

ANALISIS PENGGUNAAN METODE CPM DAN PERT DALAM MENENTUKAN WAKTU KEGIATAN PADA JEMBATAN

Nerli Khairani¹, Nancy Veronica Br Gultom², Thiodore Salomo Braveman Siregar³, Vebrianto
Ambarita⁴, Yonathan Sitorus⁵

Universitas Negeri Medan^{1,2,3,4,5}

nerlinst@yahoo.co.id¹, nancy17.4223230034@mhs.unimed.ac.id²,
thiodore21.4223530012@mhs.unimed.ac.id³, vebrianto.4223230031@mhs.unimed.ac.id⁴,
jonathansitorus269.4223530009@mhs.unimed.ac.id⁵

ABSTRAK

Penjadwalan proyek merupakan aspek penting dalam pengendalian waktu pelaksanaan konstruksi, terutama pada proyek berskala besar seperti pembangunan jembatan. Ketidaktepatan waktu penyelesaian dapat menyebabkan pembengkakan biaya, penurunan efisiensi sumber daya, serta keterlambatan operasional. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis durasi penyelesaian proyek pembangunan jembatan menggunakan metode Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT) berdasarkan data time schedule yang diperoleh melalui studi literatur dari sumber sekunder. Metode CPM digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis dan durasi minimum proyek secara deterministik, sedangkan PERT digunakan untuk menganalisis ketidakpastian durasi aktivitas melalui pendekatan probabilistik. Hasil perhitungan CPM menunjukkan bahwa jalur kritis proyek adalah $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow K \rightarrow O \rightarrow T \rightarrow W \rightarrow X$ dengan durasi total 63 minggu. Sementara itu, analisis PERT menghasilkan durasi ekspektasi sebesar 96,41 minggu dan perhitungan probabilitas menunjukkan bahwa proyek memiliki peluang 99,87% untuk selesai dalam 99 minggu. Hasil penelitian menunjukkan bahwa CPM lebih efektif dalam menentukan durasi minimum dan aktivitas kritis, sedangkan PERT lebih akurat untuk memperkirakan risiko keterlambatan dan tingkat probabilitas penyelesaian proyek.

Kata Kunci: Manajemen Proyek, CPM, PERT, Jalur Kritis, Penjadwalan Konstruksi.

ABSTRACT

Project scheduling is a crucial aspect of time control in construction project execution, especially for large-scale infrastructure such as bridge construction. Inaccurate planning and scheduling may lead to cost overruns, reduced resource efficiency, and delayed project completion. This research aims to analyze the project duration of a bridge construction schedule using the Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT) based on secondary data obtained through literature study. CPM is applied to identify the critical path and minimum completion duration deterministically, while PERT is used to evaluate uncertainty in activity duration through probabilistic analysis. The CPM calculation

results indicate that the critical path consists of activities $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow K \rightarrow O \rightarrow T \rightarrow W \rightarrow X$ with a total duration of 63 weeks. Meanwhile, PERT analysis produces an expected project duration of 96.41 weeks, and probabilistic evaluation shows that the project has a 99.87% likelihood of completion within 99 weeks. The findings reveal that CPM is effective for determining minimum duration and critical activities, while PERT is more suitable for assessing schedule uncertainty and completion probability.

Keywords: Project Management, CPM, PERT, Critical Path, Construction Scheduling.

A. PENDAHULUAN

Manajemen waktu merupakan aspek fundamental dalam pelaksanaan proyek konstruksi, terutama pada proyek berskala besar seperti pembangunan jembatan. Ketidaktepatan perencanaan waktu dapat menimbulkan berbagai dampak negatif, seperti keterlambatan penyelesaian, pembengkakan biaya, ketidakefisienan sumber daya, serta risiko kegagalan proyek. Oleh karena itu, diperlukan metode penjadwalan yang mampu memberikan estimasi waktu yang akurat serta dapat mengidentifikasi aktivitas-aktivitas kritis dalam proyek (Amu et al., 2023).

Dua metode yang paling umum digunakan dalam penjadwalan proyek adalah Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT). CPM adalah metode penjadwalan deterministik yang menetapkan durasi pasti untuk setiap aktivitas dan mengidentifikasi jalur kritis sebagai rangkaian kegiatan terpanjang yang menentukan total waktu penyelesaian proyek. Dengan pendekatan ini, manajer proyek dapat mengetahui aktivitas mana saja yang tidak memiliki kelonggaran waktu dan harus dipantau secara ketat untuk menghindari keterlambatan proyek secara keseluruhan (Amu et al., 2023); (Metode et al., 2024).

Sementara itu, PERT menggunakan pendekatan probabilistik dengan tiga estimasi waktu optimis (a), realistis (m), dan pesimis (b) yang kemudian dikombinasikan untuk menghasilkan waktu yang diharapkan (expected time). Metode ini sangat sesuai diterapkan pada proyek yang memiliki ketidakpastian tinggi terhadap durasi aktivitas, seperti kondisi lapangan yang berubah-ubah atau ketergantungan terhadap faktor eksternal (Bagshaw, 2021; Nuhu et al., 2024). PERT juga memungkinkan perhitungan probabilitas penyelesaian proyek pada waktu tertentu melalui distribusi normal, sehingga memberikan informasi tambahan bagi pengambil keputusan.

