

TESIS

OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU
MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS
(Studi Kasus Pada Proyek Bendungan Cibeet Paket 1)

Disusun dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Guna Mencapai Gelar Magister Teknik (MT)



Oleh :
EDI PURNOMO
NIM : 20202100018

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS ISLAM SULTAN AGUNG
2025

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS

**OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU
MENGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS
(Studi Kasus Pada Proyek Bendungan Cibeet Paket 1)**

Disusun Oleh :

EDI NPUARNOMO

NIM : 20202100018

Telah diperiksa dan disetujui oleh :

Tanggal, 29 Agustus 2025

Pembimbing I,

Tanggal, 29 Agustus 2025

Pembimbing II,



Ir. H. Rachmat Mudiyo, MT., Ph.D

NIK. 210293018



Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, MM., MT

NIK. 210291015

HALAMAN PENGESAHAN TESIS

**OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU
MENGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS
(Studi Kasus Pada Proyek Bendungan Cibeet Paket 1)**

Disusun Oleh :

EDI NPURNOMO

NIM : 20202100018

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :

20 Agustus 2025

Tim Penguji:

1. Ketua

(Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, MM., MT)

2. Anggota

(Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si)

3. Anggota

(Dr. Ir. Rifqi Brilyant Arief, ST., MT)

Tesis ini diterima sebagai salah satu persyaratan untuk
memperoleh gelar Magister Teknik (MT)

Semarang, 20 Agustus 2025

Mengetahui,
Ketua Program Studi,

Prof. Dr. Ir. Antonius, MT

NIK. 210202033

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik,

Dr. Abdul Rochim, ST, MT

NIK. 210200031

MOTTO

كُنْتُمْ خَيْرَ أُمَّةٍ أُخْرِجَتْ لِلنَّاسِ تَأْمُرُونَ بِالْمَعْرُوفِ وَتَنْهَوْنَ عَنِ الْمُنْكَرِ وَتُؤْمِنُونَ بِاللَّهِ وَلَوْ ءَامَنَ أَهْلُ الْكِتَابِ لَكَانَ خَيْرًا لَهُمْ مِّنْهُمْ الْمُؤْمِنُونَ وَأَكْثَرُهُمُ الْفَاسِقُونَ ١١٠

Kamu (umat Islam) adalah umat terbaik yang dilahirkan untuk manusia, (karena kamu) menyuruh (berbuat) yang makruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, namun kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik (QS. Ali-Imran : 110)



ABSTRAK

Implementasi proyek konstruksi pada praktiknya kerap mengalami deviasi dari perencanaan awal. Untuk mengantisipasi risiko kegagalan proyek, diperlukan implementasi tata kelola manajemen proyek yang terstruktur guna mencapai parameter temporal dan finansial yang optimal. Proses optimalisasi durasi serta pembiayaan proyek dapat direalisasikan melalui strategi akselerasi waktu pelaksanaan, salah satunya dengan pendekatan *Least Cost Analysis*. Studi ini memanfaatkan data empiris dari proyek Bendungan Cibeet Paket 1.

Strategi akselerasi yang diimplementasikan mencakup augmentasi sumber daya manusia serta ekstensifikasi jam operasional melalui sistem lembur dengan variasi 1 jam, 2 jam, dan 3 jam. Prosedur analisis diawali dengan identifikasi jalur kritis menggunakan aplikasi Microsoft Project 2019, dilanjutkan dengan implementasi teknik *crashing* untuk determinasi nilai *cost slope* pada aktivitas-aktivitas dalam lintasan kritis, kemudian dilakukan evaluasi komprehensif untuk memperoleh konfigurasi biaya dan waktu yang optimal.

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa kondisi optimal tercapai melalui strategi augmentasi tenaga kerja, menghasilkan durasi pelaksanaan 1464 hari dengan reduksi temporal 637 hari, serta total investasi Rp 1.593.608.604.723 yang mencerminkan efisiensi finansial Rp 113.006.656.580. Dengan demikian, tingkat akselerasi periode penyelesaian proyek mencapai 30,32% dengan rasio reduksi pembiayaan sebesar 6,62%.

Kata Kunci: *Least Cost Analysis, Crashing, Cost Slope, Microsoft Project 2019*

ABSTRACT

In practice, construction project implementation often deviates from the initial plan. To mitigate the risk of project failure, structured project management is required to achieve optimal temporal and financial parameters. Optimizing project duration and cost can be achieved through implementation acceleration strategies, one of which is the Least Cost Analysis approach. This study utilizes empirical data from the Cibeet Dam Package 1 project.

The acceleration strategy implemented includes augmenting human resources and extending operating hours through an overtime system with variations of 1 hour, 2 hours, and 3 hours. The analysis procedure begins with identifying the critical path using Microsoft Project 2019, followed by implementing a crashing technique to determine the cost slope for activities on the critical path. A comprehensive evaluation is then conducted to determine the optimal cost and time configuration.

The evaluation results show that optimal conditions were achieved through a workforce augmentation strategy, resulting in an implementation duration of 1464 days with a temporal reduction of 637 days, and a total investment of Rp 1,593,608,604,723 which reflects a financial efficiency of Rp 113,006,656,580. Thus, the acceleration rate of the project completion period reached 30.32% with a financing reduction ratio of 6.62%.

Key Words: *Least Cost Analysis, Crashing, Cost Slope, Microsoft Project 2019*

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Edi Purnomo

NIM : 20202100018

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis saya yang berjudul:

**OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU MENGGUNAKAN METODE
LEAST COST ANALYSIS (Studi Kasus Pada Proyek Bendungan Cibeet
Paket 1)**

Adalah benar hasil karya saya dan dengan penuh kesadaran bahwa saya tidak melakukan plagiasi atau mengambil alih seluruh atau sebagian besar karya tulis orang lain tanpa menyebutkan sumbernya. Jika saya terbukti melakukan tindakan plagiasi, saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan aturan yang berlaku.

Semarang, 20 Agustus 2025



Edi Purnomo

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah...puji syukur kehadiran Allah SWT, atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul “OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU MENGGUNAKAN METODE LEAST COST ANALYSIS (Studi Kasus Pada Proyek Bendungan Cibeet Paket 1)”. Dalam penyusunan tesis ini, penulis tak lepas dari pihak-pihak yang telah membantu dari awal hingga tesis dapat terselesaikan dengan baik. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terimakasih kepada:

1. Prof. Dr Gunarto SH. MH, selaku Rektor Universitas Islam Sultan Agung
2. Dr. Abdul Rochim, ST. MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Islam Sultan Agung
3. Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT. Ph.D selaku Dosen Pembimbing 1 dan Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, MM. MT. selaku Dosen Pembimbing 2 yang telah memberikan arahan bagi penulis dalam merampungkan tesis
4. Dr. Ir. H. Kartono Wibowo, MM. MT., Dr. Ir. H. Soedarsono, M.Si, Dr. Ir. Rifqi Briyani Arief, ST., MT, Ir. M. Faiqun Ni'am, MT., Ph.D, Ir. H. Rachmat Mudiyono, MT. Ph.D dan Prof. Dr. Ir. Antonius, MT., selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan serta koreksi dalam menyempurnakan tesis
5. Kedua orangtua saya Bpk. H. Sudibyo (alm.) dan Ibu Hj. Aminah (almh.) semoga Allah SWT senantiasa meridho'i keduanya, beserta istri Dian Boda Skom, dan anak-anak saya Diandra A Rahmanisa, Alexandra N Khairunnisa, Ariendra Attallah B, Cassandra Qurrota A'yunnisa, Qiandra A Azzahra, dan Ayundra Aminah yang tiada henti memberikan semangat, doa dan dukungan
6. Ir. Bambang Asmoro ST, MM., Ir. Edden Umaga, ST. MT., Ir. Andiko Irhash Putra, ST. MT. IPM. ASEAN Eng, Febriyanti ST., Anne Fadhilah ST., Purwadi ST., Sarah Insani ST., Raditya Dira Prakasa Amd., Ir. H. Faisal ST., Ir. Andip Subekti ST., Kak Iman Fadhilah, Bambang Dwi Aryanto ST., Bapak Buwono, Mbak Tista dan Mbak Inda yang telah banyak membantu dan mendukung selesainya tesis ini serta

7. Keluarga, rekan-rekan kerja dan teman-teman Magister Teknik Sipil angkatan 48 yang namanya tidak bisa disebutkan satu per satu. Terima kasih sudah memberikan kesan, motivasi, dan banyak cerita selama perkuliahan.

Tesis ini ditulis untuk memenuhi salah satu persyaratan akademik perkuliahan demi memperoleh gelar Magister Teknik di Universitas Islam Sultan Agung. Tesis ini membahas tentang optimalisasi biaya dan waktu, seberapa besar efisiensi biaya dan efektifitas waktu diperoleh dengan menggunakan metode *least cost analysis* pada proyek Bendungan Cibeet Paket 1.

Penulis menyadari bahwa di dalam tesis ini masih terdapat kelemahan. Oleh sebab itu, penulis berharap adanya kritik dan saran demi perbaikan karya yang akan datang. Penulis mohon maaf apabila ada kesalahan kata yang kurang berkenan.

Semarang, 20 Agustus 2025

Edi Purnomo



DAFTAR ISI

HALAMAN PERSETUJUAN TESIS.....	i
HALAMAN PENGESAHAN TESIS.....	ii
MOTTO	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT.....	v
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN.....	vi
KATA PENGANTAR.....	vii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Batasan Masalah	3
1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian	3
1.4.1 Tujuan Penelitian	3
1.4.2 Manfaat Penelitian	3
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Optimalisasi Biaya dan Waktu	5
2.1.1 Efisiensi Biaya	5
2.1.2 Efektivitas Waktu	6
2.2 Manajemen Proyek.....	7
2.3 Biaya Proyek	9
2.4 Microsoft Project	11
2.5 Project <i>Crashing</i>	12
2.5.1 Percepatan Waktu Penyelesaian Kegiatan (Crash Duration)	14
2.5.2 Biaya Tambahan Penambahan Tenaga Kerja (Crash Cost).....	15
2.5.3 Biaya Tambahan Pekerja Lembur (Crash Cost)	16
2.6 Metode <i>Least Cost Analysis</i>	17

2.7	Penelitian Terdahulu tentang <i>Least Cost Analysis</i>	21
BAB III METODE PENELITIAN		26
3.1	Tinjauan Umum.....	26
3.2	Jenis Penelitian.....	26
3.3	Sumber Data Penelitian.....	26
3.4	Instrumen Penelitian	27
3.5	Tahapan Penelitian	28
3.6	Metode Analisis Data.....	29
3.7	Bagan Alur Penelitian.....	29
.....		30
BAB IV PEMBAHASAN		31
4.1	Data Lapangan.....	31
4.1.1	Data Umum Proyek.....	31
4.1.2	Layout Proyek.....	31
4.1.3	Lingkup Pekerjaan.....	32
4.1.4	Durasi Normal dan Biaya Normal.....	33
4.1.5	Keterlambatan Pekerjaan.....	34
4.1.6	Pembengkakan Biaya (Cost Overrun).....	35
4.2	Biaya Proyek	35
4.2.1	Biaya Langsung.....	35
4.2.2	Biaya Tak Langsung.....	36
4.3	Penentuan Jalur Kritis	38
4.4	Perhitungan Crash Program.....	39
4.4.1	Penambahan Tenaga Kerja	40
4.4.2	Penambahan Jam Kerja (Lembur)	47
4.5	Efisiensi Biaya dan Efektivitas Waktu	59
BAB V PENUTUP		62
5.1	Kesimpulan.....	62
5.2	Saran.....	62

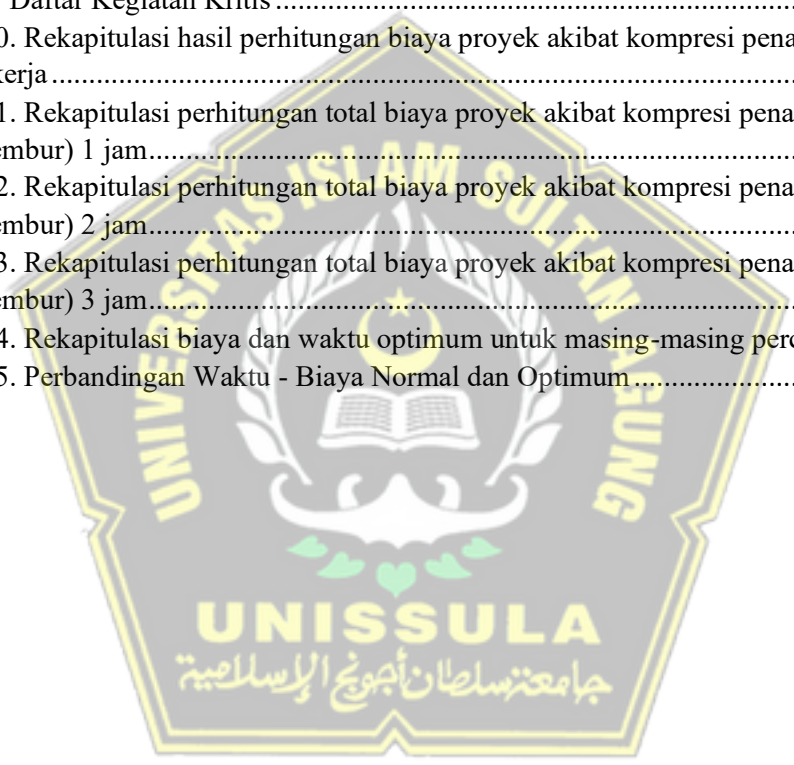
DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Project Management Framework.....	8
Gambar 2. Korelasi Waktu dan Biaya dengan Biaya Langsung	13
Gambar 3. Grafik Indikasi Penurunan Produktivitas Akibat Penambahan Jam Kerja	14
Gambar 4. Total Project Cost	17
Gambar 5. Diagram Alir Proses Duration Cost Trade-Off	18
Gambar 6. Bagan Alur Penelitian.....	30
Gambar 7. Layout Proyek Bendungan Cibeet Paket 1	32
Gambar 8. Durasi dan Total Kontrak	33
Gambar 9. Trekking Waktu dengan Microsoft Project.....	34
Gambar 10. Hasil Trekking Microsoft Project	34
Gambar 11. Grafik hubungan alternatif percepatan dengan biaya dan waktu optimum ...	60



DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koefisien Penurunan Produktivitas	15
Tabel 2. Daftar Penelitian Terdahulu.	21
Tabel 3. Lingkup Pekerjaan Proyek Bendungan Cibeet Paket 1	32
Tabel 4. Proyeksi Akhir Kontrak	35
Tabel 5. Biaya Langsung Proyek Bendungan Cibeet Paket 1	36
Tabel 6. Biaya Tak Langsung Proyek Bendungan Cibeet Paket 1	36
Tabel 7. Fix Cost Proyek Bendungan Cibeet Paket 1	37
Tabel 8. Biaya Tak Langsung per Hari	37
Tabel 9. Daftar Kegiatan Kritis	38
Tabel 10. Rekapitulasi hasil perhitungan biaya proyek akibat kompresi penambahan tenaga kerja	46
Tabel 11. Rekapitulasi perhitungan total biaya proyek akibat kompresi penambahan jam kerja (lembur) 1 jam.....	53
Tabel 12. Rekapitulasi perhitungan total biaya proyek akibat kompresi penambahan jam kerja (lembur) 2 jam.....	56
Tabel 13. Rekapitulasi perhitungan total biaya proyek akibat kompresi penambahan jam kerja (lembur) 3 jam.....	59
Tabel 14. Rekapitulasi biaya dan waktu optimum untuk masing-masing percepatan.....	60
Tabel 15. Perbandingan Waktu - Biaya Normal dan Optimum	61



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Rencana Anggaran Biaya	a
Lampiran 2. Analisa Harga Satuan Pekerjaan	b
Lampiran 3. Time schedule CBT 1 Kontrak	c
Lampiran 4. Kurva S Add-3 MC-0	d
Lampiran 5. Progress Kemajuan Pekerjaan	e
Lampiran 6. Rincian Volume Realisasi Harian.....	f
Lampiran 7. Langkah-Langkah Menggunakan Microsoft Project	g
Lampiran 8. Gantt Chart Awal Proyek	h
Lampiran 9. Network Diagram Awal Proyek.....	i
Lampiran 10. Gantt Chart setelah Tracking	j
Lampiran 11. Network Diagram setelah Tracking	k
Lampiran 12. Durasi & Biaya Normal Proyek	l
Lampiran 13. Perhitungan Cost Slope Tambah Tenaga Kerja	m
Lampiran 14. Tahapan Kompresi Penambahan Tenaga Kerja	n
Lampiran 15. Perhitungan Cost Slope Tambah Jam Kerja (Lembur) 1 Jam	o
Lampiran 16. Perhitungan Cost Slope Penambahan Lembur 2 Jam	p
Lampiran 17. Perhitungan Cost Slope Penambahan Lembur 3 Jam	q
Lampiran 18. Tahapan Kompresi Tambah Jam Kerja (Lembur) 1 Jam	r
Lampiran 19. Tahapan Kompresi Tambah Jam Kerja (Lembur) 2 Jam	s
Lampiran 20. Tahapan Kompresi Tambah Jam Kerja (Lembur) 3 Jam	t
Lampiran 21. Foto Dokumentasi	u



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Suatu proyek merupakan rangkaian aktivitas temporer yang memiliki keterbatasan sumber daya dengan target pencapaian tertentu yang harus tuntas pada periode yang telah ditetapkan (Nagari et al., 2023). Karakteristik temporer ini, yang dikombinasikan dengan batasan anggaran, durasi, dan sumber daya, menuntut adanya tata kelola proyek yang efektif. Tata kelola proyek sendiri dapat didefinisikan sebagai pendekatan terstruktur yang mencakup proses perancangan, implementasi, pengawasan, serta evaluasi capaian guna memastikan penyelesaian proyek secara optimal dan efektif (Ralahallo et al., 2024).

Dalam praktiknya, dinamika pelaksanaan proyek kerap mengalami deviasi dari perencanaan awal. Ketika terjadi keterlambatan, strategi akselerasi menjadi krusial untuk menghindari sanksi finansial yang telah ditetapkan dalam kontrak. Strategi ini bertujuan mengoptimalkan durasi penyelesaian dengan meminimalkan pengeluaran tambahan sekaligus mengeliminasi risiko penalti akibat keterlambatan.

Berdasarkan kajian (Frederika, 2010), akselerasi proyek dapat diimplementasikan melalui berbagai pendekatan perpanjangan waktu kerja harian, pemanfaatan peralatan dengan produktivitas superior, augmentasi tenaga kerja, aplikasi material dengan instalasi lebih efisien, serta adopsi metodologi konstruksi yang lebih ekspedif. Dalam mengeksekusi strategi akselerasi tersebut, tim manajemen wajib melakukan kalkulasi cermat terhadap aspek finansial untuk memastikan efisiensi pengeluaran optimal tanpa mengompromikan standar kualitas yang telah ditetapkan.

Proyek Bendungan Cibeet Paket 1 merupakan Proyek Strategis Nasional dibawah Kementerian PUPR Balai Besar Wilayah Sungai Citarum. Progress sampai dengan tahun ke-2 pekerjaan adalah sebesar 4,742% dari rencana kontrak awal sebesar 30,870%. Permasalahan yang

dihadapi selama pelaksanaan proyek adalah masalah pembebasan lahan yang berpotensi mengakibatkan keterlambatan waktu pelaksanaan dari waktu yang telah ditentukan. Jika tidak ada upaya dilakukan maka diperkirakan proyek ini akan mengalami keterlambatan dan pembengkakan biaya juga penyedia jasa beresiko dikenakan denda. Untuk itu diperlukan pemecahan masalah waktu dan kontrol biaya terhadap penjadwalan pelaksanaan proyek. Salah satu metode untuk mengoptimalkan waktu dan meminimalkan biaya pelaksanaan adalah dengan metode *Least Cost Analysis*.

