

Evaluasi Penerapan Teknik Crashing dalam Manajemen Waktu Pembangunan Rumah Subsidi Metode CPM dan PERT (Studi Kasus Rumah Pondok Alam Desa Sigara-Gara)

Khalid Bima Purnomo¹, Melloukey Ardan²

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

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

^{1,2}E-mail: indonesia1410raya@gmail.com

Abstract — Project scheduling is a key element in construction planning, aimed at determining the project execution timeline based on the sequence of activities from start to finish within the set time frame. This study utilizes the Critical Path Method (CPM) and the Project Evaluation and Review Technique (PERT) to address the scheduling challenges in the housing construction project. The primary objective of this research is to identify the critical paths within the project and evaluate the project duration, using the CPM approach and crashing technique to accelerate the completion of activities on the critical path. The primary data used includes S-curves, bar charts, and direct data from the implementer of the Pondok Alam Sigara-Gara housing project. The research results indicate two critical paths in the project, namely path A - E - F - G - M - N - P - Q and path B - C - D - I. Using the CPM method, the original project duration of 30 days can be reduced to 25 days. The application of PERT with crashing shows varying results: a 1-day acceleration results in a duration of 22 days with an additional cost of IDR 11,280,000, a 2-day acceleration results in a duration of 21 days with an additional cost of IDR 14,100,000, and a 3-day acceleration results in a duration of 22 days with an additional cost of IDR 12,690,000. The analysis results demonstrate that increasing the workforce is more cost-effective than overtime in terms of both cost efficiency and project duration.

Keywords: time management; PERT crashing; critical path.

Abstrak — Penjadwalan proyek merupakan salah satu elemen penting dalam perencanaan konstruksi, yang bertujuan untuk menentukan timeline pelaksanaan proyek berdasarkan urutan kegiatan dari awal sampai akhir dalam jangka waktu yang ditetapkan. Penelitian ini menggunakan Critical Path Method (CPM) dan Project Evaluation and Review Technique (PERT) untuk mengatasi tantangan penjadwalan dalam proyek pembangunan perumahan. Tujuan utama penelitian ini adalah mengidentifikasi jalur kritis dalam proyek dan mengevaluasi durasi proyek, dengan menggunakan pendekatan CPM dan teknik crashing untuk mempercepat penyelesaian kegiatan pada jalur kritis. Data primer yang digunakan meliputi kurva-S, diagram batang, dan data langsung dari pelaksana proyek perumahan Pondok Alam Sigara-Gara. Hasil penelitian menunjukkan dua jalur kritis dalam proyek, yaitu jalur A - E - F - G - M - N - P - Q dan jalur B - C - D - I. Dengan menggunakan metode CPM, durasi proyek semula 30 hari dapat dipersingkat menjadi 25 hari. Penerapan PERT dengan crashing menunjukkan hasil yang bervariasi: percepatan 1 hari menghasilkan durasi 22 hari dengan tambahan biaya Rp11.280.000, percepatan 2 hari menghasilkan durasi 21 hari dengan tambahan biaya Rp14.100.000, dan percepatan 3 hari menghasilkan durasi 22 hari dengan tambahan biaya Rp12.690.000. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan tenaga kerja lebih hemat biaya dibandingkan dengan lembur baik dari segi efisiensi biaya maupun durasi proyek.

Kata-kata kunci: manajemen waktu; PERT crashing; jalur kritis.

I. PENDAHULUAN

Perumahan adalah kebutuhan pokok yang memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas hidup (Polli et al., 2017). Selain sebagai tempat tinggal, perumahan juga berfungsi sebagai lingkungan sosial yang mendukung interaksi antarindividu serta menyediakan prasarana ekonomi, budaya, dan layanan yang terintegrasi dalam suatu sistem perkotaan (Paryitno et al., 2019). Namun, dalam

implementasinya, pembangunan perumahan sering menghadapi tantangan dalam hal manajemen waktu yang dapat berdampak pada keterlambatan proyek dan peningkatan biaya konstruksi (Usman et al., 2023).

Menurut Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (Proses Penetapan Pekerjaan Konstruksi terintegrasi Rancang dan Bangun (Design and Build), 2023) kebutuhan perumahan di Indonesia diperkirakan mencapai 30 juta unit

hingga tahun 2025, dengan rata-rata kebutuhan sebesar 1,2 juta unit per tahun. Keterbatasan lahan, sumber daya tenaga kerja, serta efisiensi pelaksanaan proyek menjadi tantangan utama dalam memenuhi kebutuhan tersebut. Oleh karena itu, diperlukan metode manajemen waktu yang efektif untuk memastikan bahwa proyek dapat selesai tepat waktu tanpa mengorbankan kualitas maupun efisiensi biaya (Prawiro, 2014). Manajemen waktu dalam proyek konstruksi sangat bergantung pada efektivitas perencanaan dan penjadwalan (Asnuddin et al., 2018). Metode Critical Path Method (CPM) dan Project Evaluation and Review Technique (PERT) merupakan dua pendekatan utama dalam optimasi durasi Proyek (Ridwan, 2020). CPM digunakan untuk menentukan jalur kritis, yaitu serangkaian aktivitas yang tidak memiliki slack time dan secara langsung mempengaruhi durasi keseluruhan proyek (Mamesah et al., 2022). PERT, di sisi lain, mempertimbangkan ketidakpastian dalam proyek dengan menganalisis estimasi waktu optimis, pesimistis, dan paling mungkin guna mengevaluasi probabilitas penyelesaian proyek (Regel & Waskito, 2022).

Selain itu, teknik crashing diterapkan untuk mempercepat proyek dengan menambahkan sumber daya atau meningkatkan jam kerja guna mengurangi durasi proyek (Heizer & Render, 2022). Namun, percepatan proyek harus dievaluasi secara cermat agar tidak menimbulkan peningkatan biaya yang tidak efisien. Dalam konteks ini (Stephanie et al., 2022). CPM digunakan untuk mengidentifikasi jalur kritis, sementara PERT dapat membantu mengantisipasi variabilitas dalam estimasi durasi Proyek (Suparno, 2015). Dengan mengombinasikan kedua metode ini, pelaksana proyek dapat lebih fleksibel dalam mengalokasikan sumber daya untuk mencapai efisiensi yang lebih baik (Husen, 2011).

