

PENERAPAN PENJADWALAN MENGGUNAKAN METODE CPM (CRITICAL PATH METHOD) & METODE PERT (PROGRAM EVALUATION REVIEW TECHNIQUE) PADA PROYEK KONSTRUKSI

Hera Rosanti¹, Ita Suhermin Ingsih² dan Ruli Saefudin³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22101051020@unisma.ac.id

²Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: ita.suhermin@unisma.ac.id

³Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: rulisaefudin83@unisma.ac.id

ABSTRACT

Project scheduling is a critical aspect of construction management to ensure timely project completion in accordance with planned schedules. This study aims to analyze and compare the effectiveness of the Critical Path Method (CPM) and the Program Evaluation and Review Technique (PERT) in controlling the construction schedule of the Mulia Santoso Medika Hospital Building project in Bululawang, Malang Regency. The CPM method was used to determine the critical path and project duration deterministically, while the PERT method was applied to analyze time uncertainty through a probabilistic approach based on the optimized duration of critical activities. The results show that the CPM method produced a project duration of 224 days across 88 activities, with 36 activities identified as critical. Meanwhile, the PERT method yielded an expected time of 219 days, with a project completion deadline of 224 days at a 99% probability level. Both methods produced an identical critical path, confirming the validity of the network structure used in the analysis. Based on the suitability of each method's characteristics with the inherent uncertainty of construction projects, PERT was found to be more effective than CPM, as it provides a statistically measurable level of confidence in achieving the target completion time, making it more applicable for managerial decision-making.

Keyword : *Project Scheduling, CPM, PERT, Critical Path, Probability*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur, khususnya fasilitas kesehatan seperti rumah sakit, merupakan salah satu prioritas pembangunan nasional yang berperan langsung dalam meningkatkan kualitas hidup masyarakat. Keberhasilan pelaksanaan proyek konstruksi rumah sakit sangat ditentukan oleh kemampuan manajemen dalam mengelola waktu, biaya, mutu, dan sumber daya secara terintegrasi [1]. Keterlambatan dalam penyelesaian proyek konstruksi merupakan permasalahan yang bersifat sistemik dan masih sering dijumpai, baik di Indonesia maupun di berbagai negara. Keterlambatan penyelesaian proyek konstruksi cenderung bersifat berulang

dari satu proyek ke proyek lainnya, bukan sekadar insiden yang terjadi secara kebetulan, sehingga penanganannya menuntut langkah pengendalian yang dilakukan secara antisipatif sejak awal pelaksanaan [2]. Konsekuensinya, target-target yang telah direncanakan dalam pembangunan tidak dapat tercapai sesuai dengan ekspektasi yang ditetapkan [3]. Lemahnya pengendalian jadwal menjadi salah satu penyebab dominan keterlambatan karena penyimpangan waktu sering kali tidak teridentifikasi sejak tahap awal pelaksanaan sehingga tindakan korektif menjadi kurang efektif [4], [5].

Berbagai metode penjadwalan telah dikembangkan untuk mendukung pengendalian proyek konstruksi, di antaranya *Bar Chart*,

Kurva S, *Precedence Diagram Method* (PDM), *Line of Balance* (LOB), *Earned Value Management* (EVM), *Critical Path Method* (CPM), serta *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) [6]. Masing-masing metode memiliki karakteristik dan keterbatasan tersendiri. *Bar Chart* dan Kurva S efektif untuk memantau kemajuan pekerjaan, namun tidak mampu mengidentifikasi aktivitas yang secara langsung menentukan durasi penyelesaian proyek [6], [7]. LOB lebih sesuai untuk proyek berulang, sedangkan EVM mencakup aspek biaya yang berada di luar batasan penelitian ini [8]. Di antara metode yang ada, PERT dinilai paling sesuai untuk proyek konstruksi dengan karakteristik kompleks dan tingkat ketidakpastian durasi yang tinggi [9].

Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika di Bululawang, Kabupaten Malang, memiliki durasi kontrak 237 hari kalender dengan lingkup pekerjaan yang kompleks dan saling berkaitan. Berdasarkan evaluasi Kurva S, terdapat deviasi antara progres rencana dan progres aktual yang mengindikasikan adanya penyimpangan waktu pelaksanaan. Kondisi ini menunjukkan bahwa penelitian dilakukan pada proyek yang sedang berjalan, sehingga fokusnya bukan menyusun jadwal dari awal melainkan melakukan analisis evaluatif sebagai bagian dari pengendalian waktu proyek [10].

