

Seminar Nasional Rekatek (STRATEGI PENGENDALIAN KETERLAMBATAN PEMBANGUNAN GEDUNG KANTOR KEMENTERIAN AGAMA DI KABUPATEN PEGUNUNGAN ARFAK MENGUNAKAN METODE *CRASHING*)

Naomi Kendek^{1,*}, Jonie Tanijaya², Erni Rante Bungin³,

¹Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Jl. Perintis Kemerdekaan No. Km. 13, Daya, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Jl. Perintis Kemerdekaan No. Km. 13, Daya, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

³Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Kristen Indonesia Paulus, Jl. Perintis Kemerdekaan No. Km. 13, Daya, Kec. Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan, 90245

korespondensi@email.com (Korespondensi)* (9 pt)

Abstract: *The Ministry of Religious Affairs Office Building Project in Pegunungan Arfak Regency was planned for 120 calendar days, from 29 August to 26 December 2025. At the end of week 17, planned progress had reached 100%, whereas actual progress was only 65.74%. This study aims to: (1) evaluate project schedule performance using Earned Value Management (EVM); (2) identify delays through the remaining works and the Critical Path Method (CPM); and (3) analyse acceleration using crashing and compare cost and time before and after acceleration. A descriptive-evaluative method and quantitative simulation were applied using the CCO time schedule, weekly progress reports, bills of quantities, MCO/CCO documents, and drawings. The analytical BAC was IDR 2,855,105,809. EVM resulted in a PV of IDR 2,855,105,809, an EV of IDR 1,876,899,961, an SV of -IDR 978,205,848, and an SPI of 0.657. The SPI-based indicative total duration was 182.54 days. The remaining-work CPM produced a normal duration of 83 days with the critical path B-D-F-G-H-L. Crashing was simulated by adding 25% crew and three overtime hours per day, with a 70% effectiveness assumption for additional hours; labour productivity was not used as a research variable. Cost-slope iterations reduced the remaining duration to 63 days, saving 20 days (24.10%). The additional direct cost was IDR 156,849,516, while indirect-cost savings were IDR 23,792,548, resulting in an estimated total-cost increase of IDR 133,056,967. Crashing can therefore support schedule recovery, but it is not a cost-saving strategy and requires validation of crew composition, wages, network logic, quality, safety, and formal project approval.*

Keywords: *EVM, CPM, crashing, cost slope, project delay, time-cost trade-off.*

Abstrak: Proyek Pembangunan Gedung Kantor Kementerian Agama Kabupaten Pegunungan Arfak direncanakan selama 120 hari kalender, mulai 29 Agustus sampai 26 Desember 2025. Pada akhir minggu ke-17, kemajuan rencana telah mencapai 100%, sedangkan realisasi hanya 65,74%. Penelitian ini bertujuan: (1) menganalisis kinerja waktu proyek dengan *Earned Value Management* (EVM); (2) mengidentifikasi keterlambatan melalui pekerjaan sisa dan Critical Path Method (CPM); serta (3) menganalisis percepatan menggunakan metode crashing dan membandingkan biaya serta waktu sebelum dan sesudah percepatan. Penelitian menggunakan metode deskriptif evaluatif dan simulasi kuantitatif berdasarkan *time schedule* CCO, laporan kemajuan mingguan, RAB, MCO/CCO, dan gambar kerja. BAC analisis ditetapkan sebesar Rp2.855.105.809. Hasil EVM menunjukkan PV sebesar Rp2.855.105.809, EV sebesar Rp1.876.899.961, SV sebesar -Rp978.205.848, dan SPI sebesar 0,657. Proyeksi durasi indikatif berdasarkan SPI

adalah 182,54 hari. Jaringan CPM pekerjaan sisa menghasilkan durasi normal 83 hari dengan jalur kritis B-D-F-G-H-L. Crashing disimulasikan melalui tambahan crew 25% dan lembur tiga jam per hari dengan asumsi efektivitas jam tambahan 70%, tanpa menggunakan produktivitas tenaga kerja sebagai variabel penelitian. Iterasi cost slope mempercepat durasi sisa menjadi 63 hari atau menghemat 20 hari (24,10%). Tambahan biaya langsung sebesar Rp156.849.516 dan penghematan biaya tidak langsung sebesar Rp23.792.548, sehingga estimasi biaya total meningkat Rp133.056.967. Hasil menunjukkan bahwa crashing layak sebagai strategi pemulihan waktu, tetapi bukan strategi penghematan biaya dan harus divalidasi terhadap crew, upah, jaringan kerja, mutu, keselamatan, serta persetujuan pihak proyek.

Kata kunci: EVM, CPM, crashing, cost slope, keterlambatan proyek, time-cost trade-off.

Informasi Artikel: Diterima: xx-xx-xxxx, Disetujui: xx-xx-xxxx, Dipublikasikan: xx-xx-xxxx

1. Pendahuluan

Kementerian Agama merupakan salah satu lembaga pemerintah yang memiliki peran strategis dalam membina kehidupan beragama, meningkatkan kualitas pendidikan keagamaan, Sebagai institusi publik, keberadaan kantor Kementerian Agama di berbagai daerah menjadi sarana penting dalam mendekatkan pelayanan kepada masyarakat. Pembangunan kantor Kementerian Agama tidak hanya dimaknai sebagai pembangunan fisik semata, tetapi juga sebagai upaya meningkatkan kualitas pelayanan publik. Kantor yang representatif, modern, dan fungsional akan mendukung efektivitas kerja aparatur, mempercepat proses administrasi, serta menciptakan lingkungan kerja yang kondusif. Pada proyek konstruksi, hasil yang diwujudkan berupa bangunan atau infrastruktur fisik yang harus memenuhi persyaratan teknis, fungsi pelayanan, mutu, keselamatan, biaya, dan waktu. Manajemen proyek sebagai pendekatan sistem yang mengintegrasikan perencanaan, penjadwalan, penganggaran, organisasi, pengarahan, dan pengendalian. Integrasi menjadi penting karena proyek konstruksi dijalankan oleh pemilik, kontraktor, konsultan perencana, konsultan pengawas, pemasok, tenaga kerja, serta instansi yang memiliki kepentingan berbeda. Sistem manajemen yang lemah dapat menghasilkan informasi terlambat, keputusan tidak terkoordinasi, konflik urutan kerja, dan tindakan koreksi yang tidak tepat sasaran (Kerzner, 2017)

Pada pembangunan gedung pemerintah, keberhasilan proyek tidak hanya dinilai dari selesainya bangunan secara fisik. Bangunan harus dapat dimanfaatkan sesuai fungsi pelayanan publik, diselesaikan dalam batas kontrak, memenuhi spesifikasi, mematuhi keselamatan konstruksi, dan dapat dipertanggungjawabkan secara administratif. Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 menempatkan penyelenggaraan jasa konstruksi dalam kerangka keamanan, keselamatan, kesehatan, keberlanjutan, kompetensi tenaga kerja, serta kepastian tanggung jawab para pihak. Kerangka tersebut menegaskan bahwa pengendalian waktu tidak boleh mengabaikan mutu, keselamatan, dan kepatuhan kontraktual (Republik Indonesia, 2017).

Dalam pelaksanaannya, proyek konstruksi sering menghadapi kendala berupa keterlambatan waktu penyelesaian dan pembengkakan biaya. Keterlambatan dapat disebabkan oleh berbagai faktor, seperti kondisi cuaca, keterbatasan tenaga kerja, perubahan desain, maupun masalah koordinasi antar pihak yang terlibat. Sementara itu, pembengkakan biaya biasanya muncul akibat penambahan pekerjaan, kenaikan harga material, atau ketidakefisienan dalam pengelolaan sumber daya. Masalah waktu dan biaya dalam proyek konstruksi menjadi perhatian penting karena keterlambatan penyelesaian proyek tidak hanya menambah beban anggaran, tetapi juga menghambat fungsi gedung yang seharusnya segera digunakan untuk mendukung kegiatan

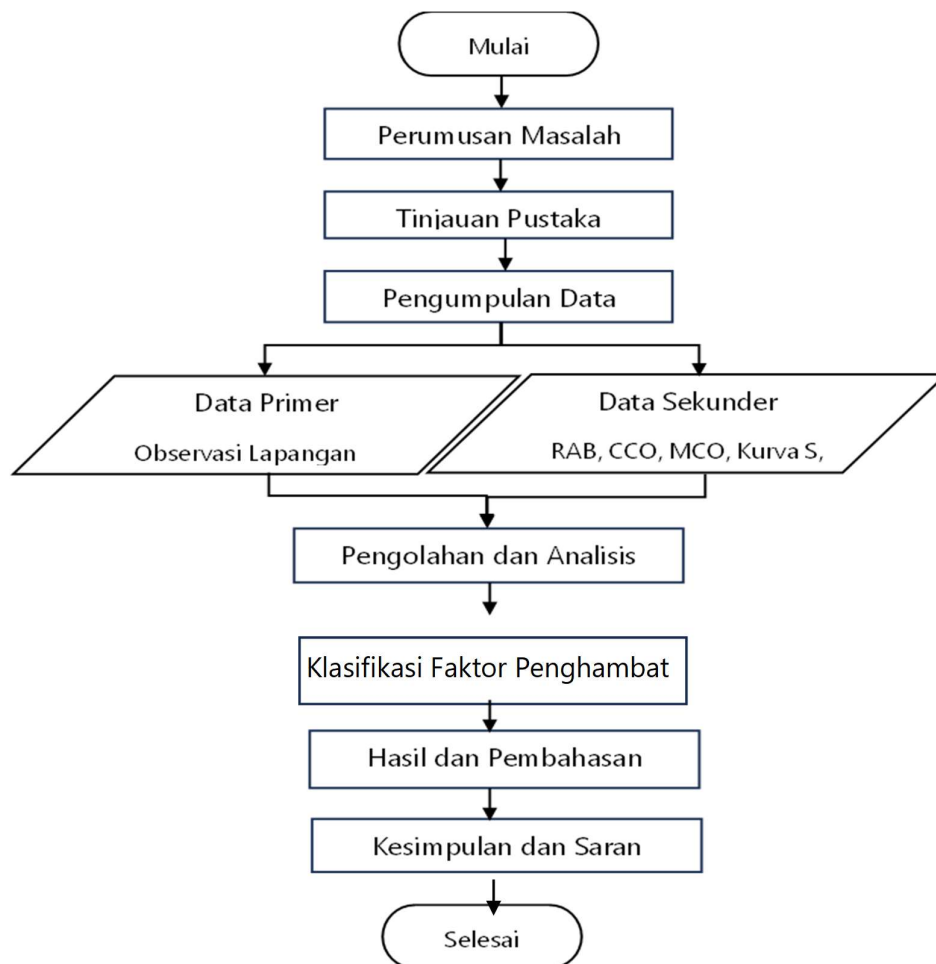
pelayanan masyarakat. Keterlambatan dapat timbul dari keputusan, tindakan, atau hambatan pada salah satu pihak dan kemudian menyebar ke aktivitas lain. Karena itu, evaluasi penyebab keterlambatan perlu membedakan faktor yang berkaitan dengan pemilik, kontraktor, konsultan, sumber daya, kontrak, serta kondisi eksternal (Assaf & Al-Hejji, 2006; Sambasivan & Soon, 2007).

Pada penelitian ini, sasaran yang dikaji terutama adalah kinerja waktu dan konsekuensi biaya percepatan. Mutu dan keselamatan tidak dihitung sebagai variabel kuantitatif, tetapi diperlakukan sebagai batasan yang wajib dipertahankan. Dengan demikian, alternatif percepatan hanya dapat direkomendasikan apabila secara teknis dapat dilakukan, tidak mengubah fungsi bangunan, tetap memenuhi spesifikasi, serta dilaksanakan sesuai ketentuan waktu kerja dan keselamatan konstruksi.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Bagan Alir Penelitian

Secara umum, rencana kegiatan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 1 dibawah ini



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

2.2. Lokasi, Objek dan Waktu Penelitian

Objek penelitian adalah Proyek Pembangunan Gedung Kantor Kementerian Agama Kabupaten Pegunungan Arfak, Provinsi Papua Barat. Analisis diarahkan pada pengendalian waktu pelaksanaan, keterlambatan pada akhir masa kontrak, aktivitas pekerjaan sisa, serta alternatif

percepatan yang dapat dilakukan melalui penambahan jam kerja dan penambahan crew. Penelitian tidak menilai mutu struktur atau kelayakan desain bangunan secara terpisah, kecuali sejauh aspek teknis tersebut memengaruhi logika urutan pekerjaan dan kelayakan crashing.

