



Percepatan Durasi Proyek Pembangunan Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kota Manado dengan Metode *Time Cost Trade Off*

Viegels Edgar Juvendi Wahongan^{1*}, Mercy Freki Hosang², Nixon Servius Mantiri³

¹⁻³Program Studi D-IV Konstruksi Bangunan Gedung, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Manado, Indonesia

Email: edgarviegels@gmail.com¹; mfhosang@gmail.com²; nixonmantiri@gmail.com³

*Penulis Korespondensi: edgarviegels@gmail.com

Abstract. Government building projects work under tight schedules because they must finish within one fiscal year, while late handover triggers a daily contractual penalty. This study establishes the critical path of the Manado Public Health Laboratory project worth IDR 16,385,611,007.54, calculates project duration and cost after acceleration, and assesses whether the acceleration is financially defensible. Secondary data from the contract bill of quantity and the planned S curve were analysed with the Critical Path Method, then accelerated through the Time Cost Trade Off method by adding three overtime hours a day. The network of twenty two work packages produced a duration of 546 days, seventeen of which lay on the critical path. Crashing the ten critical packages lasting at least 28 days shortened the project to 459 days, a saving of 87 days or 15.93 percent. Direct cost rose by IDR 932,985,520.50 while indirect cost fell by IDR 130,544,703.21, so total cost increased by IDR 802,440,817.29 or 4.90 percent. The exchange rate stayed at IDR 9,223,457.67 per day, below the late delivery penalty of IDR 16,385,611.01 per day. Acceleration is worth running as a schedule recovery measure, yet brings no gain when the project runs on plan.

Keywords: Cost Slope; Crashing; Critical Path; Overtime; Time Cost Trade-Off.

Abstrak. Proyek konstruksi gedung negara terus berada di bawah tekanan waktu karena pekerjaannya harus selesai dalam satu tahun anggaran, sementara keterlambatan penyerahan memunculkan denda harian. Penelitian ini bertujuan menetapkan jalur kritis Proyek Pembangunan Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kota Manado senilai Rp16.385.611.007,54, menghitung durasi dan biaya proyek sesudah percepatan, serta menilai kelayakan finansial percepatan tersebut. Data sekunder berupa *bill of quantity* dan kurva S kontrak dianalisis dengan *Critical Path Method* untuk memperoleh jalur kritis, lalu dipercepat memakai metode *Time Cost Trade Off* melalui penambahan tiga jam kerja lembur per hari. Jaringan kerja atas 22 paket pekerjaan menghasilkan durasi 546 hari dengan 17 paket berada pada jalur kritis. Percepatan sepuluh paket kritis berdurasi minimal 28 hari memendekkan proyek menjadi 459 hari atau hemat 87 hari setara 15,93 persen. Biaya langsung bertambah Rp932.985.520,50 sedangkan biaya tidak langsung berkurang Rp130.544.703,21, sehingga biaya total naik Rp802.440.817,29 atau 4,90 persen. Perbandingan tiga alternatif cakupan percepatan menempatkan skenario sepuluh aktivitas sebagai yang paling seimbang dengan 8,70 hari percepatan per aktivitas yang dilemburkan. Laju pertukaran waktu terhadap biaya bernilai tetap Rp9.223.457,67 per hari, lebih rendah daripada denda keterlambatan sebesar Rp16.385.611,01 per hari, sehingga manfaat bersih percepatan mencapai Rp623.107.340,58 dengan rasio manfaat terhadap biaya 1,78. Temuan ini menunjukkan percepatan layak dijalankan sebagai tindakan pemulihan jadwal, tetapi tidak menguntungkan bila proyek berjalan sesuai rencana karena biaya total menaik terus tanpa titik optimum.

Kata kunci: *Crashing*; Jalur Kritis; Lembur; Kemiringan Biaya; *Time Cost Trade-Off*.

1. LATAR BELAKANG

Keterlambatan masih menjadi persoalan yang berulang pada pelaksanaan proyek konstruksi di Indonesia. Jamal dan Ian (2025) memetakan penyebabnya dan menempatkan lemahnya perencanaan jadwal serta keterbatasan sumber daya sebagai faktor yang paling sering muncul. Pada pekerjaan jalan di Sumatera Barat, Rita, Carlo, dan Nandi (2021) menemukan dampak keterlambatan menjalar ke pembengkakan biaya dan menurunnya mutu hasil pekerjaan. Winoto, Guwinarto, dan Limanto (2023) menambahkan bahwa kontraktor menilai keterlambatan sebagai indikator performa yang paling merugikan reputasi. Silalahi, Masthura,

dan Fahriana (2023) menegaskan waktu berdiri sejajar dengan mutu dan biaya sebagai penentu keberhasilan proyek, sehingga pengendalian jadwal tidak dapat diperlakukan sebagai urusan sekunder.

Proyek Pembangunan Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kota Manado menghadapi tekanan serupa. Pekerjaan ini dikontrakkan Dinas Kesehatan Kota Manado kepada PT Pentagon Terang Asli dengan nilai Rp18.183.817.000,00 termasuk Pajak Pertambahan Nilai, atau Rp16.385.611.007,54 sebelum pajak, dan dijadwalkan selesai dalam 22 minggu. Batas tahun anggaran membuat jadwal itu tidak memiliki ruang geser. Porsi pekerjaan mekanikal dan elektrikalnya mencapai 21,70 persen dari nilai kontrak, dan paket semacam itu berkumpul di sepertiga terakhir jadwal sehingga menampung akumulasi keterlambatan dari pekerjaan struktur di depannya.

Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah mengatur denda keterlambatan sebesar satu perseribu nilai kontrak untuk setiap hari keterlambatan. Pada nilai kontrak sebelum pajak, denda itu setara Rp16.385.611,01 per hari. Di luar denda, gedung laboratorium yang belum diserahkan berarti layanan pemeriksaan yang tertunda, dan kerugian jenis ini tidak tercatat dalam dokumen kontrak mana pun.

Metode *Time Cost Trade Off* menyediakan cara menghitung harga dari waktu yang dipangkas, dan sejumlah penelitian sudah mengujinya pada objek yang beragam. Rajagukguk, Winanda, Munasih, dan Surbakti (2026) menerapkannya pada proyek gedung dan mendapati durasi turun dari 151 hari menjadi 123 hari lewat lembur tiga jam, disertai kenaikan biaya total dari Rp1.634.386.623,07 menjadi Rp1.817.213.981,61. Andini (2022) meneliti pembangunan Gedung FPEB Universitas Pendidikan Indonesia dan memperoleh arah biaya yang berlawanan, yaitu lembur tiga jam memangkas 32 hari sekaligus menurunkan biaya total sebesar Rp110.627.301,89. Hidayah, Setiawan, dan Setiono (2024) serta Doris Zhaputro, Darjanto, dan Nugrahini (2024) memperoleh hasil yang juga bergantung pada struktur biaya proyek masing-masing.

Pada konteks Sulawesi Utara, Rottie, Runtu, Umboh, dan Bumbungan (2024) mempercepat pembangunan jembatan dan oprit Boulevard II Manado, Salindeho, Pratasis, dan Sumanti (2022) menerapkan metode yang sama pada peningkatan ruas jalan Tondano sampai Manado, sedangkan Raranta, Arsjad, dan Pratasis (2024) menggarap peningkatan jalan Molompar Utara sampai Wawali Pasan. Tisano, Arsjad, dan Sibi (2020) menganalisis *Crashing* pada pembangunan Kalyana Residence Paal 2 Manado. Objek penelitian di wilayah ini masih didominasi pekerjaan jalan, jembatan, dan hunian.

Rujukan yang paling dekat dengan penelitian ini adalah Septi dan Sari (2026), yang menerapkan *Time Cost Trade Off* pada Gedung Laboratorium Teknik 4 Institut Teknologi Sumatera senilai Rp16.927.594.301, hanya berselisih sekitar tiga persen dari nilai kontrak proyek yang ditinjau di sini. Penelitian tersebut membandingkan penambahan jam lembur, penambahan shift kerja, serta penambahan tenaga kerja dan alat berat, lalu menempatkan alternatif ketiga sebagai yang paling menguntungkan dengan efisiensi waktu 27,23 persen dan efisiensi biaya 5,75 persen. Objek gedung laboratorium karena itu bukan lagi ruang kosong, sehingga kebaruan penelitian ini perlu diletakkan pada aspek lain.

