

Analisis Manajemen Pengendalian Waktu dengan Pendekatan Metode CPM & PERT pada Proyek Peningkatan Jalan Alternatif Medan – Brastagi - Kutalimbaru

Arya Ahrilisyah Siregar¹, Kamaluddin Lubis²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area

Jalan Kolam No.1, Medan, Telp (061) 7360168

¹E-mail: indonesia1410raya@gmail.com

Abstract — Road infrastructure is a crucial factor in supporting the economic growth of a region. Therefore, the provision of appropriate road infrastructure through adequate investment budget allocation is essential for regional economic development. Investments in road and bridge construction have a broad impact, benefiting both users and the overall development of the area. This study employs the Critical Path Method (CPM) and Program Evaluation and Review Technique (PERT), with a case study on the Medan–Brastagi–Kutalimbaru road. The primary objective is to determine the critical path and calculate the cost implications of project acceleration using the PERT crashing method on this alternative route. The implementation of the PERT method identifies the critical path involving activities A, D, E, and F, with an estimated project completion time of 129.6 days (rounded to 130 days) and a success probability of 99.99%. Using the CPM method, the project can be expedited by 15 days with an additional cost of Rp 22,560,000.00, whereas the PERT method allows for a 13-day reduction with an additional cost of Rp 16,920,000.00. The standard project duration is set at 130 days, with the CPM method optimizing it to 128 days, while the PERT method shortens the initial project duration from 143 days to 130 days. These findings indicate that the application of the crash program method for project acceleration affects scheduling and leads to changes in project implementation costs.

Keywords: time control; S-curve, CPM method; PERT method.

Abstrak — Infrastruktur jalan merupakan faktor krusial dalam mendukung pertumbuhan ekonomi suatu wilayah. Oleh karena itu, penyediaan infrastruktur jalan yang memadai melalui alokasi anggaran investasi yang memadai sangat penting bagi pembangunan ekonomi daerah. Investasi dalam pembangunan jalan dan jembatan memiliki dampak yang luas, menguntungkan bagi pengguna jalan dan pembangunan daerah secara keseluruhan. Penelitian ini menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Program Evaluation and Review Technique (PERT), dengan studi kasus pada ruas jalan Medan–Brastagi–Kutalimbaru. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk menentukan jalur kritis dan menghitung implikasi biaya percepatan proyek dengan menggunakan metode PERT crashing pada rute alternatif ini. Penerapan metode PERT mengidentifikasi jalur kritis yang melibatkan aktivitas A, D, E, dan F, dengan perkiraan waktu penyelesaian proyek 129,6 hari (dibulatkan menjadi 130 hari) dan probabilitas keberhasilan 99,99%. Dengan metode CPM, proyek dapat dipercepat penyelesaiannya selama 15 hari dengan tambahan biaya sebesar Rp 22.560.000,00, sedangkan dengan metode PERT, proyek dapat dipercepat penyelesaiannya selama 13 hari dengan tambahan biaya sebesar Rp 16.920.000,00. Durasi proyek standar ditetapkan selama 130 hari, dengan metode CPM mengoptimalkannya menjadi 128 hari, sedangkan dengan metode PERT durasi awal proyek dipersingkat dari 143 hari menjadi 130 hari. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan metode crash program untuk percepatan proyek mempengaruhi penjadwalan dan menyebabkan perubahan biaya pelaksanaan proyek.

Kata-kata kunci: pengendalian waktu; kurva-S, metode CPM; metode PERT.

I. PENDAHULUAN

Infrastruktur jalan memainkan peran krusial dalam mendukung pertumbuhan ekonomi suatu daerah. Oleh karena itu, ketepatan dalam perencanaan serta ketersediaan investasi yang memadai menjadi faktor determinan yang memengaruhi perkembangan ekonomi di wilayah tersebut (Sholahuddin & Octavia, 2024). Metode Jalur Kritis (CPM) adalah serangkaian kegiatan yang saling berhubungan. Serta berperan penting dalam menentukan

keberhasilan proyek secara keseluruhan. Dengan kata lain, apabila salah satu tugas yang termasuk dalam proyek mengalami kendala, maka dapat berdampak pada kelancaran dan penyelesaian proyek secara menyeluruh dalam jalur kritis tidak diselesaikan tepat waktu, hal itu akan menyebabkan keterlambatan pada seluruh proyek (Widiasanti & Lenggogeni, 2013). Investasi dalam pembangunan jalan atau jembatan memiliki dampak yang substansial, tidak hanya bagi pengguna infrastruktur tersebut

tetapi juga terhadap perkembangan wilayah secara keseluruhan. Pengelolaan waktu memegang peran strategis dalam setiap tahap pembangunan dan pemeliharaan proyek, dengan tujuan memastikan bahwa pelaksanaannya sesuai dengan jadwal yang telah ditetapkan (Wijanarko & Purwaningsih, 2024).