Periode pelaksanaan yang dianalisis adalah 29 Agustus sampai 26 Desember 2025 dengan durasi rencana 120 hari kalender. Tanggal 26 Desember 2025 ditetapkan sebagai tanggal status karena pada saat tersebut jadwal rencana telah mencapai akhir masa kontrak, sedangkan realisasi kumulatif belum mencapai 100 persen. Pengolahan, validasi, simulasi, dan penyusunan laporan penelitian dilaksanakan pada tahun 2026. Batas temporal tersebut penting karena seluruh indikator EVM harus dihitung terhadap tanggal status yang sama. Perubahan tanggal status tanpa memperbarui data rencana dan realisasi akan menghasilkan interpretasi yang tidak konsisten. Seluruh dokumen yang terbit setelah tanggal status hanya digunakan untuk konfirmasi atau validasi, bukan untuk mengubah kondisi kemajuan yang dinilai pada tanggal 26 Desember 2025, kecuali dinyatakan secara eksplisit sebagai data koreksi resmi.

Tabel 1. Ruang Waktu Penelitian

Tahap		Periode/Status	Keterangan
Pelaksanaan proyek yang dianalisis		29 Agustus-26 Desember 2025	Periode <i>baseline</i> kontrak 120 hari kalender.
Tanggal status		26 Desember 2025	Titik potong perhitungan rencana dan realisasi.
Pengumpulan dan verifikasi data		2026	Inventarisasi dokumen, observasi, dan konfirmasi kepada pihak proyek.
Analisis dan simulasi		2026	Perhitungan EVM, CPM, crashing, dan sensitivitas.

2.3. Pendekatan dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan studi kasus dengan desain deskriptif-evaluatif dan simulasi kuantitatif. Studi kasus dipilih karena penelitian berfokus pada satu objek yang memiliki batas ruang, waktu, dokumen kontraktual, dan kondisi pelaksanaan yang jelas, yaitu Proyek Pembangunan Gedung Kantor Kementerian Agama Kabupaten Pegunungan Arfak. Pendekatan studi kasus memungkinkan penggunaan berbagai sumber bukti secara terpadu, antara lain dokumen proyek, observasi, wawancara atau konfirmasi kepada informan kunci, dan hasil perhitungan (Yin, 2018). Sifat deskriptif digunakan untuk menggambarkan sistem pengendalian yang diterapkan dan kondisi pelaksanaan proyek. Sifat evaluatif digunakan untuk membandingkan rencana dengan realisasi, menilai deviasi jadwal, dan menentukan apakah mekanisme pengendalian telah menghasilkan informasi serta tindakan koreksi yang memadai. Unsur kuantitatif dominan terdapat pada perhitungan EVM, CPM, *crashing*, *cost slope*, dan perbandingan biaya-waktu.

Unsur kualitatif berfungsi sebagai pendukung untuk menjelaskan proses pengendalian, mengidentifikasi faktor penghambat, dan memvalidasi kelayakan teknis hubungan antaraktivitas serta skenario percepatan. Pola ini sejalan dengan penggunaan data kuantitatif dan kualitatif secara komplementer untuk memperoleh pemahaman yang lebih utuh terhadap suatu masalah penelitian (Creswell & Creswell, 2018).

Tabel 2. Desain Penelitian

Komponen	Uraian	Keluaran
Pendekatan	Studi kasus dengan dukungan data kuantitatif dan kualitatif.	Gambaran menyeluruh atas satu proyek.
Sifat penelitian	Deskriptif-evaluatif.	Deskripsi sistem pengendalian dan evaluasi kinerja jadwal.
Metode utama	EVM, CPM, dan crashing.	Indikator jadwal, jalur kritis, serta alternatif percepatan.
Sumber bukti	Dokumen, observasi, wawancara/konfirmasi, dan literatur.	Data yang dapat ditriangulasi.
Horizon waktu	Retrospektif sampai tanggal status dan simulatif untuk pekerjaan sisa.	Kondisi aktual dan proyeksi pemulihan.
Unit analisis	Proyek secara keseluruhan dan aktivitas pekerjaan sisa.	Kinerja proyek serta aktivitas yang mengendalikan penyelesaian.

Sumber: Diolah peneliti berdasarkan Creswell dan Creswell (2018) serta Yin (2018).

2.4. Fokus Penelitian dan Batasan Metodologis

Fokus penelitian diturunkan langsung dari rumusan masalah. Fokus pertama adalah sistem pengendalian proyek yang diterapkan, meliputi keberadaan dan penggunaan baseline jadwal, Kurva S, laporan mingguan, rapat evaluasi, dokumentasi deviasi, pengendalian perubahan melalui MCO/CCO, serta tindakan koreksi. Unit analisis tingkat proyek digunakan pada evaluasi sistem pengendalian dan indikator EVM. Unit analisis tingkat aktivitas digunakan pada penyusunan *network planning*, CPM, serta crashing.

Batasan metodologis ditetapkan untuk mencegah interpretasi yang melampaui ketersediaan data. Pertama, EVM dibatasi pada aspek jadwal karena data Actual Cost yang dapat direkonsiliasi tidak tersedia; karena itu Cost Variance, Cost Performance Index, dan proyeksi biaya berbasis CPI tidak dihitung. Kedua, penelitian tidak mengukur produktivitas tenaga kerja aktual melalui time study. Ketiga, hubungan predecessor dan durasi pekerjaan sisa merupakan model teknis yang harus divalidasi. Keempat, biaya percepatan merupakan biaya simulasi yang menggunakan parameter upah, crew, lembur, dan biaya pendukung. Kelima, hasil analisis bukan addendum kontrak atau instruksi lapangan.

Tabel 3. Fokus dan Batasan Analisis

Aspek	Termasuk dalam penelitian	Tidak termasuk/ketentuan
Sistem pengendalian	Baseline, Kurva S, laporan, rapat, perubahan, dan tindakan koreksi.	Tidak melakukan audit kepatuhan kontrak secara menyeluruh.

Aspek	Termasuk dalam penelitian	Tidak termasuk/ketentuan
EVM	BAC, PV, EV, SV, SPI, dan TEAC aspek jadwal.	AC, CV, CPI, dan EAC biaya tidak dihitung tanpa data biaya aktual.
Faktor penghambat	Bukti dokumen, observasi, wawancara, pekerjaan sisa, dan logika ketergantungan.	Tidak melakukan pemeringkatan statistik RII/AHP jika jumlah responden tidak memadai.
CPM	ES, EF, LS, LF, TF, jalur kritis, dan durasi pekerjaan sisa.	Jaringan harus dikonfirmasi oleh pihak teknis proyek.
Crashing	Lembur, tambahan crew, crash duration, crash cost, cost slope, dan iterasi.	Bukan perubahan metode/kontrak sebelum disetujui pihak berwenang.
Produktivitas	Efektivitas jam lembur sebagai parameter simulasi.	Tidak menyatakan parameter sebagai produktivitas aktual lapangan.

2.5. Teknik Pengumpulan Data

Penelitian menggunakan data primer dan data sekunder. Kedua jenis data mempunyai fungsi yang berbeda. Data primer digunakan terutama untuk mengonfirmasi proses pengendalian, keadaan lapangan, faktor penghambat, hubungan ketergantungan, dan kelayakan skenario percepatan. Data sekunder digunakan sebagai dasar utama perhitungan kuantitatif karena memuat rencana, bobot, biaya, realisasi, dan perubahan pekerjaan.

a. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh langsung dari sumber pertama melalui pengamatan atau pencatatan terhadap objek penelitian. Pada penelitian ini, dalam penelitian ini diperoleh melalui teknik observasi langsung (*direct observation*) ke lokasi proyek pembangunan Gedung Kantor Kementerian Agama Kabupaten Pegunungan Arfak. Observasi dilakukan dengan tujuan untuk mengamati secara langsung kondisi aktual pelaksanaan pekerjaan di lapangan guna mengidentifikasi faktor-faktor penyebab keterlambatan proyek, mengingat lokasi proyek yang berada di wilayah pegunungan dengan karakteristik geografis dan aksesibilitas yang khas sehingga berpotensi memunculkan kendala-kendala spesifik yang tidak sepenuhnya tergambar dari dokumen administratif proyek.

b. Data Sekunder

Data sekunder berasal dari dokumen proyek, peraturan, standar, dan literatur ilmiah. Dokumen proyek meliputi kontrak atau addendum yang tersedia, RAB penawaran, RAB/*Time Schedule* CCO, MCO, Kurva S, laporan kemajuan mingguan, gambar rencana dan perubahan, spesifikasi teknis, dokumentasi, serta daftar pekerjaan tambah-kurang. Peraturan dan standar digunakan untuk menentukan dasar penyusunan biaya, jam lembur, upah lembur, dan praktik penjadwalan. Literatur digunakan untuk membangun kerangka EVM, CPM, crashing, dan pengendalian keterlambatan.

Tabel 4. Jenis, Sumber, dan Kegunaan Data

Jenis data	Data/dokumen	Sumber	Kegunaan
Primer	Observasi kondisi pekerjaan sisa dan urutan pelaksanaan.	Lokasi proyek.	Verifikasi status pekerjaan, akses, ketergantungan, dan kelayakan paralelisasi.

Jenis data	Data/dokumen	Sumber	Kegunaan
Primer	Wawancara/konfirmasi sistem pengendalian, faktor penghambat, dan opsi percepatan.	PPK/pengguna jasa, kontraktor, konsultan pengawas, dan personel teknis.	Menjelaskan proses, memvalidasi temuan dokumen, dan menilai kelayakan crashing.
Primer	Dokumentasi foto dan catatan lapangan.	Lokasi proyek dan pihak proyek.	Bukti pendukung kondisi fisik pada waktu pengamatan.
Sekunder	Time Schedule CCO, Kurva S, dan bobot pekerjaan.	Dokumen proyek.	Baseline, persentase rencana, BAC, PV, dan durasi.
Sekunder	Laporan kemajuan mingguan.	Kontraktor/konsultan pengawas.	Persentase realisasi, EV, tren SPI, dan pekerjaan sisa.
Sekunder	RAB penawaran/CCO dan daftar kuantitas.	Dokumen proyek.	Normal cost, nilai kelompok, dan biaya pekerjaan sisa.
Sekunder	MCO/CCO, addendum, notulen, dan instruksi.	Dokumen proyek.	Analisis perubahan lingkup, urutan, serta faktor penghambat.
Sekunder	Gambar dan spesifikasi teknis.	Dokumen proyek.	Validasi urutan teknis dan hubungan predecessor.
Sekunder	PP 35/2021 dan Permen PUPR 8/2023.	Sumber resmi pemerintah.	Dasar lembur, upah lembur, AHSP, dan perkiraan biaya.
Sekunder	Standar dan jurnal ilmiah.	PMI dan penerbit jurnal.	Dasar EVM, CPM, crashing, keterlambatan, dan validasi metode.

2.6. Instrumen Penelitian

Dalam studi kasus, peneliti merupakan instrumen utama dalam menyeleksi bukti, melakukan wawancara, menafsirkan dokumen, dan menyusun jaringan aktivitas. Untuk mengurangi subjektivitas, peneliti menggunakan instrumen bantu yang terstruktur. Instrumen bantu terdiri atas lembar inventarisasi dokumen, lembar observasi, pedoman wawancara, lembar validasi network, lembar asumsi crashing, serta workbook perhitungan.