Tiga hal membedakan penelitian ini dari penelitian terdahulu tersebut. Pertama, sebagian besar penelitian berhenti pada selisih waktu dan biaya tanpa membandingkan laju pertukarannya dengan patokan finansial di luar proyek, padahal denda keterlambatan menyediakan pembanding yang sudah ditetapkan peraturan. Kedua, indeks prestasi kerja jam lembur hampir selalu diperlakukan sebagai angka tunggal tanpa pengujian ulang, padahal seluruh besaran crash duration bergantung padanya. Ketiga, cakupan aktivitas yang dipercepat umumnya ditetapkan tanpa ukuran efektivitas, sehingga belum terlihat berapa banyak aktivitas yang sebaiknya dilemburkan agar hasil percepatan sepadan dengan beban pengawasan di lapangan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan menetapkan jalur kritis Proyek Pembangunan Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kota Manado melalui *Critical Path Method*, menghitung durasi dan biaya proyek sesudah percepatan dengan penambahan tiga jam kerja lembur per hari, menetapkan cakupan aktivitas yang paling efektif dipercepat, menguji kepekaan hasil terhadap perubahan indeks prestasi kerja jam lembur, serta menilai kelayakan finansial percepatan dengan denda keterlambatan kontrak sebagai pembanding. Parameter percepatan yang ditetapkan meliputi jumlah jam lembur, indeks prestasi kerja jam lembur, jumlah pekerja yang dilemburkan, proporsi biaya tidak langsung, dan batas durasi minimum aktivitas yang dipercepat.

2. KAJIAN TEORITIS

Critical Path Method menyusun aktivitas proyek menjadi jaringan kerja yang memperlihatkan hubungan ketergantungan antarpekerjaan, kemudian menghitung waktu paling awal dan paling lambat setiap aktivitas melalui dua kali penelusuran. Selisih antara waktu paling lambat dan paling awal menghasilkan float, dan rangkaian aktivitas berfloat nol membentuk jalur kritis yang menentukan panjang proyek (Soeharto, 1999). Kusumadarma, Pratami, Yasa, dan Tripiawan (2020) menunjukkan metode ini tetap sah dipakai pada proyek

nonbangunan, dalam kasus mereka jaringan telekomunikasi, karena yang dibutuhkan hanya durasi aktivitas dan urutan ketergantungannya.

Time Cost Trade Off bertumpu pada dua kelompok biaya yang bergerak berlawanan arah ketika durasi diubah. Biaya langsung naik saat proyek dipercepat karena pemendekan hanya mungkin dengan menambah jam kerja, tenaga, atau peralatan. Biaya tidak langsung justru turun karena overhead lapangan, gaji staf, dan sewa fasilitas sementara berhenti lebih cepat. Perbandingan tambahan biaya terhadap hari yang dipangkas disebut *cost slope*, dan aktivitas dengan *cost slope* terkecil menjadi kandidat percepatan pertama (Soeharto, 1999; Frederika, 2010). Nabila (2023) menegaskan penerapan metode ini hanya berarti bila dilakukan pada aktivitas jalur kritis, sebab percepatan pada aktivitas berfloat tidak memendekkan proyek.

Percepatan lewat penambahan jam lembur menjadi pilihan yang paling sering dipakai karena tidak menuntut mobilisasi tenaga baru. Konsekuensinya adalah penurunan produktivitas, sebab jam lembur dikerjakan pada kondisi tubuh yang sudah lelah dan pencahayaan yang tidak sebaik siang hari. Soeharto (1999) menyusun indeks prestasi kerja jam lembur seperti pada Tabel 1. Ayu, Khaidir, dan Rita (2024) menunjukkan produktivitas pelaksanaan proyek gedung juga dipengaruhi mutu manajemen sumber daya, sehingga indeks pada tabel tersebut sebaiknya diperlakukan sebagai acuan awal, bukan angka mutlak.

Tabel 1. Indeks prestasi kerja pada jam lembur

Jam lembur per hari	Penurunan indeks produktivitas	Prestasi kerja per jam	Prestasi kerja (%)
1	0,1	0,9	90
2	0,2	0,8	80
3	0,3	0,7	70
4	0,4	0,6	60

Sumber: Soeharto (1999)

Besaran upah lembur diatur Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021 tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja. Jam lembur pertama dihargai satu setengah kali upah sejam dan jam berikutnya dua kali upah sejam, dengan batas empat jam sehari dan delapan belas jam seminggu. Skema tiga jam yang lazim dipakai dalam penelitian percepatan berada di bawah batas tersebut sehingga tetap sah menurut peraturan yang berlaku.

Sejumlah penelitian terdahulu memberikan gambaran rentang hasil yang mungkin diperoleh. Werdana dan Priyanto (2023) memperoleh pemendekan durasi disertai kenaikan biaya pada proyek gedung dengan penambahan jam kerja. Syafridon, Syahrizal, Karolina, Handana, dan Christin (2022) menguji metode ini pada gedung kampus di masa pandemi, ketika produktivitas tenaga kerja tertekan pembatasan kegiatan. Jati, Setiono, dan Rifai (2022) serta Faqihhuddin (2024) menjalankan analisis serupa berbantuan perangkat lunak

penjadwalan, sementara Nardiansyah dan Intansari (2022) menerapkan *Crashing* pada proyek jalan di Kalimantan Timur. Keragaman arah dan besaran hasil pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa perbandingan antara cost slope dan biaya tidak langsung harian merupakan penentu utama, sehingga kesimpulan satu proyek tidak dapat dipindahkan begitu saja ke proyek lain.

Alternatif Percepatan dan Dasar Pemilihannya

Percepatan proyek dapat ditempuh melalui penambahan jam kerja lembur, penambahan shift kerja, penambahan tenaga kerja, penambahan alat, atau penggabungan beberapa cara tersebut. Septi dan Sari (2026) membandingkan tiga di antaranya pada satu proyek gedung laboratorium dan mendapati penambahan tenaga kerja beserta alat berat memberi efisiensi biaya tertinggi, disusul penambahan shift, sedangkan penambahan jam lembur menempati posisi terlemah. Risfawany, Latupeirissa, dan Mandoa (2025) memperoleh pola yang searah ketika membandingkan efisiensi waktu dengan efisiensi tenaga kerja.

Meskipun demikian, penambahan jam lembur tetap menjadi alternatif yang paling sering dipakai di lapangan karena tidak menuntut mobilisasi tenaga baru, tidak menambah kebutuhan area kerja, dan dapat dihentikan sewaktu-waktu ketika kemajuan pekerjaan sudah kembali sesuai rencana. Nurhikmah, Dewita, dan Sembiring (2025) serta Dayunita, Pramanda, Ariansyah, dan Bunyamin (2024) memakai alternatif ini dengan alasan yang sama. Penelitian ini membatasi diri pada penambahan jam lembur karena data yang tersedia berupa dokumen kontrak tanpa catatan komposisi tenaga kerja harian, sehingga perhitungan penambahan tenaga kerja atau shift tidak dapat dilakukan dengan dasar yang memadai.

3. METODE PENELITIAN

Objek dan Data Penelitian

Penelitian ini memakai pendekatan kuantitatif deskriptif dengan studi kasus pada satu proyek. Objeknya adalah Proyek Pembangunan Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kota Manado, gedung dua lantai di Kota Manado, Sulawesi Utara, yang dilaksanakan pada tahun anggaran 2025. Populasi penelitian berupa seluruh paket pekerjaan yang tercantum dalam kontrak, berjumlah 22 paket, dan seluruhnya dianalisis tanpa penarikan sampel. Data umum proyek dirangkum pada Tabel 2 dan lokasinya ditampilkan pada Gambar 1.

Tabel 2. Data umum proyek

Uraian	Keterangan
Nama pekerjaan	Pembangunan Labkesmas Kota Manado
Pemilik pekerjaan	Dinas Kesehatan Kota Manado
Pelaksana	PT Pentagon Terang Asli

Lokasi	Kota Manado, Sulawesi Utara
Tahun anggaran	2025
Nilai kontrak sebelum PPN	Rp16.385.611.007,54
Nilai kontrak termasuk PPN 11%	Rp18.183.817.000,00
Jadwal kontrak	22 minggu
Jumlah paket pekerjaan	22 paket

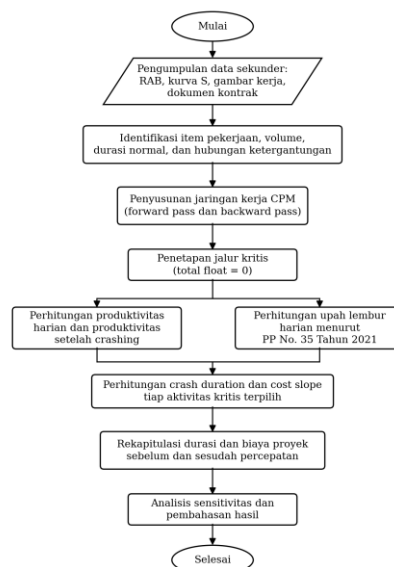
Sumber: bill of quantity dan kurva S kontrak



