES  | EF  | LS  | LF  | Slack | Keterangan |
|-----------|------------------|---------------|-----|-----|-----|-----|-------|------------|
| A         | Persiapan        | 1             | 0   | 1   | 0   | 1   | 0     | Kritis     |
| B         | Tanah            | 23            | 1   | 24  | 1   | 24  | 0     | Kritis     |
| C         | Fondasi          | 9             | 24  | 33  | 24  | 33  | 0     | Kritis     |
| D         | Struktur Beton   | 29            | 33  | 62  | 33  | 62  | 0     | Kritis     |
| E         | Dinding          | 41            | 62  | 103 | 62  | 103 | 0     | Kritis     |
| G         | Atap             | 15            | 103 | 118 | 103 | 118 | 0     | Kritis     |
| H         | Langit-langit    | 13            | 118 | 131 | 118 | 131 | 0     | Kritis     |
| I         | Elektrikal       | 8             | 131 | 139 | 131 | 139 | 0     | Kritis     |
| J         | Lantai           | 12            | 139 | 151 | 139 | 151 | 0     | Kritis     |

Selain aktivitas kritis, terdapat beberapa aktivitas non-kritis seperti pekerjaan sanitasi, pintu dan jendela, pagar, serta *paving block* yang memiliki nilai *slack* positif. Aktivitas-aktivitas ini memiliki fleksibilitas waktu sehingga tidak mempengaruhi durasi total proyek apabila terjadi keterlambatan dalam batas tertentu. Informasi ini sangat penting dalam pengelolaan sumber daya, karena memungkinkan alokasi tenaga kerja dan peralatan difokuskan pada aktivitas kritis.

Setelah jalur kritis diidentifikasi, tahap selanjutnya adalah analisis percepatan menggunakan metode TCTO. Dalam penelitian ini, percepatan tidak dilakukan melalui penambahan tenaga kerja atau lembur, melainkan melalui strategi penggantian material. Pendekatan ini dipilih karena dinilai lebih efisien dalam meningkatkan produktivitas tanpa meningkatkan biaya secara signifikan. Aktivitas yang dipilih untuk percepatan adalah aktivitas yang berada pada jalur kritis dan memiliki durasi relatif panjang, yaitu pekerjaan dinding, atap, dan langit-langit.

Percepatan dilakukan pada 3 pekerjaan utama, yaitu pekerjaan dinding, atap, dan langit-langit seperti yang terdapat dalam Tabel 2.

Tabel 2. Item percepatan pekerjaan proyek

| Pekerjaan     | Durasi Normal | Durasi <i>Crash</i> | Pengurangan |
|---------------|---------------|---------------------|-------------|
| Dinding       | 41 hari       | 26 hari             | 15 hari     |
| Atap          | 15 hari       | 14 hari             | 1 hari      |
| Langit-langit | 13 hari       | 10 hari             | 3 hari      |

Pada pekerjaan dinding, material batu bata konvensional diganti dengan bata ringan *hebel*. Perubahan ini memberikan dampak signifikan terhadap durasi pekerjaan, di mana waktu pelaksanaan berkurang dari 41 hari menjadi 26 hari. Selain itu, terjadi penghematan biaya karena berkurangnya kebutuhan pekerjaan tambahan seperti plesteran. Pada pekerjaan atap, penggantian *listplank* GRC dengan *listplank* metal mengurangi durasi pekerjaan dari 15 hari menjadi 14 hari. Sementara itu, pada pekerjaan langit-langit, penggunaan plafon PVC menggantikan plafon GRC mampu mengurangi durasi dari 13 hari menjadi 10 hari.