Tabel 5. Instrumen dan Fungsi

Instrumen		Isi utama	Fungsi pengendalian mutu data
Daftar inventaris dokumen		Nama, nomor, tanggal, revisi, sumber, periode, dan status.	Mencegah penggunaan dokumen yang salah versi atau tidak relevan.
Lembar observasi		Tanggal, lokasi, pekerjaan, kondisi, hambatan, foto, dan catatan.	Membedakan fakta pengamatan dari interpretasi.
Pedoman wawancara		Tema sistem pengendalian, faktor, network, dan percepatan.	Menjaga konsistensi pokok pertanyaan antar informan.
Lembar validasi <i>network</i>		Aktivitas, predecessor, durasi, dasar logika, dan paraf/konfirmasi.	Memeriksa kelayakan teknis CPM.
Lembar <i>crashing</i>	asumsi	<i>Crew</i> , jam kerja, efektivitas, upah, biaya pendukung, dan batas minimum.	Menjamin semua parameter simulasi dinyatakan terbuka.
<i>Workbook</i> perhitungan		EVM, CPM, <i>crashing</i> , biaya, iterasi, dan sensitivitas.	Memudahkan audit rumus, rekalkulasi, dan reproduksi hasil.

2.7. Variabel dan Definisi Operasional

Variabel penelitian disusun untuk mengubah konsep teoritis menjadi indikator yang dapat diperoleh dari data. Variabel tidak seluruhnya diperlakukan sebagai variabel statistik inferensial. Sebagian merupakan konstruk evaluatif dan parameter perhitungan dalam studi kasus. Definisi operasional berikut menjaga konsistensi istilah antara Bab II, Bab III, Bab IV, dan *workbook*.

Tabel 6. Variabel, Indikator, dan Definisi Operasional

Variabel/ aspek	Definisi operasional	Indikator	Sumber data
Sistem pengendalian proyek	Mekanisme yang digunakan proyek untuk menetapkan baseline, mengukur kemajuan, mengevaluasi deviasi, mengendalikan perubahan, dan melakukan koreksi.	<i>Time schedule</i> , Kurva S, laporan, rapat, CCO/MCO, instruksi, dan tindakan koreksi.	Dokumen, observasi, wawancara.
Kinerja EVM	Perbandingan nilai rencana dan nilai hasil sampai tanggal status.	BAC, PV, EV, SV, SPI, dan TEAC.	<i>Time schedule</i> , laporan kemajuan, RAB/CCO.
Keterlambatan	Ketidaksesuaian kemajuan aktual terhadap rencana dan konsekuensinya terhadap penyelesaian.	Deviasi persentase, SV negatif, SPI < 1, sisa bobot, sisa nilai, dan durasi proyeksi.	EVM dan laporan.

Variabel/ aspek	Definisi operasional	Indikator	Sumber data
Faktor penghambat	Kondisi atau peristiwa yang didukung bukti dan berkontribusi terhadap keterlambatan.	Perubahan lingkup, keputusan/koordinasi, material/logistik, tenaga/alat, urutan teknis, cuaca/akses, dan faktor lain yang terverifikasi.	Dokumen, observasi, wawancara.
Jaringan pekerjaan sisa	Model hubungan teknis aktivitas yang belum selesai.	Aktivitas, predecessor, durasi, ES, EF, LS, LF, TF, dan jalur kritis.	Laporan, jadwal, gambar, validasi teknis.
Crashing	Pengurangan durasi aktivitas kritis melalui tambahan sumber daya dengan biaya langsung tambahan.	Normal duration, crash duration, normal cost, crash cost, reduksi, dan cost slope.	RAB, parameter crew, upah, lembur, dan CPM.
Trade-off biaya-waktu	Perubahan durasi dan biaya total akibat skenario percepatan.	Hari hemat, biaya langsung tambahan, penghematan biaya tidak langsung, dan perubahan biaya total.	Hasil crashing dan asumsi biaya.

Sumber: Diolah peneliti berdasarkan PMI (2019, 2020), Hegazy (1999), dan El-Rayes dan Kandil (2005).

2.8. Prosedur Persiapan dan Pengolahan Data

Sebelum perhitungan, data dipersiapkan melalui prosedur inventarisasi, seleksi, pembersihan, rekonsiliasi, dan pengkodean. Prosedur ini penting karena dokumen proyek dapat memuat nilai kontrak, revisi, bobot, atau daftar pekerjaan yang berbeda.

Tabel 7. Aturan Validasi Awal Data

Objek pemeriksaan	Aturan/pertanyaan validasi	Tindakan bila tidak konsisten
Tanggal dan periode	Apakah rencana dan realisasi menggunakan minggu serta tanggal status yang sama?	Samakan periode atau beri penjelasan konversi.
Bobot pekerjaan	Apakah total bobot sekitar 100 persen dan dasar pembobotan jelas?	Hitung ulang dari nilai kelompok dan dokumentasikan selisih pembulatan.
Nilai anggaran	Apakah BAC konsisten dengan basis bobot yang digunakan?	Pilih basis konsisten; sajikan rekonsiliasi dan batasan.

Objek pemeriksaan	Aturan/pertanyaan validasi	Tindakan bila tidak konsisten
Realisasi kumulatif	Apakah realisasi tidak menurun dan didukung laporan?	Periksa koreksi laporan, pembalikan pengakuan, atau salah input.
Lingkup	Apakah item time schedule sesuai RAB/CCO yang berlaku?	Buat pemetaan item tetap, tambah, kurang, baru, dan dihapus.
Pekerjaan sisa	Apakah status selesai/belum selesai didukung volume atau laporan?	Konfirmasi dengan pengawas/kontraktor dan dokumentasi.
<i>Predecessor</i>	Apakah hubungan logis dan memungkinkan secara teknis?	Revisi setelah konfirmasi teknis.
Durasi dan biaya	Apakah satuan, pembulatan, dan alokasi biaya dapat ditelusuri?	Koreksi rumus dan simpan catatan asumsi.

2.9. Teknik Analisis Data

Teknik analisis dilakukan secara berurutan. Setiap tahap menghasilkan keluaran yang menjadi masukan tahap berikutnya. Ketika hasil validasi menunjukkan data tidak memadai, analisis dihentikan pada bagian yang terdampak dan peneliti melakukan konfirmasi atau menyatakan keterbatasan. Urutan analisis disajikan pada sebagian berikut.

a. Analisis Sistem Pengendalian Proyek

Analisis sistem pengendalian dilakukan secara deskriptif-evaluatif. Peneliti membandingkan praktik yang tercatat dengan unsur dasar pengendalian, yaitu penetapan baseline, pengukuran kinerja aktual, analisis deviasi, pelaporan, pengendalian perubahan, tindakan koreksi, dan tindak lanjut. Setiap unsur dicatat beserta bukti dokumen, keterangan informan, waktu pelaksanaan, dan konsekuensinya terhadap proyek. Penelitian membedakan antara alat yang diterapkan oleh proyek dan alat yang digunakan oleh peneliti. Apabila proyek hanya menggunakan Kurva S dan laporan mingguan, hal tersebut dilaporkan sebagai sistem yang diterapkan. EVM kemudian digunakan oleh peneliti untuk mengevaluasi efektivitas kinerja jadwal berdasarkan data yang sama. Pembedaan ini mencegah klaim bahwa EVM telah digunakan oleh pelaksana apabila tidak terdapat bukti penerapannya.

Tabel 8. Matriks Evaluasi Sistem Pengendalian

Unsur pengendalian	Bukti yang diperiksa	Kriteria evaluasi
Baseline jadwal	Time schedule, Kurva S, persetujuan, dan revisi.	Ada, disetujui, konsisten dengan lingkup, dan digunakan sebagai acuan.
Pengukuran kemajuan	Laporan mingguan, opname, checklist, dan foto.	Periodik, dapat diverifikasi, dan memiliki dasar volume/bobot.
Analisis deviasi	Perbandingan rencana-realisasi, catatan deviasi, dan tren.	Dilakukan tepat waktu dan menunjukkan besarnya penyimpangan.
Pelaporan dan rapat	Laporan, notulen, daftar tindak lanjut, dan korespondensi.	Informasi disampaikan kepada pihak terkait dan ditindaklanjuti.

Unsur pengendalian	Bukti yang diperiksa	Kriteria evaluasi
Pengendalian perubahan	MCO/CCO, gambar revisi, persetujuan, dan dampak waktu.	Perubahan terdokumentasi dan baseline disesuaikan secara terkendali.
Tindakan koreksi	Recovery plan, penambahan sumber daya, perubahan urutan, atau instruksi.	Spesifik, memiliki penanggung jawab, target, dan evaluasi hasil.

Sumber: Diolah peneliti berdasarkan prinsip monitoring dan controlling proyek.

b. Analisis Kinerja Jadwal *Earned Value Management*

EVM digunakan untuk mengintegrasikan lingkup yang direncanakan, jadwal, dan nilai anggaran. PMI (2020) menjelaskan bahwa EVM memberikan ukuran objektif mengenai posisi proyek dibandingkan dengan rencana serta membantu mengidentifikasi masalah dan kecenderungan hasil. Penelitian ini menggunakan EVM pada aspek jadwal karena Actual Cost tidak tersedia secara memadai. Langkah analisis EVM adalah menetapkan *Budget at Completion* (BAC), menghitung *Planned Value* (PV) dan *Earned Value* (EV) setiap minggu, menghitung *Schedule Variance* (SV) dan *Schedule Performance Index* (SPI), menganalisis tren, serta menghitung proyeksi durasi indikatif. Semua nilai rupiah EVM merupakan nilai anggaran pekerjaan, bukan arus kas aktual.

c. Identifikasi Keterlambatan dan Faktor Penghambat

Analisis tematik dilakukan melalui empat langkah: menyalin atau merangkum pernyataan penting; memberi kode sesuai tema; membandingkan informasi antar sumber; dan menyusun narasi sebab-akibat yang hati-hati. Suatu faktor dinyatakan terverifikasi apabila didukung oleh dokumen resmi, atau oleh kombinasi sedikitnya dua sumber independen seperti laporan dan wawancara, observasi dan wawancara, atau keterangan dua pihak yang berbeda. Bila dukungan hanya berasal dari satu pernyataan, faktor dinyatakan sebagai indikasi yang memerlukan verifikasi, bukan kesimpulan pasti. Literatur tentang keterlambatan digunakan untuk membantu kategorisasi, bukan menggantikan bukti kasus (Assaf & Al-Hejji, 2006; Sambasivan & Soon, 2007; Doloi et al., 2012).

