Research Review
Jurnal Ilmiah Multidisiplin
Vol. 4, No. 2, Oktober 2025 ISSN: 29622743

Penjadwalan Efektif dengan Metode Time Cost Trade Off (TCTO) pada Proyek Pembangunan Tangki Septik dan Sarana Pendukung

(Effective Scheduling with The Time Cost Trade Off (TCTO) Method in Septic Tank and Supporting Facilities Construction Projects)

Ahlan Dai[1], Arfan Usman Sumaga[2], Mohamad Yusuf Tuloli [3]
[1, 2, 3]Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia
ahlandai69@gmail.com[1], *arfansumaga@ung.ac.id* [2], *mohammad.tuloli@ung.ac.id* [3]

Article Info

Article history:

Received: 25 September 2025
Revised: 21 Oktober 2025
Accepted: 27 Oktober 2025

Keywords:

Time Cost Trade Off
Project Scheduling Duration Cost
Crash Duration

Kata Kunci:

Time Cost Trade Off
Durasi Penjadwalan Proyek Biaya
Durasi Percepatan

Abstract

This study presents an in-depth analysis of the impact of the Time-Cost Trade-Off (TCTO) method on the time and cost efficiency of a project for the construction of septic tanks and their supporting facilities in Boalemo Regency. This construction project is part of the implementation of a Presidential Instruction (Inpres) aimed at improving domestic wastewater management in the region, with the project carried out in five subdistricts: Paguyaman, Paguyaman Pantai, Wonosari, Botumoito, and Mananggu. The research methodology utilized relevant secondary data, including the Budget Plan (RAB), the predetermined project duration schedule, and technical implementation records from the field. These data were comprehensively analyzed using Microsoft Project software and manual calculations to identify the critical path, as well as to calculate the crash duration, crash cost, and cost slope. Several acceleration scenarios were tested by adding 2, 3, and 4 hours of overtime. The results indicate that the addition of 2 hours of overtime achieved the most efficient balance, shortening the project duration to 72 days with a total cost of IDR 12,570,663,957. Meanwhile, the 3-hour overtime scenario reduced the duration to 70 days at a cost of IDR 12,639,692,694, and the 4-hour overtime scenario cut the duration to 69 days with a cost of IDR 12,708,721,431. These findings demonstrate that acceleration through overtime offers flexible options for project managers to achieve efficiency while considering the associated cost implications.

Abstrak

Penelitian ini menyajikan analisis mendalam mengenai dampak penerapan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO) terhadap efisiensi waktu dan biaya pada proyek pembangunan tangki septik beserta fasilitas pendukungnya di Kabupaten Boalemo. Proyek konstruksi ini merupakan bagian dari implementasi Instruksi Presiden (Inpres) yang bertujuan untuk meningkatkan pengelolaan air limbah domestik di wilayah tersebut, yang pelaksanaannya tersebar di lima kecamatan, yaitu Paguyaman, Paguyaman Pantai, Wonosari, Botumoito, dan Mananggu. Metodologi penelitian ini menggunakan data sekunder yang relevan, mencakup dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB), jadwal durasi proyek yang telah ditetapkan, serta catatan teknis pelaksanaan di lapangan. Data tersebut dianalisis secara komprehensif menggunakan perangkat lunak Microsoft Project dan perhitungan manual untuk mengidentifikasi jalur kritis (*critical path*), serta menghitung durasi percepatan (*crash duration*), biaya percepatan (*crash cost*), dan kemiringan biaya (*cost slope*). Beberapa skenario percepatan diuji dengan menambahkan

jam lembur sebanyak 2, 3, dan 4 jam. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan 2 jam lembur mencapai keseimbangan paling efisien, dengan mampu mempersingkat durasi proyek menjadi 72 hari dan total biaya sebesar Rp 12.570.663.957. Sementara itu, skenario penambahan 3 jam lembur mengurangi durasi menjadi 70 hari dengan biaya Rp 12.639.692.694, dan skenario 4 jam lembur memangkas durasi hingga 69 hari dengan biaya Rp 12.708.721.431. Temuan ini mengindikasikan bahwa akselerasi melalui jam lembur menawarkan opsi yang fleksibel bagi manajer proyek untuk mencapai efisiensi, dengan mempertimbangkan implikasi biaya yang menyertainya.

Corresponding Author:

Ahlan Dai
Fakultas Teknik
Universitas Negeri Gorontalo
ahlandai69@gmail.com

1. PENDAHULUAN

Dalam pelaksanaan proyek konstruksi, keterlambatan mengharuskan dilakukannya percepatan untuk mencapai target sesuai perencanaan. Keputusan ini berpusat pada prinsip fundamental *time-cost trade-off*, di mana pengurangan durasi proyek umumnya memerlukan penambahan biaya (Soeharto, 1999). Tujuan utamanya adalah mencapai waktu penyelesaian optimal dengan biaya minimum tanpa mengorbankan kualitas. Untuk mengatasi keterlambatan, pihak proyek dapat memilih beberapa opsi seperti penambahan jam kerja lembur, penambahan tenaga kerja, atau penggunaan alat bantu yang lebih canggih. Pemilihan strategi yang tepat seringkali dianalisis menggunakan metode seperti *Crashing Method* untuk mengidentifikasi percepatan yang paling efisien dari segi biaya pada jalur kritis proyek (Kerzner, 2017).

Setiap opsi percepatan memiliki konsekuensi yang harus dianalisis. Penambahan jam kerja lembur secara terus-menerus berisiko menurunkan produktivitas dan meningkatkan kecelakaan kerja akibat kelelahan (Santoso & Purnomo, 2021). Sementara itu, penambahan tenaga kerja belum tentu efektif karena dapat menyebabkan masalah koordinasi dan justru menurunkan efisiensi sesuai prinsip *Law of Diminishing Returns* (Mankiw, 2021). Oleh karena itu, keputusan percepatan harus didasarkan pada analisis komprehensif yang mempertimbangkan dampak terhadap biaya, produktivitas, keselamatan, dan kualitas akhir proyek secara keseluruhan.

Proyek pembangunan tangki septik dan sarana pendukung di Kabupaten Boalemo yang mengalami potensi keterlambatan akibat keterbatasan tenaga kerja merupakan sebuah tantangan klasik dalam manajemen proyek. Masalah ini menyoroti pentingnya alokasi sumber daya (*resource allocation*) dan perencanaan penjadwalan yang efektif. Ketika jumlah tenaga kerja tidak memadai, produktivitas harian menurun, yang secara langsung berdampak pada deviasi negatif antara progress aktual dengan rencana. Situasi ini, jika tidak ditangani, dapat menyebabkan pembengkakan biaya tidak langsung (*indirect cost*) seperti biaya supervisi, sewa fasilitas, dan biaya operasional lainnya yang bertambah seiring dengan perpanjangan durasi proyek (Soeharto, 1999). Maka dari itu, diperlukan sebuah analisis untuk mempercepat sisa pekerjaan agar proyek kembali ke jalur yang direncanakan.

Penelitian terkait yang menerapkan metode *Time-Cost Trade-Off (TCTO)* pada proyek ruas jalan Tondano-Kember-Manado menawarkan solusi yang relevan dan terukur. TCTO adalah sebuah teknik analisis yang digunakan untuk menemukan durasi proyek optimal dengan total biaya terendah dengan cara menyeimbangkan antara biaya langsung dan biaya tidak langsung. Dalam studi kasus tersebut, solusi yang dipertimbangkan adalah penambahan jam kerja lembur, sebuah strategi percepatan yang umum dilakukan. Hasil penelitian Sumanti et al. (2022) secara kuantitatif menunjukkan bahwa penambahan jam kerja berhasil mengurangi durasi proyek, namun dengan konsekuensi peningkatan biaya langsung (biaya upah lembur). Penambahan dua jam kerja menghasilkan durasi 62 hari dengan biaya Rp 5.912.057.520, sementara penambahan empat jam kerja mampu memangkas durasi menjadi 61 hari dengan biaya yang lebih tinggi, yaitu Rp 5.948.006.062. Data ini mengilustrasikan inti dari konsep TCTO: ada titik di mana biaya untuk mempercepat satu hari tambahan menjadi tidak lagi efisien. Oleh karena itu, bagi proyek di Kabupaten Boalemo, analisis serupa dapat diterapkan untuk menentukan apakah penambahan jam kerja atau penambahan tenaga kerja baru merupakan alternatif yang paling efektif dari segi biaya untuk mengejar keterlambatan.