Dalam menentukan waktu penyelesaian proyek, sering kali muncul pertanyaan mengenai apakah waktu tersebut sudah optimal atau dapat dipercepat (Usman et al., 2023). Pelaksanaan proyek tidak hanya bergantung pada sumber daya manusia yang terampil, tetapi juga memerlukan manajemen yang efektif. Metode CPM (Critical Path Method) adalah alat yang digunakan dalam manajemen proyek yang berkaitan dengan perencanaan dan pengendalian proyek tersebut (Heizer & Render, 2022).

Proyek dapat diartikan sebagai suatu upaya terkordinasi kegiatan bertujuan untuk mencapai sasaran, Menyediakan fasilitas dan infrastruktur yang dibutuhkan dengan memanfaatkan anggaran dana serta sumber daya yang tersedia, sekaligus memastikan penyelesaiannya dalam batas waktu yang telah ditetapkan (Prabowo & Anhar, 2020). Sementara itu, Program Evaluation and Review Technique (PERT) merupakan model jaringan yang digunakan untuk menganalisis dan memperkirakan durasi penyelesaian suatu kegiatan yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi maka masalah-masalah tak terduga yang dapat timbul selama pelaksanaan proyek, seperti produktivitas pekerja, kondisi cuaca, keterlambatan material, dan lainnya, dapat diatasi dengan menggunakan metode PERT (Uktolseja et al., 2023).

Dalam perencanaan konstruksi jalan, optimalisasi waktu dan biaya merupakan aspek krusial yang perlu diperhatikan. Upaya untuk mencapai efisiensi tersebut dilakukan melalui pembangunan jaringan kerja, identifikasi kegiatan-kegiatan kritis, serta perhitungan durasi setiap aktivitas (Mamesah et al., 2022). Dalam kondisi tertentu, pemilik proyek mungkin mengharapkan percepatan penyelesaian proyek melebihi jadwal yang telah ditetapkan. Namun, faktor eksternal tertentu dapat mengganggu kelancaran proyek, yang akhirnya menyebabkan ketidaksesuaian dengan rencana awal atau bahkan menghentikan proyek. Untuk mengembalikan jadwal proyek, percepatan durasi perlu dilakukan meskipun dapat meningkatkan biaya proyek. Oleh karena itu,

penting untuk melakukan optimasi dan analisis durasi agar proyek dapat diselesaikan dalam durasi yang optimal (Rembulan & Yuhao, 2023). Menurut (Badri, 1988) penerapan manajemen waktu memberikan dampak sebagai berikut:

1. Menetapkan prioritas kerja secara jelas;
2. Meminimalkan keterlambatan dan kesalahan dalam pelaksanaan;
3. Mampu berkonsentrasi secara maksimal terhadap pekerjaan, sehingga meningkatkan produktivitas kerja secara optimal;
4. Mampu berkonsultasi dengan tepat mengenai pekerjaan, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas kerja yang lebih baik.

Proyek merupakan kumpulan kegiatan yang dilaksanakan dalam periode tertentu dengan keterbatasan sumber daya, bertujuan untuk menyelesaikan tugas yang telah ditetapkan (Iwawo et al., 2016). Proyek juga dapat didefinisikan sebagai serangkaian aktivitas yang dilakukan dalam jangka waktu terbatas dengan pemanfaatan sumber daya yang tersedia untuk menghasilkan produk dengan kualitas yang telah ditentukan (Nugraha & Waskito, 2023).

Sistem PERT dirancang untuk mendukung proses perencanaan dan pengendalian proyek tanpa secara langsung berfokus pada optimasi (Siswanto, 2018). Definisi lain menyebutkan bahwa proyek merupakan kombinasi berbagai sumber daya yang dikelola dalam suatu struktur organisasi sementara guna mencapai tujuan tertentu (Husen, 2011). Sementara itu, manajemen proyek didefinisikan sebagai penerapan pengetahuan, keterampilan, alat, dan teknik manajerial dalam pelaksanaan aktivitas proyek guna memenuhi kebutuhan dan tujuan proyek tersebut (Astari et al., 2021).

Manajemen proyek bertujuan untuk:

1. Meningkatkan efisiensi dalam biaya, sumber daya, dan waktu;
2. Memperkuat kontrol proyek agar sesuai dengan jadwal, anggaran, dan sumber daya yang ditetapkan;
3. Meningkatkan kualitas dan produktivitas;
4. Meminimalkan risiko yang mungkin terjadi.