Tabel 9. Matriks Penelusuran Faktor Penghambat

Kode faktor	Indikasi/ bukti	Sumber 1	Sumber 2/ konfirmasi	Dampak aktivitas/ jadwal	Status
F-01	Uraian faktor yang ditemukan.	Dokumen/ laporan.	Wawancara/ observasi.	Aktivitas terdampak mekanisme pengaruh.	Terverifikasi/ dan indikatif.
F-02	Diisi berdasarkan hasil penelitian.	-	-	-	-

d. Penyusunan *Network Planning* dan Analisis *Critical Path Method*

CPM digunakan untuk mengubah daftar pekerjaan sisa menjadi model jaringan yang menunjukkan urutan dan ketergantungan. Practice Standard for Scheduling menempatkan schedule model sebagai alat untuk merencanakan, memantau, memperbaiki, dan mengomunikasikan jadwal; CPM

merupakan salah satu teknik untuk menentukan rangkaian aktivitas yang mengendalikan penyelesaian proyek (PMI, 2019).

e. Penentuan Normal Duration dan Normal Cost Pekerjaan Sisa

Normal duration adalah durasi aktivitas pekerjaan sisa pada kondisi sumber daya normal. Karena catatan produktivitas harian rinci tidak tersedia, durasi normal diturunkan dari rentang baseline, proporsi pekerjaan yang masih tersisa, urutan teknis, dan konfirmasi pihak proyek. Hasil perhitungan dibulatkan ke hari kalender dan diperiksa agar tidak lebih kecil daripada durasi yang secara teknis masih masuk akal.

f. Penentuan Skenario dan Crash Duration

Crashing disimulasikan melalui kombinasi penambahan crew sebesar 25 persen dan lembur tiga jam per hari. Skenario dipilih karena dapat dimodelkan dari data RAB dan *time schedule* tanpa mengubah desain utama. Namun, penerapan di lapangan tetap memerlukan pemeriksaan ketersediaan tenaga, material, alat, ruang kerja, pengawasan, penerangan, keselamatan, dan mutu. PP Nomor 35 Tahun 2021 mengatur waktu kerja lembur dan upah lembur. Skenario tiga jam per hari selama enam hari menghasilkan 18 jam per minggu. Penelitian menggunakan efektivitas jam tambahan 70 persen untuk menghindari asumsi bahwa setiap jam lembur mempunyai output yang sama dengan jam normal. Faktor tersebut merupakan parameter simulasi yang didukung secara konseptual oleh literatur mengenai penurunan efisiensi pada lembur berkepanjangan (Thomas & Raynar, 1997; Hanna et al., 2005), bukan data produktivitas aktual proyek.

$$\text{Crew crash} = \text{Crew normal} + \text{ROUNDUP}(25\% \times \text{Crew normal})$$

$$\text{Faktor lembur efektif} = 1 + [(\text{Jam lembur} \times \text{Efektivitas}) / \text{Jam normal}]$$

$$\text{Faktor kapasitas} = (\text{Crew crash} / \text{Crew normal}) \times \text{Faktor lembur efektif}$$

$$\text{Crash duration} = \text{ROUNDUP}(\text{Normal duration} / \text{Faktor kapasitas})$$

g. Perhitungan Upah Lembur, Crash Cost, dan Cost Slope

Biaya langsung percepatan terdiri atas upah crew tambahan, upah lembur seluruh crew pada kondisi crash, dan biaya pendukung K3/logistik. Kategori tenaga mengikuti struktur umum AHSP, yaitu pekerja, tukang, kepala tukang, dan mandor. Permen PUPR Nomor 8 Tahun 2023 digunakan sebagai rujukan penyusunan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi dan pengelompokan komponen tenaga, bahan, dan alat. Untuk pekerja harian dengan pola enam hari kerja, upah bulanan simulasi dihitung 25 kali upah harian. Upah sejam dihitung 1/173 upah bulanan. Untuk tiga jam lembur pada hari kerja biasa, faktor upah terdiri atas 1,5 kali upah sejam untuk jam pertama dan 2 kali upah sejam untuk masing-masing jam berikutnya. Perhitungan harus disesuaikan apabila pola kerja, status pekerja, atau ketentuan pembayaran aktual berbeda.

$$\text{Biaya crew tambahan} = \text{jumlah tenaga tambahan} \times \text{upah harian} \times CD$$

$$\text{Biaya lembur} = \text{jumlah crew crash} \times \text{upah lembur per orang/hari} \times CD$$

$$\text{Biaya pendukung} = 5\% \times (\text{biaya crew tambahan} + \text{biaya lembur})$$

$$\text{Biaya percepatan} = \text{biaya crew tambahan} + \text{biaya lembur} + \text{biaya pendukung}$$

$$\text{Crash cost} = \text{Normal cost} + \text{Biaya percepatan}$$

h. Prosedur Iterasi Crashing

Crashing dilakukan secara iteratif karena jalur kritis dapat berubah setelah durasi aktivitas dikurangi. Prosedur penelitian mengacu pada prinsip *time-cost trade-off*, yaitu mencari pengurangan waktu dengan tambahan biaya yang terukur (Fulkerson, 1961; Hegazy, 1999).

Tabel 10. Format Rekaman Iterasi *Crashing*

Iterasi	Aktivitas	Durasi sebelum	Reduksi	Durasi sesudah	Cost slope	Biaya tambah	Durasi proyek	Jalur kritis
0	Kondisi normal	-	0	-	-	0	Durasi normal	Jalur awal
1	Aktivitas terpilih	hari	hari	hari	Rp/hari	Rp	hari	Hasil hitung ulang

Sumber: Format analisis yang diolah peneliti.

i. Perbandingan Biaya dan Waktu Sebelum dan Sesudah *Crashing*

Perbandingan dilakukan pada durasi pekerjaan sisa. Komponen yang dibandingkan meliputi durasi normal, durasi setelah crashing, penghematan hari, biaya langsung tambahan, biaya tidak langsung selama periode pekerjaan sisa, dan perubahan biaya total model. Biaya tidak langsung diasumsikan 5 persen dari BAC yang dialokasikan selama 120 hari kontrak. Karena struktur overhead aktual belum direkonsiliasi, angka ini diperlakukan sebagai skenario dan diuji sensitivitas.

Biaya tidak langsung /hari = (Persentase biaya tidak langsung x BAC) / 120

Biaya sebelum = BAC + (Biaya tidak langsung/hari x Durasi sisa normal)

Biaya sesudah = BAC + Biaya percepatan langsung + (Biaya tidak langsung/hari x Durasi sisa crash)

Perubahan biaya total = Biaya sesudah - Biaya sebelum

Penghematan waktu = Durasi sisa normal - Durasi sisa crash

Persentase percepatan = Penghematan waktu / Durasi sisa normal x 100%

j. Uji Sensitivitas dan Kriteria Pemilihan Skenario

Uji sensitivitas dilakukan karena hasil crashing dipengaruhi oleh asumsi yang belum seluruhnya berasal dari data aktual. Skenario dasar menggunakan biaya tidak langsung 5 persen dari BAC. Sensitivitas biaya tidak langsung diuji pada rentang 3-10 persen. Apabila *workbook* memungkinkan, efektivitas lembur, persentase tambahan crew, upah, dan biaya pendukung juga dapat diubah untuk melihat kestabilan hasil. Perubahan satu parameter dilakukan dengan parameter lain tetap agar pengaruhnya mudah dibaca.

Tabel 11. Kriteria Evaluasi Alternatif Percepatan

Kriteria	Pertanyaan evaluasi	Keputusan
Efektivitas waktu	Apakah durasi total benar-benar berkurang setelah CPM dihitung ulang?	Lanjut hanya jika ya.
Biaya	Apakah tambahan biaya dan penghematan biaya tidak langsung dapat ditelusuri?	Pilih trade-off yang dapat dipertanggungjawabkan.
Regulasi tenaga kerja	Apakah jam dan upah lembur sesuai ketentuan?	Tolak/ubah jika tidak sesuai.
Kelayakan teknis	Apakah crew tambahan dapat bekerja tanpa konflik ruang dan urutan?	Validasi dengan pihak teknis.
Material dan alat	Apakah pasokan dan alat tersedia sesuai jadwal percepatan?	Jangan crash bila pasokan menjadi pembatas.

Kriteria	Pertanyaan evaluasi	Keputusan
Mutu dan K3	Apakah pengawasan, penerangan, inspeksi, dan keselamatan memadai?	Tolak bila risiko tidak dapat dikendalikan.
Kesiapan keputusan	Apakah perubahan disetujui dan memiliki penanggung jawab?	Tetapkan recovery plan formal.

Paparkan metode penelitian yang berisi bentuk penelitian beserta pendekatan dan teknik yang digunakan dalam proses pemecahan masalah untuk mencapai tujuan penelitian. Metode penelitian harus dideskripsikan secara cukup jelas sehingga orang lain dapat menggunakan atau mengembangkan kembali. Perlu dipahami bahwa publikasi naskah artikel berimplikasi bahwa Anda harus menyediakan semua data, materi, kode komputer, dan protokol yang terkait dengan publikasi untuk pembaca. Metode dan protokol baru harus dijelaskan secara rinci sementara metode yang sudah mapan dan banyak digunakan (Dasar Teori) dapat dijelaskan secara singkat dan dikutip dengan tepat.

Pada sub bagian ini mungkin akan terdapat beberapa sub-sub bagian sesuai metode dan tahapan yang dibutuhkan. Sub-sub bagian ditulis dengan huruf tebal dengan format *Sentence case* dan disusun rata kiri dan menggunakan format penomoran level dua. Jarak antara baris terakhir teks dengan judul sub-sub bagian adalah 1 spasi. Jika terdapat uraian lebih lanjut di dalam sub-sub bagian dapat menggunakan format *numbering*: 1), 2), 3) dan seterusnya, atau a), b), c) dan seterusnya.

2.10. Asumsi Dasar Simulasi

Asumsi diperlukan karena data rinci crew, upah aktual, produktivitas, crash duration, crash cost, dan biaya tidak langsung tidak seluruhnya tersedia. Penelitian tidak boleh menyatakan jumlah crew, upah, atau produktivitas sebagai kondisi aktual hanya karena angka tersebut digunakan dalam *workbook*.

Tabel 11. Asumsi Dasar EVM dan *Crashing*

Parameter	Nilai dasar	Dasar/penggunaan	Status data
BAC analisis	Rp2.855.105.809	Total nilai kelompok Time Schedule CCO sebelum PPN yang menghasilkan bobot 100%.	Data dokumen; perlu rekonsiliasi kontrak.
Durasi rencana	120 hari kalender	29 Agustus-26 Desember 2025.	Data dokumen.
Tanggal status	26 Desember 2025	Tanggal akhir baseline untuk EVM.	Ketetapan analisis.
Jam kerja normal	8 jam/hari	Dasar konversi kapasitas.	Asumsi; validasi lapangan.
Hari kerja recovery	6 hari/minggu	Dasar skenario lembur 18 jam/minggu.	Asumsi; validasi lapangan.
Lembur	3 jam/hari	Skenario percepatan dalam batas maksimum mingguan yang digunakan model.	Asumsi berbasis PP 35/2021.
Efektivitas lembur	jam 70%	Mengubah jam tambahan menjadi kapasitas efektif.	Asumsi simulasi, bukan produktivitas aktual.
Tambahan crew	25%	Dibulatkan ke atas per kategori tenaga.	Asumsi simulasi.
Upah pekerja	Rp250.000/hari	Harga satuan dasar simulasi.	Asumsi; ganti dengan data lokal/aktual.

Parameter	Nilai dasar	Dasar/penggunaan	Status data
Upah tukang	Rp300.000/hari	Harga satuan dasar simulasi.	Asumsi; ganti dengan data lokal/aktual.
Upah kepala tukang	Rp350.000/hari	Harga satuan dasar simulasi.	Asumsi; ganti dengan data lokal/aktual.
Upah mandor	Rp400.000/hari	Harga satuan dasar simulasi.	Asumsi; ganti dengan data lokal/aktual.
Biaya K3/logistik	5% biaya tenaga percepatan	Penerangan, pengawasan, transport, dan dukungan percepatan.	Asumsi simulasi.
Biaya langsung	5% BAC/120 hari	Skenario dasar trade-off biaya-waktu.	Asumsi; sensitivitas 3-10%.

Sumber: Dokumen proyek, PP Nomor 35 Tahun 2021, Permen PUPR Nomor 8 Tahun 2023, dan asumsi model penelitian.

2.11. Keabsahan, Validitas, dan Keandalan Hasil

Keabsahan penelitian dijaga melalui triangulasi sumber, triangulasi metode, validasi teknis, pemeriksaan perhitungan, audit trail, dan uji sensitivitas. Validasi teknis dilakukan terhadap daftar aktivitas, predecessor, durasi, dan kelayakan crashing. Keandalan perhitungan dijaga dengan menggunakan rumus yang konsisten pada workbook, memisahkan input dari formula, memeriksa satuan, dan melakukan hitung ulang sampel secara manual.