Gambar 1. Lokasi Proyek Pembangunan Labkesmas Kota Manado

Sumber: citra satelit lokasi pekerjaan

Teknik pengumpulan data berupa dokumentasi atas arsip proyek. Instrumen yang dipakai adalah dua dokumen kontrak, yaitu *bill of quantity* beserta rekapitulasinya dan kurva S rencana yang memuat bobot mingguan setiap butir pekerjaan. Dari *bill of quantity* diambil nilai tiap paket pekerjaan, sedangkan dari kurva S diambil rentang minggu pelaksanaan yang kemudian diubah menjadi durasi hari. Tahapan analisis ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Bagan alir tahapan penelitian

Sumber: olahan penulis

Tahapan Penerapan *Time Cost Trade Off*

Analisis dijalankan dalam tujuh tahap yang berurutan. Tahap pertama adalah pembacaan *bill of quantity* untuk memperoleh nilai dan bobot tiap paket pekerjaan. Tahap kedua adalah pembacaan kurva S untuk menetapkan minggu mulai dan minggu selesai tiap paket, yang kemudian dikalikan tujuh untuk memperoleh durasi normal dalam satuan hari. Tahap ketiga

adalah penyusunan hubungan ketergantungan antarpaket berdasarkan urutan teknis pekerjaan dengan pola selesai ke mulai.

Tahap keempat adalah penelusuran maju dan mundur atas jaringan kerja untuk memperoleh ES, EF, LS, LF, dan total float, lalu menetapkan aktivitas berfloat nol sebagai jalur kritis. Tahap kelima adalah perhitungan durasi percepatan tiap aktivitas kritis dengan menambahkan tiga jam lembur pada jam kerja normal. Tahap keenam adalah perhitungan biaya lembur harian dan cost slope tiap aktivitas, dilanjutkan penjumlahan tambahan biaya langsung dan pengurangan biaya tidak langsung sepanjang hari yang dipangkas. Tahap ketujuh adalah perbandingan durasi dan biaya sebelum dengan sesudah percepatan, pengujian kepekaan hasil terhadap indeks prestasi kerja, serta penetapan cakupan percepatan yang paling efektif.

Alat Analisis

Alat analisis pertama adalah *Critical Path Method*. Penelusuran maju menetapkan waktu mulai paling awal dan waktu selesai paling awal, sedangkan penelusuran mundur menetapkan waktu selesai paling lambat dan waktu mulai paling lambat. Hubungan ketiganya dinyatakan pada Persamaan (1) sampai (3).

$$EF = ES + D \quad (1)$$

$$LS = LF - D \quad (2)$$

$$TF = LS - ES = LF - EF \quad (3)$$

ES adalah waktu mulai paling awal, EF waktu selesai paling awal, LS waktu mulai paling lambat, LF waktu selesai paling lambat, D durasi aktivitas, dan TF total float. Aktivitas dengan TF sama dengan nol menyusun jalur kritis dan menjadi sasaran percepatan.

Alat analisis kedua adalah perhitungan durasi percepatan. Percepatan dilakukan dengan menambah tiga jam lembur pada jam kerja normal delapan jam per hari, dan indeks prestasi kerja jam lembur diambil 0,7 mengikuti Tabel 1. Produktivitas harian normal, produktivitas harian sesudah percepatan, serta durasi percepatan dihitung dengan Persamaan (4) sampai (6) (Frederika, 2010).

$$P_j = V / (D \times J_n) \quad (4)$$

$$P_c = (J_n \times P_j) + (a \times b \times P_j) \quad (5)$$

$$D_c = V / P_c \quad (6)$$

V adalah volume pekerjaan, J_n jam kerja normal per hari, P_j produktivitas per jam, P_c produktivitas harian sesudah percepatan, a jumlah jam lembur, b indeks prestasi kerja jam lembur, dan D_c durasi percepatan. Substitusi Persamaan (4) ke Persamaan (5) memperlihatkan D_c sama dengan D dikalikan J_n dibagi jumlah J_n dan hasil kali a dengan b, sehingga rasionya tidak bergantung pada volume pekerjaan. Hasil pembagian dibulatkan ke atas karena pekerjaan tidak dapat diselesaikan dalam pecahan hari.

Alat analisis ketiga adalah perhitungan biaya. Biaya lembur harian dan cost slope dihitung dengan Persamaan (7) dan (8) mengikuti tarif pada Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021.

$$Bl = [(1,5 \times U) + (2 \times 2 \times U)] \times N \quad (7)$$

$$CS = (CC - NC) / (ND - DC) \quad (8)$$

Bl adalah biaya lembur harian, U upah pekerja per jam, N jumlah pekerja, CS cost slope, CC biaya dipercepat, NC biaya normal, ND durasi normal, dan DC durasi dipercepat.

Asumsi dan Parameter Percepatan

Lima parameter ditetapkan sebelum perhitungan dijalankan, dan masing-masing memiliki dasar tersendiri. Jumlah jam lembur ditetapkan tiga jam per hari, dilaksanakan pukul 19.00 sampai 22.00 setelah jam kerja normal pukul 08.00 sampai 17.00 dengan satu jam istirahat. Angka tiga jam dipilih karena berada di bawah batas empat jam sehari menurut Peraturan Pemerintah Nomor 35 Tahun 2021 dan masih menyisakan waktu istirahat yang memadai bagi pekerja sebelum shift berikutnya, sehingga penurunan produktivitas tidak berlanjut ke hari kerja normal.

Indeks prestasi kerja jam lembur ditetapkan 0,7 mengikuti Tabel 1 untuk lembur tiga jam. Jumlah pekerja yang dilemburkan ditetapkan 100 orang dan diberlakukan sama untuk setiap paket, karena catatan komposisi tenaga kerja harian tiap pekerjaan tidak tersedia. Biaya tidak langsung ditetapkan lima persen dari nilai kontrak dan disebar merata sepanjang durasi normal, mengikuti kelaziman yang dipakai pada penelitian sejenis. Hubungan ketergantungan antarpaket disusun berdasarkan urutan teknis pekerjaan dengan pola selesai ke mulai, karena dokumen jaringan kerja pelaksana tidak tersedia.

Parameter kelima adalah batas durasi minimum aktivitas yang dipercepat. Rasio pemendekan bernilai tetap 0,7921 kali durasi normal, sehingga aktivitas berdurasi 21 hari hanya memberi empat hari percepatan sedangkan aktivitas berdurasi 56 hari memberi sebelas hari. Batas minimum 28 hari dipakai pada skenario utama agar setiap aktivitas yang dilemburkan memberi paling sedikit lima hari percepatan. Dua skenario pembandingan dengan batas yang berbeda juga dihitung untuk menguji ketepatan batas tersebut.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi Rencana Anggaran Biaya

Bill of quantity kontrak memuat 22 paket pekerjaan dengan nilai total Rp16.385.611.007,54 sebelum pajak. Rekapitulasinya disajikan pada Tabel 3, dan kode huruf

pada kolom pertama dipakai konsisten sampai akhir pembahasan sebagai pengenalan aktivitas jaringan kerja.

Tabel 3. Rekapitulasi rencana anggaran biaya proyek

Kode	Uraian pekerjaan	Jumlah harga (Rp)	Bobot (%)
A	Pekerjaan persiapan	118.895.940,00	0,73
B	Penyelenggaraan keamanan dan keselamatan konstruksi	67.665.018,00	0,41
C	Pekerjaan tanah, pasir, dan pondasi	1.575.515.367,22	9,62
D	Pekerjaan struktur lantai 1	2.521.855.235,70	15,39
E	Pekerjaan struktur lantai 2	892.619.359,23	5,45
F	Pekerjaan beton lainnya	286.193.697,28	1,75
G	Pekerjaan pasangan dan plesteran	2.260.202.995,87	13,79
H	Pekerjaan pelapis lantai dan dinding	1.045.919.247,56	6,38
I	Pekerjaan atap dan plafon	1.441.472.699,59	8,80
J	Pekerjaan kusen, pintu, dan jendela	1.127.916.158,77	6,88
K	Pekerjaan eksterior	361.425.911,06	2,21
L	Pekerjaan interior	677.610.446,24	4,14
M	Pekerjaan pengecatan dan finishing	415.997.930,84	2,54
N	Pekerjaan landscape	29.779.041,07	0,18
O	Pekerjaan instalasi data	211.000.000,00	1,29
P	Pekerjaan electrical	1.618.481.868,00	9,88
Q	Pekerjaan penangkal petir	40.600.000,00	0,25
R	Pekerjaan elektronik	18.090.000,00	0,11
S	Pekerjaan plumbing dan kelengkapannya	1.140.689.069,08	6,96
T	Pekerjaan fire fighting	221.035.800,00	1,35
U	Pekerjaan listrik ruang panel dan genset	306.445.222,03	1,87
V	Pekerjaan akhir	6.200.000,00	0,04
	Total	16.385.611.007,54	100,00

Sumber: bill of quantity kontrak

Paket struktur lantai 1 memikul bobot terbesar dengan 15,39 persen, disusul pekerjaan pasangan dan plesteran sebesar 13,79 persen. Kelompok mekanikal dan elektrikal yang mencakup kode O sampai U secara keseluruhan mencapai 21,70 persen dari nilai kontrak. Angka itu penting karena kelompok tersebut berada di bagian belakang rantai pekerjaan dan hampir seluruhnya masuk jalur kritis.