Sejumlah penelitian terdahulu menunjukkan bahwa kedua metode ini sering menghasilkan estimasi durasi proyek yang berbeda. Misalnya, dalam studi (Baits et al., 2020) ditemukan bahwa CPM menghasilkan durasi 97 hari sedangkan PERT hanya 90 hari. Studi lain oleh Achmad & Faizal Addin (2025) juga menunjukkan perbedaan hasil pada proyek pembangunan laboratorium di Universitas Negeri Gorontalo. Hal ini menegaskan bahwa pemilihan metode penjadwalan yang tepat sangat penting untuk meningkatkan efektivitas manajemen waktu proyek.

Dalam konteks proyek pembangunan jembatan, penjadwalan yang akurat merupakan kunci keberhasilan mengingat kompleksitas aktivitas seperti pekerjaan galian, pemasangan beton, penurunan struktur baja, hingga pekerjaan finishing seperti pengecatan. Oleh sebab itu, penelitian ini menganalisis penggunaan metode CPM dan PERT dalam menentukan durasi kegiatan pada proyek jembatan, sehingga dapat diperoleh gambaran jalur kritis proyek, estimasi waktu penyelesaian, serta probabilitas ketercapaiannya.

B. TINJAUAN LITERATUR

Meotode CPM

Critical Path Method (CPM), atau Metode Jalur Kritis, adalah sebuah teknik manajemen proyek yang fundamental. Secara definitif, CPM adalah metode penjadwalan proyek yang diaplikasikan dalam bentuk diagram panah, di mana status setiap kegiatan ditentukan dan digambarkan dalam sebuah jaringan kerja (*network*). Metode ini merupakan bagian integral dari manajemen proyek, yang didefinisikan sebagai penerapan pengetahuan, keterampilan, alat, dan teknik untuk kegiatan proyek agar dapat memenuhi persyaratan yang telah ditetapkan (Amu et al., 2023).

Tujuan utama dari CPM adalah untuk mengidentifikasi tugas-tugas yang paling penting dalam linimasa (timeline) proyek. Metode ini digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis dan aktivitas-aktivitas yang secara langsung mempengaruhi total waktu penyelesaian proyek (Metode et al., 2024).

Jalur kritis itu sendiri didefinisikan sebagai rangkaian aktivitas terpanjang dalam jaringan yang harus diselesaikan tepat waktu agar keseluruhan proyek dapat selesai sesuai jadwal. Ini adalah jalur yang memakan waktu terpanjang dalam suatu proses⁸ dan menunjukkan waktu penyelesaian proyek tercepat yang mungkin (Amu et al., 2023).

Metodologi dan Perhitungan CPM

Metodologi CPM berfokus pada dua elemen kunci: mengidentifikasi ketergantungan tugas dan menghitung durasi tugas. Proses ini memungkinkan manajer proyek untuk merencanakan, menjadwalkan, dan memantau kemajuan proyek.

Rumus umum CPM :

$$ES_i = \max(EF_j) \text{ dari semua predecessor}$$

$$EF_i = ES_i + D_i$$

$$LF_i = \min(LS_k) \text{ dari semua successor } k$$

$$LS_i = LF_i - D_i$$

$$Slack_i = LS_i - ES_i = LF_i - EF_i$$

Jika $Slack = 0 \rightarrow$ kegiatan kritis

Jika $Slack > 0 \rightarrow$ kegiatan non-kritis

Durasi proyek = $\max(EF_i)$ pada kegiatan akhir di jalur kritis.

Keterangan :

$ES = \text{Early Start}$

$EF = \text{Early Finish}$

$LS = \text{Late Start}$

$LF = \text{Late Finish}$

$D_i = \text{Durasi Kegiatan ke } i$

$Slack = \text{Waktu cadangan}$

Langkah-Langkah Analisis CPM

Berdasarkan literatur (Metode et al., 2024), langkah-langkah dasar dalam analisis CPM adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan Informasi: Mengumpulkan data dari pemangku kepentingan dan lingkungan proyek.
2. Membedakan Aktivitas: Membedakan antara aktivitas berbasis kelompok dan aktivitas individu dalam proyek.

3. Membangun Ketergantungan: Membentuk hubungan ketergantungan (dependensi) antar aktivitas untuk membentuk rantai logistik. Urutan ini bisa bersifat sekuensial (berurutan) maupun paralel.
4. Merancang Diagram Jaringan: Membuat diagram jaringan untuk merepresentasikan setiap tugas dan alurnya.
5. Menentukan Durasi: Menetapkan jadwal atau durasi waktu yang pasti (*deterministic*) untuk setiap aktivitas, setelah meninjau ruang lingkup proyek secara menyeluruh.

Proses Perhitungan: *Forward* dan *Backward Pass*

Perhitungan CPM untuk menemukan jalur kritis melibatkan dua tahap: perhitungan maju (*forward pass*) dan perhitungan mundur (*backward pass*) (Sipil et al., 2020).

Perhitungan Maju (Forward Pass)

Perhitungan ini dimulai dari aktivitas paling awal (Start) menuju aktivitas paling akhir (Finish). Tujuannya adalah untuk menghitung Waktu Mulai Paling Awal (Earliest Start - ES) dan Waktu Selesai Paling Awal (Earliest Finish - EF) untuk setiap kegiatan.

