

**PENJADWALAN PROYEK PEMBANGUNAN PENAMBAHAN KAPASITAS
STORAGE BIO-DIESEL TANK KAPASITAS 8.500 KL DENGAN METODE
CRITICAL CHAIN PROJECT MANAGEMENT (CCPM)
(Studi Kasus: PT. Buana Megah Teknik)**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1
Program Studi Teknik Industri - Fakultas Teknologi Industri
Universitas Islam Indonesia**



Nama : Diani Tri Kurnia Utami
No. Mahasiswa : 21522220

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2025**

PERNYATAAN KEASLIAN

Saya mengakui bahwa tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri kecuali kutipan dan ringkasan yang seluruhnya sudah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan saya ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah maka saya bersedia ijazah yang telah saya terima ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 20 – Agustus - 2025



(Diani Tri Kurnia Utami)
21522220

SURAT BUKTI PENELITIAN

	PT. BUANA MEGAH TEKNIK Pusat Melakat Cikarang Blok-Blok 10-12 RT. 006 RW. 011 Cikarang Cikarang - Jawa Barat Telp. : (021) 8248.2027 Fax. : (021) 8248.2027 Email : buana_megah@ptbmt.com	  
<p>Nomor : 051/SK/ADM/BMT/2025 Lampiran : 1 lembar Perihal : Pemberitahuan Pengambilan Data dan Analisa Data Project untuk Penelitian Dan dokumentasi Skripsi Tanggal : 16 Mei 2025</p> <p>Yth. Bpk / Ibu Kaprodi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Islam Indonesia</p> <p>Berdasarkan dengan informasi yang kami sampaikan mahasiswa/i berikut :</p> <p>Nama : DIANI TRI KURNIA UTAMI NIM : 21522220 Prodi : Teknik Industri</p> <p>Telah Melaksanakan pengambilan data dan analisa data Project PT. Buana Megah Teknik guna penelitian dan dokumentasi Skripsi dan telah menyelesaikannya sesuai dengan kebutuhan penulisan yang dikeluarkan oleh Divisi Teknik Engineering and Construction, terhitung dari 16 Februari 2025 s/d 16 Mei 2025</p> <p>Demikian surat Keterangan ini kami sampaikan, agar dapat digunakan sebagaimana mestinya. Atas perhatian dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih</p> <p>Jakarta, 16 Mei 2025</p> <p>PT. BUANA MEGAH TEKNIK  BAGAS RIANDHOKO Technical Eng. Manager</p> <p>PT. BUANA MEGAH TEKNIK MECHANICAL - CONTRUCTION - ENGINEERING</p>		

LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING
PENJADWALAN PROYEK PEMBANGUNAN PENAMBAHAN KAPASITAS
STORAGE BIO-DIESEL TANK KAPASITAS 8.500 KI. DENGAN METODE
CRITICAL CHAIN PROJECT MANAGEMENT (CCPM) DI PT. BUANA MEGAH
TEKNIK



Yogyakarta, 20 Agustus 2025

Dosen Pembimbing



(Ir. Vembri Nour Helia, S.T., M.T., IPM)

LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI
PENJADWALAN PROYEK PEMBANGUNAN PENAMBAHAN KAPASITAS STORAGE
BIO-DIESEL TANK KAPASITAS 8.500 KL DENGAN METODE CRITICAL CHAIN PROJECT
MANAGEMENT (CCPM) DI PT. BUANA MEGAH TEKNIK

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh :

Nama : Diani Tri Kurnia Utami

No. Mahasiswa : 21522220

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk
 memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri Fakultas Teknologi Industri
 Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 25 - Agustus - 2025

Tim Penguji

Ir. Vembri Noor Helia, S.T., M.T., IPM

Ketua

Ir. Muchamad Sagarindra, S.T., M.T.I., IPM

Anggota I

Ir. Elanjati Worladihni, S.T., M.Sc., IPM.,

ASEAN Eng.

Anggota II

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Industri Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia


Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM
 NIK 015220101

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa hormat dan ketulusan hati, laporan ini penulis persembahkan kepada Allah SWT atas segala kemudahan yang telah diberikan, Nabi Muhammad SAW sebagai tauladan bagi umat manusia, Ayah Budiyono dan Ibu Yenni Ruchyani tercinta yang sudah memberikan doa dan dukungan yang tidak pernah terputus bagi penulis, Ibu Ir. Vembri Noor Helia, S.T., M.T., IPM yang sudah memberikan bimbingan, arahan, dan ilmu yang berharga, dan teman-teman dekat penulis yang sudah memberikan semangat dan dukungan kepada penulis.

MOTTO

“Allah tidak akan membebani seseorang, melainkan sesuai dengan kesanggupannya.”

(Q.S Al-Baqarah [2]:286)

“Dan janganlah kamu berputus asa dari rahmat Allah. Sesungguhnya tiada berputus dari rahmat Allah melainkan kaum yang kafir,”

(Q.S Yusuf [12]:87)

“Jangan bersedih. Sesungguhnya pertolongan akan datang bersama kesabaran,”

(HR. Ahmad)

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb

Bismillahirrahmanirrahim

Puji dan syukur atas kehadiran Allah SWT karena berkat rahmat dan karunia-Nya penulis dapat menyelesaikan Laporan Tugas Akhir yang berjudul “Penjadwalan Proyek Penambahan Kapasitas *Storage Bio-Diesel Tank* Kapasitas 8.500 kl dengan Metode *Critical Chain Project Management (CCPM)*” sebagai syarat untuk memperoleh gelar sarjana strata-1 jurusan Teknik Industri – Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.

Laporan Tugas Akhir ditulis oleh penulis berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil studi kasus di perusahaan, prosedur perusahaan, informasi yang berasal dari pembimbing, dan pihak perusahaan.

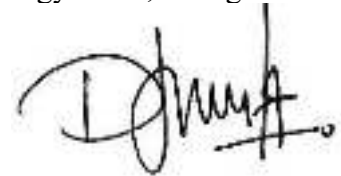
Dalam kesempatan kali ini penulis mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah membantu menyelesaikan Laporan Tugas Akhir antara lain kepada:

1. Bapak Prof. Dr. Ir. Hari Purnomo, M.T., IPU., ASEAN.Eng. selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Ir. Muhammad Ridwan Andi Purnomo, S.T., M.Sc., Ph.D., IPM, selaku Ketua Program Studi Jurusan Teknik Industri – Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia.
3. Ibu Ir. Vembri Noor Helia, S.T, M.T., IPM, selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis.
4. Bapak Bagas Riandhoko, selaku Pembimbing Lapangan yang telah memberikan pemahaman dan membimbing penulis selama di perusahaan.
5. Kedua orang tua dan keluarga penulis yang telah mendoakan, memberikan izin, dan semangat kepada penulis.

Dalam penulisan laporan ini, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun sehingga penyusunan laporan menjadi lebih baik. Semoga laporan ini dapat bermanfaat bagi penulis maupun pembaca.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Yogyakarta, 06 Agustus 2025



Diani Tri Kurnia Utami

NIM 21522220

ABSTRAK

Keterlambatan proyek merupakan permasalahan yang terjadi akibat keterbatasan sumber daya, estimasi durasi yang terlalu optimis, dan hambatan ketidakpastian yang sering terjadi pada pelaksanaan proyek. Penjadwalan awal proyek dilakukan hanya berdasarkan perkiraan estimasi waktu optimis yang tidak mempertimbangkan ketersediaan sumber daya yang terbatas sehingga mengakibatkan terjadinya keterlambatan dalam pelaksanaan proyek. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis durasi dan biaya tenaga kerja yang dihasilkan setelah penjadwalan CCPM untuk meningkatkan fleksibilitas jadwal, efisiensi sumber daya, dan mengurangi risiko terjadinya keterlambatan. Penyusunan ulang jadwal menggunakan metode CCPM dengan mengidentifikasi hubungan antar aktivitas, menganalisis jalur kritis dan non kritis, dan menambahkan *project buffer* dan *feeding buffer* sebagai waktu pelindung durasi proyek. Berdasarkan hasil penelitian menggunakan metode CCPM didapatkan durasi proyek lebih cepat 20 hari yaitu 421 hari dibandingkan dengan penjadwalan awal proyek yang membutuhkan waktu selama 441 hari dengan asumsi semua *buffer* telah habis digunakan. Kemudian biaya tenaga kerja yang dihasilkan setelah menggunakan metode CCPM sebesar Rp4.537.680.130 yang terdiri dari biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp1.989.386.130 dan biaya tenaga kerja tidak langsung sebesar Rp2.548.294.000. Sedangkan jumlah biaya tenaga kerja yang dihasilkan sebelum menggunakan metode CCPM sebesar Rp4.909.347.133 yang terdiri dari biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp2.179.032.133 dan biaya tenaga kerja tidak langsung sebesar Rp2.730.315.000. Adanya perbedaan selisih biaya tersebut menimbulkan terjadinya penghematan biaya tenaga kerja sebesar Rp371.667.003 dan menghasilkan efisiensi biaya proyek sebesar 7,57%.

Kata Kunci: ***Buffer, Resource Levelling, CCPM, Manajemen Proyek.***

DAFTAR ISI

PERNYATAAN KEASLIAN	ii
SURAT BUKTI PENELITIAN	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING	iv
LEMBAR PENGESAHAN DOSEN PENGUJI	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	ivi
MOTTO	vii
KATA PENGANTAR	viii
ABSTRAK	ix
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	5
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Penelitian	7
1.6 Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	8
2.1 Kajian Literatur	8
2.2 Landasan Teori	27
BAB III METODE PENELITIAN	46
3.1 Objek Penelitian	46
3.2 Subjek Penelitian	47
3.3 Jenis Data	47
3.4 Metode Pengumpulan Data	48
3.5 Alur Penelitian	48
BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	54
4.1. Profil Perusahaan	54
4.2. Pengumpulan Data	56
4.3. Pengolahan Data	62
BAB V PEMBAHASAN	83
5.1 Akar Masalah Penyebab Keterlambatan Proyek	83
5.2 Pemotongan Durasi Kegiatan	83
5.3 Kegiatan Multitasking	85
5.4 <i>Overallocated Resources</i>	86
5.5 <i>Project Buffer</i> dan <i>Feeding Buffer</i>	91
5.6 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja	92
5.7 Analisis Tanpa <i>Buffer</i>	94
5.8 Kekurangan Penelitian	96
BAB VI PENUTUP	97
6.1 Kesimpulan	97
6.2 Saran	98
DAFTAR PUSTAKA	99
LAMPIRAN	A-1

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Keterangan Proyek Konstruksi	3
Tabel 2. 1 Kajian Literatur	16
Tabel 4. 1 Operasional Kerja.....	56
Tabel 4. 2 Penjadwalan Proyek	58
Tabel 4. 3 Biaya Tenaga Kerja Langsung	60
Tabel 4. 4 Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung.....	61
Tabel 4. 5 <i>Fishbone Diagram</i> Penyebab Keterlambatan Pelaksanaan Proyek	63
Tabel 4. 6 <i>Five Why's Analysis</i> Penyebab Utama Pelaksanaan Keterlambatan Proyek.....	64
Tabel 4. 7 <i>Network Planning</i> Penjadwalan Awal	67
Tabel 4. 8 <i>Network Planning</i> Penjadwalan CCPM.....	70
Tabel 4. 9 Penentuan Jumlah Tenaga Kerja Langsung	72
Tabel 4. 10 Alokasi <i>Feeding Buffer</i>	76
Tabel 4. 11 Alokasi <i>Project Buffer</i>	77
Tabel 4. 12 Zona Pemakaian <i>Project Buffer</i>	79
Tabel 5. 1 Kombinasi <i>Resource Leveling</i>	88
Tabel 5. 2 Potensi Biaya <i>Overload</i>	89
Tabel 5. 3 Analisis <i>Buffer</i>	91
Tabel 5. 4 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja.....	92
Tabel 5. 5 Analisis Durasi Tanpa <i>Buffer</i>	94
Tabel 5. 6 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja.....	95

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Perbandingan Waktu Proyek Konstruksi	2
Gambar 2. 1 <i>Triple Constraints</i>	27
Gambar 2. 2 Manajemen Proyek.....	31
Gambar 2. 3 <i>Work Breakdown Structure (WBS)</i>	35
Gambar 2. 4 <i>Gantt Chart</i>	36
Gambar 2. 5 Simbol <i>Event</i>	37
Gambar 2. 6 Simbol <i>Event</i> dan Aktivitas	37
Gambar 2. 7 Simbol Aktivitas.....	38
Gambar 2. 8 <i>Dummy Activity</i>	38
Gambar 2. 9 <i>Activity on Arrow (AOA)</i>	38
Gambar 2. 10 <i>Activity on Node (AON)</i>	39
Gambar 2. 11 Penggunaan <i>Buffer Waktu</i>	41
Gambar 2. 12 Pembagian <i>Buffer Waktu</i>	42
Gambar 2. 13 Zona Konsumsi <i>Buffer</i>	43
Gambar 2. 14 Zona Pemakaian <i>Buffer</i>	45
Gambar 3. 1 <i>Storage Bio-Diesel</i>	46
Gambar 3. 2 Tampak Atas Proyek Penambahan Kapasitas <i>Storage Bio-Diesel</i>	47
Gambar 3. 3 Alur Penelitian.....	50
Gambar 4. 1 Logo Perusahaan	54
Gambar 4. 2 Struktur Organisasi Proyek	55
Gambar 4. 3 Operasional Jam Kerja	57
Gambar 4. 4 <i>Fishbone Diagram</i> Penyebab Keterlambatan Proyek	62
Gambar 4. 5 AON Penjadwalan Sebelum CCPM.....	68
Gambar 4. 6 AON Penjadwalan Sesudah CCPM	71
Gambar 4. 7 <i>Overallocated</i> Sebelum <i>Resource Leveling</i>	73
Gambar 4. 8 <i>Overallocated</i> Setelah <i>Resource Leveling</i>	74
Gambar 4. 9 Finalisasi Jumlah Tenaga Kerja	75
Gambar 4. 10 Alokasi <i>Feeding Buffer 1</i>	76
Gambar 4. 11 Alokasi <i>Feeding Buffer 2</i>	76
Gambar 4. 12 Alokasi <i>Project Buffer</i>	78
Gambar 4. 13 Total Biaya Tenaga Kerja Langsung Tanpa Konsumsi <i>Buffer</i>	81
Gambar 4. 14 Total Biaya Tenaga Kerja Langsung Konsumsi Keseluruhan <i>Buffer</i>	81
Gambar 5. 1 <i>Gantt Chart Civil Works</i> Sebelum CCPM	84
Gambar 5. 2 <i>Gantt Chart Civil Works</i> Setelah CCPM.....	84
Gambar 5. 3 Kegiatan Multitasking Penjadwalan Awal	85
Gambar 5. 4 Penyesuaian Kegiatan Metode CCPM	85
Gambar 5. 5 <i>Resource Leveling</i>	86
Gambar 5. 6 <i>Error Resource Leveling Mandor</i>	87
Gambar 5. 7 <i>Error Resource Leveling Foreman</i>	87
Gambar 5. 8 <i>Resource Usage</i> Sebelum CCPM.....	90
Gambar 5. 9 <i>Resource Usage</i> Sesudah CCPM	90
Gambar 5. 10 Kurva-S Sebelum CCPM	93
Gambar 5. 11 Kurva-S Sesudah CCPM.....	93

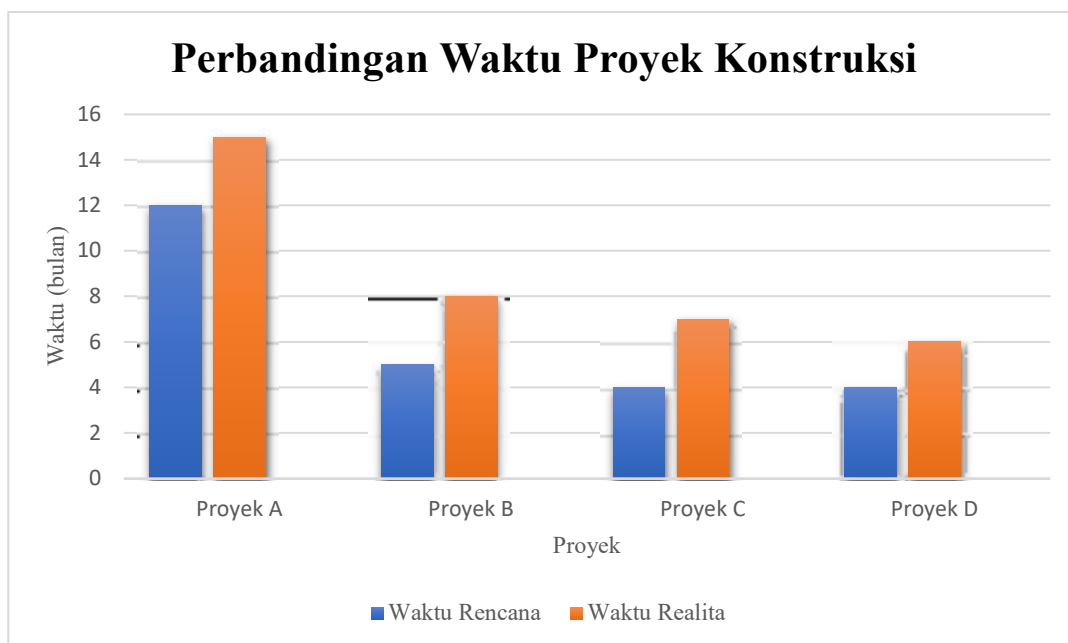
BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Tercapainya keberhasilan proyek dipengaruhi oleh sumber daya yang terdiri dari alat, material, manusia, waktu, dan biaya. Dalam mengelola *resource* proyek yang ada diperlukan pendekatan berkaitan dengan manajemen proyek. Manajemen proyek adalah ilmu untuk merencanakan, melaksanakan, mengawasi, dan menyelesaikan proyek sehingga meningkatkan efisiensi serta efektivitas proyek (Rahallo et al., 2024). Berdasarkan jenisnya proyek dikategorikan menjadi proyek rekayasa konstruksi, *research and development*, pelayanan manajemen, manufaktur, dan proyek kapital (Yakub et al., 2021). Proyek konstruksi adalah proyek perancangan, pembangunan, dan pemeliharaan yang berkaitan dengan infrastruktur, bangunan, atau fasilitas. Adapun industri konstruksi dikelompokkan menjadi tiga sesuai dengan spesialisasi dan jenis proyek yaitu konstruksi bangunan, konstruksi infrastruktur, konstruksi industri, dan konstruksi lingkungan (Masdiana et al., 2024).

