

Analisis Ketidakpastian Durasi Menggunakan Metode PERT dan PDM Guna Mengantisipasi Risiko Pada Proyek Konstruksi

Divo Reynandra Hermanto, Lila Ayu Ratna Winanda*, Deviany Kartika, Munasih

Institut Teknologi Nasional Malang, Malang 65145, Indonesia

ARTICLE INFO

Kata Kunci:

Program Evaluation and Review Technique; Precedence Diagram Method; Penjadwalan Proyek; Risiko; Varians Jadwal.

***Correspondence email:**

lilawinanda@lecturer.itn.ac.id

Submitted: 15 Desember 2025

Revised: 30 Desember 2025

Accepted: 17 Januari 2026

Published: 03 Februari 2026

ABSTRAK

Ketidakpastian durasi merupakan permasalahan utama dalam proyek konstruksi karena berpotensi menyebabkan keterlambatan pelaksanaan serta meningkatkan risiko terjadinya *rework*. Perencanaan waktu yang hanya menggunakan satu estimasi durasi sering kali tidak mampu merepresentasikan variasi kondisi lapangan yang dinamis, sehingga jadwal yang dihasilkan menjadi kurang realistis. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan penjadwalan yang mampu mengakomodasi ketidakpastian durasi sekaligus menggambarkan hubungan antaraktivitas secara sistematis. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketidakpastian durasi pekerjaan dan mengidentifikasi aktivitas kritis guna mengantisipasi risiko keterlambatan proyek konstruksi. Metode penelitian yang digunakan adalah integrasi *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) dan *Precedence Diagram Method* (PDM). Data diperoleh melalui wawancara, observasi lapangan, serta studi dokumen teknis proyek untuk menentukan estimasi durasi optimis, paling mungkin, dan pesimis (*a-m-b*). Estimasi tersebut diolah menggunakan metode PERT untuk menghitung *expected time*, standar deviasi, dan varians aktivitas, kemudian disusun dalam jaringan kerja PDM untuk menentukan lintasan kritis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa durasi harapan proyek adalah 225 hari, dengan tingkat ketidakpastian tertinggi terdapat pada pekerjaan baja balok B3 lantai 6 yang memiliki nilai varians sebesar 2.250. Akumulasi standar deviasi lintasan kritis sebesar 13.88 hari dengan nilai akar varians sekitar ± 4 hari menunjukkan adanya potensi penyimpangan durasi proyek terhadap jadwal rencana. Oleh karena itu, disarankan agar aktivitas dengan varians tinggi pada lintasan kritis mendapatkan pengendalian dan pengawasan waktu yang lebih intensif untuk meminimalkan risiko keterlambatan proyek.

ABSTRACT

Keywords:

Program Evaluation and Review Technique; Precedence Diagram Method; Project Scheduling; Risk; Schedule Variance.

*Duration uncertainty is a major problem in construction projects because it has the potential to cause delays in implementation and increase the risk of rework. Time planning that uses only one duration estimate is often unable to represent the dynamic variations in field conditions, resulting in an unrealistic schedule. Therefore, a scheduling approach is needed that can accommodate duration uncertainty while systematically describing the relationships between activities. This study aims to analyze the duration uncertainty of work and identify critical activities in order to anticipate the risk of construction project delays. The research method used is the integration of the Program Evaluation and Review Technique (PERT) and the Precedence Diagram Method (PDM). Data was obtained through interviews, field observations, and technical project document studies to determine optimistic, most likely, and pessimistic duration estimates (*a-m-b*). These estimates were processed using the PERT method to calculate the expected time, standard deviation, and variance of activities, then arranged in a PDM work network to determine the critical path. The results showed that the expected project duration was 225 days, with the highest level of uncertainty found in the B3 floor 6 steel beam work, which had a variance value of 2.250. The accumulated standard deviation of the critical path is 13.88 days with a variance root value of approximately ± 4 days, indicating the potential for project duration deviations from the planned schedule. Therefore, it is recommended that activities with high variance on the critical path receive more intensive time control and supervision to minimize the risk of project delays.*

PENDAHULUAN

Proyek konstruksi merupakan aktivitas yang memiliki tingkat kompleksitas tinggi karena melibatkan banyak pihak dan menuntut koordinasi sumber daya yang efektif. Kompleksitas ini meningkatkan risiko terjadinya konflik dan keterlambatan jika perencanaan waktu tidak dilakukan dengan baik (Pratama, Winanda and Munasih, 2023). Selain itu, ketidaktepatan dalam memperkirakan durasi aktivitas dapat menyebabkan tumpang tindih pekerjaan, sehingga keterlambatan pada satu aktivitas akan berdampak pada aktivitas lainnya (Pangestika Oirala Kawuri, 2025).

Tidak sedikit proyek yang mengalami penundaan akibat kurang optimalnya pengendalian waktu dan pemanfaatan durasi yang tersedia (Sari *et al.*, 2025).

Berbagai metode penjadwalan telah digunakan untuk meminimalkan risiko keterlambatan, seperti Kurva S, *Critical Path Method* (CPM), dan metode penjadwalan konvensional lainnya. Beberapa penelitian sebelumnya banyak menggunakan CPM karena metode ini mampu menentukan lintasan kritis dalam jaringan kerja proyek. Namun demikian, CPM hanya menggunakan satu estimasi durasi sehingga tidak mampu mengakomodasi ketidakpastian waktu dan variabilitas kondisi lapangan, sehingga jadwal yang dihasilkan sering kurang realistis. Selain itu, metode tradisional seperti Kurva S juga memiliki keterbatasan karena tidak dapat menampilkan hubungan ketergantungan antar aktivitas dan tidak memberikan informasi yang jelas terkait kegiatan kritis (Wahyudiono *et al.*, 2023). Sejalan dengan itu, penelitian lain menunjukkan bahwa metode perencanaan berbasis durasi tunggal sering menghasilkan jadwal yang kurang akurat karena mengabaikan variasi durasi pekerjaan dan risiko keterlambatan (Ekawati *et al.*, 2025). Kondisi tersebut menuntut penggunaan metode penjadwalan yang lebih fleksibel, akurat, dan adaptif terhadap dinamika proyek konstruksi.