Tabel 12. Strategi Keabsahan dan Pemeriksaan Hasil

Risiko	Strategi pengendalian	Bukti pemeriksaan
Dokumen berbeda versi	Inventarisasi revisi dan prioritaskan dokumen final/disetujui.	Daftar dokumen dan rekonsiliasi.
Bias informan	Triangulasi pihak dan bukti dokumen.	Matriks sumber dan hasil konfirmasi.
Subjektivitas faktor	Aturan minimal dukungan bukti dan penyajian status terverifikasi/indikatif.	Matriks faktor penghambat.
Network tidak realistis	Validasi predecessor dan durasi oleh pihak teknis.	Lembar validasi network.
Kesalahan formula	Pemeriksaan manual, rekalkulasi, dan audit sel.	Checklist rumus dan workbook.
Asumsi terlalu dominan	Label input simulasi dan uji sensitivitas.	Tabel asumsi dan hasil sensitivitas.
Double counting biaya	Pisahkan BAC, biaya percepatan, dan biaya tidak langsung model.	Rekonsiliasi komponen biaya.
Kesimpulan melampaui data	Nyatakan keterbatasan dan kondisi penerapan.	Bab pembahasan dan saran.

Sumber: Diolah peneliti berdasarkan prinsip studi kasus dan audit perhitungan.

2.12. Output Analisis dan Penyajian Hasil

Pertama, sistem pengendalian proyek dijelaskan berdasarkan bukti dan dinilai menggunakan indikator EVM. Kedua, faktor penghambat, perkembangan deviasi, pekerjaan sisa, network, dan jalur kritis dibahas sebagai penjelasan keterlambatan. Ketiga, upaya mengatasi kendala disajikan melalui skenario *crashing*, iterasi, perbandingan biaya-waktu, dan strategi penerapan.

Tabel 13. Output Setiap Tahap Analisis

Tahap	Keluaran minimum	Penyajian dalam Bab IV
Validasi data	BAC terpilih, tanggal status, seri rencana-realisisasi, dan catatan perbedaan dokumen.	Gambaran umum dan validasi data.
Sistem pengendalian	Matriks praktik pengendalian dan bukti.	Pembahasan rumusan masalah pertama.
EVM	PV, EV, SV, SPI, TEAC, Kurva S, dan tren SPI.	Diagnosis kuantitatif kinerja jadwal.
Faktor penghambat	Tema faktor, bukti, aktivitas terdampak, dan status verifikasi.	Pembahasan rumusan masalah kedua.
CPM	Daftar aktivitas, network, ES, EF, LS, LF, TF, jalur kritis, dan durasi normal.	Identifikasi aktivitas pengendali.
Crashing	Crash duration, crash cost, cost slope, iterasi, dan jalur kritis akhir.	Upaya percepatan.
Perbandingan	Hari hemat, biaya tambah, biaya tidak langsung, biaya total, dan sensitivitas.	Trade-off dan rekomendasi.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Gambaran Umum dan Validasi Data

Berdasarkan dokumen proyek, sistem pengendalian yang diterapkan menggunakan Time Schedule CCO sebagai baseline, Kurva S dan laporan mingguan untuk membandingkan rencana dengan realisasi, serta MCO/CCO untuk mengendalikan perubahan lingkup dan nilai pekerjaan. Dalam penelitian ini, sistem tersebut dievaluasi lebih lanjut dengan EVM, CPM, dan simulasi crashing. Total nilai kelompok pada Time Schedule CCO adalah Rp2,855,105,809 sebelum PPN dan digunakan sebagai BAC analisis karena persentase bobot setiap kelompok dihitung terhadap total tersebut. Dokumen proposal dan RAB mencantumkan angka kontrak yang berbeda, maka hasil finansial merupakan model analisis dan bukan rekonsiliasi kontraktual final.

3.2. Hasil Analisis

Bagian ini menyajikan hasil pengolahan data proyek yang bersumber dari *time schedule* CCO, laporan kemajuan mingguan, RAB, MCO/CCO, serta data sisa pekerjaan pada akhir masa kontrak. Metode penelitian pada BAB III, yaitu analisis kinerja proyek menggunakan *Earned Value Management*, identifikasi keterlambatan dan penentuan jalur kritis menggunakan *Critical Path Method*, analisis percepatan dengan metode *Crashing*, serta perbandingan biaya dan waktu sebelum dan sesudah percepatan. Karena data *Actual Cost* tidak tersedia secara lengkap, penerapan EVM dibatasi pada aspek kinerja jadwal melalui perhitungan *Planned Value*, *Earned Value*, *Schedule Variance*, *Schedule Performance Index*, dan estimasi waktu penyelesaian. Selanjutnya, analisis biaya dilakukan secara khusus pada tahap *crashing* berdasarkan biaya normal pekerjaan, tambahan tenaga kerja, lembur, biaya pendukung percepatan, dan biaya tidak langsung proyek. Hasil setiap tahapan analisis dijelaskan sebagai berikut.

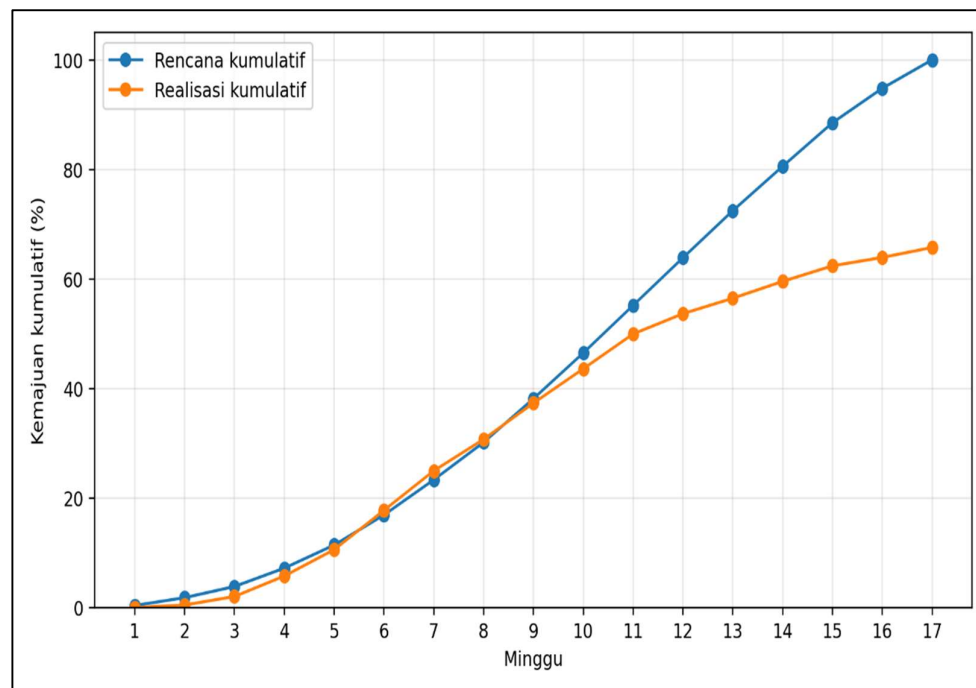
a. Analisis Kinerja Proyek Menggunakan EVM

Analisis *Earned Value Management* dilakukan untuk mengetahui tingkat kesesuaian antara kemajuan pekerjaan yang direncanakan dengan kemajuan yang benar-benar dicapai pada setiap minggu pelaksanaan. Persentase rencana kumulatif digunakan untuk menghitung *Planned Value*, sedangkan persentase realisasi kumulatif digunakan untuk menghitung *Earned Value*. Perhitungan dilakukan selama 17 minggu untuk melihat perkembangan kinerja proyek, waktu mulai terjadinya penyimpangan, serta besarnya keterlambatan pada akhir masa kontrak. Hasil perhitungan PV, EV, SV, SPI, dan deviasi kemajuan proyek pada setiap minggu disajikan pada tabel berikut.

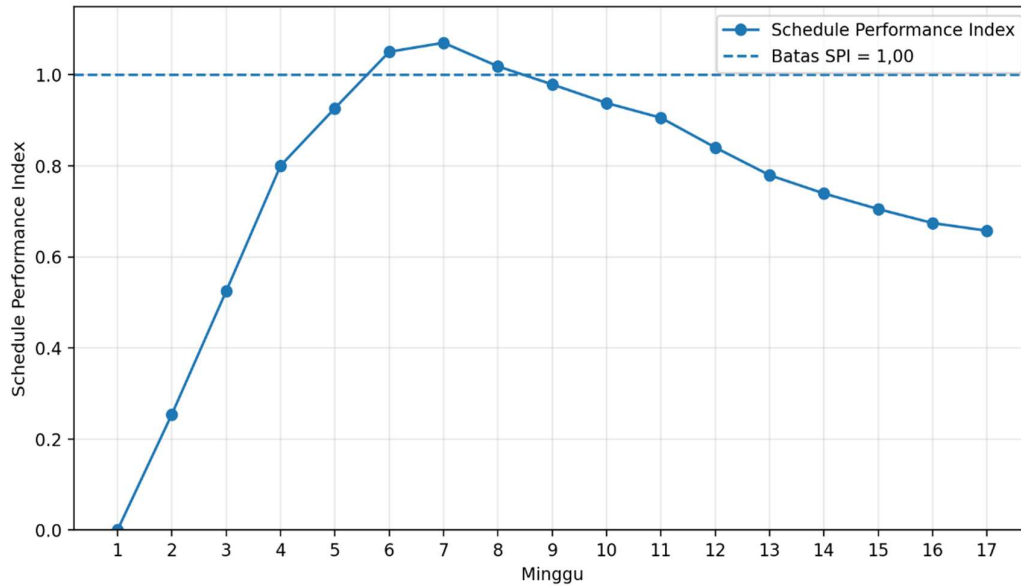
Tabel 14. Hasil EVM Mingguan

Minggu	Rencana Kum. (%)	Realisasi Kum. (%)	PV (Rp)	EV (Rp)	SV (Rp)	SPI
1	0.37	0.00	10,563,891	0	-10,563,891	0.000
2	1.80	0.46	51,391,905	13,062,893	-38,329,012	0.254
3	3.84	2.01	109,594,887	57,511,443	-52,083,444	0.525
4	7.19	5.75	205,327,796	164,283,099	-41,044,697	0.800
5	11.40	10.57	325,614,615	301,661,623	-23,952,993	0.926
6	16.90	17.75	482,515,266	506,823,898	24,308,632	1.050
7	23.33	24.97	666,057,393	712,786,101	46,728,708	1.070
8	30.16	30.72	861,192,425	877,078,755	15,886,330	1.018
9	38.14	37.33	1,089,029,868	1,065,799,090	-23,230,778	0.979
10	46.48	43.60	1,327,169,512	1,244,692,127	-82,477,385	0.938
11	55.17	49.95	1,575,127,234	1,426,095,608	-149,031,626	0.905
12	63.86	53.65	1,823,345,024	1,531,834,135	-291,510,889	0.840
13	72.46	56.47	2,068,737,313	1,612,250,129	-456,487,185	0.779
14	80.55	59.55	2,299,903,846	1,700,132,621	-599,771,225	0.739
15	88.51	62.39	2,527,049,004	1,781,249,755	-745,799,249	0.705
16	94.80	63.92	2,706,773,159	1,824,889,939	-881,883,220	0.674
17	100.00	65.74	2,855,043,842	1,876,899,961	-978,143,881	0.657

Pada tabel menunjukkan bahwa kinerja proyek berubah dari tertinggal pada awal pelaksanaan menjadi sedikit lebih cepat pada minggu ke-6 sampai minggu ke-8. Setelah minggu ke-9, SPI kembali berada di bawah 1,00 dan terus menurun. Pola ini menunjukkan bahwa keterlambatan berkembang pada fase pekerjaan lanjutan dan *finishing*.