PT. Buana Megah Teknik adalah perusahaan yang bergerak dalam bidang usaha jasa konstruksi, rekayasa, manufaktur, instalasi peralatan, dan pengadaan material konstruksi seperti besi ataupun baja. Dalam pelaksanaannya PT. Buana Megah Teknik memiliki berbagai proyek yang berfokus pada industri konstruksi maupun pembangunan infrastruktur dalam skala besar. Salah satu proyek yang dikerjakan oleh PT. Buana Megah Teknik adalah pembangunan penambahan kapasitas *storage bio-diesel tank* kapasitas 8.500 kl di Sumbawa, Nusa Tenggara Barat. Proyek ini adalah proyek pembangunan yang bertujuan untuk memenuhi *supply* bahan bakar berupa *bio-diesel* untuk keperluan operasional di Area Permanen *Tank* milik perusahaan tambang di Nusa Tenggara Barat.

Lokasi antara perusahaan di Cileungsi dan *site project* yang berlokasi di Sumbawa, Nusa Tenggara Barat mempengaruhi pelaksanaan pembangunan proyek tersebut. Permasalahan yang terjadi dalam pelaksanaan proyek tersebut adalah terbatasnya kapasitas *resource* yang terdiri dari: tenaga kerja, material, dan fasilitas pendukung di *site project*. Hal tersebut menyebabkan terjadinya keterlambatan dalam penyelesaian proyek yang dapat membutuhkan waktu lebih lama. Pada gambar 1.1 ini merupakan perbandingan waktu rencana dan waktu realita dalam pelaksanaan beberapa proyek konstruksi yang dilakukan oleh PT. Buana Megah Teknik.



Gambar 1. 1 Perbandingan Waktu Proyek Konstruksi

Berdasarkan grafik diatas menunjukkan bahwa terdapat perbedaan antara waktu rencana dan waktu realita. Pada proyek A waktu rencana dilaksanakan selama 12 bulan, proyek B selama 5 bulan, proyek C selama 4 bulan, dan proyek D selama 4 bulan. Namun dalam waktu realita proyek A dapat diselesaikan selama 15 bulan, proyek B selama 8 bulan, proyek C selama 7 bulan, dan proyek D selama 6 bulan. Adapun fokus penelitian ini terdapat pada proyek A, pemilihan proyek A sebagai fokus penelitian dikarenakan pada proyek ini mempunyai tingkat kompleksitas yang tinggi dan melibatkan beberapa aktivitas seperti *engineering*, *civil*, *mechanical*, dan *piping* serta penggunaan *resource* paling banyak diantara proyek-proyek lainnya. Selanjutnya terdapat keterangan durasi jadwal dari masing-masing proyek yang dilakukan oleh PT. Buana Megah Teknik selama kurun waktu 2023 hingga awal 2025 terdapat pada tabel 1.1 sebagai berikut:

Tabel 1. 1 Keterangan Proyek Konstruksi

Proyek	Nama Proyek	Durasi		Durasi		Keterlambatan Proyek
		Jadwal Rencana		Jadwal Realita		
A	Pembangunan	14	Juni	14 Juni 2023		3 bulan
	Kapasitas <i>Storage Bio-</i>	2023	– 14	–	03	
	<i>Diesel Tank</i> Kapasitas	Juni 2024		September		
	8.500 kl di Sumbawa, Nusa Tenggara Barat					
B	Pembangunan <i>New Oil</i>	08	Mei	08 Mei 2024		3 bulan
	<i>Storage/Warehouse</i>	2024	– 08	– 02 Januari		
	<i>and Office</i>	Oktober		2025		
		2024				
C	Pengadaan Pompa	27	Agustus	27 Agustus		3 bulan
	Pengendali Banjir di	2024	– 22	2024 – 30		
	Sunter C, KBN, dan	Desember		Maret 2025		
	Gaya Motor	2024				
D	Pembuatan Kiln	16	Januari	16 Januari		2 bulan
	Generator Pembakaran	2024	– 30	2024 – 30		
	Limbah B3/Medis	Oktober		Desember		
		2024		2024		

Berdasarkan data pada tabel diatas proyek A atau proyek pembangunan kapasitas *storage bio-diesel tank* kapasitas 8.500 kl di Sumbawa, Nusa Tenggara Barat mengalami keterlambatan dari *project plan* yang telah ditetapkan yaitu mulanya *project plan* selesai dalam waktu 1 tahun, namun realisasi *project plan* selesai dalam waktu 1 tahun 3 bulan. Keterlambatan tersebut terjadi dikarenakan ketersediaan *resource manpower*, alat bantu, dan material yang terbatas. Hal tersebut dapat berpotensi mempengaruhi jadwal proyek seperti terjadinya penundaan bahkan keterlambatan pelaksanaan proyek.

Dalam praktik pelaksanaan proyek, semakin besar durasi waktu keterlambatan proyek tentunya akan mempengaruhi jumlah biaya yang dikeluarkan khususnya biaya tenaga kerja. Biaya tenaga kerja adalah salah satu komponen pengeluaran terbesar yang dapat mempengaruhi keseluruhan anggaran proyek. Menurut data riset dari *Project Management Institute* (PMI) dalam *Pulse of The Regression Report* 2021 menunjukkan bahwa sekitar 35% proyek global tidak dapat memenuhi target anggaran (*budget lost*) dikarenakan ketidakefisienan dalam pengelolaan sumber daya manusia. Pada proyek ini berdasarkan jadwal rencana target anggaran untuk biaya tenaga kerja sebesar ± 4 Miliar Rupiah, namun keterlambatan proyek berdampak pada peningkatan biaya tenaga kerja sebesar ± 900 juta rupiah, dikarenakan biaya yang dikeluarkan proyek akibat keterlambatan sebesar $\pm 4,9$ Miliar Rupiah yang berarti terjadi *budget lost* sebesar $\pm 22,5\%$.

Oleh karena itu, pentingnya untuk dilakukan pengelolaan jadwal proyek (*project scheduling*) dengan menerapkan metode yang sesuai dengan keilmuan manajemen proyek untuk memastikan ketersediaan sumber daya, mempersingkat durasi waktu, menghindari terjadinya keterlambatan, dan meningkatkan efisiensi waktu beserta biaya. Metode yang biasanya dapat digunakan dalam menyusun *project scheduling* adalah CPM (*Critical Path Method*), PERT (*Program Evaluation Review Technique*), dan CCPM (*Critical Chain Project Management*).

CPM adalah metode penjadwalan yang berfokus pada jalur kritis sebagai kegiatan yang perlu dijadikan prioritas. Aktivitas dalam jalur kritis berpengaruh besar terhadap durasi keseluruhan proyek dan seringkali memicu terjadinya keterlambatan proyek (Akbar Fikri et al., 2021). Sedangkan PERT adalah metode yang mempunyai tiga estimasi waktu dalam rangkaian aktivitas yang terdiri dari a (waktu optimis), b (waktu pesimis), dan m (waktu yang paling mungkin) (Masinambow dalam Padhil et al., 2022). Namun terdapat kendala dalam penerapan metode CPM yaitu jika *resource* mampu menyelesaikan aktivitas sebelum tanggal selesai dari *scheduling time* maka waktu yang diperoleh tersebut tidak dapat dioptimalkan dengan aktivitas lainnya selain pada aktivitas yang terdapat pada jalur kritis (Sudarminto et al., 2020).

Akibatnya, metode seperti CPM dan PERT dinilai tidak dapat mengatasi berbagai dinamika proyek konstruksi yang semakin tinggi sehingga dirancang sebuah metode *Critical Chain Project Management* yang berfokus pada eksploitasi dan subordinasi *critical chain* untuk mencegah terjadinya penggunaan waktu yang tidak diperlukan (Kerzner, 2003).

Critical Chain Project Management (CCPM) adalah metode yang dikembangkan oleh Eliyahu M. Goldratt pada tahun 1997 dengan menerapkan konsep *Theory of Constraints* yang berfokus pada pemerataan sumber daya yang diperlukan untuk pelaksanaan proyek (Sugiyanto, 2021). Dengan demikian, penjadwalan proyek dengan CCPM bertujuan untuk merencanakan penjadwalan proyek dengan mempertimbangkan *constraints* berupa kapasitas sumber daya yang dibutuhkan untuk melaksanakan pekerjaan yang terdapat di dalam proyek (Nugroho et al., 2023). *Theory of Constraints* pada CCPM bertujuan untuk mengelola batasan (*constraints*) dengan menambahkan waktu penyangga (*buffer time*) dalam memprediksi aktivitas (Bhandari, 2020). Metode CCPM juga dirancang untuk resisten terhadap berbagai kemungkinan yang tidak pasti seperti *student's syndrome*, *parkinson's law*, *multitasking*, dan *overestimated activity durations* menurut (Leach, 2014) dalam (Nugroho et al., 2023).

Dalam penelitian ini akan dilakukan penjadwalan proyek pembangunan penambahan kapasitas *bio-diesel tank* kapasitas 8.500 kl menggunakan metode *Critical Chain Project Management* untuk mengidentifikasi, mengelola, dan mengorganisir jadwal proyek. Pelaksanaan proyek tersebut mempertimbangkan batasan atau *constraints* berupa aspek dari kapasitas *manpower* sehingga dapat diketahui durasi waktu serta biaya yang dibutuhkan oleh perusahaan. Penggunaan metode ini diharapkan dapat memperbaiki jadwal proyek dengan mempertimbangkan kapasitas sumber daya yang terbatas di lokasi *site project*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang terdapat di latar belakang didapatkan permasalahan pada penelitian sebagai berikut:

Pada proyek pembangunan kapasitas *storage bio-diesel* kapasitas 8500 kl terdapat hambatan dalam keterbatasan *resources* yang menyebabkan keterlambatan proyek selama 3 bulan. Penjadwalan awal hanya dilakukan menggunakan perkiraan estimasi durasi saja tanpa menerapkan penggunaan pendekatan metode penjadwalan proyek yang sesuai. Salah satu metode penjadwalan proyek untuk mengelola waktu dan sumber daya adalah metode *Critical Chain Project Management* (CCPM). Metode CCPM adalah salah pendekatan penjadwalan proyek untuk mengatasi berbagai masalah ketidakpastian yang terdapat di proyek dengan mempertimbangkan keterbatasan sumber daya dan ketidakpastian waktu melalui penggunaan *buffer*. Penggunaan metode CCPM dapat mengurangi terjadinya pemborosan biaya tenaga kerja

yang berlebih sehingga meningkatkan efisiensi biaya proyek. Berdasarkan penjelasan tersebut penelitian ini memuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa total durasi waktu yang dihasilkan dalam pelaksanaan proyek menggunakan metode *Critical Chain Project Management (CCPM)*?
2. Berapa perbandingan biaya tenaga kerja yang dihasilkan sebelum dan setelah menggunakan metode *Critical Chain Project Management (CCPM)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan uraian dari permasalahan diatas maka tujuan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Untuk menghitung durasi waktu yang dihasilkan menggunakan metode *Critical Chain Project Management*.
2. Untuk membandingkan biaya tenaga kerja yang dikeluarkan sebelum dan setelah menggunakan metode *Critical Chain Project Management*.

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini merupakan manfaat penelitian mengenai permasalahan penjadwalan proyek:

1.4.1. Manfaat bagi Perusahaan

1. Meningkatkan kualitas proyek yang dihasilkan dikarenakan adanya penjadwalan proyek yang terstruktur.
2. Mencegah terjadinya penggunaan sumber daya secara berlebihan dengan adanya penjadwalan menggunakan metode *Critical Chain Project Management*.
3. Membantu perusahaan dalam melakukan pengambilan keputusan pada pelaksanaan proyek.

1.4.2. Manfaat bagi Mahasiswa

1. Mengetahui dan mampu membandingkan kondisi realita yang terjadi di lapangan dengan pemahaman teori mengenai penjadwalan proyek.
2. Memperoleh pengalaman dalam pengelolaan jadwal dan biaya proyek yang berada dalam ruang lingkup industri konstruksi.
3. Mengembangkan kemampuan dalam menyusun penjadwalan proyek sesuai dengan ketersediaan sumber daya menggunakan metode *Critical Chain Project Management*.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut ini merupakan batasan penelitian yang terdapat pada penelitian dari permasalahan penjadwalan proyek:

1. Penelitian ini berfokus pada evaluasi penjadwalan proyek yang telah disusun sebelumnya yaitu menggunakan jadwal realita proyek dari 14 Juni 2023 – 03 September 2024.
2. Perhitungan analisis biaya hanya berkaitan dengan biaya tenaga kerja langsung dan biaya tenaga kerja tidak langsung.
3. Penelitian ini hanya menggunakan *feeding buffer* dan *project buffer*.
4. Penelitian ini tidak membahas yang berkaitan tentang data material atau sistem pengiriman logistik untuk keperluan pelaksanaan proyek

1.6 Sistematika Penulisan

Berikut ini merupakan sistematika penulisan penelitian dari permasalahan penjadwalan proyek yang dilakukan:

BAB I PENDAHULUAN

Pada bagian bab ini berisi hal apa saja yang melatarbelakangi pentingnya suatu penelitian yang berkaitan dengan obyek yang akan diteliti, permasalahan yang terjadi, dampak dari permasalahan, metode dalam menyelesaikan masalah, dan implikasi dari metode yang digunakan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bagian bab ini berisi penjelasan mengenai teori, konsep, dan hasil dari penelitian terdahulu sebagai bahan referensi peneliti untuk dapat melakukan penelitian dan menyelesaikan permasalahan.

BAB III METODE PENELITIAN

Pada bagian bab ini berisi penjelasan mengenai obyek penelitian, subyek penelitian, jenis data, metode pengumpulan data, dan alur penelitian.

BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Pada bagian bab ini berisi pengolahan dan analisis data menggunakan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) untuk mengidentifikasi masalah yang ada.

BAB V

PEMBAHASAN

Pada bagian ini berisi penjelasan mengenai pengolahan data dan hasil analisis yang telah dilakukan dan menentukan solusi untuk menjawab permasalahan dalam penelitian.

BAB VI

PENUTUP

Pada bagian ini berisi kesimpulan yang didapatkan dari hasil analisis pembahasan yang menjawab rumusan masalah penelitian. Kemudian terdapat saran penelitian untuk mendukung penelitian-penelitian yang lebih baik di masa mendatang.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kajian Literatur

Kajian Literatur adalah kajian mengenai hasil penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti sebelumnya berkaitan dengan topik penelitian yang relevan sehingga dapat dijadikan sebagai referensi dari penelitian yang akan dilakukan. Penelitian mengenai penjadwalan proyek telah dilakukan sebelumnya oleh berbagai peneliti menggunakan beberapa metode yang berbeda.

Pada penelitian sebelumnya dilakukan penjadwalan proyek menggunakan metode CCPM. Penelitian yang menerapkan penggunaan metode CCPM adalah penelitian yang dilakukan oleh (Mohamed Meabed et al., 2025), (Zohrehvandi et al., 2020), (Sarkar et al., 2021), (Zhang et al., 2025), (Peng et al., 2022), (Ansari et al., 2022), (Zarghami et al., 2020), (Anastasiu et al., 2023), (Salama et al., 2021), (Zohrehvandi et al., 2023), (Sugiyanto et al., 2022), (Nugroho et al., 2023), (Utama et al., 2021), (Sari et al., 2024), dan (Firdaus et al., 2023).