Selain faktor teknis, keberhasilan penerapan metode ini juga bergantung pada kesiapan tenaga kerja, efektivitas komunikasi antar pemangku kepentingan proyek, serta penggunaan perangkat lunak manajemen proyek untuk meningkatkan akurasi perencanaan. Dalam skala global, banyak proyek perumahan mengalami keterlambatan akibat kurangnya sinkronisasi antara penjadwalan, pengadaan material, dan alokasi tenaga kerja, sehingga studi ini juga menyoroti faktor-faktor non-teknis yang

berkontribusi terhadap inefisiensi waktu konstruksi (Fanny et al., 2020).

Pembangunan perumahan bersubsidi memiliki karakteristik khusus yang membedakannya dari proyek perumahan komersial, terutama dalam hal pembiayaan, regulasi pemerintah, serta standar teknis yang harus dipenuhi. Implementasi metode CPM dan PERT dalam proyek perumahan bersubsidi menghadapi berbagai kendala, termasuk keterbatasan anggaran, peraturan mengenai material yang digunakan, serta kepatuhan terhadap jadwal yang telah ditentukan (Institute, 2013). Penggunaan metode CPM dan PERT dalam proyek ini bertujuan untuk mengidentifikasi jalur kritis dan menyesuaikan alokasi sumber daya agar proyek dapat berjalan sesuai rencana tanpa mengalami keterlambatan yang signifikan (Simatupang et al., 2015).

Selain itu, proyek perumahan bersubsidi sering kali melibatkan banyak pemangku kepentingan, termasuk pemerintah, pengembang, dan masyarakat penerima manfaat (Erviyanto, 2005). Koordinasi yang buruk antar pemangku kepentingan dapat menyebabkan hambatan dalam pelaksanaan proyek. Oleh karena itu, diperlukan strategi manajemen yang lebih efektif agar implementasi metode CPM dan PERT dapat diterapkan secara optimal dalam konteks perumahan bersubsidi.

Adapun pertanyaan penelitian yang dibahas dalam studi ini adalah Bagaimana pengaruh jalur kritis terhadap durasi pengerjaan proyek pembangunan rumah subsidi di Perumahan Pondok Alam, Berapa total durasi proyek setelah menerapkan metode CPM dan PERT dengan teknik crashing dan Seberapa efektif metode CPM dan PERT dalam mengoptimalkan manajemen waktu pada pembangunan rumah subsidi.

Penelitian ini bertujuan untuk memberikan kontribusi terhadap kajian manajemen waktu konstruksi dengan menyediakan bukti empiris mengenai penerapan CPM dan PERT pada proyek perumahan. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan bagi pengembang dan kontraktor dalam mengoptimalkan jadwal proyek serta mengurangi risiko keterlambatan dalam konstruksi perumahan. Selain itu, hasil studi ini juga dapat menjadi referensi dalam mengembangkan kebijakan perencanaan proyek perumahan yang lebih efektif dan efisien.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pemerintah memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung efisiensi waktu pembangunan perumahan bersubsidi melalui berbagai kebijakan. Salah satu kebijakan utama yang berpengaruh terhadap percepatan proyek adalah regulasi terkait perizinan dan pengadaan lahan. Proses birokrasi yang panjang dapat memperlambat pelaksanaan proyek, sehingga kebijakan yang lebih fleksibel dalam perizinan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi waktu konstruksi (Jaya & Dewi, 2007).

Sebagai contoh, pemerintah Indonesia telah menerapkan sistem perizinan berbasis online melalui Online Single Submission (OSS) yang bertujuan untuk menyederhanakan proses administrasi proyek konstruksi, termasuk perumahan bersubsidi (Rahayu & Rahim, 2022). Dengan OSS, waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh izin mendirikan bangunan (IMB) dapat dipersingkat, sehingga proyek dapat segera dimulai tanpa tertunda oleh masalah perizinan.

Selain itu, pemerintah juga memberikan berbagai bentuk subsidi untuk mendukung percepatan proyek perumahan bersubsidi, seperti subsidi selisih bunga dan bantuan pembiayaan perumahan berbasis Fasilitas Likuiditas Pembiayaan Perumahan (FLPP) (perumahan dan Kawasan Permukiman, 2011). Program ini memungkinkan pengembang mendapatkan sumber pendanaan dengan bunga rendah sehingga mereka dapat lebih fokus pada percepatan pembangunan tanpa terbebani oleh kendala finansial yang besar (Badri, 1997).

Dari sisi material (Heizer & Render, 2022) kebijakan penggunaan material lokal dengan harga terjangkau turut berkontribusi dalam efisiensi waktu dan biaya pembangunan. Pemerintah mendorong penggunaan bahan bangunan yang sudah bersertifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) guna memastikan kualitas yang sesuai tanpa menghambat proses pengadaan material.

Dengan demikian, penerapan metode CPM dan PERT dalam proyek perumahan bersubsidi harus diselaraskan dengan kebijakan pemerintah agar dapat memberikan hasil yang optimal dalam penyelesaian proyek. Kebijakan yang mendukung efisiensi perizinan, subsidi pembiayaan, dan penggunaan material yang sesuai dapat membantu pengembang mengurangi risiko keterlambatan serta

meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan proyek perumahan bersubsidi.

Pemerintah memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung efisiensi waktu pembangunan perumahan bersubsidi melalui berbagai kebijakan. Salah satu kebijakan utama yang berpengaruh terhadap percepatan proyek adalah regulasi terkait perizinan dan pengadaan lahan. Proses birokrasi yang panjang dapat memperlambat pelaksanaan proyek, sehingga kebijakan yang lebih fleksibel dalam perizinan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi waktu konstruksi.

Sebagai contoh, pemerintah Indonesia telah menerapkan sistem perizinan berbasis online melalui Online Single Submission (OSS) yang bertujuan untuk menyederhanakan proses administrasi proyek konstruksi, termasuk perumahan bersubsidi. Dengan OSS, waktu yang dibutuhkan untuk memperoleh izin mendirikan bangunan (IMB) dapat dipersingkat, sehingga proyek dapat segera dimulai tanpa tertunda oleh masalah perizinan.

Selain itu, pemerintah juga memberikan berbagai bentuk subsidi untuk mendukung percepatan proyek perumahan bersubsidi, seperti subsidi selisih bunga dan bantuan pembiayaan perumahan berbasis Fasilitas Likuiditas Pembiayaan Perumahan (FLPP) (Nurhayati, 2010). Program ini memungkinkan pengembang mendapatkan sumber pendanaan dengan bunga rendah sehingga mereka dapat lebih fokus pada percepatan pembangunan tanpa terbebani oleh kendala finansial yang besar.