Identifikasi jalur kritis diawali dengan perhitungan maju (forward pass) dan perhitungan mundur (backward pass). Dalam metode PERT dan CPM, forward pass digunakan untuk menentukan waktu penyelesaian paling awal (Early Finish/EF), waktu mulai tercepat (Earliest Start Time/ES),

dan waktu mulai tercepat suatu aktivitas (Event ϵ), dimulai dari awal hingga akhir proyek. Sementara itu, backward pass menghitung waktu penyelesaian paling lambat (Latest Allowable Finish Time/LF), waktu mulai paling lambat (Latest Start Time/LS), serta batas waktu terakhir aktivitas (Latest/L), dimulai dari akhir menuju awal proyek. Setelah kedua perhitungan dilakukan, langkah berikutnya adalah menghitung kelonggaran waktu (float/slack), yang mencakup total float dan free float (Institute, 2013).

II. TINJAUAN PUSTAKA

Metode Jalur Kritis (CPM) merupakan teknik untuk menganalisis fleksibilitas penjadwalan dan mengidentifikasi tugas-tugas esensial dalam penyelesaian proyek. Dalam manajemen proyek, jalur kritis adalah rangkaian tugas terpanjang yang harus diselesaikan tepat waktu agar proyek tetap sesuai jadwal. Keterlambatan pada jalur kritis akan mengakibatkan penundaan keseluruhan proyek (Oka & Kartikasari, 2017). *Project Evaluation and Review Technique* (PERT) merupakan metode yang dirancang untuk mengurangi penundaan dan gangguan dalam pelaksanaan Proyek dan konflik dalam proyek; mengkoordinasikan dan mensinkronisasikan berbagai bagian proyek sehingga dapat berfungsi sebagai kesatuan yang utuh; serta mempercepat penyelesaian proyek. PERT Sistem Inc. merupakan perusahaan yang menyediakan perangkat lunak untuk manajemen konstruksi (Astari et al., 2021). Perusahaan ini menawarkan produk perangkat lunak dengan cakupan yang lengkap, terukur, dan terintegrasi, untuk mengatur (*organizing*), merencanakan (*planning*), mengkoordinasikan (*coordinating*), serta mengawasi (*controlling*) Menurut (Nurhayati, 2010), *Project Evaluation and Review Technique* (PERT) merupakan alat manajemen proyek yang digunakan untuk menjadwalkan, mengatur, dan mengkoordinasikan berbagai aktivitas dalam proyek. (Widiasanti & Lenggogeni, 2013) menjelaskan bahwa PERT adalah metode analisis yang membantu penjadwalan dan pengendalian proyek kompleks, dengan fokus pada aspek teknis untuk menentukan jadwal dan anggaran agar proyek selesai tepat waktu dan sesuai biaya yang direncanakan. Salah satu karakteristik utama PERT adalah identifikasi jalur kritis, yang

memungkinkan optimalisasi durasi proyek (Sulistyo et al., 2022).

Karakteristik proyek adalah sebagai berikut:

1. Proyek bersifat sementara dengan batas waktu mulai dan selesai yang telah ditetapkan;
2. Terikat pada anggaran yang telah ditentukan;
3. Harus memenuhi standar kualitas yang ditetapkan;
4. Tidak berulang setelah penyelesaian.

CPM (*Critical Path Method*) dan PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) dikembangkan pada tahun 1950-an. PERT digunakan untuk mengestimasi ketidakpastian yang terkait dengan kegiatan PERT mengevaluasi durasi kegiatan dengan menerapkan rata-rata tertimbang antara waktu optimis dan pesimis. Metode ini menggunakan tiga estimasi waktu untuk menentukan rentang penyelesaian suatu aktivitas. Kegiatan yang memiliki nilai *Slack* = 0 dianggap sebagai kegiatan kritis.

Penentuan jalur kritis adalah proses untuk mengidentifikasi urutan kegiatan yang membentuk jalur terpanjang atau yang melibatkan kegiatan-kegiatan kritis. Metode PERT diterapkan dengan mengikuti langkah-langkah berikut (Widiasanti & Lenggogeni, 2013):

Mengidentifikasi kegiatan:

1. Menentukan urutan kegiatan dan prasyaratnya;
2. Menyusun diagram jaringan kerja;
3. Mengestimasi waktu setiap kegiatan menggunakan persamaan yang relevan;

Keterangan:

es = perkiraan waktu kegiatan

4. Melakukan perhitungan maju sesuai formula pada langkah implementasi CPM poin ke-4;
5. Melakukan perhitungan mundur sesuai formula pada langkah implementasi CPM poin ke-5;
6. Menghitung waktu slack sesuai formula pada langkah implementasi CPM poin ke-6;
7. Mengidentifikasi jalur kritis;
8. Menentukan deviasi standar menggunakan persamaan yang relevan.

$$es = \frac{wo+4wn+wp}{6} \quad (2)$$

Keterangan:

S = standar deviasi,

w_p = durasi maks

w_o = durasi min

9. Menentukan variansi kegiatan dari kegiatan dengan menggunakan persamaan:

$$V_{es} = S^2 = \left[\frac{w_p - w_o}{6} \right]^2 \quad (3)$$

Keterangan :