Penelitian yang dilakukan oleh (Mohamed Meabed et al., 2025) membahas mengenai modifikasi dari metode *Critical Chain Project Management* atau *Critical Chain Scheduling* (CCS) dengan mengintegrasikan teknik *Earliest Late Start* (ELS). Penggunaan teknik ELS digunakan untuk *leveling* sumber daya sesuai dengan ketersediaan kemudian mengembangkan logika penjadwalan sesuai waktu mulai paling lambat (*late start*) dan durasi terpendek. Pada penggunaan metode CCS dan ELS didapatkan hubungan antar aktivitas yang terdiri dari *resource relation* (RR) dan *task relation* (TR). *Resource relation* (RR) adalah relasi antar aktivitas untuk menghubungkan dua atau lebih aktivitas yang menggunakan sumber daya pada waktu yang bersamaan, sedangkan *task relation* (TR) adalah relasi antar aktivitas yang tidak mempertimbangkan keterbatasan sumber daya. Berdasarkan perbandingan hasil antara *benchmark* lama dan CCS dengan ELS terdapat pada rantai kritis, durasi proyek, *project buffer*, dan metode alokasi sumber yang berbeda. Penggunaan *benchmark* menghasilkan rantai kritis yang lebih panjang yaitu memuat 9 aktivitas, durasi proyek lebih lama yaitu 154 hari, konsumsi *project buffer* yang lebih banyak yaitu 47 hari, dan metode alokasi *resource* menggunakan *trial and error*. Kemudian penggunaan CCS dan ELS menghasilkan rantai kritis yang lebih singkat yaitu memuat 7 aktivitas, durasi proyek lebih singkat yaitu 120 hari, konsumsi *project buffer* yang lebih sedikit yaitu 40 hari, dan metode alokasi *resource* menggunakan *Earliest Late Start* (ELS) yang lebih otomatis dan efisien. Hasil yang didapatkan dari penggunaan CCS dan ELS

dapat mengurangi konflik sumber daya dan menghasilkan jalur kritis yang realistis sehingga memberikan hasil optimal dalam waktu relatif lebih cepat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Zohrehvandi et al., 2020) membahas mengenai mengembangkan dan menguji model lanjutan dari CCPM yang berfokus pada *resource leveling* dan *monitoring* konsumsi *buffer*. Adapun model manajemen proyek tersebut *project buffer and resource management* (PBRM) pada proyek pembangunan pembangkit listrik tenaga angin (*wind farm*) dengan turbin 2,5 MW di Iran. Aplikasi model PBRM terdiri dari tiga tahap yang terdiri dari *resource management*, *planning and buffer sizing*, dan *buffer monitoring*. *Resource management* dapat mengidentifikasi konflik alokasi sumber daya dan penyusunan ulang jadwal agar tidak terjadi benturan waktu. *Planning and buffer sizing* yaitu menentukan rantai kritis dan menghitung serta mengalokasikan *project buffer*. *Buffer monitoring* adalah pemantauan konsumsi *buffer* dan dilakukan perencanaan ulang apabila *buffer* melebihi ambang batas atau zona pemakaian *buffer* yang telah ditentukan. Penerapan model PBRM dapat mempersingkat durasi proyek yang mulanya selama 142 hari menjadi 113 hari yang menandakan bahwa proyek dapat selesai 25% lebih cepat dibandingkan dengan rencana awal proyek. Penggunaan *project buffer* sebesar 35,5 hari yang dimana dilakukan pemantauan *buffer* secara berkala setiap 10 hari dan penggunaan *buffer* sepenuhnya pada hari ke-113 namun proyek tetap selesai lebih cepat dari yang direncanakan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sarkar et al., 2021) membahas mengenai identifikasi hambatan (*bottleneck*) dalam proyek konstruksi menggunakan pendekatan CCPM dan *Theory of Constraints* (TOC). Kemudian dari penggunaan TOC digunakan untuk *tools Current Reality Tree* (CRT), *Evaporating Cloud Diagram*, *Future Reality Tree* (FRT), dan *Prerequisite Tree* (PrT). Dalam penelitian ini didapatkan durasi proyek konstruksi jalan raya diselesaikan dalam waktu 30,53 hari. Selanjutnya, peneliti juga menambahkan pendekatan dengan *Uncertainty-Aware Method* (UAM) untuk melakukan perhitungan *buffer* dengan mempertimbangkan variabilitas lingkungan (EV), kesulitan aktivitas (AD), adaptabilitas lingkungan (AF), kelangkaan sumber daya (RT), dan preferensi risiko (RP). Dalam mengoptimalkan sumber daya seperti *manpower*, *equipment*, dan *materials* digunakan pendekatan *Multimode-Based Method* (MBM).

Penelitian yang dilakukan oleh (Zhang et al., 2025) membahas mengenai pengembangan dari metode pemantauan *buffer* dalam manajemen proyek *Critical Chain Project Management* (CCPM) dengan mempertimbangkan durasi, biaya, kualitas, dan preferensi aktivitas.

Monitoring buffer dilakukan dengan mengalokasikan *buffer* sesuai dengan atribut gabungan durasi, biaya, dan kualitas setiap aktivitas. Kemudian metode *monitoring* dilakukan sesuai preferensi aktivitas, apabila aktivitas dengan preferensi durasi dilakukan *monitoring* desentralisasi yang lebih *real-time* dan detail. Selanjutnya apabila aktivitas dengan preferensi biaya dilakukan *monitoring* terintegrasi yang lebih adaptif dan menghindari intervensi berlebihan. Setelah itu dilakukan simulasi *monte carlo* sebanyak 1000 kali menggunakan MATLAB dan dibandingkan dengan metode M1 (*Static Trisection Method*) dan M2 (*Cumulative Dynamic Monitoring*). Berdasarkan hasil simulasi durasi rata-rata proyek metode M1 yaitu 215,14 hari, durasi rata-rata proyek metode M2 yaitu 213,53 hari, dan durasi rata-rata proyek metode DCM (*Decentralized Centralized Monitoring*) yaitu 211,51 hari. Hasil simulasi biaya rata-rata proyek metode M1 sebesar 1054,50 ribu, metode M2 sebesar 990,89 ribu, dan metode DCM sebesar 888,78 ribu, dan metode DCM dapat menurunkan frekuensi peringatan yang berada di zona kuning dan merah sehingga mengurangi konsumsi *buffer* berlebih sehingga alokasi *buffer* dilakukan dengan tepat.

Penelitian yang dilakukan oleh (Peng et al., 2022) membahas mengenai metode baru yang dikembangkan oleh peneliti menggunakan proyek konstruksi simulasi yang terdiri dari 17 aktivitas yang membutuhkan sumber daya dengan adanya batasan kapasitas tertentu. Penentuan *buffer* dilakukan menggunakan metode *Cut and Paste Method* (C&PM), *Root Square Error Method* (RSEM), Gong Jun et al., dan *Brittle Risk Entropy*. Waktu penyelesaian proyek menggunakan metode C&PM selama 47,39 hari, metode RSEM selama 34,13 hari, metode Gong Jun et.al selama 39,98 hari, dan metode *brittle risk entropy* selama 37,11 hari. Sehingga penggunaan metode *brittle risk entropy* menghasilkan durasi proyek 21,7% lebih cepat dibandingkan C&PM dan 7,2% lebih cepat dari metode Gong Jun, tetapi sedikit lebih lama dengan RSEM dengan waktu penyelesaian proyek yang lebih realistis.

Penelitian yang dilakukan oleh (Ansari et al., 2022) membahas mengenai pendekatan secara multi-objektif terhadap penjadwalan dalam proyek konstruksi lapangan gas. Dalam proyek konstruksi lapangan gas terjadi berbagai macam hambatan yang dapat mempengaruhi pelaksanaan proyek sehingga dilakukan pendekatan menggunakan CCPM dengan menentukan ukuran *buffer* waktu. Pada penelitian ini juga dilakukan penggunaan metode usulan yaitu menggunakan model dua tahap berbasis skenario probabilistik (*stochastic programming*) untuk mengatasi masalah ketidakpastian. Selanjutnya *buffer* dialokasikan melalui simulasi *monte carlo*, model pemrograman stokastik dua tahap, optimisasi multi-objektif, dan validasi model

menggunakan *discrete event simulation* (DES). Kemudian dilakukan perbandingan dari probabilitas proyek selesai tepat waktu, rata-rata keterlambatan, variansi keterlambatan, dan total *buffer* antara *baseline plan*, RSEM, C&PM, dan metode usulan (*stochastic programming*). Hasil dari penggunaan metode usulan dapat mengurangi rata-rata keterlambatan sebesar 23% dan mengurangi variansi keterlambatan sebesar 10% dibandingkan metode lainnya dan probabilitas proyek selesai tepat waktu menggunakan metode penentuan *buffer* usulan sebesar 95,1%.

Penelitian yang dilakukan oleh (Zarghami et al., 2020) membahas mengenai pengembangan metode baru untuk menentukan ukuran *buffer* pada metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dengan mengintegrasikan realibilitas sumber daya sebagai faktor probabilistik terhadap penjadwalan proyek. Berdasarkan proyek simulasi dengan 10 aktivitas dan 8 jenis sumber daya dibandingkan tiga metode penentuan ukuran *buffer* yaitu C&PM (*Cut and Paste Method*), RSEM (*Root Square Error Method*), dan metode baru (*resource reliability*). Hasil dari penentuan ukuran *buffer* untuk metode C&PM yaitu *project buffer* selama 8 minggu dan *feeding buffer* selama 4 minggu, untuk metode RSEM yaitu *project buffer* selama 4,58 minggu dan *feeding buffer* selama 4,89 minggu, dan untuk metode usulan penulis (*resource reliability*) yaitu *project buffer* selama 5,06 minggu dan *feeding buffer* selama 5,23 minggu.

Penelitian yang dilakukan oleh (Anastasiu et al., 2023) membahas mengenai penggunaan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) dan membandingkan hasil durasi proyek dengan metode *Critical Path Method* (CPM). Adapun proyek yang dijadikan sebagai studi kasus yaitu pekerjaan *finishing* tiga blok apartemen dengan perencanaan menggunakan CPM, sedangkan pembagian spesialisasi kerja tim untuk lantai genap dan ganjil menggunakan metode CCPM. Perhitungan estimasi durasi tugas dihitung menggunakan metode PERT. Hasil durasi proyek menggunakan metode CPM membutuhkan waktu selama 187 hari yang membutuhkan waktu 36 hari lebih lambat dibandingkan dengan hasil durasi proyek menggunakan metode CCPM yang hanya membutuhkan waktu selama 151 hari. Kemudian penggunaan *project buffer* selama 53 hari dengan alokasi awal selama 89 hari dan penggunaan *feeding buffer* selama 56 hari dengan alokasi awal selama 61 hari.

Penelitian yang dilakukan oleh (Salama et al., 2021) membahas mengenai pengembangan metode baru yang mengintegrasikan *Critical Chain Project Management* (CCPM), *Last Planner System* (LPS), dan *Linear Scheduling Method* (LSM) untuk menjadwalkan, melacak, dan mengendalikan proyek konstruksi modular. Penggunaan ketiga metode seperti CCPM

dimanfaatkan ketidakpastian durasi dan penggunaan *buffer*, LSM dimanfaatkan mengatur aktivitas berulang, dan LPS dimanfaatkan untuk meningkatkan realibilitas rencana dengan meningkatkan komunikasi tim serta evaluasi mingguan. Hasil durasi proyek sebelum optimasi (*baseline*) selama 5.605 menit dan durasi proyek setelah integrasi ketiga metode selama 3.527 menit. Namun dikarenakan terjadinya variabilitas produktivitas tenaga kerja, permasalahan logistik material, dan kesalahan pemahaman gambar sehingga durasi aktual penyelesaian proyek selama 4.067 menit. Kemudian total biaya awal (*baseline*) yang dihasilkan sebesar \$166,075 dan total biaya akhir yang dihasilkan sebesar \$167.460. Kenaikan biaya sebesar 2,5% disebabkan oleh penambahan pekerja dan gangguan di lapangan.

Penelitian yang dilakukan oleh (Zohrehvandi et al., 2023) membahas mengenai penggunaan jenis *buffer* yang terdapat pada pendekatan CCPM yang terdiri dari *buffer* proyek awal, *buffer* umpan, dan *buffer* sumber daya. *Buffer* waktu digunakan untuk memastikan ketersediaan sumber daya dan melindungi aktivitas yang berada di lintasan kritis untuk mengurangi risiko keterlambatan pada aktivitas lain yang terdapat pada lintasan non-kritis. Penerapan *fuzzy project buffer management* dengan menggabungkan metode *Adaptive Procedure with Resource Tightness* (APRT) dan *Fuzzy Failure Mode and Effects* (FFMEA) membantu dalam mengidentifikasi nilai terhadap faktor yang berpengaruh terhadap risiko keterlambatan dan pemborosan waktu proyek. Durasi awal proyek sebelum diterapkannya metode APRT, FFMEA, dan FPBM adalah selama 142 hari. Setelah menggunakan metode APRT didapatkan durasi penyelesaian proyek selama 117 hari, sedangkan penggabungan antara metode APRT dengan FMEA didapatkan durasi penyelesaian proyek selama 113 hari dan penggabungan metode FPBM (APRT + *fuzzy* FMEA) selama 108,5 hari. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan metode FPBM dapat mempercepat penyelesaian proyek sebesar 7,3% dan 4% lebih cepat dibandingkan dengan APRT dan FMEA.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sugiyanto et al., 2022) membahas mengenai penerapan metode CCPM dalam meningkatkan efisiensi waktu dan biaya pelaksanaan proyek konstruksi pada proyek pembangunan gudang Polowijo di Kabupaten Tuba, Jawa Timur. Penelitian ini menganalisis mengenai durasi proyek sebelum dan sesudah penggunaan CCPM, biaya tenaga kerja langsung, dan efektivitas penjadwalan menggunakan metode CCPM dibandingkan dengan metode konvensional (CPM). Hasil penelitian yang didapatkan yaitu penerapan metode CCPM dapat mengurangi durasi proyek yang mulanya 98 hari menjadi 61 hari yang menandakan bahwa proyek dapat dipercepat sekitar 37,76%. Kemudian perhitungan biaya

tenaga kerja langsung yang awalnya menghasilkan Rp. 682.400.000 dengan metode konvensional, dapat berkurang menjadi Rp. 511.035.000 setelah menggunakan metode CCPM. Selanjutnya adanya CCPM juga dapat mengurangi waktu cadangan yang berlebihan serta menghindari terjadinya *multitasking*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Nugroho et al., 2023) membahas mengenai penerapan metode CCPM dalam perencanaan proyek pembangunan *flyover* jalan tol. Penyusunan jadwal proyek ini dilakukan dalam mengatasi keterlambatan yang terjadi akibat terdapat perubahan kebutuhan oleh pemilik proyek dan berbagai kejadian yang tidak dapat diprediksi. Peneliti menggunakan SPSS 26 dalam menentukan hubungan variabel terhadap perencanaan waktu. Dari penggunaan aplikasi statistik tersebut didapatkan metode pelaksanaan dan metode pengawasan tidak mempunyai pengaruh signifikan terhadap perencanaan waktu. Tetapi, *buffer time* merupakan elemen yang mempunyai pengaruh signifikan terhadap perencanaan waktu. Mulanya durasi penyelesaian proyek selama 520 hari namun dengan menggunakan metode CCPM durasi waktu berkurang menjadi 410 hari. Hal ini menunjukkan bahwa apabila pengelolaan *buffer time* dilakukan secara efektif maka dapat meningkatkan efisiensi waktu dan keberhasilan proyek.

Penelitian yang dilakukan oleh (Utama et al., 2021) membahas mengenai analisis keterlambatan dan penyebab keterlambatan dengan menerapkan metode CCPM di Proyek GI 150 kV Arjasa. Analisis penyebab keterlambatan dilakukan dengan menggunakan *Root Cause Analysis* dan menggunakan *fishbone diagram* dengan mengidentifikasi 5M (*Man, Machine, Material, Method, dan Measurement*). Untuk mengidentifikasi lebih detail mengenai akar penyebab terjadinya keterlambatan tersebut dilakukan dengan menggunakan teknik 5 Why's. Selanjutnya didapatkan 14 aspek yang menyebabkan keterlambatan proyek dan 7 aspek yang meningkatkan keberhasilan proyek. Kemudian dilakukan penerapan metode CCPM dengan menggunakan *software Microsoft Project* sehingga didapatkan durasi waktu selama 601,05 hari dan biaya tenaga kerja sebesar Rp495.389.930.

Penelitian yang dilakukan oleh (Sari et al., 2024) membahas mengenai optimalisasi penjadwalan proyek perbaikan kapal KM STU menggunakan metode *Critical Chain Project Management* dengan menghilangkan waktu cadangan dan menambahkan *buffer* untuk mengatasi terjadinya ketidakpastian yang dapat menyebabkan keterlambatan. Penerapan metode CCPM dapat mengurangi durasi proyek yang awalnya 25 hari menjadi 13 hari ditambah dengan *project buffer* selama 3,5 hari yang menandakan terjadinya percepatan waktu selama

8,5 hari atau 3,4% lebih cepat dari durasi awalnya. Kemudian perhitungan biaya tenaga kerja langsung tanpa penggunaan metode CCPM dan penggunaan CCPM (tanpa *buffer*) menghasilkan biaya sebesar Rp.266.000.000, namun jika *buffer* selama 3,5 hari digunakan menghasilkan biaya sebesar Rp.304.080.000 yaitu naik sebesar 14,3%. Setelah penggunaan CCPM produktivitas pekerja semakin meningkat yaitu rata-rata yang menunjukkan 54,89 *mandays* dibandingkan dengan sebelum penggunaan CCPM hanya berkisar rata-rata 27,45 *mandays*.