Berdasarkan karakteristik tersebut, CPM dipilih untuk mengidentifikasi jalur kritis, yaitu rangkaian aktivitas tanpa kelonggaran waktu (*float*) yang secara langsung menentukan durasi total proyek. Namun karena CPM bersifat deterministik, metode ini tidak mampu mengakomodasi ketidakpastian durasi akibat faktor dinamis seperti cuaca, produktivitas tenaga kerja, dan ketersediaan material di lapangan [4], [5]. Oleh karena itu, PERT digunakan secara komplementer untuk menghasilkan waktu harapan dan probabilitas penyelesaian proyek berdasarkan tiga estimasi waktu, yaitu waktu optimis, paling mungkin, dan pesimis [11], [12], [13].

1.2 Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka

identifikasi masalah yang di dapat adalah:

1. Adanya deviasi antara progres rencana dan progres aktual pada Proyek Pembangunan Gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika yang berpotensi penyelesaian proyek tidak sesuai dengan durasi kontrak selama 237 hari kalender.
2. Adanya keterlambatan dalam proses pembangunan yang berdampak pada waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan.
3. Pengaruh faktor eksternal, seperti kondisi cuaca, perizinan, serta kebijakan dari pihak eksternal yang tidak dapat dikendalikan sepenuhnya oleh manajemen proyek.
4. Belum optimalnya penerapan sistem manajemen proyek, khususnya terkait penggunaan alat bantu penjadwalan dan evaluasi kinerja waktu.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang, adapun permasalahan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana implementasi pengendalian jadwal dengan menggunakan metode CPM dalam pelaksanaan proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika ?
2. Bagaimana implementasi pengendalian jadwal dengan menggunakan metode PERT dalam pelaksanaan proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika ?
3. Bagaimana perbandingan tingkat efektivitas pengendalian jadwal menggunakan kedua metode dalam pelaksanaan proyek pembangunan gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika serta metode manakah yang paling efektif ?

1.4 Tujuan dan Manfaat

Tujuan dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis penerapan metode CPM dalam pengendalian jadwal proyek.
2. Menganalisis penerapan metode PERT dalam pengendalian jadwal proyek.

3. Membandingkan efektivitas kedua metode dalam pelaksanaan proyek konstruksi.

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Memberikan pemahaman mengenai penerapan metode CPM dan PERT dalam penjadwalan proyek.
2. Menjadi referensi dalam pengendalian waktu proyek konstruksi.
3. Memberikan solusi dalam meminimalkan keterlambatan proyek.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Manajemen Proyek

Manajemen proyek pada dasarnya merupakan penerapan pengetahuan, keterampilan, serta metode secara terintegrasi dalam mengoordinasikan sumber daya manusia dan material, dengan tujuan memastikan pencapaian sasaran proyek yang meliputi ruang lingkup pekerjaan, mutu, waktu, dan biaya [14], [15], [16]. Melalui penerapan teknik dan prosedur yang sistematis, manajemen proyek berfungsi mengarahkan seluruh aktivitas agar kriteria-kriteria tersebut dapat terpenuhi secara efektif dan efisien. Dalam perkembangan terkini, cakupan manajemen proyek juga meluas hingga mempertimbangkan aspek keberlanjutan dan kepentingan pemangku kepentingan secara menyeluruh, tidak lagi terbatas pada pencapaian target teknis semata [17].

2.2 Penjadwalan Proyek

Penjadwalan proyek merupakan proses menerjemah rencana kerja ke dalam urutan aktivitas yang sistematis sehingga keterkaitan antarpekerjaan, termasuk hubungan pendahulu dan pengikut, dapat diidentifikasi dengan jelas. Penjadwalan juga berfungsi sebagai rencana operasional yang memuat waktu pelaksanaan setiap aktivitas, pencapaian tonggak pekerjaan, serta alokasi sumber daya untuk mendukung pelaksanaan dan pengendalian proyek secara efektif [18].