V_{es} = varians

w_p = durasi maks

w_o = durasi min

10. Menghitung kemungkinan pencapaian target menggunakan persamaan:

$$z = \frac{t_j - j_l}{s} \quad (4)$$

keterangan :

Z = Probabilitas pencapaian target

t = Jadwal target

j = Durasi jalur kritis

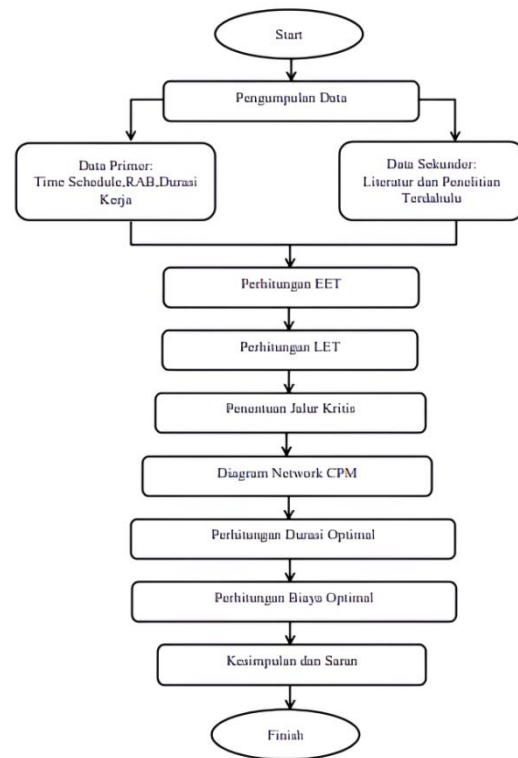
s = Deviasi standar

Perhitungan PERT adalah: perkiraan waktu = $\frac{O + (4 \times M) + P}{6}$. Perbedaan utama antara PERT dan CPM terletak pada kepastian durasi aktivitas. PERT digunakan untuk mengestimasi waktu penyelesaian aktivitas, sementara CPM diterapkan ketika durasi telah ditentukan.

- Estimasi kemungkinan terbesar (M);
- Estimasi optimis (O);
- Estimasi pesimis (P).

III. METODE

Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan studi kasus pada Jalan Alternatif Medan-Brastagi-Kutalimbaru. Data primer dan sekunder dikumpulkan melalui wawancara dengan pihak pelaksana Proyek serta menggunakan kurva S, diagram batang, dan RAB pendukung lainnya. Pengolahan data dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan dua metode, yaitu metode CPM dan perangkat lunak PERT. Critical Path Method (CPM) adalah teknik manajemen proyek yang digunakan untuk menentukan dan memprioritaskan aktivitas utama dalam penyelesaian proyek. CPM membantu manajer proyek untuk menemukan tenggat waktu penting dan memastikan bahwa proyek selesai tepat waktu. PERT akan digunakan setelah analisis CPM, Berperan sebagai alat pendukung dalam penjadwalan proyek jalan.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Ringkasan rencana anggaran biaya (RAB) untuk pembangunan Jalan Alternatif Medan-Berastagi-Kutalimbaru dapat dilihat pada Tabel 1 berikut, yang mencakup enam tahapan pekerjaan, mulai dari persiapan, pekerjaan jalan, hingga pekerjaan finishing dan pekerjaan lainnya.

Tabel 1. Uraian dan rekap RAB pekerjaan

| No | Nama Pekerjaan | Biaya |
|----|------------------------------|----------------------|
| 1 | Pekerjaan Persiapan | Rp 35.331.446,67 |
| 2 | Pekerjaan Bongkaran | Rp 1.290.478,57 |
| 3 | Pekerjaan Jalan | Rp 8.118.836.919,43 |
| 4 | Pekerjaan Urugan | Rp 24.921.480,95 |
| 5 | Pekerjaan Saluran, Dan Talud | Rp 7.026.556.326,05 |
| 6 | Pekerjaan Lain-Lain | Rp 209.356.842,90 |
| | Sub total | Rp 15.416.293.494,57 |
| | Ppn 10% | Rp 1.541.629.349,46 |
| | Jumlah Total | Rp 16.957.922.844,03 |

Analisis dengan menggunakan Metode CPM melibatkan data yang mendukung variabel-variabel untuk pelaksanaan jalur kritis berdasarkan data yang telah dianalisis. Sementara itu, durasi untuk setiap aktivitas dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2. Data kegiatan proyek jalan

| NO | Jenis Pekerjaan | Kode | Kegiatan Waktu (Hari) |
|----|---|------|-----------------------|
| 1 | Pekerjaan Persiapan | A | 8 |
| 2 | Pekerjaan Bongkaran | B | 5 |
| 3 | Pekerjaan Urugan | C | 10 |
| 4 | Pekerjaan Jalan | D | 53 |
| 5 | Pekerjaan Saluran, Pedestrian dan Talud | E | 55 |
| 6 | Pekerjaan Lain-lain | F | 12 |