Penelitian yang dilakukan oleh (Firdaus et al., 2023) membahas mengenai evaluasi kembali penjadwalan proyek tangki penyimpanan minyak mentah MSTB T-701D yang mengalami keterlambatan dengan membandingkan dua metode yaitu *Critical Path Method* (CPM) dan *Critical Chain Project Management* (CCPM). Hasil penjadwalan proyek menggunakan metode CPM dengan metode CCPM menunjukkan durasi proyek yang berbeda, untuk penjadwalan menggunakan CPM menghasilkan durasi proyek selama 164 hari, sedangkan menggunakan CCPM menghasilkan durasi proyek selama 140,1 hari (tanpa *buffer*) dan 145,3 hari (tambahan *buffer*). Durasi waktu proyek yang dihasilkan oleh metode CCPM lebih cepat 18,7 hari dibandingkan dengan metode CPM. Kemudian dilakukan identifikasi penyebab keterlambatan proyek (*Root Cause Analysis*) dengan *fishbone diagram* (5M) sehingga didapatkan penyebab utamanya adalah faktor *Man* (tenaga kerja) yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti kurang kompetensi pekerja, jam kerja yang tidak konsisten, dan produktivitas tenaga kerja rendah.

Penelitian yang dilakukan oleh (Kurnia Utami, 2025) membahas mengenai evaluasi penjadwalan awal proyek pembangunan penambahan kapasitas *storage bio-diesel* 8500 kl yang mengalami keterlambatan 3 bulan menggunakan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM). Hasil dari penjadwalan proyek menggunakan metode CCPM menunjukkan bahwa proyek dapat selesai 20 hari lebih cepat yaitu 421 hari dari penjadwalan awal proyek yang membutuhkan waktu selama 441 hari. Kemudian dilakukan perhitungan biaya tenaga kerja sesudah penggunaan metode CCPM membutuhkan biaya sebesar Rp4.537.680.130 dan sebelum penggunaan metode CCPM membutuhkan biaya sebesar Rp4.909.347.133. Sehingga biaya tenaga kerja yang dihasilkan sesudah penggunaan metode CCPM menunjukkan penghematan biaya sebesar Rp371.667.003 yang menghasilkan efisiensi biaya tenaga kerja sebesar 7,57%.

Tabel 2. 1 Kajian Literatur

No.	Penulis	Judul	Obyek Penelitian		Metode Penelitian	Hasil
			Konstruksi	Lainnya		
1.	(Mohamed Meabed et al., 2025)	<i>Modified Critical Chain Scheduling for Construction Projects</i>	✓		CCPM	Penggunaan metode CCPM dengan mengintegrasikan teknik <i>Earliest Late Start</i> (ELS) untuk mengalokasikan sumber daya dan pengelolaan <i>buffer</i> proyek. Perbandingan hasil durasi waktu dari pendekatan <i>benchmark</i> dengan integrasi CCS dan ELS menunjukkan percepatan durasi proyek yang mulanya <i>benchmark</i> menunjukkan waktu 154 hari sedangkan CCS dan ELS menunjukkan durasi proyek selama 120 hari. Kemudian perbandingan penggunaan <i>project buffer</i> yaitu <i>benchmark</i> membutuhkan waktu selama 47 hari, tetapi penggunaan CCS dan ELS hanya membutuhkan 40 hari saja.
2.	(Zohrehvandi et al., 2020)	<i>A Project Buffer and Resource Management Model in Energy Sector:</i>	✓		CCPM	Penggunaan model lanjutan metode CCPM yang berfokus pada <i>resource leveling</i> dan pemantauan konsumsi <i>buffer</i> yaitu <i>project buffer and resource</i>

		<i>A Case Study in Construction of A Wind Farm Project</i>			<p><i>management</i> (PBRM) pada proyek pembangkit listrik tenaga angin 2,5 MW di Iran. Penerapan model PBRM dapat mengurangi durasi proyek yang mulanya 142 hari menjadi 113 hari yang menunjukkan bahwa proyek lebih cepat 25% dibandingkan rencana awal proyek. Kemudian penggunaan <i>buffer</i> pada proyek yaitu sebesar 35,5 hari dengan <i>monitoring buffer</i> dilakukan setiap 10 hari. Selanjutnya <i>buffer</i> habis pada hari ke-113 tetapi proyek tetap selesai lebih cepat dari jadwal yang direncanakan.</p>
3.	(Sarkar et al., 2021)	<i>Critical Chain Project Management for A Highway Construction Project with A Focus on Theory of Constraints</i>	✓	CCPM	<p>Penggunaan metode CCPM dalam menyusun jadwal proyek konstruksi dengan mempertimbangkan <i>buffer</i> penjadwalan yaitu didapatkan <i>project buffer</i> sebesar 1,53 hari dan <i>feeding buffer</i> sebesar 0,31 dan 0,62 hari. Kemudian didapatkan total durasi penyelesaian proyek sebesar 30,53 hari. Sehingga implementasi CCPM dan TOC yang dilengkapi dengan <i>Uncertainty-aware buffer sizing</i> (UAM) dan <i>Multimode-based method</i> (MBM) secara signifikan dapat meningkatkan efisiensi penjadwalan dan alokasi sumber daya.</p>

4.	(Zhang et al., 2025)	<i>Critical Chain Project Buffer Monitoring Based on Integrated Attributes and Activity Preferences</i>	✓ (Proyek Teknologi dan Informasi)	CCPM	Alokasi <i>buffer</i> disesuaikan berdasarkan atribut gabungan antara durasi, biaya, dan kualitas setiap aktivitas menggunakan pendekatan <i>decentralized-centralized</i> . Monitoring <i>buffer</i> disesuaikan dengan preferensi aktivitas yaitu aktivitas dengan preferensi durasi dilakukan monitoring desentralisasi, sedangkan aktivitas dengan preferensi biaya dilakukan monitoring terintegrasi. Kemudian akan dilakukan simulasi <i>monte carlo</i> sebanyak 1000 kali didapatkan bahwa durasi selama 211,51 hari, biaya sebesar 888,78 ribu, pengurangan frekuensi peringatan konsumsi buffer, dan peningkatan performa proyek sebesar 17,4% dan 11,25% dibandingkan dengan metode M1 (<i>Static Trisection Method</i>) dan M2 (<i>Cumulative Dynamic Monitoring</i>).
5.	(Peng et al., 2022)	<i>Buffer Sizing in Critical Chain Project Management by Brittle Risk Entropy</i>	✓	CCPM	Penentuan <i>buffer</i> pada metode CCPM dengan menggunakan perhitungan entropi risiko kerapuhan (<i>brittle risk entropy</i>) dan integrasi <i>combined risk impact rate</i> (CI) untuk menilai risiko gabungan setiap aktivitas serta penyesuaian <i>project buffer</i> (PB) dan <i>feeding buffer</i>

					<p>(FB). <i>Buffer</i> yang dihasilkan dari metode entropi risiko kerapuhan didapatkan PB selama 7,85 hari, FB1 selama 1,64 hari, FB2 selama 2,16 hari, dan FB3 selama 3,39 hari. Adapun ukuran <i>buffer</i> yang dihasilkan melalui entropi risiko kepatuhan mempunyai <i>buffer</i> yang realistis, tahan terhadap ketidakpastian proyek, dan mengurangi terjadinya keterlambatan. Kemudian dilakukan simulasi <i>monte carlo</i> dengan tingkat kepercayaan 95% sehingga didapatkan metode entropi risiko kepatuhan mempunyai durasi waktu proyek lebih singkat yaitu selama 37,11 hari dibandingkan metode lainnya.</p>
6.	(Ansari et al., 2022)	<p><i>A Multi-objective Dynamic Optimization Approach to Project Schedule Management: A Case Study of a Gas Field Construction</i></p>	✓	CCPM	<p>Penerapan model pemrograman stokastik dua tahap dan analisis risiko menggunakan simulasi monte carlo sehingga dapat ditentukan ukuran <i>buffer</i> dan dapat mengalokasikan <i>buffer</i> dengan baik. Total <i>buffer</i> waktu yang dialokasikan selama 116 hari dan probabilitas penyelesaian proyek sebesar 99,4%. Hal ini menunjukkan bahwa penjadwalan proyek yang</p>

					dihasilkan lebih stabil dan biaya <i>buffer</i> yang dihasilkan lebih rendah.
7.	(Zarghami et al., 2020).	<i>Incorporation of Resource Reliability into Critical Chain Project Management Buffer Sizing</i>	✓	CCPM	Penerapan metode baru dalam penentuan ukuran <i>buffer</i> pada metode CCPM dengan mengintegrasikan realibilitas sumber daya sebagai faktor probabilistik yang akan disimulasikan menggunakan <i>monte carlo</i> . Berdasarkan ukuran <i>buffer</i> didapatkan <i>project buffer</i> selama 5,06 minggu dan <i>feeding buffer</i> selama 5,23 minggu. Berdasarkan hasil simulasi <i>monte carlo</i> didapatkan bahwa metode usulan peneliti menunjukkan ketahanan lebih tinggi terhadap ketidakpastian sumber daya.
8.	(Anastasiu et al., 2023)	<i>Boosting Construction Project Timeline: The Case of Critical Chain Project Management (CCPM)</i>	✓	CPM dan CCPM	Berdasarkan penggunaan metode CPM dan CCPM didapatkan durasi proyek berbeda. Durasi proyek menggunakan metode CPM membutuhkan waktu selama 187 hari, sedangkan metode CCPM membutuhkan waktu selama 151 hari. Hal ini menandakan bahwa penggunaan metode CCPM dapat mempersingkat durasi proyek lebih cepat 36 hari dibandingkan dengan metode CPM. Kemudian

					<p>penggunaan <i>buffer</i> yang terdiri dari <i>project buffer</i> (PB) dan <i>feeding buffer</i> (FB). PB dialokasikan selama 89 hari tetapi hanya 53 hari yang digunakan. FB dialokasikan bervariasi per rantai dan tugas non kritis yaitu total 61 hari tetapi hanya 56 hari yang digunakan.</p>
9.	(Salama et al., 2021)	<p><i>Integrating Critical Chain Project Management with Last Planner System for Linear Scheduling of Modular Construction</i></p>	✓	CCPM	<p>Penjadwalan proyek dengan mengintegrasikan tiga metode manajemen proyek yaitu <i>Critical Chain Project Management</i> (CCPM), <i>Last Planner System</i> (LPS), dan <i>Linear Scheduling Method</i> (LSM). Berdasarkan penggunaan metode integrasi CCPM, LSM, dan LPS didapatkan durasi waktu proyek selama 3.527 menit, tetapi durasi aktual penyelesaian proyek selama 4.067 menit. Durasi aktual proyek menunjukkan penghematan sebesar 27,5% dari <i>baseline</i> awal yang membutuhkan waktu selama 5.605 menit. Namun terjadi keterlambatan akhir sebesar 5% dari jadwal sebelum optimasi yang disebabkan oleh variabilitas produktivitas, jarak material ke stasiun kerja, dan masalah pemahaman gambar kerja. Selanjutnya total biaya awal (<i>baseline</i>) sebesar \$166.075 sedangkan total</p>

					biaya aktual sebesar \$167.460 yang menandakan terjadinya kenaikan biaya 2,5% akibat penambahan pekerja dan gangguan pengiriman material.
10.	(Zohrehvandi et al., 2023)	<p><i>A Fuzzy Project Buffer Management</i></p> <p><i>Algorithm: A Case Study in The Construction of A Renewable Project</i></p>	✓	CCPM	<p>Penggunaan model penentuan ukuran <i>buffer</i> dengan manajemen <i>buffer</i> proyek <i>fuzzy</i> (FPBM) dengan kombinasi metode prosedur adaptif dengan keketatan sumber daya (APRT) dan analisis kegagalan dan efek <i>fuzzy</i> (FFMEA). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model FPBM menghasilkan durasi waktu selama 108,5 hari dan lebih singkat 7,3% dari model APRT. Kemudian model FPBM tersebut juga lebih singkat 4% dari model APRT-FMEA.</p>
11.	(Sugiyanto et al., 2022)	<p>Penerapan Optimalisasi Metode <i>Critical Chain Project Management</i> pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi</p>	✓	CPM dan CCPM	<p>Penggunaan metode CCPM dapat mengurangi durasi proyek yang mulanya dari 98 hari menjadi 61 hari dan menandakan bahwa terjadi percepatan waktu sebesar 37 hari atau 37,76% dibandingkan dengan penjadwalan konvensional (CPM). Perhitungan biaya tenaga kerja langsung menunjukkan efisiensi sebesar Rp. 171.315.000 atau berkisar 25,11% lebih hemat dibandingkan dengan metode CPM. Penggunaan</p>

					CCPM juga dapat menghilangkan waktu cadangan (<i>safety time</i>), mampu mengelola risiko keterlambatan dengan <i>buffer management</i> , dan menghindari terjadinya <i>multitasking</i> .
12.	(Nugroho et al., 2023)	Penggunaan <i>Critical Chain Project Management Method</i> Terhadap Perencanaan Waktu Pelaksanaan <i>Fly Over</i> Jalan Tol	✓	CCPM	Penggunaan analisis uji statistik regresi linier berganda menghasilkan bahwa waktu <i>buffer</i> berpengaruh terhadap perencanaan proyek. Kemudian dilakukan hasil simulasi penjadwalan menggunakan CPM dan CCPM. Penggunaan CPM menghasilkan durasi proyek selama 520 hari, sedangkan CCPM menghasilkan durasi proyek selama 410 hari. Adanya metode CCPM dapat mengurangi durasi waktu pelaksanaan proyek sebesar 110 hari atau 21,15% lebih cepat. Adapun penggunaan <i>buffer</i> (waktu penyangga) sebesar 149,78 hari digunakan untuk mengatasi ketidakpastian yang terjadi selama pelaksanaan proyek.
13.	(Utama et al., 2021)	Perencanaan dan Pengendalian Proyek Konstruksi dengan Metode <i>Critical Chain</i>	✓	CCPM	Penggunaan metode CCPM dengan analisis akar masalah (RCA) dapat mengidentifikasi akar masalah yang dapat menyebabkan keterlambatan proyek dan memperbaiki perencanaan penjadwalan proyek agar

		<p><i>Project Management</i> dan <i>Root Cause Analysis</i> (Studi Kasus: Proyek Pengadaan Material dan Jasa Konstruksi GI 150 kV Arjasa)</p>			<p>lebih efisien. Identifikasi akar masalah dilakukan dengan menerapkan prinsip pareto dengan tiga penyebab utama adalah <i>method</i>, <i>material</i>, dan <i>man</i>. Penyebab utama dari <i>method</i> adalah proses penagihan yang panjang dari pemilik proyek kemudian penyebab dari <i>material</i> adalah keterbatasan material konstruksi sipil dan penyebab dari <i>man</i> adalah etos kerja rendah dari pihak subkontraktor. Setelah dilakukan perhitungan menggunakan CPM dan CCPM didapatkan bahwa penggunaan metode CCPM dapat menghemat durasi proyek selama 31,95 hari dan penghematan biaya sebesar Rp.495.389.930.</p>
14.	(Sari et al., 2024)	<p>Analisa <i>Reschedule Repair</i> KM STU menggunakan Metode <i>Critical Chain Project Management</i></p>	✓	CCPM	<p>Penggunaan metode CCPM dapat mengurangi durasi proyek sebesar 8,5 hari yaitu 34% lebih cepat yaitu ditunjukkan dari durasi awalnya membutuhkan waktu 25 hari menjadi 16,5 hari saja dengan durasi CCPM selama 13 hari dan <i>project buffer</i> selama 3,5 hari. Kemudian hasil perhitungan biaya tenaga kerja langsung sebelum penggunaan CCPM sebesar Rp. 266.000.000 dan setelah penggunaan CCPM apabila</p>

					<p><i>buffer</i> selama 3,5 hari digunakan menghasilkan biaya sebesar Rp. 304.080.000. Adanya penggunaan metode CCPM dapat meningkatkan produktivitas pekerja dikarenakan menghindari terjadinya <i>multitasking</i> dan penjadwalan disusun berdasarkan <i>resource leveling</i>. Produktivitas kinerja yang meningkat sehingga terjadi kenaikan biaya langsung sebesar 14,3% dikarenakan upah per jam dinaikkan dua kali lipat yang awalnya Rp. 40.000 menjadi Rp. 80.000 per jam.</p>
15.	(Firdaus et al., 2023)	<p><i>Re-Scheduling of The Crude Oil Storage Tank MSTB T-701d Project Using The Critical Path Method (CPM) and Critical Chain Project Management (CCPM)</i></p>	✓	CPM dan CCPM	<p>Penggunaan metode CPM dan CCPM menghasilkan durasi proyek yang berbeda. Total durasi proyek menggunakan CPM menghasilkan waktu selama 164 hari, sedangkan metode CCPM menghasilkan durasi waktu tanpa <i>buffer</i> selama 140,1 hari dan <i>buffer</i> selama 5,29 hari sehingga total durasi proyek CCPM selama 145,3 hari. Hal tersebut menunjukkan bahwa terjadi percepatan durasi proyek selama 18,7 hari atau sekitar 11% lebih cepat. Kemudian dilakukan juga penelitian <i>root cause analysis</i> untuk mengidentifikasi penyebab</p>

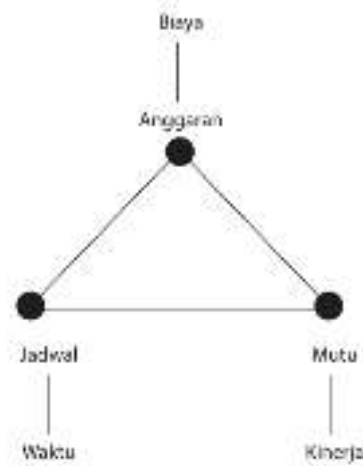
			utama dari keterlambatan yang menggunakan <i>fishbone diagram</i> .	
16.	(Kurnia Utami, 2025)	<p>Penjadwalan Proyek Penambahan Kapasitas <i>Storage Bio-Diesel Tank</i> Kapasitas 8.500 kl dengan Metode <i>Critical Chain Project Management</i> (CCPM) Studi Kasus: PT. Buana Megah Teknik</p>	✓	<p>CCPM</p> <p>Penelitian menggunakan metode <i>Critical Chain Project Management</i> (CCPM) dan <i>Root Cause Analysis</i> (RCA). Sebelum penjadwalan ulang menggunakan CCPM dilakukan identifikasi akar masalah penyebab keterlambatan proyek (RCA) menggunakan <i>fishbone diagram</i>. Kemudian dilakukan penjadwalan ulang menggunakan metode CCPM dengan alokasi <i>buffer</i> (<i>project buffer</i> dan <i>feeding buffer</i>) pada aktivitas proyek untuk mengatasi berbagai hambatan ketidakpastian seperti lokasi yang cukup jauh antara perusahaan dan <i>site project</i>. Berdasarkan hasil penjadwalan ulang menggunakan CCPM proyek dapat diselesaikan 20 hari lebih cepat yaitu selama 421 hari dibandingkan penjadwalan awal yang membutuhkan waktu selama 441 hari.</p>

2.2 Landasan Teori

2.2.1 Proyek Konstruksi

Berdasarkan (A. Rani, 2016) proyek dan konstruksi dapat diartikan sebagai berikut:

1. Proyek adalah rangkaian kegiatan yang dilaksanakan sesuai dengan keterbatasan waktu dan sumber daya untuk mencapai tujuan yang telah ditentukan dan kegiatan proyek dibatasi oleh *triple constraints* yang terdiri dari anggaran, jadwal dan mutu.
2. Konstruksi adalah susunan/tatanan dari bagian-bagian dalam suatu bangunan yang mempunyai kedudukan antar bagian sesuai dengan fungsinya.