Dari sisi material, kebijakan penggunaan material lokal dengan harga terjangkau turut berkontribusi dalam efisiensi waktu dan biaya pembangunan. Pemerintah mendorong penggunaan bahan bangunan yang sudah bersertifikasi Standar Nasional Indonesia (SNI) guna memastikan kualitas yang sesuai tanpa menghambat proses pengadaan material (PUPR, 2010).

Dengan demikian, penerapan metode CPM dan PERT dalam proyek perumahan bersubsidi harus diselaraskan dengan kebijakan pemerintah agar dapat memberikan hasil yang optimal dalam penyelesaian proyek. Kebijakan yang mendukung efisiensi perizinan, subsidi pembiayaan, dan penggunaan material yang sesuai dapat membantu pengembang mengurangi risiko keterlambatan serta

meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan proyek perumahan bersubsidi.

Pemerintah memiliki peran yang sangat penting dalam mendukung efisiensi waktu pembangunan perumahan bersubsidi melalui berbagai kebijakan. Salah satu kebijakan utama yang berpengaruh terhadap percepatan proyek adalah regulasi terkait perizinan dan pengadaan lahan (Siswanto, 2018). Proses birokrasi yang panjang dapat memperlambat pelaksanaan proyek, sehingga kebijakan yang lebih fleksibel dalam perizinan diharapkan dapat meningkatkan efisiensi waktu konstruksi.

Selain itu, pemerintah juga dapat mendorong penggunaan teknologi konstruksi yang lebih efisien untuk mempercepat pembangunan rumah bersubsidi. Program-program bantuan dalam bentuk subsidi material atau insentif pajak bagi pengembang yang menerapkan metode manajemen waktu yang efektif dapat menjadi solusi untuk mengurangi risiko keterlambatan proyek. Oleh karena itu, penerapan metode CPM dan PERT dalam proyek perumahan bersubsidi harus diselaraskan dengan kebijakan pemerintah agar dapat memberikan hasil yang optimal dalam penyelesaian Proyek (Syelviani, 2020).

Meskipun metode CPM dan PERT telah banyak diterapkan dalam proyek infrastruktur skala besar, terdapat kesenjangan dalam penerapannya pada proyek perumahan, khususnya dalam konteks pembangunan rumah bersubsidi. Sebagian besar penelitian sebelumnya lebih banyak berfokus pada proyek jalan raya, gedung bertingkat, dan infrastruktur publik, sementara studi yang menelaah implementasi metode ini dalam proyek pembangunan rumah sederhana masih terbatas (Christian Ezra M dkk, 2022). Hal ini menjadi tantangan bagi pengembang perumahan yang menghadapi permasalahan efisiensi waktu tanpa mengorbankan anggaran proyek. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi kesenjangan tersebut Dengan mengevaluasi efektivitas metode CPM dan PERT dalam proyek pembangunan rumah tipe 36 bersubsidi di Perumahan Pondok Alam Sigara-Gara.

Selain itu, fenomena keterlambatan sering terjadi dalam proyek konstruksi akibat ketidakefektifan manajemen sumber daya dan kurangnya konsistensi dalam perencanaan jadwal proyek (Rovel Brando dkk, 2017). Keterlambatan ini dapat berdampak pada meningkatnya biaya tenaga kerja, material, dan peralatan, serta berimbas pada ketidakpuasan pemilik proyek

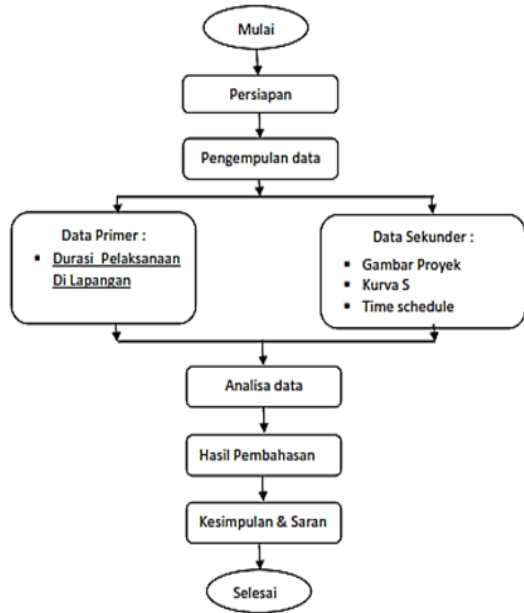
dan masyarakat yang membutuhkan hunian (Iwawo et al., 2016). Studi ini akan menguji apakah kombinasi metode CPM dan PERT dengan teknik crashing dapat menghasilkan strategi percepatan proyek yang optimal tanpa meningkatkan biaya secara signifikan. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya memberikan solusi teknis, tetapi juga mempertimbangkan aspek ekonomis dalam implementasi metode manajemen waktu di sektor perumahan (Widiasanti & Lenggogeni, 2013).

III. METODE

Penelitian ini dilakukan pada kawasan perumahan Pondok Alam, Desa Sigara-Gara, Kabupaten Deli Serdang, dengan luas tanah 78 meter dan bangunan 45 meter yang merupakan salah satu kawasan pemukiman strategis dengan lingkungan yang asri. Faktor-faktor seperti udara yang sejuk, kedekatan dengan daerah pegunungan, serta kontur tanah yang mendukung menjadikan kawasan ini menarik bagi masyarakat untuk dijadikan hunian.

Metode penelitian yang digunakan dalam studi ini terdiri dari studi literatur dan studi lapangan, yang saling mendukung dalam mencapai tujuan penelitian. Studi literatur dilakukan dengan menelaah berbagai sumber akademik seperti buku, jurnal ilmiah, serta dokumen daring terkait metode manajemen waktu dalam proyek konstruksi, khususnya yang berhubungan dengan Critical Path Method (CPM) dan Project Evaluation and Review Technique (PERT). Selain itu, studi ini juga mendalami penggunaan teknik crashing dalam optimalisasi waktu proyek, dengan merujuk pada referensi yang relevan.

Sementara itu, studi lapangan dilakukan dengan observasi langsung pada proyek pembangunan perumahan Pondok Alam. Data yang dikumpulkan meliputi perencanaan proyek, durasi pekerjaan, serta implementasi teknik manajemen waktu yang diterapkan di lapangan. Dalam analisisnya, penelitian ini menggunakan metode CPM dan PERT untuk mengidentifikasi jalur kritis proyek, serta mengevaluasi efektivitas teknik crashing dalam mempercepat durasi penyelesaian proyek tanpa meningkatkan biaya secara signifikan.