2.3 Analisis Jaringan Kerja

Network planning atau analisis jaringan kerja merupakan pendekatan kuantitatif yang menyajikan hubungan antaraktivitas proyek

dalam bentuk representasi visual, sehingga alur pelaksanaan pekerjaan dapat dipahami secara lebih sistematis. Melalui pendekatan ini, perencana proyek dapat menyusun urutan aktivitas, mengidentifikasi ketergantungan antarpekerjaan, serta memperkirakan durasi pelaksanaan secara lebih terstruktur, sekaligus berfungsi sebagai instrumen pengendalian selama proyek berjalan [19]

Penggambaran hubungan antaraktivitas pada diagram jaringan dilakukan melalui simbol tertentu, yaitu *node* dan garis panah, yang masing-masing merepresentasikan aktivitas beserta keterkaitan pendahulu (*predecessor*) dan penerusnya (*successor*). Dengan pendekatan ini, urutan pelaksanaan setiap aktivitas dapat disusun secara logis sehingga mempermudah penentuan jalur kritis dan estimasi waktu penyelesaian proyek secara keseluruhan.

Penerapan *network planning* memberikan sejumlah manfaat praktis bagi pengendalian proyek, di antaranya membantu mengidentifikasi ketergantungan antaraktivitas, memperkirakan durasi pekerjaan secara lebih akurat, serta mendukung pengambilan keputusan manajerial. Dengan demikian, pendekatan ini berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi pelaksanaan proyek, baik dari segi pemanfaatan waktu maupun sumber daya [20].

2.4 Metode CPM

Critical Path Method (CPM) merupakan metode penjadwalan yang digunakan untuk mengidentifikasi rangkaian aktivitas berdurasi terpanjang dalam suatu jaringan kerja proyek, yang secara langsung menentukan total waktu penyelesaiannya [21]. Aktivitas-aktivitas pada rangkaian tersebut tidak memiliki kelonggaran waktu (*float*), sehingga setiap keterlambatan yang terjadi padanya akan berdampak langsung terhadap durasi proyek secara keseluruhan. Informasi ini menjadi dasar penting bagi pengambilan keputusan terkait alokasi sumber daya dan prioritas pengendalian waktu di lapangan [10]. Penentuan jalur kritis dilakukan melalui perhitungan maju (*forward pass*) untuk menetapkan waktu mulai dan selesai paling

awal setiap aktivitas, serta perhitungan mundur (*backward pass*) untuk menetapkan waktu mulai dan selesai paling lambat. Teknik perhitungan CPM:

1. Perhitungan Maju

$$EF = ES + D \quad (1)$$
2. Perhitungan Mundur

$$LF = LS + D \quad (2)$$
3. Float

$$Float = ES - LS \quad (3)$$

2.5 Percepatan Durasi Proyek (Crashing) dengan Sistem Kerja Lembur

Crashing merupakan upaya mempersingkat durasi total proyek dengan cara mengoptimalkan pelaksanaan aktivitas-aktivitas pada jalur kritis, tanpa mengubah urutan kerja maupun lingkup pekerjaan yang telah direncanakan. Di antara beberapa pendekatan yang tersedia, penambahan jam kerja melalui sistem lembur menjadi pilihan yang paling praktis diterapkan, karena tidak membutuhkan tambahan sumber daya baru dan memberikan konsekuensi biaya yang lebih terkendali dibandingkan pendekatan lain seperti penambahan tenaga kerja [10]. Perlu diperhatikan bahwa produktivitas tambahan yang diperoleh selama jam lembur tidak setara dengan produktivitas pada jam kerja normal, mengingat adanya penurunan efisiensi akibat kelelahan fisik pekerja. Oleh karena itu, perhitungan produktivitas setelah lembur perlu memperhitungkan faktor efisiensi sebagaimana disajikan berikut ini:

Tabel 1. Faktor Efisiensi Crashing

No	Jam Lembur per Hari	Efisiensi	Jam Kerja Efektif
1.	1 jam	90 %	0,90 jam
2.	2 jam	80 %	1,60 jam
3.	3 jam	75 %	2,25 jam

Sumber: Soeharto, 1997 Teknik perhitungan crashing :

1. Prod per Jam = $\frac{\text{Produktivitas Harian}}{\text{Jam Kerja Normal}} \quad (4)$
2. Prod Crash = $P_{\text{harian}} + (a \times P_{\text{jam}} \times b) \quad (5)$
3. Crash Duration = $\frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Crash}} \quad (6)$