Gambar 2. 1 *Triple Constraints*
Sumber: (Yakub et al., 2021)

Proyek konstruksi adalah proyek pembangunan fisik untuk membangun tidak sebatas hanya infrastruktur untuk kepentingan publik seperti jalan, jembatan, waduk, jaringan irigasi, dan sebagainya tetapi mencakup pembangunan fasilitas milik swasta dan perseorangan seperti perumahan, pertokoan, gedung, kantor, pabrik, dan lainnya (Pastiarsa, 2015). Pihak-pihak yang terlibat dalam proyek konstruksi adalah pemilik proyek, konsultan perencana, supervisi, manajemen, kontraktor utama, kontraktor khusus, tenaga kerja, lembaga internal, tenaga kerja, badan pemerintah, lembaga pelayanan, masyarakat, institusi keuangan, dan pemasok (*supplier*) (Erviyanto, 2023).

Pada dasarnya, proyek konstruksi dibedakan menjadi konstruksi bangunan gedung (gedung, rumah tapak, apartemen, gudang kantor, pertokoan, dan lainnya), konstruksi bangunan sipil (jembatan, jalan, saluran irigasi, dan lainnya), konstruksi bangunan industri (pusat pembangkit tenaga listrik, pabrik pengolah logam, pabrik kertas, pabrik kimia, pabrik petrokimia, unit

pengolah limbah, dan lainnya) (Pastiarsa, 2015). Menurut (Ervianto, 2023) proyek konstruksi mempunyai tiga karakteristik utama yang terdiri dari:

1. Unik

Proyek konstruksi tidak pernah terjadi sejumlah aktivitas yang kondisinya sama persis sehingga proyek konstruksi adalah bersifat sementara dan melibatkan pekerja yang berbeda.

2. Membutuhkan Sumber Daya

Proyek konstruksi membutuhkan sumber daya seperti uang, mesin, metode, dan material. Proses alokasi sumber daya dilaksanakan oleh manajer proyek.

3. Membutuhkan Organisasi

Proyek konstruksi membutuhkan organisasi dengan tujuan untuk menyelaraskan visi menjadi satu tujuan yang telah ditentukan oleh organisasi.

Menurut (Masdiana et al., 2024) proyek khususnya dalam bidang industri konstruksi mempunyai beberapa faktor yang mempengaruhi pelaksanaannya yaitu ekonomi, kebijakan pemerintah, teknologi, tenaga kerja, inovasi material, perubahan demografis, ketidakpastian pasar, keberlanjutan lingkungan, perubahan tekanan pasar, serta risiko dan regulasi.

Dalam buku (Ervianto, 2023) juga menjelaskan mengenai tahap-tahap kegiatan proses konstruksi yang terdiri dari enam tahap:

1. Tahap Studi Kelayakan

Pada tahap ini dilakukan studi kelayakan dari sebuah proyek konstruksi dari segi perencanaan dan perancangan, ekonomi (biaya dan sumber pendanaan), dan lingkungan.

2. Tahap Penjelasan (*Briefing*)

Pada tahap ini dijelaskan meliputi proyek dan biaya yang diizinkan oleh pemilik proyek sehingga konsultan perencana dapat menerjemahkan keinginan pemilik proyek dan membuat perkiraan biaya yang dibutuhkan.

3. Tahap Perancangan

Pada tahap ini yaitu melengkapi penjelasan proyek, menentukan tata letak, rancangan, metode konstruksi, dan perkiraan biaya supaya mendapatkan persetujuan dari pemilik proyek dan pihak-pihak berwenang yang terlibat. Kemudian dilakukan persiapan informasi mengenai pelaksanaan berkaitan dengan gambar rencana dan spesifikasi serta melengkapi semua dokumen tender.

4. Tahap Pengadaan/Pelelangan

Pada tahap ini dilakukan pemilihan kontraktor sebagai pelaksana atau sejumlah kontraktor sebagai sub kontraktor yang akan melaksanakan proyek konstruksi di lapangan.

5. Tahap Pelaksanaan

Pada tahap ini dilakukan pembangunan yang dibutuhkan oleh pemilik proyek dengan bantuan konsultan perencana mengenai batasan biaya, waktu, dan mutu yang telah ditetapkan. Kegiatan pada tahap ini yaitu merencanakan, mengoordinasi, dan mengendalikan kegiatan operasional di lapangan.

6. Tahap Pemeliharaan dan Pesiapan Penggunaan

Pada tahap ini dilakukan penjaminan kesesuaian bangunan yang telah dilaksanakan dengan dokumen kontrak dan kinerja fasilitas. Kemudian pada tahap ini dilakukan pencatatan mengenai konstruksi dan melatih staf dalam mengoperasikan fasilitas.

2.2.2 Manajemen Proyek

Manajemen proyek adalah keilmuan yang berkaitan dengan perencanaan, pelaksanaan, pengawasan dalam proyek agar dapat diselesaikan sesuai anggaran dan durasi waktu tertentu sesuai ketersediaan sumber daya (Rahallo et al., 2024). Manajemen proyek juga adalah suatu proses dalam mengorganisir dan mengelola sumber pendapatan dalam menyelesaikan sebuah proyek (Yakub et al., 2021).

Tujuan manajemen proyek adalah memanfaatkan waktu, peralatan, dan uang sebagai sumber daya agar proyek berjalan lancar (Ramadhan et al., 2023). Dalam mencapai target maupun tujuan tertentu dalam proyek terdapat tiga elemen penting yang terdiri dari *money* (uang), *manpower* (tenaga kerja), dan *machine* (mesin) sehingga proyek dapat dijalankan dengan biaya yang lebih murah dan berkualitas tinggi (El-Reedy, 2011). Kelancaran terhadap proyek juga dipengaruhi oleh keahlian khusus dalam pengerjaan proyek, peralatan yang digunakan untuk mendukung kinerja pelaksanaan proyek, rangkaian proses dengan teknik tertentu sehingga dapat mengendalikan waktu, biaya, kualitas, dan kapasitas proyek (Sitanggang et al., 2019). Menurut (El-Reedy, 2011) tahapan dalam manajemen proyek dari awal hingga penyelesaian proyek adalah sebagai berikut:

a. Tentukan Target Proyek

Identifikasi tujuan proyek harus ditentukan sejak perencanaan awal proyek seperti penyelesaian proyek dalam waktu yang lebih singkat dengan meminimalkan biaya yang dikeluarkan.

b. Tentukan Ruang Lingkup Pekerjaan

Aktivitas pekerjaan yang dilakukan harus didefinisikan dengan tepat dikarenakan hal tersebut menentukan rencana dasar dalam menentukan pekerjaan yang diperlukan, sumber daya, anggaran, dan waktu yang diperlukan.

c. Tentukan Kerangka Waktu

Pengembangan rencana proyek dilakukan melalui jadwal waktu dengan menempatkan waktu proyek dalam tahapan yang jelas dan terstruktur.

d. Identifikasi Ketersediaan Sumber Daya

Untuk mengidentifikasi sumber daya yang dibutuhkan adalah menguraikan data pekerjaan tentang tenaga kerja, bahan, dan lainnya yang dibutuhkan dalam setiap aktivitas pekerjaan.

e. Tentukan Biaya

Dalam mengidentifikasi biaya dapat dilakukan dengan memperhatikan hal-hal berikut:

- Jumlah sumber daya yang dibutuhkan untuk menentukan aktivitas.
- Tingkat biaya untuk setiap pemasok sumber daya.
- Waktu untuk setiap aktivitas kerja
- Biaya tetap berdasarkan aktivitas

f. Evaluasi *Master Plan*

Evaluasi *Master Plan* digunakan untuk mengevaluasi jadwal yang telah dibuat berdasarkan kesepakatan antara semua pihak yang berkepentingan untuk mencapai keberhasilan masing-masing pihak sesuai dengan tujuannya.

g. Terima *Master Plan*

Master plan yang sudah disetujui maka akan dilakukan penyimpanan untuk menjadi referensi dasar di masa depan tanpa adanya perubahan apapun. Tinjau rencana pelaksanaan dan kinerja rencana dikarenakan biasanya terdapat perubahan yang disesuaikan.

h. Jadwalkan Tindak Lanjut

Fase eksekusi dimulai dengan melacak kemajuan pekerjaan proyek dengan mencatat jumlah pekerjaan yang dilakukan dari sumber daya yang telah digunakan. Penjadwalan tindak lanjut disesuaikan secara berkala agar sesuai dengan kejadian aktual di lokasi.

i. Biaya Tindak Lanjut

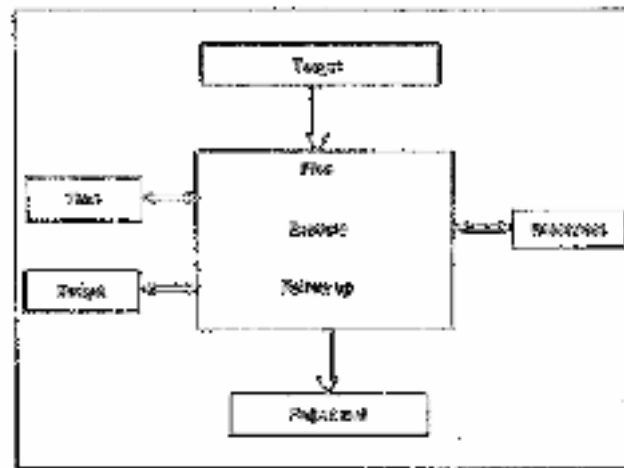
Biaya ditindaklanjuti secara berkala dengan jangka waktu yang telah disepakati untuk meninjau biaya proyek dengan membandingkan biaya proyek yang terjadi dengan perkiraan biaya proyek melalui anggaran dan disetujui oleh pemilik.

j. Membandingkan Pekerjaan Aktual dan Biaya *Master Plan*

Manajer proyek harus memantau kinerja kemajuan pekerjaan dengan membandingkan kemajuan rencana kerja berdasarkan tanggal penyelesaian proyek yang dihitung dari jalur kritis. Apabila terdapat keterlambatan dalam kegiatan jalur kritis maka akan mengakibatkan keterlambatan dalam penyelesaian proyek. Manajer proyek juga harus memantau aktivitas yang terdapat pada jalur kritis dikarenakan terjadinya penundaan dapat mengakibatkan penurunan kinerja yang berpengaruh terhadap jalur kritis.

k. Evaluasi Kinerja

Evaluasi kinerja dilakukan dengan memperhatikan dua indikator yaitu tanggal penyelesaian proyek dan biaya proyek yang terdapat pada kegiatan jangka waktu yang terpisah atau tertentu.



Gambar 2. 2 Manajemen Proyek
Sumber: (El-Reedy, 2011)

Untuk memastikan proyek berjalan sesuai yang telah direncanakan maka seluruh komponen di dalam proyek digunakan sesuai dengan persyaratan dan standar yang ada (Siregar et al., 2024). Panduan dalam menerapkan manajemen proyek terdapat dalam *Project Management Body of Knowledge* (PMBOK) yang dapat dijadikan sebagai landasan dalam bentuk proses untuk merancang kerangka kerja pada pengelolaan proyek.

PMBOK memuat lima tahap proses yaitu inisiasi, perencanaan, pelaksanaan, pemantauan serta pengendalian, dan penutupan. Pada tahap pertama inisiasi dilakukan pendefinisian proyek, mengidentifikasi *stakeholder*, dan tujuan proyek (Ghifari et al., 2022). Dalam merumuskan tujuan proyek dilakukan pengumpulan informasi pendukung dan penentuan pihak pemangku kepentingan (Chaerunisa et al., 2023) (Faraji et al., 2022). Tahap kedua yaitu perencanaan

dilakukan perancangan dan pengembangan rencana proyek yang meliputi penentuan ruang lingkup, anggaran biaya, jadwal proyek dan waktu yang dibutuhkan. Pada tahap ini merupakan tahap yang penting dikarenakan perencanaan mempengaruhi durasi pelaksanaan proyek dan biaya yang dikeluarkan. Menurut (Indriyani et al., 2024) penundaan pelaksanaan proyek dan anggaran biaya yang berlebih dapat diminimalisir dengan adanya perencanaan yang baik.

Tahap ketiga yaitu pelaksanaan dilakukan dengan mengimplementasikan rencana yang telah ditentukan untuk mencapai tujuan proyek. Pelaksanaan proyek melibatkan komunikasi dengan tim proyek dan pemangku kepentingan untuk menghindari terjadinya kesalahan komunikasi dan memastikan proyek berjalan lancar (Khaidar et al., 2024). Tahap keempat yaitu pemantauan dan pengendalian yaitu melakukan pemantauan selama kegiatan proyek berlangsung sehingga identifikasi masalah dapat diketahui lebih awal sehingga dapat dilakukan pengambilan tindakan perbaikan yang sesuai (Khaidar et al., 2024). Tahap kelima yaitu penutupan proyek yaitu suatu kegiatan untuk menyelesaikan semua rangkaian aktivitas yang berkaitan dengan proyek, fase, atau kontrak (Ghifari et al., 2022). Pada tahap ini dipastikan bahwa adanya laporan proyek akhir untuk mengembangkan proyek yang telah dilakukan (Rajabiantoro et al., 2022). Beberapa aspek yang diperlukan dalam mengelola waktu dalam pelaksanaan proyek adalah penjadwalan proyek, pembuatan laporan mengenai kemajuan proyek, perbandingan rencana awal dengan kejadian aktual proyek, perhitungan dampak akibat proyek, mitigasi terhadap dampak proyek, dan mengevaluasi penjadwalan proyek (Windi et al., 2024).

2.2.3 Penjadwalan Proyek

Menurut (Afiya et al., 2023) penjadwalan proyek adalah bagian dari manajemen waktu yang berkaitan dengan pengelolaan waktu dan biaya untuk memperoleh keberhasilan proyek. Hal ini menunjukkan bahwa manajemen waktu bukan hanya dalam menentukan estimasi waktu dan biaya namun juga mengoptimalkan keduanya untuk menghindari terjadinya keterlambatan yang dapat berdampak pada keseluruhan proyek. Penelitian yang dilakukan oleh (Kendek et al., 2024) menerangkan bahwa penjadwalan proyek mempertimbangkan tiga parameter yaitu biaya, waktu, dan mutu untuk menghindari risiko keterlambatan dan meningkatkan kualitas hasil proyek.

Penjadwalan proyek merupakan aspek krusial dalam kelancaran pelaksanaan proyek dengan penggunaan metode penjadwalan yang tepat maka berbagai permasalahan dalam proyek dapat

dikelola dengan lebih efektif dan efisien. Menurut (Rahallo et al., 2024) pentingnya penjadwalan proyek dikarenakan sebagai berikut:

1. Perencanaan yang Lebih Baik: Penjadwalan proyek yang terdiri dari tim proyek melakukan perencanaan dan mengorganisasi aktivitas apa yang dilaksanakan, kapan aktivitas dilaksanakan, dan siapa yang bertanggung jawab agar proyek memiliki tujuan yang jelas.
2. Pengelolaan Sumber Daya: Perencanaan jadwal yang baik akan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya (manusia, peralatan, bahan, dan anggaran) yang dilakukan oleh tim proyek sehingga meminimalkan risiko kekurangan sumber daya atau penumpukan sumber daya.
3. Pengendalian Waktu dan Biaya: Pengendalian proyek dilakukan dengan memantau kemajuan proyek dengan jadwal yang direncanakan. Apabila terjadi perubahan atau keterlambatan maka dapat dilakukan perbaikan.
4. Perhitungan Rencana Risiko: Penjadwalan proyek dapat mengidentifikasi dan mengukur risiko yang kemungkinan berpengaruh terhadap proyek sehingga dapat dilakukan mitigasi risiko lebih awal untuk meminimalisir kemungkinan yang terjadi.
5. Kepatuhan Terhadap Kontrak dan Persyaratan: Penjadwalan memastikan proyek memenuhi persyaratan kontrak dan komitmen dengan pihak pemangku kepentingan untuk mencegah terjadinya sengketa dan masalah hukum.
6. Perbaikan Komunikasi: Penjadwalan sebagai alat komunikasi yang jelas kepada pihak yang terlibat sehingga semua pihak dapat memahami apa yang diharapkan, kapan sebaiknya harus bertindak, dan bagaimana perkembangan proyek.
7. Peningkatan Produktivitas: Penjadwalan yang baik dapat mengorganisir aktivitas menjadi lebih baik sehingga menghindari pemborosan waktu akibat perubahan yang tidak direncanakan.
8. Pemantauan Kemajuan: Penjadwalan dapat memantau kemajuan proyek secara teratur sehingga alur kinerja proyek dapat diidentifikasi.
9. Penyusunan Prioritas: Penjadwalan dapat menentukan pekerjaan yang termasuk dalam kategori prioritas sehingga alokasi sumber daya dapat dilakukan secara bijaksana.
10. Peningkatan Kepuasan Pelanggan: Penjadwalan dapat meningkatkan peluang proyek dalam menyelesaikan sesuai waktu yang dijadwalkan dan ekspektasi pelanggan. Hal

tersebut dapat meningkatkan kepuasan pelanggan dan membangun reputasi yang baik bagi organisasi.