Aturan perhitungan maju adalah:

- Sebuah aktivitas baru dapat dimulai (ES) hanya setelah aktivitas yang mendahuluinya (*predecessor*) telah selesai (EF).
- Waktu selesai paling awal dihitung dengan rumus: $EF = ES + \text{Durasi Aktivitas}$
- Jika suatu kegiatan memiliki dua atau lebih kegiatan pendahulu, maka ES-nya adalah nilai EF *terbesar* dari kegiatan-kegiatan pendahulu tersebut.

Perhitungan Mundur (Backward Pass)

Perhitungan ini dimulai dari aktivitas akhir (Finish) bergerak mundur ke aktivitas awal (Start). Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi Waktu Mulai Paling Lambat (Latest Start - LS) dan Waktu Selesai Paling Lambat (Latest Finish - LF) untuk setiap kegiatan (Sipil et al., 2020).

Aturan perhitungan mundur adalah:

- Waktu mulai paling lambat dihitung dengan rumus: $LS = LF - \text{Durasi Aktivitas}$.
- Apabila suatu kegiatan terpecah menjadi dua atau lebih kegiatan berikutnya, maka nilai LF kegiatan tersebut sama dengan nilai LS *terkecil* dari kegiatan-kegiatan berikutnya.

Identifikasi Jalur Kritis (Total Float/Slack)

Setelah perhitungan maju dan mundur selesai, nilai *Slack* atau *Float* (kelonggaran waktu) dapat diperoleh. *Total float* adalah periode waktu di mana suatu tugas dapat ditunda tanpa memengaruhi jadwal keseluruhan proyek (Amu et al., 2023).

Jalur kritis diidentifikasi sebagai jalur yang terdiri dari aktivitas-aktivitas yang memiliki nilai total float sama dengan nol (0). Aktivitas-aktivitas pada jalur kritis ini tidak memiliki tenggang waktu, yang berarti setiap keterlambatan pada salah satu aktivitas kritis akan secara langsung menunda tanggal penyelesaian keseluruhan proyek (Amu et al., 2023).

CPM dalam Konteks Metode Lain (PERT)

Literatur sering kali membandingkan CPM dengan *Program Evaluation and Review Technique* (PERT). Kedua metode ini digunakan untuk penjadwalan berbasis jaringan, namun memiliki perbedaan fundamental dalam estimasi waktu (Serpa, 2022).

- CPM (Deterministik): CPM menggunakan satu estimasi waktu yang pasti (*deterministic*) untuk setiap kegiatan. Metode ini paling akurat digunakan ketika durasi aktivitas dapat diketahui dengan pasti atau tidak terlalu berfluktuasi.
- PERT (Probabilistik): Berbeda dengan CPM, PERT direkayasa untuk situasi dengan ketidakpastian tinggi. PERT menggunakan tiga estimasi waktu untuk setiap tugas: waktu optimis (a), waktu paling mungkin (m), dan waktu pesimis (b)

Perbandingan penerapan kedua metode ini dalam studi kasus menunjukkan hasil yang bervariasi:

- Satu studi pada pembangunan *Warehouse* menemukan bahwa perhitungan CPM menghasilkan waktu pengerjaan proyek selama 245 hari, sedangkan metode PERT menghasilkan waktu 236 hari.
- Studi lain pada pembangunan *Christian Center* menemukan hasil sebaliknya: metode CPM menghasilkan durasi 144 hari, sementara metode PERT menghasilkan durasi 155 hari.
- Sebuah studi pada proyek jalan raya menemukan durasi proyek menurut CPM adalah 100 hari. Sementara itu, analisis PERT pada proyek yang sama digunakan untuk menghitung probabilitas penyelesaian yang dipercepat, yaitu 90% kemungkinan selesai dalam 64 hari.

Secara keseluruhan, literatur memvalidasi CPM sebagai alat yang kuat untuk perencanaan, penjadwalan, dan pengendalian proyek dengan memberikan fokus yang jelas pada aktivitas-aktivitas yang paling krusial terhadap waktu penyelesaian proyek.

Metode PERT

Program Evaluation and Review Technique (PERT) adalah teknik manajemen proyek yang dikembangkan oleh Angkatan Laut Amerika Serikat pada akhir tahun 1950-an untuk mendukung program rudal Polaris. PERT dirancang khusus untuk menyederhanakan perencanaan dan penjadwalan proyek-proyek besar dan kompleks yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi dalam estimasi waktu (Bagshaw, 2021). Teknik ini dikembangkan oleh Special Projects Office Angkatan Laut AS, Lockheed Aircraft, dan Booz Allen Hamilton, dan sejak saat itu menemukan aplikasi di berbagai industri.

Critical Path Method (CPM) dan PERT sering digunakan bersama-sama dalam manajemen proyek, namun memiliki perbedaan mendasar. CPM menggunakan estimasi waktu deterministik tunggal untuk setiap aktivitas, sedangkan PERT menggunakan tiga estimasi waktu probabilistik. Studi oleh (Achmad & Faizal Addin, 2025) pada proyek konstruksi laboratorium Universitas Negeri Gorontalo menunjukkan bahwa CPM menghasilkan durasi proyek 105 hari dengan jalur kritis yang terdiri dari enam item pekerjaan (pekerjaan persiapan, struktur bawah, struktur atas, arsitektur, hardscape, dan softscape), sementara PERT menghasilkan estimasi 101 hari dengan probabilitas keberhasilan 37,37%.

