



Analisis Manajemen Biaya dan Waktu pada Proyek Pembangunan Pabrik Golden Inovasi Indonesia di Kawasan Industri Kendal

Almas Tanur^{1✉}, Kartono Wibowo²

^{1,2}Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung, Indonesia

✉Corresponding email: almastanur8@gmail.com

Histori Artikel:

Submit: 11 Januari 2026; Revisi: 14 Februari 2026; Diterima: 17 Februari 2026
Publikasi: 19 Februari 2026; Periode Terbit: Maret 2026

Doi: 10.23917/jkk.v5i1.967

Abstrak

Proyek pembangunan fasilitas industri menuntut pengendalian waktu dan biaya yang optimal agar target operasional dan kinerja investasi dapat tercapai. Penelitian ini bertujuan menyusun dan membandingkan alternatif percepatan jadwal pada Proyek Pembangunan Pabrik Golden Inovasi Indonesia di Kawasan Industri Kendal dengan menerapkan metode crashing, overlapping, serta kombinasi keduanya dalam kerangka time cost trade off. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif terapan dengan desain komparatif. Pemodelan jadwal dan identifikasi jalur kritis dilakukan menggunakan Microsoft Project versi 2024 berdasarkan data Rencana Anggaran Biaya (RAB), Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP), dan time schedule rencana. Hasil menunjukkan bahwa durasi baseline proyek adalah 287 hari kalender. Metode crashing melalui penambahan lembur pada aktivitas kritis menurunkan durasi menjadi 276 hari (percepatan 11 hari) dengan kenaikan biaya langsung yang sebagian diimbangi penurunan biaya tidak langsung. Metode overlapping melalui perubahan hubungan ketergantungan aktivitas menghasilkan durasi 271 hari (percepatan 16 hari) tanpa penambahan sumber daya signifikan, namun meningkatkan kebutuhan koordinasi. Skenario kombinasi crashing dan overlapping memberikan hasil paling optimal dengan durasi 260 hari (percepatan 27 hari) dan total biaya Rp59.746.964.300, atau lebih rendah Rp98.735.700 dibandingkan baseline. Temuan ini menunjukkan bahwa percepatan dapat meningkatkan efisiensi biaya apabila pengurangan biaya tidak langsung lebih besar daripada tambahan biaya percepatan. Metode kombinasi direkomendasikan sebagai alternatif paling rasional dengan pengendalian risiko dan mutu yang memadai.

Kata Kunci: schedule compression, crashing, overlapping, time cost trade off, manajemen proyek konstruksi.

Pendahuluan

Perkembangan industri manufaktur di Indonesia dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan tren peningkatan yang signifikan, seiring dengan upaya pemerintah dalam memperkuat struktur industri nasional dan menarik investasi sektor riil. Ekspansi kapasitas produksi

tersebut mendorong kebutuhan akan fasilitas industri yang modern, efisien, serta mampu beroperasi sesuai jadwal yang telah ditetapkan. Dalam konteks ini, proyek pembangunan fasilitas manufaktur tidak hanya dipandang sebagai aktivitas konstruksi semata, tetapi sebagai bagian strategis dari siklus



investasi yang menentukan keberhasilan operasional dan keberlanjutan bisnis. Salah satu proyek yang merepresentasikan kebutuhan tersebut adalah pembangunan Pabrik Golden Inovasi Indonesia di Kawasan Industri Kendal, yang dituntut memenuhi target penyelesaian ketat baik dari aspek waktu maupun biaya.

Dalam proyek konstruksi, keterlambatan penyelesaian pekerjaan berpotensi menimbulkan konsekuensi multidimensional. Selain mengganggu rencana operasional dan jadwal produksi awal, keterlambatan juga dapat menurunkan kinerja investasi akibat tertundanya arus kas masuk serta meningkatnya biaya tidak langsung (indirect cost) seperti overhead lapangan, biaya pengawasan, dan potensi penalti kontrak. Kondisi tersebut menegaskan urgensi penerapan manajemen proyek yang terencana dan terintegrasi agar sasaran utama proyek yakni tercapainya batasan waktu, biaya, dan mutu dapat dipenuhi secara seimbang sebagaimana dikemukakan oleh Soeharto (1999). Keseimbangan antara ketiga batasan tersebut (triple constraint) merupakan fondasi dalam pengambilan keputusan manajerial, terutama ketika proyek menghadapi deviasi dari rencana awal.

Secara konseptual, proyek merupakan suatu usaha sementara yang dilaksanakan untuk menghasilkan keluaran yang unik dan memerlukan pengelolaan terpadu agar tujuan dapat dicapai secara optimal (PMI, 2017). Karakter sementara dan unik tersebut

mengandung implikasi bahwa setiap proyek memiliki tingkat ketidakpastian tertentu, sehingga perencanaan dan pengendalian menjadi elemen krusial. Pengelolaan proyek diwujudkan melalui fungsi manajemen yang mencakup perencanaan (planning), pengorganisasian (organizing), pelaksanaan (actuating), serta pengendalian (controlling) terhadap sumber daya yang tersedia (Sari et al., 2025). Pada proyek konstruksi, manajemen waktu berperan dalam penyusunan jadwal, estimasi durasi aktivitas, penentuan hubungan ketergantungan (dependency), serta pemantauan kemajuan pekerjaan berdasarkan lintasan kritis (critical path). Sementara itu, manajemen biaya mencakup penyusunan anggaran, estimasi biaya langsung dan tidak langsung, pengendalian pengeluaran, serta evaluasi dampak perubahan terhadap total biaya proyek.

Dalam praktiknya, deviasi terhadap jadwal rencana merupakan fenomena yang relatif umum terjadi pada proyek konstruksi. Faktor-faktor seperti keterbatasan koordinasi antarpekerjaan, keterlambatan pengadaan material, fluktuasi produktivitas tenaga kerja, perubahan desain, serta pengaruh kondisi cuaca dapat memicu keterlambatan pada aktivitas-aktivitas kritis. Apabila deviasi tersebut tidak segera dikendalikan, maka akan berdampak pada perpanjangan durasi proyek secara keseluruhan. Oleh karena itu, strategi pengendalian dan tindakan korektif menjadi kebutuhan yang tidak terhindarkan guna



mengembalikan proyek pada jalur yang direncanakan (schedule recovery).

Salah satu tindakan korektif yang umum diterapkan untuk mengatasi deviasi waktu adalah percepatan jadwal (schedule acceleration) melalui teknik kompresi jadwal (schedule compression). Panduan Project Management Institute menjelaskan bahwa crashing merupakan metode kompresi jadwal untuk mempersingkat durasi proyek dengan biaya tambahan minimum melalui penambahan sumber daya, seperti peningkatan jumlah tenaga kerja, penerapan kerja lembur, atau percepatan pengiriman material (PMI, 2021). Metode ini umumnya difokuskan pada aktivitas-aktivitas yang berada pada lintasan kritis agar pengurangan durasi memberikan dampak langsung terhadap penyelesaian proyek secara keseluruhan. Di sisi lain, fast tracking merupakan metode kompresi jadwal dengan menjalankan aktivitas yang semula berurutan menjadi paralel pada sebagian durasinya. Dengan pendekatan ini, total durasi proyek dapat dipersingkat tanpa selalu menambah sumber daya secara signifikan, namun risiko koordinasi, konflik antardisiplin, serta potensi pekerjaan ulang (rework) cenderung meningkat (PMI, 2021). Dalam riset ini, istilah overlapping digunakan untuk merepresentasikan pelaksanaan aktivitas secara tumpang tindih atau paralel yang sepadan dengan prinsip fast tracking dalam kompresi jadwal.