2.6 Metode PERT

Program Evaluation and Review Technique

(PERT) merupakan pendekatan probabilistik dalam penjadwalan proyek yang dirancang untuk mengakomodasi ketidakpastian durasi pelaksanaan aktivitas, sebagaimana lazim dijumpai pada proyek berkarakteristik kompleks seperti konstruksi [22]. Estimasi durasi pada metode ini diperoleh melalui tiga skenario waktu, yaitu kondisi optimis, kondisi paling mungkin, dan kondisi pesimis, yang secara bersama-sama menghasilkan perkiraan durasi yang lebih realistis sekaligus membuka ruang analisis peluang penyelesaian proyek berbasis statistik [23]. Melalui pendekatan tersebut, PERT memberikan manfaat praktis bagi manajer proyek dalam menyusun estimasi waktu penyelesaian yang lebih akurat, sekaligus mengevaluasi seberapa besar peluang tercapainya target jadwal yang telah ditetapkan [24]. Teknik perhitungan PERT:

$$1. \quad Te = \frac{a + 4m + b}{6} \quad (7)$$

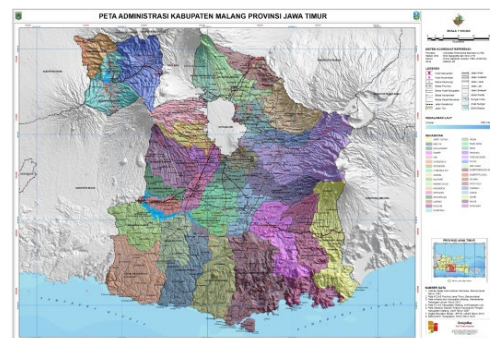
$$2. \quad S = \frac{b-a}{6} \quad (8)$$

$$3. \quad V = S^2 \quad (9)$$

$$4. \quad Td = Te + (Z \times \sigma p) \quad (10)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1 Lokasi Penelitian



Gambar 1. Peta Administrasi Kab. Malang
 Sumber: google, 2025



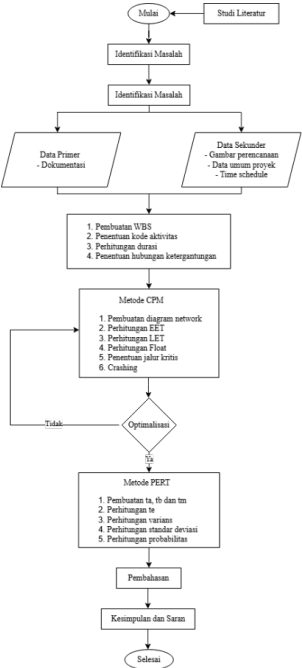
Gambar 2. Lokasi Penelitian
 Sumber: Google Maps, 2025

Penelitian ini dilaksanakan pada proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika yang berlokasi di Jl. Raya Bululawang, Desa Wadanpuro, Kecamatan Bululawang, Kabupaten Malang.

3.2 Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui observasi langsung di lapangan berupa dokumentasi proyek. Sementara itu, data sekunder diperoleh dari kontraktor, konsultan perencana, serta literatur yang relevan, meliputi gambar perencanaan, Kurva-S (time schedule), dan Rencana Anggaran Biaya (RAB).

3.3 Diagram Alir



Gambar 3. Diagram Alir Penelitian
Sumber: Hasil Analisis

3.4 Metode Analisis

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif yang dilaksanakan secara bertahap, dimulai dari identifikasi dan pengkodean aktivitas proyek, penentuan durasi berdasarkan bobot pekerjaan pada RAB, hingga penyusunan hubungan ketergantungan antaraktivitas. Tahapan selanjutnya meliputi analisis jalur kritis menggunakan metode CPM, optimasi durasi aktivitas kritis melalui *crashing*, serta analisis

probabilitas penyelesaian proyek menggunakan metode PERT.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Penyusunan Struktur Rincian Pekerjaan (WBS)

Work Breakdown Structure (WBS) digunakan untuk mengidentifikasi dan mengelompokkan seluruh pekerjaan proyek dengan menguraikan lingkupnya ke dalam beberapa tingkat pekerjaan yang lebih rinci, sehingga dihasilkan paket-paket kerja utama yang selanjutnya diuraikan menjadi aktivitas-aktivitas spesifik. Struktur hierarkis ini mempermudah penentuan urutan pekerjaan, estimasi durasi, dan alokasi sumber daya, sekaligus memberikan gambaran menyeluruh mengenai hubungan antaraktivitas guna mendukung proses pengendalian proyek.