PERT telah banyak diaplikasikan dalam industri konstruksi untuk optimasi penjadwalan. Studi yang dilakukan pada proyek kantor Dipatiunus Tangerang Banten menunjukkan bahwa analisis CPM mengidentifikasi 32 tugas kritis dengan total durasi 97 hari, sementara PERT menghasilkan estimasi durasi lebih pendek yaitu 90 hari dengan probabilitas penyelesaian tepat waktu 54% (Baits et al., 2020)

PERT adalah alat statistik yang digunakan dalam manajemen proyek untuk menganalisis dan merepresentasikan tugas-tugas yang terlibat dalam menyelesaikan proyek tertentu serta mengilustrasikan aliran kejadian dalam suatu proyek. Karakteristik utama dari PERT adalah penggunaan tiga estimasi waktu untuk setiap aktivitas, yaitu waktu optimistik (optimistic time), waktu paling -mungkin (most likely time), dan waktu pesimistik (pessimistic time), yang kemudian digabungkan menggunakan distribusi beta untuk menghasilkan estimasi waktu yang diharapkan (expected time) (Amu et al., 2023).

PERT menggunakan tiga estimasi waktu untuk setiap aktivitas dengan formula perhitungan sebagai berikut:

1. Expected Time (T_e):

Merupakan durasi terpendek yang mungkin dicapai jika segala sesuatu berjalan sempurna. Estimasi ini mengasumsikan kondisi ideal tanpa gangguan atau keterlambatan (Bagshaw, 2021).

$$T_e = (a + 4m + b) / 6$$

Dimana:

TE = Expected Time (waktu yang diharapkan)

a = waktu optimis

m = waktu paling mungkin

b = waktu pesimis

2. Standard Deviation (σ):

Menunjukkan waktu penyelesaian realistis dalam kondisi normal. Estimasi ini didasarkan pada pengalaman sebelumnya dan kondisi proyek saat ini (Nuhu et al., 2024).

$$\sigma = (b - a) / 6$$

3. Variance (σ^2):

Menunjukkan durasi maksimum yang diharapkan jika terjadi masalah signifikan. Estimasi ini memperhitungkan potensi kemunduran tetapi tidak termasuk bencana besar atau kegagalan proyek total (Setiawati et al., 2016).

$$\sigma^2 = [(b - a) / 6]^2$$

Lalu dalam pert juga di bahas Earliest Start, Earliest Finish, Latest Finish Latest Start dan Slack dimana rumus nya sebagai berikut :

Waktu paling awal suatu aktivitas dapat dimulai, dihitung melalui forward pass.

$$ES = Ef \text{ kegiatan sebelum}$$

Untuk aktivitas awal ES = 0, Waktu paling awal suatu aktivitas dapat selesai :

$$Ef = Es + \text{activity time}$$

Waktu paling lambat suatu aktivitas dapat dimulai :

$$LS = Lf - \text{Activity time}$$

Waktu paling lambat suatu aktivitas harus selesai tanpa menunda proyek, dihitung melalui backward pass (Lf) :

$$Lf = Ls \text{ kegiatan sebelum}$$

Untuk aktivitas akhir: $LF = EF$

Lalu Slack (total float) adalah jumlah waktu suatu aktivitas dapat ditunda tanpa menunda penyelesaian proyek secara keseluruhan:

$$Lf = Es - T$$

Interpretasi nilai slack:

- Slack positif : aktivitas dapat ditunda tanpa mempengaruhi jadwal proyek
- Slack nol : aktivitas berada pada jalur kritis
- Slack negatif : proyek mengalami keterlambatan (Bagshaw, 2021; Nuhu et al., 2024)

Dan Probabilistik, Untuk menghitung probabilitas penyelesaian proyek pada waktu tertentu, digunakan distribusi normal :

$$Z = \frac{Td - Te}{S}$$

Nilai Z kemudian dikonversi ke probabilitas menggunakan tabel distribusi normal standar.

C. METODE PENELITIAN

Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus. Jenis penelitian deskriptif kuantitatif dipilih karena penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan dan menganalisis data numerik dari penjadwalan proyek menggunakan metode CPM dan PERT. Pendekatan studi kasus memungkinkan peneliti untuk melakukan analisis mendalam terhadap penjadwalan pembangunan jembatan sebagai objek penelitian yang spesifik, sehingga dapat menghasilkan pemahaman komprehensif tentang aplikasi kedua metode tersebut dalam konteks proyek konstruksi (Sugiyono, 2017; Yin, 2018).

Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan jembatan yang merupakan proyek konstruksi infrastruktur. Pengumpulan data dilakukan melalui kunjungan lapangan dan wawancara dengan pihak-pihak yang terlibat dalam proyek selama periode 3 bulan. Data yang dikumpulkan mencakup informasi tentang aktivitas proyek, durasi kegiatan, ketergantungan antar aktivitas, serta estimasi waktu optimis, realistis, dan pesimis untuk setiap kegiatan.