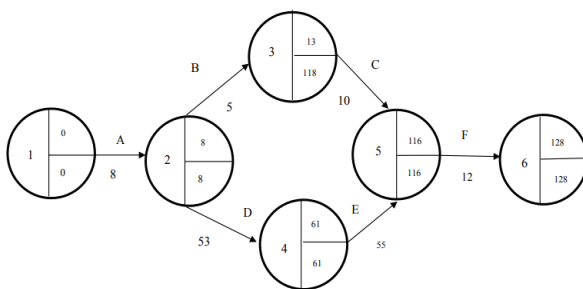
Setelah mendapatkan data kemudian jenis kegiatan tersebut diurutkan berdasarkan urutan kerja.

Tabel 3. Daftar kegiatan proyek jalan

| No | Jenis Pekerjaan | Kode Kegiatan | Kegiatan Sebelumnya |
|----|---|---------------|---------------------|
| 1 | Pekerjaan Persiapan | A | - |
| 2 | Pekerjaan Bongkaran | B | A |
| 3 | Pekerjaan Urugan | C | B |
| 4 | Pekerjaan Jalan | D | A |
| 5 | Pekerjaan Saluran, Pedestrian dan Talud | E | D |
| 6 | Pekerjaan Lain-lain | F | CE |

Tabel 4. Estimasi waktu pelaksanaan proyek pembangunan jalan

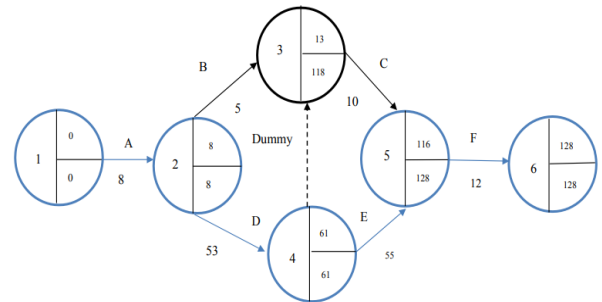
| Kode Kegiatan | Predecessor (s) | Durasi (Hari) |
|---------------|-----------------|---------------|
| A | - | 8 |
| B | A | 5 |
| C | B | 10 |
| D | A | 53 |
| E | D | 55 |
| F | E | 12 |
| | | 143 |



Gambar 2. Diagram jaringan kerja hasil perhitungan dengan metode CPM

Penentuan Jalur Kritis, Total Float dan Kurun Waktu Penyelesaian Proyek Setelah mendapatkan perhitungan maju dan mundur didapatkan jumlah float dari masing-masing kegiatan. Dari total float yang didapatkan, maka didapatkan jalur kritis pada kegiatan A, D, E, F

ddengan kurun waktu penyelesaian proyek 128 hari.



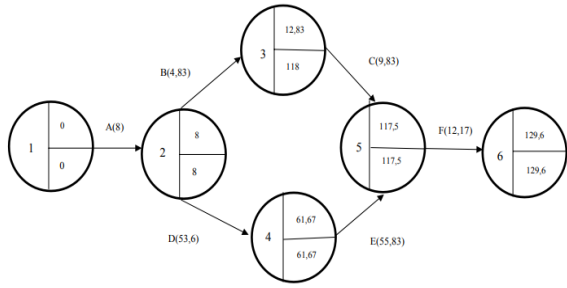
Gambar 3. Lintasan kritis

| Kode | Durasi normal | Durasi CPM | Durasi PERT |
|------|---------------|------------|-------------|
| A | 8 | 8 | 8 |
| B | 5 | 3 | 3 |
| C | 10 | 5 | 5 |
| D | 53 | 51 | 53 |
| E | 55 | 50 | 49 |
| F | 12 | 10 | 12 |
| | | 128 | 130 |

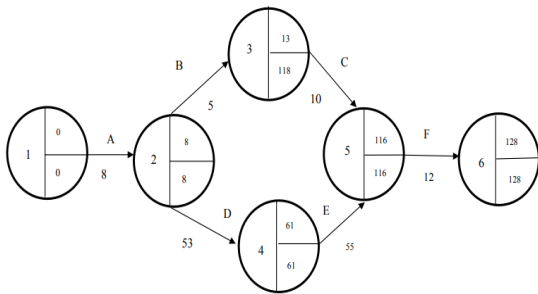
| Kode | Durasi normal | Durasi CPM | Durasi PERT |
|------|---------------|------------|-------------|
| A | 8 | 0 | 0 |
| B | 5 | 2 | 2 |
| C | 10 | 5 | 5 |
| D | 53 | 2 | 0 |
| E | 55 | 5 | 5 |
| F | 12 | 2 | 0 |