Studi kasus pada proyek pembangunan UPT Puskesmas Karangpucung memberikan bukti empiris mengenai efektivitas metode *Time-Cost Trade-Off (TCTO)*. Dalam penelitian tersebut, penambahan jam kerja

lembur sebanyak 3 jam berhasil memangkas durasi proyek dari 158 hari menjadi 137 hari, menghasilkan efisiensi waktu sebesar 17,1% (Afrizal & Imam, 2018). Menariknya, efisiensi biaya yang dicapai hanya 1,49%. Perbedaan signifikan ini mengilustrasikan konsep inti TCTO: terjadi peningkatan biaya langsung (*direct cost*), seperti upah lembur, namun di saat yang sama terjadi penurunan biaya tidak langsung (*indirect cost*), seperti biaya sewa alat, utilitas, dan supervisi harian. Efisiensi biaya yang kecil menunjukkan bahwa tambahan biaya lembur hampir setara dengan penghematan biaya tidak langsung, menandakan bahwa proyek telah mendekati titik biaya total yang optimal.

Dalam merencanakan percepatan, manajer proyek dapat mempertimbangkan berbagai metode, masing-masing dengan keunggulan dan risikonya.

- Metode TCTO unggul karena fleksibilitasnya dalam mengelola pertukaran antara waktu dan biaya. Metode ini memungkinkan analisis kuantitatif untuk menentukan strategi percepatan (misalnya, lembur atau penambahan alat) yang memberikan pengurangan durasi terbesar dengan kenaikan biaya terkecil (Meredith et al., 2017).
- Metode *Fast Track* bekerja dengan prinsip yang berbeda, yaitu dengan menjalankan beberapa aktivitas atau tahapan proyek secara paralel yang seharusnya dilakukan secara sekuensial. Meskipun metode ini dapat mempercepat proyek tanpa menambah biaya langsung, risikonya jauh lebih tinggi. Pelaksanaan aktivitas sebelum desain atau tahap sebelumnya selesai sepenuhnya dapat menyebabkan pengerjaan ulang (*rework*) yang mahal jika terjadi perubahan (PMBOK® Guide, 2017).
- Metode PERT (*Program Evaluation and Review Technique*) lebih berfokus pada manajemen ketidakpastian waktu, terutama dalam proyek-proyek riset dan pengembangan di mana durasi aktivitas sulit diprediksi. PERT menggunakan tiga estimasi waktu (optimis, pesimis, dan paling mungkin) untuk menghitung durasi yang diharapkan. Namun, kelemahan utamanya adalah PERT secara inheren tidak mengintegrasikan analisis biaya, menjadikannya kurang komprehensif untuk pengambilan keputusan yang melibatkan *trade-off* finansial.

Pemilihan metode yang tepat sangat bergantung pada prioritas proyek: apakah fokus utamanya adalah menekan biaya, mempercepat jadwal dengan risiko terkendali, atau mengelola ketidakpastian durasi.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menerapkan metode *Time-Cost Trade-Off (TCTO)*. Metode ini dipilih karena kemampuannya untuk menganalisis dan mengoptimalkan hubungan antara durasi dan biaya proyek. TCTO menyediakan kerangka kerja sistematis untuk mengidentifikasi aktivitas mana pada jalur kritis yang paling efisien untuk dipercepat (*crashed*), sehingga memungkinkan manajer proyek mengambil keputusan berbasis data untuk mencapai durasi penyelesaian yang lebih singkat dengan tambahan biaya yang paling minimal dan terkalkulasi (Kerzner, 2017).

Pemilihan metode TCTO didasarkan pada keunggulannya dalam konteks proyek yang sensitif terhadap biaya dan jadwal. Dibandingkan dengan metode lain, TCTO menawarkan solusi yang lebih seimbang.

- Meskipun metode *Fast Track* menawarkan percepatan tanpa biaya tambahan langsung dengan mengerjakan aktivitas secara paralel, pendekatan ini secara signifikan meningkatkan risiko dan ketidakpastian. Menurut Project Management Institute (2017), melakukan pekerjaan secara tumpang tindih dapat menyebabkan pengerjaan ulang (*rework*) yang mahal jika tahap sebelumnya belum sepenuhnya selesai atau memerlukan perubahan.
- Sementara itu, metode *Program Evaluation and Review Technique (PERT)* lebih unggul dalam mengelola ketidakpastian durasi aktivitas, namun fokus utamanya adalah pada manajemen waktu dan identifikasi jalur kritis. PERT tidak secara inheren mengintegrasikan analisis biaya ke dalam model penjadwalannya, sehingga kurang memadai untuk proyek di mana implikasi finansial dari percepatan menjadi faktor penentu keputusan (Meredith et al., 2017).

Dengan demikian, metode TCTO menjadi pilihan yang paling relevan untuk penelitian ini karena secara eksplisit mengatasi pertukaran antara biaya dan waktu, memberikan dasar kuantitatif untuk pengambilan keputusan yang optimal, dan menghindari risiko tinggi yang melekat pada metode *Fast Track*.

2.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini mengambil lokasi pada proyek pembangunan tangki septik beserta sarana pendukungnya yang diimplementasikan di Kabupaten Boalemo, Provinsi Gorontalo. Pemilihan lokasi ini sangat relevan karena proyek tersebut merupakan manifestasi dari kebijakan strategis pemerintah pusat. Secara spesifik, proyek ini adalah bagian dari program percepatan untuk mendukung Instruksi Presiden (Inpres) Nomor 1 Tahun 2024 tentang Percepatan Penyediaan Air Minum dan Layanan Pengelolaan Air Limbah Domestik. Kebijakan ini menekankan urgensi peningkatan akses masyarakat terhadap sanitasi yang layak untuk menekan prevalensi penyakit bawaan air dan mendukung pencegahan *stunting*.

Implementasi proyek ini sejalan dengan upaya pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (TPB) atau *Sustainable Development Goals (SDGs)*, khususnya Tujuan 6, yaitu menjamin ketersediaan serta pengelolaan air bersih dan sanitasi yang berkelanjutan untuk semua (PBB, n.d.). Pengelolaan air limbah domestik yang tidak memadai merupakan salah satu sumber utama pencemaran badan air dan tanah, yang berdampak langsung pada kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan (Kementerian PUPR, 2024). Cakupan penelitian yang meliputi lima kecamatan—Paguyaman, Paguyaman Pantai, Wonosari, Botumoito, dan Mananggu—memungkinkan analisis yang representatif terhadap pelaksanaan proyek infrastruktur sanitasi di tingkat kabupaten, yang menghadapi tantangan geografis dan sosial yang beragam.

2.3. Teknik Pengumpulan Data

Proses pengumpulan data dalam penelitian ini dirancang secara sistematis untuk memperoleh informasi yang komprehensif dan valid guna mendukung analisis efisiensi waktu dan biaya. Pendekatan yang digunakan adalah metode triangulasi, yang mengkombinasikan pengumpulan data primer dan sekunder untuk meningkatkan kredibilitas dan reliabilitas temuan penelitian (Creswell & Creswell, 2018). Penggunaan berbagai sumber data memungkinkan peneliti untuk melakukan verifikasi silang dan mendapatkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai fenomena yang diteliti.

Data primer diperoleh melalui survei lapangan dan observasi langsung di lokasi proyek. Teknik ini sangat penting untuk memahami konteks dan dinamika aktual di lapangan yang seringkali tidak tertuang dalam dokumen resmi. Observasi memungkinkan peneliti untuk memvalidasi secara visual progres pekerjaan yang dilaporkan, mengidentifikasi potensi kendala non-teknis, serta mengamati efektivitas penggunaan sumber daya secara *real-time* (Yin, 2018). Informasi kontekstual ini krusial untuk menafsirkan data kuantitatif secara lebih akurat.