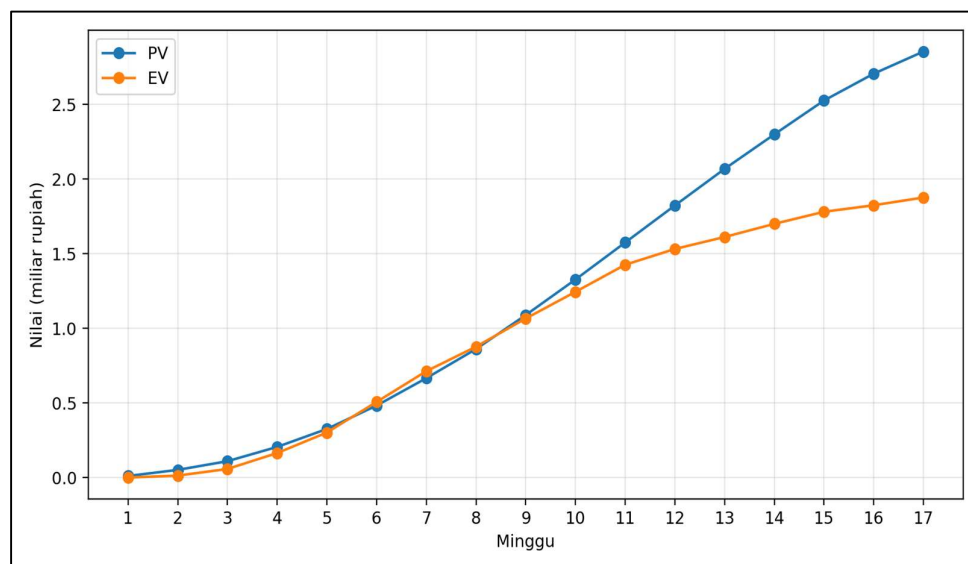
**Gambar 2.** Kurva S rencana dan realisasi

Pada gambar memperlihatkan kurva realisasi sempat mendekati dan melampaui kurva rencana pada pertengahan proyek, kemudian menjauh secara progresif mulai minggu ke-9. Jarak pada minggu ke-17 mencapai 34,26 poin persentase, sehingga tindakan koreksi yang berjalan belum mampu mempertahankan kemajuan sesuai *baseline*.



Gambar 3. Perkembangan *Schedule Performance Index*

Gambar diatas menegaskan perkembangan efisiensi jadwal. SPI di atas 1,00 pada minggu ke-6 sampai ke-8 menunjukkan kinerja sementara lebih cepat, sedangkan SPI 0,657 pada minggu ke-17 menunjukkan bahwa proyek hanya memperoleh sekitar 0,657 satuan nilai hasil untuk setiap satu satuan nilai yang direncanakan. Penurunan yang konsisten menjadi dasar perlunya analisis pekerjaan sisa dan pemulihan jadwal.



Gambar 3. Perbandingan *Planned Value* dan *Earned Value*

Hasil pada gambar menunjukkan PV akhir sebesar BAC, yaitu Rp2.855.105.809, sedangkan EV akhir sebesar Rp1.876.899.961. Selisih Rp 978.205.848 merupakan Schedule Variance dalam

satuan nilai anggaran pekerjaan, bukan kerugian kas aktual. Nilai tersebut menggambarkan besarnya pekerjaan yang belum memperoleh nilai hasil dibandingkan rencana.

Tabel 15. Indikator EVM akhir

Indikator	Hasil	Interpretasi
BAC	Rp2,855,105,809	Nilai acuan analisis.
PV minggu ke-17	Rp2,855,043,842	Seluruh pekerjaan seharusnya selesai.
EV minggu ke-17	Rp1,876,899,961	Kemajuan aktual 65.74%.
SV	Rp-978,143,881	Negatif, proyek terlambat.
SPI	0.657	Hanya 65,7% dari kinerja jadwal rencana.
TEAC	182.54 hari	Indikasi durasi total apabila kinerja tidak membaik.
Tambahan waktu EVM	62.54 hari	Perkiraan selesai sekitar 28 February 2026.

Tabel tersebut merangkum kondisi akhir EVM dengan SV negatif dan SPI 0,657 mengonfirmasi keterlambatan, sedangkan TEAC 182,54 hari merupakan proyeksi indikatif apabila efisiensi jadwal tidak membaik. Proyeksi tersebut kemudian diperiksa dengan jaringan CPM pekerjaan sisa. Secara keseluruhan, EVM menjawab rumusan masalah pertama dengan menunjukkan bahwa sistem pengendalian berbasis *time schedule*, Kurva S, dan laporan mingguan mampu mendeteksi penyimpangan, tetapi tindakan koreksi belum berhasil mempertahankan SPI. Hasil EVM kemudian digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi pekerjaan sisa dan membangun jaringan CPM.

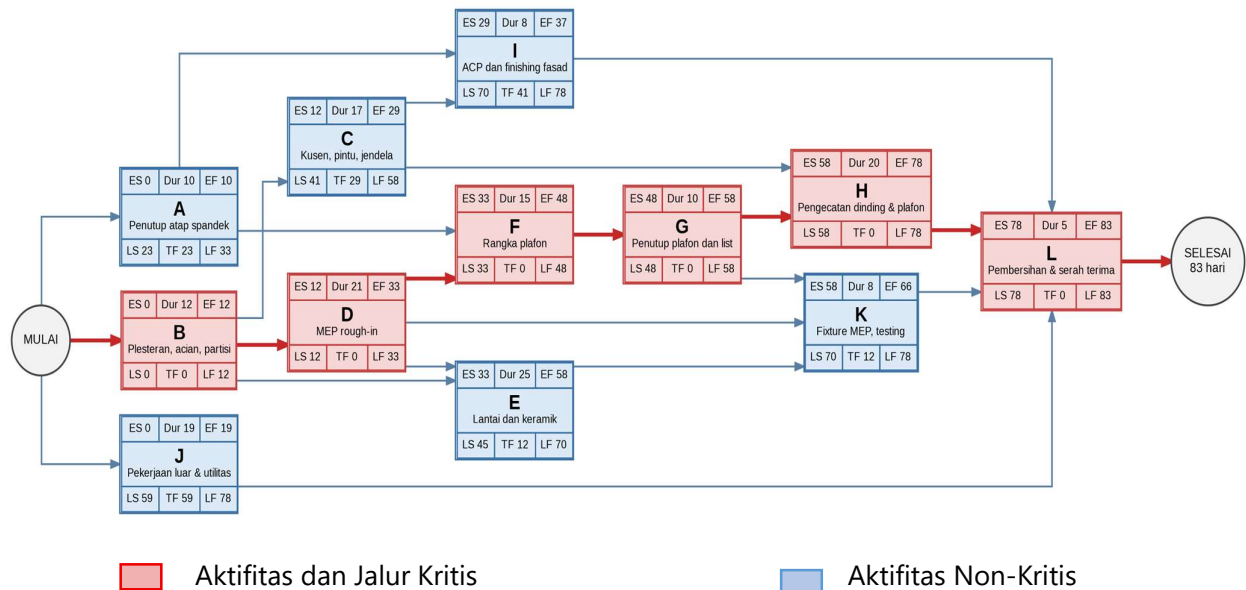
b. Identifikasi Keterlambatan Proyek

Sisa kemajuan pada tanggal status adalah 34,26% dengan nilai hasil yang belum diperoleh sebesar Rp 978.205.848. Item dominan yang belum diselesaikan meliputi atap spandek, acian, kusen dan bukaan, lantai granit, MEP, plafon, pengecatan, ACP, saluran, utilitas, dan pekerjaan akhir. Perubahan MCO/CCO, kebutuhan material, akses lokasi, penurunan kemajuan akhir, dan ketergantungan finishing menjadi faktor penghambat yang dapat ditelusuri dari dokumen.

Tabel 16. Aktivitas sisa dan durasi normal

ID	Aktivitas	Predecessor	Durasi Normal (hari)	Biaya Normal
A	Penutup atap spandek	-	10	Rp62,285,611
B	Plesteran, acian, dan partisi	-	12	Rp130,122,981
C	Kusen, pintu, jendela, dan bukaan	B	17	Rp71,930,598
D	MEP rough-in	B	21	Rp54,487,660
E	Lantai dan keramik	B,D	25	Rp158,705,265
F	Rangka plafon	A,D	15	Rp44,663,063
G	Penutup plafon dan list	F	10	Rp20,538,121
H	Pengecatan dinding dan plafon	C,G	20	Rp110,982,667
I	ACP dan finishing fasad	A,C	8	Rp32,910,545
J	Pekerjaan luar, saluran, halaman, utilitas	-	19	Rp250,688,025
K	Fixture MEP, testing, commissioning	D,E,G	8	Rp29,339,509
L	Pembersihan akhir dan serah terima	H,I,J,K	5	Rp5,000,000

Tabel 15 menerjemahkan item sisa pada laporan minggu ke-17 menjadi aktivitas yang dapat dijadwalkan. Durasi normal diturunkan dari rentang *baseline*, proporsi sisa, dan urutan teknis, bukan dari produktivitas tenaga kerja.



Gambar 4. Jaringan CPM pekerjaan sisa

Berdasarkan perhitungan maju dan mundur, jalur kritis proyek adalah B–D–F–G–H–L dengan durasi total 83 hari. Seluruh aktivitas pada jalur tersebut memiliki TF = 0, sehingga keterlambatan pada salah satu aktivitas kritis akan langsung memperpanjang waktu penyelesaian proyek. Aktivitas nonkritis masih memiliki kelonggaran waktu sesuai nilai total float yang tercantum pada masing-masing kotak. Pada gambar juga memperlihatkan hubungan teknis antaraktivitas, MEP *rough-in* dan atap harus mendahului plafon, sedangkan pengecatan dan serah terima menunggu pekerjaan pendahulunya. Jaringan ini memastikan percepatan diarahkan pada aktivitas yang benar-benar mengendalikan tanggal selesai.

Tabel 17. Perhitungan CPM normal

ID	Durasi	ES	EF	LS	LF	TF	Kritis
A	10	0	10	23	33	23	Tidak
B	12	0	12	0	12	0	Ya
C	17	12	29	41	58	29	Tidak
D	21	12	33	12	33	0	Ya
E	25	33	58	45	70	12	Tidak
F	15	33	48	33	48	0	Ya
G	10	48	58	48	58	0	Ya
H	20	58	78	58	78	0	Ya
I	8	29	37	70	78	41	Tidak
J	19	0	19	59	78	59	Tidak
K	8	58	66	70	78	12	Tidak
L	5	78	83	78	83	0	Ya

Pada (Tabel 16) menghasilkan durasi normal pekerjaan sisa 83 hari dan jalur kritis B-D-F-G-H-L. Aktivitas pada jalur tersebut mempunyai total *float* nol, sehingga keterlambatan satu hari langsung memengaruhi penyelesaian proyek. Hasil identifikasi menjawab rumusan masalah kedua. Keterlambatan bukan hanya terlihat dari deviasi agregat, tetapi terkonsentrasi pada rangkaian pekerjaan MEP-plafon-finishing. Durasi CPM normal 83 hari lebih panjang daripada tambahan waktu indikatif EVM sekitar 62,54 hari, sehingga proyek membutuhkan percepatan sekitar 20 hari agar durasi pekerjaan sisa mendekati target 63 hari.

c. Analisis Percepatan Dengan Menggunakan Metode *Crashing*

Crashing diterapkan sebagai solusi setelah keterlambatan dan jalur kritis ditemukan. Simulasi tidak menggunakan produktivitas tenaga kerja. Kapasitas percepatan dihitung dari tambahan crew 25% dan tiga jam lembur per hari selama enam hari kerja, sedangkan efektivitas 70% hanya diterapkan pada jam tambahan. Skenario lembur berjumlah 18 jam per minggu dan harus tetap dilaksanakan melalui persetujuan, pencatatan, pengawasan, istirahat, serta pengendalian keselamatan.

Tabel 18. Parameter tenaga dan biaya *crashing*

Parameter	Nilai	Keterangan
Jam normal	8 jam/hari	Dasar perhitungan kapasitas.
Jam lembur	3 jam/hari	18 jam/minggu.
Efektivitas tambahan	70%	Asumsi konservatif; bukan produktivitas aktual.
Tambahan crew	25%	Dibulatkan ke atas per kategori.
Upah pekerja	Rp250.000/hari	HSD simulasi.
Upah tukang	Rp300.000/hari	HSD simulasi.
Upah kepala tukang	Rp350.000/hari	HSD simulasi.
Upah mandor	Rp400.000/hari	HSD simulasi.
K3/logistik tambahan	5%	Atas biaya tenaga percepatan.