| Kode | Durasi normal | Durasi CPM | Penambahan biaya CPM | Durasi PERT | Penambahan biaya PERT |
|------|---------------|------------|----------------------|-------------|-----------------------|
| A | 8 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| B | 5 | 2 | 2.820.000,00 | 2 | 2.820.000,00 |
| C | 10 | 5 | 7.050.000,00 | 5 | 7.050.000,00 |
| D | 53 | 2 | 2.820.000,00 | 0 | 0 |
| E | 55 | 5 | 7.050.000,00 | 5 | 7.050.000,00 |
| F | 12 | 2 | 2.820.000,00 | 0 | 0 |
| | | | 22.560.000,00 | | 16.920.000,00 |

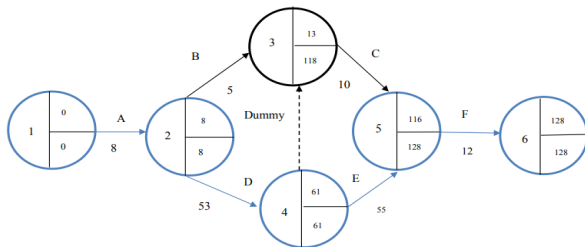
| Kode | Predecessor | Durasi (hari) | | | | |
|------|-------------|---------------|-----|-----|--------|---------|
| | | i | n | c | Te | Varians |
| A | - | 10 | 8 | 6 | 8 | 0,44 |
| B | A | 6 | 5 | 3 | 4,83 | 0,25 |
| C | B | 11 | 10 | 8 | 9,83 | 0,25 |
| D | C | 60 | 53 | 50 | 53,67 | 2,78 |
| E | C | 62 | 55 | 53 | 55,83 | 2,25 |
| F | D,E | 15 | 12 | 10 | 12,17 | 0,69 |
| | | 164 | 143 | 130 | 144,33 | 6,67 |



Gambar 4. Durasi jaringan PERT



Gambar 5. Durasi jaringan CPM



Gambar 6. Durasi jaringan kritis (dummy)

Metode PERT merupakan teknik evaluasi proyek untuk meminimalkan keterlambatan penyelesaian (Kasid & Hermansyah, 2018). PERT menggunakan tiga estimasi waktu dalam menyelesaikan aktivitas: (1) Waktu optimis = w_o , yang merupakan durasi tercepat yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kegiatan.

Tabel 5. Kegiatan dan durasi pelaksanaan untuk metode PERT

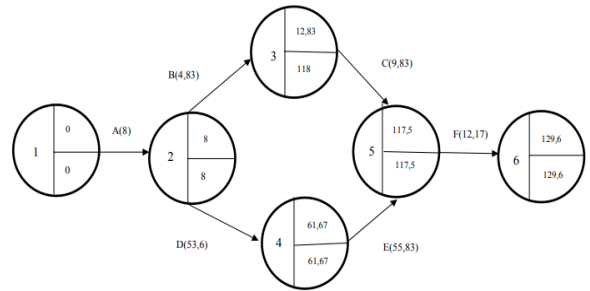
| No | Kode | Durasi Lama | Durasi Normal | Durasi Cepat |
|----|------|-------------|---------------|--------------|
| 1 | A | 10 | 8 | 6 |
| 2 | B | 6 | 5 | 3 |
| 3 | C | 11 | 10 | 8 |
| 4 | D | 60 | 53 | 50 |
| 5 | E | 62 | 55 | 53 |
| 6 | F | 15 | 12 | 10 |
| | | 164 | 143 | 130 |

Perkiraan durasi tugas dan waktu penyelesaian dapat dihitung menggunakan rumus PERT dengan formula berikut.

$$(Optimistic\ Time + (4 \times Most\ Likely\ Time) + Pessimistic\ Time) / 6$$

Tabel 6. Expented duration pembangunan jalan

| Kode | Predecessor | Lama Waktu | | | |
|------|-------------|------------|-----|-----|-------|
| | | i | n | c | Te |
| A | - | 10 | 8 | 6 | 8 |
| B | A | 6 | 5 | 3 | 4,83 |
| C | B | 11 | 10 | 8 | 9,83 |
| D | C | 60 | 53 | 50 | 53,67 |
| E | C | 62 | 55 | 53 | 55,83 |
| F | D,E | 15 | 12 | 10 | 12,17 |
| | | 164 | 143 | 130 | |