Populasi dan Sampel

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh kegiatan atau aktivitas yang terdapat dalam proyek pembangunan jembatan. Sampel penelitian mencakup 24 aktivitas utama yang teridentifikasi dari Work Breakdown Structure (WBS) proyek. Pemilihan sampel dilakukan secara purposive, yaitu dengan memilih aktivitas-aktivitas yang dianggap paling signifikan dan memiliki pengaruh langsung terhadap durasi total proyek (Arikunto, 2018).

Sumber dan Teknik Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini diperoleh dari dua sumber utama, yaitu data primer dan data sekunder.

Data Primer

Data primer dikumpulkan melalui wawancara langsung (in-depth interview) dengan narasumber yang memiliki pengalaman dan pemahaman mendalam tentang proyek, meliputi:

1. Kontraktor pelaksana proyek, yang memiliki informasi detail tentang durasi pelaksanaan setiap aktivitas dan kondisi lapangan.
2. Konsultan pengawas proyek, yang memiliki data historis dan pengalaman tentang waktu kegiatan serupa di proyek-proyek sebelumnya.
3. Project manager, yang memiliki informasi komprehensif tentang jadwal rencana dan ketergantungan antar aktivitas.

Wawancara dilakukan dengan menggunakan instrumen berupa daftar pertanyaan terstruktur (structured questionnaire) yang dirancang untuk menggali informasi tentang: (1) nama dan deskripsi setiap aktivitas, (2) durasi yang paling mungkin (most likely) untuk setiap kegiatan, (3) durasi optimis (optimistic) jika semua berjalan sempurna, (4) durasi pesimis (pessimistic) jika terjadi kendala, serta (5) aktivitas-aktivitas yang mendahului setiap kegiatan.

Data Sekunder

Data sekunder diperoleh dari dokumen-dokumen proyek, antara lain:

1. Rencana anggaran biaya dan jadwal proyek (project schedule plan)
2. Laporan kemajuan proyek (progress report)
3. Spesifikasi teknis dan gambar konstruksi (technical specification and drawings)
4. Kontrak proyek dan dokumen pendukung lainnya

Teknik Analisis Data

Teknik analisis data dalam penelitian ini terdiri dari dua tahap utama, sesuai dengan dua metode penjadwalan yang digunakan.

Analisis Metode Critical Path Method (CPM)

Analisis CPM dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

1. **Identifikasi Aktivitas dan Ketergantungan:** Mengidentifikasi semua aktivitas proyek dan hubungan ketergantungan antar aktivitas berdasarkan data yang dikumpulkan.
2. **Pembuatan Diagram Jaringan:** Membuat diagram jaringan (network diagram) menggunakan notasi panah (arrow notation) untuk merepresentasikan setiap aktivitas dan alur logika proyek.
3. **Penetapan Durasi:** Menentukan durasi deterministik (pasti) untuk setiap aktivitas berdasarkan hasil wawancara dan data historis.
4. **Perhitungan Forward Pass:** Menghitung Earliest Start (ES) dan Earliest Finish (EF) untuk setiap aktivitas dengan menggunakan rumus:
 - $ES_i = \max(EF_j)$ dari semua aktivitas pendahulu
 - $EF_i = ES_i + D_i$
5. **Perhitungan Backward Pass:** Menghitung Latest Start (LS) dan Latest Finish (LF) untuk setiap aktivitas dengan menggunakan rumus:
 - $LF_i = \min(LS_k)$ dari semua aktivitas penerus
 - $LS_i = LF_i - D_i$
6. **Identifikasi Total Float/Slack:** Menghitung nilai slack untuk setiap aktivitas dengan rumus:
 - $Slack_i = LS_i - ES_i = LF_i - EF_i$
7. **Penentuan Jalur Kritis:** Mengidentifikasi jalur kritis sebagai rangkaian aktivitas yang memiliki slack = 0, yang merepresentasikan durasi minimum proyek.

Analisis Metode Program Evaluation and Review Technique (PERT)

Analisis PERT dilakukan melalui langkah-langkah berikut:

1. **Penetapan Tiga Estimasi Waktu:** Menentukan tiga estimasi durasi untuk setiap aktivitas, yaitu:
 - Waktu optimis (a): durasi tercepat jika semua kondisi ideal

- Waktu paling mungkin (m): durasi yang paling realistis berdasarkan pengalaman
 - Waktu pesimis (b): durasi terlamanya jika terjadi kendala signifikan
- 2. Perhitungan Expected Time (Te):** Menghitung waktu yang diharapkan untuk setiap aktivitas menggunakan rumus:
- $Te = (a + 4m + b) / 6$
- 3. Perhitungan Forward dan Backward Pass:** Sama dengan metode CPM, tetapi menggunakan expected time (Te) sebagai durasi setiap aktivitas.
- 4. Perhitungan Standar Deviasi dan Varians:** Menghitung standar deviasi dan varians untuk setiap aktivitas pada jalur kritis menggunakan rumus:
- $\sigma = (b - a) / 6$
 - $\sigma^2 = [(b - a) / 6]^2$
- 5. Perhitungan Total Varians Proyek:** Menjumlahkan varians dari semua aktivitas pada jalur kritis untuk mendapatkan varians total proyek.
- 6. Analisis Probabilitas:** Menghitung probabilitas penyelesaian proyek pada waktu tertentu menggunakan distribusi normal standar dengan rumus:
- $Z = (Ts - Te) / \sigma_{total}$
- Dimana Ts adalah target waktu penyelesaian dan σ_{total} adalah standar deviasi total dari jalur kritis. Nilai Z kemudian dikonversi ke probabilitas menggunakan tabel distribusi normal standar.