Sebagai alternatif, metode *Precedence Diagram Method* (PDM) mampu menggambarkan hubungan logis antar aktivitas secara lebih jelas, mendukung aktivitas yang saling tumpang tindih, serta memberikan susunan pekerjaan yang lebih realistis dibandingkan metode jaringan kerja lainnya (Faisal, Ingsih and Aasniari, 2025). Beberapa penelitian menunjukkan bahwa PDM memberikan manfaat signifikan dalam penyusunan jadwal yang lebih efektif pada proyek konstruksi (Langkun, Mangare and Tjakra, 2025). Selain itu, PDM juga banyak digunakan pada proyek gedung karena memberikan visualisasi yang lebih baik terhadap alur pekerjaan (Lauriska, Negoro and Priyana, 2025). Sementara itu, metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) menawarkan pendekatan probabilistik melalui tiga estimasi waktu—optimis, paling mungkin, dan pesimis—yang dapat memperkirakan durasi dan peluang penyelesaian proyek secara lebih akurat (Kojongian, Dundu and Arsjad, 2025). PERT juga memberikan kemampuan analisis risiko yang lebih baik karena dapat menghitung varians dan probabilitas keberhasilan jadwal (Mu'an, Hendriyani and Devi, 2024).

Selain mempertimbangkan metode analitis yang digunakan, proses penyusunan penjadwalan proyek dengan metode PDM dan PERT juga memerlukan dukungan alat bantu berupa *software* penjadwalan. Penggunaan *software* memungkinkan perhitungan durasi, lintasan kritis, hubungan antar aktivitas, serta analisis probabilitas dilakukan secara lebih cepat, akurat, dan sistematis. Dalam penerapan PDM, *software* membantu memvisualisasikan hubungan *finish-to-start*, *start-to-start*, *finish-to-finish*, maupun *start-to-finish* secara jelas dan presisi. Sementara pada metode PERT, *software* mempermudah proses memasukkan estimasi waktu optimis, paling mungkin, dan pesimis untuk menghasilkan durasi ekspektasi, varians, serta probabilitas pencapaian jadwal proyek. Dengan demikian, penggunaan *software* penjadwalan menjadi komponen penting dalam meningkatkan kualitas analisis penjadwalan dan memastikan hasil yang dihasilkan lebih reliabel serta aplikatif dalam dunia konstruksi.

Berdasarkan keunggulan metode PDM dalam mempresentasikan hubungan pekerjaan dan keunggulan PERT dalam menganalisis ketidakpastian durasi, penelitian ini difokuskan pada penyusunan dan analisis penjadwalan proyek menggunakan kedua metode tersebut. Melalui pendekatan ini, diharapkan diperoleh jadwal yang lebih akurat, realistis, serta informatif dalam mengidentifikasi lintasan kritis dan probabilitas penyelesaian proyek sehingga dapat mendukung efektivitas pengendalian waktu dalam pelaksanaan proyek konstruksi.

METODE

Data dan Pengumpulan Data

Penelitian ini menggunakan studi kasus Proyek Pembangunan Gedung Asrama Tsurayya *Islamic School* di Kabupaten Malang. Data diperoleh melalui wawancara, observasi lapangan, serta dokumen teknis proyek. Estimasi durasi optimis, paling mungkin, dan pesimis ($a-m-b$) dianalisis menggunakan metode PERT untuk menghasilkan durasi ekspektasi, standar deviasi, dan varians tiap aktivitas. Hasilnya kemudian disusun dalam jaringan kerja PDM untuk menentukan hubungan antaraktivitas dan lintasan kritis. Seluruh perhitungan dibantu oleh *software* penjadwalan berbasis jaringan kerja agar hasil lebih akurat dan sistematis.

Proses penelitian dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi kondisi umum proyek meliputi lokasi, ruang lingkup, organisasi, dan sistem pelaksanaan sebagai dasar analisis teknis.
2. Mengumpulkan data proyek, meliputi:
 - a. Data primer, berupa wawancara dengan kontraktor, pengawas, pemilik proyek, dan narasumber ahli untuk memperoleh estimasi durasi optimis, paling mungkin, dan pesimis ($a-m-b$) sebagai input analisis PERT.
 - b. Data sekunder, berupa gambar *Detail Engineering Design* (DED), Kurva-S, Rencana Anggaran Biaya (RAB), serta dokumen teknis lainnya sebagai dasar analisis volume, durasi, dan penjadwalan.
3. Melakukan analisis volume pekerjaan berdasarkan gambar DED sebagai acuan dalam menentukan ruang lingkup pekerjaan dan estimasi durasi aktivitas.

- Menentukan estimasi durasi awal setiap aktivitas berdasarkan produktivitas tenaga kerja dan metode pelaksanaan yang diterapkan di lapangan.
- Menganalisis durasi menggunakan metode PERT dengan mengolah estimasi waktu $a-m-b$ untuk mendapatkan durasi ekspektasi (t_e), standar deviasi, dan varians aktivitas sebagai dasar penyusunan jadwal.
- Menyusun penjadwalan proyek menggunakan *software* berbasis jaringan kerja dengan memasukkan nilai durasi ekspektasi (t_e) dan menetapkan hubungan ketergantungan antaraktivitas.
- Menyusun jaringan kerja proyek menggunakan *Precedence Diagram Method* (PDM) untuk menentukan jenis hubungan antar aktivitas (FS, SS, FF, SF), mengidentifikasi aktivitas kritis, serta memvisualisasikan alur pekerjaan berdasarkan hasil PERT.
- Melakukan analisis standar deviasi dan varians lintasan kritis dengan menjumlahkan nilai standar deviasi dan varians setiap aktivitas kritis guna mengetahui tingkat ketidakpastian durasi proyek serta potensi penyimpangan terhadap jadwal rencana.