Studi ini mengimplementasikan pendekatan *Least Cost Analysis* sebagai instrumen optimalisasi parameter biaya dan durasi proyek. Aplikasi Microsoft Project 2019 dimanfaatkan untuk mengidentifikasi jalur kritis dalam jejaring aktivitas proyek, sementara kompresi durasi direalisasikan melalui teknik *Crashing* yang mengaplikasikan dua alternatif strategi: augmentasi personel dan ekstensifikasi jam operasional melalui kerja lembur. Pendekatan metodologis ini diarahkan untuk mencapai reduksi temporal yang optimal dengan meminimalisasi eskalasi biaya tambahan.

Implementasi akselerasi jadwal proyek secara inheren mengimplikasikan munculnya konsekuensi finansial tambahan yang diperlukan untuk mentransformasi ritme kerja dari kondisi standar menuju percepatan. Melalui analisis komprehensif ini, dapat teridentifikasi elemen-elemen aktivitas yang berkontribusi signifikan terhadap modifikasi jadwal, sekaligus mengkalkulasi magnitude investasi tambahan yang dibutuhkan untuk mencapai tingkat optimalisasi temporal yang maksimal dalam penuntasan proyek.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Berapa waktu dan optimal setelah penerapan metode *Least Cost Analysis* dengan penambahan jumlah tenaga kerja dan penambahan jam

kerja (lembur) 1 jam, 2 jam, dan 3 jam pada Proyek Bendungan Cibeet Paket 1?

2. Seberapa besar efisiensi biaya dan waktu yang dapat dicapai dengan penerapan metode *Least Cost Analysis* dengan ke-empat alternatif tersebut?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terfokus, terdapat beberapa batasan masalah yang diterapkan, yaitu:

1. Penelitian ini hanya menganalisis optimalisasi biaya dan waktu menggunakan metode *Least Cost Analysis*.
2. Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer yang diperoleh dari dokumen proyek Bendungan Cibeet Paket 1.
3. Analisis hanya dilakukan pada lingkup pekerjaan konstruksi utama yang berpengaruh terhadap biaya dan waktu penyelesaian proyek.

1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

1.4.1 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Untuk mengetahui berapa waktu yang paling optimal dan biaya paling minimal yang dibutuhkan dari hasil penerapan metode *Least Cost Analysis* dengan penambahan jumlah tenaga kerja dan penambahan jam kerja (lembur) 1 jam, 2 jam, dan 3 jam dalam optimalisasi biaya dan waktu pada Proyek Bendungan Cibeet Paket 1.
2. Untuk mengetahui berapa besar efisiensi biaya dan waktu yang dapat dicapai dengan metode ini.

1.4.2 Manfaat Penelitian

1. Bagi Praktisi Konstruksi
Memberikan wawasan dalam penerapan metode *Least Cost Analysis* untuk meningkatkan efisiensi proyek.

2. Bagi Akademisi

Menambah referensi penelitian terkait optimalisasi biaya dan waktu dalam proyek konstruksi.

3. Bagi Penyedia Jasa

Memberikan rekomendasi strategi dalam pengelolaan sumber daya yang lebih efisien.

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penyusunan makalah ini adalah sebagai berikut:

Bab I PENDAHULUAN

Bab ini menguraikan mengenai latar belakang, tujuan penulisan, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

Bab II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan mengenai teori dari studi pustaka yang dijadikan acuan dalam memecahkan permasalahan untuk selanjutnya diambil satu kesimpulan.

Bab III METODE PENELITIAN

Bab ini menguraikan mengenai metode penelitian, jenis penelitian, sumber data penelitian, tahapan penelitian dan bagan alir penelitian.

Bab IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan mengenai penyajian data, pengolahan data dan pembahasan data hasil penelitian.

Bab V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini menguraikan tentang hasil akhir penelitian berupa kesimpulan dan pembahasannya, serta saran untuk mendukung penelitian selanjutnya.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Optimalisasi Biaya dan Waktu

Proses optimalisasi parameter biaya dan durasi dalam konteks proyek konstruksi mencakup strategi penyesuaian distribusi sumber daya—meliputi personel, bahan konstruksi, peralatan, serta anggaran—dengan tujuan pencapaian hasil maksimal melalui efisiensi pembiayaan dan periode pelaksanaan, dengan tetap mempertahankan standar mutu yang telah ditetapkan.

Berdasarkan perspektif Kerzner, n.d. (2009), proses optimalisasi proyek mensyaratkan pertimbangan terhadap tiga dimensi fundamental: dimensi finansial (Cost) yang mencerminkan total pengeluaran untuk penuntasan proyek, dimensi temporal (Time) yang merepresentasikan periode pelaksanaan agar selaras dengan sasaran yang ditetapkan, serta dimensi mutu (Quality) yang merujuk pada kriteria pencapaian standar hasil proyek.

Dalam praktik optimalisasi parameter biaya dan durasi, pendekatan *Least Cost Analysis* (LCA) serta teknik Time-Cost Trade-Off (TCTO) kerap diaplikasikan sebagai instrumen analitis untuk mengidentifikasi konfigurasi optimal antara reduksi periode pelaksanaan dan efisiensi pembiayaan proyek.

2.1.1 Efisiensi Biaya

Efisiensi biaya didefinisikan sebagai kemampuan untuk mencapai hasil yang diinginkan dengan biaya paling rendah tanpa mengurangi kualitas (Heizer & Render, 2014). Menurut Horner et al. (1997), faktor-faktor yang mempengaruhi efisiensi biaya dalam proyek konstruksi meliputi:

a. Produktivitas tenaga kerja

Efisiensi tenaga kerja dalam menyelesaikan tugas sesuai jadwal akan meningkatkan efektivitas penggunaan biaya.

b. Penggunaan bahan dan alat yang optimal

Penggunaan material dan peralatan dengan kebutuhan dengan mengurangi lost material dan delay peralatan sesuai dapat berdampak besar terhadap anggaran proyek.

c. Manajemen keuangan yang baik

Pengelolaan keuangan yang baik dengan mengatur cashflow dapat mengurangi kemungkinan dikenakan bunga bank yang berpotensi menambah biaya proyek

d. Pengurangan pemborosan dan biaya tidak terduga

Pemantauan yang baik terhadap biaya-biaya tidak perlu dan biaya tidak terduga dapat mengurangi kemungkinan terjadinya kesalahan yang menyebabkan tambahan biaya.

2.1.2 Efektivitas Waktu

Efektivitas waktu adalah kemampuan proyek untuk mencapai target waktu yang telah ditetapkan dengan menghindari keterlambatan dan hambatan operasional (PMBOK, 2017).

Menurut Sambasivan & Soon (2007), faktor utama yang mempengaruhi efektivitas waktu dalam proyek konstruksi adalah:

- Perencanaan jadwal kerja yang matang
- Pengendalian proyek secara berkala
- Kesiapan tenaga kerja dan material
- Manajemen risiko keterlambatan

Beberapa strategi untuk meningkatkan efektivitas waktu dalam proyek konstruksi meliputi:

a. Perencanaan dan Penjadwalan yang Akurat

Menggunakan metode seperti CPM dan PERT untuk mengidentifikasi jalur kritis dan mengantisipasi potensi keterlambatan.

b. Pemanfaatan Teknologi Konstruksi

Menggunakan teknologi modern seperti Building Information Modeling (BIM) untuk perencanaan yang lebih efisien.

c. Optimalisasi Tenaga Kerja

Menyesuaikan jumlah tenaga kerja berdasarkan kebutuhan proyek agar tidak terjadi kekurangan atau kelebihan tenaga kerja yang menghambat kelancaran pekerjaan.

d. Manajemen Risiko yang Baik

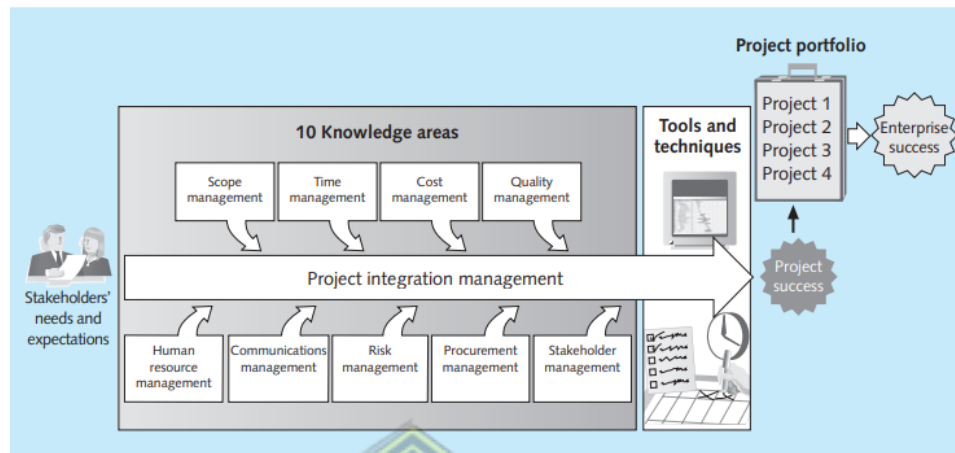
Mengidentifikasi potensi hambatan dan menerapkan strategi mitigasi risiko untuk menghindari keterlambatan proyek

2.2 Manajemen Proyek

Berdasarkan konsepsi Soeharto (1999), tata kelola proyek dapat didefinisikan sebagai serangkaian aktivitas sistematis yang mencakup proses perancangan, strukturisasi organisasional, kepemimpinan, serta pengawasan terhadap berbagai sumber daya organisasi dalam rangka merealisasikan sasaran-sasaran temporer yang telah diformulasikan sebelumnya. Sementara Aziz et al. (2022) mendefinisikan manajemen proyek sebagai sebuah proses atau upaya dalam mengelola dan mengatur kegiatan perusahaan dalam jangka waktu tertentu, dimana banyak faktor perlu dipertimbangkan untuk mencapai tujuan tersebut, mulai dari operasinal kerja hingga tim proyek, pengelolaan anggaran, dan alokasi sumber daya.

Menurut PMBOK® Guide (sebagaimana dikutip dalam Schwalbe, 2015:9), tata kelola proyek merupakan implementasi dari berbagai elemen pengetahuan, kompetensi teknis, instrumen kerja, serta metodologi terhadap rangkaian aktivitas proyek guna memastikan terpenuhinya spesifikasi yang telah ditetapkan. Pimpinan proyek dituntut untuk tidak sekadar mencapai target-target proyek yang meliputi parameter ruang lingkup, durasi, anggaran, dan standar mutu, tetapi juga berkewajiban untuk mengkoordinasikan keseluruhan proses agar dapat mengakomodasi kepentingan serta ekspektasi dari seluruh pemangku kepentingan yang

terlibat secara langsung maupun pihak-pihak yang terpengaruh oleh pelaksanaan proyek tersebut.



Gambar 1. *Project Management Framework*

Cakupan tata kelola proyek konstruksi mencakup berbagai dimensi fundamental yang menjadi prasyarat kelancaran implementasi proyek sesuai dengan rancangan yang telah ditetapkan. Dimensi-dimensi tersebut mengintegrasikan serangkaian tahapan yang dimulai dari fase pra-konstruksi dan berlanjut hingga fase pasca-konstruksi, dengan elaborasi komprehensif sebagaimana dideskripsikan berikut ini (PMI, 2017):

1. Perencanaan dan Desain

Fase perancangan dan desain merupakan tahapan inisial yang memiliki signifikansi vital dalam setiap pelaksanaan proyek konstruksi. Dalam fase ini dilakukan determinasi komprehensif terhadap berbagai elemen fundamental, mencakup definisi cakupan pekerjaan, formulasi rincian pembiayaan, distribusi sumber daya yang tersedia, serta penetapan jadwal penyelesaian yang sistematis.

2. Pengadaan dan Pengendalian Biaya

Pencapaian optimal dalam proses pengadaan ditentukan oleh tingkat efisiensi prosedural serta akurasi temporal, yang memungkinkan implementasi proyek tetap selaras dengan parameter anggaran dan kronologi yang telah diformulasikan. Aspek pengendalian finansial menjadi komponen fundamental dalam menjamin kontinuitas operasional proyek secara menyeluruh.

3. Pelaksanaan Proyek

Pimpinan proyek memiliki kewenangan untuk mengintegrasikan berbagai komponen operasional di area konstruksi, yang mencakup sumber daya manusia, sarana kerja, serta bahan bangunan. Dalam fase implementasi ini, seluruh aktivitas operasional perlu diatur melalui penjadwalan yang terperinci guna mengantisipasi risiko keterlambatan serta inefisiensi pemanfaatan sumber daya yang tersedia.

4. Pengawasan dan Pengendalian Kualitas

Aktivitas pengawasan proyek diarahkan untuk melakukan monitoring terhadap kemajuan pelaksanaan konstruksi, dengan tujuan memverifikasi kesesuaian implementasi terhadap parameter temporal dan finansial yang telah diformulasikan. Aspek pengendalian mutu menjadi instrumen esensial dalam memvalidasi bahwa produk akhir proyek telah memenuhi kriteria keselamatan serta spesifikasi fungsional yang dipersyaratkan.

5. Penutupan Proyek dan Pemeliharaan

Fase terminasi proyek merupakan tahapan kulminasi dalam siklus tata kelola proyek yang mengindikasikan tuntas-nya aktivitas konstruksi serta kesiapan transfer kepemilikan kepada pihak pemilik atau pengguna akhir. Dalam fase ini, pimpinan proyek mengeksekusi verifikasi komprehensif guna memastikan bahwa keseluruhan elemen pekerjaan telah terealisasi sesuai dengan parameter teknis yang telah diformulasikan sebelumnya.

2.3 Biaya Proyek

Soeharto (1999) menegolompokkan biaya proyek menjadi dua kelompok yaitu komponen Biaya Langsung (*direct cost*) dan komponen Biaya Tak Langsung (*indirect cost*). Yang dimaksud komponen *direct cost* dan *indirect cost* menurut (Putra & Hartati, 2017) adalah:

1. Biaya Langsung (*direct cost*)

Merupakan biaya yang ada hubungannya dengan konstruksi atau fisik pekerjaan antara lain belanja bahan/material, belanja upah buruh/tenaga kerja, dan belanja pemakaian alat.

2. Biaya Tak Langsung (*indirect cost*)

Merupakan biaya yang tidak berhubungan langsung dengan konstruksi atau fisik pekerjaan akan tetapi harus ada dan tidak bisa dipisahkan dari proyek, antara lain:

a. Biaya *overhead* proyek (dilapangan) yang terdiri dari:

- 1) Biaya personil lapangan
- 2) Fasilitas temporary proyek seperti biaya pembuatan kantor lapangan, gudang, penerangan, workshop, pagar proyek, biaya komunikasi, dan sewa kendaraan
- 3) Bank Garansi, bunga bank, biaya perizinan, dan pajak
- 4) Peralatan kecil yang habis pakai/dibuang setelah selesai proyek
- 5) Foto/video dokumentasi dan gambar kerja/jadi
- 6) Biaya uji mutu/kontrol kualitas (uji kuat tekan beton, uji kuat tarik besi beton, sondir, dan boring)
- 7) Biaya rapat di lapangan
- 8) Biaya survey/pengukuran

b. Biaya umum kantor (*overhead*) merupakan belanja operasional perusahaan dalam mengelola bisnis/usaha, seperti biaya maintenance kantor, gaji karyawan, izin usaha, biaya tender, surat dukungan bank.

3. Biaya tidak terduga

Merupakan Biaya Tak Langsung karena peristiwa yang bisa terjadi atau tidak, seperti demo warga, banjir, tanah longsor, kerusakan dan lainnya.

4. Profit (Laba)

Keuntungan tambahan (bonus) pada umumnya akan diperoleh dari owner sebagai apresiasi atas penyelesaian proyek yang lebih cepat dari target rencana dengan besaran sesuai kebijakan pemilik proyek.

Agregasi dari komponen biaya langsung dan biaya tidak langsung menghasilkan total pembiayaan yang diperlukan sepanjang periode implementasi proyek. Parameter durasi pelaksanaan proyek menjadi determinan utama dalam kalkulasi biaya keseluruhan. Kedua kategori biaya tersebut mengalami fluktuasi dinamis sejalan dengan progres temporal proyek. Pada umumnya, akumulasi pengeluaran tidak langsung

menunjukkan tren peningkatan yang proporsional terhadap perpanjangan periode pelaksanaan proyek (Soeharto, 1997).

2.4 Microsoft Project

Microsoft Project (MS Project) merupakan aplikasi tata kelola proyek yang diproduksi oleh Microsoft dengan fungsi utama memfasilitasi aktivitas perancangan, strukturisasi jadwal, distribusi sumber daya, serta monitoring pelaksanaan proyek. Aplikasi ini memiliki implementasi luas dalam berbagai domain industri meliputi konstruksi, teknologi informasi, manufaktur, dan sektor-sektor lainnya dengan tujuan optimalisasi efisiensi serta efektivitas dalam pengelolaan proyek (Schwalbe, 2015).

Berdasarkan perspektif (Fedrikson S, Mardewi Jamal, 2019), Microsoft Project dapat dikategorikan sebagai platform aplikasi pengolahan data proyek yang memungkinkan pengelolaan aktivitas proyek, ekstraksi informasi, serta visualisasi data dalam bentuk grafis. Dalam konteks metodologi pengelolaan proyek kontemporer, terdapat beberapa pendekatan yang telah teruji, mencakup CPM (Critical Path Method), PERT (Program Evaluation Review Technique), serta Gantt Chart.

Microsoft Project mengintegrasikan ketiga metodologi tersebut dalam satu platform terpadu. Aplikasi ini berfungsi sebagai instrumen pendukung dalam formulasi jadwal pelaksanaan proyek serta pemetaan keterkaitan antar-aktivitas dalam suatu rangkaian pekerjaan. Selain itu, Microsoft Project memfasilitasi proses dokumentasi dan supervisi pemanfaatan sumber daya, baik yang berbentuk tenaga kerja maupun sarana pendukung operasional (Khoni Eka Pratiwi, Fachriza Noor Abdi, 2020).

Ada 5 fungsi utama Microsoft Project meliputi:

1. **Perencanaan Proyek** – Menyusun Work Breakdown Structure (WBS), menentukan tugas-tugas proyek, dan menetapkan durasi kerja.
2. **Penjadwalan** – Menyediakan fitur seperti diagram Gantt dan Critical Path Method (CPM) untuk mengatur timeline proyek.

3. **Alokasi Sumber Daya** – Mengelola tenaga kerja, material, dan biaya proyek untuk memastikan efisiensi.
4. **Pemantauan dan Pengendalian** – Menampilkan progress proyek secara real-time dan membandingkannya dengan baseline proyek.
5. **Pembuatan Laporan** – Menyediakan fitur pelaporan otomatis untuk analisis kinerja proyek.

Aplikasi Microsoft Project menyediakan berbagai opsi tampilan antarmuka, dengan Gantt Chart View ditetapkan sebagai tampilan standar yang secara otomatis muncul ketika pengguna membuka dokumen proyek baru (Setiawan et al., 2020).

2.5 Project Crashing

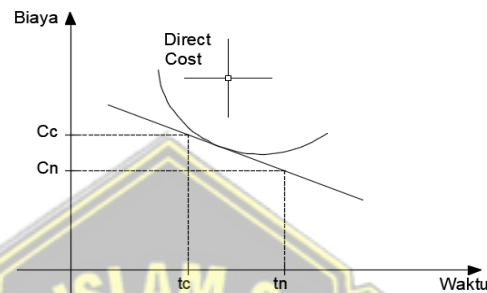
Teknik *Crashing* merupakan pendekatan strategis dalam tata kelola proyek yang bertujuan mengakselerasi periode penyelesaian melalui augmentasi sumber daya atau peningkatan produktivitas pada aktivitas-aktivitas yang berada dalam jalur kritis, dengan tetap mempertahankan standar mutu yang telah ditetapkan (Kerzner, 2017). Terminologi *crash time* merujuk pada durasi minimal yang secara realistis dapat dicapai untuk penyelesaian suatu aktivitas tertentu. Sementara itu, *crash cost* didefinisikan sebagai total biaya langsung yang diperlukan untuk menuntaskan aktivitas tersebut dalam periode *crash time* (Ningrum et al., 2017).