Berbagai studi terdahulu menunjukkan bahwa percepatan melalui

crashing maupun fast tracking mampu menekan durasi proyek, namun menghasilkan konsekuensi yang berbeda terhadap biaya dan tingkat risiko. Stefanus (2017) menunjukkan bahwa percepatan dengan fast tracking dan crash program dapat mengembalikan proyek pada target waktu, tetapi pemilihan metode memengaruhi besaran biaya tambahan serta tingkat ketergantungan antaraktivitas pada lintasan kritis. Temuan serupa juga diidentifikasi pada proyek infrastruktur jalan, di mana perbandingan fast track dan crash program menghasilkan variasi durasi serta biaya yang berbeda, sehingga pemilihan alternatif percepatan harus mempertimbangkan efisiensi biaya sekaligus potensi risiko pelaksanaan (Salasa et al., 2024). Selain itu, pendekatan pertukaran waktu dan biaya (time cost trade off) banyak digunakan untuk menentukan kombinasi percepatan yang memberikan biaya minimum pada tingkat percepatan tertentu (Utari et al., 2022). Dari sisi implementasi teknis, pemanfaatan perangkat lunak seperti Microsoft Project serta pemodelan Critical Path Method (CPM) memungkinkan identifikasi aktivitas kritis dan evaluasi berbagai skenario penjadwalan secara lebih sistematis dan terukur (Maskur et al., 2023).

Meskipun demikian, sebagian penelitian terdahulu cenderung berfokus pada perbandingan dua metode percepatan secara terpisah atau menitikberatkan pada aspek waktu dan biaya tanpa menguji alternatif gabungan



dalam satu kerangka pengambilan keputusan yang konsisten. Padahal, pada proyek industrial seperti pembangunan pabrik, karakter pekerjaan bersifat multidisiplin dengan tingkat kompleksitas tinggi, melibatkan pekerjaan sipil, struktur, arsitektur, mekanikal, elektrik, dan commissioning yang saling bergantung. Ketergantungan antaraktivitas yang kompleks tersebut menuntut analisis percepatan yang komprehensif, tidak hanya dari perspektif waktu dan biaya langsung, tetapi juga dari sisi biaya tidak langsung, risiko operasional, serta implikasi terhadap mutu pekerjaan. Khiyana et al. (2025) menegaskan bahwa analisis percepatan tidak semata-mata berkaitan dengan waktu dan biaya, tetapi juga berkaitan dengan risiko dan kualitas hasil, sehingga pemilihan metode percepatan yang paling optimal harus didasarkan pada evaluasi yang transparan, kuantitatif, dan berbasis data.

Berdasarkan latar belakang tersebut, riset ini bertujuan untuk menyusun dan membandingkan alternatif penjadwalan percepatan pada Proyek Pembangunan Pabrik Golden Inovasi Indonesia di Kawasan Industri Kendal dengan menerapkan metode crashing, metode overlapping, serta kombinasi crashing dan overlapping dalam satu kerangka analisis yang terintegrasi. Analisis difokuskan pada aspek waktu dan biaya dengan menggunakan perangkat lunak Microsoft Project versi 2024 serta data proyek tahun 2025. Secara khusus, penelitian ini diarahkan untuk: (1)

menyusun alternatif jadwal percepatan dan menentukan alternatif yang paling optimal berdasarkan kriteria efektivitas waktu dan efisiensi biaya; serta (2) menghitung dan membandingkan total biaya proyek pada setiap alternatif jadwal percepatan sebagai dasar pengambilan keputusan manajerial dalam pengendalian proyek (Satiawan, 2005).

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi praktis bagi pengelola proyek konstruksi industrial dalam memilih strategi percepatan yang rasional dan terukur, serta kontribusi akademik dalam memperkaya kajian mengenai integrasi metode percepatan jadwal dalam kerangka evaluasi waktu dan biaya yang komprehensif.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif terapan dengan desain komparatif untuk mengevaluasi alternatif percepatan jadwal serta implikasinya terhadap biaya pada Proyek Pembangunan Pabrik Golden Inovasi Indonesia di Kawasan Industri Kendal. Pendekatan kuantitatif dipilih karena analisis dilakukan melalui pemodelan numerik terhadap durasi dan biaya proyek, sedangkan desain komparatif digunakan untuk membandingkan keluaran beberapa skenario percepatan secara sistematis berdasarkan indikator kinerja waktu dan biaya.

Fokus penelitian diarahkan pada optimasi kinerja proyek melalui pengembangan empat skenario



penjadwalan, yaitu: (1) kondisi rencana awal sebagai baseline; (2) skenario percepatan dengan metode crashing; (3) skenario percepatan dengan metode overlapping; dan (4) skenario percepatan kombinasi crashing dan overlapping. Seluruh proses pemodelan jadwal, identifikasi lintasan kritis, serta evaluasi perubahan durasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Project versi 2024 guna memastikan konsistensi logika ketergantungan antaraktivitas, pengaturan kalender kerja, serta akurasi perhitungan durasi dan biaya proyek.

a. Sumber dan Validasi Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari dokumen proyek tahun 2025 serta sumber pendukung yang relevan. Data utama meliputi:

1. Rencana Anggaran Biaya (RAB);
2. Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP);
3. Daftar harga satuan material dan upah tenaga kerja;
4. Dokumen time schedule rencana;
5. Gambar kerja (shop drawing) untuk memahami ruang lingkup dan urutan pelaksanaan pekerjaan.

Data sekunder tersebut dilengkapi dengan kajian literatur terkait manajemen waktu dan biaya proyek, termasuk konsep kompresi jadwal (schedule compression) dan prinsip time cost trade off sebagai landasan teoritis dalam pengembangan skenario percepatan.

Proses validasi data dilakukan melalui triangulasi dokumen internal proyek dengan cara memeriksa kesesuaian antara item pekerjaan dalam RAB, struktur rincian pekerjaan (work breakdown structure/WBS), serta aktivitas pada jadwal rencana. Setiap aktivitas yang dianalisis dipastikan memiliki kesesuaian antara volume pekerjaan, durasi rencana, serta komponen biaya yang tercantum dalam AHSP dan RAB. Validasi ini bertujuan untuk menjamin konsistensi model dan menghindari bias akibat ketidaksesuaian data.

b. Penyusunan Model Jadwal Baseline

Tahapan analisis diawali dengan penyusunan model jadwal baseline pada Microsoft Project berdasarkan dokumen time schedule rencana. Proses ini meliputi:

1. Penetapan kalender kerja proyek;
2. Input daftar aktivitas sesuai WBS;
3. Penentuan durasi setiap aktivitas;
4. Penetapan hubungan ketergantungan (dependency) antaraktivitas sesuai urutan konstruksi.