Sementara itu, data sekunder menjadi fondasi utama dalam analisis kuantitatif pada penelitian ini. Data ini dihimpun dari dokumen-dokumen resmi proyek yang mencakup:

1. Rencana Anggaran Biaya (RAB): Dokumen ini menyediakan data biaya terperinci untuk setiap item pekerjaan, yang menjadi dasar perhitungan biaya normal dan biaya percepatan.
2. Jadwal Pelaksanaan Proyek (Kurva S): Dokumen ini memberikan gambaran rencana progres pekerjaan dari waktu ke waktu, yang digunakan sebagai *baseline* untuk mengevaluasi keterlambatan dan merencanakan percepatan.
3. Laporan Kemajuan Pekerjaan: Laporan harian, mingguan, atau bulanan ini berisi data aktual mengenai progres, penggunaan sumber daya (tenaga kerja, alat, material), dan kendala yang dihadapi.

Sumber data sekunder ini berasal dari instansi yang memiliki otoritas dan keterlibatan langsung, yaitu Balai Prasarana Permukiman Wilayah Gorontalo sebagai pemilik proyek dan CV. Dandi Pratama sebagai kontraktor pelaksana. Penggunaan dokumen resmi dari sumber-sumber ini memastikan bahwa data yang digunakan memiliki tingkat validitas dan akurasi yang tinggi, yang merupakan prasyarat esensial untuk keberhasilan analisis menggunakan metode *Time-Cost Trade-Off* (Soeharto, 1999).

2.4. Teknik Analisis Data

Data yang telah terkumpul diolah dan dianalisis menggunakan beberapa tahapan. Langkah pertama adalah mengidentifikasi jalur kritis (*critical path*) proyek menggunakan perangkat lunak Microsoft Project. Selanjutnya, dilakukan analisis *Time Cost Trade Off* melalui perhitungan manual untuk menentukan durasi dan biaya percepatan (*crash duration* dan *crash cost*) serta nilai kemiringan biaya (*cost slope*) pada setiap aktivitas di jalur kritis. Analisis ini dilanjutkan dengan membuat beberapa skenario percepatan durasi proyek untuk menemukan alternatif paling efisien dari segi waktu dan biaya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Durasi Normal Proyek

NO	URAIAN PEKERJAAN	VOLUME	DURASI
A.	Pekerjaan Bilik		
I.	Pekerjaan Pondasi Dan Beton		
1	Pek. Galian Tanah Biasa Sedalam 1 m	0,58	1
2	Pek. Urugan Pasir Bawah Pondasi (tb. 5 cm)	0,12	1
3	Pek. Pondasi Batu Belah Sp. 1 : 4	0,75	3
4	Pek. Kolom Praktis 15/15		
	- Pek. Pembesian	27,00	2
	- Pek. Bekisting (3 x pakai)	2,40	2
	- Pek. Cor Beton F'c 15 Mpa	0,18	1
5	Pek. Ring Balok 15/15		

	- Pek. Pembesian	17,12	1
	- Pek. Bekisting (3 x pakai)	1,56	1
	- Pek. Cor Beton F'c 15 Mpa	0,12	1
6	Pek. Sloof 15/15		
	- Pek. Pembesian	19,12	1
	- Pek. Bekisting (3 x pakai)	1,56	1
	- Pek. Cor Beton F'c 15 Mpa	0,13	1
II.	Pekerjaan Dinding		
1	Pek. Trasram 1/2 Bata 1 pc : 4 ps	2,25	1
2	Pek. Pemasangan Batu 1/2 Bata 1 Pc : 4 Ps	6,41	3
3	Pek. Plesteran Transram 1 Pc : 4 Ps tebal 15 mm	4,50	1
4	Pek. Plesteran Biasa 1 Pc : 6 Ps tebal 15 mm	12,82	3
5	Pek. Acian	17,32	3
6	Pek. Pemasangan Roster Batapres 20x20 cm	6,00	1
7	Pek. Pemasangan Prasasti PUPR	1,00	1
III.	Pekerjaan Atap, Lantai, Listrik, Aksesoris, Dan Pengecatan		
1	Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75	4,81	6
2	Pekerjaan Spandex 0,3 mm	4,81	3
3	Pekerjaan Pengadaan dan Pemasangan Keramik Lantai uk 25x25 cm (Motif)	1,52	3
4	Pek. Pasangan Bata Merah 1/2 Bata Sp. 1 : 6	0,31	1
5	Pekerjaan Rabat Beton Bawah Keramik	0,09	1
6	Pengadaan dan Pemasangan Fitting Lampu	1,00	1
7	Pengadaan dan Pemasangan Lampu 5 Watt	1,00	1
8	Pengadaan dan Pemasangan Kabel NYM 2x1,5 mm	3,00	1
9	Pengadaan dan Pemasangan Saklar Tunggal	1,00	1
10	Pengadaan dan Pemasangan Pintu Galvalum Kamar Mandi	1,00	1
11	Pengadaan dan Pemasangan Floor Drain	1,00	1
12	Pengadaan dan Pemasangan Kran Air	1,00	1
13	Pek. Pengadaan dan Pemasangan Pipa Air Bersih dia. ½”	1,00	1
14	Pek. Pengadaan Ember Uk. 25 Liter + Gayung	1,00	1
15	Pengadaan dan Pemasangan kloset jongkok	1,00	3
16	Pengecatan Tembok	17,32	6
B.	Pekerjaan Septictank, Sumur Resapan, Grease Trap, Dan Kloset Leher Angsa		
I.	Pekerjaan Tanah Dan Bongkaran Pekerjaan Septictank Pabrikasi (1 KK/5 Jiwa)		
1	Pek. Pasangan Bowplank	5,28	1
2	Pek. Galian Tanah Biasa	2,39	1
3	Pek. Urugan Pasir (Tbl. 5 cm)	0,09	1
4	Pek. Plat Penutup Beton F'c 15 Mpa	0,09	1
5	Pek. Dudukan Beton (Tbl. 10 cm)		
	- Pek. Pembesian	14,55	1
	- Pek. Cor Beton F'c 15 Mpa	0,17	1
6	Pek. Pemasangan Tangki Septik Pabrikasi	1,00	10
7	Pek. Pemasangan Pipa Udara	2,00	1

8	Pek. Urugan Tanah	0,80	1
II.	Pekerjaan Sumur Resapan		
1	Galian Tanah Biasa	1,81	2
2	Pengadaan dan Pemasangan Buis Beton (1 Bh)		
	Beton f'c 15 Mpa (semi mekanis)	0,11	1
	Besi tulangan	12,07	1
	Bekisting (3x pakai)	2,76	5
3	Pengadaan dan Pemasangan Batu Bata Merah 1	1,18	5
4	Pengadaan dan Pemasangan Kerikil/Batu Pecah	0,40	2
5	Pengadaan dan Pemasangan Ijuk	0,20	1
6	Pengadaan dan Pemasangan Plat Tutup Beton (tb. 6 cm)	0,04	2
7	Pekerjaan plat dasar beton	0,04	2
8	Pengadaan dan Pemasangan Pipa Dop Ø 4"	1,00	2
9	Pengadaan dan pemasangan pipa PVC perforated diameter 4"	1,25	4
III.	Pekerjaan Grease Trap		
1	Galian Tanah Biasa	0,15	1
2	Pengadaan dan Pemasangan Grease Trap Precast uk. 30x30 cm tinggi 50 cm	1,00	6
3	Pengadaan dan Pemasangan Aksesoris Penyambung Pipa PVC Ø 3''	2,00	2
IV.	Pekerjaan SMKK		
	Penerapan SMKK	1,00	90
	1. P3K		
	2. Vest		
	3. Helm		
	4. Sarung Tangan		
	5. Boot/Safety Shoes		
V.	Pekerjaan Tambahan		
1	Pek. Pengadaan dan Pemasangan Pipa PVC AW Ø 3"	4,00	3
2	Pek. Pengadaan dan Pemasangan Pipa PVC AW Ø 4"	4,00	4

Tabel tersebut menyajikan rincian komprehensif mengenai item pekerjaan, volume, dan alokasi durasi untuk keseluruhan proyek pembangunan fasilitas sanitasi. Secara garis besar, proyek ini terbagi menjadi pembangunan struktur fisik bilik di atas tanah dan instalasi sistem pengolahan limbah di bawah tanah.