Jaringan Kerja dan Jalur Kritis

Kurva S kontrak membagi pelaksanaan ke dalam 22 minggu dengan komulatif kemajuan mencapai seratus persen pada minggu kedua puluh dua. Durasi tiap paket diambil dari jumlah minggu pelaksanaannya dikalikan tujuh hari. Pekerjaan plumbing tersebar pada sebelas minggu sehingga durasinya 77 hari, sedangkan penyelenggaraan keselamatan konstruksi tersebar pada empat belas minggu sehingga durasinya 98 hari. Kedua paket ini berjalan sebagai pekerjaan penyerta sepanjang proyek.

Jadwal kontrak selama 22 minggu hanya mungkin dicapai bila banyak paket dikerjakan bersamaan, dan kurva S memperlihatkan hal itu secara terbuka. Pekerjaan pasangan dan

plesteran dimulai pada minggu kesembilan padahal struktur lantai 2 baru berjalan pada minggu kesebelas, sedangkan pekerjaan plumbing sudah dimulai pada minggu ketiga bersamaan dengan pondasi. Jaringan kerja pada penelitian ini disusun dengan hubungan selesai ke mulai murni tanpa tumpang tindih, sehingga durasinya lebih panjang daripada jadwal kontrak. Analisis percepatan berikut berlaku untuk kondisi pelaksanaan berurutan, yaitu keadaan yang terjadi bila tumpang tindih tidak dapat dipertahankan di lapangan karena keterbatasan area kerja atau tenaga.

Penelusuran maju dan mundur atas 22 aktivitas menghasilkan durasi jaringan 546 hari. Hasil lengkapnya disajikan pada Tabel 4 dan bentuk jaringannya pada Gambar 3.

Tabel 4. Hasil perhitungan jaringan kerja

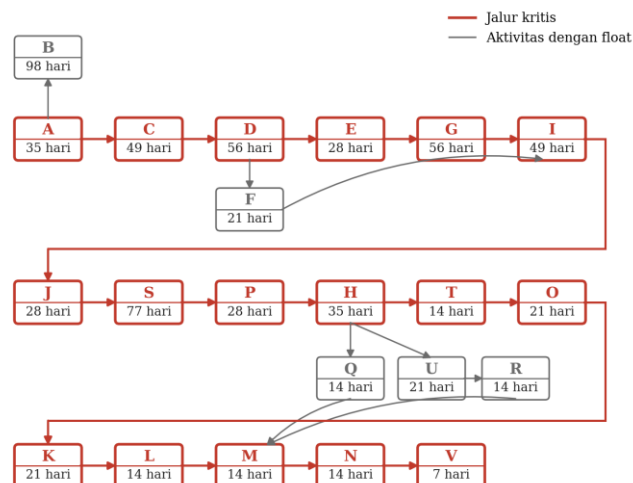
Kode	Minggu kurva S	Pendahulu	D	ES	EF	LS	LF	TF	Keterangan
A	1-5	-	35	0	35	0	35	0	Kritis
B	3-21	A	98	35	133	448	546	413	
C	2-8	A	49	35	84	35	84	0	Kritis
D	6-13	C	56	84	140	84	140	0	Kritis
E	11-14	D	28	140	168	140	168	0	Kritis
F	5-13	D	21	140	161	203	224	63	
G	9-16	E	56	168	224	168	224	0	Kritis
H	16-20	P	35	406	441	406	441	0	Kritis
I	13-19	G,F	49	224	273	224	273	0	Kritis
J	16-19	I	28	273	301	273	301	0	Kritis
K	16-20	O	21	476	497	476	497	0	Kritis
L	19-20	K	14	497	511	497	511	0	Kritis
M	20-21	L,R,Q	14	511	525	511	525	0	Kritis
N	17-18	M	14	525	539	525	539	0	Kritis
O	20-22	T	21	455	476	455	476	0	Kritis
P	16-19	S	28	378	406	378	406	0	Kritis
Q	18-19	H	14	441	455	497	511	56	
R	19-20	U	14	462	476	497	511	35	
S	3-18	J	77	301	378	301	378	0	Kritis
T	21-22	H	14	441	455	441	455	0	Kritis
U	4-6	H	21	441	462	476	497	35	
V	22-22	N	7	539	546	539	546	0	Kritis

Sumber: hasil perhitungan

Pembacaan Tabel 4 dimulai dari kolom ES dan EF yang merupakan hasil penelusuran maju. Aktivitas A dimulai pada hari ke-0 dan selesai pada hari ke-35, sehingga aktivitas C yang bergantung padanya memiliki ES 35 dan EF 84. Penelusuran berlanjut sampai aktivitas terakhir dan menghasilkan durasi proyek 546 hari. Kolom LS dan LF berasal dari penelusuran mundur yang dimulai dari hari ke-546 lalu bergerak ke arah awal. Aktivitas V memiliki LF 546 dan LS 539, dan nilai LS itu menjadi LF bagi pendahulunya. Selisih antara LS dan ES pada kolom terakhir menghasilkan total float, yaitu jumlah hari suatu aktivitas dapat tertunda tanpa memperpanjang proyek.

Rangkaian aktivitas berfloat nol membentuk jalur kritis proyek, yaitu A – C – D – E – G – I – J – S – P – H – T – O – K – L – M – N – V. Rangkaian tersebut bergerak dari pekerjaan persiapan, menembus pekerjaan tanah dan struktur, berlanjut ke pekerjaan arsitektur berupa pemasangan, atap, dan kusen, kemudian masuk ke kelompok mekanikal dan elektrikal melalui plumbing dan electrical, dan ditutup oleh pekerjaan finishing sampai pekerjaan akhir. Penjumlahan durasi ketujuh belas aktivitas tersebut menghasilkan 546 hari, sama dengan durasi jaringan, yang menjadi pemeriksaan silang bahwa jalur kritis sudah teridentifikasi dengan benar.

Tujuh belas aktivitas kritis tersebut memikul seluruh durasi proyek, sedangkan lima aktivitas lainnya menyimpan kelonggaran, yaitu penyelenggaraan keselamatan konstruksi dengan float 413 hari, pekerjaan beton lainnya 63 hari, penangkal petir 56 hari, serta pekerjaan elektronik dan listrik ruang panel masing-masing 35 hari. Besarnya float pada paket keselamatan konstruksi wajar karena paket itu berjalan sebagai pendamping dan tidak menahan pekerjaan mana pun.



Gambar 3. Jaringan kerja proyek dan jalur kritisnya

Sumber: hasil perhitungan

Durasi dan Biaya Percepatan

Dengan jam kerja normal delapan jam, lembur tiga jam, dan indeks prestasi kerja 0,7, durasi percepatan tiap aktivitas menjadi 0,7921 kali durasi normalnya. Percepatan dibatasi pada sepuluh aktivitas kritis berdurasi minimal 28 hari yang mencakup seluruh pekerjaan struktur, arsitektur utama, plumbing, dan electrical. Sepuluh aktivitas itu memikul 91,4 persen panjang jalur kritis, sedangkan tujuh aktivitas kritis sisanya berdurasi 21 hari ke bawah sehingga ruang percepatannya kecil. Hasil perhitungannya disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Durasi percepatan dan biaya tambahan aktivitas kritis

Kode	Uraian pekerjaan	Durasi normal (hari)	Durasi percepatan (hari)	Percepatan (hari)	Tambahan biaya (Rp)
A	Pekerjaan persiapan	35	28	7	75.067.800,50
C	Pekerjaan tanah, pasir, dan pondasi	49	39	10	107.239.715,00
D	Pekerjaan struktur lantai 1	56	45	11	117.963.686,50
E	Pekerjaan struktur lantai 2	28	23	5	53.619.857,50
G	Pekerjaan pasangan dan plesteran	56	45	11	117.963.686,50
H	Pekerjaan pelapis lantai dan dinding	35	28	7	75.067.800,50
I	Pekerjaan atap dan plafon	49	39	10	107.239.715,00
J	Pekerjaan kusen, pintu, dan jendela	28	23	5	53.619.857,50
P	Pekerjaan electrical	28	23	5	53.619.857,50
S	Pekerjaan plumbing dan kelengkapannya	77	61	16	171.583.544,00
	Jumlah			87	932.985.520,50

Sumber: hasil perhitungan

Pemendekan terbesar terjadi pada pekerjaan plumbing sebanyak enam belas hari karena durasi normalnya paling panjang, disusul pekerjaan struktur lantai 1 dan pekerjaan pasangan dan plesteran masing-masing sebelas hari. Seluruhnya menghasilkan pemendekan 87 hari. Pemeriksaan ulang jaringan dengan durasi yang sudah dipercepat memastikan susunan jalur kritis tidak berubah, sebab float terkecil pada aktivitas nonkritis adalah 35 hari sehingga tidak ada jalur lain yang berbalik menjadi kritis.