Melalui tahapan tersebut, penelitian mampu menghasilkan model penjadwalan yang menggambarkan hubungan antaraktivitas, durasi ekspektasi, serta tingkat ketidakpastian durasi secara lebih akurat. Integrasi metode PERT dan PDM memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap variasi waktu dan sensitivitas aktivitas, sehingga jadwal yang disusun tidak hanya menunjukkan urutan pekerjaan, tetapi juga mencerminkan potensi deviasi durasi yang mungkin terjadi di lapangan. Dengan demikian, model penjadwalan yang dihasilkan menjadi lebih realistis, sistematis, dan efektif dalam mendukung proses perencanaan, pemantauan, serta pengendalian waktu pada proyek konstruksi.

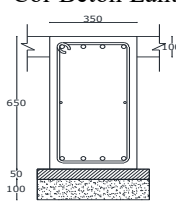
HASIL

Penelitian ini menganalisis kuantitas pekerjaan, durasi aktivitas, dan ketergantungan antar pekerjaan pada proyek konstruksi. Estimasi durasi ($a-m-b$) dari wawancara dan data lapangan diolah menggunakan metode PERT untuk memperoleh durasi ekspektasi dan standar deviasi. Hasil tersebut kemudian digunakan dalam penyusunan jaringan kerja PDM untuk menentukan hubungan antar aktivitas, mengidentifikasi lintasan kritis, dan menilai potensi keterlambatan serta risiko *rework*.

1. Analisis Volume Pekerjaan

Volume pekerjaan dihitung berdasarkan gambar DED sebagai acuan dalam menentukan kebutuhan sumber daya dan menetapkan durasi aktivitas. Contoh hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Perhitungan Volume Pekerjaan Pengecoran Lantai Kerja Sloof S1 Basement

No	Gambar Kerja	Dimensi	Uraian Perhitungan	(n)	Volume Pekerjaan
1		Cor Beton Lantai Kerja Untuk Sloof S1 Bentang 8m Panjang (p) = 8 m Lebar (l) = 0.45 m Tinggi (t) = 0.05 m Rencana (n) = 10 bh	$A = p \times t$ $= 8 \times 0.45$ $= 3.6 \text{ m}^2$	10	$V = A \times n$ $= 3.6 \times 10$ $= 36 \text{ m}^3$

Sumber : Hasil Analisa, 2025

2. Estimasi Durasi Pekerjaan

Berdasarkan Tabel 1, diperoleh volume Pekerjaan Pengecoran Lantai Kerja Sloof S1 Basement sebesar 1.8 m³. Volume tersebut selanjutnya digunakan sebagai dasar perhitungan kebutuhan tenaga kerja dan durasi aktivitas. Perhitungan kebutuhan tenaga kerja mengacu pada (Anonim, 2024) . Hasil perhitungan selanjutnya disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Durasi dan Kebutuhan Tenaga Kerja Pengecoran Lantai Kerja Sloof S1 Basement

Uraian	Sat.	Koef.	Volume	SDM 1 Hari Kerja	Ketersediaan SDM	Durasi Sesuai SDM	Durasi Pada Jadwal	SD Jadwal	
Pekerjaan Pengecoran Sloof S1 Lantai Basement									
Tenaga Kerja :									
Pekerja	OH	1.650	1.8	2.97	5	0.59	0.59	1	2.970
Tukang Batu	OH	0.275		0.50	3	0.17	0.59	1	0.495
Kepala Tukang	OH	0.028		0.05	1	0.05	0.59	1	0.050
Mandor	OH	0.009		0.02	1	0.02	0.59	1	0.016

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Berdasarkan perhitungan kebutuhan tenaga kerja pada volume pekerjaan sebesar 1.8 m³, durasi pelaksanaan Pekerjaan Pengecoran Lantai Kerja Sloof S1 Basement dalam jadwal rencana ditetapkan selama 1 hari. Penetapan durasi ini mempertimbangkan ketersediaan tenaga kerja serta durasi kerja efektif sumber daya manusia (SDM) sesuai acuan yang digunakan (Aldaffa, Munasih and Winanda, 2025), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.

3. Analisis Durasi Menggunakan Metode PERT

Setelah diperoleh estimasi awal durasi pekerjaan berdasarkan perhitungan volume dan produktivitas tenaga kerja, tahap selanjutnya adalah mengumpulkan data durasi melalui wawancara. Teknik wawancara dilakukan menggunakan *purposive sampling*, yaitu pemilihan narasumber secara sengaja berdasarkan kompetensi, pengalaman, dan keterlibatan langsung dalam proyek konstruksi. Narasumber terdiri dari pihak pelaksana proyek, tenaga ahli, serta akademisi yang memahami manajemen konstruksi

Setiap narasumber diminta memberikan tiga estimasi durasi untuk setiap aktivitas, yaitu durasi optimis (a), durasi paling mungkin (m), dan durasi pesimis (b). Estimasi ini kemudian dirata-ratakan untuk memperoleh nilai yang lebih representatif. Perhitungan rata-rata dilakukan menggunakan rumus:

$$n = \text{Jumlah data} / \text{Banyak data}$$

Sebagai contoh, hasil rekapitulasi nilai rata-rata durasi untuk Pekerjaan Pengecoran Lantai Kerja Sloof S1 Basement adalah sebagai berikut:

Durasi Optimis (a): 1 hari

Durasi Paling Mungkin (m): 1 hari

Durasi Pesimis (b): 1.375 hari

Nilai rata-rata a, m, dan b tersebut digunakan sebagai dasar perhitungan metode PERT untuk menentukan durasi harapan (*expected time*) (Bere *et al.*, 2024) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

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

Contoh Perhitungan:

$$te = (1 + 4(1) + 1.375) / 6$$

$$= 1.063 \text{ hari}$$

$$= 2 \text{ hari}$$

Keterangan:

te = waktu harapan (*expected time*)

a = waktu optimis

m = waktu paling mungkin

b = waktu pesimis

Nilai te ini selanjutnya digunakan sebagai durasi resmi aktivitas pada tahap penyusunan penjadwalan proyek. Hasil perhitungan seluruh aktivitas dirangkum dalam Tabel 3 sebagai dasar evaluasi durasi dan penyusunan jaringan kerja.