Pekerjaan dimulai dengan konstruksi bilik, yang diawali dari tahap pondasi meliputi penggalian tanah, pelapisan urugan pasir, dan pemasangan pondasi batu belah. Setelah pondasi siap, kerangka struktur beton bertulang yang terdiri dari *sloof*, kolom praktis, dan *ring balok* mulai dibangun, di mana setiap komponennya melibatkan proses pembesian, pemasangan bekisting, hingga pengecoran. Tahap selanjutnya adalah pengerjaan dinding, mulai dari pemasangan bata merah untuk area trasram (kedap air) dan dinding biasa, yang kemudian dilanjutkan dengan proses plesteran dan acian untuk menghaluskan permukaan. Pada tahap ini juga termasuk pemasangan elemen fungsional seperti roster ventilasi dan prasasti proyek.

Setelah struktur utama berdiri, pekerjaan berlanjut ke bagian atap dengan pemasangan rangka galvalum dan penutup spandex. Untuk interior, dilakukan persiapan lantai dengan pengecoran rabat beton sebelum pemasangan keramik. Tahap akhir dari pembangunan bilik meliputi instalasi sistem kelistrikan (lampu, saklar, kabel), pemasangan pintu galvalum, kloset jongkok, dan aksesoris kamar mandi lainnya seperti kran air dan *floor drain*, yang kemudian ditutup dengan proses pengecatan tembok.

Secara bersamaan, pekerjaan juga difokuskan pada sistem sanitasi yang meliputi penggalian dan pemasangan tangki septik pabrikasi di atas dudukan beton, serta pembangunan sumur resapan lengkap dengan buis beton, dinding bata, dan material filter seperti kerikil dan ijuk. Selain itu, dilakukan pula instalasi *grease trap* (perangkap lemak) dan penyambungan seluruh sistem menggunakan jaringan pipa PVC. Terakhir, item "Penerapan SMKK" dengan durasi 90 hari menandakan bahwa Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan

Kerja, termasuk penyediaan alat pelindung diri, merupakan proses pengawasan berkelanjutan yang berjalan paralel selama keseluruhan periode pelaksanaan proyek, bukan sebuah pekerjaan fisik tunggal.

3.2. Hubungan Antar Aktivitas dan Durasi

Pekerjaan	*Duration*	Mulai	Berakhir	*Predecessors*
Pekerjaan Bilik	*91 days*	*Thu 03/10/24*	*Wed 01/01/25*	
Pekerjaan Pondasi Dan Beton	*14 days*	*Thu 03/10/24*	*Wed 16/10/24*	
Pekerjaan Dinding	*11 days*	*Sat 12/10/24*	*Tue 22/10/24*	
Pek. Trasram 1/2 Bata 1 pc : 4 ps	*1 day*	*Mon 14/10/24*	*Mon 14/10/24*	20FF
Pek. Pemasangan Batu 1/2 Bata 1 Pc : 4 Ps	*3 days*	*Sat 12/10/24*	*Mon 14/10/24*	17
Pek. Plesteran Transram 1 Pc : 4 Ps tebal 15 mm	*1 day*	*Thu 17/10/24*	*Thu 17/10/24*	13
Pek. Plesteran Biasa 1 Pc : 6 Ps tebal 15 mm	*3 days*	*Thu 17/10/24*	*Sat 19/10/24*	36;21SS
Pek. Acian	*3 days*	*Sun 20/10/24*	*Tue 22/10/24*	22
Pek. Pemasangan Roster Batapres 20x20 cm	*1 day*	*Sun 20/10/24*	*Sun 20/10/24*	23SS
Pek. Pemasangan Prasasti PUPR	*1 day*	*Mon 21/10/24*	*Mon 21/10/24*	24
Pekerjaan Atap, Lantai, Listrik, Aksesoris, Dan Pengecatan	*79 days*	*Tue 15/10/24*	*Wed 01/01/25*	
Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75	*5 days*	*Wed 23/10/24*	*Sun 27/10/24*	23;25
Pekerjaan Spandex 0,3 mm	*3 days*	*Mon 28/10/24*	*Wed 30/10/24*	27
Pekerjaan Pengadaan dan Pemasangan Keramik Lantai uk 25x25 cm (Motif)	*3 days*	*Mon 04/11/24*	*Wed 06/11/24*	31;30
Pek. Pasangan Bata Merah 1/2 Bata Sp. 1:6	*1 day*	*Sun 03/11/24*	*Sun 03/11/24*	31SS
Pekerjaan Rabat Beton Bawah Keramik	*1 day*	*Sun 03/11/24*	*Sun 03/11/24*	41
Pengadaan dan Pemasangan Fitting Lampu	*1 day*	*Thu 31/10/24*	*Thu 31/10/24*	28
Pengadaan dan Pemasangan Lampu 5 Watt	*1 day*	*Thu 31/10/24*	*Thu 31/10/24*	32SS
Pengadaan dan Pemasangan Kabel NYM 2x1,5 mm	*1 day*	*Tue 15/10/24*	*Tue 15/10/24*	20
Pengadaan dan Pemasangan Saklar Tunggal	*1 day*	*Thu 31/10/24*	*Thu 31/10/24*	33SS
Pengadaan dan Pemasangan Pintu Galvalum Kamar Mandi	*1 day*	*Wed 16/10/24*	*Wed 16/10/24*	34

Pengadaan dan Pemasangan Floor Drain	*1 day*	*Thu 31/10/24*	*Thu 31/10/24*	35SS
Pengadaan dan Pemasangan Kran Air	*1 day*	*Fri 01/11/24*	*Fri 01/11/24*	37
Pek. Pengadaan dan Pemasangan Pipa Air Bersih dia. ½”	*1 day*	*Fri 01/11/24*	*Fri 01/11/24*	38SS
Pek. Pengadaan Ember Uk. 25 Liter + Gayung	*1 day*	*Fri 01/11/24*	*Fri 01/11/24*	39SS
Pengadaan dan Pemasangan kloset jongkok	*2 days*	*Fri 01/11/24*	*Sat 02/11/24*	40SS
Pengecatan Tembok	*7 days*	*Thu 26/12/24*	*Wed 01/01/25*	76
Pekerjaan Septictank, Sumur Resapan, Grease Trap, Dan Kloset Leher Angsa	*84 days*	*Thu 03/10/24*	*Wed 25/12/24*	
Pekerjaan Tanah Dan Bongkaran Pekerjaan Septictank Pabrikasi (1 KK/5 Jiwa)	*14 days*	*Thu 07/11/24*	*Wed 20/11/24*	
Pek. Pasangan Bowplank	*1 day*	*Thu 07/11/24*	*Thu 07/11/24*	29
Pek. Galian Tanah Biasa	*1 day*	*Thu 07/11/24*	*Thu 07/11/24*	45SS
Pek. Urugan Pasir (Tbl. 5 cm)	*1 day*	*Thu 07/11/24*	*Thu 07/11/24*	46SS
Pek. Plat Penutup Beton F'c 15 Mpa	*1 day*	*Fri 08/11/24*	*Fri 08/11/24*	47
Pek. Dudukan Beton (Tbl. 10 cm)	*1 day*	*Fri 08/11/24*	*Fri 08/11/24*	
Pek. Pembesian	*1 day*	*Fri 08/11/24*	*Fri 08/11/24*	48SS
Pek. Cor Beton F'c 15 Mpa	*1 day*	*Fri 08/11/24*	*Fri 08/11/24*	50SS
Pek. Pemasangan Tangki Septik Pabrikasi	*12 days*	*Sat 09/11/24*	*Wed 20/11/24*	51
Pek. Pemasangan Pipa Udara	*1 day*	*Thu 14/11/24*	*Thu 14/11/24*	52SS+5 days
Pek. Urugan Tanah	*1 day*	*Fri 15/11/24*	*Fri 15/11/24*	53
Pekerjaan Sumur Resapan	*21 days*	*Thu 21/11/24*	*Wed 11/12/24*	
Galian Tanah Biasa	*1 day*	*Thu 21/11/24*	*Thu 21/11/24*	52;54
Pengadaan dan Pemasangan Buis Beton (1 Bh)	*6 days*	*Fri 22/11/24*	*Wed 27/11/24*	
Beton f’c 15 Mpa (semi mekanis)	*1 day*	*Wed 27/11/24*	*Wed 27/11/24*	60
Besi tulangan	*1 day*	*Fri 22/11/24*	*Fri 22/11/24*	56