Untuk menerapkan *crashing* dalam proyek, beberapa strategi umum yang dapat digunakan meliputi: (Soeharto, 1999)

1. Menambah tenaga kerja pada aktivitas kritis.
2. Lembur (overtime) untuk mempercepat penyelesaian tugas.
3. Penggunaan alat atau teknologi yang lebih baik.
4. Subkontraktor tambahan untuk menangani sebagian pekerjaan.

Project crashing dilakukan dengan menukar silang waktu dan biaya, yaitu dengan mengadakan shift kerja, menambah jumlah jam kerja, jumlah tenaga kerja, dan material yang tersedia, serta menggunakan peralatan yang lebih efisien dengan teknik pemasangan yang lebih cepat sebagai komponen Biaya Langsung (Husen, 2011).

Konsekuensi dari implementasi *project crashing* adalah terjadinya eskalasi pada komponen Biaya Langsung (*Direct Cost*) proyek. Dalam konteks ini, realokasi sumber daya dari aktivitas non-kritis menuju aktivitas kritis dapat menghasilkan optimalisasi yang signifikan. Proses transfer sumber daya tersebut memiliki batasan hingga mencapai tingkat saturasi tertentu, yang memungkinkan pencapaian hasil maksimal dari strategi percepatan ini.



Gambar 2. Korelasi Waktu dan Biaya dengan Biaya Langsung

Sumber: (Putra & Hartati, 2017)

Dimana :

C_c = Biaya yang dipercepat

C_n = Biaya normal

T_n = Waktu normal

T_c = Waktu yang dipercepat

Berdasarkan representasi grafis tersebut, dapat diilustrasikan bahwa ketika durasi penyelesaian proyek melampaui periode normal ($t > t_n$), terjadi keterlambatan proyek yang mengakibatkan peningkatan biaya sebagai dampak dari Biaya Langsung, dimana pemanfaatan sumber daya menjadi tidak optimal. Sebaliknya, dalam kondisi akselerasi dimana periode penyelesaian lebih singkat dari durasi normal ($t < t_n$), terjadi pula eskalasi biaya yang disebabkan oleh augmentasi kuantitas sumber daya sesuai kebutuhan operasional.

Untuk mencapai kondisi optimal tersebut, strategi *project crashing* diimplementasikan pada aktivitas-aktivitas yang teridentifikasi dalam jalur kritis. Terminologi *Cost slope* merujuk pada tambahan Biaya Langsung yang diperlukan untuk mengeksekusi akselerasi pada setiap aktivitas per unit waktu. Kalkulasi *Cost slope* dapat diformulasikan melalui persamaan berikut ini (Kumara et al., 2024):

$$Cost\ Slope = \frac{Cc - Cn}{Tn - Tc}$$

Dimana :

Cc = Biaya yang dipercepat

Cn = Biaya normal

Tn = Waktu normal

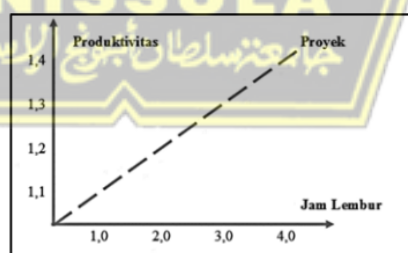
Tc = Waktu yang dipercepat

2.5.1 Percepatan Waktu Penyelesaian Kegiatan (Crash Duration)

Salah satu pendekatan strategis untuk mengakselerasi periode penuntasan proyek adalah melalui augmentasi personel serta ekstensifikasi jam operasional dalam bentuk kerja lembur. Strategi augmentasi personel diimplementasikan dengan mengkalkulasi kuantitas tenaga kerja tambahan yang diperlukan untuk mereduksi durasi pelaksanaan.

Implementasi ekstensifikasi jam kerja melalui sistem lembur menjadi opsi yang prevalensi tinggi karena mengoptimalkan utilisasi sumber daya manusia yang telah tersedia di lokasi proyek, sekaligus memungkinkan efisiensi alokasi biaya tambahan yang harus diinvestasikan oleh pihak kontraktor.

Periode kerja standar bagi personel ditetapkan selama 8 jam operasional (dimulai pada pukul 08.00 hingga pukul 17.00 dengan alokasi satu jam untuk rehat), sementara implementasi jam lembur dieksekusi pasca berakhirnya periode kerja reguler tersebut.



Gambar 3. Grafik Indikasi Penurunan Produktivitas Akibat Penambahan Jam Kerja

(Sumber: Soeharto, 1999)

Dari uraian di atas dapat ditulis sebagai berikut ini:

1. Produktivitas Harian

$$\frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Durasi normal}} \dots\dots\dots (1)$$

2. Produktivitas Perjam

$$\frac{\text{Produktifitas Harian}}{\text{Jam Kerja Perhari}} \dots\dots\dots(2)$$

3. Produktivitas Harian sesudah *Crashing*

$$(\text{Jam kerja perharixProduktivitas perjam}) + (\text{axbixProduktivitas perjam}) \dots\dots\dots(3)$$

dimana:

a = lama penambahan jam kerja (lembur)

b = koef penurunan produktivitas akibat tambahan jam kerja (lembur)

Nilai koefisien penurunan produktivitas tersebut dapat dilihat pada Tabel berikut:

Tabel 1. Koefisien Penurunan Produktivitas

Jam Lembur	Penurunan Indeks Produktivitas	Prestasi Kerja (%)
1 Jam	0,1	90
2 Jam	0,2	80
3 Jam	0,3	70

4. Durasi Percepatan

$$\frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Harian Percepatan}} \dots\dots\dots(4)$$

2.5.2 Biaya Tambahan Penambahan Tenaga Kerja (Crash Cost)

Besarnya penambahan tenaga kerja yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut:

1. Perhitungan Jumlah Tenaga Kerja

$$\frac{\text{Koef.analisa x Volume pekerjaan}}{\text{Durasi normal}} \dots\dots\dots(1)$$

2. Produktivitas Harian Normal

$$\frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Durasi normal}} \dots\dots\dots(2)$$

3. Produktifitas Tenaga Kerja

$$\frac{\text{Produktifitas harian normal}}{\text{Jumlah tenaga kerja normal}} \dots\dots\dots(3)$$

4. *Crashing*

a. Penentuan Jumlah tenaga Kerja Percepatan

$$(\text{25\% jumlah tenaga normal}) + \text{jumlah tenaga kerja normal} \dots\dots\dots(4)$$

b. Produktivitas harian percepatan

$$\text{Jumlah tenaga kerja crash x produktifitas tenaga kerja normal} \dots\dots\dots(5)$$

c. Durasi Percepatan

$$\frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktifitas harian crash}} \dots\dots\dots(6)$$

d. Biaya percepatan perhari

$$\text{Produktifitas harian crash} \times \text{harga satuan pekerja} \dots\dots\dots(7)$$

e. Total biaya percepatan

$$\text{Biaya normal} + (\text{biaya crash per hari} \times \text{durasi crash}) \dots\dots\dots(8)$$

2.5.3 Biaya Tambahan Pekerja Lembur (Crash Cost)

Ekstensifikasi periode kerja mengakibatkan eskalasi pembiayaan tenaga kerja yang melampaui tarif standar operasional. Mengacu pada Keputusan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi Republik Indonesia Nomor KEP. 102/MEN/VI/2004, kompensasi untuk perpanjangan waktu kerja memiliki struktur yang bervariasi.

Untuk perpanjangan durasi kerja pada jam pertama, personel berhak memperoleh kompensasi sebesar 1,5 kali dari tarif per jam reguler, sedangkan untuk jam-jam perpanjangan berikutnya, kompensasi meningkat menjadi 2 kali lipat dari tarif per jam standar. Formulasi matematis untuk mengkalkulasi biaya suplementer tenaga kerja dapat diekspresikan melalui persamaan berikut:

1. Menghitung upah kerja perhari normal

$$\text{Produktifitas perhari} \times \text{harga satuan} \dots\dots\dots(1)$$

2. Menghitung upah kerja perjam normal

$$\text{Produktifitas perjam} \times \text{harga satuan} \dots\dots\dots(2)$$

3. Menghitung upah kerja lembur untuk 1 hari = 1.5 x upah kerja perjam normal (untuk penambahan jam kerja pertama + 2 x n x upah kerja perjam normal (untuk penambahan jam kerja berikutnya), dengan :
n = jumlah penambahan jam kerja (lembur)

4. Menghitung crash cost pekerja perhari

$$(\text{Jam kerja perhari} \times \text{Normal cost pekerja}) + \text{Upah kerja lembur} \dots\dots\dots(3)$$

5. Menghitung crash cost total

$$\text{crash cost pekerja} \times \text{crash duration} \dots\dots\dots(4)$$

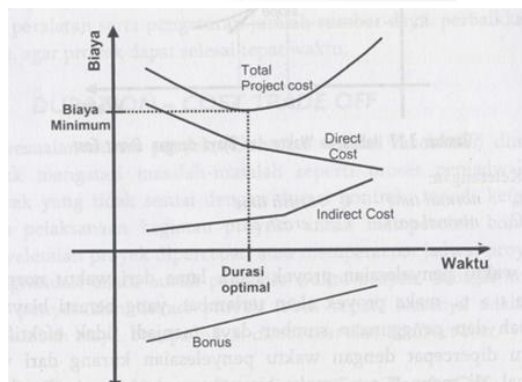
2.6 Metode *Least Cost Analysis*

Least cost analysis adalah suatu analisis untuk menentukan durasi proyek yang ideal, yaitu durasi yang memiliki biaya total proyek terendah. Menurut analisis ini, Biaya Langsung sering kali meningkat dan Biaya Tak Langsung akan turun jika jangka waktu proyek dipersingkat. Bonus sering kali dianggap sebagai bentuk apresiasi dari pemilik proyek jika dapat mempersingkat waktu penyelesaian proyek (Husen, 2009).

Berdasarkan konsepsi Siswanto (sebagaimana dikutip dalam Fedrikson, Jamal & Abdi 2019:22), metode *least cost* merupakan pendekatan sistematis dalam penyusunan tabel inisial melalui proses alokasi distribusi komoditas dari titik asal menuju destinasi, dengan prioritas implementasi dimulai dari sel yang memiliki nilai biaya distribusi terendah.

Implementasi *Least Cost Analysis* memungkinkan identifikasi deviasi temporal dalam pelaksanaan proyek, sehingga strategi akselerasi dapat diaplikasikan melalui kompresi durasi aktivitas-aktivitas proyek yang berkontribusi terhadap reduksi periode pelaksanaan secara menyeluruh. Proses akselerasi durasi aktivitas secara inheren akan menghasilkan dampak berantai terhadap aktivitas-aktivitas terkait, yang pada akhirnya mempengaruhi agregat pembiayaan proyek.

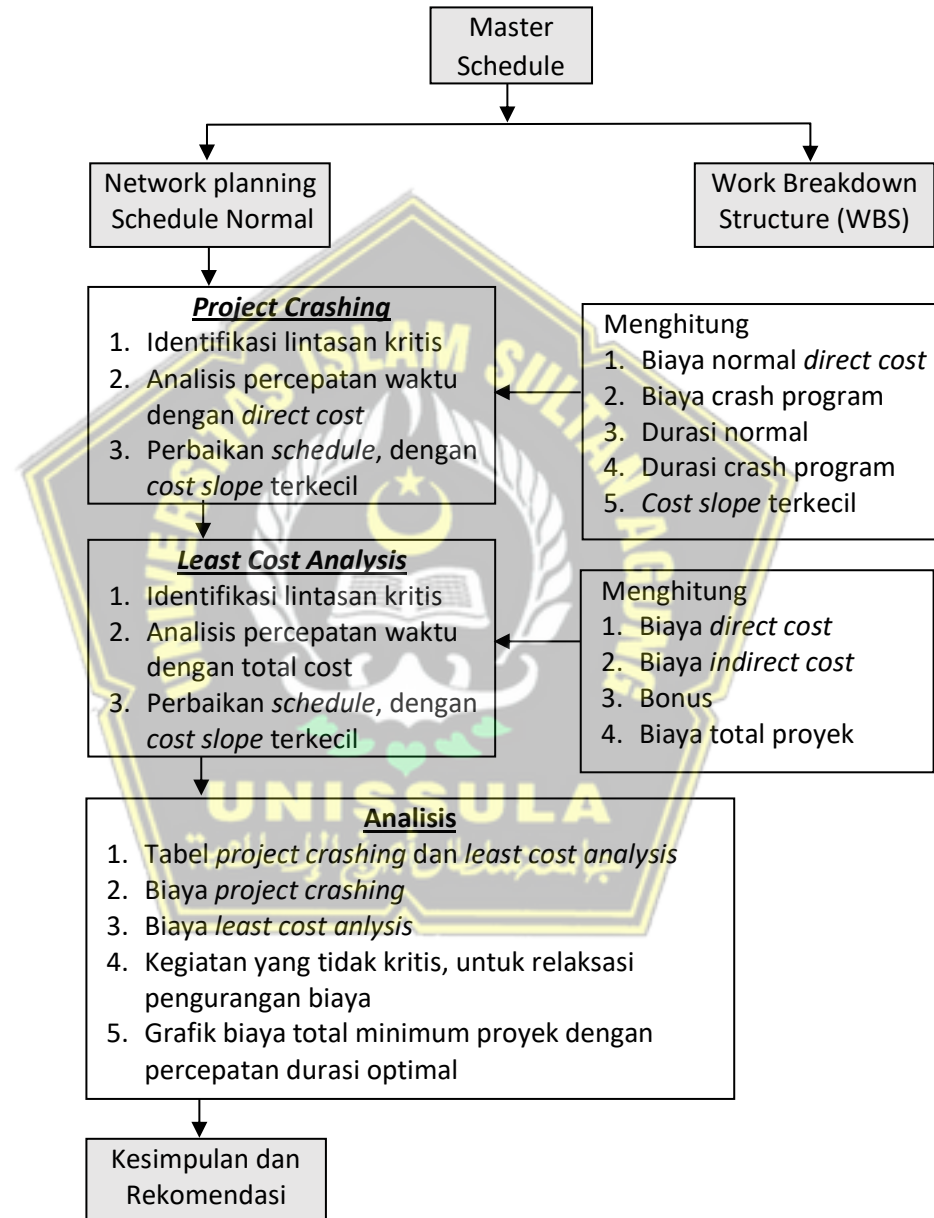
Dalam konteks revisi jadwal menggunakan metodologi ini, biaya tambahan yang muncul sebagai konsekuensi dari pertukaran antara parameter biaya dan akselerasi temporal merupakan total biaya yang tergambar dalam ilustrasi berikut:



Gambar 4. *Total Project Cost*

Sumber: (Husen, 2009)

Ilustrasi tersebut mendemonstrasikan bahwa agregat pembiayaan proyek dikalkulasi melalui penjumlahan *Direct Cost* dan *Indirect Cost* dikurangi komponen *Bonus*. Nilai optimal yang diadopsi merupakan nominal pembiayaan proyek terendah, yang menghasilkan periode pelaksanaan lebih singkat sebagai luaran dari implementasi *Least Cost Analysis*.



Gambar 5. Diagram Alir Proses Duration Cost Trade-Off

Sumber: (Husen, 2009)

Apabila keluaran sistem informasi menunjukkan adanya deviasi dari parameter standar yang telah diformulasikan, langkah korektif yang perlu diimplementasikan mencakup modifikasi pendekatan eksekusi, alokasi anggaran tambahan untuk augmentasi sumber daya manusia, sarana operasional, dan material konstruksi, revisi kronologi pelaksanaan, serta penyesuaian standar kualitas pekerjaan agar selaras dengan kriteria teknis yang telah dipersyaratkan.

Langkah-langkah dalam melakukan metode *Least Cost Analysis* adalah sebagai berikut (Riza & Witjaksana, 2022):

1. Mendata rencana awal durasi dan biaya tiap aktivitas (kondisi normal)

Tahapan ini merupakan proses pendokumentasian parameter durasi awal serta estimasi biaya untuk setiap aktivitas yang akan menjadi objek implementasi *crashing*.

2. Membuat diagram jaringan jadwal proyek pembangunan

Pembuatan diagram jaringan diimplementasikan menggunakan pendekatan Network Planning untuk aktivitas-aktivitas yang menjadi target akselerasi.

3. Menentukan jalur kritis

Jalur kritis ditandai dengan nilai float=0 pada setiap kegiatannya.

4. Menentukan daftar kegiatan yang akan dilakukan *crashing*

Aktivitas-aktivitas yang menjadi kandidat implementasi *Crashing* merupakan elemen-elemen pekerjaan yang teridentifikasi dalam lintasan kritis proyek.

5. Mendata estimasi durasi dan biaya setiap kegiatan dalam kondisi *crash*

6. Menghitung nilai *Cost Slope*

Cost Slope dapat didefinisikan sebagai rasio yang dihasilkan dari pembagian antara perbedaan biaya pada kondisi percepatan maksimal (*crash*) dengan kondisi standar (*normal*), terhadap perbedaan durasi antara kondisi standar dengan kondisi percepatan maksimal tersebut.

$$\frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}} \dots\dots\dots(1)$$

7. Melakukan *crashing* secara bertahap

Kegiatan yang akan dilakukan *crashing* harus dimulai dari nilai *cost slope* yang terkecil.

8. Menentukan titik optimal *crashing*

Titik optimum dalam strategi *crashing* merupakan kondisi dimana total pembiayaan proyek mencapai nilai minimal. Total pembiayaan ini mencakup keseluruhan komponen biaya proyek yang timbul pasca implementasi strategi *crashing*.

Sebagai konklusi, implementasi akselerasi durasi proyek melalui strategi *project crashing* mensyaratkan alokasi anggaran suplemen sebagai konsekuensi finansial. Tahapan inisial melibatkan augmentasi Biaya Langsung untuk merevisi jadwal pada aktivitas-aktivitas jalur kritis. Selanjutnya, tahapan kedua mengimplementasikan analisis biaya minimal (*least cost analysis*) melalui kalkulasi agregat pembiayaan proyek, bersamaan dengan optimalisasi jadwal pada lintasan kritis tersebut. Berikut adalah rumus total biaya proyek dengan metode *Least Cost Analysis*:

$$\text{Direct Cost} + \text{Indirect Cost} - \text{Bonus} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana :

Direct cost = Biaya Langsung,

Indirect cost = Biaya Tak Langsung,

Metode *Least Cost Analysis* kemudian digunakan untuk membandingkan biaya tambahan yang diperlukan dengan manfaat waktu yang didapat dari percepatan tersebut, guna memperoleh biaya total proyek yang paling efisien.

Faktor-faktor yang mempengaruhi efektivitas penggunaan metode *Least Cost Analysis* dalam proyek konstruksi antara lain:

1. **Data yang Akurat:** Ketersediaan data yang akurat tentang biaya, waktu, dan sumber daya sangat penting dalam penerapan LCA.
2. **Metode Pelaksanaan Proyek:** Strategi pelaksanaan proyek yang efisien akan berdampak pada efektivitas metode LCA.

3. **Kondisi Lingkungan dan Regulasi:** Faktor eksternal seperti regulasi pemerintah dan kondisi lingkungan dapat mempengaruhi hasil analisis biaya terendah.

2.7 Penelitian Terdahulu tentang *Least Cost Analysis*

Penelitian tentang *Least Cost Analysis* banyak yang sudah melakukan, review beberapa penelitian terdahulu terdapat pada tabel berikut:

Tabel 2. Daftar Penelitian Terdahulu.