Gambar 7. Expented duration

Kurva Biaya-Waktu Aktivitas Proyek

Dari kurva ini, kemiringan biaya (cost slope) yaitu biaya yang diperlukan untuk mempercepat durasi proyek untuk setiap waktu. Kemiringan biaya (cost slope) :

$$\frac{Cc - Nc}{Nt - Ct} \tag{5}$$

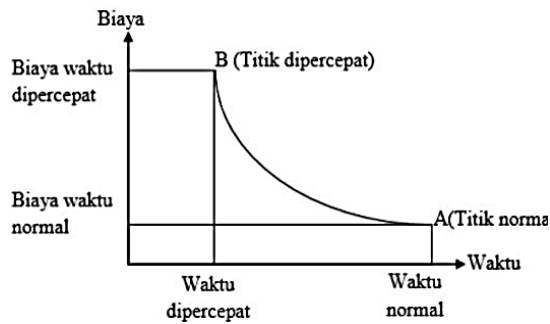
Keterangan:

Cc = Biaya percepatan;

Nc = Biaya normal;

Ct = Durasi percepatan;

Nt = Durasi normal.



Gambar 8. Konektivitas cost dan time

Dalam kondisi normal maupun percepatan (*crash*), tujuan utama adalah mempercepat penyelesaian proyek dengan peningkatan biaya seminimal mungkin. Proses percepatan ini dikenal sebagai Crash Program, dengan batas percepatan tertentu (*crash time*), di mana pengurangan waktu lebih lanjut menjadi tidak efektif. Penerapan crash schedule menyebabkan biaya lebih tinggi dibandingkan *normal schedule*. Dalam crash schedule, percepatan dilakukan pada aktivitas kritis dengan kemiringan biaya terendah hingga mencapai batas *crash time*.

Tabel 7. Analisis standar deviasi dan variansi hasil perhitungan

| Kode | Predecessor | Durasi (hari) | | | | |
|------|-------------|---------------|-----|-----|--------|---------|
| | | i | n | c | Te | Varians |
| A | - | 10 | 8 | 6 | 8 | 0,44 |
| B | A | 6 | 5 | 3 | 4,83 | 0,25 |
| C | B | 11 | 10 | 8 | 9,83 | 0,25 |
| D | C | 60 | 53 | 50 | 53,67 | 2,78 |
| E | C | 62 | 55 | 53 | 55,83 | 2,25 |
| F | D,E | 15 | 12 | 10 | 12,17 | 0,69 |
| | | 164 | 143 | 130 | 144,33 | 6,67 |

Berdasarkan perhitungan pada Tabel 7, variansi waktu penyelesaian proyek jalan sebesar 6,67 dengan standar deviasi $\sqrt{6,67} \approx 2,58$ hari. Selanjutnya, probabilitas penyelesaian proyek dihitung menggunakan persamaan berikut:

$$z = \frac{t_j - j_l}{S}$$

$$z = \frac{144,33 - 129,6}{2,58}$$

$$z = 5,71$$

Berdasarkan tabel distribusi normal kumulatif, diperoleh nilai $z = 5,71$ dengan probabilitas 0,9999, menunjukkan kemungkinan keberhasilan proyek sebesar 99,99%. Dengan demikian, proyek diperkirakan selesai dalam 129,6 hari

(dibulatkan menjadi 130 hari) dengan tingkat keberhasilan 99,99% bahwa pelaksanaan proyek pembangunan jalan akan berhasil.

IV. KESIMPULAN

Berdasarkan evaluasi dan analisis penelitian, diperoleh beberapa kesimpulan. Pertama, penerapan metode PERT dengan jalur kritis A, D, E, dan F menunjukkan bahwa proyek pembangunan jalan memiliki probabilitas keberhasilan 99,99% untuk diselesaikan dalam 129,6 hari (dibulatkan menjadi 130 hari). Penggunaan metode CPM memungkinkan penghematan waktu 15 hari dengan tambahan biaya Rp 22.560.000,00, sedangkan metode PERT menghemat 13 hari dengan tambahan biaya Rp 16.920.000,00. Kedua, metode CPM mempercepat durasi proyek dari 130 hari menjadi 128 hari, sementara metode PERT memungkinkan percepatan dari 143 hari menjadi 130 hari dengan efisiensi biaya proyek.