Tabel 3. Selisih pekerjaan TCTO

| Parameter       | Kondisi Normal   | Setelah TCTO     | Selisih        |
|-----------------|------------------|------------------|----------------|
| Durasi Proyek   | 151 hari         | 133 hari         | -18 hari       |
| Biaya Proyek    | Rp 1.801.801.847 | Rp 1.768.892.095 | -Rp 32.909.752 |
| Efisiensi Biaya | -                | -                | 1,83%          |

Hasil analisis menunjukkan bahwa total percepatan yang diperoleh dari ketiga aktivitas tersebut adalah 18 hari, sehingga durasi proyek berkurang dari 151 hari menjadi 133 hari seperti ditunjukkan dalam Tabel 3. Dari sisi biaya, penerapan metode TCTO menghasilkan efisiensi sebesar Rp 32.909.752 atau sekitar 1,83% dari total anggaran awal proyek. Lebih detail ditunjukkan dalam Tabel 4. Hal ini menunjukkan bahwa strategi penggantian material tidak hanya mempercepat waktu pelaksanaan, tetapi juga dapat memberikan keuntungan dari sisi ekonomi.

Tabel 4. Selisih biaya hasil *crashing*

| Pekerjaan     | Durasi Normal | Durasi <i>Crash</i> | $\Delta$ Waktu | Biaya Normal   | Biaya <i>Crash</i> | $\Delta$ Biaya |
|---------------|---------------|---------------------|----------------|----------------|--------------------|----------------|
| Dinding       | 41            | 26                  | 15             | Rp 282.372.627 | Rp 250.178.770     | -Rp 32.193.857 |
| Atap          | 15            | 14                  | 1              | Rp 236.060.663 | Rp 237.526.893     | +Rp 2.906.004  |
| Langit-langit | 13            | 10                  | 3              | Rp 53.551.122  | Rp 49.929.195      | -Rp 3.621.927  |

Secara keseluruhan, pekerjaan dinding, atap, dan langit-langit tidak lagi menjadi pekerjaan kritis setelah dilakukan optimasi. Sementara itu, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode CPM dan TCTO dapat digunakan secara efektif dalam mengoptimalkan pelaksanaan proyek konstruksi. Kombinasi kedua metode ini memungkinkan identifikasi aktivitas kritis serta penentuan strategi percepatan yang tepat. Selain itu, pendekatan penggantian material terbukti menjadi alternatif yang inovatif dibandingkan metode percepatan konvensional, karena mampu meningkatkan efisiensi tanpa mengorbankan kualitas pekerjaan.

Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi praktis dalam manajemen proyek konstruksi, khususnya dalam pengambilan keputusan terkait optimasi waktu dan biaya. Strategi yang dihasilkan dapat menjadi acuan bagi pelaksana proyek dalam meningkatkan kinerja proyek secara keseluruhan.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan terhadap proyek pembangunan gedung fasilitas kesehatan menggunakan metode *Critical Path Method* (CPM) dan *Time Cost Trade Off* (TCTO), dapat disimpulkan bahwa perencanaan dan pengendalian waktu proyek memiliki peran yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan pelaksanaan proyek. Hasil analisis CPM menunjukkan bahwa jalur kritis proyek terdiri dari rangkaian aktivitas A-B-C-D-E-G-H-I-J yang memiliki nilai *slack* sebesar nol, sehingga setiap keterlambatan pada aktivitas tersebut akan langsung mempengaruhi durasi penyelesaian proyek secara keseluruhan. Durasi awal proyek berdasarkan hasil perhitungan adalah selama 151 hari.

Penerapan metode TCTO melalui strategi penggantian material pada pekerjaan dinding, atap, dan langit-langit terbukti mampu memberikan percepatan waktu pelaksanaan proyek secara signifikan. Perubahan material, seperti penggunaan bata ringan *hebel*, *listplank* metal, dan plafon PVC, tidak hanya meningkatkan produktivitas pekerjaan tetapi juga mengurangi tahapan kerja yang tidak diperlukan. Hasil analisis menunjukkan bahwa durasi proyek dapat dipersingkat menjadi 133 hari atau mengalami percepatan selama 18 hari dari kondisi awal.

Selain itu, dari sisi biaya, penerapan metode TCTO juga memberikan efisiensi anggaran proyek. Total biaya proyek mengalami penurunan sebesar Rp 32.909.752 atau sekitar 1,83% dari biaya awal. Hal ini menunjukkan bahwa strategi percepatan tidak selalu identik dengan peningkatan biaya, melainkan dapat menghasilkan penghematan apabila dilakukan dengan pendekatan yang tepat. Dengan demikian, kombinasi metode CPM dan TCTO dengan pendekatan penggantian material dapat menjadi solusi efektif dalam optimasi waktu dan biaya proyek konstruksi tanpa mengurangi kualitas pekerjaan.