No	Judul	Peneliti dan Tahun	Tujuan	Metode Riset	Hasil Riset
1	Analisis Percepatan Pelaksanaan dengan Menambah Jam Kerja Optimum pada Proyek Konstruksi (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Super Villa, Peti Tenget-Badung)	(Frederika, 2010)	Untuk mendapatkan biaya dan waktu optimum dengan penambahan jam kerja	metode Time Cost Trade Off Analysis	Waktu dan biaya optimum diperoleh pada penambahan dua jam kerja dengan pengurangan waktu 14 hari dan penambahan biaya Rp 700.377,35
2	Optimalisasi Waktu Dan Biaya Menggunakan Metode <i>Least Cost Analysis</i> Pada Proyek Peningkatan Jalan Lingkar Kota Dumai	(Putra & Hartati, 2017)	1. Menentukan kegiatan kritis 2. Menentukan perpendekan waktu dan total biaya 3. Mencari durasi paling optimal dengan biaya total paling minimum	Metode CPM, Project Crashing, Metode <i>Least Cost Analysis</i>	Biaya yang minimum terjadi pada pemendekan durasi selama 21 hari & biaya turun sebesar Rp 7.320.429,02 atau 0,08%
3	Optimalisasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan	(Fedrikson S, Marde)	Untuk mengoptimalkan	<i>Least Cost Analysis</i>	Persentase percepatan waktu

	Proyek pada Proyek dengan Metode <i>Least Cost analysis</i> (Studi Kasus : Gedung Badan Kepegawaian Daerah Provinsi Kalimantan Timur)	wi Jamal, 2019)	waktu dan biaya proyek		penyelesaian proyek sebesar 18,94 % dan persentase pengurangan biaya sebesar 1,30%.
4	Optimalisasi Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek Menggunakan Metode <i>Least Cost Analysis</i> (Studi Kasus : Pembangunan Pasar Amlapura Barat)	(Dewi et al., 2020)	Menganalisis waktu dan biaya optimum dengan melakukan penambahan tenaga kerja	Metode <i>Least Cost Analysis</i>	Kompresi optimum diperoleh pada pengurangan durasi selama 52 hari dengan biaya total sebesar Rp11.759.553.889
5	Optimalisasi Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek dengan Metode <i>Least Cost Analysis</i> (Studi Kasus : Proyek Lanjutan SDN 017 Samarinda)	(Khoni Eka Pratiwi, Fachriz a Noor Abdi, 2020)	Untuk mendapatkan waktu dan biaya optimum dengan melakukan penambahan tenaga kerja	Metode Presedence Diagram Method (PDM), microsoft Project 2013, & <i>Least Cost Analysis</i>	Waktu percepatan sebesar 6 hari atau efisiensi waktu proyek sebesar 3,33 % dan biaya optimal dengan penambahan biaya sebesar Rp 10.299.044 atau ada efisiensi biaya sebesar atau 0,23%
6	Optimalisasi Biaya & Waktu Pekerjaan pada Saluran Pelimpah (Spillway) dengan Menggunakan Metode <i>Least cost Analysis</i> (Studi Kasus Proyek Pembangunan Bendungan	(Setiawan et al., 2020)	Mendapatkan titik optimal hubungan antara waktu dengan biaya proyek, sehingga diperoleh biaya yang minimum untuk	Microsoft Project 2019, diagram CPM, <i>Crashing & Least Cost Analysis</i>	Waktu dan biaya optimum pada penambahan jumlah tenaga kerja yaitu 922 hari dengan biaya total 123.787.319.959,04. Persentase percepatan

	Tapin, Desa Pipitak Jaya, Kalimantan Selatan)		mempersingkat waktu pelaksanaan proyek		waktu penyelesaian proyek adalah 15,49% dan persentase pengurangan biaya adalah 0,78%
7	Analisa Biaya dan Waktu Menggunakan Metode <i>Least Cost Analysis</i> pada Proyek Pembangunan Gedung Ruang Kelas Baru Kota Surabaya	(Riza & Witjakana, 2022)	Memperoleh hasil hubungan yang optimal antara waktu dengan biaya proyek pembangunan	metode <i>Least Cost Analysis</i>	Waktu optimal pengurangan waktu selama 4 hari kerja dari semula 165 hari menjadi 161 hari atau sebesar 2,42% dan terjadi pengurangan biaya sebesar Rp 2.420.492 atau 0,04%
8	Tinjauan Optimalisasi Waktu dan Biaya pada Proyek Konstruksi Pembangunan Gedung Laboratorium Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Padang Menggunakan <i>Software</i> Microsoft Project	(Sulasti & Giatman, 2022)	Untuk mengetahui waktu dan penambahan biaya optimum pada proyek pembangunan gedung Laboratorium FIS UNP dengan penambahan jam kerja (lembur)	<i>Software</i> Microsoft Project, <i>Crashing</i> Program	Waktu dan biaya optimal terjadi pada penambahan 2 jam kerja sehingga terjadi pengurangan waktu 18 hari dan penambahan biaya upah sebanyak Rp 138.939.507,01
9	Optimasi Penjadwalan Prouek Konstruksi Menggunakan Metode Least Cost Scheduling	(Rahmawati et al., 2022)	1. Untuk mengetahui biaya dan durasi yang dibutuhkan, 2. perbandingan antara biaya normal proyek dan	Metode Least Cost Analysis.	Percepatan durasi selama 10 hari Dan terjadi penambahan biaya percepatan sebesar Rp 551,012,642.64 sehingga berdasarkan

			biaya percepatan proyek serta kelayakannya setelah dilakukan percepatan		efisiensi maka proyek tersebut tidak layak untuk dilakukan percepatan.
10	Penerapan Metode Earned Value Analysis Terhadap Waktu Penjadwalan (Studi Kasus: Pembangunan Gedung Ruang Kelas Baru (RKB) pada Madrasah Aliyah Negeri (MAN) Kab. Karawang	(Janizar, 2023)	Mengetahui dan menambah wawasan tentang pengendalian biaya dan waktu	Nilai Hasil (Earned Value Analysis)	Waktu penyelesaian pekerjaan sudah sesuai dengan rencana pekerjaan sehingga pekerjaan dapat selesai sesuai dengan jadwal
11	Penggunaan Aplikasi Microsoft Project untuk Analisa Waktu dengan Metode Precedence Diagram Method (PDM)	(Itu et al., 2023)	Mengetahui bagaimana mempercepat waktu pelaksanaan proyek serta perbandingan waktu	Precedence Diagram Method (PDM)	percepatan waktu pelaksanaan proyek selama 18 hari kalender.
12	Penerapan Metode <i>Least Cost Analysis</i> Guna Mendapatkan Biaya dan Durasi Optimum Pada Proyek yang Terlambat	(Kumara et al., 2024)	Mencari biaya dan waktu optimum untuk penyelesaian pekerjaan sisa dengan melakukan penambahan tenaga kerja	<i>crashing</i> duration dan metode <i>Least Cost Analysis</i>	Durasi optimal terjadi setelah proyek dipercepat 19 hari. Percepatan durasi proyek ini menghasilkan penghematan biaya sebesar Rp 18.428.493,93
13	Optimasi Waktu dan Biaya pada Pembangunan Rumah Sakit	(Suryadi, 2024)	Menganalisis waktu dan biaya yang paling optimal	<i>Crashing</i> , <i>overlapping</i> , dan kombinasi	Hasil analisa terjadi pengurangan durasi selama 49 hari dengan

	Brondong-Lamongan			si <i>Crashing</i> - Overlapp ing	pengurangan biaya Rp 291.484.666,67 atau 1,152%
14	Analisis Optimalisasi Biaya Pengiriman dengan Menggunakan Metode Least Cost pada PT Sinarmas Logistik Indonesia	(Firma nsya, Indra et al., 2025)	Memastikan optimalisasi biaya pengiriman	Metode <i>Least Cost Analysis</i> dengan <i>software</i> POM QM	Hasil analisis dengan <i>software</i> POM QM diperoleh biaya pengiriman optimal sebesar Rp 363.381.900.
15	Optimalisasi Biaya dan Waktu dengan Menggunakan <i>Least Cost Analysis</i> pada Proyek Gedung Proklamasi, Jakarta	(Devari , DA. et al., 2024)		Metode <i>Least Cost Analysis</i>	Dengan penambahan jam kerja sebanyak 3 jam menghasilkan kombinasi waktu dan biaya terbaik yaitu 288 hari dengan biaya Rp 22.960.910.069 sehingga terjadi percepatan waktu sebesar 4% dan penurunan biaya sebesar 2,8%

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Tinjauan Umum

Metodologi penelitian merupakan pendekatan sistematis dalam perolehan data yang bertujuan untuk mendeskripsikan, memvalidasi, mengembangkan, serta menemukan konsep pengetahuan dan kerangka teoretis guna memfasilitasi pemahaman, resolusi permasalahan, serta antisipasi terhadap berbagai tantangan dalam konteks kehidupan masyarakat (Sugiyono, 2010).

Bagian ini mengeksplorasi metodologi yang diimplementasikan dalam kajian kasus tersebut. Pembahasan metodologi penelitian mencakup elaborasi mengenai pendekatan metodologis yang dipilih, identifikasi sumber beserta kategorisasi data, serta teknik analisis data yang diaplikasikan.

3.2 Jenis Penelitian

Penelitian tesis ini menerapkan pendekatan deskriptif-analitis, yang melibatkan proses pemaparan sistematis terhadap data yang terkumpul serta pengintegrasian berbagai elemen informasi untuk memperoleh pemahaman komprehensif mengenai validitas suatu fenomena. Melalui pendekatan ini, dapat dihasilkan perspektif baru atau penguatan terhadap konsepsi yang telah eksis sebelumnya (Ishaq, 2017).

3.3 Sumber Data Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan dua kategori sumber data: data primer yang diekstraksi secara langsung dari lokasi penelitian, serta data sekunder yang merupakan produk analisis melalui aplikasi Microsoft Project dan komputasi menggunakan Excel.

3.4 Instrumen Penelitian

Dalam penelitian ini beberapa instrumen penting yang diperlukan untuk mengumpulkan, menganalisis, dan menyimpulkan data secara akurat sebagai berikut:

1. Data dan Informasi Dasar

Sebelum melakukan analisis, perlu dikumpulkan data awal meliputi Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk mengetahui biaya masing-masing item pekerjaan, Jadwal Proyek (Time Schedule) untuk mengetahui urutan dan durasi pekerjaan, Analisa Harga Satuan Pekerjaan untuk mengetahui produktivitas tenaga kerja dan peralatan per jam atau per hari, Laporan Bulanan untuk mengetahui progress kemajuan pekerjaan dan Laporan Keuangan untuk mengetahui realisasi biaya yang terjadi berupa Biaya Langsung dan Biaya Tidak Langsung.

2. Teknik Pengumpulan Data

Untuk mendapatkan data yang akurat, beberapa metode pengumpulan data berikut bisa digunakan:

- a. **Observasi Lapangan**, mengevaluasi langsung kondisi proyek, kinerja tenaga kerja, dan efektifitas waktu.
- b. **Wawancara**, meminta informasi kepada Project Manager, engineer, atau tenaga kerja tentang kendala biaya dan waktu.
- c. **Dokumentasi Proyek**, melihat laporan proyek sebelumnya, laporan keuangan, dan dokumen kontrak.

3. Metode Perhitungan dan Perangkat Analisis

Setelah data terkumpul, diperlukan alat analisis untuk mengolah dan menginterpretasikan hasilnya:

- a. **Microsoft Project**, untuk jaringan kerja durasi normal dan mengetahui kegiatan yang dilalui oleh lintasan kritis yang akan dioptimasi.
- b. **Microsoft Excel**, untuk menghitung dan membuat perbandingan biaya serta waktu secara otomatis.
- c. **Metode Least Cost Analysis (LCA)**, digunakan untuk mencari solusi kombinasi biaya terendah dan durasi optimal berdasarkan data yang dikumpulkan.

3.5 Tahapan Penelitian

Tahapan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan sebagai berikut :

1. Tahap Persiapan

Fase ini diinisiasi dengan identifikasi problematika yang menjadi fokus kajian penelitian, mencakup elaborasi konteks permasalahan, formulasi pertanyaan penelitian, penetapan objektif studi, serta delineasi batasan-batasan penelitian.

2. Tahap Pengumpulan Data

Fase pengumpulan data ini melibatkan kompilasi keseluruhan dokumen yang diperlukan untuk mengeksekusi kalkulasi menggunakan pendekatan *Least Cost Analysis*, yang mencakup berbagai dokumentasi proyek antara lain Rencana Anggaran Biaya, Jadwal Pelaksanaan, Analisis Harga Satuan Pekerjaan, Laporan Progres Bulanan, serta Laporan Finansial Proyek.

3. Tahap Pengolahan Data

Pada tahapan ini data-data yang sudah terkumpul diolah, dengan tahapan:

- a. Microsoft Project

Data berupa *time schedule* dan laporan progress pekerjaan diolah menggunakan bantuan *software* Microsoft Project 2019 untuk mendapatkan jaringan kerja durasi normal dan mengetahui kegiatan yang dilalui oleh lintasan kritis.

- b. Project *Crashing*

Kegiatan-kegiatan pada lintasan kritis selanjutnya dilakukan percepatan menggunakan metode *Crashing* dengan melakukan analisis durasi dan biaya percepatan sehingga diperoleh *crash duration*, *crash cost*, *crash cost total* dan untuk selanjutnya dilakukan perhitungan *cost slope*.

- c. Metode *Least Cost analysis*

Metode terakhir yaitu melakukan tahap kompresi menggunakan metode *Least Cost Analysis* dimulai dari *cost slope* terendah sampai diperoleh kombinasi biaya dan waktu yang paling optimal (Devari et al., 2024).

4. Tahap Hasil dan Pembahasan

Fase ini merupakan elemen sentral dalam penelitian, dimana data-data yang telah terhimpun kemudian diproses melalui tahapan analisis sistematis.

5. Tahap Kesimpulan dan Saran

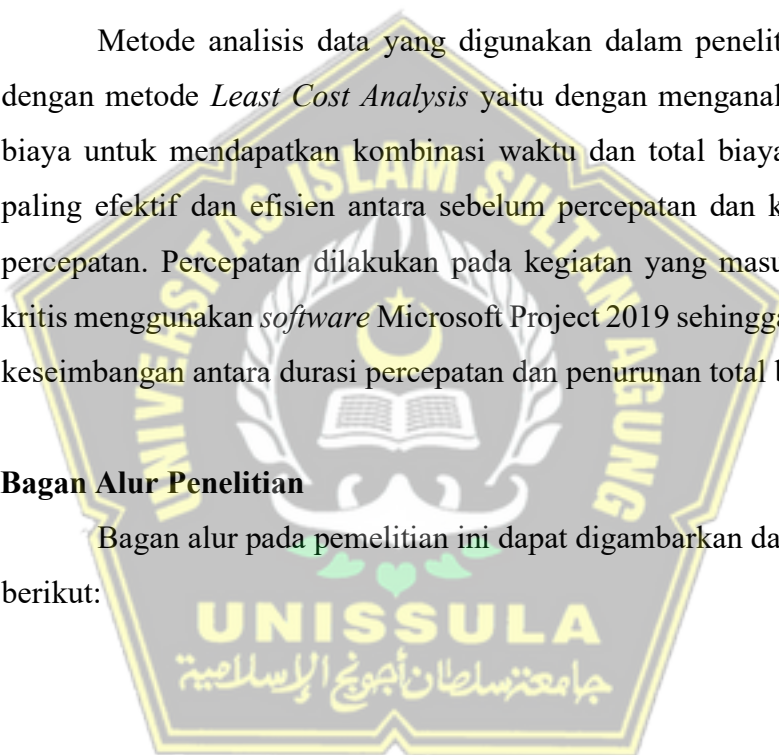
Tahapan ini merupakan kesimpulan dari hasil dan pembahasan pada bab sebelumnya disertai saran-saran yang diperlukan sebagai masukan bagi penelitian berikutnya.

3.6 Metode Analisis Data

Metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode *Least Cost Analysis* yaitu dengan menganalisa waktu dan biaya untuk mendapatkan kombinasi waktu dan total biaya proyek yang paling efektif dan efisien antara sebelum percepatan dan kondisi setelah percepatan. Percepatan dilakukan pada kegiatan yang masuk dalam jalur kritis menggunakan *software* Microsoft Project 2019 sehingga dapat dicapai keseimbangan antara durasi percepatan dan penurunan total biaya.

3.7 Bagan Alur Penelitian

Bagan alur pada penelitian ini dapat digambarkan dalam flowchart berikut:





Gambar 6. Bagan Alur Penelitian

BAB IV

PEMBAHASAN

4.1 Data Lapangan

Data lapangan yang diperoleh pada saat pelaksanaan proyek pembangunan Bendungan Cibeet Paket 1 selama bulan Desember 2024. Data mencakup dokumen proyek berupa RAB, RAP, Schedule kontrak dan berupa pengamatan terhadap kegiatan konstruksi baik yang sudah selesai dikerjakan maupun yang sedang berjalan seperti pekerjaan jalan dan pekerjaan galian.

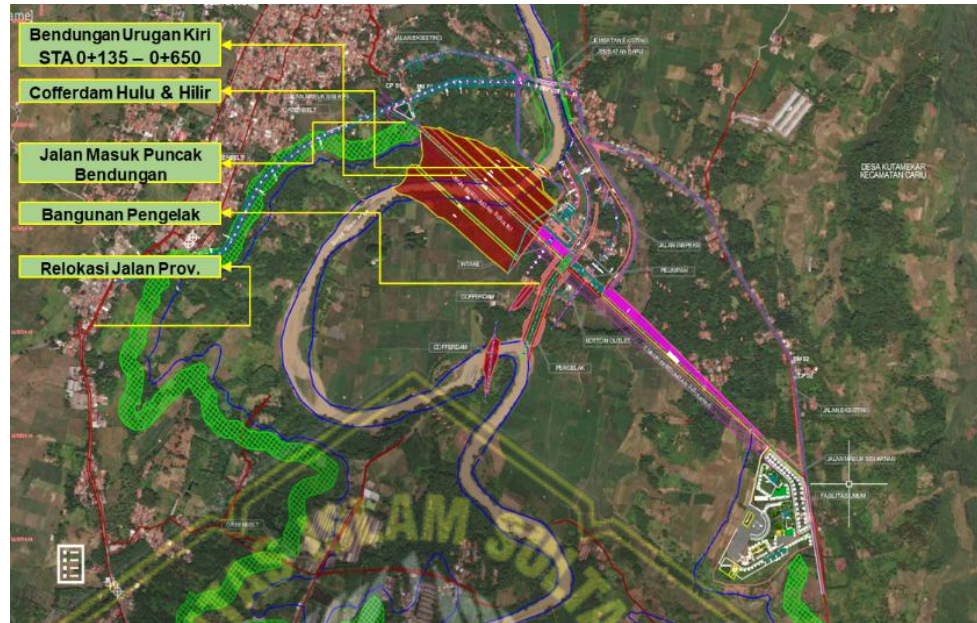
4.1.1 Data Umum Proyek

- 1 Nama Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Cibeet Paket I
- 2 Lokasi : Cariu, Kab. Bogor, Prov. Jawa Barat
- 3 Pemilik Pekerjaan : Kementerian PUPR, Dirjen SDA BBWS Citarum, SNVT Bendungan
- 4 Konsultan Supervisi : PT. Indra Karya KSO PT. Ciriajasa – PT. Mettana – PT. Hilmy Anugerah – PT. Vitraha Consindotama
- 5 Kontraktor : NINDYA – ADHI – BAHAGIA, KSO
- 6 Nomor Kontrak : HK-02.01/01/PPK-B.II/ SNVT-PBC/ 2023
- 7 Tanggal Kontrak : 31 AGUSTUS 2023
- 8 Nilai Kontrak : Rp 1.736.756.756.757 (Excl.PPN)
- 9 Waktu Pelaksanaan : 1.860 HARI (s/d 2 Oktober 2028)
- 10 Masa Pemeliharaan : 365 HARI
- 11 Sumber Dana : APBN TA 2023–2028 (TAHUN JAMAK)

4.1.2 Layout Proyek

Layout proyek Bendungan Cibeet Paket 1 merupakan gambaran keseluruhan tata letak komponen utama pekerjaan di area pembangunan. Layout ini mencakup posisi tubuh bendungan urugan kiri, bangunan pengelak, cofferdam hulu dan hilir, jalan akses ke puncak bendungan dan

relokasi jalan provinsi, serta fasilitas pendukung lainnya yang dirancang untuk mendukung kelancaran pelaksanaan proyek.