Tabel 3. Rekapitulasi Durasi dan Nilai PERT Setiap Aktivitas

NO	URAIAN PEKERJAAN	a	m	b	te
1	LANTAI BASEMENT				
5	Urugan Pasir Bawah Untuk Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.45 dan Tinggi 0.1 m	1.0	1.0	1.8	2
6	Urugan Pasir Bawah Untuk Sloof S2 jumlah perencanaan 8 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.5 dan Tinggi 0.1 m	1.0	1.0	1.8	2
7	Urugan Pasir Plat Lantai jumlah perencanaan 1 dengan Luassan 240 m ² dan Tinggi 0.1 m	1.8	1.8	2.5	2
8	Cor Beton Lantai Kerja Untuk Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.45 dan Tinggi 0.05 m	1.0	1.0	1.4	2
9	Cor Beton Lantai Kerja Untuk Sloof S2 jumlah perencanaan 8 dengan Panjang 8 meter Lebar 0.5 dan Tinggi 0.05 m	1.0	1.0	1.4	2
10	Cor Lantai Kerja Plat Lantai jumlah perencanaan 1 dengan Luassan 240 m ² dan Tinggi 0.05 m	1.0	1.0	1.8	2
	Pekerjaan Pembesian Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m				
11	Tulangan Utama Ulir D22+D13	1.8	1.8	2.9	2
12	Tulangan Sengkang Polos Ø10	1.4	1.4	2.5	2
	Pekerjaan Pembesian Sloof S2 jumlah perencanaan 8 dengan Panjang 8 m				
13	Tulangan Utama Ulir D22+D13	1.4	1.8	2.5	2
14	Tulangan Sengkang Polos Ø10	1.4	1.4	2.5	2

Sumber : Hasil Analisa, 2025

4. Penyusunan Penjadwalan Menggunakan Software Penjadwalan

Setelah durasi *expected time* (te) diperoleh dari analisis PERT, langkah selanjutnya adalah menyusun penjadwalan proyek menggunakan *software* penjadwalan. Pada tahap ini, setiap aktivitas tidak hanya diberi durasi, tetapi juga ditentukan relationship atau ketergantungannya terhadap aktivitas lain melalui konsep *predecessor*, yaitu pekerjaan pendahulu yang harus diselesaikan sebelum pekerjaan berikutnya dapat dimulai (Febriana and Aziz, 2021). Penetapan hubungan ini dilakukan berdasarkan alur pelaksanaan di lapangan, keterkaitan teknis antar pekerjaan, serta pengalaman pelaksana proyek, sehingga jadwal yang terbentuk lebih realistis dan terstruktur. Hasil penyusunan ini dirangkum dalam Tabel 4. yang menunjukkan durasi tiap aktivitas serta keterkaitannya dengan pekerjaan lain, sehingga memudahkan identifikasi urutan pelaksanaan dan pengelolaan ketergantungan antaraktivitas.

Tabel 4. Durasi dan Ketergantungan Aktivitas Proyek

NO	URAIAN PEKERJAAN	DURASI	PREDECESSOR
1	LANTAI BASEMENT		
5	Urugan Pasir Bawah Untuk Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.45 dan Tinggi 0.1 m	2	
6	Urugan Pasir Bawah Untuk Sloof S2 jumlah perencanaan 8 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.5 dan Tinggi 0.1 m	2	5SS
7	Urugan Pasir Plat Lantai jumlah perencanaan 1 dengan Luassan 240 m ² dan Tinggi 0.1 m	2	6SS
8	Cor Beton Lantai Kerja Untuk Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.45 dan Tinggi 0.05 m	2	5FS
9	Cor Beton Lantai Kerja Untuk Sloof S2 jumlah perencanaan 8 dengan Panjang 8 meter Lebar 0.5 dan Tinggi 0.05 m	2	6FS
10	Cor Lantai Kerja Plat Lantai jumlah perencanaan 1 dengan Luassan 240 m ² dan Tinggi 0.05 m	2	7FS
	Pekerjaan Pembesian Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m		
11	Tulangan Utama Ulir D22+D13	2	8FS
12	Tulangan Sengkang Polos Ø10	2	11SS
	Pekerjaan Pembesian Sloof S2 jumlah perencanaan 8 dengan Panjang 8 m		
13	Tulangan Utama Ulir D22+D13	2	9FS
14	Tulangan Sengkang Polos Ø10	2	13SS
	Pekerjaan Pembesian Kolom Struktur (K1) jumlah perencanaan 9 dengan Panjang 3.5 m		
15	Tulangan Utama Ulir D22	2	7SS
16	Tulangan Sengkang Polos Ø10	2	12SS