Bekisting (3x pakai)	*4 days*	*Sat 23/11/24*	*Tue 26/11/24*	59
Pengadaan dan Pemasangan Batu Bata Merah 1	*4 days*	*Thu 28/11/24*	*Sun 01/12/24*	58
Pengadaan dan Pemasangan Kerikil/Batu Pecah	*2 days*	*Mon 02/12/24*	*Tue 03/12/24*	61
Pengadaan dan Pemasangan Ijuk	*1 day*	*Wed 04/12/24*	*Wed 04/12/24*	62
Pengadaan dan Pemasangan Plat Tutup Beton (tb. 6 cm)	*1 day*	*Wed 04/12/24*	*Wed 04/12/24*	63SS
Pekerjaan plat dasar beton	*2 days*	*Thu 05/12/24*	*Fri 06/12/24*	64
Pengadaan dan Pemasangan Pipa Dop Ø 4”	*1 day*	*Sat 07/12/24*	*Sat 07/12/24*	65
Pengadaan dan pemasangan pipa PVC perforated diameter 4”	*4 days*	*Sun 08/12/24*	*Wed 11/12/24*	66
Pekerjaan Grease Trap	*7 days*	*Thu 12/12/24*	*Wed 18/12/24*	
Galian Tanah Biasa	*1 day*	*Thu 12/12/24*	*Thu 12/12/24*	67
Pengadaan dan Pemasangan Grease Trap Precast uk. 30x30 cm tinggi 50 cm	*6 days*	*Thu 12/12/24*	*Tue 17/12/24*	69SS
Pengadaan dan Pemasangan Aksesoris Penyambung Pipa PVC Ø 3’’	*1 day*	*Wed 18/12/24*	*Wed 18/12/24*	70
Pekerjaan SMKK	*90 days*	*Thu 03/10/24*	*Thu 03/10/24*	
Penerapan SMKK	*90 days*	*Thu 03/10/24*	*Thu 03/10/24*	
Pekerjaan Tambahan	*7 days*	*Thu 19/12/24*	*Wed 25/12/24*	
Pek. Pengadaan dan Pemasangan Pipa PVC AW Ø 3”	*3 days*	*Thu 19/12/24*	*Sat 21/12/24*	71
Pek. Pengadaan dan Pemasangan Pipa PVC AW Ø 4”	*4 days*	*Sun 22/12/24*	*Wed 25/12/24*	75

Tabel tersebut menyajikan jadwal pelaksanaan proyek konstruksi fasilitas sanitasi, yang merinci durasi, waktu mulai dan berakhir, serta ketergantungan antar pekerjaan (*predecessors*). Jadwal ini menunjukkan bahwa proyek dilaksanakan melalui dua alur kerja utama yang berjalan secara paralel: Pekerjaan Bilik dan Pekerjaan Sistem Sanitasi, dengan kegiatan pengawasan SMKK yang membingkai keseluruhan proses.

Proyek dijadwalkan dimulai pada 3 Oktober 2024. Pekerjaan Bilik, dengan total durasi 91 hari, menjadi alur kerja terpanjang dan berakhir pada 1 Januari 2025. Tahap ini diawali dengan Pekerjaan Pondasi dan Beton selama 14 hari. Segera setelah struktur pondasi dan beton siap, Pekerjaan Dinding dimulai sekitar 12 Oktober 2024. Alur pengerjaan dinding sangat terstruktur, di mana pemasangan batu bata harus selesai sebelum pekerjaan plesteran dan acian dapat dimulai, sebagaimana ditunjukkan oleh adanya *predecessors*.

Setelah dinding berdiri, alur kerja beralih ke fase Pekerjaan Atap, Lantai, Listrik, Aksesoris, dan Pengecatan yang memakan waktu 79 hari dan berjalan hingga akhir proyek. Pemasangan rangka atap dan penutupnya dijadwalkan pada akhir Oktober. Sementara itu, pekerjaan interior seperti instalasi kabel listrik, pemasangan pintu, dan persiapan rabat beton untuk lantai sudah dimulai lebih awal, yaitu pada pertengahan Oktober. Pemasangan keramik lantai, kloset, dan aksesoris lainnya menyusul pada awal November. Aktivitas

terakhir dalam alur ini adalah Pengecatan Tembok, yang sengaja ditempatkan di minggu terakhir proyek (26 Desember 2024 – 1 Januari 2025) untuk memastikan semua pekerjaan kasar telah selesai.

Secara paralel, Pekerjaan Septictank, Sumur Resapan, Grease Trap, dan Kloset Leher Angsa berjalan selama 84 hari, dimulai dari awal Oktober hingga 25 Desember 2024. Pemasangan Tangki Septik Pabrikasi secara spesifik baru dimulai pada awal November, diawali dengan pekerjaan galian dan pembuatan dudukan beton. Setelah itu, pengerjaan Sumur Resapan menyusul pada akhir November, diikuti oleh instalasi Grease Trap pada pertengahan Desember. Alur ini diakhiri dengan Pekerjaan Tambahan berupa penyambungan pipa-pipa utama pada minggu ketiga Desember.

Terakhir, item Penerapan SMKK (Sistem Manajemen Keselamatan dan Kesehatan Kerja) memiliki durasi 90 hari yang dimulai sejak hari pertama proyek. Ini mengindikasikan bahwa SMKK bukanlah pekerjaan fisik, melainkan sebuah proses pengawasan dan manajemen K3 yang berlangsung secara kontinu sepanjang periode konstruksi untuk memastikan keamanan di lokasi kerja.

3.3. Menghitung *Crash Duration*

Untuk mengetahui *crash duration*, terdapat tahapan perhitungan yang dilakukan. Berikut contoh perhitungan *crash duration* terhadap item pekerjaan :

Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75 :

Volume = 4,81 $\mathbf{m^2}$

Waktu Normal = 5 hari

Waktu Normal (jam) = 5 hari × 8 jam = 40 jam

Produktivitas Normal (Hari) $= \frac{\boldsymbol{Volume}}{\boldsymbol{Durasi\ Normal\ (hari)}}$

$= \frac{\mathbf{4{,}81\ m2}}{\mathbf{5}\ \boldsymbol{hari}}$ = 0,962 m2/hari

Produktivitas Normal (Jam) $= \frac{\boldsymbol{Volume}}{\boldsymbol{Durasi\ Normal\ (jam)}}$

$= \frac{\mathbf{4{,}81\ m2}}{\mathbf{50}\ \boldsymbol{jam}}$ = 0,12 m3/jam

3.3.1. Penambahan 2 Jam Durasi Kerja Lembur

Produktivitas Lembur = (a × b × produktivitas tiap jam)
= (2 × 80% × 0,12)
= 0,192

a: jumlah jam lembur
b: koefisien pengurangan produktivitas waktu lembur

Produktivitas Harian sesudah *crash* = Prod. Normal (Hari) + Prod. Lembur
= 0,962 + 0,192 = 1,154

Crash Duration $= \frac{\boldsymbol{Volume}}{\mathbf{Prod.Harian\ sesudah\ crash}}$