4.2 Pengkodean Aktivitas dan Hubungan Ketergantungan

Setiap aktivitas hasil WBS diberi kode unik untuk memudahkan identifikasi dalam jaringan kerja, mengikuti struktur kelompok pekerjaan yang telah ditetapkan. Sebagai contoh, kelompok Pekerjaan Persiapan diberi kode A dengan aktivitas A1 hingga A8, kelompok Pekerjaan Boredpile diberi kode E dengan aktivitas E1 hingga E10, dan seterusnya hingga kelompok Pekerjaan Atap dengan kode J.

Tabel 2. Kode Aktivitas

URAIAN PEKERJAAN	K
PEKERJAAN PERSIAPAN	A
Papan Nama Pekerjaan	A1
Pagar Proyek	A2
Pembersihan Lapangan & Pembuangan sampah keluar lokasi	A3
Pek. Pengukuran & Pemasangan Bouwplank	A4
Pek. Air Kerja & Listrik	A5
PEKERJAAN SHEETPILE	B
Mob. Dan Demob. Alat	B1
Pengadaan Sheet Pile Type FPC 320 J 500 L:12m	B2
Beton Bertulang Caping Beam	B3
Pecah Kepala Sheet Pile	B4
PEKERJAAN CUT & FILL	C
Pekerjaan Pengurugan Lahan	C1
Pekerjaan Pemotongan Tanah	C2
PEKERJAAN BONGKAR PONDASI EKSISTING	D
Sloof	D1
Bongkar Pondasi Batu Kali	D2

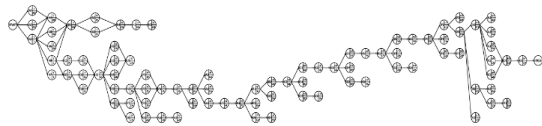
Sumber: Hasil Analisis

Analisis penjadwalan menggunakan metode CPM dilakukan untuk menentukan jalur kritis dan durasi total proyek. Berdasarkan hasil perhitungan, diperoleh jalur kritis yang terdiri dari beberapa aktivitas utama yang tidak memiliki waktu kelonggaran (*float*), sehingga keterlambatan pada aktivitas tersebut akan berdampak langsung terhadap penyelesaian proyek.

Analisis CPM dilakukan melalui perhitungan maju (*forward pass*) dan mundur (*backward pass*) untuk menentukan ES, EF, LS, LF, dan *float* setiap aktivitas. Dari total 88 aktivitas, teridentifikasi 36 aktivitas kritis dengan nilai *float* sama dengan nol yang membentuk jalur kritis proyek. Durasi total proyek diperoleh dari selisih EF aktivitas terakhir dengan ES aktivitas pertama:

$$\begin{aligned} \text{Durasi Proyek} &= \text{EF}_{\text{aktivitas terakhir}} - \text{ES}_{\text{aktivitas pertama}} \\ &= 224 - 0 = 224 \text{ hari} \end{aligned}$$

Durasi tersebut lebih cepat 13 hari dari durasi kontrak 237 hari. Hasil perhitungan diverifikasi melalui konsistensi nilai *float* pada seluruh aktivitas.



Gambar 5. Jaringan Kerja
Sumber: Hasil Analisis

4.4 Penerapan Crashing

Percepatan durasi pada penelitian ini diterapkan melalui sistem kerja lembur 1 jam per hari dengan faktor efisiensi 90% pada 36 aktivitas kritis hasil analisis CPM. Produktivitas setelah lembur dihitung dengan menambahkan produktivitas normal dengan produktivitas tambahan per jam yang dikalikan faktor efisiensi lembur, sedangkan durasi *crashing* diperoleh dari pembagian volume pekerjaan terhadap produktivitas setelah lembur tersebut, dengan hasil dibulatkan ke atas menjadi satuan hari.