Metode yang umumnya digunakan dalam penjadwalan proyek adalah CPM dan PERT. *Critical Path Method* (CPM) adalah metode penjadwalan deterministik dengan mengidentifikasi aktivitas kritis yang paling berpengaruh terhadap pelaksanaan proyek serta dapat mengalokasikan sumber daya secara efektif (Nanda et al., 2023). CPM juga metode yang menunjukkan rangkaian aktivitas dari kegiatan awal pelaksanaan proyek hingga kegiatan akhir proyek yang menunjukkan durasi waktu penyelesaian tercepat (Rahayu et al., 2022). Jenis waktu yang terdapat pada CPM menurut (Yakub et al., 2021):

1. *Early Start* (ES) adalah waktu paling awal dari sebuah aktivitas dapat dimulai setelah aktivitas sebelumnya selesai.
2. *Late Start* (LS) adalah waktu paling akhir sebuah aktivitas dapat dimulai tanpa memperlambat penyelesaian proyek.
3. *Early Finish* (EF) adalah waktu paling awal dari sebuah aktivitas dapat diselesaikan berdasarkan durasi yang dimilikinya.
4. *Late Finish* (LF) adalah waktu paling akhir dari sebuah aktivitas dapat diselesaikan tanpa memperlambat dari penyelesaian penjadwalan proyek.

Metode konvensional lainnya yang seringkali digunakan untuk penjadwalan proyek yaitu metode PERT. *Program Evaluation Review Technique* (PERT) adalah metode penjadwalan probabilistik dengan waktu aktivitas merupakan variabel random dengan menggunakan tiga estimasi waktu yaitu waktu optimis, waktu realistis, dan waktu pesimis (Yuwono et al., 2021).

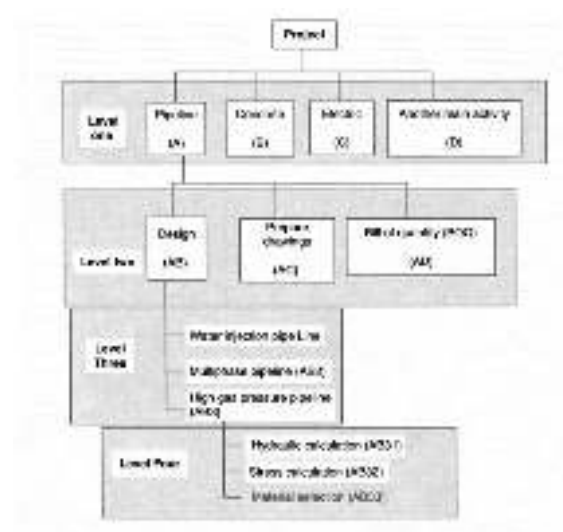
Kelemahan dari metode konvensional seperti CPM dan PERT yaitu tidak dapat mengatasi kompleksitas manajemen waktu seperti perbedaan signifikan antara waktu perencanaan dan pelaksanaan (Anastasiu et al., 2023). Penggunaan metode PERT juga mengasumsikan seluruh aktivitas dimulai secepat mungkin yang berarti sumber daya seperti pekerja yang berkualifikasi dan peralatan telah tersedia sehingga memicu masalah pengendalian biaya apabila biaya proyek dan sistem kontrol tidak sesuai dengan kebijakan perusahaan (Kerzner, 2017).

2.2.4 Work Breakdown Structure (WBS)

Work Breakdown Structure adalah alat manajemen proyek yang menyajikan ruang lingkup proyek yang disusun dalam struktur hierarki dari keseluruhan lingkup pekerjaan proyek yang dimulai dari level paling atas hingga level yang lebih detail untuk mencapai tujuan dan

memberikan hasil yang telah ditentukan (Project Management Institute, 2017). Struktur hierarkis pada WBS berfokus pada hasil atau produk yang menyediakan *framework* untuk melakukan perencanaan, pengendalian, pelaporan, dan komunikasi proyek (Leach, 2000). Untuk merencanakan pekerjaan dalam proyek, manajer proyek diwajibkan untuk menyusun pekerjaan menjadi elemen-elemen pekerjaan WBS menjadi lebih detail sehingga dapat dikelola (*manageable*), mandiri (*independent*), dapat diintegrasikan (*integratable*), dan dapat diukur (*measurable*) (Kerzner, 2003).

Pada WBS terdapat level kritis yang berisi pekerjaan yang akan dilaksanakan, dikendalikan, dan diukur yaitu adalah *work package* (Kerzner, 2003). *Work package* adalah level terendah dalam WBS yang dapat dikelola secara detail yaitu dapat dijadwalkan, diberi anggaran, ditugaskan, dan dipantau (Project Management Institute, 2017). Pada gambar WBS oleh (El-Reedy, 2011) terdapat beberapa level dalam WBS yaitu level satu yang merupakan aktivitas utama proyek yang dibagi menjadi empat pekerjaan yaitu *pipeline* (A), *concrete* (B), *electric* (C), dan *another main activity* (D). Selanjutnya level dua adalah berfokus pada pekerjaan yang lebih spesifik yang mendefinisikan paket pekerjaan utama (*major work packages*) untuk setiap aktivitas utama yaitu *design* (AB), *prepare drawings* (AC), dan *bill of quantity* (AD). Kemudian level tiga atau detail *work packages* untuk mendefinisikan lebih detail bagian dari pekerjaan desain *pipeline* yaitu *water injection pipeline*, *multiphase pipeline* (AB2), dan *high gas pressure pipeline* (AB3). Pada level empat merupakan level terendah yang berisi aktivitas teknis secara rinci yaitu pekerjaan *high gas pressure pipeline* (AB3) terdiri dari *hydraulic calculation* (AB31), *stress calculation* (AB32), dan *material selection* (AB33).



Gambar 2. 3 *Work Breakdown Structure* (WBS)
Sumber: (El-Reedy, 2011)

2.2.5 Gantt Chart

Gantt Chart adalah metode dalam perencanaan dan pengendalian proyek secara sistematis dan analisis oleh H. L. Gantt pada tahun 1917 (Soeharto, 1999). Penyusunan *gant chart* mempertimbangkan waktu dalam penyelesaian proyek, hubungan antar aktivitas, dan waktu kalender proyek (Astari et al., 2021). Dalam penyusunannya *gant chart* juga mempunyai beberapa *milestone* yang merupakan kejadian yang memiliki fungsi kunci yang ditinjau berdasarkan dari keberhasilan penjadwalan proyek (Soeharto, 1999).



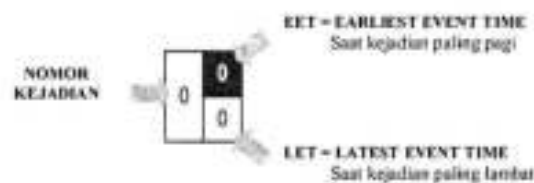
Gambar 2. 4 *Gantt Chart*
Sumber: (Evdokimov et al., 2018)

2.2.6 Jaringan Kerja (*Network Planning*)

Network Planning adalah hubungan saling bergantung antara aktivitas pekerjaan yang telah digambarkan dalam diagram jaringan sehingga dapat ditentukan pekerjaan mana yang harus didahulukan yang dapat dijadikan sebagai patokan dalam melakukan pekerjaan selanjutnya dan menunjukkan bahwa suatu pekerjaan belum dapat dimulai jika kegiatan sebelumnya belum selesai dilakukan (Thoengsal et al., 2022). Simbol-simbol yang terdapat pada penggambaran *network planning* adalah sebagai berikut (Syahyadi et al., 2024):

1. *Event* (Kejadian = Peristiwa = Saat)

Event adalah kejadian dimana aktivitas dapat dimulai dan diselesaikan. Simbol dari penggambaran *event* dapat berupa lingkaran tau elips. Bagian ruangan sebelah kiri digunakan untuk memberikan identitas dari *event* yang biasanya berupa bilangan (tak berdimensi). Pada bagian ruangan sebelah kanan digunakan untuk menunjukkan kapan terjadinya kejadian tersebut, khususnya pada bagian kanan atas menunjukkan kapan waktu tercepat kejadian terjadi yaitu *Earliest Event Time* (EET) dan kanan bawah menunjukkan waktu paling lambat kejadian tersebut dapat terjadi yaitu *Latest Event Time* (LET). Pada setiap aktivitas dalam *event* dimulai dengan *start event* dan berakhir pada *event lain* atau *finish event*.

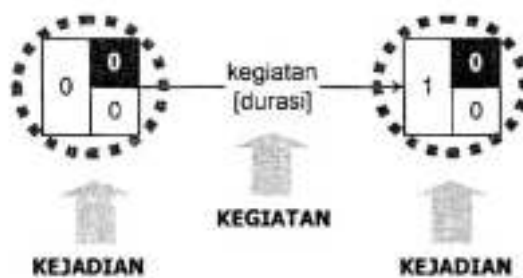


Gambar 2. 5 Simbol *Event*

Sumber: (Ervianto, 2023)

2. Aktivitas/Kegiatan

Aktivitas adalah kegiatan dari pekerjaan proyek yang memerlukan waktu, biaya, tenaga kerja, dan peralatan. Penggambaran aktivitas dilakukan dengan menggunakan anak panah dengan bagian ekor anak panah merupakan *start* dan bagian ujung atau kepala anak panah merupakan *finish*.



Gambar 2. 6 Simbol *Event* dan Aktivitas

Sumber: (Ervianto, 2023)



Gambar 2. 7 Simbol Aktivitas
Sumber: (Soeharto, 1999)

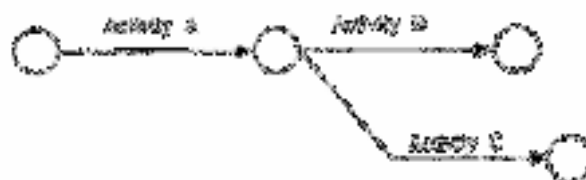
3. *Dummy Activity* (Aktivitas Semu)

Dummy Activity atau aktivitas semu adalah sebuah aktivitas yang tidak membutuhkan sumber daya dan tidak berdimensi waktu. Penggambaran aktivitas semu dilakukan dengan menggunakan simbol anak panah yang terputus-putus.



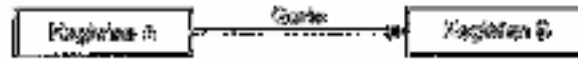
Gambar 2. 8 *Dummy Activity*
Sumber: (Soeharto, 1999)

Dalam memvisualisasikan antara *event* dan kegiatan dilakukan dengan metode AOA dan AON. Pada *Activity on Arrow* (AOA) adalah metode yang divisualisasikan melalui anak panah (*arrow*) untuk menginterpretasikan urutan-urutan pekerjaan. Pada AOA terdapat dua komponen penting yaitu anak panah (*arrow*) dan node yang dimana satu anak panah dibuat untuk masing-masing kegiatan yang akan dilaksanakan, sedangkan ekor anak panah merupakan awal dari kegiatan serta kepala anak panah merupakan akhir dari kegiatan (Widiasanti et al., 2013).



Gambar 2. 9 *Activity on Arrow* (AOA)
Sumber: (Widiasanti et al., 2013)

Activity on Node (AON) adalah metode yang divisualisasikan dengan *node* untuk menginterpretasikan urutan dari masing-masing aktivitas. Metode AON menjadikan simpul (*node*) sebagai kegiatan yang sedang berlangsung dan anak panah digunakan untuk penunjuk logis diantara dua kegiatan (Sugiyanto, 2021).



Gambar 2. 10 *Activity on Node* (AON)
Sumber: (Soeharto, 1999)

Teknik perhitungan waktu dapat dibedakan menjadi dua yaitu perhitungan maju (*forward pass*) dan perhitungan mundur (*backward pass*). Perhitungan maju (*forward pass*) dapat dimulai dari *initial event* (*start*) dan selesai di *terminal event* (*finish*). Dalam perhitungan maju, menghasilkan waktu penyelesaian tercepat atau *early finish* (EF), waktu tercepat untuk memulai aktivitas atau *early start* (ES), dan waktu paling cepat dimulainya suatu aktivitas (E) (Yakub et al., 2021). Untuk memulai perhitungan maju perlu diperhatikan beberapa aturan berikut ini (Yakub et al., 2021):

- Suatu aktivitas, kecuali aktivitas awal, baru dapat dimulai apabila aktivitas terdahulunya atau *predecessor* telah selesai.
- Untuk menentukan waktu penyelesaian paling awal atau EF suatu aktivitas dilakukan dengan menjumlahkan waktu mulai paling awal (ES) dengan durasi aktivitas yang mendahuluinya (t).

$$EF_{(i-j)} = ES_{(i-j)} + t_{(i-j)} \quad (2.1)$$

- Apabila suatu aktivitas mempunyai dua atau lebih aktivitas terdahulu (*predecessor*), maka waktu ES aktivitas tersebut sama dengan waktu EF yang paling besar dari aktivitas yang telah mendahuluinya.

Perhitungan mundur (*backward pass*) dimulai dari aktivitas terakhir menuju aktivitas awal yang dapat memberikan informasi berkaitan dengan waktu paling akhir sebuah aktivitas dapat diselesaikan atau *late finish* (LF), waktu paling akhir sebuah aktivitas dapat dimulai atau *late start* (LS), dan waktu paling lambat suatu aktivitas dapat terjadi (L) (Yakub et al., 2021). Untuk memulai perhitungan mundur perlu diperhatikan beberapa aturan berikut ini (Yakub et al., 2021):

- a. Waktu paling akhir aktivitas dapat dikerjakan (LS) dapat ditentukan dengan waktu paling akhir sebuah aktivitas dapat diselesaikan (LF) dikurangi dengan kurun waktu dari aktivitas tersebut.

$$LS_{(i-j)} = LF_{(i-j)} - t \quad (2.2)$$

- b. Jika terdapat sebuah aktivitas yang terbagi menjadi dua aktivitas atau lebih, maka waktu paling akhir sebuah aktivitas dapat diselesaikan (LF) dari aktivitas tersebut sama dengan waktu paling akhir sebuah aktivitas dapat dimulai (LS) dari aktivitas berikutnya dengan nilai yang terkecil.

2.2.7 Critical Chain Project Management (CCPM)

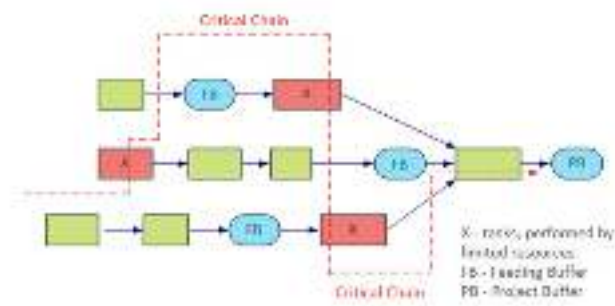
Critical Chain Project Management (CCPM) adalah metode yang dikembangkan oleh Dr. Eliyahu Goldratt pada tahun 1997 untuk menjadwalkan proyek dengan mempertimbangkan ketergantungan antar tugas, kelangkaan sumber daya, dan penggunaan *buffer* (Bahnas et al., 2024). Metode ini juga adalah pendekatan yang diaplikasikan berdasarkan konsep *Theory of Constraints* (TOC) dengan menggunakan *buffer* sebagai alat dalam meningkatkan kinerja pengerjaan proyek untuk mengoptimalkan sumber daya dan menghilangkan waktu cadangan pada aktivitas (*safety time*) (Utama et al., 2021).

Penggunaan CCPM terbukti dapat menghindari terjadinya *multitasking* yaitu aktivitas pekerjaan yang dikerjakan dengan ditambah pekerjaan lain yang berpotensi dapat mengurangi konsentrasi pekerja sehingga pekerjaan membutuhkan waktu penyelesaian yang lebih lama (Rahayu et al., 2022). CCPM juga dapat menghilangkan permasalahan yang mengganggu produktivitas lainnya seperti *parkinson's law* dan *student syndrome*. *Parkinson's law* terjadi dikarenakan adanya durasi pekerjaan yang berlebihan sehingga terjadi pemborosan waktu tanpa berdampak signifikan terhadap proyek dan *student syndrome* yaitu penundaan pekerjaan hingga mendekati tenggat waktu yang ditentukan, meskipun pekerjaan dapat diselesaikan lebih cepat (Chen et al., 2021). Hal tersebut dikarenakan CCPM berfokus pada pengelolaan aktivitas pekerjaan berdasarkan hubungan antar tugas dan produktivitas sumber daya manusia (Anastasiu et al., 2023).