Selanjutnya, sumber daya dan komponen biaya dimasukkan dengan mengacu pada AHSP dan RAB sehingga setiap aktivitas memiliki nilai biaya yang terukur. Setelah model jadwal tersusun lengkap, dilakukan penetapan baseline untuk mengunci kondisi awal sebagai acuan perbandingan seluruh skenario percepatan.

Identifikasi jalur kritis dilakukan dengan menerapkan prinsip Critical



Path Method (CPM) pada model jadwal. Aktivitas yang berada pada lintasan kritis diidentifikasi sebagai aktivitas yang memiliki total float nol dan secara langsung memengaruhi durasi total proyek. Aktivitas-aktivitas inilah yang menjadi prioritas intervensi dalam skenario percepatan.

c. Penyusunan Skenario Crashing

Skenario percepatan dengan metode crashing disusun dengan memfokuskan intervensi pada aktivitas yang berada pada jalur kritis. Percepatan dilakukan melalui penambahan sumber daya, seperti peningkatan jumlah tenaga kerja, penerapan kerja lembur, atau penambahan peralatan, dengan mempertimbangkan produktivitas yang rasional dan batasan operasional lapangan.

Untuk setiap aktivitas yang di-crash, durasi dipersingkat berdasarkan asumsi peningkatan kapasitas produksi harian. Selanjutnya dihitung konsekuensi peningkatan biaya langsung (crash cost), yang mencakup:

1. Tambahan upah tenaga kerja;
2. Biaya lembur;
3. Biaya operasional tambahan akibat peningkatan sumber daya.

Perubahan durasi dan biaya tersebut kemudian dimodelkan kembali dalam Microsoft Project untuk memperoleh durasi total proyek yang baru. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa perubahan pada aktivitas kritis tidak menimbulkan ketidakkonsistenan logika ketergantungan maupun

menciptakan lintasan kritis baru yang tidak teridentifikasi.

d. Penyusunan Skenario Overlapping

Skenario percepatan dengan metode overlapping disusun dengan memodifikasi sebagian hubungan antaraktivitas dari pola berurutan (finish-to-start) menjadi pola tumpang tindih atau paralel (overlap) pada bagian durasi tertentu, tanpa penambahan sumber daya secara signifikan.

Pemilihan aktivitas yang dapat di-overlap didasarkan pada pertimbangan teknis, antara lain:

1. Kelayakan pelaksanaan parsial berdasarkan zona atau segmen pekerjaan;
2. Ketersediaan akses kerja;
3. Potensi konflik ruang kerja;
4. Pemenuhan persyaratan mutu untuk meminimalkan risiko rework.

Setelah hubungan ketergantungan dimodifikasi, model jadwal dijalankan kembali untuk memperoleh perubahan lintasan kritis dan durasi total proyek. Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa percepatan yang dihasilkan tidak melanggar prasyarat teknis maupun meningkatkan risiko operasional secara tidak terkendali.

e. Penyusunan Skenario Kombinasi

Skenario kombinasi crashing dan overlapping disusun dengan mengintegrasikan kedua pendekatan secara selektif. Overlapping digunakan untuk mengurangi waktu tunggu



antaraktivitas, sedangkan crashing diterapkan pada aktivitas kritis yang dominan terhadap durasi total proyek.

Penerapan kombinasi dilakukan secara bertahap dengan mempertimbangkan risiko lapangan, seperti kondisi cuaca, potensi genangan atau banjir, serta risiko keterlambatan material. Seluruh perubahan durasi, sumber daya, dan hubungan ketergantungan dimodelkan ulang dalam Microsoft Project untuk memperoleh durasi akhir proyek serta perubahan lintasan kritis pada skenario kombinasi.

f. Analisis Biaya dan Evaluasi Alternatif

Analisis biaya dilakukan melalui dua pendekatan terintegrasi, yaitu:

1. Perhitungan baseline cost berdasarkan RAB dan AHSP untuk memperoleh total biaya rencana proyek.
2. Evaluasi biaya skenario percepatan melalui pembaruan komponen biaya dalam model penjadwalan.

Pada skenario crashing, biaya langsung diperbarui sesuai tambahan sumber daya dan lembur. Pada skenario overlapping, penyesuaian biaya dikaitkan dengan potensi peningkatan kebutuhan pengendalian dan implikasi operasional yang relevan apabila tercermin dalam data proyek.

Perbandingan antarskenario dilakukan dengan memisahkan komponen biaya total pada masing-masing alternatif serta menghitung tambahan biaya percepatan dibandingkan kondisi

baseline. Indikator utama yang dianalisis meliputi:

1. Durasi total proyek;
2. Total biaya proyek;
3. Tambahan biaya percepatan;
4. Rasio efisiensi percepatan (pengurangan durasi terhadap tambahan biaya).

Pemilihan alternatif terbaik dilakukan menggunakan prinsip time cost trade off dengan membandingkan kemampuan masing-masing skenario dalam menghasilkan pengurangan durasi yang signifikan dengan tambahan biaya yang paling rasional. Alternatif yang terpilih adalah skenario yang menunjukkan efektivitas waktu tertinggi dan efisiensi biaya terbaik sesuai tujuan penelitian.

Dengan kerangka metodologis ini, keputusan percepatan tidak hanya berorientasi pada pemendekan durasi proyek, tetapi juga mempertimbangkan implikasi finansial dan risiko operasional sebagai dasar rekomendasi manajerial yang objektif dan terukur.

Hasil dan Pembahasan

1. Gambaran Proyek dan Ruang Lingkup Pekerjaan

Penelitian ini dilaksanakan pada Proyek Pembangunan Pabrik Golden Inovasi Indonesia yang berlokasi di Kawasan Industri Kendal, Kabupaten Kendal, Jawa Tengah. Secara spasial, proyek berada pada kawasan industri terencana yang memiliki infrastruktur dasar memadai, namun tetap menghadapi tantangan koordinasi logistik, akses material, serta integrasi pekerjaan

multidisiplin. Tata letak lahan dan konfigurasi bangunan ditunjukkan pada

Gambar 1 (site plan proyek) yang bersumber dari dokumen resmi proyek.



Gambar 1. Site Plan Proyek

Ruang lingkup pekerjaan mengacu pada dokumen kontraktual dan perencanaan proyek, yang mencakup pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, pekerjaan arsitektur, pekerjaan eksternal, serta komponen provisional sum dan additional works. Ringkasan kelompok pekerjaan utama disajikan pada Tabel 1. Pekerjaan persiapan meliputi mobilisasi, persiapan lahan, serta penyediaan fasilitas sementara. Pekerjaan struktur mencakup pekerjaan tanah, pemotongan kepala tiang pancang, pekerjaan beton, pembesian, bekisting,

serta pekerjaan lantai untuk beberapa elevasi pada Gedung 1 hingga Gedung 4. Pekerjaan arsitektur meliputi dinding, plesteran dan acian, pekerjaan kusen dan pengecatan, pintu dan jendela, lantai, plafon, fasad, serta pekerjaan tangga. Pekerjaan eksternal meliputi pagar, jalan dan saluran, pos sekuriti, jembatan, serta bangunan penunjang ruang MEP. Sementara itu, provisional sum dan additional works merupakan pekerjaan yang nilainya disediakan secara alokasi dan dapat berkembang sesuai kebutuhan lapangan.