Perbandingan Hasil CPM dan PERT

Setelah kedua metode dianalisis, dilakukan perbandingan hasil analisis mencakup:

1. Perbandingan durasi proyek yang dihasilkan oleh masing-masing metode
2. Perbedaan jalur kritis dan aktivitas-aktivitas kritis
3. Perbedaan tingkat risiko dan ketidakpastian yang diidentifikasi oleh kedua metode
4. Analisis implikasi manajerial dari perbedaan hasil kedua metode

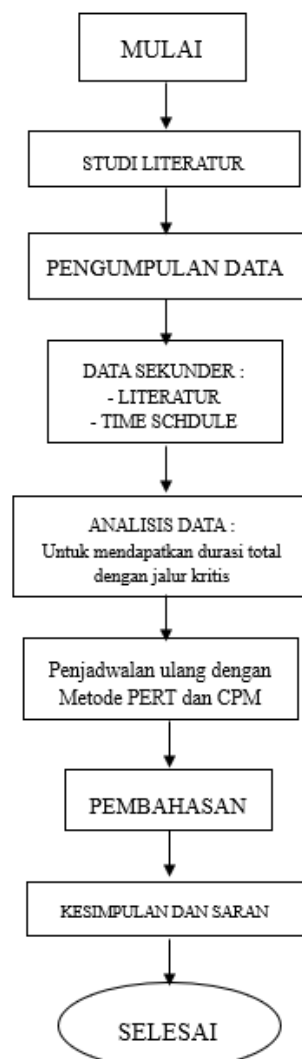
Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

1. **Kuesioner Terstruktur:** Digunakan untuk mengumpulkan data durasi aktivitas (optimis, paling mungkin, dan pesimis) serta hubungan ketergantungan antar aktivitas dari para ahli.
2. **Software Analisis:** Menggunakan Microsoft Excel dan software penjadwalan proyek untuk memproses data dan membuat perhitungan CPM dan PERT serta visualisasi diagram jaringan.
3. **Tabel dan Matriks Analisis:** Menggunakan tabel untuk dokumentasi data, perhitungan, dan hasil analisis.

Prosedur Penelitian

Adapun prosedur penelitian ini agar berjalan dengan lancar dan teratur, di jelaskan pada *flowchart* berikut:



D. HASIL DAN PEMBAHASAN

Tabel 1. Data awal Kegiatan Proyek

Symbol Kegiatan	Nama Kegiatan	Kegiatan yang Mendahului	Lama kegiatan (minggu)
A	Mobilitas	-	26
B	Galian Biasa	A	2
C	Galian Struktur dengan kedalaman 0-2 meter	B	2
D	Galian Struktur dengan kedalaman 2-4 meter	C	2
E	Galian Struktur dengan kedalaman 4-6 meter	D	2
F	Timbunan Biasa	E	2
G	Timbunan Pilihan	F	1
H	Lapis Pondasi Agrerat Kelas 5	G	1
I	Lapis Pondasi Agrerat Kelas A	H	1
J	Lapis Permukaan Penetrasi Macadam	I	2
K	Beton mutu sedang $f'c' = 30 \text{ Mpa}$ (K-350)	E	6
L	Beton mutu sedang $f'c' = 20 \text{ Mpa}$ (K-250)	K	7
M	Beton mutu rendah $f'c' = 15 \text{ Mpa}$ (K-175)	E	1
N	Beton mutu rendah $f'c' = 10 \text{ Mpa}$ (K-125)	E	3
O	Baja Tulangan BJ 32 Ulir	K	17
P	Baja struktur bj34 (210 MPa) penyediaan & pemasangan	O	1
Q	Baja struktur bj37 (240 MPa) penyediaan & pemasangan	O	1
R	Pengadaan dan Penurunan Dinding Sumuran Silinder	E	7
S	Pasangan Batu	R	1

T	Perletakan Elastomer jenis 3 (400 × 450 × 45)	L, O	2
U	Papan Nama Jembatan	A	1
V	Pembongkaran Pasangan Batu	A	1
W	Pembongkaran Beton	T, J	3
X	Pengecatan	W	1

Tabel 2. Data Perhitungan CPM

Kegiatan	Kegiatan Menda hului	Durasi	Early Start (ES)	Early Finish (EF)	Late Start (LS)	Late Finish (LF)	Slack
A	-	26	0	26	0	26	0
B	A	2	26	28	26	28	0
C	B	2	28	30	28	30	0
D	C	2	30	32	30	32	0
E	D	2	32	34	32	34	0
F	E	2	34	36	41	43	7
G	F	1	36	37	43	44	7
H	G	1	37	38	44	45	7
I	H	1	38	39	45	46	7
J	I	2	39	41	46	48	7
K	E	6	34	40	34	40	0
L	K	7	40	47	40	47	0
M	E	1	34	35	50	51	16
N	E	3	34	37	47	50	13
O	K	17	40	57	40	57	0