Perbandingan antara kondisi normal dan kondisi percepatan memperlihatkan bahwa pemendekan tidak tersebar merata. Empat aktivitas terpanjang, yaitu plumbing, struktur lantai 1, pasangan dan plesteran, serta atap dan plafon, menyumbang 48 hari atau 55,2 persen dari seluruh pemendekan, padahal jumlahnya hanya 40 persen dari aktivitas yang dilemburkan. Enam aktivitas lainnya menyumbang 39 hari sisanya. Pola tersebut merupakan akibat langsung dari sifat rasio pemendekan yang tetap, yaitu 0,7921 kali durasi normal, sehingga jumlah hari yang diperoleh berbanding lurus dengan panjang durasi aktivitas. Aktivitas berdurasi 77 hari memberi enam belas hari, sedangkan aktivitas berdurasi 28 hari hanya memberi lima hari.

Panjang jalur kritis turun dari 546 hari menjadi 459 hari, sementara aktivitas nonkritis tidak berubah durasinya. Float pada pekerjaan keselamatan konstruksi karena itu menyusut dari 413 hari menjadi 333 hari dan pekerjaan beton lainnya dari 63 hari menjadi 47 hari, sedangkan pekerjaan penangkal petir tetap menyimpan 56 hari serta pekerjaan elektronik dan listrik ruang panel tetap menyimpan 35 hari. Tidak satu pun di antaranya turun sampai nol, sehingga percepatan sebesar 87 hari masih aman dijalankan tanpa memunculkan jalur kritis baru.

Upah lembur tiga jam per pekerja per hari adalah satu setengah kali upah sejam untuk jam pertama ditambah dua kali upah sejam untuk dua jam berikutnya, atau 5,5 kali upah sejam.

Pada upah Rp19.498,13 per jam, angkanya menjadi Rp107.239,72 per pekerja per hari, dan dengan 100 pekerja biaya lembur harian mencapai Rp10.723.971,50. Cost slope tiap aktivitas sama dengan biaya lembur harian tersebut, karena tambahan biaya per aktivitas merupakan hasil kali biaya lembur harian dengan jumlah hari yang dipangkas. Nilai cost slope yang identik untuk kesepuluh aktivitas merupakan akibat langsung dari asumsi jumlah pekerja yang seragam, dan pada kondisi itu kaidah memilih cost slope terkecil kehilangan daya pembeda sehingga urutan percepatan hanya dapat ditetapkan berdasarkan panjang durasi.

Perbandingan Waktu dan Biaya

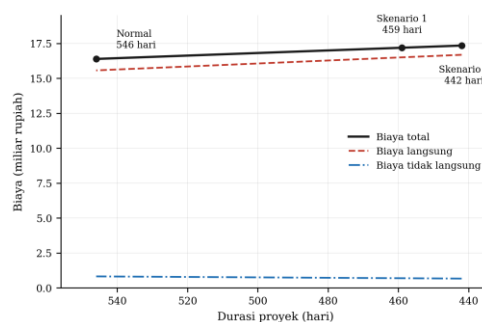
Biaya tidak langsung sebesar lima persen nilai kontrak berjumlah Rp819.280.550,38, atau Rp1.500.513,83 per hari bila disebar sepanjang 546 hari. Percepatan 87 hari menghemat Rp130.544.703,21 dari pos ini, sementara biaya langsung bertambah Rp932.985.520,50, sehingga biaya total naik Rp802.440.817,29. Sebagai pembanding, Tabel 6 juga memuat skenario kedua yang mempercepat seluruh tujuh belas aktivitas kritis.

Tabel 6. Perbandingan waktu dan biaya sebelum dan sesudah percepatan

Uraian	Kondisi normal	Skenario 1	Skenario 2
Cakupan percepatan	—	10 aktivitas kritis ≥ 28 hari	17 aktivitas kritis
Durasi proyek (hari)	546	459	442
Percepatan (hari)	—	87	104
Percepatan (%)	—	15,93	19,05
Biaya langsung (Rp)	15.566.330.457,16	16.499.315.977,66	16.681.623.493,16
Biaya tidak langsung (Rp)	819.280.550,38	688.735.847,17	663.227.112,06
Biaya total (Rp)	16.385.611.007,54	17.188.051.824,83	17.344.850.605,22
Kenaikan biaya (Rp)	—	802.440.817,29	959.239.597,68
Kenaikan biaya (%)	—	4,90	5,85
Laju pertukaran (Rp/hari)	—	9.223.457,67	9.223.457,67

Sumber: hasil perhitungan

Kedua skenario memberi laju pertukaran yang sama, yaitu Rp9.223.457,67 untuk setiap hari yang dipangkas. Keseragaman itu muncul karena cost slope dan biaya tidak langsung harian sama-sama konstan, sehingga hubungan durasi dengan biaya berbentuk garis lurus seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan Durasi Proyek dengan Biaya Langsung, Biaya Tidak Langsung, dan Biaya Total

Sumber: hasil perhitungan

Kurva biaya total pada Gambar 4 menaik sepanjang rentang durasi yang ditinjau dan tidak memiliki titik balik. Penyebabnya terbaca dari perbandingan dua angka, yaitu cost slope Rp10.723.971,50 per hari berbanding biaya tidak langsung Rp1.500.513,83 per hari. Selama biaya percepatan harian jauh melampaui penghematan overhead harian, setiap hari yang dipangkas selalu menambah biaya, sehingga proyek ini tidak memiliki durasi optimum dalam pengertian biaya total terendah.

Alternatif Cakupan Percepatan yang Paling Efektif

Cakupan aktivitas yang dilemburkan dapat diperluas atau dipersempit, dan pilihannya membawa konsekuensi yang berbeda. Selain skenario utama dengan sepuluh aktivitas dan skenario penuh dengan tujuh belas aktivitas, dihitung pula skenario ketiga yang hanya mempercepat lima aktivitas kritis terpanjang, yaitu plumbing, struktur lantai 1, pasangan dan plesteran, tanah dan pondasi, serta atap dan plafon. Ketiganya dibandingkan pada Tabel 7 dengan ukuran efektivitas berupa jumlah hari percepatan yang diperoleh untuk setiap aktivitas yang dilemburkan.

Tabel 7. Perbandingan efektivitas tiga alternatif cakupan percepatan

Skenario	Jumlah aktivitas dipercepat	Durasi proyek (hari)	Percepatan (hari)	Percepatan (%)	Kenaikan biaya (Rp)	Kenaikan biaya (%)	Hari per aktivitas
Skenario 3	5	488	58	10,62	534.960.544,86	3,26	11,60
Skenario 1	10	459	87	15,93	802.440.817,29	4,90	8,70
Skenario 2	17	442	104	19,05	959.239.597,68	5,85	6,12

Sumber: hasil perhitungan

Ketiga skenario menghasilkan laju pertukaran yang sama, yaitu Rp9.223.457,67 per hari, sehingga pemilihan di antaranya tidak dapat didasarkan pada biaya per hari. Pembedanya terletak pada beban pengawasan. Skenario ketiga memberi 11,60 hari percepatan untuk setiap aktivitas yang dilemburkan, skenario pertama memberi 8,70 hari, dan skenario kedua hanya 6,12 hari. Perluasan cakupan dari lima menjadi sepuluh aktivitas menambah 29 hari percepatan, sedangkan perluasan berikutnya dari sepuluh menjadi tujuh belas aktivitas hanya menambah 17 hari meskipun jumlah aktivitas yang harus diawasi bertambah tujuh.

Skenario pertama menjadi pilihan yang paling seimbang. Skenario ketiga memang paling efisien per aktivitas, tetapi pemendekan 58 hari belum tentu memadai bila keterlambatan yang harus dipulihkan melampaui angka itu. Skenario kedua memberi pemendekan terbesar, tetapi tujuh aktivitas tambahannya berdurasi 21 hari ke bawah dan masing-masing hanya menyumbang dua sampai empat hari, sehingga rasio hasil terhadap beban pengawasan menurun tajam. Batas durasi minimum 28 hari yang dipakai pada skenario pertama karena itu terbukti tepat sebagai titik henti perluasan cakupan.