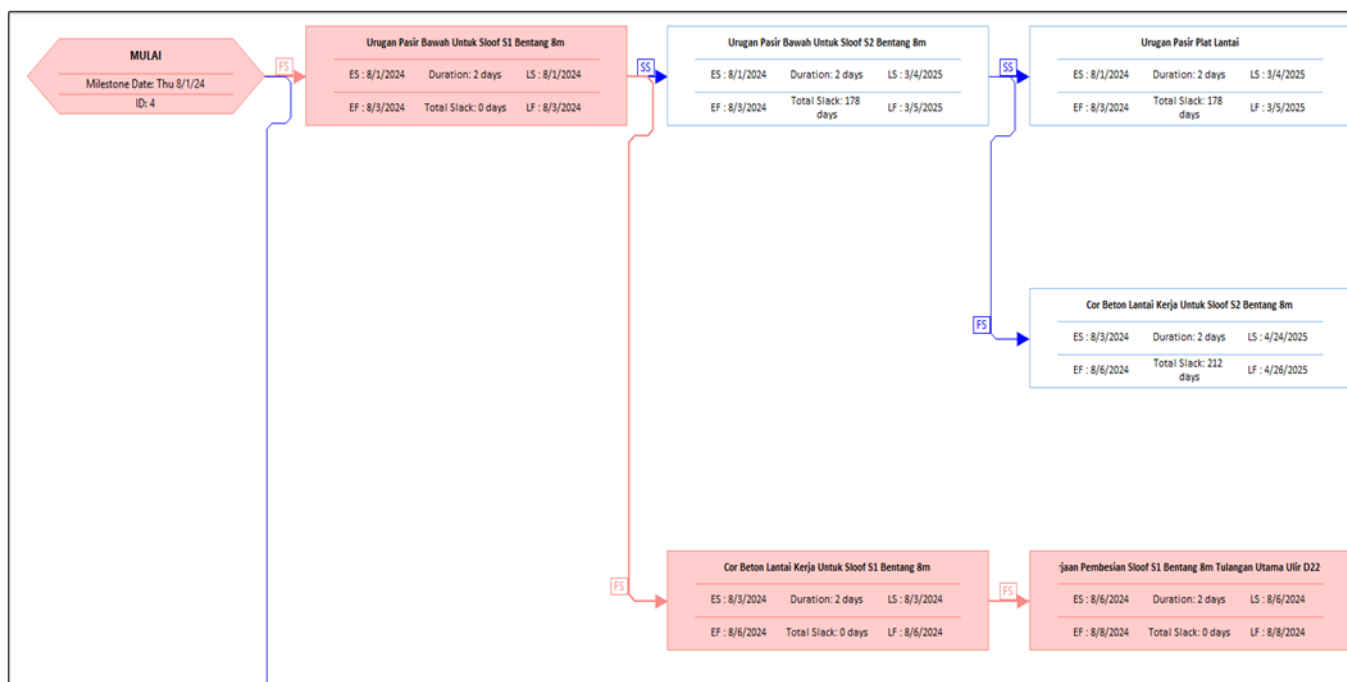
Sumber : Hasil Analisa, 2025

5. Penyusunan Precedence Diagram Method (PDM)

Setelah durasi tiap aktivitas dan hubungan ketergantungan antar pekerjaan ditentukan, tahap selanjutnya adalah menyusun jaringan kerja menggunakan *Precedence Diagram Method* (PDM). Metode ini memberikan visualisasi yang jelas mengenai urutan pelaksanaan aktivitas sekaligus menunjukkan hubungan logis antar pekerjaan, seperti *Finish to Start* (FS), *Start to Start* (SS), *Finish to Finish* (FF), dan *Start to Finish* (SF). Melalui PDM, alur kerja proyek dapat disusun secara lebih terstruktur sehingga hubungan teknis antaraktivitas dapat dipahami dengan lebih mudah (Tamalika *et al.*, 2025).

Penyusunan jaringan kerja tersebut memungkinkan identifikasi aktivitas kritis dan lintasan kritis. Aktivitas kritis merupakan pekerjaan yang memiliki total *float* nol dan durasinya secara langsung menentukan waktu penyelesaian proyek (Achmad and Rumbyarso, 2024). Dengan demikian, setiap penyimpangan pada aktivitas ini akan berdampak langsung terhadap waktu akhir proyek. Sementara itu, lintasan kritis merupakan rangkaian aktivitas terpanjang dari awal hingga akhir proyek yang menentukan durasi total pelaksanaan. Informasi mengenai lintasan kritis menjadi penting karena menunjukkan aktivitas-aktivitas yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap jadwal.

Melalui penerapan PDM, analisis hubungan antar pekerjaan dapat dilakukan secara sistematis sehingga memudahkan dalam memantau keterkaitan durasi, mengantisipasi potensi keterlambatan, dan meningkatkan efektivitas pengendalian waktu. Hasil jaringan kerja yang terbentuk juga mendukung proses perencanaan lanjutan, termasuk penjadwalan ulang serta penyesuaian alokasi sumber daya apabila diperlukan. Jaringan kerja yang telah disusun ditampilkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Precedence Diagram Method

Sumber : Hasil Analisa, 2025

6. Analisis Standar Deviasi dan Varians Lintasan Kritis

Setelah jaringan kerja proyek disusun menggunakan *Precedence Diagram Method* (PDM), aktivitas-aktivitas yang membentuk lintasan kritis dapat diidentifikasi. Aktivitas pada lintasan kritis memiliki *total float* bernilai nol sehingga durasinya menjadi penentu utama waktu penyelesaian proyek. Keterlambatan pada salah satu aktivitas tersebut akan langsung berdampak pada bertambahnya durasi total proyek (Dwiretnani, Handayani and Saputra, 2023). Selain mengidentifikasi urutan aktivitas kritis, metode PERT digunakan untuk menghitung tingkat ketidakpastian durasi melalui nilai standar deviasi (S) dan varians (v) pada setiap aktivitas.

Sebagai contoh, untuk aktivitas Pekerjaan Pengecoran Lantai Kerja Sloof S1 *Basement*, diperoleh estimasi durasi rata-rata dari hasil wawancara sebagai berikut:

- waktu optimis (a) = 1 hari
- waktu paling mungkin (m) = 1 hari
- waktu pesimis (b) = 1.375 hari.