Gambar 1. Bagan alir penelitian

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proyek pembangunan perumahan “Pondok Alam Desa Sigara- gara “ yang mempunyai banyak type . Bentuk rumah yang terdiri dari Type 36, 45, Type 75 dan Jenis Ruko , sedangkan dalam penelitian type rumah yang dipilih merupakan rumah type 36, dimana uraian pekerjaan yang dimulai dari pekerjaan persiapan sampai pekerjaan luar bangunan, uraian serta durasi dari masing kegiatan dapat dilihat dalam Tabel. 1.

Tabel 1. Durasi kegiatan proyek

No	Aktivitas Pekerjaan	Durasi Pekerjaan (Hari)
1	Pekerjaan persiapan	2
2	Pekerjaan Pondasi type PC.1	5
3	Pekerjaan pondasi Batu bata	7
4	Pekerjaan balok sloff type BSI	7
5	Pekerjaan kolom type K1	4
6	Pekerjaan kolom tipe KP	7
7	Pekerjaan ring balok 5x20	2
8	Pekerjaan plat dak beton	3
9	Pekerjaan lantai	6
10	Pekerjaan dinding	7
11	Pekerjaan kusen pintu dan jendela	6
12	Pekerjaan plafon	3
13	Pekerjaan KM/WC	3
14	Pekerjaan atap	2
15	Pekerjaan instalasi listrik	4
16	Pekerjaan instalasi air / sanitasi	2
17	Pekerjaan luar bangunan	2

Metode CPM

Durasi normal

Durasi normal proyek dapat ditentukan berdasarkan time schedule. Durasi dari setiap kegiatan dapat dilihat dalam tabel 1.1

Network planning (NWP)

Sebuah proyek terdiri dari berbagai kegiatan, yang masing-masing diberi kode untuk memudahkan pemahaman.

Analisa kedepan (Forward Pass)

nalisis ke depan digunakan untuk menentukan waktu penyelesaian proyek dengan menghitung durasi setiap kegiatan, dimulai dari waktu awal (0) dan diurutkan hingga waktu akhir. Jika terdapat lebih dari satu waktu yang mungkin untuk suatu kegiatan, waktu terbesar dipilih sebagai patokan untuk kegiatan berikutnya, untuk memastikan proyek diselesaikan tepat waktu.

Analisa Kebelakang (Backward Pass)

Analisa perhitungan kebelakang dilakukan untuk mendapatkan waktu dari rangkaian kegiatan dimulai. Analisa hitungan kebelakang dilakukan dari akhir dengan mengambil harga selesai dan selanjutnya diurut sampai awal.

Bila ditemukan ada 2 buah atau lebih kejadian maka diambil nilai terkecil Waktu mulai paling Akhir suatu kegiatan ditentukan dengan mengurangi durasi kegiatan dari waktu selesai paling akhir yang tercatat.

Analisa Total Waktu

Total float merupakan total waktu yang diperkanankan pada kegiatan yang boleh diperlambat/tunda ,tanpa berpengaruh dalam menyelesaikan pekerjaan proyek secara keseluruhan

Analisa Crashing

Crashing adalah proses sistematis dan analitik yang dilakukan untuk mempercepat durasi proyek, dengan cara mengurangi waktu pelaksanaan kegiatan pada jalur kritis menggunakan metode CPM (Critical Path Method).

Proses ini bertujuan untuk mempersingkat durasi proyek dengan cara mengurangi waktu pada kegiatan yang memiliki dampak langsung terhadap penyelesaian proyek. Crashing dilakukan dengan asumsi sebagai berikut:

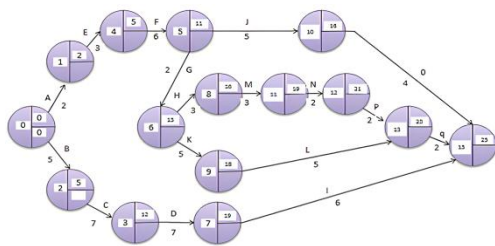
1. Crashing 1 hari;
2. Crashing 2 hari;
3. Crashing 3 hari.

Penting untuk dicatat bahwa crashing harus dilakukan dengan mempertimbangkan biaya

tambahan dan sumber daya yang diperlukan untuk mempercepat kegiatan tersebut.

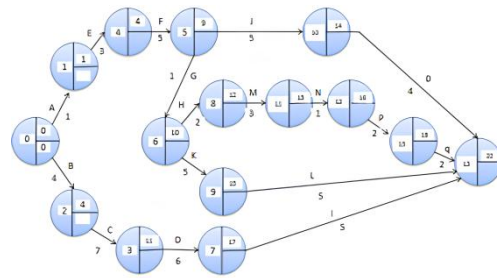
Tabel 2. Hasil analisa hitungan (*forward pass*) mendapatkan nilai EF

No	Aktivitas pekerjaan	Simbol	Durasi pekerjaan (Hari)	Paling Awal	
				Mulai (ES)	Selesai (EF)
1	Pekerjaan persiapan	A	2	0	2
2	Pekerjaan Pondasi type PC.1	B	5	0	5
3	Pekerjaan pondasi Batu bata	C	7	5	12
4	Pekerjaan balok slof type BSI	D	7	12	19
5	Pekerjaan kolom type K1	E	4	2	6
6	Pekerjaan kolom tipe KP	F	7	5	12
7	Pekerjaan ring balok 5x 20	G	2	11	13
8	Pekerjaan plat dak beton	H	3	13	16
9	Pekerjaan lantai	I	6	19	25
10	Pekerjaan dinding	J	7	11	18
11	Pekerjaan kusen pintu dan jendela	K	6	13	19
12	Pekerjaan plafon	L	3	18	21
13	Pekerjaan KM/WC	M	3	16	19
14	Pekerjaan atap	N	2	19	21
15	Pekerjaan instalasi listrik	O	4	16	20
16	Pekerjaan instalasi air / sanitasi	P	2	21	23
17	Pekerjaan luar bangunan	Q	2	23	25

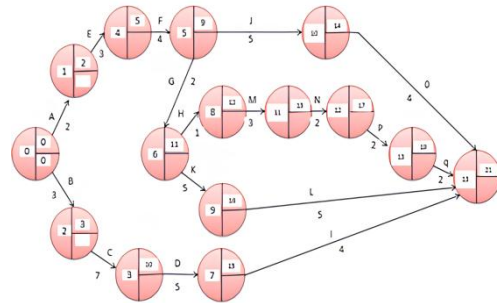


Tabel 3. Hasil analisa perhitungan kebelakang (*backward pass*) untuk mendapatkan nilai "LS"