Gambar 7. Layout Proyek Bendungan Cibeet Paket 1

4.1.3 Lingkup Pekerjaan

Lingkup kegiatan yang ada pada proyek Bendungan Cibeet Paket 1 diperoleh dari RAB (Rincian Anggaran Biaya) adalah pekerjaan persiapan, pekerjaan jalan, bangunan pengelak, bendungan utama (urugan kiri), pekerjaan hidromekanikal, penyelenggaraan SMK3, pekerjaan area genangan, dan pekerjaan relokasi dengan bobot masing-masing pekerjaan sebagai berikut:

Tabel 3. Lingkup Pekerjaan Proyek Bendungan Cibeet Paket 1

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah (Rp)	Bobot (%)
A	Pekerjaan Persiapan	3.054.500.000	0,176
B	Pekerjaan Jalan	210.073.193.242	12,096
C	Bangunan Pengelak	475.527.023.633	27,380
D	Bendungan Utama (Urugan Kiri)	903.667.230.566	52,032
E	Pekerjaan Hidromekanikal	14.443.706.716	0,832
F	Penyelenggaraan SMK3	2.978.463.465	0,171
G	Pekerjaan Area Genangan	13.218.602.238	0,761
H	Pekerjaan Relokasi	113.794.036.898	6,552
Jumlah		1.736.756.756.757	100,000

4.1.4 Durasi Normal dan Biaya Normal

Periode pelaksanaan standar dapat diidentifikasi melalui jadwal pelaksanaan yang tercantum dalam addendum ketiga, sementara estimasi biaya standar terekam dalam dokumen Rencana Anggaran Biaya. (Lampiran 1). Pada awal kontrak, waktu pelaksanaan selama 1860 hari kalender dimana tanggal berakhirnya kontrak tanggal 2 Oktober 2028 dengan nilai total kontrak Rp 1.736.756.756.757.

WBS	Task Name	Volume Kontrak	Harsat RAB	Total Kontrak	Duration	Start	Finish	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029
0	CIBEE TESIS NEW (BASELINE) EDI	0	Rp0.00	Rp1,736,761,573.73	1860 days	Thu 8/31/23	Mon 10/2/28							
1	START	0	Rp0.00	Rp0.00	0 days	Thu 8/31/23	Thu 8/31/23							
2	PEKERJAAN PERSIAPAN	0	Rp0.00	Rp3,054,500.00	1768 days	Fri 12/1/23	Mon 10/2/28							
2.1	Mobilisasi Peralatan Konstruksi	1	Rp756,750.00	Rp756,750.00	91 days	Fri 12/1/23	Thu 2/29/24							
2.2	Mobilisasi Fasilitas Kontraktor	1	Rp1,471,000.00	Rp1,471,000.00	91 days	Fri 12/1/23	Wed 7/31/24							
2.3	Mobilisasi Peralatan Laboratorium	1	Rp70,000.00	Rp70,000.00	31 days	Fri 12/1/23	Sun 12/31/23							
2.4	Demobilisasi Peralatan Konstruksi	1	Rp756,750.00	Rp756,750.00	32 days	Fri 9/1/28	Mon 10/2/28							
3	PEKERJAAN JALAN	0	Rp0.00	Rp210,072,103.83	1766 days	Fri 12/1/23	Sat 9/30/28							
3.1	Jalan Masuk ke Puncak Bendungan Sisi Kiri (1,10	0	Rp0.00	Rp32,358,582.16	1766 days	Fri 12/1/23	Sat 9/30/28							
3.2	Relokasi Jalan Provinsi Sisi Kiri Genangan (8,88	0	Rp0.00	Rp114,343,333.22	334 days	Thu 1/1/26	Mon 11/30/26							
3.3	Pengaman dan Marka	0	Rp0.00	Rp3,827,597.55	122 days	Tue 8/31/27	Thu 12/30/27							
3.4	Saluran Drainase	0	Rp0.00	Rp16,080,469.71	730 days	Wed 1/1/25	Thu 12/31/26							
3.5	Proteksi Lereng	0	Rp0.00	Rp43,462,121.20	275 days	Mon 3/30/26	Tue 12/29/26							
4	BANGUNAN PENGELAK	0	Rp0.00	Rp475,526,372.74	1584 days	Wed 5/1/24	Thu 8/31/28							
4.1	Pekerjaan Dewatering	0	Rp0.00	Rp971,989.20	549 days	Wed 5/1/24	Fri 10/31/25							
4.2	Cofferdam Pengelakan 1	0	Rp0.00	Rp6,018,638.68	92 days	Wed 5/1/24	Wed 7/31/24							
4.3	Cofferdam Pengelakan 2 Hulu dan Hilir	0	Rp0.00	Rp16,754,579.40	241 days	Sun 2/1/26	Tue 9/29/26							
4.4	Bangunan Pengelak	0	Rp0.00	Rp451,781,165.46	1523 days	Mon 7/1/24	Thu 8/31/28							

Gambar 8. Durasi dan Total Kontrak

Saat penelitian ini berlangsung pekerjaan sedang berjalan dan waktu pelaksanaan sudah berjalan selama 548 hari dengan beberapa item pekerjaan sudah selesai dikerjakan. Berikut adalah Progress Realiasi beserta dan Sisa Progress (Lampiran 5) beserta rincian volume realiasi harian Proyek Bendungan Cibeet Paket 1 periode sampai dengan Februari 2025 (Lampiran 6).

Dengan bantuan Microsoft Project 2019, dilakukan tracking volume dan waktu dengan memasukkan volume realisasi per hari untuk setiap kegiatan yang telah dikerjakan. Tujuan dari tracking ini adalah untuk melacak kemajuan pekerjaan dan memantau seperti apa waktu pelaksanaan bergerak. Langkah-langkah menggunakan program Microsoft Project dimulai dari menetapkan tanggal sampai dengan proses tracking dapat dilihat pada Lampiran 7. Sedangkan lampiran berikutnya adalah tampilan Gantt Chart dan Network Planning proyek menggunakan Microsoft Project pada saat awal proyek dan setelah dilakukan tracking volume dan waktu (Lampiran 8 s.d 11).

Task Name	Sal	Volume Kontra	Volume Realisasi S/D Periode ini	Sisa Volume	ACWP	Total Kontrak		Mon Aug 19, '24	Tue Aug 20, '24	W
Perkerasan Jalan	0	0	0	0	Rp22,502,747.99	Rp22,502,747.99				
Geotekstil Woven	m2	17775	17775	0	Rp503,032.50	Rp503,032.50				
Geocell	m2	17775	17775	0	Rp1,910,101.50	Rp1,910,101.50				
Lapis Pondasi Agregat Kelas B (base course)	m3	10467.5	10467.5	0	Rp6,176,871.75	Rp6,176,871.75				
Pembuatan dan Pengcoran Beton fc' 9,8	m3	1422	1422	0	Rp1,726,848.36	Rp1,726,848.36				
Perkerasan Beton Semen	m3	4147.5	4147.5	0	Rp6,557,114.55	Rp6,557,114.55				

Task Name	Fixed Cost	Fixed Cost Accrual	Actual Work	Total Cost	Baseline	Variance	Actual	Details	Mon Aug 19, '24	Tue Aug 20, '24	W
Lapis Pondasi Agregat Kelas B (base course)	Rp0.00	Prorated 0 hrs		Rp6,176,871.75	Rp6,437,617.18	p260,745.43)	Rp6,17	Act. Wo			
								Cost	Rp126,871.50	Rp79,663.50	
								Act. Cos	Rp126,871.50	Rp79,663.50	
								Cum. W			
Lapis Pondasi Agregat Kel			10,467.5 m3	Rp6,176,871.75	Rp6,437,617.18	p260,745.43)	Rp6,17	Work (n	215	135	
								Act. Wo	215	135	
								Cost	Rp126,871.50	Rp79,663.50	
								Act. Cos	Rp126,871.50	Rp79,663.50	
								Cum. W	915	1,050	

Gambar 9. Trekking Waktu dengan Microsoft Project

Berikut adalah durasi dan biaya normal proyek pekerjaan setelah dilakukan tracking waktu pada proyek Bendungan Cibeet Paket 1 ditabulasikan pada Lampiran 12. Durasi dan Biaya Normal Proyek.

4.1.5 Keterlambatan Pekerjaan

Berdasarkan hasil dari trekking Microsoft Project diperoleh total waktu pelaksanaan pekerjaan menjadi 2101 hari kalender. Terjadi keterlambatan waktu penyelesaian pekerjaan selama 240 hari dengan selesai pekerjaan tanggal 31 Mei 2029.

Task Name	Sal	Volume Kontra	Volume Realisasi S/D Periode ini	Sisa Volume	Total Kontrak	Actual Cost	Remaining Cost	Duration	Start	Finish
CIBEE TESIS NEW (BASELINE) EDI	0	100	-100	0	Rp1,736,761,573.73	Rp136,441,475.92	Rp1,599,221,685.82	2101 days	Thu 8/31/23	Thu 5/31/29
START	0	0	0	0	Rp0.00	Rp0.00	Rp0.00	0 days	Fri 2/28/25	Fri 2/28/25
PEKERJAAN PERSIAPAN	0	0	0	0	Rp3,054,500.00	Rp2,297,750.00	Rp756,750.00	2091 days	Sun 9/10/23	Thu 5/31/29
Mobilisasi Peralatan Konstruksi	Ls	1	1	0	Rp756,750.00	Rp756,750.00	Rp0.00	32 days	Sun 9/10/23	Thu 6/20/24
Mobilisasi Fasilitas Kontraktor	Ls	1	1	0	Rp1,471,000.00	Rp1,471,000.00	Rp0.00	30 days	Sun 9/10/23	Sun 8/18/24
Mobilisasi Peralatan Laboratorium	Ls	1	1	0	Rp70,000.00	Rp70,000.00	Rp0.00	22 days	Wed 10/4/23	Mon 3/4/24
Demobilisasi Peralatan Konstruksi	Ls	1	0	1	Rp756,750.00	Rp0.00	Rp756,750.00	32 days	Mon 4/30/29	Thu 5/31/29
PEKERJAAN JALAN	0	0	0	0	Rp210,072,103.83	Rp45,231,095.64	Rp163,742,596.12	1235 days	Mon 10/30/23	Wed 3/17/27
Jalan Masuk ke Puncak Bendungan Sisi Kiri (1	0	0	0	0	Rp32,358,582.16	Rp32,358,582.16	Rp0.00	488 days	Mon 10/30/23	Fri 2/28/25
Pekerjaan Tanah	0	0	0	0	Rp5,690,851.04	Rp5,690,851.04	Rp0.00	432 days	Tue 12/19/23	Sat 2/22/25
Pembersihan pengupasan dan tebas teba	M2	25606.7	25606.7	0	Rp389,221.84	Rp389,221.84	Rp0.00	20.51 days	Tue 12/19/23	Mon 11/25/24
Galian Tanah (diangkut ke disposal area, j	m3	34891.5	34891.5	0	Rp2,728,515.30	Rp2,728,515.30	Rp0.00	32 days	Fri 3/1/24	Fri 1/10/25
Galian Tanah (ditempatkan di lokasi sekitar	m3	3271.08	3271.08	0	Rp82,660.19	Rp82,660.19	Rp0.00	2 days	Sun 12/8/24	Sat 12/14/24
Galian Batu (diangkut ke disposal, jarak 3	m3	8177.69	8177.69	0	Rp1,130,402.09	Rp1,130,402.09	Rp0.00	15 days	Sat 6/22/24	Sat 12/14/24
Galian Batu (diangkut ke stockpile, jarak 1	m3	8177.69	8177.69	0	Rp1,107,749.89	Rp1,107,749.89	Rp0.00	10 days	Sat 8/10/24	Sat 2/22/25
Timbunan material hasil galian dengan pe	m3	3231.98	3231.98	0	Rp162,730.19	Rp162,730.19	Rp0.00	8 days	Mon 5/13/24	Mon 6/24/24
Pemadatan tanah dasar	m2	15363.9	15363.9	0	Rp89,571.54	Rp89,571.54	Rp0.00	6 days	Tue 9/3/24	Sat 1/4/25

Gambar 10. Hasil Trekking Microsoft Project

Keterlambatan tersebut terjadi pada pekerjaan Bangunan Pengelak yang seharusnya pada Mei 2024 sudah mulai dikerjakan namun sampai dengan saat ini belum bisa dilaksanakan karena masih terkendala pembebasan lahan.

4.1.6 Pembengkakan Biaya (Cost Overun)

Berdasarkan laporan biaya proyek Nindya-Adhi-Bahagia KSO periode Februari 2025, biaya konstruksi pada pelaksanaan proyek ini masih sesuai dengan rencana anggaran pelaksanaan, namun proyeksi sampai dengan akhir proyek dapat terjadi kenaikan biaya akibat keterlambatan pekerjaan. Berdasarkan hasil trekking Microsoft Project, diproyeksikan keterlambatan proyek ini akan terjadi selama 240 hari sehingga sesuai dengan klausul kontrak dalam Syarat-Syarat Umum Kontrak (SSUK), besaran denda keterlambatan yang dikenakan kepada penyedia atas penyelesaian pekerjaan adalah sebesar 1/1000 (satu perseribu) atau denda maksimal sebesar 5% dari Harga Kontrak (sebelum PPN).

Tabel 4. Proyeksi Akhir Kontrak

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah (Rp)
A	Kontrak Awal	1.736.756.756.757
B	Denda Keterlambatan	86.837.837.838

Dari tabel di atas dapat dibaca bahwa sampai dengan akhir kontrak kontraktor dapat dikenakan denda sebesar Rp 86.837.837.838 yang dapat menggerus profit.

4.2 Biaya Proyek

Biaya proyek pada proyek Bendungan Cibeet Paket 1 dibagi menjadi 2 kelompok yaitu Biaya Langsung dan Biaya Tak Langsung.

4.2.1 Biaya Langsung

Komponen biaya ini diperoleh dari kalkulasi setiap elemen pekerjaan yang telah dikurangi dengan komponen pajak, biaya overhead, serta margin keuntungan. Elaborasi detail Biaya Langsung proyek pasca deduksi pajak, biaya overhead, dan profit terpresentasi dalam matriks berikut:

Tabel 5. Biaya Langsung Proyek Bendungan Cibeet Paket 1

No	Uraian Pekerjaan	Jumlah (Rp)
A	Pekerjaan Persiapan	2.952.633.930
B	Pekerjaan Jalan	176.627.496.724
C	Bangunan Pengelak	400.053.499.771
D	Bendungan Utama (Urugan Kiri)	717.999.376.490
E	Pekerjaan Hidromekanikal	5.662.945.300
F	Penyelenggaraan SMK3	5.036.840.000
G	Pekerjaan Area Genangan	10.455.388.826
H	Pekerjaan Relokasi	69.076.220.600
Total Biaya Langsung		1.387.864.401.641

Sumber: Nindya-Adhi-Sejati KSO, 2025

4.2.2 Biaya Tak Langsung

Biaya Tidak Langsung (*Indirect Cost*) merupakan komponen pembiayaan yang tidak memiliki keterkaitan langsung dengan aktivitas konstruksi fisik, namun keberadaannya bersifat esensial dan tidak dapat dipisahkan dari pelaksanaan proyek. Elaborasi komponen Biaya Tidak Langsung untuk proyek Bendungan Cibeet Paket 1 dipresentasikan dalam Tabel berikut:

Tabel 6. Biaya Tak Langsung Proyek Bendungan Cibeet Paket 1

No	Uraian Biaya	Jumlah (Rp)
A	Pekerjaan Penunjang	44.748.400.804
B	Biaya Bank	43.814.304.485
C	Biaya Alokasi Umum	91.709.342.199
D	Biaya Pemerliharaan & Penyelesaian Kontrak	5.616.920.282
E	PPH 2,65%	46.024.054.054
F	Denda 5%	86.837.837.838
Total Biaya Tak Langsung		318.750.859.662

Sumber: Nindya-Adhi-Sejati KSO, 2025

Biaya tak langsung pada tabel di atas berupa fix cost dan variabel cost. Fix cost merupakan pengeluaran yang nilainya tetap dan tidak bergantung waktu sedangkan variabel cost adalah biaya yang besarnya berubah-ubah sesuai dengan aktivitas bisnis. Tabel berikut adalah rincian fix cost dan variabel cost yang diuraikan dalam bentuk biaya harian.

Tabel 7. Fix Cost Proyek Bendungan Cibeet Paket 1

No	Uraian Biaya	Jumlah (Rp)
A	Pekerjaan Penunjang	
	Biaya Alat Bantu	6.914.843.500
	Jaga Malam Alat	780.000.000
	Biaya Listrik Dan Air Kerja	3.531.420.063
	Biaya Sosialisasi	4.100.000.000
	Biaya Ijin Galian C Quarry Lokasi Penlok	5.876.988.124
	Ijin Pendirian, Pengoperasian, SIPA, Lingkungan BP	1.500.000.000
	Resiko Kenaikan Biaya	2.000.000.000
	Temporary Jalan Acces	11.608.149.118
	Mob-Demob Alat Subkontraktor	3.187.000.000
B	Biaya Bank	43.814.304.485
C	Biaya Alokasi Umum	
	– Biaya Thr Karyawan	4.763.940.000
	– Biaya Pesangon Karyawan	3.281.940.000
	BIAYA CEREMONIAL	
	– Biaya Ground Breaking	500.000.000
	– Biaya Peresmian	1.000.000.000
D	Biaya Pemerliharaan & Penyelesaian Kontrak	5.616.920.282
E	PPH 2,65%	46.024.054.054
Total Biaya Tak Langsung Fix Cost		144.499.559.625

Sumber: Nindya-Adhi-Sejati KSO, 2025

Tabel 8. Biaya Tak Langsung per Hari

No	Uraian Biaya	Jumlah (Rp)
A	Pekerjaan Penunjang	
	Biaya Keamanan	2.498.810
C	Biaya Alokasi Umum	
	BIAYA KARYAWAN	
	– Biaya Gaji Karyawan	28.232.977
	– Biaya Makan Karyawan	2.775.614
	– Biaya Cuti Kary.	899.652
	– Biaya Jamuan Tamu	499.762
	BIAYA KANTOR, MES beserta PERLENGKAPAN dan OPERASION	
	– Beban Biaya Utilitas Proyek	1.842.913
	– Beban Biaya Fasilitas Proyek	4.460.488
	– Beban Biaya IT	395.430
Total Biaya Tak Langsung (per Hari)		41.605.646

Sumber: Nindya-Adhi-Sejati KSO, 2025

4.3 Penentuan Jalur Kritis

Akselerasi periode penyelesaian pekerjaan diimplementasikan melalui analisis perencanaan dengan memanfaatkan aplikasi Microsoft Project 2019, yang memungkinkan identifikasi jalur kritis berdasarkan data penjadwalan dalam kondisi standar. Hasil analisis mengidentifikasi 42 aktivitas yang termasuk dalam jalur kritis, dengan rincian sebagai berikut:

Tabel 9. Daftar Kegiatan Kritis

No. BoQ	URAIAN PEKERJAAN	DURASI (HARI)
2.2.1.1	Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon	61
2.2.1.2	Galian Tanah (diangkut ke disposal area, jarak 3 km sampai dengan 4 km)	150
2.2.1.3	Galian Tanah (ditempatkan di lokasi sekitar galian)	128
2.2.1.4	Galian Batu (diangkut ke disposal area, jarak 3 km sampai dengan 4 km)	127
2.2.1.6	Timbunan material hasil galian dengan pemadatan	61
2.2.1.7	Pemadatan tanah dasar	61
2.2.2.1	Geotekstil Woven	183
2.2.2.2	Geocell	184
2.2.2.3	Lapis Pondasi Agregat Kelas B (base course)	225
3.2.1	Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon	61
3.2.2	Galian Tanah (ditempatkan di lokasi sekitar galian)	61
3.2.3	Galian Tanah (diangkut ke disposal area, jarak 3 km sampai dengan 4 km)	30
3.2.4	Timbunan Random Fill (material dari Borrow area jarak 3 sampai dengan 4 km)	61
3.2.5	Timbunan material hasil galian dengan pemadatan	61
3.2.6	Batu Kosong	31
3.3.1	Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon	58
3.3.2	Galian Tanah (ditempatkan di lokasi sekitar galian)	92
3.3.3	Galian Tanah (diangkut ke disposal area, jarak 3 km sampai dengan 4 km)	92
3.3.4	Timbunan Random Fill (material dari Borrow area jarak 3 sampai dengan 4 km)	214
3.3.5	Timbunan material hasil galian dengan pemadatan	214
3.3.6	Batu Kosong	61
3.4.1.1	Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon	62
3.4.1.3	Galian Tanah (diangkut ke disposal area, jarak 3 km sampai dengan 4 km)	335
3.4.2.1	Pembuatan dan Pengecoran Beton fc' 30 Mpa	393
3.4.2.2	Pembuatan dan Pengecoran Beton fc' 19,3 Mpa (K-225)	393
3.4.2.3	Bekisting Beton Expose	393
3.4.2.5	Penulangan dengan Besi Sirip	393
4.2.3	Galian Tanah (diangkut ke stock pile, jarak 1 sampai dengan 2 km)	42
4.2.4	Galian Batu (diangkut ke disposal area, jarak 3 km sampai dengan 4 km)	354
4.4.4	Timbunan Random Fill (material dari Borrow area jarak 3 sampai dengan 4 km)	823
4.4.5	Timbunan Random Fill (material dari Stock Pile jarak 1 sampai dengan 2 km)	212
4.4.9	Pembuatan dan Pengecoran Beton fc' 19,3 Mpa (K-225)	183
4.4.10	Pembuatan dan Pengecoran Beton fc' 9,8 Mpa (K-125)	580
4.4.11	Bekisting Beton Biasa	580
4.4.12	Penulangan dengan Besi Sirip	580
4.4.14	Lapisan Pasir Urug	396
4.4.15	Saluran Drainase Beton Pracetak (u-ditch terbuka 40.60.120)	274
4.8.1	Pembuatan dan Pengecoran Beton fc' 30 Mpa	424
4.8.2	Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar	424
4.8.3	Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Quarry	424
4.8.4	Penulangan dengan Besi Sirip	424
4.8.5	Bekisting Beton Expose	424

Berdasarkan matriks tersebut, dapat diidentifikasi bahwa sejumlah aktivitas yang menjadi target akselerasi dari rangkaian aktivitas kritis merupakan pekerjaan yang memiliki komponen sumber daya manusia. Terdapat beberapa pertimbangan yang mendasari seleksi elemen-elemen aktivitas untuk diakselerasi dalam rangkaian aktivitas kritis dimaksud, yaitu:

1. Aktivitas kritis yang terseleksi memiliki karakteristik jadwal pelaksanaan yang intensif, dimana terdapat aktivitas-aktivitas dengan titik inisiasi dan terminasi yang bersamaan
2. Aktivitas kritis yang teridentifikasi memungkinkan implementasi strategi akselerasi melalui augmentasi personel dan/atau aplikasi sistem kerja lembur
3. Implementasi akselerasi pada aktivitas kritis tersebut berpotensi mereduksi komponen Biaya Tidak Langsung yang terkait dengan aktivitas dimaksud
4. Akselerasi pada aktivitas kritis berkontribusi terhadap reduksi durasi keseluruhan pelaksanaan proyek.

4.4 Perhitungan Crash Program

Strategi akselerasi pelaksanaan proyek dapat diimplementasikan melalui berbagai pendekatan, mencakup: ekstensifikasi jam operasional melalui sistem lembur, augmentasi kuantitas personel, implementasi sistem rotasi kerja, penambahan atau substitusi sarana operasional, serta modifikasi atau optimalisasi metodologi pelaksanaan. Akan tetapi, dalam konteks penelitian ini, fokus akselerasi dibatasi pada dua strategi utama: augmentasi sumber daya manusia dan perpanjangan jam operasional (lembur). Formulasi rencana kerja untuk mengakselerasi periode penuntasan aktivitas konstruksi dijabarkan sebagai berikut:

1. Implementasi augmentasi personel disesuaikan dengan target reduksi durasi pekerjaan yang tertera dalam perencanaan jadwal pelaksanaan

2. Aktivitas reguler dioperasikan selama 8 jam produktif dengan alokasi 1 jam rehat (pukul 08.00-17.00), sementara implementasi kerja lembur dieksekusi pasca periode kerja reguler dengan rentang variasi ekstensifikasi waktu mulai dari 1 jam hingga maksimal 3 jam per hari (pukul 18.30-21.30)

4.4.1 Penambahan Tenaga Kerja

Mengacu pada kajian penelitian (Setiawan Bagus Budi & Trijeti, 2021) serta berbagai literatur ilmiah terkait, studi ini mengadopsi strategi augmentasi personel sebesar 25% dari kuantitas tenaga kerja eksisting. Augmentasi personel pada tingkat optimal berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas operasional, namun penambahan yang berlebihan justru berpotensi mendegradasi tingkat produktivitas.

Kalkulasi augmentasi personel difokuskan pada aktivitas-aktivitas kritis yang menjadi target akselerasi, dengan basis perhitungan menggunakan data Biaya Langsung untuk menghasilkan nilai eskalasi biaya (*cost slope*) per aktivitas.

Pasca determinasi estimasi augmentasi personel, tahapan berikutnya adalah implementasi analisis akselerasi berbasis teori *Least Cost Analysis* dengan memanfaatkan strategi penambahan tenaga kerja untuk mengkalkulasi nilai *cost slope* pada masing-masing aktivitas. Berikut ilustrasi kalkulasi untuk menentukan nilai *cost slope* pada aktivitas **Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon** yang teridentifikasi dalam jalur kritis proyek Bendungan Cibeet Paket 1.

- a. Volume Pekerjaan = 127.808,35 m²
- b. Durasi normal pekerjaan = 61 hari
- c. Biaya normal upah/Peralatan = Rp 1.576.998.865

1. Perhitungan Jumlah Tenaga Kerja/Peralatan

$$\frac{\text{Koef.analisa} \times \text{Volume pekerjaan}}{\text{Durasi normal}} \rightarrow \text{Lampiran 2, Lampiran 12}$$

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon → Analisa AN004

- Pekerja = $0,0010 \times (127.808,35/61) = 2,08 \text{ org} \approx 3 \text{ org}$
- Mandor = $0,0029 \times (127.808,35/61) = 6,06 \text{ orang} \approx 7 \text{ org}$
- Bulldozer = $0,0035 \times (127.808,35/61) = 7,28 \text{ unit} \approx 8 \text{ unit}$
- Excavator Standar = $0,0026 \times (127.808,35/61) = 5,53 \text{ unit} \approx 6 \text{ unit}$
- Dump Truck 12 Ton = $0,0113 \times (127.808,35/61) = 23,63 \approx 24 \text{ unit}$
- Chainsaw = $0,0500 \times (127.808,35/61) = 104,76 \text{ unit} \approx 105 \text{ unit}$

2. Produktivitas Harian Normal

$$\frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Durasi normal}}$$

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon
= $127.808,35/61 = 2.095,22 \text{ m}^2/\text{hari}$

3. Produktivitas Tenaga Kerja Normal

$$\frac{\text{Produktivitas harian normal}}{\text{Jumlah tenaga kerja normal}}$$

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon

- Pekerja = $2.095,22/2,08 = 1008 \text{ m}^2/\text{hari}$
- Mandor = $2.095,22/6,06 = 345,60 \text{ m}^2/\text{hari}$
- Bulldozer = $2.095,22/7,28 = 288 \text{ m}^2/\text{jam}$
- Excavator Standar = $2.095,22/5,53 = 378,93 \text{ m}^2/\text{jam}$
- Dump Truck 12 Ton = $2.095,22/23,63 = 88,67 \text{ m}^2/\text{jam}$
- Chainsaw = $2.095,22/104,76 = 20 \text{ m}^2/\text{jam}$

4. Crashing

a. Penentuan jumlah tenaga kerja crash

$$(25\% \text{ jumlah tenaga normal}) + \text{jumlah tenaga kerja normal}$$

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon

- Pekerja = $(25\% \times 2,08) + 2,08 = 2,60 \text{ org} \approx 3 \text{ org}$
- Mandor = $(25\% \times 6,06) + 6,06 = 7,58 \text{ org} \approx 8 \text{ org}$
- Bulldozer = $(25\% \times 7,28) + 7,28 = 9,09 \text{ unit} \approx 10 \text{ unit}$
- Excavator Standar = $(25\% \times 5,53) + 5,53 = 6,91 \text{ unit} \approx 7 \text{ unit}$
- Dump Truck 12 Ton = $(25\% \times 23,63) + 23,63 = 29,54 \text{ unit} \approx 30 \text{ unit}$
- Chainsaw = $(25\% \times 104,76) + 104,76 = 130,95 \text{ unit} \approx 131 \text{ unit}$

b. Produktivitas tenaga kerja crash

Jumlah tenaga kerja crash x produktivitas tenaga kerja normal

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon

▪ Bulldozer = $9,09 \times 288 = 2619,02 \text{ m}^2/\text{hari}$

c. Durasi percepatan

$$\frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas harian crash}}$$

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon

= $127.808,35/2619,02 = 48,08 \text{ hari} \approx 49 \text{ hari}$

d. Biaya percepatan per hari

Produktivitas harian crash x harga satuan pekerja

Harga satuan pekerja diambil dari harga yang tertera pada analisa harga satuan (Lampiran 2).

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon

- Pekerja = $2619,02 \text{ m}^2/\text{hari} \times \text{Rp } 187 = \text{Rp } 488.469$
- Mandor = $2619,02 \text{ m}^2/\text{hari} \times \text{Rp } 761 = \text{Rp } 1.993.065$
- Bulldozer = $2619,02 \text{ m}^2/\text{hari} \times \text{Rp } 3.327 = \text{Rp } 8.712.321$
- Excavator Standar = $2619,02 \text{ m}^2/\text{hari} \times \text{Rp } 1.378 = \text{Rp } 3.607.784$
- Dump Truck 12 Ton = $2619,02 \text{ m}^2/\text{hari} \times \text{Rp } 3.787 = \text{Rp } 9.918.871$
- Chainsaw = $2619,02 \text{ m}^2/\text{hari} \times \text{Rp } 2.900 = \text{Rp } 7.595.041$
- Total = $\text{Rp } 32.315.551$

e. Total biaya percepatan

(biaya crash per hari x durasi crash)

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon

= $\text{Rp } 32.315.551 \times 48,08 = \text{Rp } 1.576.998.865$

5. **Cost Slope**

$$\frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}}$$

2.2.1.1 Pembersihan, pengupasan dan tebas tebang pohon

= $(\text{Rp } 1.576.998.865 - \text{Rp } 1.576.998.865) / (61-53) = \text{Rp } 0$

Perhitungan *cost slope* akibat mob demob peralatan

a. Biaya mob demob alat

- Bulldozer = $2 \text{ unit} \times \text{Rp } 7.249.879 = \text{Rp } 14.499.757$
- Excavator Standar = $1 \text{ unit} \times \text{Rp } 7.249.879 = \text{Rp } 7.249.879$

- Dump Truck 12 Ton = 6 unit x Rp 2.899.951 = Rp 17.399.709
- Chainsaw = 26 unit x Rp 241.663 = Rp 6.283.228
- Total = Rp 45.432.573

b. Total biaya percepatan

$$= \text{Rp } 1.576.998.865 + \text{Rp } 45.432.573$$

$$= \text{Rp } 1.622.431.438$$

$$\text{Cost slope} = (\text{Rp } 1.622.431.438 - \text{Rp } 1.576.998.865) / (61-49)$$

$$= \text{Rp } 3.786.048$$

Proses kalkulasi *cost slope* melalui strategi augmentasi personel untuk aktivitas-aktivitas kritis lainnya dieksekusi dengan metodologi serupa seperti yang telah diilustrasikan pada perhitungan sebelumnya (Lampiran 13).

6. Perhitungan *Least Cost Analysis*

Nilai *cost slope* disusun secara ascending kemudian diimplementasikan proses kompresi pada aktivitas-aktivitas dalam jalur kritis hingga tercapai tingkat kompresi optimal. Implementasi kompresi diinisiasi dari aktivitas kritis yang memiliki nilai *cost slope* minimal dengan objektif meminimalisasi eskalasi Biaya Langsung yang timbul pasca proses kompresi.

Analisis Tahap Normal

c. Durasi normal

$$= 2101 \text{ hari (setelah proses tracking, Lampiran 10)}$$

d. Biaya Langsung

$$= \text{Rp } 1.387.864.401.641$$

e. Biaya Tak Langsung

$$= \text{BTL Fix Cost} + \text{BTL per hari} \times \text{durasi normal} + \text{Denda } 5\%$$

$$= 144.499.559.625 + 41.605.646 \times 2101 + 86.837.837.837$$

$$= \text{Rp } 318.750.859.662$$

f. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung

$$= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 318.750.859.662$$

$$= \text{Rp } 1.706.615.261.303$$

Tahap Kompresi 1

Dalam fase ini, aktivitas yang menjadi target akselerasi merupakan aktivitas pada jalur kritis dengan nilai *cost slope* minimum sebesar Rp 0, yakni pekerjaan Saluran Drainase Beton Pracetak (u-ditch terbuka 40.60.120) dengan reduksi temporal sebesar 54 hari (dari 274 hari menjadi 220 hari). Parameter durasi dan pembiayaan yang diperlukan dalam implementasi kompresi fase pertama adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
= 2070 hari (hasil Ms. Project)
- b. Tambahan biaya
= *cost slope* x durasi crash
= Rp 0 x 54
= Rp 0
- c. Biaya Langsung
= Biaya Langsung proyek + Tambahan biaya
= Rp 1.387.864.401.641 + Rp 0
= Rp 1.387.864.401.641
- d. Biaya tak langsung
= BTL Fix Cost + BTL per hari x total durasi + Denda 5%
= 144.499.559.625 + 41.605.646 x 2070 + 86.837.837.837
= Rp 317.461.084.637
- e. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
= Rp 1.387.864.401.641 + Rp 317.461.084.637
= Rp 1.705.325.486.278

Tahap Kompresi 2

Pada fase ini, aktivitas yang diakselerasi adalah aktivitas dalam jalur kritis dengan nilai *cost slope* terendah sebesar Rp 0, yaitu pekerjaan Pembuatan dan Pengecoran Beton f_c' 19,3 Mpa (K-225) dengan periode akselerasi selama 78 hari (dari 393 hari menjadi 315 hari). Durasi pelaksanaan dan alokasi biaya yang dibutuhkan untuk kompresi fase kedua adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
 $= 2070 - 78 = 1992$ hari (hasil Ms. Project)
- b. Tambahan biaya
 $= \text{cost slope} \times \text{durasi crash}$
 $= \text{Rp } 0 \times 78$
 $= \text{Rp } 0$
- c. Biaya Langsung
 $= \text{Biaya Langsung proyek} + \text{Tambahan biaya}$
 $= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 0$
 $= \text{Rp } 1.387.864.401.641$
- d. Biaya tak langsung
 $= \text{BTL Fix Cost} + \text{BTL per hari} \times \text{total durasi} + \text{Denda } 5\%$
 $= 144.499.559.625 + 41.605.646 \times 1992 + 86.837.837.837$
 $= \text{Rp } 314.215.844.251$
- e. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
 $= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 314.215.844.251$
 $= \text{Rp } 1.702.080.245.891$

Tahap Kompresi 3

Dalam tahapan ini, aktivitas yang diakselerasi merupakan aktivitas pada jalur kritis dengan nilai *cost slope* minimal sebesar Rp 0, yakni pekerjaan Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar dengan durasi percepatan 84 hari (reduksi dari 424 hari menjadi 340 hari). Parameter waktu dan pembiayaan yang diperlukan untuk implementasi kompresi tahap ketiga adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
 $= 1992 - 84 = 1908$ hari (hasil Ms. Project)
- b. Tambahan biaya
 $= \text{cost slope} \times \text{durasi crash}$
 $= \text{Rp } 0 \times 84 = \text{Rp } 0$
- c. Biaya Langsung
 $= \text{Biaya Langsung proyek} + \text{Tambahan biaya}$

$$= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 0$$

$$= \text{Rp } 1.387.864.401.641$$

d. Biaya tak langsung

$$= \text{BTL Fix Cost} + \text{BTL per hari} \times \text{total durasi} + \text{Denda}$$

$$= 144.499.559.625 + 41.605.646 \times 1908 + 1/1000 \times 1.736.756.756.756 \times (1900 - 1908)$$

$$= \text{Rp } 223.966.496.475$$

e. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung

$$= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 223.966.496.475$$

$$= \text{Rp } 1.611.830.898.116$$

Kalkulasi untuk fase-fase kompresi selanjutnya pada aktivitas-aktivitas kritis lainnya diimplementasikan dengan metodologi yang identik seperti prosedur komputasi sebelumnya (Lampiran 14). Matriks rekapitulasi berikut menyajikan hasil kalkulasi agregat pembiayaan proyek sebagai konsekuensi dari implementasi kompresi melalui strategi augmentasi sumber daya manusia.

Tabel 10. Rekapitulasi hasil perhitungan biaya proyek akibat kompresi penambahan tenaga kerja

No	Tahapan Kompresi	Total Durasi (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	Biaya Tak Langsung (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Normal	2101	1.387.864.401.641	318.750.859.662	1.706.615.261.303
2	Kompresi 1	2070	1.387.864.401.641	317.461.084.637	1.705.325.486.278
3	Kompresi 2	1992	1.387.864.401.641	314.215.844.251	1.702.080.245.891
4	Kompresi 3	1908	1.387.864.401.641	223.966.496.475	1.611.830.898.116
5	Kompresi 4	1824	1.387.864.401.641	220.325.734.645	1.608.190.136.286
6	Kompresi 5	1822	1.387.864.401.641	220.305.046.596	1.608.169.448.237
7	Kompresi 6	1732	1.387.864.401.641	216.560.538.458	1.604.424.940.099
8	Kompresi 7	1690	1.387.864.401.641	214.813.101.327	1.602.677.502.968
9	Kompresi 8	1662	1.387.864.401.641	213.648.143.240	1.601.512.544.881
10	Kompresi 9	1656	1.387.864.401.641	213.398.509.364	1.601.262.911.005
11	Kompresi 10	1578	1.387.872.134.845	210.153.268.978	1.598.025.403.823
12	Kompresi 11	1566	1.387.886.634.602	209.654.001.226	1.597.540.635.828
13	Kompresi 12	1542	1.387.957.683.413	208.655.465.723	1.596.613.149.136
14	Kompresi 13	1464	1.388.198.379.386	205.410.225.336	1.593.608.604.723

Berdasarkan hasil implementasi kompresi melalui augmentasi personel sebesar 25%, tercapai durasi optimal pelaksanaan proyek selama 1464 hari, yang merepresentasikan akselerasi temporal sebesar 637 hari dari

periode standar 2101 hari. Komponen Biaya Langsung proyek mengalami peningkatan sebesar Rp 333.977.745 (yang merupakan konsekuensi dari biaya mobilisasi dan demobilisasi peralatan), sementara komponen Biaya Tidak Langsung proyek menunjukkan reduksi signifikan sebesar Rp 113.340.634.326.

Akibat percepatan terjadi penurunan biaya total sebesar Rp 113.006.656.580 dari biaya total awal sebesar Rp 1.706.615.261.303 menjadi Rp 1.593.608.604.723.