REFERENSI

- Astari, N. M., Subagyo, A. M., & Kusnadi. (2021). Jaringan kerja dengan metode CPM, Metode PERT. *Jurnal Konstruksia*, 13(1), 164–180. <https://doi.org/https://doi.org/10.24853/jk.13.1.164-180>
- Badri, S. (1988). *Dasar-Dasar network planning (dasar-dasar perencanaan jaringan kerja)* (Cetakan Ke). PT Rineka Cipta. https://dosen.ikipsiliwangi.ac.id/wp-content/uploads/sites/6/2021/03/28_Dasar-dasar-Network-Planning.pdf
- Heizer, J., & Render, B. (2022). *Manajemen Operasi* (11th ed). Penerbit Salemba Empat.
- Husen, A. (2011). *Manajemen Proyek (perencanaan, penjadwalan dan pengendalian proyek)* (Edisi 2). Penerbit Andi.
- Institute, P. M. (2013). A Guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). In *project management institute, inc.* (Fifth Edition). Project Management Institute, Inc. <https://doi.org/10.5860/choice.34-1636>
- Iwawo, E. R. ., Tjakra, J., & Pratahis, P. A. . (2016). Penerapan metode CPM pada proyek konstruksi (Studi kasus pembangunan gedung baru Kompleks Eben Haezar Manado). *Jurnal Sipil Statik*, 4(9), 551–558. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/13441>
- Mamesah, C. E., Sumanti, F. P. ., & Mangare, J. B. (2022). Optimalisasi waktu pada pelaksanaan pekerjaan pembangunan Puskesmas Remboken rawat inap di Kabupaten Minahasa. *Tekno*, 20(81), 155–162. <https://doi.org/https://doi.org/10.35793/jts.v20i81.42138>
- Nugraha, A. D., & Waskito, J. P. H. (2023). Evaluasi pelaksanaan proyek dengan metode CPM dan PERT

- (Studi kasus proyek pekerjaan finishing lanjutan pembangunan gedung Program Studi Desain Interior Tahun 2019 Kampus ITS). *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 11(2), 079. <https://doi.org/10.30742/axial.v11i3.3258>
- Nurhayati. (2010). *Manajemen Proyek* (Edisi 1). Graha Ilmu.
- Oka, J., & Kartikasari, D. (2017). Evaluasi manajemen waktu proyek menggunakan metode PERT dan CPM. *Journal of Business Administration*, 1(1), 28–36. <https://media.neliti.com/media/publications/286291-evaluasi-manajemen-waktu-proyek-menggunakan-5edd57dd.pdf>
- Prabowo, H., & Anhar, M. (2020). Optimalisasi project management pada PT Cipta Ekatama Nusantara menggunakan metode CPM/PERT dalam pembangunan. *Sekolah Tinggi Ilmu Ekonomi Indonesia*, 1–17. <http://repository.stei.ac.id/2966/3/JURNAL HUGO.pdf>
- Rembulan, G. D., & Yuhao, S. (2023). Penerapan metode CPM dan PERT pada proyek konstruksi Gereja Kemah Tabernake PIK 2 Jakarta Utara. *Journal of Industrial and Manufacture Engineering*, 7(2), 147–160. <https://doi.org/10.31289/jime.v7i2.9648>
- Sholahuddin, M., & Octavia, Y. N. (2024). Penerapan Critical Path Method (CPM) pada proyek rekonstruksi jalan untuk mengidentifikasi kegiatan pekerjaan jalur kritis. *Dearsip*, 04(02), 72–84. <https://doi.org/https://doi.org/10.52166/dearsip.v4i02.7822>
- Siswanto, B. (2018). *Pengantar manajemen* (Cetakan ke). Bumi Aksara.
- Sulistyo, A. B., Rifki, I., & Gautama, P. (2022). Evaluasi proyek Fabrikasi Matarbari Unit-02 dengan metode CPM dan PERT PT. Dui Esa Unggul. *Jurnal InTent*, 05(01), 14–27. <https://www.lppm-unbaja.ac.id/ejournal220523/index.php/intent/article/view/2097>
- Uktolseja, A. M., Wullur, M., & Karuntu, M. M. (2023). Evaluasi pelaksanaan proyek menggunakan metode PERT dan CPM (Studi kasus: Preservasi Jalan Tolango-Paguyaman, Tolango-Bulontio). *LPMM Bidang EkoSosBudKum (Ekonomi, Sosial, Budaya Dan Hukum)*, 6(2), 1079–1090. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/lppmekososbudkum/article/view/44640>
- Usman, S., Muhammad, A. H., Adjam, I., & Altarans, I. (2023). Optimasi biaya dan waktu pelaksanaan proyek konstruksi dengan penambahan jam kerja dan penambahan tenaga kerja menggunakan metode Time Cost Trade Off (Studi kasus: Proyek Pembangunan Gedung Islamic Center Halmahera Tengah). *Dintek*, 16(1), 17–31. <https://www.jurnal.umm.ac.id/index.php/dintek/article/view/1484>
- Widiasanti, I., & Lenggogeni. (2013). Manajemen konstruksi. In *PT Remaja Rosdakarya* (Cetakan Pe). PT Remaja Rosdakarya.
- Wijanarko, A., & Purwaningsih, R. (2024). Evaluasi manajemen waktu penyelesaian proyek pembangunan jalan Terminal Petikemas Tanjung Emas Semarang Dengan CPM dan PERT. *Jurnal Profesi Insinyur Indonesia*, 2(1), 9–16. <https://doi.org/https://doi.org/10.14710/jpii.2024.23914>