Nilai ini kemudian dihitung menggunakan rumus standar deviasi:

$$S = (b - a) / 6$$

Contoh Perhitungan:

$$S = (1.375 - 1) / 6 = 0.06 \text{ hari}$$

Keterangan:

- S = Standar deviasi
- a = waktu optimis
- b = waktu pesimis

Selanjutnya, nilai varians dihitung dengan persamaan:

$$v = s^2 = ((b - a) / 6)^2$$

Contoh Perhitungan:

$$v = (0.0625)^2 = 0.004$$

Keterangan:

- v = nilai varians
- a = waktu optimis
- b = waktu pesimis

Hasil perhitungan tersebut menunjukkan bahwa aktivitas Pekerjaan Pengecoran Lantai Kerja Sloof S1 *Basement* memiliki tingkat ketidakpastian durasi yang rendah, ditandai dengan nilai standar deviasi dan varians yang kecil. Nilai S dan v dari aktivitas lain yang juga berada pada lintasan kritis kemudian dijumlahkan untuk

memperoleh ukuran ketidakpastian total lintasan kritis, di mana semakin besar nilai varians lintasan tersebut maka semakin besar pula potensi penyimpangan durasi proyek dari rencana. Rincian setiap aktivitas pada lintasan kritis beserta durasi, nilai standar deviasi, dan variansnya disajikan pada Tabel 5 sebagai dasar analisis risiko dan evaluasi ketidakpastian durasi proyek.

Tabel 5. Rekapitulasi Aktivitas Lintasan Kritis Beserta Nilai Standar Deviasi dan Varians

<i>NO</i>	<i>TASK NAME</i>	<i>S</i>	<i>v</i>
	LANTAI BASEMENT		
4	Mulai		
5	Urugan Pasir Bawah Untuk Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.45 dan Tinggi 0.1 m	0.13	0.016
8	Cor Beton Lantai Kerja Untuk Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m, Lebar 0.45 dan Tinggi 0.05 m	0.06	0.004
11	Pekerjaan Pembesian Sloof S1 jumlah perencanaan 10 dengan Panjang 8 m		
	Tulangan Utama Ulir D22+D13	0.19	0.035
15	Pekerjaan Pembesian Kolom Struktur (K1) jumlah perencanaan 9 dengan Panjang 3.5 m	0.19	0.035
27	Tulangan Utama Ulir D22	0.19	0.035
27	Bekisting Untuk Kolom Struktur K1 jumlah perencanaan 9 dengan Panjang 3.5 m, Lebar 0.8 m dan Tinggi 0.8 m	0.29	0.085
29	Beton Betulang Untuk Kolom Struktur K1 jumlah perencanaan 9 dengan Panjang 3.5 m, Lebar 0.8 m dan Tinggi 0.8 m	0.21	0.043
34	LANTAI 1		
	Pekerjaan Pembesian Balok B1 jumlah perencanaan 11 dengan Panjang 8 m		
61	Tulangan Utama Ulir D19	0.10	0.011
	Pekerjaan Pembesian Kolom Struktur (K1) jumlah perencanaan 29 dengan Panjang 4 m		
70	Tulangan Utama Ulir D22	0.25	0.063
105	Bekisting Untuk Kolom Struktur K1 jumlah perencanaan 29 dengan Panjang 4 m, Lebar 0.8 m dan Tinggi 0.8 m	0.52	0.271
108	Beton Betulang Untuk Kolom Struktur K1 jumlah perencanaan 29 dengan Panjang 4 m, Lebar 0.8 m dan Tinggi 0.8 m	0.25	0.063
115	LANTAI 2		
	Pekerjaan Pembesian Balok B1 jumlah perencanaan 36 dengan Panjang 8 m		
134	Tulangan Utama Ulir D19	0.27	0.073
	Pekerjaan Pembesian Kolom Struktur (K1) Jumlah perencanaan 36 dengan Panjang 1 m		
156	Tulangan Utama Ulir D22	0.13	0.016
197	Bekisting Untuk Kolom Struktur K1 jumlah perencanaan 36 dengan Panjang 1 m, Lebar 0.8 m dan Tinggi 0.8 m	0.21	0.043
202	Beton Betulang Untuk K1 jumlah perencanaan 36 dengan Panjang 1 m, Lebar 0.8 m dan Tinggi 0.8 m	0.17	0.028
205	Pekerjaan Pembongkaran Bekisting Untuk Kolom Struktur K1	0.17	0.028
208	Pekerjaan Baja Base Plate (800 mm x 800 mm)	0.48	0.230
210	Pekerjaan Baja Kolom C1 & C2 (400 mm x 400 mm) Bentang 2.5m	0.04	0.002
212	LANTAI 3		
229	Pekerjaan Baja Balok B3 (300 mm x 150 mm) Bentang 8m	1.38	1.891
237	Kebutuhan Pelat Lantai Precast		
	Pemasangan Panel Lantai	0.69	0.473
238	Pekerjaan Baja Kolom C1 & C2 (400 mm x 400 mm) Bentang 3.5m	1.15	1.313
245	LANTAI 4		
262	Pekerjaan Baja Balok B3 (300 mm x 150 mm) Bentang 8m	1.38	1.891
270	Kebutuhan Pelat Lantai Precast		
	Pemasangan Panel Lantai	0.85	0.730
271	Pekerjaan Baja Kolom C1 & C2 (400 mm x 400 mm) Bentang 3.5m	1.00	1
278	LANTAI 5		
295	Pekerjaan Baja Balok B3 (300 mm x 150 mm) Bentang 8m	1.31	1.723
303	Kebutuhan Pelat Lantai Precast		
	Pemasangan Panel Lantai	0.67	0.444
304	Pekerjaan Baja Kolom C1 & C2 (400 mm x 400 mm) Bentang 3.5m	0.79	0.627

Tabel 6. Rekapitulasi Aktivitas Lintasan Kritis Beserta Nilai Standar Deviasi dan Varians (lanjutan)