Sebagai contoh perhitungan, aktivitas E5 dengan volume 829,85 m³ dan durasi normal 25 hari dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Prod harian} &= 829,85 / 25 \\ &= 33,19 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prod per jam} &= 33,19 / 8 \\ &= 4,15 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prod crash} &= 33,19 + (1 \times 4,15 \times 0,90) \\ &= 36,93 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Durasi crashing} &= 829,85 / 36,93 \\ &= 23 \text{ hari} \end{aligned}$$

Prosedur yang sama diterapkan pada seluruh 36 aktivitas kritis, dengan hasil lengkap disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Perhitungan Crashing

K	Prod Harian	Prod Per Jam	Prod Setelah Lembur	D
A3	2,133.60	266.70	2,373.63	1
A8	1.00	0.13	1.11	1
C1	527.40	65.93	586.74	8
C2	541.04	67.63	601.90	1
E1	1.00	0.13	1.11	1
E5	33.19	4.15	36.93	23
E10	123.00	15.38	136.84	1
F1	298.21	37.28	331.76	1
F2	22.40	2.80	24.92	1
F3	11.20	1.40	12.46	1

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil analisis menunjukkan 10 aktivitas mengalami pengurangan durasi, dengan E5 berkurang 2 hari (dari 25 menjadi 23 hari) serta 9 aktivitas lainnya (IA2, IB1, IC1, IC2, ID1, ID2, IE1, IE2, dan IF1) masing-masing berkurang 1 hari, sehingga total pengurangan durasi pada jalur kritis adalah 11 hari. Adapun 26 aktivitas kritis lainnya tidak mengalami perubahan durasi, baik karena durasinya telah berada pada batas minimum 1 hari.

4.5 Analisis Menggunakan Metode PERT

Tabel 6. Perhitungan Crashing

K	Tafsiran Waktu Kegiatan			te	S	V
	ta	tb	tm			
A1	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
A2	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
A3	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
A4	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
A5	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
B1	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
B2	11.40	12	13.20	12.10	0.30	0.090
B3	1.90	2	2.20	2.02	0.05	0.003
B4	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
C1	7.60	8	8.80	8.07	0.20	0.040
C2	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
D1	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001
D2	0.95	1	1.10	1.01	0.03	0.001

Sumber: Hasil Perhitungan

Durasi hasil *crashing* digunakan sebagai waktu paling mungkin (t_m) pada perhitungan PERT, dengan waktu optimis $t_a = t_m - 5\%$ dan waktu pesimis $t_b = t_m + 10\%$. Nilai t_e dan varians setiap aktivitas dihitung menggunakan persamaan (6) dan (8), dengan hasil lengkap disajikan pada **Tabel 6**.

Tabel 7. Perhitungan T_e dan Varians Jalur Kritis

K	Uraian Pekerjaan	T_e	V
A3	Pembersihan Lapangan & Pembuangan sampah keluar lokasi	1.01	0.001
A8	Pek. Mobilisasi dan Demobilisasi Crane	1.01	0.001
C1	Pekerjaan Pengurugan Lahan	8.07	0.040
C2	Pekerjaan Pemotongan Tanah	1.01	0.001
E1	Mob. Dan Demob. Alat Boring	1.01	0.001
E5	Pek. Beton Boredpile K300 dia. 600 mm	23.19	0.331
F1	Pek. Galian Tanah Pile Cap	1.01	0.001
Total		218.81	1.387

Sumber: Hasil Perhitungan

Berdasarkan penjumlahan nilai t_e dan varians seluruh aktivitas kritis pada Tabel 6, diperoleh total waktu harapan jalur kritis sebesar :

$$T_e = 219 \text{ hari}$$

$$V(T_e) = 1,387$$

$$\Sigma p = \sqrt{1,387} = 1,177 \text{ hari.}$$

Dengan menetapkan tingkat probabilitas penyelesaian sebesar 99% ($Z = 3,69$), tenggat waktu proyek dihitung sebagai berikut:

$$\begin{aligned} T_d &= T_e + (Z \times \sigma_p) \\ &= 219 + (3,69 \times 1,177) \\ &= 219 + 4,34 \\ &= 223,34 \approx 224 \text{ hari} \end{aligned}$$

Nilai standar deviasi yang kecil ($\sigma_p = 1,177$ hari) mengindikasikan bahwa tingkat ketidakpastian pelaksanaan proyek tergolong rendah, sehingga estimasi durasi yang dihasilkan memiliki tingkat kepercayaan tinggi.

4.6 Perbandingan dan Efektivitas Metode CPM dan PERT

Hasil analisis CPM menghasilkan durasi total proyek sebesar 224 hari kalender, lebih cepat 13 hari dari durasi kontrak 237 hari, dengan 36 dari 88 aktivitas teridentifikasi

sebagai aktivitas kritis (float = 0). Meskipun efektif mengidentifikasi jalur kritis secara matematis, pendekatan deterministik CPM hanya menghasilkan satu nilai durasi pasti tanpa ukuran kepercayaan atas pencapaian target waktu.