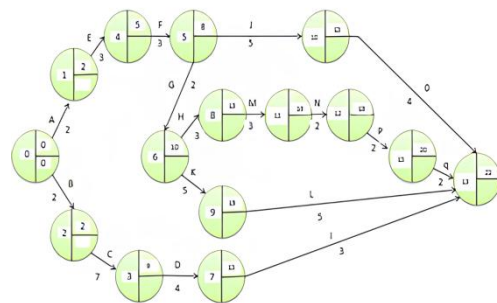
No	Aktivitas Pekerjaan	Simbol	Durasi Pekerjaan (Hari)	Mulai (LS)	Selesai (EF)	Paling Akhir	
						Mulai (LS)	Selesai (LF)
1	Pekerjaan persiapan	A	2	0	2	2	2
2	Pekerjaan Pondasi type PC.1	B	5	0	5	5	5
3	Pekerjaan pondasi Batu bata	C	7	5	12	12	12
4	Pekerjaan balok slof type BSI	D	7	12	19	19	19
5	Pekerjaan kolom type K1	E	4	2	6	6	6
6	Pekerjaan kolom tipe KP	F	7	5	12	12	12
7	Pekerjaan ring balok 5x 20	G	2	11	13	13	13
8	Pekerjaan plat dak beton	H	3	13	16	16	16
9	Pekerjaan lantai	I	6	19	25	25	25
10	Pekerjaan dinding	J	7	11	18	18	18
11	Pekerjaan kusen pintu dan jendela	K	6	13	19	19	19
12	Pekerjaan plafon	L	3	18	21	21	21
13	Pekerjaan KM/WC	M	3	16	19	19	19
14	Pekerjaan atap	N	2	19	21	21	21
15	Pekerjaan instalasi listrik	O	4	16	20	20	20
16	Pekerjaan instalasi air / sanitasi	P	2	21	23	23	23
17	Pekerjaan luar bangunan	Q	2	23	25	25	25



Crashing 1 hari



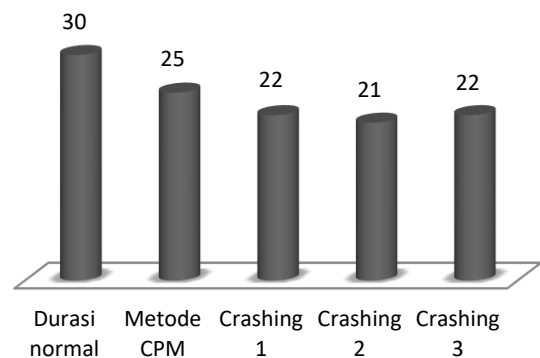
Crashing 2 hari



Crashing 3 hari

Setelah didapatkan nilai analisa CPM dan *crashing* dari masing-masing aktivitas dengan waktu pekerjaan maka langkah selanjutnya adalah melakukan hasil perbandingan yang didapatkan adalah perbandingan dari hasil tersebut dapat dilihat pada Grafik 1.

Grafik 1. Hasil perbandingan CPM, PERT, Crashing 1-3 hari



Berdasarkan Grafik 1, hasil perhitungan durasi normal, analisis metode Critical Path Method (CPM), dan analisis teknik crashing (crashing 1 hari, crashing 2 hari, dan crashing 3 hari) menunjukkan bahwa durasi proyek normal adalah 30 hari. Analisis CPM menghasilkan durasi 25 hari, sementara teknik crashing dengan penambahan 1 hari mengurangi durasi menjadi 22 hari, dan crashing dengan penambahan 2 hari menghasilkan durasi pengerjaan 21 hari. Analisis crashing dengan penambahan 3 hari kembali menghasilkan durasi 22 hari. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan teknik crashing dapat mempercepat penyelesaian proyek perumahan Pondok Alam tipe 36. Dari beberapa alternatif tersebut, teknik crashing 2 hari terbukti paling efisien dengan durasi proyek yang mencapai 21 hari. Oleh karena itu, metode ini dapat menjadi pilihan optimal dalam manajemen waktu untuk proyek ini.

Metode PERT

PERT, atau Project Evaluation and Review Technique, adalah suatu model dalam ilmu manajemen yang digunakan untuk merencanakan dan mengendalikan proyek (Siswanto, 2007). PERT membantu dalam memperkirakan waktu penyelesaian proyek dengan memperhitungkan estimasi waktu optimistis, pesimistis, dan paling mungkin, serta menggambarkan hubungan antar kegiatan dalam diagram jaringan.

Tabel 4. Rekapitulasi RAB rumah type 36/72

NO	JENIS PEKERJAAN	HARGA SATUAN (RP)
A	Pekerjaan persiapan	8.830.728.00
B	Pekerjaan pondasi	15.722.352.20
C	Pekerjaan dinding	19.642.229.67
D	Pekerjaan beton	23.087.255.64
E	Pekerjaan kuda-kuda dan atap	21.565.857.02
F	Pekerjaan plafon	6.756.300.00
G	Pekerjaan sanitasi	8.295.659.20
H	Pekerjaan instalasi air	5.630.750.00
I	Pekerjaan lantai & keramik	7.945.010.25
J	Pekerjaan kusin pintu dan jendela	14.731.252.04
K	Pekerjaan pengecatan	11.126.472.63
L	Pekerjaan perlengkapan luar	7.000.000.00
Sub total biaya konstruksi		150.333.866.65
Pph Konstruksi 10 %		15.033.386.67
Kontraktor 10 %		15.033.386.67
Total Biaya Konstruksi		180.400.639.98
Pembulatan		180.401.000.00
Terbilang		Seratus Delapanpuluh Juta Empat Ratus Satu Ribu Rupiah

Biaya tak langsung dan Perhitungan Lembur
Biaya Tak Langsung

Gaji harian untuk staf proyek adalah sebagai berikut:

- Site Manager Proyek: Rp 160.000,00
- Pelaksana Sipil: Rp 145.000,00
- Logistik: Rp 130.000,00
- Administrasi: Rp 125.000,00 Total gaji per hari: Rp 560.000,00

Upah pekerja biasa per orang per hari dihitung dengan 8 hari x Rp 12.000,00, yang menghasilkan Rp 96.000,00.