P	O	1	57	58	58	59	1
Q	O	1	57	58	58	59	1
R	E	7	34	41	56	63	22
S	R	1	41	42	62	63	21
T	L, O	2	47	49	47	49	0
U	A	1	26	27	52	53	26
V	A	1	26	27	52	53	26
W	T, J	3	59	62	59	62	0
X	W	1	62	63	62	63	0

Berdasarkan hasil perhitungan CPM pada Tabel 2, diperoleh bahwa jalur kritis proyek terdiri dari rangkaian aktivitas $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow K \rightarrow O \rightarrow T \rightarrow W \rightarrow X$, dengan total durasi penyelesaian sebesar 63 minggu. Seluruh aktivitas pada jalur tersebut memiliki nilai slack 0, yang berarti tidak tersedia waktu kelonggaran sama sekali. Dengan demikian, setiap keterlambatan pada salah satu aktivitas yang berada pada jalur kritis akan secara langsung menyebabkan keterlambatan pada penyelesaian total proyek. Sementara itu, kegiatan lain yang bukan jalur kritis memiliki nilai slack positif, sehingga masih memiliki ruang waktu untuk ditunda tanpa memengaruhi durasi total proyek. Hasil ini menunjukkan pentingnya pengawasan prioritas terhadap aktivitas-aktivitas jalur kritis agar waktu penyelesaian proyek dapat tercapai sesuai jadwal yang direncanakan.

Metode Pert

Langkah pertama dalam metode PERT adalah menentukan estimasi durasi optimis (a) dan durasi pesimis (b) yang didapat dari hasil wawancara secara langsung dengan narasumber di lapangan yaitu kontraktor pelaksana dan juga konsultan pengawas yang sudah berpengalaman. Dimana durasi optimis adalah estimasi durasi setiap kegiatan dapat berjalan lebih cepat dari yang direncanakan karena faktor yang dapat mempengaruhi hanya kecil. Durasi pesimis adalah estimasi durasi kegiatan akan mengalami keterlambatan dari yang direncanakan dengan asumsi faktor keterlambatan akan mempengaruhi durasi kegiatan

Sedangkan durasi normal (m) akan menggunakan penjadwalan dengan metode CPM sebelumnya.

Tahap selanjutnya akan menghitung waktu yang diharapkan (Te). Nilai waktu yang diharapkan (Te) dapat diketahui dengan rumus :

Menentukan expected time

$$t = \frac{a + 4m + b}{6}$$

Tabel 3. Data Perhitungan PERT

Projek code	t	Pendahulu	ES	EF	LS	LF	SLACK
A	26,33	-	0	26,33	0	26,33	0
B	2,08	A	26,33	28,41	26,33	28,41	0
C	2,08	B	28,41	30,49	28,41	30,49	0
D	2,17	C	30,49	32,66	30,49	32,66	0
E	2,17	D	32,66	34,83	32,66	34,83	0
F	2,08	E	34,83	36,91	34,83	36,91	0
G	1,05	F	36,91	37,96	36,91	37,96	0
H	1,05	G	37,96	39,01	37,96	39,01	0
I	1,05	H	39,01	40,06	39,01	40,06	0
J	2,08	I	40,06	42,14	40,06	42,14	0
K	6,17	E	42,14	48,31	42,14	48,31	0
L	7,17	K	48,31	55,48	48,31	55,48	0
M	1,05	E	55,48	56,53	55,48	56,53	0
N	3,08	E	56,53	59,61	56,53	59,61	0
O	17,17	K	59,61	76,78	59,61	79,78	0
P	1,05	O	76,78	77,83	76,78	77,83	0

Q	1,05	O	77,83	78,88	77,83	78,88	0
R	7,17	E	78,88	87,05	78,88	87,05	0
S	1,05	R	87,05	88,10	87,05	88,10	0
T	2,08	L,O	88,10	90,18	88,10	90,18	0
U	1,05	A	90,18	91,23	90,18	91,23	0
V	1,05	A	91,23	92,28	91,23	92,28	0
W	3,08	T,J	92,28	95,36	92,28	95,36	0
X	1,05	W	95,36	96,41	95,36	96,41	0

Berdasarkan perhitungan waktu dengan metode PERT pada Tabel 3, diperoleh total durasi penyelesaian proyek sebesar 96,41 minggu. Nilai ES, EF, LS, dan LF pada setiap aktivitas menunjukkan bahwa seluruh kegiatan memiliki nilai slack 0, sehingga pada metode PERT jalur kritis menyebar hampir ke seluruh aktivitas dalam jaringan. Hal ini menunjukkan bahwa seluruh rangkaian kegiatan harus dikelola dengan ketat karena tidak terdapat kelonggaran waktu untuk terjadinya keterlambatan.