$= \frac{\mathbf{4{,}81\ m3}}{\mathbf{1{,}154}}$ = 4 hari

Crashing = Durasi Normal – *Crash Duration*
= 5 – 4 = 1 hari

3.3.2. Penambahan 3 Jam Durasi Kerja Lembur

Produktivitas Lembur = (a × b × produktivitas tiap jam)
= (3 × 70% × 0,12)
= 0,253

a: jumlah jam lembur
b: koefisien pengurangan produktivitas waktu lembur

Produktivitas Harian sesudah *crash* = Prod. Normal (Hari) + Prod. Lembur
= 0,962 + 0,253 = 1,215

Crash Duration $= \frac{\boldsymbol{Volume}}{\mathbf{Prod.Harian\ sesudah\ crash}}$

$= \frac{\mathbf{4{,}81\ m3}}{\mathbf{1{,}215}}$ = 4 hari

Crashing = Durasi Normal – *Crash Duration*
= 5 – 4 = 1 hari

3.3.3. Penambahan 4 Jam Durasi Kerja Lembur

Produktivitas Lembur = (a × b × produktivitas tiap jam)
= (4 × 60% × 0,12)
= 0,289

a: jumlah jam lembur
b: koefisien pengurangan produktivitas waktu lembur

Produktivitas Harian sesudah *crash* = Prod. Normal (Hari) + Prod. Lembur
= 0,962 + 0,289 = 1,251

Crash Duration $= \frac{\textbf{Volume}}{\textbf{Prod.Harian sesudah crash}}$

$= \frac{\textbf{4,81 m3}}{\textbf{1,251}} = 4$ hari

Crashing = Durasi Normal – *Crash Duration*

= 5 – 4 = 1 hari

3.4. Menghitung *Crash Cost*

Crash cost dilakukan setelah perhitungan *crash duration* didapatkan. Biaya yang dikeluarkan dari perhitungan *crash cost*, biaya tersebut lebih besar dari biaya normal. Berikut contoh perhitungan *crash cost* lanjutan dari hasil hitung *crash duration* terhadap item pekerjaan yang sama:

- Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75 :
- Volume = 4,81 m^2
- Durasi Normal = 5 hari
- Produktivitas tenaga kerja = koefisien × volume
- Jumlah tenaga kerja = Produktivitas tenaga kerja / Durasi Normal
- Pekerja = 0,734 × 4,81 m^2 = 3,531 = 3,531/5hari = 1 org
- Tukang = 0,734 × 4,81 m^2 = 3,531 = 3,531/5hari = 1 org
- Kepala tukang = 0,073 × 4,81 m^2 = 0,351 = 0,351/5hari = 1 org
- Mandor = 0,024 × 4,81 m^2 = 0,115 = 0,115/5hari = 1 org
- Biaya Normal = jumlah tenaga kerja × upah normal tenaga kerja×koefisien
  - Pekerja = 1 org × Rp 100.000 × 0,734/hari = Rp 73.000
  - Tukang = 1 org × Rp 150.000 × 0,734/hari = Rp 110.100
  - Kepala Tukang = 1 org × Rp 160.000 × 0,073/hari = Rp 11.680
  - Mandor = 1 org × Rp 100.000 × 0,024 /hari = Rp 2.400
  - Total Biaya Normal = Rp 197.580
- Upah/jam
  - Pekerja = Rp 73.000/hari = Rp 73.000/8jam = Rp 9.175/jam
  - Tukang = Rp 110.100/hari = Rp 110.100/8jam = Rp 13.763/jam
  - Kepala Tukang = Rp 11.680/hari = Rp 11.680/8jam = Rp 1.460/jam
  - Mandor = Rp 2.400/hari = Rp 2.400/8jam = Rp 300/jam

Mengacu pada Peraturan Pemerintah Republik Indonesia Nomor 35 Tahun 2021 Pasal 31 tentang standar upah kerja lembur yaitu:

1. Durasi kerja lembur pertama dibayar sebanyak 1,5 kali upah dalam 1 jam.
2. Durasi kerja lembur selanjutnya dibayarkan sebanyak 2 kali upah dalam 1 jam

3.4.1. Penambahan 2 Jam Kerja Lembur

Upah lembur 1 hari selama 2 jam :

= (1.5 × upah sejam jam normal) + (2 × jumlah penambahan jam kerja berikutnya × upah sejam normal)

- Pekerja = (1.5 × Rp 9.175) + (2 × 1 × Rp 9.175) = Rp 32.112,50
- Tukang = (1.5 × Rp 13.763) + (2 × 1 × Rp 13.763) = Rp 48.168,75
- Kepala Tukang = (1.5 × Rp 1.460) + (2 × 1 × Rp 1.460) = Rp 5.110,00
- Mandor = (1.5 × Rp 300) + (2 × 1 × Rp 300) = Rp 1.050,00

Pada skema upah lembur selama 2 jam pada satu hari untuk pekerja Rp 32.112,50, kemudian Tukang Rp 48.168,75, kepala tukang Rp. 5.110,00 dan Mandor Rp 1.050,00. Selanjutnya *crash cost* untuk Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75 sebagai berikut:

Durasi Normal = 5 hari

Crash Duration = 4 hari

Upah lembur untuk Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75 dengan jumlah tenaga kerja dengan *Crash Duration* 4 hari :

Crash Cost = Jumlah TK × Upah Lembur TK 1 hari × *Crash Duration*

- Pekerja = 1 × Rp 32.112,50× 4 hari
  = Rp 128.450,00
- Tukang = 1 × 48.168,75 × 4 hari
  = Rp 192.675,00
- Kepala Tukang = 1 × Rp 5.110,00 × 4 hari
  = Rp 20.440,00
- Mandor = 1 × Rp 1.050,00 × 4 hari

= Rp 4.200,00

- Crash Cost = Rp 345.765,00
- Biaya Normal = Rp 197.580,00
- Crash Cost Total = Biaya normal + *Crash Cost*
  = Rp 197.580,00 + Rp 345.765,00
  = Rp 543.345,00

Kemudian untuk Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75 untuk crash duration 4 hari dengan jumlah tenaga kerja, diperoleh crash cost sebesar Rp 345.765,00. Untuk biaya normal sebesar Rp 197.580,00**,** selanjutnya ditambahkan dengan crash cost menghasilkan crash cost total sebesar Rp 543.345,00.

3.5. Metode *Time Cost Trade Off*

Setelah sebelumnya telah mendapatkan besaran angka *cost slope* dari setiap item yang termasuk kedalam *critical task* dan durasi normal nya bisa dicrashing, tahapan selanjutnya adalah analisis menggunakan metode *Time Cost Trade Off* (TCTO). TCTO diimplementasi dengan melakukan kompresi pada segi waktu dan biaya percepatan penyelesaian proyek yang tergolong dalam *critical task* dan dimulai dari item pekerjaan yang mempunyai *cost slope* terendah. Tahap penekanan (kompresi) ini perlu adanya beberapa variabel yang dikompresi seperti waktu dan biaya percepatan, biaya langsung dan tidak langsung, serta *total cost* dari masing-masing kegiatan yang berpengaruh pada proyek. Berikut hasil perhitungannya:

3.5.1. Tahap Normal:

Durasi Normal = 90 Hari Kalender
Biaya Langsung = Rp 18.228.123 × 622 unit
= Rp. 11.337.892.809
Biaya Tidak Langsung = PPN 11% dari total biaya proyek
= Rp 1.247.168.209
Total Cost = Biaya langsung + Biaya tidak langsung
= Rp 11.337.892.809 + Rp 1.247.168.209
= Rp 12.585.061.019

3.5.2. Penambahan Durasi 2 Jam Kerja Lembur

Tahap Kompresi durasi *crashing*

Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75:
Cost slope perhari = Rp 345.765,00
Durasi Normal = 5 hari
Crash Duration = 4 hari
Crashing = 1 hari
Total Durasi Proyek = 90 hari – 1 hari
= 89 hari
Cost Slope = Rp 345.765,00 × 1 hari
= Rp 345.765,00