NO	TASK NAME	S	v
311	LANTAI 6		
328	Pekerjaan Baja Balok B3 (300 mm x 150 mm) Bentang 8m	1.50	2.250
336	Kebutuhan Pelat Lantai Precast		
	Pemasangan Panel Lantai	0.79	0.627
337	Pekerjaan Baja Kolom C1 & C2 (400 mm x 400 mm) Bentang 3.5m	0.92	0.840
338	Pekerjaan Cat Permukaan Baja dengan Meni Besi Kolom C1 & C2 (400 mm x 400 mm) Bentang 3.5m	0.27	0.073

Sumber : Hasil Analisa, 2025

Untuk menilai tingkat ketidakpastian durasi pada lintasan kritis, dilakukan perhitungan standar deviasi lintasan kritis (sLK) dengan menjumlahkan nilai standar deviasi dari seluruh aktivitas yang berada pada lintasan tersebut. Berdasarkan hasil analisis diperoleh:

$$sLk = 0.13 + 0.06 + 0.19 + 0.19 + 0.29 + 0.21 + 0.10 + 0.25 + 0.52 + 0.25 + 0.27 + 0.13 + 0.21 + 0.17 + 0.17 + 0.48 + 0.04 + 1.38 + 0.69 + 1.15 + 1.38 + 0.85 + 1.00 + 1.31 + 0.67 + 0.79 + 1.50 + 0.79 + 0.92 + 0.27 = 13.88 \text{ hari}$$

Berdasarkan nilai tersebut, varians lintasan kritis (vLK) dihitung menggunakan

$$vLk = \sqrt{Slk} = \sqrt{13.88} = 3.72 \text{ Hari} = 4 \text{ Hari}$$

Nilai 13,88 hari merupakan akumulasi standar deviasi dari seluruh aktivitas yang berada pada lintasan kritis. Berdasarkan hasil penjadwalan menggunakan metode PERT–PDM, durasi total proyek yang diperoleh sebesar 225 hari sebagai durasi harapan (*expected time*) memiliki tingkat ketidakpastian sekitar ± 4 hari, yang ditunjukkan oleh nilai akar total varians lintasan kritis. Dengan demikian, proyek memiliki potensi penyimpangan waktu sebesar ± 4 hari dari estimasi durasi harapan. Informasi ini menjadi indikator penting dalam menilai risiko keterlambatan proyek, karena semakin besar nilai akar varians tersebut, semakin tinggi kemungkinan proyek tidak dapat diselesaikan sesuai dengan jadwal rencana.

Selain itu, nilai varians pada masing-masing aktivitas dalam lintasan kritis menggambarkan tingkat ketidakpastian durasi setiap pekerjaan. Aktivitas dengan varians yang lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk mengalami deviasi waktu, sehingga memberikan kontribusi yang lebih signifikan terhadap risiko keterlambatan proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, aktivitas-aktivitas tersebut perlu mendapatkan perhatian khusus dalam proses pengendalian waktu, termasuk pemantauan progres secara berkala, evaluasi ketergantungan antar pekerjaan, serta penyesuaian metode pelaksanaan apabila diperlukan. Dengan memahami distribusi varians ini, potensi deviasi durasi dapat ditekan sehingga keandalan jadwal proyek dapat tetap terjaga.

Pembahasan

Hasil analisis menunjukkan bahwa penerapan metode PERT dan PDM mampu memberikan pemahaman yang lebih menyeluruh terhadap ketidakpastian durasi dan pengaruh hubungan antar aktivitas pada Proyek Pembangunan Gedung Asrama Tsurayya *Islamic School*, di mana pemodelan penjadwalan PERT–PDM menghasilkan durasi total proyek sebesar 225 hari sebagai durasi harapan (*expected time*). Pekerjaan awal seperti urugan, lantai kerja, dan pembesian memiliki nilai varians relatif kecil, yaitu berkisar antara 0.004, sehingga durasinya lebih stabil dan berisiko rendah terhadap penyimpangan waktu. Sebaliknya, pekerjaan struktur atas menunjukkan nilai varians yang besar, terutama pada pekerjaan baja balok B3 pada lantai 6 dengan varians 2.250, yang mencerminkan tingginya ketidakpastian durasi akibat kompleksitas pekerjaan dan ketergantungan pada peralatan khusus. Ketika nilai *expected time* disusun dalam jaringan kerja PDM, aktivitas dengan varians besar tersebut teridentifikasi berada pada lintasan kritis, sehingga setiap keterlambatan akan berdampak langsung pada durasi total proyek. Akumulasi standar deviasi lintasan kritis sebesar 13,88 hari dengan nilai akar varians sekitar 4 hari menunjukkan bahwa durasi proyek sebesar 225 hari tersebut memiliki tingkat ketidakpastian sekitar ± 4 hari dari jadwal rencana, sehingga aktivitas kritis dengan tingkat ketidakpastian tinggi memerlukan pengawasan dan koordinasi yang lebih intensif untuk meningkatkan efektivitas pengendalian waktu proyek.

SIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa metode PERT dan PDM efektif dalam menganalisis ketidakpastian durasi dan risiko *rework* pada Proyek Pembangunan Gedung Asrama Tsurayya *Islamic School*. Pemodelan penjadwalan menggunakan metode PERT–PDM menghasilkan durasi total proyek sebesar 225 hari sebagai durasi harapan

(*expected time*), yang disertai tingkat ketidakpastian durasi. Nilai varians terbesar terdapat pada pekerjaan baja balok B3 pada lantai 6 sebesar 2.250, yang menunjukkan bahwa aktivitas tersebut memiliki risiko ketidakpastian jadwal tertinggi. Akumulasi standar deviasi lintasan kritis sebesar 13.88 hari dengan nilai akar varians sekitar ± 4 hari menunjukkan bahwa durasi proyek 225 hari tersebut berpotensi mengalami penyimpangan sebesar ± 4 hari dari jadwal rencana. Penelitian selanjutnya disarankan untuk mengembangkan analisis probabilistik menggunakan simulasi *Monte Carlo*, memperluas objek studi pada berbagai jenis proyek konstruksi, serta mengintegrasikan analisis biaya melalui pendekatan *time-cost trade off* guna mengevaluasi efektivitas strategi percepatan seperti *fast-tracking* dan *crashing*, sehingga diperoleh rekomendasi mitigasi durasi yang lebih efisien dan sesuai dengan kondisi proyek.