Dan Dilanjutkan dengan mencari standar deviasi dan varian pekerjaan tersebut

$$v = \left(\frac{b - a}{6} \right)^2$$

$$s = \frac{(b - a)}{6}$$

Tabel 4. Standar Deviasi

aktivitas	Waktu yang diharapkan	Standar deviasi	Varians
A	26,33	1	1
B	2,08	0,25	0,0625
C	2,08	0,25	0,0625
D	2,17	0,333	0,1111
E	2,17	0,333	0,1111

F	2,08	0,25	0,0625
G	1,05	0,117	0,0136
H	1,05	0,117	0,0136
I	1,05	0,117	0,0136
J	2,08	0,25	0,0625
K	6,17	0,5	0,25
L	7,17	0,5	0,25
M	1,05	0,117	0,0136
N	3,08	0,25	0,0625
O	17,17	0,833	0,6944
P	1,05	0,117	0,0136
Q	1,05	0,117	0,0136
R	7,17	0,5	0,25
S	1,05	0,117	0,0136
T	2,08	0,25	0,0625
U	1,05	0,117	0,0136
V	1,05	0,117	0,0136
W	3,08	0,25	0,0625
X	1,05	0,117	0,0136
Total	93,91	1,796	3,2265

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 4, total standar deviasi dari seluruh aktivitas pada jalur kritis adalah 1,796 dengan total varians sebesar 3,2265. Nilai standar deviasi ini menunjukkan tingkat variabilitas atau ketidakpastian durasi proyek secara keseluruhan. Semakin tinggi nilai standar deviasi, semakin besar potensi penyimpangan dari waktu penyelesaian yang direncanakan.

Setelah mendapatkan nilai standard deviasi dapat ditentukan probabilitas proyek Pembangunan Christian Center Tahap II dapat selesai tepat waktu yaitu dengan rumus:

Tabel 5. Probabilitas PERT

No	Ts	Deviasi Z	Distribusi normal	Probabilitas
1	99	3,0	0,9987	99,87%
2	97	2,0	0,9772	97,72%
3	95	1,0	0,8413	84,13%
4	93	0	0,5000	50%
5	92	-1,0	0,1587	15,87%
6	90	-2,0	0,0228	2,28%

Pada Tabel 5, hasil perhitungan probabilitas menunjukkan bahwa kemungkinan proyek dapat diselesaikan dalam waktu 99 minggu adalah sebesar 99,87%, yang berarti sangat tinggi untuk tercapai. Probabilitas penyelesaian pada waktu 97 minggu adalah 97,72%, sedangkan jika ditargetkan selesai lebih cepat yaitu 95 minggu, probabilitasnya menurun menjadi 84,13%. Sementara itu, target penyelesaian 90 minggu hanya memiliki peluang 2,28%. Dengan demikian, semakin pendek target waktu penyelesaian, semakin rendah peluang proyek dapat diselesaikan tepat waktu. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen waktu yang realistis dan sesuai analisis statistik sangat penting untuk menghindari gangguan waktu dan biaya.

D. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis penjadwalan pembangunan jembatan menggunakan metode Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT), dapat disimpulkan bahwa kedua metode tersebut memberikan informasi yang sangat penting dalam pengendalian waktu proyek. Hasil perhitungan CPM menunjukkan bahwa proyek memiliki jalur kritis $A \rightarrow B \rightarrow C \rightarrow D \rightarrow E \rightarrow K \rightarrow O \rightarrow T \rightarrow W \rightarrow X$ dengan total durasi penyelesaian 63 minggu, serta aktivitas pada jalur ini tidak memiliki slack sehingga keterlambatan sekecil apa pun akan berpengaruh langsung pada waktu penyelesaian proyek. Sementara itu, hasil perhitungan PERT menghasilkan durasi ekspektasi penyelesaian sebesar 96,41 minggu yang menunjukkan tingkat kewaspadaan lebih tinggi terhadap ketidakpastian durasi kegiatan.

Perhitungan standar deviasi dan probabilitas juga mengindikasikan bahwa penyelesaian proyek pada waktu yang lebih cepat memiliki probabilitas rendah, sementara target 99 minggu memiliki peluang keberhasilan 99,87%, sehingga menjadi alternatif waktu penyelesaian yang realistis dan aman.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode CPM sangat efektif untuk menentukan jalur kritis dan durasi minimum proyek, sedangkan metode PERT lebih tepat digunakan untuk menganalisis ketidakpastian waktu dan menilai tingkat risiko penyelesaian proyek. Kombinasi kedua metode tersebut dapat membantu manajer proyek dalam merencanakan, mengevaluasi, mengendalikan, dan meminimalkan risiko keterlambatan, sehingga pelaksanaan pembangunan dapat berjalan lebih optimal dan sesuai arahan manajemen konstruksi yang profesional.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, & Faizal Addin. (2025). *PROJECT SCHEDULING USING THE CPM AND PERT METHODS IN THE CONSTRUCTION PROJECT OF THE GORONTALO STATE UNIVERSITY LABORATORY*.
- Amu, T. E. J., Tjakra, J., & Prastasis, P. A. K. (2023). *Penerapan Metode PERT Dan CPM Dalam Pembangunan Christian Center* (Vol. 21, Issue 83).
- Bagshaw, K. B. (2021). NEW PERT and CPM in Project Management with Practical Examples. *American Journal of Operations Research*, 11(04), 215–226.
<https://doi.org/10.4236/ajor.2021.114013>
- Baits, H. A., Puspita, I. A., & Bay, A. F. (2020). Combination of program evaluation and review technique (PERT) and critical path method (CPM) for project schedule development. *International Journal of Integrated Engineering*, 12(3), 68–75.
<https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.03.009>