3.5.3. Penambahan Durasi 3 Jam Kerja Lembur

Tahap Kompresi durasi *crashing*

Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75:
Cost slope perhari = Rp 203.790
Durasi Normal = 5 hari
Crash Duration = 43hari
Crashing = 2 hari
Total Durasi Proyek = 90 hari – 2 hari
= 88 hari
Cost Slope = Rp 203.790× 2 hari
= Rp 407.508,75

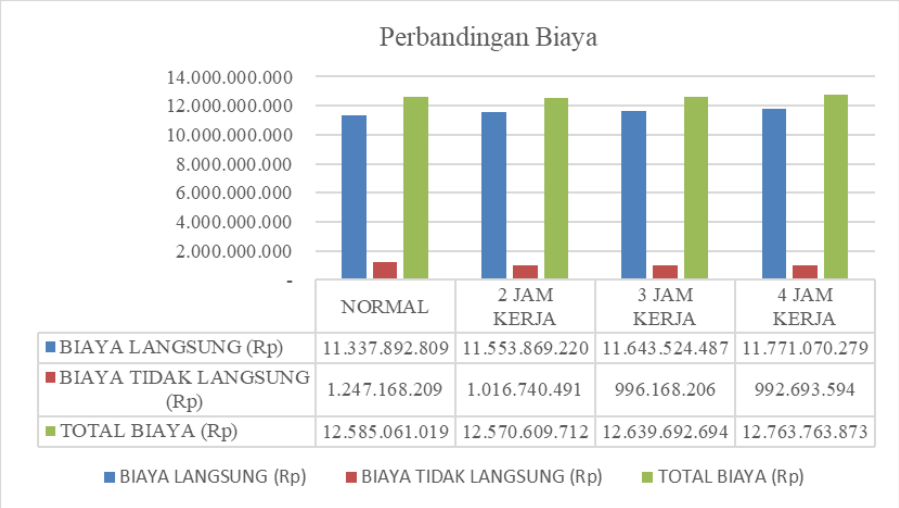
3.5.4. Penambahan Durasi 4 Jam Kerja Lembur

Tahap Kompresi durasi *crashing*

Pekerjaan Pemasangan Rangka Atap Galvalum C. 75 - 0,75:
Cost slope perhari = Rp 277.846,875
Durasi Normal = 5 hari
Crash Duration = 3 hari
Crashing = 2 hari
Total Durasi Proyek = 90 hari – 2 hari
= 88 hari
Cost Slope = Rp 277.846,875 × 2 hari
= Rp 555.693,00

Berdasarkan hasil analisis TCTO proyek ini didapatkan empat alternatif yaitu dengan penambahan durasi 2,3 dan 4 jam kerja dari waktu sisa. Untuk penambahan 2 jam kerja didapatkan angka pengerjaan sebesar 72 hari, untuk penambahan 3 jam kerja didapatkan angka pengerjaan sebesar 70 hari, untuk penambahan 4 jam kerja didapatkan angka pengerjaan sebesar 69 hari. Untuk masing-masing biayanya sebesar Rp 215.976.411, Rp 305.631.678 dan Rp 433.177.470. Dari hal ini dapat diketahui bahwa terdapat perbedaan yang nyata dan pengaruh penambahan jam kerja lembur pada skema pengerjaan proyeknya.

Pada beberapa gambar di bawah ini dapat dilihat hasil analisis data perbandingan antara variabel durasi normal dan durasi setelah dianalisis *dicrashing*, serta perbandingan variabel biaya tidak langsung, biaya langsung, dan total biaya. Berikut ini adalah gambar 4.2 grafik perbandingan biaya dan gambar 4.3 grafik pengaruh durasi terhadap biaya proyek sebelum dan sesudah dicrashing.



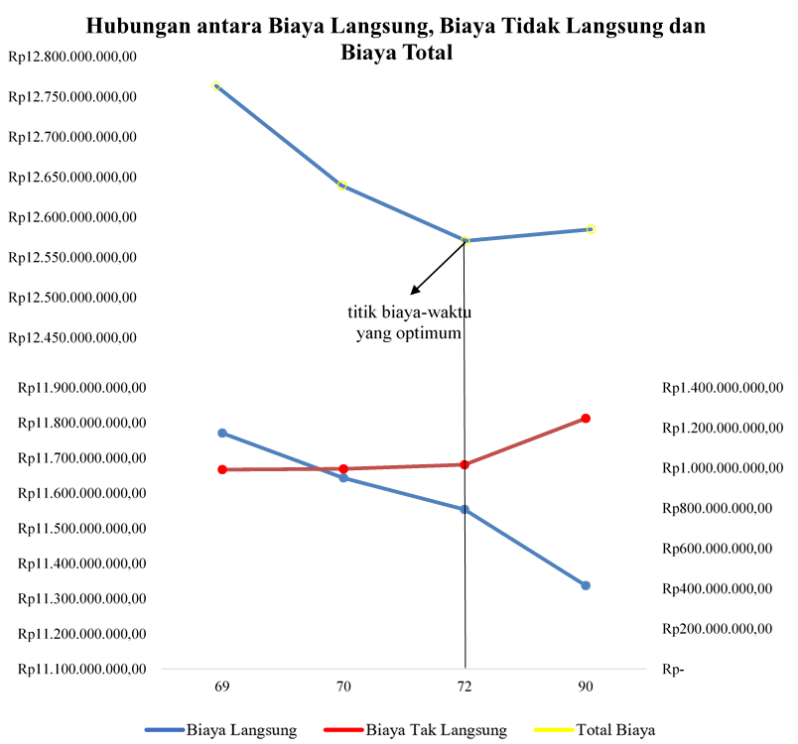
	NORMAL	2 JAM KERJA	3 JAM KERJA	4 JAM KERJA
BIAYA LANGSUNG (Rp)	11.337.892.809	11.553.869.220	11.643.524.487	11.771.070.279
BIAYA TIDAK LANGSUNG (Rp)	1.247.168.209	1.016.740.491	996.168.206	992.693.594
TOTAL BIAYA (Rp)	12.585.061.019	12.570.609.712	12.639.692.694	12.763.763.873

Gambar 1. Grafik Perbandingan Biaya

Dari grafik, dapat diamati adanya tren yang berlawanan antara biaya langsung dan biaya tidak langsung. Biaya Langsung, yang mencakup upah tenaga kerja dan material, menunjukkan peningkatan yang konsisten seiring dengan penambahan jam lembur. Hal ini wajar terjadi karena penambahan jam kerja lembur mengakibatkan peningkatan biaya upah yang harus dibayarkan. Biaya langsung meningkat dari sekitar Rp 11,33 miliar pada kondisi normal menjadi Rp 11,77 miliar pada skenario 4 jam lembur.

Sebaliknya, Biaya Tidak Langsung, yang mencakup biaya operasional proyek seperti sewa alat, gaji staf, dan utilitas kantor, menunjukkan tren penurunan. Percepatan durasi proyek melalui lembur berhasil mengurangi total waktu pelaksanaan, sehingga biaya-biaya yang bersifat harian atau bulanan ini dapat ditekan. Biaya tidak langsung menurun dari Rp 1,24 miliar pada kondisi normal menjadi sekitar Rp 992 juta pada skenario 4 jam lembur.

Poin analisis terpenting terlihat pada Total Biaya, yang merupakan gabungan dari kedua biaya tersebut. Grafik ini secara jelas menunjukkan adanya titik optimal. Total biaya proyek pada kondisi normal adalah sebesar Rp 12,58 miliar. Dengan penambahan 2 jam lembur, total biaya justru sedikit menurun menjadi Rp 12,57 miliar, menjadikannya opsi yang paling efisien secara biaya. Namun, ketika percepatan ditingkatkan lebih lanjut ke 3 dan 4 jam lembur, total biaya mulai meningkat kembali menjadi Rp 12,63 miliar dan Rp 12,76 miliar. Peningkatan ini terjadi karena penghematan dari biaya tidak langsung tidak lagi mampu mengimbangi kenaikan signifikan pada biaya langsung akibat jam lembur yang semakin banyak.