Uji Sensitivitas dan Kelayakan Finansial

Seluruh besaran crash duration bertumpu pada indeks prestasi kerja jam lembur. Untuk mengukur kepekaannya, perhitungan diulang dengan indeks 0,6, yaitu nilai yang pada Tabel 1 diperuntukkan bagi lembur empat jam. Hasilnya disajikan pada Tabel 8.

Tabel 8. Sensitivitas hasil terhadap indeks prestasi kerja jam lembur

Skenario	Indeks prestasi kerja	Durasi proyek (hari)	Percepatan (hari)	Kenaikan biaya (Rp)	Kenaikan biaya (%)
Skenario 1	0,6	467	79	728.653.155,93	4,45
Skenario 1	0,7	459	87	802.440.817,29	4,90
Skenario 2	0,6	452	94	867.005.020,98	5,29
Skenario 2	0,7	442	104	959.239.597,68	5,85

Sumber: hasil perhitungan

Penurunan indeks dari 0,7 menjadi 0,6 memangkas hasil percepatan pada skenario pertama dari 87 hari menjadi 79 hari, atau berkurang sekitar sembilan persen. Kepekaan sebesar itu menunjukkan indeks prestasi kerja bukan angka yang boleh diambil begitu saja, dan pada penerapan di lapangan sebaiknya dikalibrasi dari catatan produktivitas harian proyek yang bersangkutan.

Angka Rp9.223.457,67 per hari baru bermakna bila dibandingkan dengan harga waktu bagi proyek ini. Denda keterlambatan menurut Peraturan Presiden Nomor 16 Tahun 2018 setara Rp16.385.611,01 per hari, sehingga biaya mempercepat satu hari hanya 56,3 persen dari biaya terlambat satu hari, dengan selisih Rp7.162.153,34 per hari yang berpihak pada percepatan.

Perbandingan per hari tersebut dapat diangkat menjadi perbandingan nilai keseluruhan. Bila percepatan 87 hari dijalankan untuk memulihkan keterlambatan yang sepadan, denda yang dihindari mencapai 87 dikalikan Rp16.385.611,01 atau Rp1.425.548.157,87, sementara biaya yang dikeluarkan Rp802.440.817,29. Manfaat bersihnya Rp623.107.340,58 dengan rasio manfaat terhadap biaya 1,78. Rasio yang sama berlaku pada dua skenario lainnya, yaitu Rp415.404.893,72 manfaat bersih pada skenario ketiga dan Rp744.863.947,36 pada skenario kedua, karena denda yang dihindari maupun biaya percepatan sama-sama berbanding lurus dengan jumlah hari yang dipangkas.

Rasio 1,78 tersebut dapat digeneralisasi menjadi ambang nilai kontrak. Denda keterlambatan besarnya satu perseribu nilai kontrak per hari, sedangkan laju pertukaran waktu terhadap biaya pada skema lembur tiga jam dengan 100 pekerja bernilai tetap Rp9.223.457,67 per hari tanpa bergantung pada nilai kontrak. Titik impas keduanya tercapai ketika nilai kontrak mencapai Rp9.223.457.670,00. Pada proyek bernilai di bawah angka itu, denda hariannya lebih murah daripada biaya lembur harian, sehingga menerima keterlambatan justru lebih rasional secara finansial daripada mempercepat. Proyek Labkesmas Kota Manado bernilai

Rp16.385.611.007,54 atau sekitar 1,78 kali ambang tersebut, dan angka itulah yang muncul kembali sebagai rasio manfaat terhadap biaya.

Kesimpulan finansial ini tetap berlaku bersyarat. Manfaat sebesar Rp623.107.340,58 baru terwujud apabila keterlambatan memang sudah terjadi atau sudah dapat dipastikan akan terjadi. Bila proyek berjalan sesuai jadwal, menambah lembur berarti mengeluarkan Rp802.440.817,29 tanpa denda yang dihindarkan, sehingga seluruh pengeluaran itu menjadi kerugian bersih kecuali ada manfaat lain di luar kontrak seperti percepatan pengoperasian layanan laboratorium. Ketepatan waktu pengambilan keputusan karena itu sama pentingnya dengan ketepatan perhitungannya.

Implikasi bagi Pengendalian Waktu dan Biaya Proyek

Hasil perhitungan dapat diterjemahkan menjadi tiga pegangan praktis. Pertama, laju pertukaran Rp9.223.457,67 per hari berfungsi sebagai harga acuan waktu bagi proyek ini. Ketika pengendali proyek dihadapkan pada pilihan antara menambah lembur atau menerima keterlambatan, perbandingan cukup dilakukan antara angka tersebut dengan denda Rp16.385.611,01 per hari, tanpa perlu mengulang seluruh perhitungan jaringan. Selama denda lebih besar, percepatan menghasilkan penghematan bersih Rp7.162.153,34 untuk setiap hari yang dipulihkan, atau Rp623.107.340,58 bila seluruh kapasitas 87 hari terpakai. Ambang nilai kontrak Rp9.223.457.670,00 dapat dipakai pengendali proyek lain untuk memeriksa dengan cepat apakah skema lembur serupa layak diterapkan pada pekerjaan yang mereka tangani.

Kedua, keputusan mengaktifkan lembur sebaiknya diikat pada deviasi kurva S, bukan pada perasaan tertinggal. Dengan kapasitas pemulihan maksimum 87 hari pada skenario utama dan 104 hari pada skenario penuh, keterlambatan yang melampaui 104 hari tidak lagi dapat dipulihkan melalui lembur saja dan menuntut alternatif lain seperti penambahan tenaga kerja atau shift. Ambang tersebut memberi pengendali proyek batasan yang jelas mengenai kapan alternatif lembur masih memadai.

Ketiga, pengawasan sebaiknya dipusatkan pada sepuluh aktivitas kritis berdurasi minimal 28 hari, terutama pada empat aktivitas terpanjang yang menyumbang lebih dari setengah kapasitas pemulihan. Keterlambatan pada aktivitas nonkritis seperti penyelenggaraan keselamatan konstruksi, yang masih menyimpan float 333 hari sesudah percepatan, tidak menuntut tindakan pemulihan karena tidak menggeser tanggal penyelesaian proyek. Pemusatan perhatian semacam ini menghemat sumber daya pengawasan tanpa menambah risiko jadwal.

Pembahasan

Arah hasil penelitian ini sejalan dengan Rajagukguk dkk. (2026) dan Hidayah dkk. (2024) yang juga mendapati biaya total naik ketika durasi dipangkas melalui lembur. Besaran

persentasenya berbeda, sebab penelitian Rajagukguk dkk. mencatat kenaikan biaya sekitar sebelas persen untuk pemendekan sekitar sembilan belas persen, sedangkan penelitian ini memperoleh kenaikan 4,90 persen untuk pemendekan 15,93 persen. Perbedaan itu masuk akal mengingat nilai kontrak yang ditinjau di sini kira-kira sepuluh kali lebih besar, sementara tambahan biaya lembur bergantung pada jumlah pekerja dan bukan pada nilai pekerjaan.

Hasil Andini (2022) bergerak ke arah sebaliknya, yaitu biaya total justru turun. Perbedaannya terletak pada perbandingan cost slope dengan biaya tidak langsung harian. Pada proyek yang biaya tidak langsung hariannya besar relatif terhadap biaya lembur, penghematan overhead sanggup menutup tambahan upah. Pada proyek Labkesmas Kota Manado biaya lembur harian kira-kira tujuh kali lipat biaya tidak langsung harian, sehingga penutupan semacam itu tidak mungkin terjadi. Nardiansyah dan Intansari (2022) serta Raranta dkk. (2024) memperoleh pola yang mirip pada proyek jalan, tempat komponen upah mendominasi biaya langsung. Temuan ini menegaskan arah perubahan biaya pada *Time Cost Trade Off* tidak dapat digeneralisasi antarproyek dan harus dihitung dari struktur biaya masing-masing.