Biaya lembur berdasarkan Keputusan Menteri Tenaga Kerja Nomor Kep.101/MEN/VI/2004:

- Lembur selama 1 jam dihitung dengan 1,5 kali upah biasa per jam, yaitu $1,5 \times \text{Rp } 12.000,00 = \text{Rp } 18.000,00$.
- Lembur selama 2 jam dihitung dengan menambahkan upah lembur 1 jam dan dua kali upah biasa per jam, yaitu $\text{Rp } 18.000,00 + 2 \times \text{Rp } 12.000,00 = \text{Rp } 42.000,00$.
- Lembur selama 3 jam dihitung dengan menambahkan upah lembur 1 jam dan dua kali upah biasa per jam yang dikalikan dua, yaitu $\text{Rp } 18.000,00 + 2 \times (2 \times \text{Rp } 12.000,00) = \text{Rp } 66.000,00$.
- Lembur selama 4 jam dihitung dengan menambahkan upah lembur 1 jam dan dua kali upah biasa per jam yang dikalikan tiga, yaitu $\text{Rp } 18.000,00 + 3 \times (2 \times \text{Rp } 12.000,00) = \text{Rp } 90.000,00$.

Perhitungan kenaikan upah per hari: =
 $\text{Rp } 560.000,00 + (15 \text{ orang} \times \text{Rp } 96.000,00 + \text{Rp } 90.000,00)$
 = Rp 1.410.000,00.

Kode kegiatan	Durasi normal	Durasi CPM	Penambahan Biaya CPM	Durasi Crashing 1 hari	Penambahan Biaya Crashing 1 hari
Pekerjaan persiapan	2	2	8.830.728.00	1	1.410.000,00
Pekerjaan Pondasi type PC.1	5	5	8.222.352.20	4	1.410.000,00
Pekerjaan pondasi Batu bata	7	12	7.500.000.00	-	0
Pekerjaan balok slof type BSI	7	19	10.642.229.67	6	1.410.000,00
Pekerjaan kolom type K1	4	6	12.087.255.64	-	0
Pekerjaan kolom type KP	7	12	11.000.000.00	5	1.410.000,00
Pekerjaan ring balok 5x20	2	13	9.000.000.00	1	1.410.000,00
Pekerjaan plat dak beton	3	16	8.295.659.20	2	1.410.000,00
Pekerjaan lantai	6	25	5.630.750.00	5	1.410.000,00
Pekerjaan dinding	7	18	7.945.010.25	-	0
Pekerjaan kusen pintu dan jendela	6	19	7.731.252.04	-	0
Pekerjaan plafon	3	21	6.756.300.00	-	0
Pekerjaan KM/WC	3	19	7.000.000.00	-	0
Pekerjaan atap	2	21	21.565.857.02	1	1.410.000,00
Pekerjaan instalasi listrik	4	20	5.000.000.00	-	0
Pekerjaan instalasi air / sanitasi	2	23	6.126.472.63	-	0
Pekerjaan luar bangunan	2	25	7.000.000.00	-	0
			150.333.866.65		11.280.000.00

Kode kegiatan	Durasi normal	Durasi CPM	Penambahan Biaya CPM	Durasi Crashing 2 hari	Penambahan Biaya Crashing 2 hari
Pekerjaan persiapan	2	2	8.830.728.00	-	0
Pekerjaan Pondasi type PC.1	5	5	8.222.352.20	3	2.820.000.00
Pekerjaan pondasi Batu bata	7	12	7.500.000.00	-	0
Pekerjaan balok slof type BSI	7	19	10.642.229.67	5	2.820.000.00
Pekerjaan kolom type K1	4	6	12.087.255.64	-	0
Pekerjaan kolom type KP	7	12	11.000.000.00	4	2.820.000.00
Pekerjaan ring balok 5x20	2	13	9.000.000.00	-	0
Pekerjaan plat dak beton	3	16	8.295.659.20	1	2.820.000.00
Pekerjaan lantai	6	25	5.630.750.00	4	2.820.000.00
Pekerjaan dinding	7	18	7.945.010.25	-	0
Pekerjaan kusen pintu dan jendela	6	19	7.731.252.04	-	0
Pekerjaan plafon	3	21	6.756.300.00	-	0
Pekerjaan KM/WC	3	19	7.000.000.00	-	0
Pekerjaan atap	2	21	21.565.857.02	-	0
Pekerjaan instalasi listrik	4	20	5.000.000.00	-	0
Pekerjaan instalasi air / sanitasi	2	23	6.126.472.63	-	0
Pekerjaan luar bangunan	2	25	7.000.000.00	-	0
			150.333.866.65		14.100.000.00

Kode kegiatan	Durasi normal	Durasi CPM	Penambahan Biaya CPM	Durasi Crashing 3 hari	Penambahan Biaya Crashing 3 hari
Pekerjaan persiapan	2	2	8.830.728.00	-	0
Pekerjaan Pondasi type PC.1	5	5	8.222.352.20	2	4.230.000.00
Pekerjaan pondasi Batu bata	7	12	7.500.000.00	-	0
Pekerjaan balok slof type BSI	7	19	10.642.229.67	5	4.230.000.00
Pekerjaan kolom type K1	4	6	12.087.255.64	-	0
Pekerjaan kolom type KP	7	12	11.000.000.00	4	0
Pekerjaan ring balok 5x20	2	13	9.000.000.00	-	0
Pekerjaan plat dak beton	3	16	8.295.659.20	-	0
Pekerjaan lantai	6	25	5.630.750.00	3	4.230.000.00
Pekerjaan dinding	7	18	7.945.010.25	-	0
Pekerjaan kusen pintu dan jendela	6	19	7.731.252.04	-	0
Pekerjaan plafon	3	21	6.756.300.00	-	0
Pekerjaan KM/WC	3	19	7.000.000.00	-	0
Pekerjaan atap	2	21	21.565.857.02	-	0
Pekerjaan instalasi listrik	4	20	5.000.000.00	-	0
Pekerjaan instalasi air / sanitasi	2	23	6.126.472.63	-	0
Pekerjaan luar bangunan	2	25	7.000.000.00	-	0
			150.333.866.65		12.690.000.00

Kurva Biaya-Waktu Aktivitas Proyek
Kemiringan biaya (cost slope):

$$\text{Rumus: } \frac{C_c - N_c}{N_t - C_t} \dots \dots \dots (1)$$

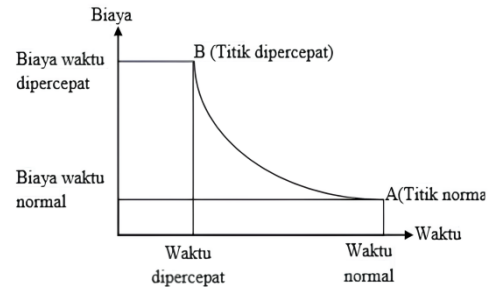
Di mana:

Cc = Biaya untuk percepatan (crash cost);

Nc = Biaya normal (normal cost);

Ct = Durasi percepatan (crash time);

Nt = Durasi normal (normal time).