Tabel 1. Ringkasan Ruang Lingkup Pekerjaan Proyek

Kelompok pekerjaan	Subkelompok utama (ringkas)
Pekerjaan persiapan	Mobilisasi, persiapan lahan, fasilitas sementara
Pekerjaan struktur	Pekerjaan tanah; pemotongan kepala tiang pancang; beton; besi; bekisting; pekerjaan lantai untuk beberapa elevasi pada Gedung 1 sampai Gedung 4
Pekerjaan arsitektur	Dinding; plesteran dan acian; <i>skim coat</i> dan pengecatan; pintu dan jendela; lantai; plafon; fasad; tangga; pekerjaan lain lain



Kelompok pekerjaan	Subkelompok utama (ringkas)
Pekerjaan eksternal	Pagar; jalan dan saluran; pos sekuriti; jembatan; bangunan penunjang ruang MEP
Lainnya	<i>Provisional sum dan additional works</i>

Pembagian ruang lingkup tersebut memiliki implikasi metodologis yang signifikan. Struktur pengelompokan pekerjaan menjadi dasar penyusunan Work Breakdown Structure (WBS) dalam Microsoft Project, yang selanjutnya menentukan pembentukan jaringan aktivitas (network diagram) dan identifikasi jalur kritis menggunakan Critical Path Method (CPM). Dengan demikian, kejelasan ruang lingkup menjadi prasyarat untuk menghasilkan model penjadwalan yang reliabel serta menjadi landasan dalam menentukan aktivitas mana yang layak diintervensi melalui strategi percepatan.

Karakteristik proyek yang melibatkan beberapa gedung (Gedung 1 sampai Gedung 4) dengan tahapan struktur dan arsitektur yang relatif berulang membuka peluang penerapan overlapping

berbasis zona atau segmen pekerjaan. Namun demikian, kompleksitas koordinasi antarpekerjaan juga meningkatkan risiko konflik ruang kerja dan potensi rework apabila pengaturan ketergantungan aktivitas tidak dilakukan secara cermat.

2. Baseline Jadwal dan Biaya Proyek

Berdasarkan jadwal rencana (baseline schedule), proyek memiliki durasi 287 hari kalender, dimulai pada 10 Juni 2024 dan direncanakan selesai pada 25 Maret 2025. Rekapitulasi durasi rencana untuk kelompok pekerjaan utama disajikan pada Tabel 2. Durasi baseline ini mencerminkan hasil perencanaan awal dengan mempertimbangkan urutan konstruksi, kapasitas sumber daya normal, serta asumsi kondisi lapangan yang wajar.

Tabel 2. Rekap Durasi Baseline Proyek (287 Hari)

Kelompok pekerjaan	Durasi rencana (hari)
Pekerjaan persiapan	190
Pekerjaan struktur (Gedung 1 sampai Gedung 4)	sesuai rincian aktivitas pada dokumen proyek
Pekerjaan arsitektur (Gedung 1 sampai Gedung 4)	sesuai rincian aktivitas pada dokumen proyek
Pekerjaan eksternal	sesuai rincian aktivitas pada dokumen proyek
<i>Provisional sum</i>	20
<i>Additional works</i>	10 per gedung

Dalam konteks analisis percepatan, baseline jadwal berfungsi sebagai titik referensi kuantitatif untuk mengukur efektivitas schedule compression. Identifikasi jalur kritis pada kondisi baseline

menunjukkan aktivitas-aktivitas yang secara langsung memengaruhi tanggal penyelesaian proyek. Setiap intervensi percepatan yang tidak menyasar aktivitas pada lintasan kritis tidak akan



menghasilkan pengurangan durasi total proyek secara signifikan. Oleh karena itu, pemahaman terhadap struktur jaringan aktivitas baseline menjadi tahap esensial sebelum merancang skenario crashing, overlapping, maupun kombinasi keduanya.

Dari sisi biaya, baseline proyek disusun berdasarkan dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB) tanpa memasukkan komponen Pajak Pertambahan Nilai (PPN), sebagaimana ditampilkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Ringkasan Biaya Baseline untuk Analisis Percepatan (tanpa PPN)

Komponen biaya	Nilai (Rp)
Biaya langsung proyek	59.200.000.000
Sewa alat	122.800.000
Gaji pegawai proyek	436.800.000
Pengeluaran harian lain lain	86.100.000
Total baseline	59.845.700.000

Total biaya baseline tercatat sebesar Rp59.845.700.000. Komponen biaya langsung proyek mendominasi struktur biaya dengan nilai Rp59.200.000.000, sedangkan komponen lain meliputi sewa alat, gaji pegawai proyek, serta pengeluaran harian. Pemisahan komponen biaya ini penting karena analisis percepatan terutama memengaruhi biaya langsung dan biaya tidak langsung yang sensitif terhadap perubahan durasi, seperti biaya tenaga kerja lembur, penambahan sumber daya, serta overhead harian.

Secara konseptual, baseline biaya dan baseline jadwal merupakan representasi kondisi “normal” proyek sebelum intervensi percepatan. Dalam literatur manajemen proyek, strategi schedule compression seperti crashing dan fast tracking (overlapping) umumnya menghasilkan pertukaran (trade off) antara waktu dan biaya. Percepatan melalui crashing cenderung meningkatkan biaya langsung akibat penambahan

sumber daya, sedangkan fast tracking atau overlapping dapat menekan durasi tanpa penambahan sumber daya signifikan, namun berpotensi meningkatkan risiko mutu dan pekerjaan ulang (Al-Tameemi, 2025; Ballesteros-Pérez et al., 2019).

Dalam konteks proyek ini, struktur biaya baseline menunjukkan bahwa dominasi biaya langsung membuka ruang analisis yang jelas terhadap dampak crashing terhadap total biaya proyek. Setiap penambahan tenaga kerja, lembur, atau peralatan tambahan pada aktivitas kritis akan meningkatkan biaya langsung, yang kemudian harus dibandingkan dengan manfaat pengurangan durasi yang dihasilkan. Di sisi lain, penerapan overlapping berpotensi lebih efisien secara biaya langsung, namun memerlukan pengendalian koordinasi yang lebih ketat untuk menghindari peningkatan biaya akibat rework atau konflik pekerjaan.



Hasil baseline jadwal dan biaya tidak hanya berfungsi sebagai data deskriptif, tetapi menjadi instrumen analitis untuk mengevaluasi rasionalitas setiap skenario percepatan. Analisis selanjutnya akan menilai sejauh mana crashing, overlapping, maupun kombinasi keduanya mampu menghasilkan pengurangan durasi yang signifikan dengan tambahan biaya yang proporsional, sehingga keputusan percepatan dapat didasarkan pada prinsip time cost trade off yang objektif dan terukur.

3. Identifikasi Jalur Kritis sebagai Target Percepatan

Model jadwal baseline disusun menggunakan Microsoft Project versi 2024 dengan menerapkan pendekatan Critical Path Method (CPM) untuk mengidentifikasi jalur kritis proyek. Jalur kritis didefinisikan sebagai rangkaian aktivitas dengan total float sama dengan nol, sehingga setiap keterlambatan pada salah satu aktivitas dalam lintasan

tersebut akan secara langsung menggeser tanggal penyelesaian proyek secara keseluruhan. Dengan durasi baseline sebesar 287 hari kalender, identifikasi jalur kritis menjadi langkah fundamental sebelum merancang skenario percepatan.