DAFTAR PUSTAKA

- Achmad, F.A. and Rumbyarso, Y.P.A. (2024) "Analisis Penjadwalan Proyek Klinik Spesialis Mata & THT Ayani dengan PERT & CPM," *Multiscience*, (April), pp. 1–8.
- Aldaffa, G., Munasih and Winanda, L.A.R. (2025) "Penerapan Metode *Precedence Diagram Method* untuk Penjadwalan dan Pembiayaan Proyek Pembangunan Rumah Sakit," *e-journal*, 2(1), pp. 1–10.
- Anonim (2024) Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Bidang Cipta Karya dan Perumahan. Jakarta.
- Bere, G. *et al.* (2024) "Analisis Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode PERT (Proyek Pembangunan Gedung DPRD Kabupaten Sleman Daerah Istimewa Yogyakarta)," *Jurnal Ilmiah Teknik dan Ilmu Komputer*, 3(1), pp. 63–71.
- Dwiretnani, A., Handayani, E. and Saputra, N. (2023) "Evaluasi Penjadwalan Waktu Proyek Pembangunan Gedung Menggunakan *Critical Path Method* (CPM)," *Jurnal Talenta Sipil*, 6(1995), pp. 391–400. Available at: <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v6i2.334>.
- Ekawati, R. *et al.* (2025) "Penerapan Metode CPM-PERT Berbasis *MS Project* dan Analisis Kausalitas pada Proyek Pembangunan Poliklinik ABC," *Journal of Systems Engineering and Management*, 04(01), pp. 1–7.
- Faisal, Ingsih, I.S. and Aasniari (2025) "Analisis Penjadwalan Proyek Konstruksi dengan Menggunakan Metode *Project Evaluation Review Technique* (PERT) dan *Critical Path Method* (CPM) pada Proyek Pembangunan Gedung Riset dan Inovasi Ilmu Komputer Universitas Brawijaya Tahap 1," *Jurnal Rekayasa Sipil*, 15(2), pp. 311–318.
- Febriana, W. and Aziz, U.A. (2021) "Analisis Penjadwalan Proyek dengan Metode PERT Menggunakan *Microsoft Project 2016*," *Jurnal Ilmu Teknik Sipil*, 5(d), pp. 37–45. Available at: <http://jurnal.umpwr.ac.id/index.php/suryabeton%0AAAnalisis>.
- Kojongian, J.F., Dundu, A.K.T. and Arsjad, T.T. (2025) "Penerapan Metode PERT Untuk Penjadwalan Gedung Kuliah FMIPA Jurusan Farmasi Universitas Sam Ratulangi Junita," *Jurnal Tekno*, 23(91). Available at: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno>.
- Langkun, C.N. V., Mangare, J.B. and Tjakra, J. (2025) "Penjadwalan Waktu Proyek Pembangunan Puskesmas Kakaskasen, Tomohon Dengan Menggunakan Metode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)," *Jurnal Tekno*, 23(91). Available at: <https://ejournal.unsrat.ac.id/v3/index.php/tekno>.
- Lauriska, N.F., Negoro, Y.P. and Priyana, E.D. (2025) "Analisis Waktu dan Biaya Proyek Sistem *Sie Water* Menggunakan Metode CPM dan PERT (Studi Kasus: PT.Swadaya Graha)," *Jurnal Teknologi dan Manajemen Industri Terapan (JTMIT)*, 4(4), pp. 1550–1558.
- Mu'an, M.C., Hendriyani, I. and Devi, S.M. (2024) "Analisis Probabilitas Keberhasilan Proyek dengan Metode PDM dan PERT Pada Proyek Pembangunan," *Jurnal Penelitian Teknik*, 1, pp. 104–115.
- Pangestika Oirala Kawuri, S. (2025) "Evaluasi Penjadwalan Pembangunan Pembangkit Listrik Terapung dengan Menggunakan Metode *Project Evaluation Review Technique* (PERT)," *Briliant: Jurnal Riset dan Konseptual Vol.*, 10(3), pp. 777–791. Available at: <http://www.jurnal.unublitar.ac.id/index.php/briliant>.
- Pratama, P.I., Winanda, L.A.R. and Munasih (2023) Penjadwalan Ulang dengan *Precedence Diagram Method* (PDM) pada Proyek Konstruksi Gedung Penunjang Pembelajaran Universitas Negeri Malang, *Student Journal GELAGAR*.
- Sari, D.M. *et al.* (2025) "Biaya dan Waktu Proyek Gedung Satnarkoba dengan Metode CPM dan Metode PERT," *Jurnal Talenta Sipil*, 8(2), pp. 900–906. Available at: <https://doi.org/10.33087/talentasipil.v8i2.969>.
- Tamalika, T. *et al.* (2025) "Aplikasi Penjadwalan Proyek dengan PDM (*Precedence Diagram Method*) pada Pekerjaan Konstruksi di CV. Wahyu Jaya Persada Konsultan Palembang," *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(1), pp. 66–76. Available at: <http://jurnal.dokicti.org/index.php/bersama/index>.
- Wahyudiono, S. *et al.* (2023) "Penerapan Metode *Program Evaluation and Review Technique* (PERT) pada Proyek Malang *Creative Center* (MCC) Berdasarkan *Building Information Modelling* (BIM)," *Media Teknik Sipil*, 21(2), pp. 66–76. Available at: <https://ejournal.umm.ac.id/index.php/jmts/article/view/28969>.