Rumus Expended Duration:

$$\frac{W \text{ tercepat} + (W \text{ normal} \times 4) W \text{ terlambat}}{10}$$

Keterangan:

l = Durasi lama;

n = Durasi normal;

c = Durasi cepat;

te = Waktu yang diharapkan.

Berdasarkan perhitungan yang terdapat pada Tabel 7, nilai variansi waktu penyelesaian proyek pembangunan jalan diketahui sebesar 6,67, yang menghasilkan standar deviasi sekitar $\sqrt{6,67} \approx 2,58$ hari. Standar deviasi ini menggambarkan tingkat ketidakpastian atau variasi dalam waktu penyelesaian proyek. Informasi ini sangat berguna untuk memperkirakan seberapa besar kemungkinan proyek akan selesai dalam rentang waktu yang diharapkan. Selanjutnya, untuk memperkirakan kemungkinan tercapainya waktu penyelesaian tertentu, langkah berikutnya adalah menentukan nilai probabilitas yang diharapkan. Menghitung probabilitas ini sangat penting dalam manajemen proyek, karena memungkinkan manajer proyek untuk mengevaluasi risiko, merencanakan strategi pengendalian waktu, dan membuat keputusan yang lebih tepat dalam menghadapi ketidakpastian terkait jadwal. Nilai probabilitas ini dapat dihitung menggunakan persamaan yang tercantum di bawah ini:

$$z = \frac{t_j - j_l}{\frac{s}{2,58}}$$

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

$$= 5,71$$

Tabel 5. Hasil perhitungan standar deviasi dan variansi (data 2025)

Kode Kegiatan	Predecessor	Normal	CPM	Durasi Crashing 3 hari		Varians
				c	te	
A	-	2	2	2	1,8	0
B	-	5	5	2	4,5	0,3
C	B	7	12	12	58,7	0,5
D	C	7	19	5	38,7	0,2
E	A	4	6	6	14,8	0,2
F	E	7	12	3	15,5	0,69
G	F	2	13	13	67,8	1,1
H	G	3	16	16	160,6	1,3
I	H	6	25	25	250,6	1,9
J	I	7	18	3	22,3	0,4
K	J	6	19	19	145	1,3
L	K	3	21	21	176,7	1,9
		30	25	22	957	6,67

Tabel 6. Hasil penentuan waktu yang diharapkan /te (expeted duration)

Kode Kegiatan	Predensessor (s)	l	n	c	te
A	-	2	2	2	1,8
B	-	5	5	2	4,5
C	B	7	12	12	58,7
D	C	7	19	5	38,7
E	A	4	6	6	14,8
F	E	7	12	3	15,5
G	F	2	13	13	67,8
H	G	3	16	16	160,6
I	H	6	25	25	250,6
J	I	7	18	3	22,3
K	J	6	19	19	145
L	K	3	21	21	176,7
		30	25	22	957

Z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7518	0.7549
0.7	0.7580	0.7612	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9346	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9685	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9866	0.9867	0.9870	0.9872	0.9874	0.9876	0.9877	0.9879
2.3	0.9880	0.9880	0.9880	0.9881	0.9882	0.9883	0.9884	0.9885	0.9886	0.9887
2.4	0.9888	0.9889	0.9890	0.9891	0.9892	0.9893	0.9894	0.9895	0.9896	0.9897
2.5	0.9898	0.9899	0.9900	0.9901	0.9902	0.9903	0.9904	0.9905	0.9906	0.9907
2.6	0.9908	0.9909	0.9910	0.9911	0.9912	0.9913	0.9914	0.9915	0.9916	0.9917
2.7	0.9918	0.9919	0.9920	0.9921	0.9922	0.9923	0.9924	0.9925	0.9926	0.9927
2.8	0.9928	0.9929	0.9930	0.9931	0.9932	0.9933	0.9934	0.9935	0.9936	0.9937
2.9	0.9938	0.9939	0.9940	0.9941	0.9942	0.9943	0.9944	0.9945	0.9946	0.9947
3.0	0.9948	0.9949	0.9950	0.9951	0.9952	0.9953	0.9954	0.9955	0.9956	0.9957
3.1	0.9958	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964	0.9965	0.9966	0.9967
3.2	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977
3.3	0.9978	0.9979	0.9980	0.9981	0.9982	0.9983	0.9984	0.9985	0.9986	0.9987
3.4	0.9988	0.9989	0.9990	0.9991	0.9992	0.9993	0.9994	0.9995	0.9996	0.9997
3.5	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3.6	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3.7	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3.8	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
3.9	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.0	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.1	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.2	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.3	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.4	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.5	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.6	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.7	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.8	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
4.9	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.0	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.1	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.2	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.3	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.4	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.5	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.6	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.7	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.8	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
5.9	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
6.0	0.9998	0.9999	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000

Dengan menggunakan tabel distribusi normal kumulatif, maka dapat diperoleh nilai dari $z = 5,71$ adalah $0,9999$ atau dapat dikatakan $99,99\%$ pelaksanaan pengerjaan proyek rumah akan berhasil. Jadi besarnya presentase probabilitas proyek pembangunan rumah dapat diselesaikan yaitu sebesar $99,99\%$ dalam kurun waktu CPM selama 25 hari selanjutnya PERT *Crashing* 1 hari = 22 , *Crashing* 2 hari =,21 , *Crashing* 3 hari = 22.hari.

Perbandingan antara penambahan jam kerja (lembur) dan penambahan tenaga kerja, baik dari sisi durasi penyelesaian proyek maupun dari segi biaya, menunjukkan bahwa penambahan tenaga kerja lebih efektif dalam mengurangi durasi proyek jika dibandingkan dengan penambahan jam kerja lembur. Hal ini disebabkan oleh fakta bahwa penambahan tenaga kerja memungkinkan pembagian tugas yang lebih efisien, yang pada gilirannya mempercepat penyelesaian pekerjaan. Sementara itu, lembur cenderung meningkatkan biaya secara signifikan tanpa mengurangi durasi secara substansial. Selain itu, penambahan tenaga kerja juga dapat meningkatkan kualitas hasil kerja, terutama jika pekerja tambahan memiliki keterampilan khusus yang dibutuhkan. Sebaliknya, lembur lebih cenderung digunakan pada situasi mendesak yang memerlukan penyelesaian cepat, meskipun biaya lembur jauh lebih tinggi. Oleh karena itu, keputusan antara memilih lembur atau menambah tenaga kerja

sangat bergantung pada jenis tugas, anggaran, dan kebutuhan proyek secara keseluruhan.