Output dari Microsoft Project menunjukkan bahwa jalur kritis didominasi oleh rangkaian pekerjaan struktur, khususnya pekerjaan yang berkaitan dengan fondasi dan elemen struktur awal, termasuk pemotongan kepala tiang pancang, pekerjaan pile cap, serta pekerjaan struktur lantai pada gedung-gedung utama. Ringkasan aktivitas kritis yang relevan untuk simulasi percepatan disajikan pada Tabel 4. Aktivitas-aktivitas tersebut dipilih sebagai target intervensi karena memiliki kontribusi langsung terhadap durasi total proyek dan tidak memiliki kelonggaran waktu (float).

Tabel 4. Ringkasan Aktivitas pada Jalur Kritis untuk Simulasi Percepatan

Kelompok	Contoh aktivitas kritis yang disimulasikan
Struktur	Pemotongan kepala tiang pancang (Gedung 1 sampai Gedung 4); besi dan bekisting pada segmen tertentu; beton pada elevasi tertentu
Arsitektur	Bata ringan, plesteran dan acian, <i>skim coat</i> dan pengecatan, pintu dan jendela, lantai, plafon, fasad, tangga pada Gedung 2 sesuai ketergantungan jadwal
Eksternal	Bangunan penunjang ruang MEP tertentu sesuai jalur kritis

Secara visual, penandaan jalur kritis pada Gantt chart baseline ditunjukkan pada Gambar 2, di mana aktivitas kritis ditampilkan dengan indikator khusus sesuai pengaturan default Microsoft Project. Representasi ini

memudahkan identifikasi aktivitas yang harus diprioritaskan dalam strategi schedule compression. Selain itu, analisis jaringan aktivitas memperlihatkan bahwa sebagian besar pekerjaan arsitektur dan pekerjaan eksternal berada

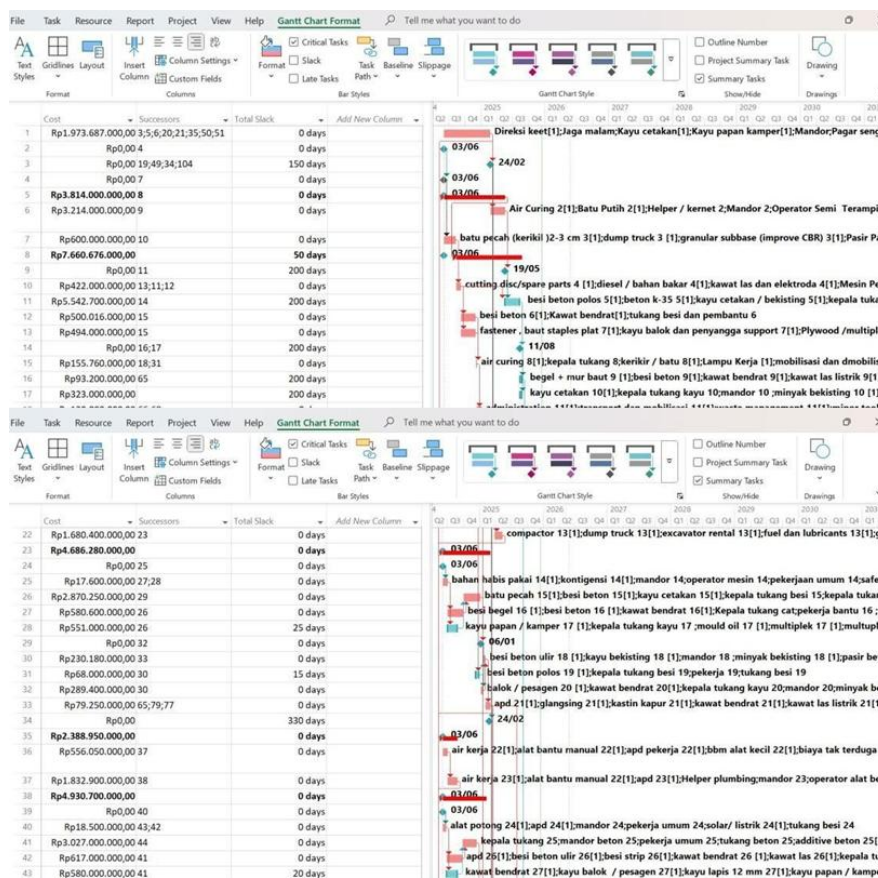


pada lintasan nonkritis dengan tingkat float tertentu, sehingga intervensi pada aktivitas tersebut tidak akan memberikan dampak signifikan terhadap pengurangan durasi total kecuali terjadi pergeseran lintasan kritis akibat perubahan logika ketergantungan.

Dari sudut pandang manajemen proyek, pemusatan percepatan pada jalur kritis merupakan implementasi prinsip efisiensi intervensi. Perubahan durasi pada aktivitas nonkritis hanya akan mengurangi float tanpa mempercepat penyelesaian proyek, kecuali aktivitas tersebut berubah menjadi kritis setelah dilakukan modifikasi pada aktivitas lain (Adawiali et al., 2022). Oleh karena itu, identifikasi jalur kritis tidak

hanya berfungsi sebagai informasi deskriptif, melainkan sebagai instrumen pengambilan keputusan dalam menentukan prioritas crashing maupun overlapping.

Karakteristik jalur kritis pada proyek ini menunjukkan dominasi pekerjaan struktur awal, yang secara logis menjadi prasyarat bagi pekerjaan arsitektur dan instalasi lanjutan. Hal ini memperkuat argumentasi bahwa percepatan pada tahap awal proyek berpotensi memberikan dampak lebih signifikan terhadap keseluruhan durasi dibandingkan percepatan pada tahap akhir.



Gambar 2. Potongan tampilan *Gantt chart* baseline dan penandaan jalur kritis pada *Microsoft Project*



4. Temuan Percepatan dengan Metode Crashing

Skenario percepatan dengan metode crashing difokuskan pada aktivitas kritis yang secara teknis memungkinkan untuk dipersingkat melalui penambahan jam kerja lembur, tanpa mengubah secara signifikan metode konstruksi atau urutan pekerjaan. Berdasarkan hasil identifikasi jalur kritis, intervensi utama dilakukan pada pekerjaan pemotongan kepala tiang pancang, yang merupakan bagian dari pekerjaan struktur awal dan memiliki kontribusi signifikan terhadap durasi proyek.

Perhitungan percepatan dilakukan dengan mempertimbangkan

produktivitas tenaga kerja normal serta faktor penurunan produktivitas akibat lembur. Dalam praktiknya, penambahan jam kerja tidak selalu berbanding lurus dengan peningkatan output karena adanya faktor kelelahan dan penurunan efisiensi kerja. Oleh karena itu, estimasi durasi percepatan didasarkan pada produktivitas efektif, bukan asumsi linier. Hasil simulasi menunjukkan bahwa durasi beberapa pekerjaan pemotongan kepala tiang pancang dapat diturunkan dari durasi normal menjadi durasi percepatan sebagaimana dirangkum pada Tabel 5.