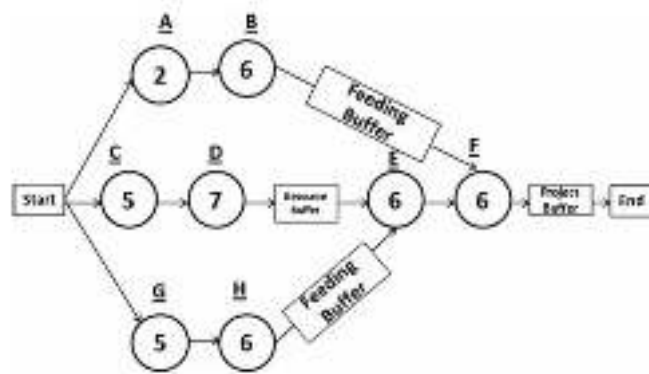
2.2.8 Buffer Waktu

Buffer waktu adalah waktu penyangga untuk mengatasi permasalahan ketidakpastian dan keterlambatan yang dapat terjadi selama pelaksanaan proyek (Bachwani et al., 2023). Jenis *buffer* waktu yang digunakan dalam pelaksanaan proyek adalah *project buffer*, *feeding buffer*, dan *resource buffer*:

1. *Project buffer* adalah *buffer* yang dialokasikan pada akhir jadwal untuk menghindari terjadinya keterlambatan pada proyek. Adanya penggunaan *project buffer* setengah dari durasi tugas asli maka proyek dapat resisten terhadap kemungkinan skenario terburuk (Anastasiu et al., 2023).
2. *Feeding buffer* adalah *buffer* untuk melindungi jalur kritis dari dampak keterlambatan pada aktivitas non-kritis. Aktivitas non-kritis yang bertemu dengan aktivitas kritis dijadwalkan sebagai aktivitas dengan waktu mulai yang lebih lambat sehingga tidak mempengaruhi jalur kritis (Anastasiu et al., 2023). *Feeding buffer* diletakkan pada persimpangan (sambungan-sambungan) diantara rantai yang tidak kritis dengan *critical chain* (Sugiyanto, 2021).
3. *Resource buffer* adalah *buffer* untuk memberikan perintah kepada sumber daya harus tersedia untuk aktivitas yang terdapat pada rantai kritis dan tidak berkaitan langsung dengan parameter proyek seperti waktu, biaya, dan sumber daya (Sreenivas Padala et al., 2022). *Resource buffer* diletakkan pada *critical chain* (Sugiyanto, 2021).



Gambar 2. 11 Penggunaan *Buffer* Waktu
Sumber: (Izmailov et al., 2016)



Gambar 2. 12 Pembagian *Buffer* Waktu
Sumber: (Sreenivas Padala et al., 2022)

Dalam memantau dan meninjau bahwa penggunaan *buffer* sesuai dengan yang telah ditentukan maka diperlukan manajemen *buffer* dengan memeriksa *port buffer* untuk menentukan tindakan yang akan diambil untuk memastikan bahwa proyek tetap terkendali (Kerzner, 2009). Manajemen *buffer* juga digunakan untuk melacak aktivitas yang berada pada jalur kritis dan memprediksi durasi untuk memastikan proyek berjalan sesuai jadwal (Bahnas et al., 2024). (Leach, 2000) dalam (Sugiyanto, 2021) penentuan ukuran *project buffer* dan *feeding buffer* dilakukan menggunakan empat metode sebagai berikut:

1. *Cut & Paste Method* (C&PM)

Feeding buffer dalam pendekatan *cut and paste method* (C&PM) dilakukan pemotongan durasi sebesar 50% waktu dari durasi masing-masing aktivitas. Kemudian untuk menyisipkan *project buffer* dengan separuh dari durasi rantai kritis pada akhir rantai begitupun dengan meletakkan *buffer* pengisi dengan separuh durasi aktivitas ke aktivitas pada jalur *non-critical chain* yang membawa kepada *critical chain*.

2. *Root Square Errors Method* (RSEM)

Metode penentuan *buffer* pada *root square errors method* (RSEM) membutuhkan dua estimasi durasi tugas yaitu estimasi aman (S) dan estimasi rata-rata dengan pemotongan 50% dari durasi tugas (A). Waktu penyelesaian tugas diasumsikan bebas dengan menggunakan rumus dua standar deviasi yang ditunjukkan pada rumus berikut:

$$2\sigma = \sqrt{\left(\frac{S_1 - A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2 - A_2}{2}\right)^2 \dots + \left(\frac{S_n - A_n}{2}\right)^2} \quad (2.3)$$

Keterangan:

S = Durasi CPM (Penjadwalan Konvensional)

A = Durasi CCPM (Penjadwalan Rantai Kritis)

n = Banyak Aktivitas Rantai Kritis

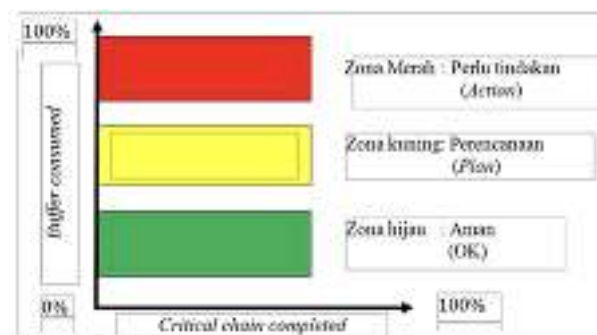
3. *The Square Root of the Sum of Squares Method (SSQ)*

Metode penentuan *buffer* pada *the square root of the sum of squares method (SSQ)* yaitu akar dari dua penjumlahan kuadrat dari perbedaan antara durasi risiko rendah dan durasi rata-rata untuk setiap aktivitas waktu tunggu pada sepanjang rantai *buffer*. Apabila cabang alur menuju akhir, boleh digunakan hanya satu rantai terpanjang ataupun hasil terbesar dengan mempertimbangkan masing-masing rantai.

4. Metode Bias Plus SSQ

Metode penentuan *buffer* ini dengan menggunakan kombinasi 50% dari metode *cut and paste method* dan metode SSQ. Adapun *buffer* tersebut terdiri dari suatu bagian tetap yang ditambah dengan perhitungan SSQ *buffer*.

Pemantauan konsumsi *buffer* dilakukan secara berkala menggunakan laporan kemajuan *fever chart* untuk menunjukkan tingkat risiko pelaksanaan proyek dengan sinyal warna yang menunjukkan status *buffer*: hijau (aman), kuning (peringatan), dan merah (segera) (Bachwani et al., 2023). Grafik *fever chart* menunjukkan konsumsi *buffer* dan aktivitas kritis yang telah diselesaikan serta memastikan *buffer* dalam kondisi ideal sehingga dapat mengurangi durasi proyek tanpa adanya efek negatif (Sreenivas Padala et al., 2022). Zona *buffer* berwarna hijau mengindikasikan adanya area negatif hingga 1/3 pemakaian menunjukkan zona aman dan tidak diwajibkan untuk mengambil tindakan, zona *buffer* berwarna kuning mengindikasikan adanya tindakan yang sudah harus direncanakan untuk digunakan apabila konsumsi *buffer* terlalu banyak, dan zona *buffer* berwarna merah mengindikasikan harus dilaksanakannya tindakan pemilihan yang telah direncanakan (Sugiyanto et al., 2022).



Gambar 2. 13 Zona Konsumsi *Buffer*
Sumber: (Sugiyanto et al., 2022)

2.2.9 Penerapan CCPM dalam Proyek Konstruksi

Langkah penerapan CCPM dalam proyek menurut (Sugiyanto, 2021) adalah:

1. Menginventarisasi Kegiatan Proyek yang Diteliti

Tahapan pertama untuk menjadwalkan kegiatan adalah dengan melakukan identifikasi mengenai ruang lingkup proyek dengan menguraikan setiap aktivitas pekerjaan untuk pelaksanaan proyek. Pada tahap ini ditentukan *slack* dan durasi total proyek serta dilakukan pembuatan *work breakdown structure* (WBS) yang memuat data waktu dan aktivitas pekerjaan. Selanjutnya membuat diagram jaringan dengan melakukan perhitungan maju yang terdiri dari EF (*Early Finish*) dan ES (*Early Start*) dan dimulai dari *start* menuju *finish*. ES adalah waktu mulai paling awal dari aktivitas dan EF adalah waktu selesai paling awal suatu kegiatan. Kemudian setelah dilakukan perhitungan maju, dilakukan perhitungan mundur yang terdiri dari LF (*Latest Finish*) dan LS (*Latest Start*) dimulai dari *finish* menuju *start*. LS adalah waktu paling lambat terjadinya suatu aktivitas sedangkan LF adalah saat paling lambat terjadinya suatu aktivitas.

2. Menghitung Total *Float*, Mengidentifikasi Jalur Kritis dan Kurun Waktu Penyelesaian Proyek pada Penjadwalan Konvensional

Aktivitas yang berada dalam lintasan kritis disebut sebagai aktivitas kritis dan tidak mempunyai waktu tenggang (*float*) sehingga total *float* = 0. *Float* juga diartikan sebagai tenggang waktu dari aktivitas non kritis dari proyek atau kelonggaran waktu dan elastisitas pada jaringan kerja.

3. Membuat *Network Planning* dengan CCPM

Diagram Jaringan (*Network Planning*) digunakan untuk menghasilkan penjadwalan baru untuk memperbaiki penjadwalan konvensional menjadi penjadwalan metode rantai kritis (CCPM). Hasil penjadwalan metode rantai kritis (CCPM) adalah mengurangi 50% dari durasi total pelaksanaan proyek dari penjadwalan konvensional.

4. Menghitung Jumlah Pekerja dengan Menghilangkan *Safety Time* dan *Multitasking*

Pada metode rantai kritis (CCPM) adalah menghilangkan *multitasking* yaitu dua atau lebih pekerjaan yang dilakukan dalam satu waktu yang sama.

5. Memasukkan *Feeding Buffer*

Buffer adalah waktu penyangga yang digunakan untuk mencegah terjadinya keterlambatan dikarenakan pengurangan durasi kegiatan dapat meningkatkan potensi keterlambatan. Penentuan *Feeding buffer* dapat dilakukan dengan menggunakan metode *root square*

method (RSEM). Perhitungan *buffer* menggunakan metode RSEM adalah dengan melakukan perhitungan dua standar deviasi dengan memasukkan variabel S yang merupakan durasi CPM dan variabel A yang merupakan durasi CCPM.

6. Menghitung *Feeding Buffer*

Feeding buffer diletakkan pada akhir aktivitas rantai non kritis untuk melindungi rantai non kritis dari keterlambatan sehingga tidak membahayakan rantai kritis.

7. Menghitung *Project Buffer*

Project buffer diletakkan pada akhir proyek untuk melindungi waktu akhir dari penyelesaian proyek.

8. Menghitung Biaya Tenaga Kerja Langsung

Hasil perhitungan biaya tenaga kerja langsung diperoleh dari perkalian antara upah pekerja dengan satuan waktu bekerja yang diperlukan untuk penyelesaian proyek.

9. Analisa *Buffer Management*

Manajemen *buffer* digunakan untuk memantau konsumsi *buffer* berdasarkan tiga zona yaitu zona hijau, kuning, dan merah. Analisis penggunaan *buffer* berada pada zona pemakaian *buffer* dari 0% hingga 100% dengan durasi *project buffer* dan durasi yang terpakai.

Kelas Feeding Buffer	Zone Pemakaian Buffer (Feeder)	Harapan Buffer (Hbnd)	Durasi Terpakai (Hbnd)
Feeder Buffer - 1	0% - 33%	24,3	0,61
	34% - 66%	24,3	8,1 sampai 16,17
	67% - 100%	24,3	116,11
Feeder Buffer - 2	0% - 33%	24,3	11,45
	34% - 66%	24,3	11,45 sampai 147,5
	67% - 100%	24,3	147,5
Feeder Buffer - 3	0% - 33%	22,8	10,32
	34% - 66%	22,8	10,32 sampai 21,6
	67% - 100%	22,8	21,6
Feeder Buffer - 4	0% - 33%	21,9	11,13
	34% - 66%	21,9	11,13 sampai 21,9
	67% - 100%	21,9	21,9
Feeder Buffer - 5	0% - 33%	20,2	11,65
	34% - 66%	20,2	11,65 sampai 20,2
	67% - 100%	20,2	20,2
Feeder Buffer - 6	0% - 33%	21,1	10,81
	34% - 66%	21,1	10,81 sampai 17,84
	67% - 100%	21,1	17,84
Feeder Buffer - 7	0% - 33%	20,4	11,68
	34% - 66%	20,4	11,68 sampai 20,4
	67% - 100%	20,4	20,4
	Zone hijau	Zone kuning	Zone merah

Gambar 2. 14 Zona Pemakaian *Buffer*
Sumber: (Utama et al., 2021)

BAB III

METODE PENELITIAN

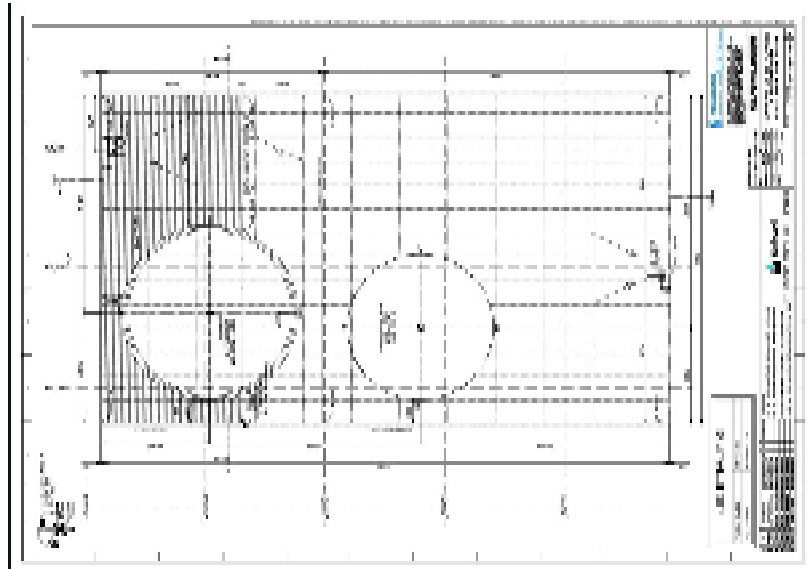
3.1 Objek Penelitian

Objek dari penelitian ini adalah pembangunan penambahan kapasitas *storage bio-diesel tank* kapasitas 8.500 kl di Area Permanen Tank yang dikerjakan oleh PT. Buana Megah Teknik. Proyek ini berlokasi di Sumbawa, Nusa Tenggara Barat dan dibangun bertujuan untuk memenuhi *supply* bahan bakar berupa *bio-diesel* untuk keperluan kegiatan operasional pertambangan serta bahan bakar produksi.

Storage bio-diesel tank ini memiliki diameter 35,4 m dengan tinggi shell 9,75 m atau tinggi total dengan *dome cover* sebesar 13,6 m. Proyek ini merupakan proyek penambahan kapasitas tanki yang awalnya 6.500 kl menjadi 8.500 kl. Tanki ini terbuat dari material utama berbahan baja dengan tahapan pekerjaan proyek dimulai dari tahap persiapan (*preliminary works*), pekerjaan sipil (*civil works*), pekerjaan mekanikal (*mechanical storage tank*), dan pekerjaan instalasi sistem perpipaan mekanikal (*mechanical piping works*).



Gambar 3. 1 *Storage Bio-Diesel*



Gambar 3. 2 Tampak Atas Proyek Penambahan Kapasitas *Storage Bio-Diesel*

3.2 Subjek Penelitian

Subjek dari penelitian ini adalah penjadwalan proyek pembangunan penambahan kapasitas *storage bio-diesel tank* 8500 kiloliter menggunakan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM). Pemilihan subyek ini dikarenakan fokus penelitian terdapat pada aspek waktu dan biaya proyek untuk menganalisis hasil yang diperoleh menggunakan metode CCPM.

3.3 Jenis Data

1. Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh dari hasil wawancara dengan pihak yang terlibat dalam perencanaan dan pelaksanaan proyek khususnya pada bagian *engineering project*. Adapun data primer yang terdapat pada penelitian ini adalah data gambaran umum proyek, hubungan ketergantungan antar aktivitas, dan penyebab keterlambatan proyek sesuai dengan wawancara dan *focus grup discussion* (FGD).

2. Data Sekunder

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari dokumen yang telah ada seperti jadwal proyek yang telah disusun, rekapitulasi upah tenaga kerja, dan jumlah pekerja yang terlibat dalam pelaksanaan proyek.

3.4 Metode Pengumpulan Data

1. Wawancara

Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan melakukan wawancara kepada tim proyek mengenai gambaran umum proyek, perencanaan jadwal proyek, tantangan serta hambatan dalam melaksanakan proyek.