Analisis PERT menggunakan durasi hasil *crashing* sebagai waktu paling mungkin (t_m) menghasilkan waktu harapan (T_e) sebesar 219 hari dengan standar deviasi proyek $\sigma_p = 1,177$ hari dan varians $V(T_e) = 1,387$. Pada tingkat probabilitas 99% ($Z = 3,69$), diperoleh tenggat waktu penyelesaian sebesar 224 hari. Nilai standar deviasi yang kecil mengindikasikan tingkat ketidakpastian pelaksanaan proyek tergolong rendah dan estimasi PERT yang dihasilkan tergolong andal.

Metode PERT dinilai lebih efektif dibandingkan CPM sebagai instrumen evaluasi pada proyek yang sedang berjalan, karena mampu mengakomodasi ketidakpastian durasi akibat deviasi progres aktual terhadap rencana melalui ukuran kepercayaan statistik yang tidak tersedia pada CPM. Meskipun demikian, CPM tetap diperlukan karena struktur jaringan kerja dan jalur kritis yang dihasilkannya menjadi dasar perhitungan PERT, sehingga kedua metode berfungsi saling melengkapi dalam mendukung evaluasi waktu proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika.

Nilai standar deviasi yang kecil mengindikasikan tingkat ketidakpastian pelaksanaan proyek tergolong rendah dan estimasi PERT yang dihasilkan tergolong andal.

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Analisis CPM menghasilkan durasi total proyek sebesar 224 hari kalender, lebih cepat 13 hari dari durasi kontrak 237 hari, dengan 36 dari 88 aktivitas teridentifikasi sebagai aktivitas kritis yang menjadi prioritas pengendalian jadwal. Analisis PERT menghasilkan waktu harapan (T_e) sebesar 219 hari dengan standar deviasi proyek $\sigma_p = 1,177$ hari dan varians $V(T_e) = 1,387$, serta tenggat waktu penyelesaian sebesar 224 hari pada tingkat probabilitas 99% ($Z = 3,69$).

Metode PERT dinilai lebih efektif dibandingkan CPM sebagai instrumen evaluasi jadwal pada proyek yang sedang berjalan, karena mampu mengakomodasi ketidakpastian durasi melalui pendekatan probabilistik yang disertai ukuran kepercayaan statistik atas pencapaian target waktu. Meskipun demikian, CPM tetap diperlukan karena struktur jaringan kerja dan jalur kritis yang dihasilkannya menjadi dasar perhitungan PERT, sehingga kedua metode berfungsi saling melengkapi dalam mendukung evaluasi waktu proyek pembangunan Gedung Rumah Sakit Mulia Santoso Medika.