V. KESIMPULAN

Dari analisis penelitian dapat diperoleh kesimpulan berdasarkan tabel distribusi normal kumulatif, maka dapat diperoleh nilai dari $z = 5,71$ adalah 0,9999 atau dapat dikatakan 99,99% pelaksanaan pengerjaan proyek rumah akan berhasil. Jadi besarnya presentase probabilitas Proyek, Terdapatnya dua jalur kritis yakni jalur kritis A - E - F - G - M - N - P - Q dan B - C - D - I terdapat optimalisasi waktu dan biaya menjadi dasar bagi peneliti maka disimpulkan bahwa metode CPM dan Crashing adalah cara yang baik untuk mengimplementasikan dan mengestimasi waktu dalam pengelolaan proyek. Penggunaan CPM Durasi normal pekerjaan dari 30 hari berubah menjadi 25 hari dengan nilai kontrak proyek bangunan rumah sebesar Rp180.400.639,98, PERT crashing 1 hari diperoleh durasi 22 hari pertambahan biaya sebesar Rp 11.280.000,00, crashing 2 hari diperoleh durasi 21 hari pertambahan biaya sebesar Rp 14.100.000,00 dan analisa crashing 3 hari 22 hari pertambahan biaya sebesar Rp12.690.000,00.

REFERENSI

- Asnuddin, S., Tjakra, J., & Sibi, M. (2018). Penerapan manajemen konstruksi pada tahap controlling proyek (Studi kasus: Bangunan Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Sam Ratulangi Manado). *Jurnal Sipil Statik*, 6(11), 895–906. <https://ejournal.unsrat.ac.id/v2/index.php/jss/article/view/20724>
- Badri, S. (1997). *Dasar-dasar network planning*. Rineka Cipta.
- Ervianto, W. I. (2005). *Manajemen proyek konstruksi*. CV Andi Offset.
- Fanny, S., Firdaus, & Muliana, R. (2020). Efektivitas implementasi program perumahan bersubsidi bagi masyarakat berpenghasilan rendah Kota Pekanbaru (Studi kasus: Kecamatan Tenayan Raya). *Jurnal Saintis*, 20(02), 101–109. [https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20\(02\).5710](https://doi.org/10.25299/saintis.2020.vol20(02).5710)
- 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 Edit). Project Management Institute, Inc. <https://doi.org/10.5860/choice.34-1636>
- Iwawo, E. R. ., Tjakra, J., & Pratasis, 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>
- Jaya, N. M., & Dewi, A. A. D. P. (2007). Analisa penjadwalan proyek menggunakan ranked positional weight method dan precedence diagram method (Studi kasus: proyek pembangunan Pasar Mumbul di Kabupaten Buleleng). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 11(2), 100–108.
- Proses Penetapan Pekerjaan Konstruksi terintegrasi Rancang dan Bangun (Design and Build), Pub. L. No. 02/IN/M/2023, Instruksi Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2023). <https://jdih.pu.go.id/internal/assets/assets/produk/InmenPUPR/2023/08/2023inmenpupr02.pdf>
- 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>
- Nurhayati. (2010). *Manajemen proyek* (Edisi 1). Graha Ilmu.
- Paryitno, G. A., Kindangen, Jeffrey I., & Rengkung, M. M. (2019). Evaluasi sebaran kawasan perumahan berdasarkan pola ruang di Kota Palu. *Jurnal Spasial*, 6(2), 321–330. <https://doi.org/https://doi.org/10.35793/sp.v6i2.25314>
- Polli, R. B., Walangitan, D. R. ., & Tjakra, J. (2017). Sistem pengendalian waktu dengan Critical Path Method (CPM) pada proyek konstruksi (Studi kasus: Menara Alfa Omega Tomohon). *Jurnal Sipil Statik*, 5(6), 363–371.
- Prawiro, D. A. (2014). Percepatan waktu pelaksanaan proyek dengan Metode CPM dan aplikasi program linier pada proyek rehabilitasi Daerah Irigasi Sidorejo Kabupaten Grobogan. *Teknis*, 9(1), 1–7. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.32497/teknis.v9i1.683>
- PUPR, K. (2010). *Manual manajemen proyek Project Management Manual (PMM)*. Jenderal Bina Marga. <https://bphn.go.id/data/documents/1luu001.pdf>
- Rahayu, F. P., & Rahim, M. A. (2022). Calculation of cost of production type 36 house at PT. Dzaka Rotsa Property. *JIEMS (Journal of Industrial Engineering and Management Systems)*, 15(2), 104–110. <https://doi.org/10.30813/jiems.v15i2.3767>
- Regel, N., & Waskito, J. P. H. (2022). Penerapan metode crash program untuk menganalisa keterlambatan waktu penyelesaian proyek (Studi kasus Hotel Shafira Surabaya). *Axial: Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 10(1), 035. <https://doi.org/10.30742/axial.v10i1.2176>
- Ridwan, A. (2020). Analisis percepatan proyek menggunakan metode crashing dengan penambahan jam kerja empat jam dan sistem shift kerja (Studi kasus: proyek pembangunan gedung RSUB Malang). *Jurnal Aplikasi Pelayaran Dan Kepelabuhanan*, 11(1), 35–53. <https://doi.org/10.30649/japk.v11i1.61>
- Simatupang, J. S., Dundu, A. K. T., & Sibi, M. (2015).

- Pengaruh percepatan durasi terhadap waktu pada proyek konstruksi (Studi kasus: pembangunan persekolahan Eben Haezar Manado). *Jurnal Sipil Statik*, 3(5), 281–280.
- Siswanto, B. (2018). *Pengantar manajemen* (Cetakan ke). Bumi Aksara.
- Stephanie, S., Lengkong, M., Manoppo, F. J., & Dundu, A. K. . (2022). Studi keterlambatan pelaksanaan pekerjaan konstruksi di Kabupaten Minahasa Selatan. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 12(1), 2087–9334.
<https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/jime/article/view/40767>
- Suparno. (2015). Perencanaan dan penjadwalan proyek pada pembangunan gedung. *Bangun Rekaprima*, 1(2), 56–67.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.32497/bangunreka.prima.v1i2.703>
- Syelviani, M. (2020). Pentingnya manajemen waktu dalam mencapai efektivitas bagi mahasiswa (Studi kasus mahasiswa program studi manajemen Unisi). *Jurnal JAM*, 6(1), 147–154.
<https://doi.org/https://doi.org/10.32520/jam.v6i1.1028>
- 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.