Tabel diatas memuat asumsi simulasi yang digunakan pada semua aktivitas. Penelitian tidak menggunakan produktivitas tenaga kerja sebagai variabel; kapasitas percepatan dibentuk dari penambahan *crew* dan jam lembur efektif. Nilai upah dan faktor asumsi dapat diperbarui pada file *Excel*.

Tabel 19. *Cost slope* aktivitas

ID	Normal	Crash Min.	Reduksi Maks.	Crew Normal	Crew Crash	Biaya Tambahan Full	Cost Slope/Hari
A	10	6	4	12	17	Rp34,801,127	Rp8,700,282
B	12	7	5	16	22	Rp50,984,783	Rp10,196,957
C	17	10	7	10	14	Rp49,117,847	Rp7,016,835
D	21	12	9	10	14	Rp58,941,416	Rp6,549,046
E	25	14	11	14	20	Rp96,127,803	Rp8,738,891
F	15	9	6	13	19	Rp59,543,194	Rp9,923,866
G	10	6	4	12	18	Rp38,443,656	Rp9,610,914
H	20	12	8	14	20	Rp82,395,260	Rp10,299,408
I	8	5	3	10	14	Rp24,558,923	Rp8,186,308
J	19	11	8	16	22	Rp80,118,945	Rp10,014,868
K	8	5	3	9	13	Rp23,515,751	Rp7,838,584
L	5	3	2	7	10	Rp9,845,116	Rp4,922,558

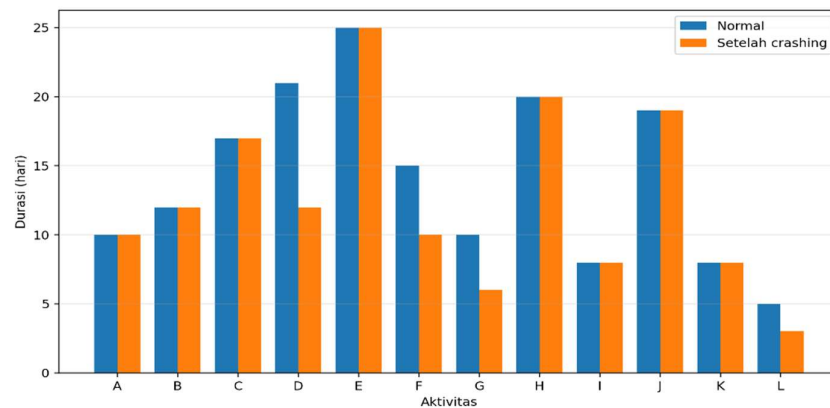
Pada (Tabel 18) menunjukkan tambahan biaya per hari pengurangan durasi. Aktivitas dengan *cost slope* lebih rendah diprioritaskan hanya ketika aktivitas tersebut berada pada jalur kritis dan pengurangannya benar-benar menurunkan durasi total. *Cost slope* digunakan sebagai kriteria biaya marginal. Aktivitas L memiliki *cost slope* paling rendah di antara aktivitas kritis yang dapat mengurangi durasi, kemudian D, G, dan F dipercepat sesuai hasil perhitungan ulang jaringan. Urutan ini menjaga agar tambahan biaya digunakan pada aktivitas yang benar-benar memberikan penghematan waktu.

Tabel 20. Ringkasan iterasi *crashing*

ID	Aktivitas	Reduksi (hari)	Cost Slope/Hari	Biaya Tambahan
L	Pembersihan akhir dan serah terima	2	Rp4,922,558	Rp9,845,116
D	MEP rough-in	9	Rp6,549,046	Rp58,941,416

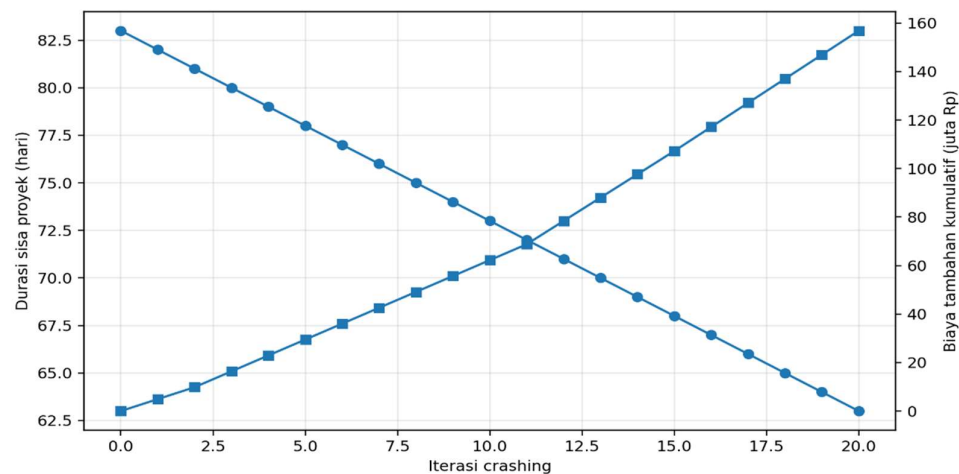
ID	Aktivitas	Reduksi (hari)	Cost Slope/Hari	Biaya Tambahan
G	Penutup plafon dan list	4	Rp9,610,914	Rp38,443,656
F	Rangka plafon	5	Rp9,923,866	Rp49,619,328
TOTAL		20		Rp156,849,516

Tabel diatas memperlihatkan proses *crashing* bertahap. Aktivitas L dipercepat terlebih dahulu, dilanjutkan aktivitas D, G, dan F sesuai urutan cost slope dan kondisi jalur kritis. Setiap reduksi satu hari diikuti perhitungan ulang CPM. Proses dihentikan ketika target durasi 63 hari tercapai dan kebutuhan pemulihan indikatif dari EVM telah dipenuhi.



Gambar 5. Durasi aktivitas normal dan setelah *crashing*

Gambar 2 dan 3 memperlihatkan bahwa pengurangan terbesar dilakukan pada MEP rough-in, rangka plafon, penutup plafon, dan pekerjaan akhir. Aktivitas lain dipertahankan pada durasi normal karena berada di luar jalur pengendali pada iterasi terpilih, memiliki cost slope lebih tinggi, atau pengurangannya tidak lagi menurunkan durasi total.



Gambar 6. Kurva iterasi waktu-biaya

Pada gambar menunjukkan bahwa biaya tambahan meningkat ketika durasi proyek dipersingkat. Perubahan kemiringan kurva mencerminkan perbedaan cost slope aktivitas, sehingga target percepatan harus dipilih dengan mempertimbangkan urgensi waktu dan kemampuan biaya.

Tabel 21. CPM setelah *crashing*

ID	Durasi Normal	Reduksi	Durasi Crash	ES	EF	TF	Kritis
A	10	0	10	0	10	14	Tidak

ID	Durasi Normal	Reduksi	Durasi Crash	ES	EF	TF	Kritis
B	12	0	12	0	12	0	Ya
C	17	0	17	12	29	11	Tidak
D	21	9	12	12	24	0	Ya
E	25	0	25	24	49	3	Tidak
F	15	5	10	24	34	0	Ya
G	10	4	6	34	40	0	Ya
H	20	0	20	40	60	0	Ya
I	8	0	8	29	37	23	Tidak
J	19	0	19	0	19	41	Tidak
K	8	0	8	49	57	3	Tidak
L	5	2	3	60	63	0	Ya

Tabel tersebut menunjukkan bahwa setelah aktivitas D, F, G, dan L dipercepat, durasi pekerjaan sisa menjadi 63 hari. Jalur pengendali masih didominasi rangkaian MEP-plafon-finishing dan target simulasi dapat dicapai tanpa mengurangi lingkup. Setelah iterasi, aktivitas D berkurang 9 hari, G berkurang 4 hari, F berkurang 5 hari, dan L berkurang 2 hari. Total reduksi 20 hari menurunkan durasi pekerjaan sisa dari 83 menjadi 63 hari. Hasil tersebut merupakan simulasi yang konsisten dengan data RAB dan time schedule, tetapi implementasinya tetap memerlukan validasi jumlah crew, upah, akses area, ketersediaan material, dan kemampuan pengawasan.

d. Perbandingan Biaya dan Waktu

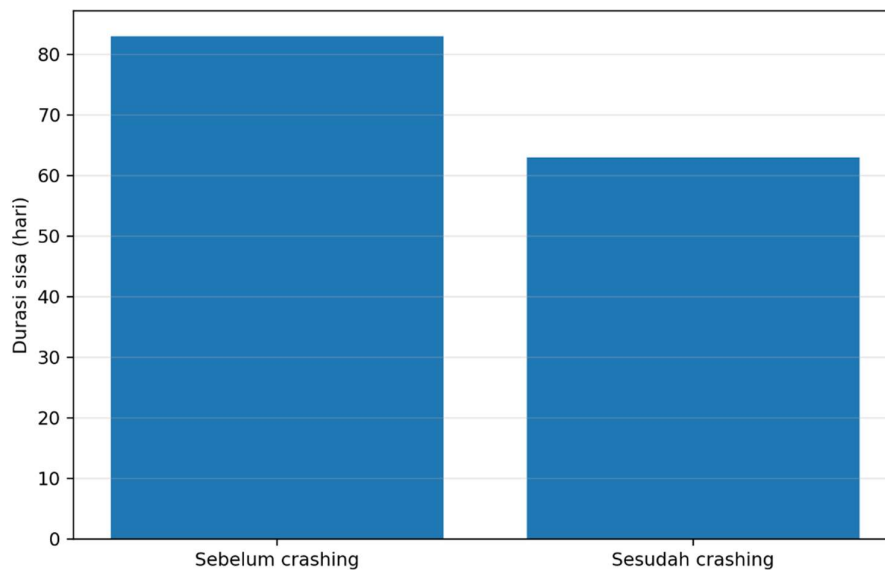
Setelah proses *crashing* dilakukan pada aktivitas yang berada dalam jalur kritis, tahap berikutnya adalah membandingkan kondisi proyek sebelum dan sesudah percepatan. Perbandingan ini bertujuan untuk mengetahui besarnya pengurangan durasi yang diperoleh serta konsekuensi biaya yang harus ditanggung akibat penerapan tambahan crew dan waktu kerja lembur. Kondisi sebelum *crashing* menggunakan durasi normal pekerjaan sisa berdasarkan hasil CPM, sedangkan kondisi setelah *crashing* menggunakan durasi hasil iterasi percepatan pada aktivitas kritis.

Komponen biaya yang dibandingkan terdiri atas biaya pekerjaan berdasarkan BAC, tambahan biaya langsung *crashing*, serta biaya tidak langsung selama masa penyelesaian pekerjaan. Tambahan biaya langsung meliputi biaya tenaga tambahan, upah lembur, serta biaya pendukung berupa pengawasan, penerangan, keselamatan, dan logistik. Sementara itu, biaya tidak langsung dihitung berdasarkan asumsi sebesar 5% dari BAC yang dibagi dengan durasi kontrak 120 hari. Perbandingan ini tidak hanya menunjukkan kenaikan biaya akibat percepatan, tetapi juga memperhitungkan penghematan biaya tidak langsung karena waktu penyelesaian menjadi lebih singkat. Dengan demikian, hasilnya dapat digunakan untuk menilai pertukaran antara penghematan waktu dan tambahan biaya sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengatasi keterlambatan proyek. Hasil perbandingan biaya dan waktu sebelum dan sesudah *crashing* disajikan pada tabel berikut.