Tabel 5. Perubahan Durasi Pekerjaan Kritis pada Skenario Crashing

Aktivitas	Durasi normal (hari)	Durasi percepatan (hari)	Pengurangan (hari)
Pemotongan kepala tiang pancang Gedung 1	20	17	3
Pemotongan kepala tiang pancang Gedung 2	20	17	3
Pemotongan kepala tiang pancang Gedung 3	15	13	2
Pemotongan kepala tiang pancang Gedung 4	20	17	3
Total pengurangan pada paket aktivitas	75	64	11

Pendekatan ini selaras dengan prinsip time cost trade off yang menekankan percepatan pada aktivitas kritis dengan tetap mengendalikan kenaikan biaya tambahan melalui analisis cost slope, yaitu rasio antara tambahan biaya dan pengurangan durasi (Ballesteros-Pérez et al., 2019; Salong et al., 2024; Senses & Kumral, 2024). Dalam konteks penelitian ini, tambahan biaya terutama berasal dari upah lembur tenaga kerja, sementara metode kerja

dan komposisi sumber daya dasar relatif dipertahankan.

Secara agregat pada tingkat proyek, penerapan skenario crashing menghasilkan penurunan durasi proyek dari 287 hari menjadi 276 hari kalender, atau percepatan sebesar 11 hari (sekitar 3,83% dari durasi baseline). Hasil ini menunjukkan bahwa intervensi yang terfokus pada aktivitas kritis mampu memberikan dampak nyata terhadap penyelesaian proyek. Namun demikian,



besaran percepatan yang dicapai relatif moderat karena intervensi dibatasi pada aktivitas tertentu dan

mempertimbangkan batasan produktivitas yang realistis.

Kegiatan	Status	Durasi		Total durasi sebelum crashing = 75 hari
Pemotongan kepala tiang pancang gedung 1	Sebelum crashing		20	Total durasi setelah crashing = 64 hari Hemat 11 hari
	Sesudah crashing		17	
Pemotongan kepala tiang pancang gedung 2	Sebelum crashing		20	
	Sesudah crashing		17	
Pemotongan kepala tiang pancang gedung 3	Sebelum crashing		15	
	Sesudah crashing		13	
Pemotongan kepala tiang pancang gedung 4	Sebelum crashing		20	
	Sesudah crashing		17	

Gambar 3. Perbandingan Barchart Baseline dan Skenario Crashing

Dari sisi biaya, skenario crashing menimbulkan kenaikan biaya langsung akibat penerapan lembur. Akan tetapi, penurunan durasi proyek juga berdampak pada berkurangnya sebagian biaya tidak langsung, seperti gaji pegawai proyek, sewa alat berbasis waktu, serta pengeluaran harian lapangan. Dengan demikian, dampak finansial bersih dari crashing merupakan hasil interaksi antara kenaikan biaya langsung dan penurunan biaya tidak langsung. Analisis komparatif menunjukkan bahwa tambahan biaya akibat lembur masih berada dalam batas rasional apabila dibandingkan dengan manfaat pengurangan durasi proyek.

Meskipun demikian, dari perspektif manajemen proyek, penerapan lembur harus disertai pengendalian mutu dan keselamatan kerja yang lebih ketat. Literatur menunjukkan bahwa peningkatan jam kerja berpotensi meningkatkan risiko kelelahan, kesalahan kerja, serta kecelakaan apabila tidak dikelola secara memadai (Al-Tameemi, 2025; Dermawan et al., 2024; Khiyana et al., 2025). Oleh karena itu, keputusan penerapan crashing melalui lembur tidak

semata-mata didasarkan pada pertimbangan waktu dan biaya, tetapi juga harus memperhitungkan aspek human factor dan sistem pengawasan lapangan.

Secara keseluruhan, temuan skenario crashing memperlihatkan bahwa percepatan terbatas pada aktivitas kritis dapat menghasilkan pengurangan durasi yang terukur dengan konsekuensi biaya yang relatif terkendali. Namun, efektivitasnya sangat bergantung pada kapasitas produktivitas tenaga kerja, stabilitas kondisi lapangan, serta disiplin pengendalian mutu dan keselamatan kerja selama periode lembur. Hasil ini menjadi dasar perbandingan dengan skenario overlapping dan kombinasi pada tahap analisis selanjutnya dalam kerangka evaluasi time cost trade off.

5. Temuan Percepatan dengan Metode Overlapping

Metode overlapping diterapkan dengan memodifikasi hubungan ketergantungan antaraktivitas dari pola finish-to-start (FS) menjadi start-to-start (SS) dengan lag tertentu, sehingga aktivitas penerus dapat dimulai sebelum



aktivitas pendahulu selesai sepenuhnya. Pendekatan ini merupakan bentuk implementasi fast tracking dalam kerangka schedule compression, yang berfokus pada penataan ulang logika jaringan pekerjaan tanpa penambahan sumber daya secara signifikan.

Berdasarkan hasil simulasi pada Microsoft Project, terdapat tiga perubahan hubungan ketergantungan yang memberikan dampak paling signifikan terhadap pengurangan durasi total

proyek, yaitu: (1) pekerjaan besi Gedung 1; (2) pekerjaan beton lantai pada elevasi tertentu di Gedung 2; dan (3) pekerjaan bata ringan Gedung 2. Perubahan tersebut memungkinkan sebagian pekerjaan dimulai setelah segmen awal pekerjaan pendahulu mencapai progres tertentu, tanpa menunggu penyelesaian penuh pada seluruh area kerja. Ringkasan perubahan hubungan ketergantungan disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Perubahan Hubungan Ketergantungan pada Skenario *Overlapping*

Aktivitas	Hubungan setelah percepatan	Pendahulu
Besi Gedung 1	<i>start to start</i>	Bekisting Gedung 1
Beton lantai elevasi tertentu Gedung 2	<i>start to start</i>	Bekisting lantai elevasi tertentu Gedung 2
Bata ringan Gedung 2	<i>start to start</i>	Pekerjaan struktur Gedung 2

Secara kuantitatif, penerapan overlapping menurunkan durasi proyek dari 287 hari menjadi 271 hari kalender, sehingga menghasilkan percepatan 16 hari atau sekitar 5,57% dari durasi baseline. Hasil ini menunjukkan bahwa penataan ulang hubungan aktivitas dapat memberikan dampak percepatan yang lebih besar dibandingkan skenario crashing terbatas yang hanya menghasilkan percepatan 11 hari. Hal ini dapat dijelaskan karena overlapping tidak hanya mempersingkat durasi aktivitas tertentu, tetapi juga mengurangi waktu tunggu (idle time) antarpekerjaan yang sebelumnya bersifat berurutan secara penuh.

Namun demikian, percepatan melalui overlapping memiliki karakteristik

risiko yang berbeda dibandingkan crashing. Secara teoritis, strategi ini tidak selalu meningkatkan biaya langsung secara signifikan karena tidak bergantung pada penambahan tenaga kerja atau lembur. Akan tetapi, overlapping meningkatkan kebutuhan koordinasi lintas pekerjaan, sinkronisasi jadwal antar tim, serta pengawasan mutu yang lebih ketat. Apabila batas zona kerja tidak didefinisikan dengan jelas, atau kesiapan desain dan material belum sepenuhnya terjamin, maka risiko pekerjaan ulang (rework) dapat meningkat (Al-Tameemi, 2025; Wiraningsih, 2024).