4.4.2 Penambahan Jam Kerja (Lembur)

1. Produktivitas Harian

$$\text{Produktivitas Harian} = \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Durasi normal}} \rightarrow \text{Lampiran 2, Lampiran 12}$$

$$\begin{aligned} &4.8.2 \text{ Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar} \\ &= 4.004,35 / 424 = 9,44 \text{ m}^3/\text{hari} \end{aligned}$$

2. Produktivitas Perjam

$$\text{Produktivitas Perjam} = \frac{\text{Produktivitas Harian}}{\text{Jam Kerja Perhari}}$$

$$\begin{aligned} &4.8.2 \text{ Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar} \\ &= 9,44 / 8 = 1,18 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

3. Produktivitas Harian sesudah *Crashing*

$$\text{Produktivitas Harian Percepatan} = (\text{Jam kerja perhari} \times \text{Produktivitas perjam}) + (a \times b \times \text{Produktivitas perjam})$$

$$4.8.2 \text{ Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar}$$

- 1 jam lembur = $(8 \times 1,18) + (1 \times 0,9 \times 1,18) = 10,51 \text{ m}^3/\text{hari}$
- 2 jam lembur = $(8 \times 1,18) + (2 \times 0,8 \times 1,18) = 11,33 \text{ m}^3/\text{hari}$
- 3 jam lembur = $(8 \times 1,18) + (3 \times 0,7 \times 1,18) = 11,92 \text{ m}^3/\text{hari}$

4. Durasi Percepatan

$$\text{Durasi Percepatan} = \frac{\text{Volume Pekerjaan}}{\text{Produktivitas Harian Percepatan}}$$

$$4.8.2 \text{ Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar}$$

- 1 jam lembur = $4.004,35 / 10,51 = 381,12 \approx 382 \text{ hari}$
- 2 jam lembur = $4.004,35 / 11,33 = 353,33 \approx 354 \text{ hari}$
- 3 jam lembur = $4.004,35 / 11,92 = 335,84 \approx 336 \text{ hari}$

5. Perhitungan Crash Cost Total

4.8.2 Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar

a. Upah Perhari Normal

$$\begin{aligned} & \text{Produktifitas perhari} \times \text{harga satuan} \rightarrow \text{Lampiran 2, Analisa AN034} \\ & = 9,44 \text{ m}^3/\text{hari} \times \text{Rp } 7.281,39 = \text{Rp } 68.767 \end{aligned}$$

b. Upah Perjam Normal

$$\begin{aligned} & \text{Produktifitas perjam} \times \text{harga satuan} \\ & = 1,18 \text{ m}^3/\text{jam} \times \text{Rp } 7.281,39 = \text{Rp } 8.596 \end{aligned}$$

c. Upah Lembur Pekerja

Kompensasi kerja lembur personel dikalkulasi sebesar 1,5 kali tarif standar per jam (untuk jam perpanjangan pertama) ditambah 2 x n x tarif standar per jam (untuk jam-jam perpanjangan selanjutnya).

- 1 jam lembur = $1,5 \times \text{Rp } 8.596 = \text{Rp } 12.894$
- 2 jam lembur = $1,5 \times \text{Rp } 8.596 + (2 \times 1 \times \text{Rp } 8.596) = \text{Rp } 30.086$
- 3 jam lembur = $1,5 \times \text{Rp } 8.596 + (2 \times 2 \times \text{Rp } 8.596) = \text{Rp } 47.277$

d. Crash Cost Pekerja

Crash Cost Pekerja = (Jam kerja perhari x Upah Perjam Normal) + Upah kerja lembur

- 1 jam lembur = $(8 \times \text{Rp } 8.596) + \text{Rp } 12.893 = \text{Rp } 81.661$
- 2 jam lembur = $(8 \times \text{Rp } 8.596) + \text{Rp } 30.085 = \text{Rp } 98.853$
- 3 jam lembur = $(8 \times \text{Rp } 8.596) + \text{Rp } 47.277 = \text{Rp } 116.044$

e. Crash Cost Total Pekerja

Crash Cost Total Pekerja = Crash Cost pekerja x Crash Duration

- 1 jam lembur = $\text{Rp } 81.661 \times 382 \text{ hari} = \text{Rp } 31.194.447$
- 2 jam lembur = $\text{Rp } 98.853 \times 354 \text{ hari} = \text{Rp } 34.993.826$
- 3 jam lembur = $\text{Rp } 116.044 \times 336 \text{ hari} = \text{Rp } 38.990.910$

Total Biaya Bahan/Peralatan

= Biaya Satuan Bahan/Peralatan x Volume Pekerjaan

$$= \text{Rp } 1.147.556 \times 4.004,35 \text{ m}^3 = \text{Rp } 4.595.214.176$$

Crash Cost Total = Crash Cost Total Pekerja + Total Cost Bahan

- 1 jam lembur = $\text{Rp } 31.194.447 + \text{Rp } 4.595.214.176$
= $\text{Rp } 4.626.408.623$
- 2 jam lembur = $\text{Rp } 34.993.826 + \text{Rp } 4.595.214.176$

$$= \text{Rp } 4.630.208.002$$

$$\begin{aligned} \text{3 jam lembur} &= \text{Rp } 38.990.910 + \text{Rp } 4.595.214.176 \\ &= \text{Rp } 4.634.205.086 \end{aligned}$$

6. *Cost Slope*

$$\frac{\text{Crash Cost} - \text{Normal Cost}}{\text{Normal Duration} - \text{Crash Duration}}$$

4.8.2 Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar

Cost Slope (1 jam lembur)

$$= (\text{Rp } 4.626.408.623 - \text{Rp } 5.500.342.589) / (424 - 382) = \text{Rp } 48.505$$

Cost Slope (2 jam lembur)

$$= (\text{Rp } 4.630.208.002 - \text{Rp } 5.500.342.589) / (424 - 354) = \text{Rp } 83.380$$

Cost Slope (3 jam lembur)

$$= (\text{Rp } 4.634.205.086 - \text{Rp } 5.500.342.589) / (424 - 336) = \text{Rp } 111.746$$

Proses penghitungan *cost slope* untuk aktivitas-aktivitas kritis lainnya dengan skenario perpanjangan waktu kerja 1 jam, 2 jam, dan 3 jam diimplementasikan menggunakan prosedur kalkulasi yang sama seperti telah didemonstrasikan pada perhitungan sebelumnya (Lampiran 15, Lampiran 16 dan Lampiran 17).

7. **Perhitungan Biaya Tambahan Gaji Staf**

Staf proyek yang dilibatkan pada kegiatan lembur adalah pelaksana, asisten pelaksana, mekanik dan office boy dengan gaji per jam sebagai berikut :

Pelaksana	Rp 35.500
Ass. Pelaksana	Rp 25.000
Mekanik	Rp 18.750
OB	<u>Rp 12.500</u>
Total	Rp 91.750

Eskalasi biaya kompensasi staf dikalkulasi berdasarkan formula 1,5 kali tarif reguler per jam (aplikabel untuk jam ekstensifikasi kerja pertama) ditambah 2 x n x tarif reguler per jam (untuk jam-jam ekstensifikasi kerja berikutnya).

- Total biaya staf untuk 1 jam lembur

$$= 1.5 \times \text{Rp } 91.750 = \text{Rp } 137.625$$
- Total biaya staf untuk 2 jam lembur

$$= 1.5 \times \text{Rp } 91.750 + 2 \times 1 \times \text{Rp } 91.750 = \text{Rp } 321.125$$

- Total biaya staf untuk 3 jam lembur

$$= 1.5 \times \text{Rp } 91.750 + 2 \times 2 \times \text{Rp } 91.750 = \text{Rp } 504.625$$

8. Perhitungan *Least Cost Analysis*

Nilai *cost slope* disusun mengikuti urutan ascending, kemudian dilakukan reduksi waktu pelaksanaan pada aktivitas-aktivitas yang berada dalam jalur kritis sampai tercapai tingkat kompresi yang paling efisien. Proses kompresi dimulai dari aktivitas kritis dengan nilai *cost slope* terendah, bertujuan untuk menekan kenaikan Biaya Langsung yang muncul akibat proses kompresi tersebut.

Analisis Tahap Normal

- a. Durasi normal = 2101 hari (setelah proses tracking, Lampiran 10)
- b. Biaya Langsung = Rp 1.387.864.401.641
- c. Biaya Tak Langsung
 - = BTL Fix Cost + BTL per hari x durasi normal + Denda 5%
 - = 144.499.559.625 + 41.605.646 x 2101 + 86.837.837.837
 - = Rp 318.750.859.662
- d. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
 - = Rp 1.387.864.401.641 + Rp 318.750.859.662
 - = Rp 1.706.615.261.303

1 Jam Lembur

Tahap Kompresi 1

Pada fase ini, aktivitas yang diakselerasi adalah pekerjaan pada jalur kritis dengan nilai *cost slope* minimal Rp 12.285, yakni konstruksi Saluran Drainase Beton Pracetak (u-ditch terbuka 40.60.120).

Reduksi temporal yang dicapai adalah 27 hari (dari 274 hari menjadi 247 hari). Parameter durasi dan alokasi pembiayaan yang diperlukan dalam implementasi kompresi fase pertama adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
 $= 2101 \text{ hari} - 27 \text{ hari} = 2074 \text{ hari}$
- b. Tambahan biaya
 $= \text{cost slope} \times \text{total percepatan}$
 $= \text{Rp } 12.285 \times 27 = \text{Rp } 331.694$
- c. Biaya Langsung
 $= \text{Biaya Langsung proyek} + \text{Tambahan biaya}$
 $= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 331.694$
 $= \text{Rp } 1.387.864.733.334$
- d. Biaya lembur staff
 $= \text{Biaya lembur staff perhari} \times \text{total percepatan}$
 $= \text{Rp } 137.625 \times 27 \text{ hari} = \text{Rp } 3.715.875$
- e. Biaya tak langsung
 $= \text{BTL Fix Cost} + \text{BTL per hari} \times \text{durasi crash} + \text{Biaya lembur staff} + \text{Denda } 5\%$
 $= \text{Rp } 144.499.559.625 + \text{Rp } 41.605.646 \times 2074 + \text{Rp } 3.715.875 +$
 $\text{Rp } 86.837.837.837$
 $= \text{Rp } 317.631.223.096$
- f. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
 $= \text{Rp } 1.387.864.733.334 + \text{Rp } 317.631.223.096$
 $= \text{Rp } 1.705.495.956.430$

Tahap Kompresi 2

Dalam fase ini, aktivitas yang diakselerasi merupakan aktivitas pada jalur kritis dengan nilai *cost slope* terendah berikutnya sebesar Rp 48.505, yakni pekerjaan Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar.

Periode akselerasi yang tercapai sebesar 42 hari (reduksi dari 424 hari menjadi 382 hari). Durasi pelaksanaan dan kebutuhan finansial untuk implementasi kompresi tahap kedua adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
 $= 2074 \text{ hari} - 42 \text{ hari} = 2032 \text{ hari}$

- b. Tambahan biaya
- $$= \text{cost slope} \times \text{total percepatan}$$
- $$= \text{Rp } 48.505 \times 42 = \text{Rp } 2.037.223$$
- c. Biaya Langsung
- $$= \text{Biaya Langsung proyek} + \text{Tambahan biaya}$$
- $$= \text{Rp } 1.387.864.733.334 + \text{Rp } 2.037.223$$
- $$= \text{Rp } 1.387.866.770.558$$
- d. Biaya lembur staff
- $$= \text{Biaya lembur staff perhari} \times \text{total percepatan}$$
- $$= \text{Rp } 137.625 \times 42 \text{ hari} = \text{Rp } 5.780.250$$
- e. Biaya tak langsung
- $$= \text{BTL Fix Cost} + \text{BTL per hari} \times \text{durasi crash} + \text{Biaya lembur staff} + \text{Denda } 5\%$$
- $$= \text{Rp } 144.499.559.625 + \text{Rp } 41.605.646 \times 2074 + \text{Rp } 5.780.250 + \text{Rp } 86.837.837.837$$
- $$= \text{Rp } 315.885.850.340$$
- f. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
- $$= \text{Rp } 1.387.866.770.558 + \text{Rp } 315.880.070.090$$
- $$= \text{Rp } 1.703.752.620.898$$

Proses kalkulasi untuk tahapan-tahapan kompresi berikutnya pada aktivitas-aktivitas kritis lainnya dieksekusi dengan prosedur komputasi yang serupa seperti telah diuraikan sebelumnya (Lampiran 18). Tabel berikut mempresentasikan matriks rekapitulasi hasil penghitungan total pembiayaan proyek sebagai dampak dari implementasi kompresi melalui perpanjangan waktu kerja (lembur) selama 1 jam.

Tabel 11. Rekapitulasi perhitungan total biaya proyek akibat kompresi penambahan jam kerja (lembur) 1 jam

No	Tahapan Kompresi	Cost Slope	Total Durasi (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	Biaya Tak Langsung (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Normal		2101	1.387.864.401.641	318.750.859.662	1.706.615.261.303
2	Kompresi 1	12.285	2074	1.387.864.733.334	317.631.223.096	1.705.495.956.430
3	Kompresi 2	48.505	2032	1.387.866.770.558	315.885.850.340	1.703.752.620.898
4	Kompresi 3	145.516	1990	1.387.872.882.228	314.138.413.209	1.702.011.295.437
5	Kompresi 4	223.545	1984	1.387.874.223.497	313.883.824.833	1.701.758.048.330
6	Kompresi 5	383.642	1945	1.387.889.185.540	312.265.746.265	1.700.154.931.804
7	Kompresi 6	538.183	1912	1.387.906.945.590	310.891.934.197	1.698.798.879.787
8	Kompresi 7	720.426	1906	1.387.911.268.145	303.691.557.419	1.691.602.825.564
9	Kompresi 8	735.938	1864	1.387.942.177.525	229.005.291.005	1.616.947.468.530
10	Kompresi 9	1.313.883	1824	1.387.994.732.858	220.393.762.888	1.608.388.495.747
11	Kompresi 10	1.496.622	1816	1.388.057.590.982	220.061.192.971	1.608.118.783.953
12	Kompresi 11	1.726.191	1795	1.388.093.840.989	219.184.584.280	1.607.278.425.269
13	Kompresi 12	1.982.426	1782	1.388.258.382.385	218.652.243.632	1.606.910.626.018
14	Kompresi 13	2.999.801	1740	1.388.384.374.043	216.899.163.876	1.605.283.537.919
15	Kompresi 14	7.044.544	1701	1.388.659.111.265	215.276.130.808	1.603.935.242.073
16	Kompresi 15	12.323.920	1698	1.388.696.083.025	215.146.359.370	1.603.842.442.396
17	Kompresi 16	15.179.099	1659	1.389.288.067.890	213.528.693.677	1.602.816.761.567
18	Kompresi 17	60.849.106	1620	1.391.661.183.016	211.906.073.484	1.603.567.256.500

Hasil implementasi kompresi melalui ekstensifikasi jam kerja (lembur) selama 1 jam menghasilkan durasi optimal pelaksanaan proyek selama 1659 hari, yang mencerminkan percepatan temporal sebesar 481 hari dari periode standar 2101 hari. Biaya Langsung proyek mengalami eskalasi sebesar Rp 3.796.781.375, sementara Biaya Tidak Langsung proyek menunjukkan penurunan sebesar Rp 106.844.786.178.

Akibat percepatan terjadi penurunan biaya total sebesar Rp 103.048.004.803 dari biaya total awal sebesar Rp 1.706.615.261.303 menjadi Rp 1.602.816.761.567.

▪ 2 jam lembur

Tahap Kompresi 1

Pada fase ini, aktivitas yang menjadi target akselerasi adalah aktivitas dalam jalur kritis dengan nilai *cost slope* minimal sebesar Rp 21.063, yakni pekerjaan Saluran Drainase Beton Pracetak (u-ditch terbuka 40.60.120).

Durasi percepatan yang dicapai adalah 45 hari (dari 274 hari menjadi 229 hari). Parameter waktu pelaksanaan dan kebutuhan biaya untuk implementasi kompresi tahap pertama adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
= 2070 hari (Ms. Project)
- b. Tambahan biaya
= *cost slope* x total percepatan
= Rp 21.063 x 45 = Rp 947.849
- c. Biaya Langsung
= Biaya Langsung proyek + Tambahan biaya
= Rp 1.387.864.401.641 + Rp 947.849
= Rp 1.387.865.349.490
- d. Biaya lembur staff
= Biaya lembur staff perhari x total percepatan
= Rp 321.125 x 45 hari = Rp 14.450.625
- e. Biaya tak langsung
= BTL Fix Cost + BTL per hari x durasi crash + Biaya lembur staff + Denda 5%
= Rp144.499.559.625 + Rp41.605.646 x 2070 + Rp14.450.625 + Rp86.837.837.837
= Rp 317.475.535.262
- f. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
= Rp 1.387.865.349.490 + Rp 317.475.535.262
= Rp 1.705.340.884.752

Tahap Kompresi 2

Pada tahap ini aktivitas yang dipercepat adalah aktivitas yang berada pada jalur kritis dengan *cost slope* terkecil berikutnya = Rp 83.380 yaitu Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar.

Periode percepatan yang dicapai sebesar 70 hari (dari 424 hari menjadi 354 hari). Durasi dan biaya yang diperlukan pada kompresi tahap 2 adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
 $= 2070 \text{ hari} - 70 \text{ hari} = 2000 \text{ hari}$
- b. Tambahan biaya
 $= \text{cost slope} \times \text{total percepatan}$
 $= \text{Rp } 83.380 \times 70 = \text{Rp } 5.836.602$
- c. Biaya Langsung
 $= \text{Biaya Langsung proyek} + \text{Tambahan biaya}$
 $= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 5.836.602$
 $= \text{Rp } 1.387.871.186.092$
- d. Biaya lembur staff
 $= \text{Biaya lembur staff perhari} \times \text{total percepatan}$
 $= \text{Rp } 321.125 \times 70 \text{ hari} = \text{Rp } 22.478.750$
- e. Biaya tak langsung
 $= \text{BTL Fix Cost} + \text{BTL per hari} \times \text{durasi crash} + \text{Biaya lembur staff} + \text{Denda } 5\%$
 $= \text{Rp } 144.499.559.625 + \text{Rp } 41.605.646 \times 2000 + \text{Rp } 22.478.750 + \text{Rp } 86.837.837$
 $= \text{Rp } 314.571.168.168$
- f. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
 $= \text{Rp } 1.387.871.186.092 + \text{Rp } 314.571.168.168$
 $= \text{Rp } 1.702.442.354.261$

Kalkulasi fase-fase kompresi selanjutnya untuk aktivitas kritis lainnya diimplementasikan menggunakan metodologi serupa (Lampiran 19). Matriks rekapitulasi berikut menyajikan hasil perhitungan agregat biaya proyek akibat implementasi kompresi melalui penambahan jam kerja (lembur) 2 jam.

Tabel 12. Rekapitulasi perhitungan total biaya proyek akibat kompresi penambahan jam kerja (lembur) 2 jam

No	Tahapan Kompresi	Total Durasi	Biaya Langsung (Rp)	Biaya Tak Langsung (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Normal	2101	1.387.864.401.641	318.750.859.662	1.706.615.261.303
2	Kompresi 1	2070	1.387.865.349.490	317.475.535.262	1.705.340.884.752
3	Kompresi 2	2000	1.387.871.186.092	314.571.168.168	1.702.442.354.261
4	Kompresi 3	1930	1.387.888.695.899	311.658.772.950	1.699.547.468.849
5	Kompresi 4	1920	1.387.892.525.319	311.223.448.990	1.699.115.974.309
6	Kompresi 5	1855	1.387.935.430.172	221.698.906.039	1.609.634.336.210
7	Kompresi 6	1800	1.387.986.173.173	219.407.384.260	1.607.393.557.433
8	Kompresi 7	1790	1.387.998.420.411	218.976.877.175	1.606.975.297.586
9	Kompresi 8	1760	1.388.086.975.134	217.747.975.296	1.605.834.950.429
10	Kompresi 9	1725	1.388.190.830.639	216.280.538.312	1.604.471.368.950
11	Kompresi 10	1720	1.388.672.280.239	216.105.264.832	1.604.777.545.071
12	Kompresi 11	1650	1.389.033.243.680	213.171.354.238	1.602.204.597.918
13	Kompresi 12	1585	1.389.821.074.619	210.465.381.625	1.600.286.456.244
14	Kompresi 13	1580	1.389.925.827.940	210.238.085.895	1.600.163.913.835
15	Kompresi 14	1515	1.391.623.391.843	207.552.986.406	1.599.176.378.249
16	Kompresi 15	1450	1.398.428.489.100	204.848.619.418	1.603.277.108.518

Hasil implementasi kompresi melalui perpanjangan jam kerja (lembur) 2 jam menghasilkan durasi optimal 1515 hari, yang merepresentasikan akselerasi 586 hari dari durasi standar 2101 hari. Biaya Langsung proyek mengalami peningkatan Rp 3.758.990.202, sedangkan Biaya Tidak Langsung proyek menurun Rp 111.197.873.256.