Pembandingan yang paling setara adalah Septi dan Sari (2026), yang menggarap gedung laboratorium dengan nilai proyek Rp16.927.594.301, hanya berselisih sekitar tiga persen dari nilai kontrak proyek ini. Penelitian tersebut memperoleh pemendekan 20,54 persen melalui lembur disertai efisiensi biaya 3,51 persen, sedangkan penelitian ini memperoleh pemendekan 15,93 persen disertai kenaikan biaya 4,90 persen. Perbedaan arah biaya berasal dari komposisi biaya tidak langsung. Pada proyek ITERA, sewa alat berat menjadi bagian besar biaya tidak langsung sehingga pemendekan durasi memangkas pengeluaran sewa dalam jumlah yang melampaui tambahan upah lembur. Proyek Labkesmas Kota Manado tidak memiliki komponen sewa alat berat sebesar itu, sehingga biaya tidak langsung hariannya hanya Rp1.500.513,83 berbanding cost slope Rp10.723.971,50. Perbandingan ini menunjukkan bahwa jenis bangunan yang sama tidak menjamin arah *Trade-Off* yang sama, dan yang menentukan adalah besar biaya tidak langsung harian relatif terhadap cost slope.

Septi dan Sari (2026) juga menempatkan lembur sebagai alternatif terlemah dibandingkan penambahan shift serta penambahan tenaga kerja dan alat. Temuan tersebut sejalan dengan hasil di sini, yang memperlihatkan lembur tidak mampu menurunkan biaya total pada struktur biaya proyek Labkesmas. Meskipun demikian, lembur tetap memiliki keunggulan yang tidak terbaca dari angka efisiensi, yaitu dapat dihentikan sewaktu-waktu tanpa konsekuensi kontraktual terhadap tenaga kerja tambahan, sehingga cocok dipakai sebagai tindakan pemulihan jangka pendek.

Secara terapan, hasil penelitian ini memberi pemilik pekerjaan dan pelaksana satu angka tunggal yang mudah dipakai dalam pengambilan keputusan, yaitu biaya percepatan per hari sebesar Rp9.223.457,67. Angka tersebut dapat langsung dibandingkan dengan denda keterlambatan atau dengan nilai manfaat pengoperasian gedung lebih awal, tanpa perlu mengulang seluruh perhitungan jaringan. Secara teoritis, penelitian ini menunjukkan bahwa titik optimum pada kurva *Time Cost Trade Off* tidak selalu ada, dan keberadaannya bergantung pada apakah cost slope berada di bawah atau di atas biaya tidak langsung harian.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Jaringan kerja Proyek Pembangunan Laboratorium Kesehatan Masyarakat Kota Manado yang disusun dari *bill of quantity* dan kurva S kontrak menghasilkan durasi 546 hari dengan tujuh belas dari dua puluh dua aktivitas berada di jalur kritis. Penambahan tiga jam lembur pada sepuluh aktivitas kritis berdurasi minimal 28 hari memendekkan proyek menjadi 459 hari, atau hemat 87 hari setara 15,93 persen dari durasi normal. Biaya langsung naik Rp932.985.520,50 sedangkan biaya tidak langsung berkurang Rp130.544.703,21, sehingga biaya total bertambah Rp802.440.817,29 atau 4,90 persen menjadi Rp17.188.051.824,83. Laju pertukaran waktu dengan biaya bernilai tetap Rp9.223.457,67 per hari percepatan dan lebih rendah daripada denda keterlambatan sebesar Rp16.385.611,01 per hari. Bila seluruh kapasitas 87 hari dipakai untuk memulihkan keterlambatan, denda yang dihindari mencapai Rp1.425.548.157,87 sehingga manfaat bersihnya Rp623.107.340,58 dengan rasio manfaat terhadap biaya 1,78. Percepatan karena itu layak secara finansial ketika alternatifnya adalah keterlambatan penyerahan.

Perbandingan tiga alternatif cakupan percepatan menunjukkan bahwa mempercepat sepuluh aktivitas kritis berdurasi minimal 28 hari merupakan pilihan paling seimbang. Cakupan lima aktivitas terpanjang memberi 11,60 hari percepatan per aktivitas namun hanya memangkas 58 hari, sedangkan cakupan tujuh belas aktivitas memangkas 104 hari namun rasionya turun menjadi 6,12 hari per aktivitas. Karena cost slope harian jauh melampaui biaya tidak langsung harian, biaya total menaik terus seiring pemendekan durasi dan proyek ini tidak memiliki durasi optimum berbiaya terendah. Uji sensitivitas memperlihatkan hasil percepatan berkurang dari 87 hari menjadi 79 hari ketika indeks prestasi kerja jam lembur diturunkan dari 0,7 menjadi 0,6, sehingga penetapan indeks tersebut perlu didasarkan pada catatan produktivitas proyek yang bersangkutan.

Bagi pelaksana pekerjaan, penerapan hasil ini dapat ditempuh melalui tiga langkah. Kemajuan pekerjaan dipantau terhadap kurva S rencana pada setiap laporan mingguan, dan

lembur diaktifkan ketika deviasi kumulatif sudah terbaca, bukan setelah keterlambatan menumpuk. Lembur dijalankan lebih dahulu pada empat aktivitas terpanjang, yaitu plumbing, struktur lantai 1, pasangan dan plesteran, serta atap dan plafon, karena keempat aktivitas tersebut menyumbang lebih dari setengah kapasitas pemulihan. Keputusan menambah atau menghentikan lembur dibandingkan dengan denda keterlambatan Rp16.385.611,01 per hari sebagai patokan, dan bila keterlambatan yang harus dipulihkan melampaui 104 hari, alternatif penambahan tenaga kerja atau shift perlu dipertimbangkan karena kapasitas lembur sudah habis.

Penelitian ini memiliki keterbatasan yang perlu diperhatikan dalam membaca hasilnya. Hubungan ketergantungan antaraktivitas disusun peneliti dari urutan teknis pekerjaan karena dokumen jaringan kerja pelaksana tidak tersedia, sehingga durasi 546 hari menggambarkan pelaksanaan berurutan dan bukan jadwal kontrak 22 minggu yang bertumpu pada tumpang tindih antarpaket. Upah pekerja dan jumlah pekerja diambil sebagai asumsi karena analisa harga satuan pekerjaan tidak dapat diakses, dan keseragaman jumlah pekerja itulah yang membuat cost slope seluruh aktivitas menjadi sama. Proporsi biaya tidak langsung lima persen mengikuti kelaziman literatur dan bukan hasil pembacaan atas laporan biaya overhead proyek. Penelitian berikutnya disarankan memakai komposisi tenaga kerja per pekerjaan dari analisa harga satuan agar cost slope berbeda antaraktivitas, memakai hubungan ketergantungan dari dokumen penjadwalan pelaksana agar durasi jaringan sebanding dengan jadwal kontrak, serta membandingkan alternatif penambahan tenaga kerja dan penambahan shift dengan alternatif lembur.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih kepada Dinas Kesehatan Kota Manado dan PT Pentagon Terang Asli atas izin penggunaan dokumen *bill of quantity* dan kurva S proyek, serta kepada Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Manado atas dukungan selama penelitian berlangsung. Artikel ini merupakan bagian dari skripsi penulis pertama pada Program Studi D-IV Konstruksi Bangunan Gedung, Politeknik Negeri Manado.