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, disarankan agar dalam perencanaan proyek konstruksi, pemilihan metode pelaksanaan dan material tidak hanya mempertimbangkan aspek teknis semata, tetapi juga memperhatikan potensi efisiensi waktu dan biaya yang dapat dihasilkan. Penggunaan metode CPM sebaiknya diterapkan sejak tahap perencanaan awal untuk mengidentifikasi aktivitas kritis sehingga pengendalian proyek dapat dilakukan secara lebih terarah dan efektif.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar dilakukan pengembangan dengan mempertimbangkan lebih banyak variasi material, kondisi lapangan yang berbeda, serta penggunaan perangkat lunak penjadwalan yang lebih kompleks seperti BIM atau simulasi berbasis probabilitas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Anggraini, A., Dwianto, E., & Sazuatmo, S. (2025). Analisa optimasi biaya dan waktu pelaksanaan proyek konstruksi dengan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja berdasarkan metode time cost trade off (Studi kasus: Penanganan jalan Muara Sahung – Naga Rantai Kabupaten Kaur Provinsi Bengkulu). *RIGGS: Journal of Artificial Intelligence and Digital Business*.
- Astari, N. M., Subagyo, A. M., & Kusnadi, K. (2022). Perencanaan Manajemen Proyek Dengan Metode CPM Dan PERT. *Konstruksia*, 13(1), 164. <https://doi.org/10.24853/jk.13.1.164-180>
- Hendriyani, I., Pratiwi, R., & Qadri, N. (2020). Optimasi waktu dan biaya pada pelaksanaan proyek peningkatan

- jalan Bina Bakti Kelurahan Gunung Seteleng Kabupaten Penajam Paser Utara dengan metode time cost trade off (TCTO). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*.
- Izzah, N. (2018). *Analisis pertukaran waktu dan biaya menggunakan metode time cost trade off (TCTO) pada proyek pembangunan perumahan di PT. X*.
- Khabibulloh, M. J. M., & Adi, T. J. W. (2022). Optimasi waktu dan biaya (time cost trade off - TCTO) menggunakan particle swarm optimization (PSO). *Jurnal Teknik ITS*.
- Mahyuddin, Ritnawati, Rachim, F., Mursalim, E., Pandarangga, A. P., Ulfyati, Y., Sidiq, R., & Rosytha, A. (2023). *Manajemen Proyek Konstruksi* (A. Karim (ed.)). Yayasan Kita Menulis.
- Nindya, N., Rachman, A., & Fuad, M. J. (2024). Optimasi biaya dan waktu pada proyek peningkatan ruas jalan Kanto – Pulahenti dengan menggunakan metode TCTO (time cost trade off). *Jurnal Vokasi Sains Dan Teknologi*.
- Nurhayati, N. (2023). Analisa Penerapan Manajemen Waktu Pada Proyek Konstruksi Jalan Raya (Studi Kasus PT. XYX dan PT. XPR di Kota Baubau). *Jurnal Media Inovasi Teknik Sipil UNIDAYAN*, 12(2), 45–50. <https://doi.org/10.55340/jmi.v12i2.1432>
- Pratiwi, R., Devi, S. M., Marini, A., & Sari, H. M. (2022). Optimasi waktu dan biaya dengan metode time cost trade off (TCTO) pada proyek penambahan bangunan pasar rakyat. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil TRANSUKMA*.
- Sakti, A. W. E., & Rachmawati, F. (2023). Penerapan metode time cost trade off (TCTO) dalam optimasi durasi dan biaya pada proyek preservasi jalan dan jembatan Gempol–Pasuruan–Probolinggo. *Jurnal Teknik ITS*.
- Setiono, S., Suryoto, S., & Supriyor, D. Q. (2022). Analisis optimasi biaya dan waktu proyek dengan metode time cost trade off menggunakan aplikasi Primavera P6 (Studi kasus proyek penataan koridor Jl. Ir. Juanda, Surakarta). *Matriks Teknik Sipil*.