Akibat percepatan terjadi penurunan biaya total sebesar Rp 107.438.883.054 dari biaya total awal sebesar Rp 1.706.615.261.303 menjadi Rp 1.599.176.378.249.

▪ 3 jam lembur

Tahap Kompresi 1

Dalam tahapan ini, pekerjaan yang menjadi fokus percepatan adalah aktivitas dalam lintasan kritis dengan nilai *cost slope* minimal sebesar Rp 28.791, yaitu konstruksi Saluran Drainase Beton Pracetak (u-ditch terbuka 40.60.120).

Reduksi durasi pelaksanaan yang tercapai mencapai 56 hari (penurunan dari 274 hari menjadi 218 hari). Parameter temporal dan kebutuhan pembiayaan untuk implementasi kompresi fase pertama adalah sebagai berikut:

- a. Total waktu penyelesaian proyek
= 2070 hari (Ms. Project)
- b. Tambahan biaya
= *cost slope* x total percepatan
= Rp 28.791 x 56 = Rp 1.612.310
- c. Biaya Langsung
= Biaya Langsung proyek + Tambahan biaya
= Rp 1.387.864.401,641 + Rp 1.612.310
= Rp 1.387.866.013.950
- d. Biaya lembur staff
= Biaya lembur staff perhari x total percepatan
= Rp 504.625 x 56 hari = Rp 28.259.000
- e. Biaya tak langsung
= BTL Fix Cost + BTL per hari x durasi crash + Biaya lembur staff + Denda 5%
= Rp 144.499.559.625 + Rp 41.605.646 x 2070 + Rp 28.259.000 + Rp 86.837.837.837
= Rp 317.489.343.637
- f. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung
= Rp 1.387.866.013.950 + Rp 317.489.343.637
= Rp 1.705.355.357.587

Tahap Kompresi 2

Dalam fase ini, aktivitas yang menjadi target percepatan adalah aktivitas pada lintasan kritis dengan nilai *cost slope* terendah selanjutnya sebesar Rp 111.746, yakni pekerjaan Beton RCC (Roller Compacted Concrete), Material Dari Luar.

Waktu percepatan sebesar 88 hari (424 hari – 336 hari). Durasi dan biaya yang dibutuhkan pada kompresi tahap 2 adalah:

- a. Total waktu penyelesaian proyek

$$= 2070 - 88 = 1982 \text{ hari}$$
- b. Tambahan biaya

$$= \text{cost slope} \times \text{total percepatan}$$

$$= \text{Rp } 111.746 \times 88 = \text{Rp } 9.833.686$$
- c. Biaya Langsung

$$= \text{Biaya Langsung proyek} + \text{Tambahan biaya}$$

$$= \text{Rp } 1.387.864.401.641 + \text{Rp } 9.833.686$$

$$= \text{Rp } 1.387.875.847.637$$
- d. Biaya lembur staff

$$= \text{Biaya lembur staff perhari} \times \text{total percepatan}$$

$$= \text{Rp } 504.625 \times 88 \text{ hari} = \text{Rp } 44.407.000$$
- e. Biaya tak langsung

$$= \text{BTL Fix Cost} + \text{BTL per hari} \times \text{durasi crash} + \text{Biaya lembur staff} + \text{Denda } 5\%$$

$$= \text{Rp } 144.499.559.625 + \text{Rp } 41.605.646 \times 1982 + \text{Rp } 44.407.000 + \text{Rp } 86.837.837.837$$

$$= \text{Rp } 313.844.194.791$$
- f. Total Biaya = Biaya Langsung + Biaya Tak Langsung

$$= \text{Rp } 1.387.875.847.637 + \text{Rp } 313.844.194.791$$

$$= \text{Rp } 1.701.720.042.428$$

Kalkulasi tahap kompresi berikutnya untuk aktivitas kritis lain mengikuti metode perhitungan serupa (Lampiran 20). Tabel di bawah menampilkan rekapitulasi hasil analisis total biaya proyek dari penerapan kompresi melalui penambahan 3 jam kerja lembur.

Tabel 13. Rekapitulasi perhitungan total biaya proyek akibat kompresi penambahan jam kerja (lembur) 3 jam

No	Tahapan Kompresi	Total Durasi (Hari)	Biaya Langsung (Rp)	Biaya Tak Langsung (Rp)	Total Biaya (Rp)
1	Normal	2101	1.387.864.401.641	318.750.859.662	1.706.615.261.303
2	Kompresi 1	2070	1.387.866.013.950	317.489.343.637	1.705.355.357.587
3	Kompresi 2	1982	1.387.875.847.637	313.844.194.791	1.701.720.042.428
4	Kompresi 3	1900	1.387.905.348.696	293.064.964.253	1.680.970.312.949
5	Kompresi 4	1894	1.387.909.384.607	282.356.438.337	1.670.265.822.943
6	Kompresi 5	1882	1.387.916.129.828	261.016.089.504	1.648.932.219.332
7	Kompresi 6	1801	1.387.989.095.406	218.198.995.403	1.606.188.090.809
8	Kompresi 7	1732	1.388.074.700.728	215.339.478.532	1.603.414.179.260
9	Kompresi 8	1726	1.388.223.900.438	215.153.320.171	1.603.377.220.608
10	Kompresi 9	1714	1.388.245.393.140	214.526.107.665	1.602.771.500.805
11	Kompresi 10	1670	1.388.420.372.076	212.848.073.739	1.601.268.445.815
12	Kompresi 11	1632	1.389.238.651.933	211.909.607.248	1.601.148.259.182
13	Kompresi 12	1544	1.389.846.814.196	208.036.449.333	1.597.883.263.529
14	Kompresi 13	1524	1.391.270.108.215	208.019.071.926	1.599.289.180.142
15	Kompresi 14	1463	1.392.609.922.616	205.396.439.358	1.598.006.361.974
16	Kompresi 15	1457	1.392.793.754.424	203.990.704.016	1.596.784.458.439
17	Kompresi 16	1442	1.395.680.694.309	206.069.430.221	1.601.750.124.530
18	Kompresi 17	1361	1.407.253.694.104	211.383.828.016	1.618.637.522.120

Berdasarkan implementasi kompresi melalui ekstensifikasi jam kerja (lembur) selama 3 jam, diperoleh durasi optimal proyek sepanjang 1457 hari dengan akselerasi waktu mencapai 644 hari dari durasi normal 2101 hari. Komponen Biaya Langsung proyek mengalami peningkatan sebesar Rp 4.929.352.783, sementara komponen Biaya Tak Langsung proyek mengalami pengurangan sebesar Rp 114.760.155.646.

Akibat percepatan terjadi penurunan biaya total sebesar Rp 109.830.802.864 dari biaya total awal sebesar Rp 1.706.615.261.303 menjadi Rp 1.596.784.458.439.

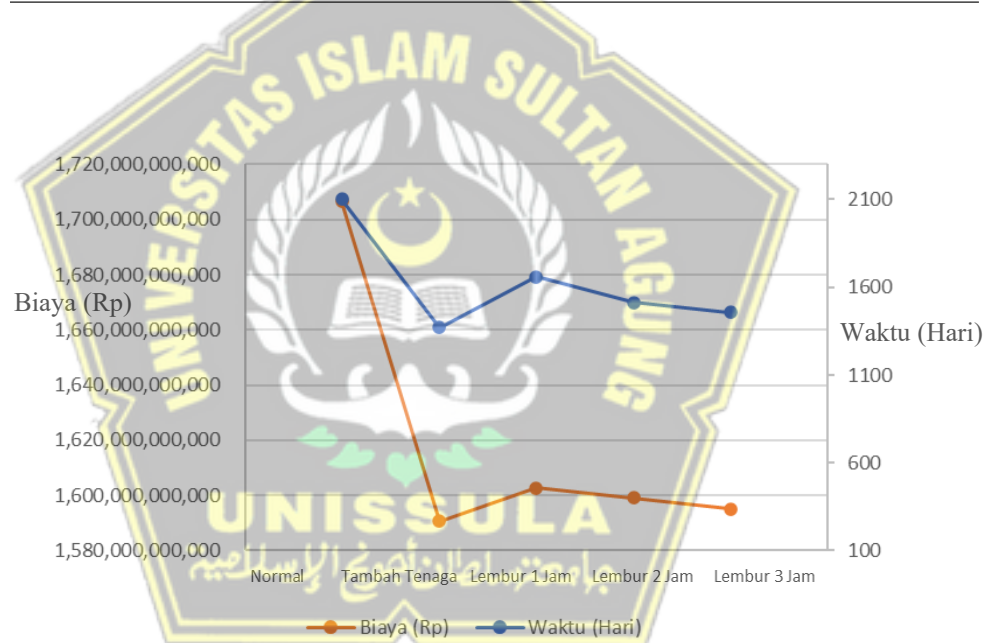
4.5 Efisiensi Biaya dan Efektivitas Waktu

Implementasi strategi kompresi menghasilkan reduksi pada total pembiayaan proyek. Fenomena ini terjadi karena gradien penurunan biaya tak langsung memiliki magnitudo yang lebih signifikan dibandingkan dengan gradien kenaikan biaya langsung. Biaya total optimum didapat

apabila hasil penjumlahan Biaya Langsung dan tak langsungnya mencapai nilai terendah. Biaya dan waktu optimum dari masing-masing alternatif percepatan dapat dilihat pada Tabel 14 dan Gambar 11.

Tabel 14. Rekapitulasi biaya dan waktu optimum untuk masing-masing percepatan

Alternatif percepatan	Durasi setelah kompresi optimum (Hari)	Perubahan Durasi (Hari)	Prosentase perubahan durasi (%)	Biaya setelah kompresi optimum (Rp)	Perubahan biaya (Rp)	Prosentase perubahan biaya (%)	Jumlah pekerjaan yang dipercepat
Normal	2101			1.706.615.261.303			
Tambah Tenaga	1464	637	30,32	1.593.608.604.723	113.006.656.580	6,62	14
Lembur 1 Jam	1659	442	21,04	1.602.809.356.968	103.805.904.335	6,08	16
Lembur 2 Jam	1515	586	27,89	1.599.155.505.124	107.459.756.179	6,30	15
Lembur 3 Jam	1457	644	30,65	1.595.177.332.612	111.437.928.691	6,53	14



Gambar 11. Grafik hubungan alternatif percepatan dengan biaya dan waktu optimum

Berdasarkan analisis komparatif terhadap empat opsi akselerasi yang tertera pada Tabel 14 dan divisualisasikan dalam Gambar 11, kondisi optimal dari segi biaya dan durasi tercapai melalui strategi penambahan sumber daya manusia. Pendekatan ini menghasilkan efisiensi biaya mencapai Rp 113.006.656.580, menurunkan total anggaran proyek dari nilai baseline Rp 1.706.615.261.303 menjadi Rp 1.593.608.604.723, sambil

mencapai percepatan waktu pelaksanaan selama 637 hari, mengompres jadwal dari durasi standar 2101 hari menjadi 1464 hari.

Tabel 15. Perbandingan Waktu - Biaya Normal dan Optimum

	Normal	Optimum
Durasi	2101	1464
Biaya Langsung	1.387.864.401.641	1.388.198.379.386
Biaya Tak Langsung	318.750.859.662	205.410.225.336
Total Biaya	1.706.615.261.303	1.593.608.604.723

Dengan demikian persentase efektifitas waktu dan efisiensi biaya proyek hasil percepatan adalah sebagai berikut :

▪ **Efektifitas waktu proyek**

$$= 2101 \text{ hari} - 1464 \text{ hari kerja} = 637 \text{ hari}$$

Atau.

$$= \frac{2101 - 1464}{2101} \times 100\% = 30,32\%$$

▪ **Efisiensi biaya proyek**

$$= \text{Rp } 1.706.615.261.303 - \text{Rp } 1.593.608.604.723$$

$$= \text{Rp } 113.006.656.580$$

Atau.

$$= \frac{\text{Rp } 1.706.615.261.303 - \text{Rp } 1.593.608.604.723}{\text{Rp } 1.706.615.261.303} \times 100\%$$

$$= 6,62\%$$

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Melalui implementasi strategi akselerasi berbasis augmentasi sumber daya manusia, tercapai pembiayaan optimal senilai Rp 1.593.608.604.723. Hasil ini mencerminkan pencapaian efisiensi finansial sebesar Rp 113.006.656.580, yang ekuivalen dengan 6,62% dari baseline anggaran normal yang berjumlah Rp 1.706.615.261.303.
2. Waktu pelaksanaan yang paling efisien untuk Proyek Bendungan Cibeet Paket 1 adalah 1464 hari dengan pencapaian percepatan 637 hari, yang mengindikasikan peningkatan efisiensi waktu proyek mencapai 30,32%. Penetapan durasi tersebut merupakan hasil dari kalkulasi akselerasi berbasis metode *Least Cost Analysis* melalui penerapan strategi augmentasi tenaga kerja pada aktivitas-aktivitas yang termasuk dalam lintasan kritis.

5.2 Saran

1. Kajian optimalisasi biaya dan waktu yang menggunakan metode *Least Cost Analysis* dapat diperluas cakupannya melalui penerapan strategi alternatif, seperti penerapan pola kerja shift atau penggunaan teknik pelaksanaan yang lebih efisien. Diversifikasi pendekatan ini diharapkan mampu memberikan hasil yang lebih optimal dalam hal efisiensi pembiayaan dan waktu penyelesaian proyek.
2. Studi lanjutan sebaiknya mengintegrasikan evaluasi perbandingan terhadap ragam perangkat lunak atau teknik penjadwalan lainnya, sehingga memungkinkan identifikasi metode yang memiliki tingkat efektivitas yang lebih baik dalam penerapan manajemen jadwal.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriana. M. (2022). *Mengenal Precedence Diagramming Method (PDM)*. School of Information Systems. <https://sis.binus.ac.id/2022/02/14/mengenal-precedence-diagramming-method-pdm/>
- Aziz. Alfrida dkk (2022). *Manajemen Proyek (Tinjauan Teori dan Praktis)*. Widina Bhakti Persada. Bandung.
- Devari. D. A.. Setiani. N.. & Artiani. P. (2024). *OPTIMALISASI BIAYA DAN WAKTU DENGAN MENGGUNAKAN LEAST COST*. 06(02).
- Dewi. A. A. D. P.. Yana. A. A. G. A.. & Dwijanajaya. K. Y. (2020). Optimalisasi Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek Menggunakan Metode *Least Cost Analysis* (Studi Kasus: Pembangunan Pasar Amlapura Barat). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. 24(2). 168–174.
- Fedrikson S. Mardewi Jamal. F. N. A. (2019). Optimalisasi Biaya dan Waktu Pelaksanaan Proyek Pada Proyek dengan Metode *Least Cost Analysis*. *Teknologi Sipil*. 3(Nomor 1). 21–28.
- Frederika. A. (2010). ANALISIS PERCEPATAN PELAKSANAAN DENGAN MENAMBAH JAM KERJA OPTIMUM PADA PROYEK KONSTRUKSI (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Super Villa. Peti Tenget-Badung) Ariany Frederika. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*. 14(2). 113–126.
- Husen. A. (2009). *lr. Abrar Husen. MT*. 5.
- Ishaq. (2017). *METODE PENELITIAN HUKUM* (Kesatu). Alfabeta.
- Itu. S. M.. Chandra. C. J.. Woda. Y. W. B.. Kabupung. A. S.. Yuneta. M.. Jori. O.. Nona. E.. Koten. A.. Mina. Y. B.. Suban. A. L.. Bada. C. B.. Getrudis. M. A.. Silviani. F.. Ama. M. U.. Wilve. Y.. Woda. B.. Reja. I. D.. Hadi. N.. Mulein. I. M.. ... Ningsi. S. R. (2023). *Susunan Staf Redaksi*. 9(2).
- Janizar. S. (2023). Penerapan Metode Earned Value Analysis Terhadap Waktu Penjadwalan. *Jurnal Konstruksi*. 21(1). 113–120.
<https://doi.org/10.33364/konstruksi/v.21-1.1328>
- Kerzner. H. (2009). *Harold kerzner. p*.
- Khoni Eka Pratiwi. Fachriza Noor Abdi. E. B. (2020). Optimalisasi Biaya dan

- Waktu Pelaksanaan Proyek dengan Metode *Least Cost Analysis*. *Teknologi Sipil*. 4(Nomor 2). 20–29.
- Kumara. I. N. I.. Tapa. I. G. F. S.. Indrashwara. D. C.. Wedagama. D. A. T. A.. & Srikandi. M. B. (2024). Application of the *Least Cost Analysis* Method to Determine the Optimal Cost and Duration for Delayed Projects. *Journal of Civil Engineering and Planning*. 5(1). 120–130.
<https://doi.org/10.37253/jcep.v5i1.9303>
- Putra. Y.. & Hartati. S. (2017). Optimalisasi Waktu Dan Biaya Menggunakan Metode *Least Cost Analysis* Pada Proyek Peningkatan Jalan Lingkar Kota Dumai. *Jurnal Saintis*. Vol. 17 No(April). 100–112.
- Riza. M. N.. & Witjaksana. B. (2022). Analisa Biaya Dan Waktu Dengan Menggunakan Metode *Least Cost Analysis* Pada Proyek Pembangunan Gedung Ruang Kelas Baru Man Kota Surabaya. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*. 5(1). 308. <https://doi.org/10.31602/jk.v5i1.7560>
- Sambasivan. M.. & Soon. Y. W. (2007). Causes and effects of delays in Malaysian construction industry. *International Journal of Project Management*. 25(5). 517–526.
<https://doi.org/10.1016/j.ijproman.2006.11.007>
- Schwalbe. K. (2015). *Information Technology Project Management*. Eight Edition. 1–643.
- Setiawan Bagus Budi. & Trijetti. (2021). Analisis Pertukaran Waktu dan Biaya Dengan Metode Time Cost Trade Off (Bagus Budi-Trijetti). *Journal of Civil Engineering and Planning*. 25–34.
- Setiawan. R.. Rahman. T.. & Jamal. M. (2020). OPTIMALISASI BIAYA & WAKTU PEKERJAAN PADA SALURAN PELIMPAH (SPILLWAY) DENGAN MENGGUNAKAN METODE *LEAST COST ANALYSIS* (Studi Kasus Proyek Pembangunan Bendungan Tapin . Desa Pipitak Jaya . Kalimantan Selatan). *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Sipil*. 4 Nomor 1. 57–68.
- Sugiyono. D. (2010). Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D. In *Penerbit Alfabeta*.
- Sulasti. E.. & Giatman. M. (2022). ... dan biaya pada proyek konstruksi

pembangunan gedung laboratorium Fakultas Ilmu Sosial Universitas Negeri Padang menggunakan *software* Microsoft Project. *Jurnal Applied Science in Civil* 3.

<http://asce.ppj.unp.ac.id/index.php/ASCE/article/view/222%0Ahttp://asce.ppj.unp.ac.id/index.php/ASCE/article/download/222/115>

Nindya-Adhi-Bahagia KSO. 2024. Laporan Bulan Desember Proyek Bendungan Cibeet Paket 1. Laporan. Tidak dipublikasikan. Nindya-Adhi-Bahagia KSO. Jakarta.