5.2 Saran

Pengendalian jadwal disarankan diprioritaskan pada 36 aktivitas kritis yang telah teridentifikasi, dengan tenggat waktu hasil analisis PERT sebesar 224 hari pada probabilitas 99% sebagai acuan batas waktu penyelesaian yang realistis. Penggunaan CPM dan PERT secara terintegrasi disarankan pada proyek konstruksi dengan kompleksitas tinggi, baik pada tahap perencanaan maupun pada proyek yang telah memasuki tahap pelaksanaan. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengintegrasikan analisis *time-cost trade-off*, membandingkan beberapa skenario percepatan, serta menerapkan metode yang sama pada jenis proyek konstruksi lain guna memperluas validitas temuan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. A. Husna, N. F. Ilmiyah, and N. C. Resti, "Implementasi CPM Dan PERT Dalam Memprediksi Durasi Serta Biaya Pembangunan Musala Al-Ikhlas Di Kotawaringin Barat," 2022. doi: 10.30762/f_m.v5i1.633.
- [2] L. K. W. Ruli Saefudin, Lalu Mulyadi, Tiong Iskandar, "Analysis of Factors Affecting the Delay of Lecture , Laboratory and Auditory Building Development Projects," *Int. J. Sci. Eng. Sci.*, vol. 5, no. 7, pp. 1–4, 2021.
- [3] I. S. Ingsih, A. Fitriyanti, and U. Azmi, "KONVENSIIONAL TERHADAP EFISIENSI COST ESTIMATION," vol. 15, no. 2, pp. 178–187, 2025.
- [4] G. Agyekum-Mensah and A. Knight, "The Professionals' Perspective on the Causes of Project Delay in the Construction Industry," 2017. doi: 10.1108/ecam-03-2016-0085.
- [5] S. Naoum, "Factors Influencing Labor Productivity on Construction Sites," 2016. doi: 10.1108/ijppm-03-2015-0045.
- [6] A. B. Siswanto and M. A. Salim, *Manajemen Proyek: Perencanaan, Penjadwalan, dan Pengendalian Proyek*. Yogyakarta: Andi, 2019.
- [7] P. L. A. Luthan and Syafriandi, *Aplikasi Microsoft Project untuk Penjadwalan Kerja Proyek Teknik Sipil*. Yogyakarta: Penerbit Andi, 2006.
- [8] Sugiyanto, *Manajemen Proyek Konstruksi*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, 2021.
- [9] M. A. Wibowo, "Penerapan Metode Penjadwalan Proyek pada Proyek Konstruksi," *J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 1, pp. 1–15, 2001.
- [10] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Erlangga, 1997.
- [11] I. Soeharto, *Manajemen Proyek: Dari Konseptual Sampai Operasional*, 2nd ed. Jakarta: Erlangga, 1999.
- [12] S. Rahayu and P. Nugraha, "Evaluasi Penjadwalan Proyek dengan Metode {PERT} pada Pembuatan Pabrik {PT. Daya Kobelco}," *J. Dimens. Pratama Tek. Sipil*, vol. 7, no. 1, pp. 1–8, 2018.
- [13] S. Adrianti, H. Hafiz, W. Safitri, and M. Huda, "Analisis Penjadwalan Proyek Pembangunan Saung Serbaguna Di Cikarang Menggunakan {PERT} dan {CPM}," *J. Ekono Insentif*, vol. 18, no. 1, pp. 62–73, 2024, doi: 10.36787/jei.v18i1.1267.
- [14] M. Fazis and Tugiah, "Perencanaan Proyek dan Penjadwalan Proyek," *J. Sos. dan Teknol.*, vol. 2, no. 12, pp. 1365–1377, Dec. 2022, doi: 10.59188/jurnalsostech.v2i12.517.
- [15] T. Kim, Y. Yoon, B. Lee, N. Ham, and J.-J. Kim, "Cost--Benefit Analysis of Scan-vs-BIM-Based Quality Management," *Buildings*, vol. 12, no. 12, p. 2052, 2022, doi: 10.3390/buildings12122052.
- [16] R. Plattfaut, "On the Importance of Project Management Capabilities for Sustainable Business Process Management," *Sustainability*, vol. 14, no. 13, p. 7612, 2022, doi: 10.3390/su14137612.
- [17] T. C. Chow, S. Zailani, M. K. Rahman, Q. Zhang, M. A. Bhuiyan, and A. K. Patwary, "Impact of Sustainable Project Management on Project Plan and Project Success of the Manufacturing Firm: Structural Model Assessment, doi:

- 10.1371/journal.pone.0259819.
- [18] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge*. Newtown Square, PA: Project Management Institute, 2025.
 - [19] "Precedence and Arrow Networking Techniques for Construction," 1980. doi: 10.1177/014362448000100115.
 - [20] S. Maryani and D. Murni, "Optimalisasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Pembangunan dengan Metode PERT-CPM," *UNPjoMath*, vol. 2, no. 3, pp. 60–66, 2019, [Online]. Available: <https://doi.org/10.1234/5678>
 - [21] D.-H. Tran and L. D. Long, "Project scheduling with time, cost and risk trade-off using adaptive multiple objective differential evolution," *Eng. Constr. Archit. Manag.*, 2018, doi: 10.1108/ECAM-05-2017-0085.
 - [22] N. Akpan and G. O. Agadaga, "Modelling Building Renovation Using PERT," *Asian Res. J. Math.*, pp. 25–38, 2020, doi: 10.9734/arjom/2020/v16i430184.
 - [23] A. Husen, *Manajemen Proyek*. Yogyakarta: Andi, 2008.
 - [24] B. Render and J. Heizer, *Manajemen Operasi: Keunggulan Bersaing dalam Manufaktur dan Jasa*, 11th ed. Jakarta: Salemba Empat, 2015.