Gambar 2. Grafik Hubungan Waktu dan Biaya

Kurva Biaya Langsung (biru) menunjukkan tren yang meningkat seiring dengan berkurangnya durasi proyek. Garis ini bergerak dari titik terendah pada durasi normal 90 hari ke titik tertinggi pada durasi terpendek 69 hari. Kenaikan ini merepresentasikan biaya tambahan yang dikeluarkan untuk percepatan, seperti upah lembur bagi pekerja, yang secara langsung meningkatkan biaya pelaksanaan.

Sebaliknya, kurva Biaya Tak Langsung (merah) menunjukkan tren yang menurun. Semakin singkat durasi proyek, semakin rendah biaya tidak langsungnya. Hal ini terjadi karena biaya-biaya operasional seperti gaji staf pengawas, sewa peralatan, dan biaya administrasi harian dapat dihemat dengan selesainya proyek lebih cepat.

Kurva Total Biaya (kuning), yang merupakan hasil penjumlahan dari biaya langsung dan tidak langsung, menjadi indikator kunci dalam analisis ini. Kurva ini membentuk sebuah cekungan, yang menunjukkan adanya titik efisiensi maksimal. Dimulai dari durasi normal 90 hari, total biaya menurun saat proyek dipercepat menjadi 72 hari. Namun, ketika proyek dipercepat lebih lanjut ke 70 dan 69 hari, total biaya justru mulai meningkat kembali.

Titik terendah pada kurva Total Biaya, yang secara eksplisit ditandai sebagai "titik biaya-waktu yang optimum," terjadi pada durasi 72 hari. Titik ini merepresentasikan skenario percepatan yang paling ideal, di mana penghematan dari penurunan biaya tidak langsung lebih besar daripada kenaikan biaya langsung. Percepatan yang dilakukan melebihi titik ini (ke 70 atau 69 hari) menjadi tidak ekonomis karena lonjakan biaya langsung untuk lembur jauh lebih besar daripada penghematan biaya tidak langsung yang didapat.

4. KESIMPULAN DAN SARAN/REKOMENDASI

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah diuraikan, dapat ditarik beberapa kesimpulan. Analisis *Time Cost Trade Off* (TCTO) pada proyek pembangunan tangki septik di Kabupaten Boalemo menunjukkan bahwa penerapan jam kerja lembur secara signifikan mempengaruhi durasi dan total biaya proyek. Dari tiga skenario percepatan yang diuji, penambahan 2 jam kerja lembur merupakan solusi paling optimal. Skenario ini berhasil mempersingkat durasi proyek dari 90 hari menjadi 72 hari dengan total biaya terendah, yaitu sebesar Rp 12.570.663.957. Meskipun penambahan 3 dan 4 jam lembur mampu mengurangi durasi lebih lanjut menjadi 70 dan 69 hari, total biaya proyek justru meningkat karena kenaikan biaya langsung (upah lembur) lebih besar daripada penghematan biaya tidak langsung. Titik optimum pada durasi 72 hari ini menunjukkan tercapainya keseimbangan paling efisien antara percepatan waktu dan efektivitas anggaran.

4.2 Saran/Rekomendasi

Berdasarkan kesimpulan yang diperoleh, maka diajukan beberapa saran yang diharapkan dapat bermanfaat. Bagi manajer proyek dan kontraktor pelaksana, implementasi skenario percepatan melalui penambahan jam kerja lembur sangat direkomendasikan untuk mengatasi potensi keterlambatan. Opsi ini, yang

terbukti paling efisien dalam analisis, sejalan dengan konsep *crashing* dalam manajemen proyek, di mana sumber daya tambahan dialokasikan pada aktivitas kritis untuk mempersingkat durasi proyek dengan biaya serendah mungkin (Mubarak, 2010). Menurut Hendrickson (2008), keputusan untuk menambah jam lembur harus mempertimbangkan potensi penurunan produktivitas akibat kelelahan pekerja, meskipun seringkali menjadi pilihan yang lebih ekonomis dibandingkan menambah tenaga kerja baru yang memerlukan waktu untuk adaptasi dan koordinasi. Untuk proyek konstruksi serupa di masa depan, metode *Time-Cost Trade-Off* direkomendasikan sebagai alat analisis utama dalam pengambilan keputusan. Penerapan metode ini memungkinkan manajer proyek untuk secara proaktif menyeimbangkan tiga kendala utama—waktu, biaya, dan kualitas—yang dikenal sebagai *Project Management Triangle* atau *Iron Triangle* (Kerzner, 2017). Analisis ini memberikan dasar kuantitatif yang kuat untuk memilih strategi percepatan yang paling sesuai dengan prioritas proyek. Sebagai pengembangan, penelitian selanjutnya dapat menganalisis metode percepatan lain secara komparatif. Penambahan jumlah tenaga kerja, misalnya, dapat menjadi alternatif yang efektif, namun seperti yang diperingatkan oleh Brooks (1995) dalam hukumnya (*Brooks's Law*), menambahkan tenaga kerja pada proyek yang sudah terlambat justru dapat membuatnya semakin lambat karena meningkatnya kompleksitas komunikasi dan koordinasi. Di sisi lain, penggunaan alat bantu yang lebih modern atau metode konstruksi inovatif, seperti *prefabrication* atau *modular construction*, telah terbukti secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi dan mengurangi waktu siklus proyek di lapangan (Gould & Joyce, 2017). Oleh karena itu, studi di masa depan sebaiknya tidak hanya membandingkan biaya langsung, tetapi juga mempertimbangkan dampak jangka panjang dari setiap metode terhadap produktivitas, kualitas, dan keselamatan kerja.

REFERENSI

Afrizal, R., & Imam, M. (2018). Optimalisasi waktu dan biaya dengan metode *time cost trade off* pada proyek pembangunan UPT Puskesmas Karangpucung. *Jurnal Teknik Sipil*, *7*(2), 123-134.

Brooks, F. P. (1995). *The mythical man-month: Essays on software engineering*. Addison-Wesley Professional.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

Gould, F. E., & Joyce, N. E. (2017). *Construction project management* (5th ed.). Pearson.

Hendrickson, C. (2008). *Project management for construction: Fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders*. Prentice Hall.

Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR). (2024). *Rapat Progres Percepatan Layanan Air Limbah Domestik Inpres Tangki Septik dan Sarana Pendukung Provinsi Gorontalo*. Direktorat Jenderal Cipta Karya. Diakses dari https://ciptakarya.pu.go.id/berita-detail?14320&satker=505103

Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling*. John Wiley & Sons.

Kerzner, H. (2017). *Project management: A systems approach to planning, scheduling, and controlling* (12th ed.). John Wiley & Sons.

Mankiw, N. G. (2021). *Principles of economics* (9th ed.). Cengage Learning.

Meredith, J. R., Shafer, S. M., Mantel Jr., S. J., & Sutton, M. M. (2017). *Project management: A managerial approach* (10th ed.). John Wiley & Sons.

Mubarak, S. A. (2010). *Construction project scheduling and control* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Perserikatan Bangsa-Bangsa (PBB). (n.d.). *Sustainable Development Goal 6: Air Bersih dan Sanitasi Layak*. Diakses dari https://indonesia.un.org/id/sdgs/6

Project Management Institute. (2017). *A guide to the project management body of knowledge (PMBOK® guide)* (6th ed.). Project Management Institute.

Republik Indonesia. (2024). *Instruksi Presiden Nomor 1 Tahun 2024 tentang Percepatan Penyediaan Air Minum dan Layanan Pengelolaan Air Limbah Domestik*.

Santoso, B., & Purnomo, H. (2021). The effect of overtime on worker productivity and safety in high-rise building construction projects. *Journal of Construction Engineering and Management, 147*(3), 04020176.

Soeharto, I. (1999). *Manajemen proyek: Dari konseptual sampai operasional*. Erlangga.

Sumanti, C. G., Tjakra, J., & Walangitan, D. R. O. (2022). Analisis optimalisasi waktu dan biaya dengan metode *time cost trade off* pada proyek preservasi ruas jalan Tondano-Kember-Manado seleksi II. *Jurnal Sipil Statik*, *10*(3), 321-330.

Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.