Gambar 4. Perbandingan Barchart Baseline dan Skenario Overlapping

Dalam konteks proyek ini, keberhasilan overlapping sangat dipengaruhi oleh pembagian area kerja berbasis zona pada masing-masing gedung. Implementasi overlapping yang selektif pada pekerjaan struktur dan arsitektur tertentu memungkinkan percepatan tanpa menimbulkan konflik ruang kerja yang signifikan. Dengan demikian, hasil simulasi memperlihatkan bahwa overlapping efektif apabila diterapkan pada aktivitas yang secara teknis memungkinkan pelaksanaan parsial dan memiliki batas kerja yang jelas.

6. Temuan Percepatan Metode Gabungan Crashing dan Overlapping

Skenario gabungan dirancang dengan mengintegrasikan dua pendekatan percepatan, yaitu crashing pada aktivitas kritis tertentu melalui lembur, serta overlapping pada aktivitas yang secara teknis memungkinkan pelaksanaan paralel. Pendekatan ini bertujuan memaksimalkan pengurangan durasi proyek dengan tetap mempertimbangkan rasionalitas biaya dan risiko operasional.

Implementasi crashing dalam skenario gabungan difokuskan pada pekerjaan pemotongan kepala tiang pancang di Gedung 1 hingga Gedung 4, sebagaimana telah dianalisis pada skenario sebelumnya. Sementara itu, overlapping tetap diterapkan pada tiga aktivitas kunci yang terbukti memberikan dampak signifikan terhadap percepatan durasi, yaitu pekerjaan besi Gedung 1, beton lantai Gedung 2, dan bata ringan Gedung 2.

Hasil simulasi menunjukkan bahwa durasi proyek dapat diturunkan dari 287 hari menjadi 260 hari kalender, atau menghasilkan percepatan sebesar 27 hari (sekitar 9,41% dari durasi baseline). Nilai ini lebih besar dibandingkan percepatan pada skenario crashing (11 hari) maupun overlapping (16 hari) secara terpisah. Secara konseptual, temuan ini konsisten dengan kajian yang menyatakan bahwa kombinasi crashing dan fast tracking dapat memberikan reduksi durasi yang lebih signifikan dibandingkan penerapan tunggal masing-masing metode (Al-Tameemi, 2025).



Gambar 5. Perbandingan Barchart Baseline dan Skenario Gabungan

Meskipun demikian, integrasi kedua metode tersebut menuntut pengendalian risiko yang lebih komprehensif. Risiko yang muncul bersifat kumulatif, meliputi risiko kelelahan tenaga kerja akibat lembur serta risiko koordinasi dan rework akibat overlapping. Oleh karena itu, keberhasilan implementasi skenario gabungan sangat bergantung pada sistem pengendalian mutu, keselamatan kerja, serta komunikasi lintas disiplin yang efektif.

7. Perbandingan Dampak Percepatan terhadap Biaya Proyek

Analisis biaya percepatan dilakukan menggunakan kerangka time cost trade off dengan membandingkan perubahan biaya pada setiap skenario

terhadap baseline. Komponen biaya yang dievaluasi mencakup biaya langsung proyek, sewa alat, gaji pegawai proyek, biaya lembur, serta pengeluaran harian.

Rekapitulasi total biaya pada masing-masing skenario disajikan pada Tabel 7. Hasil analisis menunjukkan bahwa skenario gabungan tidak hanya menghasilkan percepatan durasi terbesar, tetapi juga memberikan efisiensi biaya tertinggi. Meskipun terdapat tambahan biaya lembur akibat crashing, pengurangan durasi proyek secara signifikan menekan biaya tidak langsung berbasis waktu, terutama gaji pegawai proyek, sewa alat, dan pengeluaran harian.

Tabel 7. Rekapitulasi Biaya pada Seluruh Metode Percepatan (tanpa PPN)

Komponen biaya	Baseline 287 hari (Rp)	Crashing 276 hari (Rp)	Overlapping 271 hari (Rp)	Gabungan 260 hari (Rp)
Biaya langsung proyek	59.200.000.000	59.200.000.000	59.200.000.000	59.200.000.000
Sewa alat	122.800.000	118.400.000	116.400.000	112.000.000
Gaji pegawai proyek	436.800.000	410.600.000	408.500.000	352.350.000
Biaya lembur	0	4.614.300	0	4.614.300
Pengeluaran harian lain lain	86.100.000	82.800.000	81.300.000	78.000.000
Total	59.845.700.000	59.816.414.300	59.806.200.000	59.746.964.300



Komponen biaya	Baseline 287 hari (Rp)	Crashing 276 hari (Rp)	Overlapping 271 hari (Rp)	Gabungan 260 hari (Rp)
Efisiensi terhadap baseline	0	29.285.700	39.500.000	98.735.700

Fenomena ini sejalan dengan literatur yang menyatakan bahwa percepatan proyek dapat menurunkan total biaya apabila pengurangan biaya tidak langsung lebih besar dibandingkan kenaikan biaya langsung akibat percepatan (Senses & Kumral, 2024). Dalam penelitian ini, tambahan biaya lembur pada skenario gabungan lebih kecil dibandingkan total penghematan biaya tidak langsung yang diperoleh dari pemendekan durasi 27 hari, sehingga total biaya proyek justru mengalami penurunan dibandingkan baseline.

8. Analisis Hubungan Durasi dan Biaya serta Implikasi Manajerial

Hubungan antara durasi dan biaya pada penelitian ini menunjukkan pola nonlinier yang khas dalam analisis time cost trade off. Secara umum, semakin pendek durasi proyek, total biaya dapat menurun sepanjang pengurangan biaya tidak langsung lebih dominan daripada

kenaikan biaya percepatan. Berdasarkan hasil rekapitulasi, alternatif yang paling rasional adalah metode gabungan dengan durasi 260 hari dan total biaya Rp59.746.964.300. Skenario ini menghasilkan percepatan 27 hari sekaligus efisiensi biaya sebesar Rp98.735.700 dibandingkan baseline.

Dari perspektif manajerial, temuan ini mengindikasikan bahwa percepatan tidak selalu identik dengan peningkatan biaya total proyek. Dengan perencanaan yang terukur dan selektif, integrasi crashing dan overlapping dapat menghasilkan kombinasi optimal antara waktu dan biaya (Al-Kubro et al., 2024). Namun demikian, penerapan strategi gabungan harus disertai penguatan manajemen risiko, terutama risiko koordinasi pada aktivitas yang dioverlap dan risiko kelelahan pada pekerjaan lembur (Al-Tameemi, 2025).



Gambar 6. Grafik Hubungan Durasi dan Biaya untuk Baseline, Crashing, Overlapping, dan Metode Gabungan



Implikasi praktis yang dapat ditarik adalah bahwa percepatan berbasis kombinasi layak direkomendasikan pada proyek dengan target penyelesaian ketat, dengan syarat: (1) overlapping diterapkan pada pekerjaan yang memiliki pembagian zona kerja jelas dan tidak mengganggu inspeksi mutu; serta (2) lembur dibatasi pada aktivitas dengan produktivitas yang masih rasional dan dilengkapi prosedur keselamatan kerja yang memadai (Al-Tameemi, 2025). Dengan pendekatan tersebut, keputusan percepatan dapat diambil secara objektif, berbasis data, dan selaras dengan prinsip efisiensi manajemen proyek.

Simpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa percepatan jadwal pada Proyek Pembangunan Pabrik Golden Inovasi Indonesia dapat dilakukan secara efektif melalui penerapan metode schedule compression berbasis crashing, overlapping, dan kombinasi keduanya.

Berdasarkan model baseline, durasi proyek adalah 287 hari kalender dengan aktivitas kritis didominasi pekerjaan struktur awal. Metode crashing melalui penambahan lembur pada aktivitas kritis menurunkan durasi menjadi 276 hari (percepatan 11 hari), namun meningkatkan biaya langsung akibat tambahan upah lembur, meskipun sebagian biaya tidak langsung menurun.

Metode overlapping dengan perubahan hubungan ketergantungan dari finish-to-start menjadi start-to-start

menghasilkan durasi 271 hari (percepatan 16 hari) tanpa penambahan sumber daya signifikan, tetapi memerlukan pengendalian koordinasi dan mutu yang lebih ketat.

Skenario kombinasi crashing dan overlapping memberikan hasil paling optimal dengan durasi 260 hari (percepatan 27 hari) dan total biaya Rp59.746.964.300, lebih rendah Rp98.735.700 dibandingkan baseline. Hasil ini menunjukkan bahwa pengurangan biaya tidak langsung akibat pemendekan durasi lebih besar dibandingkan kenaikan biaya percepatan.

Dengan demikian, metode kombinasi merupakan alternatif paling rasional dari sisi efektivitas waktu dan efisiensi biaya, dengan syarat didukung pengendalian risiko, mutu, dan keselamatan kerja yang memadai.

Daftar pustaka

- Adawiali, R., Setyawan, S. ., Triyono, A. ., Saputro, E. P. ., Siswanto, H. ., & Triyanto, J. . (2022). Adopsi Inovasi Program SIMADE (Sistem Informasi Manajemen Desa/Kelurahan) di Desa Papahan Kabupaten Karanganyar. *Jurnal Keilmuan Dan Keislaman*, 1(3), 106–127. <https://doi.org/10.23917/jkk.v1i3.18>
- Al-Kubro, P. B., Andyani, R. A., Shobri, M. Q., Baihaqi, M. A., Aji, A. S. N. A. Y. P. ., Siswanto, H. ., & Ifani, M. Z. . (2024). Simulasi Monte Carlo dan Modifikasi PERT dalam Meminimalisir Risiko Nilai Error pada



- Penjadwalan. *Jurnal Keilmuan Dan Keislaman*, 3(1), 57–67.
<https://doi.org/10.23917/jkk.v3i1.225>
- Al-Tameemi, K. S. (2025). The Impact of Schedule Compression Techniques on Construction Project Timelines: A Case Study in Basrah, Iraq. *The Open Civil Engineering Journal*, 19(1).
<https://doi.org/10.2174/0118741495360335241205110710>
- Ballesteros-Pérez, P., Elamrousy, K. M., & González-Cruz, M. C. (2019). Non-linear time-cost trade-off models of activity crashing: Application to construction scheduling and project compression with fast-tracking. *Automation in Construction*, 97, 229–240.
<https://doi.org/10.1016/j.autcon.2018.10.024>
- Dermawan, M. F., Sugiarto, R., Santosa, T., & Rozi, N. (2024). Time and Cost Analysis on Building Construction Project using Crashing Method. *Jurnal Syntax Transformation*, 5(12), 1362–1375.
<https://doi.org/10.46799/jst.v5i12.1033>
- Iswari, D. A., Negara, S. P. P. S., Fauzi, I. M., Ramadhani, D. S., Putri, S. O., & Salsabila, A. Q. (2025). Manajemen Risiko Usaha Jamur Tiram CV. Citra Nusa Prima dengan Pendekatan Enterprise Risk Management. *Jurnal Keilmuan Dan Keislaman*, 4(3), 343–353.
<https://doi.org/10.23917/jkk.v4i3.702>
- Khiyana, A., Sundari, T., Yulianto, T., Nugroho, M., & Imam, A. (2025). Analysis and Risks Fast Track and Crash Program Method on Building Project. *Jurnal Pensil: Pendidikan Teknik Sipil*, 14(1).
<https://doi.org/10.21009/jpensil.v14i1.50234>
- Maskur, A., Saepudin, U., & Hilman, D. (2023). Analisis Penjadwalan Proyek Dengan Program Microsoft Project 2019 (Studi Kasus Proyek Pembangunan Ruang Pelayanan dan Business Centre di SMK Muhammadiyah Kawali). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 1(1), 12–19.
<https://doi.org/10.25157/jiteks.v1i1.3190>
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide)* (6th ed.). Project Management Institute.
- Project Management Institute. (2021). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and The Standard for Project Management* (7th ed.). Project Management Institute.
- Salasa, B. S., W, H., Sari, D. P., & Rasya, M. (2024). Analisis Penerapan Metode Fast-Track dan Crash Program Terhadap Waktu dan Biaya Dalam Pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 43–53.
<https://doi.org/10.31849/siklus.v10i1.13718>
- Salong, A. I., Leuhery, L., & Abdin, M. (2024). Analisis Percepatan pada Proyek Pembangunan Ruang Kelas Baru Madrasah Ibtidaiyah Negeri 5 Maluku Tengah dengan Menggunakan Metode Crashing Program. *Journal Agregate*, 3(1), 153–161.
- Sari, D. L., Maulia, L., Amelia, E., Fadilah, S., Suriansyah, A., & Aslamiah. (2025). Optimalisasi Kinerja Pamong Belajar dan Tenaga Administrasi Sekolah di SDN Timbung Kabupaten Tapin: Strategi, Hambatan, dan



- Implikasinya pada Transformasi Digital. *Jurnal Keilmuan Dan Keislaman*, 4(2), 269–277. <https://doi.org/10.23917/jkk.v4i2.456>
- Satiawan. (2005). *Microsoft Project untuk Manajemen Proyek*.
- Senses, S., & Kumral, M. (2024). Trade-off between time and cost in project planning: a simulation-based optimization approach. *SIMULATION*, 100(2), 127–143. <https://doi.org/10.1177/00375497231196889>
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek: Dari Konseptual sampai Operasional*. Erlangga.
- Stefanus, Y. (2017). Analisis Percepatan Waktu Penyelesaian Proyek Menggunakan Metode Fast-Track dan Crash Program. *Jurnal Media Teknik Sipil*, 15(1), 76–81. <https://doi.org/10.22219/jmts.v15i1.4494>
- Utari, R. P., Samin, Hadad, M. N., & Wahyudiono, S. (2022). Analisis Percepatan Proyek dengan Metode Time Cost Trade Off (Studi Kasus Pada Gedung Student Center UIN Datokrama Palu). *Jurnal Media Teknik Sipil*, 20(1), 7–13. <https://doi.org/10.22219/jmts.v20i1.35607>
- 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.