Tabel 22. Perbandingan biaya dan waktu

Komponen	Sebelum <i>Crashing</i>	Sesudah <i>Crashing</i>	Selisih
Durasi sisa	83 hari	63 hari	20 hari lebih cepat
Perkiraan selesai	19-03-2026	27-02-2026	20 hari
BAC	Rp2,855,105,809	Rp2,855,105,809	-
Biaya tambahan langsung	Rp0	Rp156,849,516	+Rp156,849,516
Biaya tidak langsung masa tambahan	Rp98,739,076	Rp74,946,527	-Rp23,792,548
Estimasi total biaya	Rp2,953,844,884	Rp3,086,901,852	+Rp133,056,967
Efisiensi waktu	-	24.10%	-
Kenaikan biaya total	-	4.50%	-

Tabel diatas memperlihatkan penghematan waktu 20 hari atau 24,10%. Tambahan biaya langsung sebesar Rp156.849.516 dikurangi penghematan biaya tidak langsung Rp 23.792.548, sehingga estimasi biaya total meningkat Rp133.056.967.



Gambar 7. Perbandingan waktu sebelum dan sesudah crashing

Gambar diatas memperjelas bahwa durasi pekerjaan sisa turun dari 83 menjadi 63 hari. Manfaat utama crashing adalah pemulihan waktu, sedangkan konsekuensi biayanya tetap meningkat sebagaimana ditunjukkan dalam (Tabel 21) *Crashing* menghemat 20 hari atau 24,10% dari durasi sisa. Biaya tambahan langsung sebesar Rp156.849.516, sedangkan penghematan biaya tidak langsung sebesar Rp 23.792.548. Dengan asumsi biaya tidak langsung 5% dari BAC, estimasi biaya total meningkat Rp133.056.967 atau sekitar 4,50%. Hasil perbandingan menjawab rumusan masalah ketiga. Crashing memberikan manfaat waktu yang nyata, tetapi meningkatkan biaya total pada skenario dasar. Keputusan penerapan harus mempertimbangkan urgensi penggunaan gedung, risiko denda dan perpanjangan, ketersediaan dana, mutu, keselamatan, serta kemampuan organisasi proyek mengendalikan kerja tambahan.

3.3. Strategi Pengendalian Pelaksanaan *Crashing*

Strategi pengendalian keterlambatan disusun berdasarkan hasil analisis EVM, identifikasi pekerjaan sisa, perhitungan CPM, dan simulasi crashing. Hasil EVM menunjukkan bahwa pada akhir minggu ke-17 realisasi proyek baru mencapai 65,74% dari rencana 100%, dengan nilai SPI sebesar 0,657. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kinerja jadwal proyek berada dalam kategori kritis dan memerlukan tindakan koreksi yang tidak hanya bersifat administratif, tetapi langsung diarahkan pada aktivitas yang menentukan penyelesaian proyek. Berdasarkan analisis CPM terhadap pekerjaan sisa, diperoleh jalur kritis B–D–F–G–H–L dengan durasi normal 83 hari. Jalur tersebut mencakup pekerjaan plesteran dan acian, MEP rough-in, rangka plafon, penutup plafon, pengecatan, serta pembersihan akhir dan serah terima. Oleh karena itu, strategi pengendalian difokuskan pada aktivitas tersebut karena keterlambatan satu hari pada aktivitas kritis akan secara langsung menambah durasi penyelesaian proyek apabila tidak diikuti tindakan percepatan.

Pelaksanaan *crashing* direncanakan melalui penambahan *crew* sebesar 25% dan penerapan lembur tiga jam per hari pada aktivitas kritis yang memiliki cost slope paling rendah. Berdasarkan hasil iterasi, crashing dapat mengurangi durasi pekerjaan sisa dari 83 hari menjadi 63 hari atau menghemat 20 hari. Namun, keberhasilan percepatan tidak hanya ditentukan oleh penambahan tenaga kerja dan jam kerja. Percepatan harus didukung oleh ketersediaan material, kesiapan area kerja, koordinasi antardisiplin, pengawasan mutu, keselamatan kerja, serta pengambilan keputusan

yang cepat terhadap perubahan pekerjaan. Strategi pengendalian pelaksanaan crashing dalam penelitian ini dimaknai sebagai rangkaian tindakan untuk memastikan bahwa tambahan biaya percepatan benar-benar menghasilkan pengurangan waktu. Pengendalian dilakukan melalui penetapan target harian dan mingguan, pengawasan aktivitas kritis, pembaruan jadwal, evaluasi SPI, pengendalian material, serta pemeriksaan mutu dan keselamatan. Apabila realisasi percepatan tidak mencapai target, tindakan koreksi harus segera dilakukan agar tambahan biaya tenaga kerja dan lembur tidak terbuang tanpa memberikan pengurangan durasi proyek.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis kinerja proyek menggunakan *Earned Value Management*, identifikasi keterlambatan melalui jaringan CPM, serta simulasi percepatan dengan metode *crashing*, dapat diketahui kondisi pelaksanaan proyek, aktivitas yang menentukan waktu penyelesaian, dan konsekuensi biaya akibat percepatan. Kesimpulan penelitian yang disusun untuk menjawab rumusan masalah adalah sebagai berikut:

- Sistem pengendalian proyek menggunakan time schedule, Kurva S, laporan mingguan, MCO/CCO, dan EVM menunjukkan proyek mengalami keterlambatan. Pada akhir minggu ke-17, realisasi hanya 65,74% dari rencana 100%, dengan nilai SV sebesar -Rp978.205.848 dan SPI sebesar 0,657.
- Keterlambatan dipengaruhi oleh perubahan lingkup pekerjaan, keterlambatan material, keterbatasan sumber daya, koordinasi pekerjaan, serta ketergantungan aktivitas. Berdasarkan CPM, jalur kritis pekerjaan sisa adalah B-D-F-G-H-L dengan durasi normal 83 hari.
- Upaya pengendalian dilakukan melalui *crashing* berupa penambahan *crew* dan lembur pada aktivitas kritis. Percepatan menurunkan durasi pekerjaan sisa dari 83 hari menjadi 63 hari, atau menghemat 20 hari, dengan tambahan biaya langsung sebesar Rp156.849.516 dan kenaikan biaya total sekitar Rp133.056.967.

Daftar Pustaka

Artikel Jurnal

- Assaf, S. A., & Al-Hejji, S. (2006). Causes of delay in large construction projects. *International Journal of Project Management*, 24(4), 349–357. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2005.11.010>
- Dharmawan, R. D., Safarizki, H. A., & Firdausi, A. A. (2023). Evaluasi efektivitas keputusan addendum proyek terhadap waktu pekerjaan proyek berbasis earned value method. *J@ti Undip: Jurnal Teknik Industri*, 18(1), 51–61. <https://doi.org/10.14710/jati.18.1.51-61>
- Doloi, H., Sawhney, A., Iyer, K. C., & Rentala, S. (2012). Analysing factors affecting delays in Indian construction projects. *International Journal of Project Management*, 30(4), 479–489. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.10.004>
- Durdyev, S., & Hosseini, M. R. (2020). Causes of delays on construction projects: A comprehensive list. *International Journal of Managing Projects in Business*, 13(1), 20–46. <https://doi.org/10.1108/IJMPB-09-2018-0178>
- El-Rayes, K., & Kandil, A. (2005). Time-cost-quality trade-off analysis for highway construction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(4), 477–486. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:4\(477\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:4(477))
- Fakhrulloh, Z. A., & Triana, M. I. (2025). Optimasi waktu proyek konstruksi dengan penambahan jam kerja menggunakan metode crashing: Studi kasus proyek pembangunan Gedung Pusat

- Terpadu RSUD Sidoarjo. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 8(1), 112–124. <https://doi.org/10.31004/jutin.v8i1.38965>
- Fauza, M., & Kartika, N. (2020). Analisis pengendalian proyek menggunakan Kurva-S dan metode earned value pada proyek pembangunan trotoar di ruas Jalan Cisaat, Kecamatan Cisaat, Kabupaten Sukabumi. *SANTIKA: Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, 10(1), 37–48. <https://doi.org/10.37150/jsa.v10i1.1362>
- Fitriah, F., Mustika, W., Talanipa, R., & Ramadhan, S. (2024). Analisis perbandingan metode fast track dan metode crashing terhadap efisiensi biaya dan aktivitas waktu pelaksanaan. *Media Konstruksi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 9(4), 405–416. <https://doi.org/10.33772/medkons.v9i4.88>
- Fulkerson, D. R. (1961). A network flow computation for project cost curves. *Management Science*, 7(2), 167–178. <https://doi.org/10.1287/mnsc.7.2.167>
- Hanna, A. S., Taylor, C. S., & Sullivan, K. T. (2005). Impact of extended overtime on construction labor productivity. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(6), 734–739. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2005\)131:6\(734\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2005)131:6(734))
- Hegazy, T. (1999). Optimization of construction time-cost trade-off analysis using genetic algorithms. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 26(6), 685–697. <https://doi.org/10.1139/1999-031>
- Kelley, J. E., Jr., & Walker, M. R. (1959). Critical-path planning and scheduling. In *Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference* (pp. 160–173). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/1460299.1460318>
- Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). Wiley.
- Lipke, W., Zwikael, O., Henderson, K., & Anbari, F. (2009). Prediction of project outcome: The application of statistical methods to earned value management and earned schedule performance indexes. *International Journal of Project Management*, 27(4), 400–407. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2008.02.009>
- Luthan, P. L. A., Sitanggang, N., & Syafriandi, S. (2023). Reinventing formulas for construction project delay index due to management and production. *HighTech and Innovation Journal*, 4(4), 768–778. <https://doi.org/10.28991/HIJ-2023-04-04-06>
- Proaño-Narváez, M., Flores-Vázquez, C., Vásquez Quiroz, P., & Avila-Calle, M. (2022). Earned value method for construction projects: Current application and future projections. *Buildings*, 12(3), Article 301. <https://doi.org/10.3390/buildings12030301>
- Project Management Institute. (2011). *Practice standard for earned value management* (2nd ed.).
- Project Management Institute. (2019). *Practice standard for scheduling* (3rd ed.).
- Project Management Institute. (2021). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide) and the standard for project management* (7th ed.).
- Putri, D. A., Muhtar, & Gunasti, A. (2021). Penerapan metode CPM dan crashing pada proyek Gedung Training Center Universitas Jember. *Jurnal Smart Teknologi*, 2(2), 151–158.
- Republik Indonesia. (2017). *Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi*.

- Republik Indonesia. (2021a). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 14 Tahun 2021 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 22 Tahun 2020 tentang Peraturan Pelaksanaan Undang-Undang Nomor 2 Tahun 2017 tentang Jasa Konstruksi*.
- Republik Indonesia. (2021b). *Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2021 tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja*.
- Republik Indonesia. (2023). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Sambasivan, M., & Soon, Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management*, 25(5), 517–526. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.007>
- Simanungkalit, A. W., Lubis, M., & Simbolon, R. H. T. (2022). Evaluasi penjadwalan proyek dengan menggunakan metode CPM pada proyek pembangunan Mall Suzuya Jalan Karya Wisata Medan Johor. *Buletin Utama Teknik*, 18(1), 1–10. <https://doi.org/10.30743/but.v18i1.5843>
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen proyek: Dari konseptual sampai operasional* (Edisi ke-2). Erlangga.
- Thomas, H. R., & Raynar, K. A. (1997). Scheduled overtime and labor productivity: Quantitative analysis. *Journal of Construction Engineering and Management*, 123(2), 181–188. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(1997\)123:2\(181\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(1997)123:2(181))
- Warburton, R. D. H. (2011). A time-dependent earned value model for software projects. *International Journal of Project Management*, 29(8), 1082–1090. <https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2011.02.008>
- Wiraningsih, P. I. P. (2024). Analisis reduksi durasi proyek metode crashing dengan penambahan waktu kerja: Studi kasus SDN Werdi Bhuwana. *Reinforcement Review in Civil Engineering Studies and Management*, 3(2), 94–108. <https://doi.org/10.38043/reinforcement.v3i2.6454>
- Yap, J. B. H., Goay, P. L., Woon, Y. B., & Skitmore, M. (2021). Revisiting critical delay factors for construction: Analysing projects in Malaysia. *Alexandria Engineering Journal*, 60(1), 1717–1729. <https://doi.org/10.1016/j.aej.2020.11.021>