DAFTAR REFERENSI

- Andini, F. D. (2022). Analisis Percepatan Waktu dan Biaya pada Proyek Pembangunan Gedung FPEB Universitas Pendidikan Indonesia dengan Metode *Time Cost Trade Off* (Skripsi). Bandung: Universitas Pendidikan Indonesia. <http://repository.upi.edu/84540>.
- Ayu, E. S., Khaidir, I., & Rita, E. (2024). Kajian Pengaruh Manajemen Sumber Daya terhadap Produktivitas Pelaksanaan Proyek Konstruksi Gedung. *Siklus: Jurnal Teknik Sipil*, 10(1), 80–90. <https://doi.org/10.31849/siklus.v10i1.11534>.
- Dayunita, W., Pramanda, H., Ariansyah, D., & Bunyamin, B. (2024). Analisa Penambahan Waktu Kerja (Jam Lembur) terhadap Biaya Pelaksanaan Proyek dengan Metode *Time Cost Trade Off* (Studi Kasus Gedung Badan Kepegawaian Aceh). *Journal of Planning and Research in Civil Engineering*, 3(3), 452-458. <https://doi.org/10.55616/prince.V3I3.841>.
- Doris Zhaputro, M. A., Darjanto, H., & Nugrahini, F. C. (2024). Penerapan Metode *Time Cost Trade Off* untuk Optimasi Biaya dan Waktu pada Pengaruh Redesign Struktur Bawah. *Journal of Manufacturing in Industrial Engineering & Technology*, 3(2), 93–106. <https://doi.org/10.30651/mine-tech.v3i2.24621>.
- Erfaliani, A. P., Pradika, J. D., Hendriyani, I., & Pratiwi, R. (2024). Analisis Waktu dan Biaya pada Proyek Pembangunan Pasar Induk Senaken Kabupaten Paser dengan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 297-308. <https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15938>.
- Faqihhuddin, M. F. (2024). Analisis Biaya dan Waktu dengan Metode *Time Cost Trade Off* Menggunakan Aplikasi Primavera P6. *Ocean Engineering: Jurnal Ilmu Teknik dan Teknologi Maritim*, 3(3), 1–11. <https://doi.org/10.58192/ocean.v3i3.2411>.
- Frederika, A. (2010). Analisis Percepatan Pelaksanaan dengan Menambah Jam Kerja Optimum pada Proyek Konstruksi. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(2), 113–126.
- Hermawan, M. R., Ridwan, A., & Suwarno, S. (2021). Mengurangi Durasi Pelaksanaan Proyek dengan Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 4(2), 13-26. <https://doi.org/10.30737/jurmateks.v4i2.1829>.
- Hidayah, A. N., Setiawan, A., & Setiono. (2024). Optimasi Biaya dan Waktu Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*. *Dinamika Teknik Sipil*, 17(1), 8–15. <https://doi.org/10.23917/dts.v17i1.5213>.
- Jamal, J., & Ian, M. R. (2025). Analisis Faktor Penyebab Keterlambatan Proyek Konstruksi di Indonesia. *JKTS: Jurnal Kajian Teknik Sipil*, 10(1), 1–8. <https://doi.org/10.52447/jkts.v10i1.8071>.
- Jati, A. S., Setiono, S., & Rifai, M. (2022). Analisis Optimasi Biaya dan Waktu Proyek dengan Metode *Time Cost Trade Off* Menggunakan Aplikasi Primavera P6. *Matriks Teknik Sipil*, 10(1), 53–62. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v10i1.55435>.
- Kusumadarma, I. A., Pratami, D., Yasa, I. P., & Tripiawan, W. (2020). Developing Project Schedule in Telecommunication Projects Using *Critical Path Method* (CPM). *International Journal of Integrated Engineering*, 12(3), 60–67. <https://doi.org/10.30880/ijie.2020.12.03.008>.

- Maulana, F., Handayani, T. N., & Sulistyono, D. (2024). Implementasi Metode *Time Cost Trade-Off* Pembangunan Gedung Pabrik Manufaktur (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Pabrik PT. Atmi Kreasi Prima). *Simposium Nasional Teknologi Infrastruktur*, 23(4), 5641-5646. <https://doi.org/10.26418/JTS.V23I4.71535>.
- Nabila, F. (2023). Analysis of Time and Cost Optimization in Building Construction Using *Time Cost Trade Off* Method. *Journal of Civil Engineering and Planning*, 4(2), 118–129. <https://doi.org/10.37253/jcep.v4i2.8662>.
- Nardiansyah, A., & Intansari, D. W. A. (2022). Optimasi Waktu dan Biaya dengan Metode *Crashing* pada Proyek Pembangunan Jalan Simp.4 Kaliorang–Talisayan Kalimantan Timur. *Jurnal Kridatama Sains dan Teknologi*, 4(2), 127–141. <https://doi.org/10.53863/kst.v4i02.498>.
- Nurafifah, N. M., Dewita, H., & Sembiring, K. (2025). Analisis Waktu pada Pekerjaan Tambahan Proyek Pembangunan Gedung PT. Petrokimia Gresik. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9(1), 101-108. <https://doi.org/10.32832/komposit.v9i1.16449>.
- Nurhikmah, S., Dewita, H., & Sembiring, K. (2025). Analisis Biaya dan Waktu Percepatan Proyek Pembangunan Rusun At-Tanwir Cianjur dengan Penambahan Jam Kerja Menggunakan Metode TCTO. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 9(2), 283-292. <https://doi.org/10.32832/komposit.v9i2.17785>.
- Paputungan, W. J., Sumaga, A. U., & Tuloli, M. Y. (2025). Analisis Percepatan Waktu Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada Proyek Preservasi Jalan (Studi Kasus: Preservasi Jalan Ruas Biluhu Barat-Gorontalo). *Research Review: Jurnal Ilmiah Multidisiplin*, 4(2), 993-1003. <https://doi.org/10.54923/researchreview.v4i2.254>.
- Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2021 tentang Perjanjian Kerja Waktu Tertentu, Alih Daya, Waktu Kerja dan Waktu Istirahat, dan Pemutusan Hubungan Kerja. Jakarta: Sekretariat Negara.
- Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 2018 tentang Pengadaan Barang/Jasa Pemerintah. Jakarta: Sekretariat Kabinet.
- Rajagukguk, T. B. N., Winanda, L. A. R., Munasih, & Surbakti, S. (2026). Optimalisasi Penjadwalan Proyek Menggunakan Metode *Time-Cost Trade Off*. *Jurnal Konstruksi*, 24(1), 94–100. <https://doi.org/10.33364/konstruksi.v.24-1.3205>.
- Ramadhani, M. I., & Prafitasiwi, A. G. (2025). Analisis Percepatan Proyek Pembangunan Jalan Beton Tahap II di Perumahan Citra Sari Regency dengan Metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(1). <https://doi.org/10.30587/jtsl.v2i1.10486>.
- Raranta, H. E. B., Arsjad, T. Tj., & Pratas, P. A. K. (2024). Optimalisasi Biaya dan Waktu dengan Metode *Time Cost Trade Off* pada Proyek Peningkatan Jalan Molompar Utara–Wawali Pasan. *TEKNO*, 22(88), 949–959.
- Risfawany K. S., L. D., Latupeirissa, J. E., & Mandoa, C. (2025). Perbandingan Efisiensi Waktu dan Tenaga Kerja Menggunakan Metode *Time Trade Off*. *Jurnal Karajata Engineering*, 5(2), 197-208. <https://doi.org/10.31850/karajata.v5i2.3896>.
- Rita, E., Carlo, N., & Nandi. (2021). Penyebab dan Dampak Keterlambatan Pekerjaan Jalan di Sumatera Barat Indonesia. *Jurnal Rekayasa*, 11(1), 27–37. <https://doi.org/10.37037/jrftsp.v11i1.94>.

- Rottie, F. V. A., Runtu, F. I., Umboh, A. H., & Bumbungan, S. J. (2024). Studi Penggunaan Metode *Time Cost Trade Off* untuk Percepatan Waktu pada Proyek Pembangunan Jembatan dan Oprit Boulevard II. *Jurnal SAINTEK*, 4(1), 1–6.
- Salindeho, C. G., Pratasih, P. A. K., & Sumanti, F. P. Y. (2022). Optimasi Waktu dan Biaya Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off* pada Proyek Peningkatan Ruas Jalan Tondano–Kembes–Manado Seksi II. *TEKNO*, 20(81), 135–143.
- Septi, F. T., & Sari, D. P. (2026). Analisis *Time Cost Trade Off* sebagai Strategi Percepatan Proyek untuk Efisiensi Pembangunan Gedung Laboratorium Teknik 4 Institut Teknologi Sumatera. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 10(1), 1-8. <https://doi.org/10.32832/komposit.v10i1.22126>.
- Silalahi, Y. I., Masthura, L., & Fahriana, N. (2023). Analisis Faktor-Faktor Penentu Keberhasilan Proyek Konstruksi Berdasarkan Mutu, Biaya dan Waktu. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-ilmu Teknik Sipil*, 7(2), 233–239. <https://doi.org/10.32832/komposit.v7i2.14240>.
- Soeharto, I. (1999). Manajemen Proyek: Dari Konseptual sampai Operasional (Jilid 1, Edisi 2). Jakarta: Erlangga.
- Syafridon, G. G. A., Syahrizal, Karolina, R., Handana, M. P., & Christin, M. (2022). Optimization of Project Time and Cost in Pandemic Era by *Time Cost Trade Off* Method: Universitas Negeri Medan Case Study. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Agregat*, 2(2), 44–49. <https://doi.org/10.51510/agregat.v2i2.755>.
- Tisano, F., Arsjad, T. Tj., & Sibi, M. (2020). Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi Menggunakan Metode *Crashing* pada Pembangunan Kalyana Residence Paal 2 Manado. *Jurnal Sipil Statik*, 8(5), 741–748.
- Werdana, S. D., & Priyanto, B. (2023). Analisis Percepatan Waktu dan Biaya Proyek Konstruksi dengan Penambahan Jam Kerja (Lembur) Menggunakan Metode *Time Cost Trade Off*. *Jurnal Comprehensive Science*, 2(7), 1976–1980. <https://doi.org/10.59188/jcs.v2i7.423>.
- Winoto, M. C., Guwinarto, K., & Limanto, S. (2023). Faktor Penyebab dan Dampak Keterlambatan Pelaksanaan Proyek Konstruksi Menurut Kontraktor terhadap Indikator Performa Proyek. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 12(1), 56–63.