2. *Focus Grup Discussion* (FGD)

Pengumpulan data dengan tim pelaksana proyek dengan mengajukan berbagai pertanyaan yang berkaitan dengan apa saja penyebab keterlambatan proyek dan dikategorikan ke dalam *fishbone diagram* yang meliputi dari aspek 5M yaitu (*man, method, mother nature/environment, dan time*) dan 5 *Why's* untuk mengidentifikasi akar masalah (*root cause analysis*) penyebab dari keterlambatan pelaksanaan proyek.

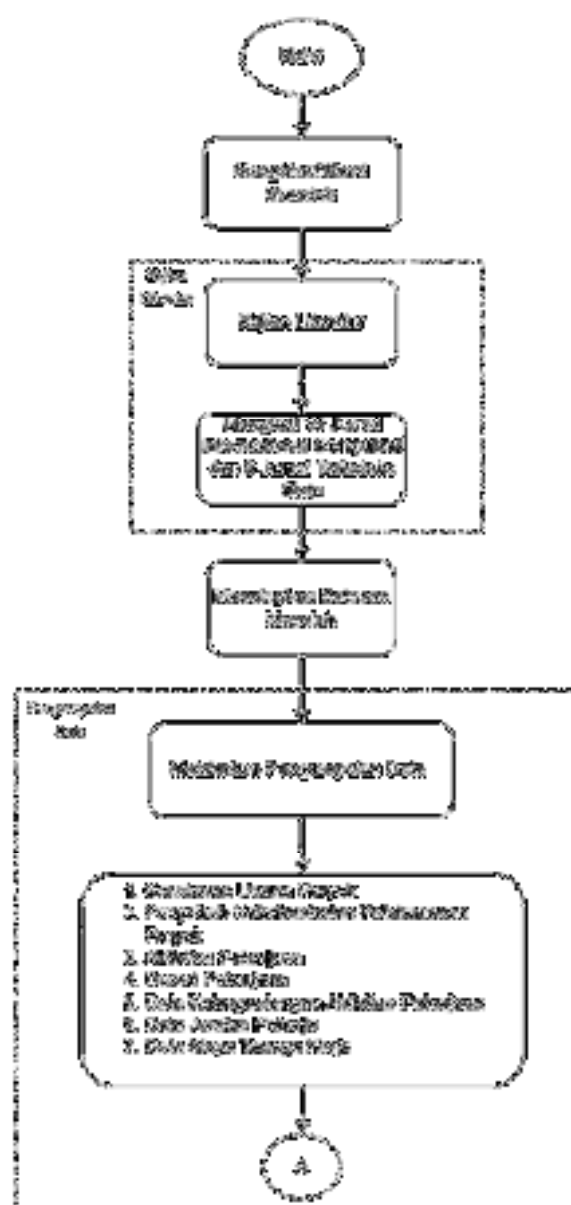
3. Studi Dokumentasi

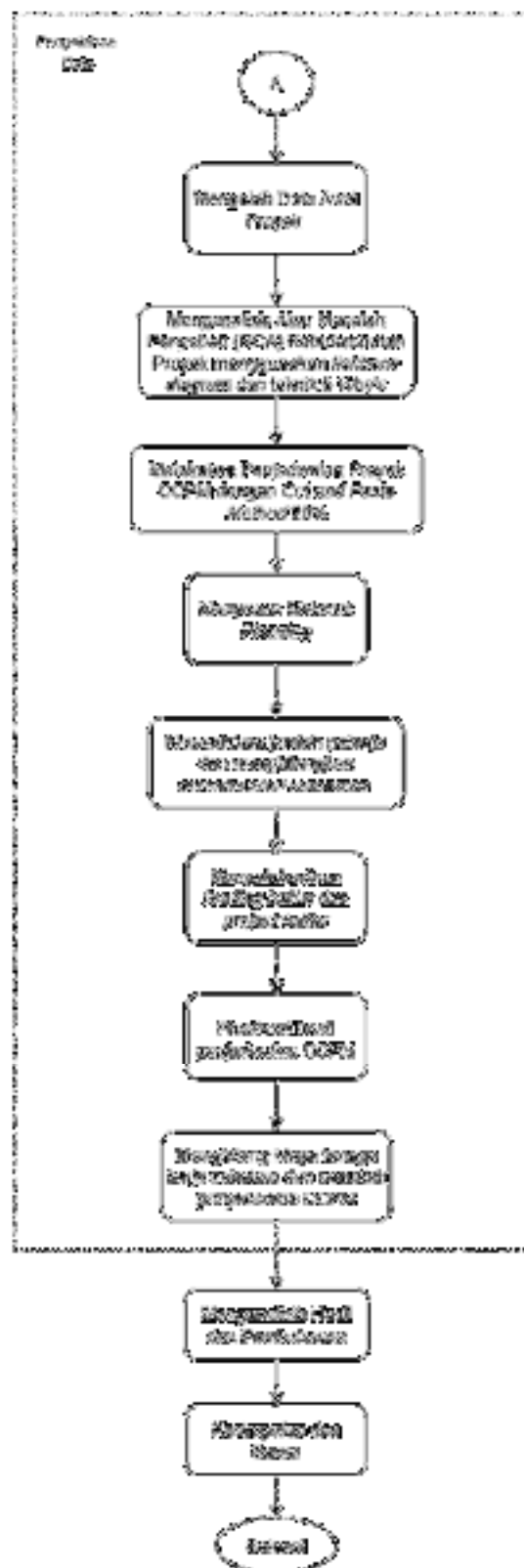
Pengumpulan data pada penelitian ini dilakukan dengan menganalisis dokumen proyek yang telah berjalan. Adapun dokumen tersebut adalah sebagai berikut:

- a. Penjadwalan dan durasi proyek *Storage Bio-Storage Diesel*
- b. Rekapitulasi Biaya Upah Tenaga Kerja
- c. Jumlah Pekerja

3.5 Alur Penelitian

Berikut ini merupakan alur penelitian yang ditampilkan melalui *flowchart*:





Gambar 3. 3 Alur Penelitian

3.5.1 Identifikasi Masalah

Berdasarkan uraian dari permasalahan yang telah dijelaskan di latar belakang maka dapat diidentifikasi rumusan masalah sebagai berikut:

1. Berapa total durasi waktu yang dihasilkan dalam pelaksanaan proyek menggunakan metode *Critical Chain Project Management*?
2. Bagaimana perbandingan biaya tenaga kerja yang dihasilkan sebelum dan setelah menggunakan metode *Critical Chain Project Management* (CCPM)?

3.5.2 Kajian Literatur

Kajian literatur dilakukan dengan mengkaji dan membandingkan penelitian-penelitian terdahulu yang terdiri dari 10 jurnal internasional bereputasi dan 5 jurnal nasional terindeks sinta. Adapun dari berbagai jurnal-jurnal tersebut menggunakan pendekatan berupa metode *Critical Chain Project Management* (CCPM) yang digunakan untuk melakukan penjadwalan proyek.

3.5.3 Batasan Masalah

Batasan masalah ditetapkan untuk membatasi ruang lingkup penelitian dan menentukan arah serta fokus penelitian. Adanya batasan penelitian ini dapat membantu peneliti dalam menyelesaikan permasalahan.

3.5.4 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan dengan wawancara, *focus grup discussion*, dan studi dokumentasi. Adapun data-data yang diperlukan adalah gambaran umum proyek, penyebab keterlambatan pelaksanaan proyek, aktivitas pekerjaan, durasi pekerjaan, data ketergantungan aktivitas pekerjaan, data jumlah pekerja, dan data biaya tenaga kerja

a. Wawancara

Proses pengumpulan data melalui wawancara dilakukan dengan mengajukan beberapa pertanyaan mengenai gambaran umum proyek, hambatan, atau kendala dari penjadwalan proyek.

b. *Focus Group Discussion* (FGD)

Pengumpulan data melalui *focus grup discussion* bertujuan untuk mencari informasi yang lebih detail dan mendalam mengenai penyebab dari permasalahan yang menyebabkan keterlambatan pelaksanaan proyek.

c. Studi Dokumentasi

Pengumpulan data melalui studi dokumentasi yaitu dengan menganalisis data yang berkaitan dengan dokumen yang telah ada seperti jadwal proyek (aktivitas pekerjaan, durasi pekerjaan, dan ketergantungan antara aktivitas), data biaya tenaga kerja, dan jumlah tenaga kerja.

3.5.5 Pengolahan Data

Pengolahan data dilakukan dengan menganalisis data awal proyek yang meliputi gambaran umum proyek dan faktor penyebab keterlambatan pelaksanaan proyek. Kemudian dilakukan analisis penyebab utama dari keterlambatan proyek menggunakan *fishbone diagram* dan teknik *5 Why's*. Kemudian setelah mengetahui penyebab utama keterlambatan proyek maka dilakukan penghapusan waktu cadangan dengan menerapkan *cut and paste method* yaitu dengan mengurangi durasi aktivitas sebesar 20%. Pengurangan durasi aktivitas dengan C&PM dapat meningkatkan risiko keterlambatan proyek sehingga dialokasikan *buffer* yang terdiri dari *feeding buffer* dan *project buffer*.

Selanjutnya dilakukan *network planning* dengan menggunakan perhitungan maju (*forward pass*) dan perhitungan mundur (*backward pass*) sehingga dapat ditentukan aktivitas apa saja yang termasuk dalam jalur kritis dan jalur non kritis. Setelah diketahui jalur kritis maupun non kritis maka dilakukan penentuan jumlah pekerja untuk masing-masing kegiatan dengan menghilangkan *overallocated resources*. *Overallocated resources* dapat diselesaikan dengan menggunakan fitur *resource levelling* pada *Microsoft Project*. Kemudian dilakukan perhitungan *feeding buffer* dan *project buffer* pada hasil penjadwalan CCPM.

Feeding buffer adalah *buffer* yang diletakkan pada akhir dari rantai tidak kritis yang menuju aktivitas jalur kritis, sedangkan *project buffer* adalah *buffer* yang diletakkan pada akhir dari aktivitas pekerjaan jalur kritis pada hasil penjadwalan menggunakan CCPM. Kemudian setelah finalisasi penjadwalan ulang terbentuk maka dilakukan perhitungan biaya tenaga kerja langsung dan biaya tenaga kerja tidak langsung. Setelah semua perhitungan biaya tenaga kerja

langsung dan biaya tenaga kerja tidak langsung dilakukan perbandingan biaya tenaga kerja sebelum dan sesudah penggunaan penjadwalan menggunakan metode CCPM.

3.5.6 Analisis Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan data yang telah diperoleh dilakukan analisis hasil pembahasan yang berkaitan dengan analisis akar permasalahan (RCA) keterlambatan proyek, analisis pemotongan durasi kegiatan dengan C&PM, analisis kegiatan *multitasking*, analisis *overallocated resources*, analisis *buffer*, analisis perbandingan penjadwalan sebelum dan sesudah penggunaan CCPM, dan analisis biaya tenaga kerja sebelum dan sesudah penggunaan CCPM.

3.5.7 Kesimpulan dan Saran

Berdasarkan analisis hasil dan pembahasan dapat ditentukan kesimpulan yang menjawab rumusan permasalahan yang ada seperti total durasi waktu yang dihasilkan menggunakan metode CCPM dan perbandingan biaya tenaga kerja sebelum dan sesudah menggunakan metode CCPM. Kemudian dilakukan pembuatan saran untuk menunjang penelitian selanjutnya yang lebih baik.

BAB IV

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

4.1. Profil Perusahaan

4.1.1 Deskripsi Perusahaan

PT. Buana Megah Teknik adalah perusahaan jasa konstruksi, rekayasa, manufaktur, instalasi peralatan, dan pengadaan material konstruksi seperti besi ataupun baja. Perusahaan ini berdiri pada tanggal 15 Agustus 2011 yang mempunyai satu *workshop* dan satu *head office* yang berlokasi di Cileungsi, Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Workshop* perusahaan digunakan untuk keperluan seperti fabrikasi komponen, proses *pre-assembly*, melakukan pemeriksaan dan pengujian hasil fabrikasi, perawatan dan perbaikan alat, penyimpanan material, dan melaksanakan *training* dan simulasi. PT. Buana Megah Teknik juga merupakan kontraktor yang bergerak dalam *blasting* pembersih, *ducting*, instalasi pipa, komponen bangunan dan struktur baja, struktur baja bejana tekan (*pressure vessel*), dan tangki penyimpanan.



Gambar 4. 1 Logo Perusahaan

4.1.2 Visi dan Misi Perusahaan

PT. Buana Megah Teknik mempunyai visi, misi, dan nilai dan budaya perusahaan. Adapun visi perusahaan adalah menjadi perusahaan yang terdepan dalam industri konstruksi. Kemudian misi perusahaan adalah menciptakan nilai perusahaan dari hasil produk yang berkualitas, mutu tinggi, modernisasi, dan dapat dibanggakan. Kemudian nilai dan budaya perusahaan adalah sebagai berikut:

1. JUJUR: Baik kepada diri sendiri maupun orang lain.
2. ADIL: merupakan nilai yang mendasari langkah menuju solusi sukses dalam bermitra.

4.2. Pengumpulan Data

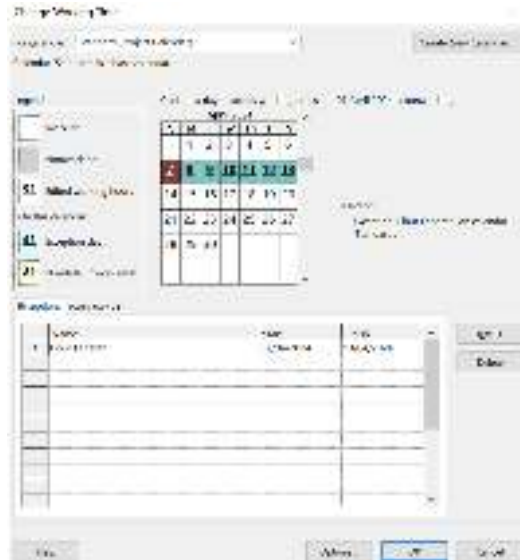
4.2.1. Data Operasional Kerja

Operasional kerja proyek adalah aktivitas yang dilakukan oleh tenaga kerja untuk melaksanakan proyek penambahan kapasitas *storage bio-diesel* agar berjalan secara efektif. Pada pelaksanaan proyek ini hari operasional kerja dimulai dari hari Senin hingga Minggu dengan jam kerja 1 dari jam 08.00 – 12.00 WITA dan jam kerja 2 dari jam 13.00 – 17.00 WITA dengan jam istirahat 1 yang dimulai dari jam 12.00 – 13.00 WITA. Pada tabel 4.1 berikut ini merupakan operasional jadwal kerja yang terdiri dari hari kerja dan jam istirahat.

Tabel 4. 1 Operasional Kerja

No	Hari	Jam Kerja 1	Istirahat 1	Jam Kerja 2
1	Senin			
2	Selasa			
3	Rabu			
4	Kamis	08.00 – 12.00 WITA	12.00 – 13.00 WITA	13.00 – 17.00 WITA
5	Jum'at			
6	Sabtu			
7	Minggu			

Namun operasional kerja proyek pada bulan April 2024 hanya berlangsung sekitar 3 minggu lebih 3 hari dikarenakan terdapat libur lebaran yang berlangsung dari tanggal 7 April 2024 hingga 13 April 2024. Sehingga operasional kerja baru dimulai setelah libur lebaran yaitu pada tanggal 14 April 2024.



Gambar 4. 3 Operasional Jam Kerja

4.2.2. Data Penjadwalan Proyek

Data penjadwalan proyek adalah data yang telah dijadwalkan dan diselesaikan sebelumnya oleh perusahaan pada proyek pembangunan penambahan kapasitas *storage bio-diesel* yang mempunyai 83 aktivitas. Penjadwalan proyek pada perusahaan disusun menggunakan *Microsoft Excel*. Selanjutnya data penjadwalan proyek ini akan dilakukan penyusunan *Work Breakdown Structure* (WBS) yang membagi aktivitas proyek menjadi beberapa bagian sub aktivitas yang lebih kecil.

Adapun lanjutan dari keseluruhan data penjadwalan awal proyek terdiri dapat dilihat pada lampiran A. Pada tabel 4.2 berikut ini merupakan data penjadwalan proyek yang meliputi nama aktivitas, kode kegiatan, durasi, tanggal mulai, tanggal selesai, kegiatan sebelum (*predecessor*), kegiatan sesudah (*successor*), dan hubungan antar aktivitas 1 hingga 10 aktivitas.

Tabel 4. 2 Penjadwalan Proyek

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai		Selesai		Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
1	Pembangunan Keseluruhan		441	Wed	14/06/23	Wed	03/09/24		
				08:00		17:00			
2	Preliminary Works		76	Wed	14/06/23	Tue	28/08/23		
				08:00		17:00			
3	Kick of Meeting	A	2	Wed	14/06/23	Thu	15/06/23		5FS-1 day;6FS-1 day;7FS-1 day;8FS+21 days
				08:00		17:00			
4	Engineering Calculation and Shop Drawing		75	Thu	15/06/23	Mon	28/08/23		
				08:00		17:00			
5	Civil Works Engineering	B	31	Thu	15/06/23	Sat	15/07/23	3FS-1 day	18FS+43 days
				08:00		17:00			

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai		Selesai		Kegiatan Sebelum (<i>Predecessor</i>)	Kegiatan Sesudah (<i>Successor</i>)
6	<i>Mechanical Storage Tank Engineering</i>	C	31	Thu 08:00	15/06/23	Sat 17:00	15/07/23	3FS-1 day	40FS+109 days
7	<i>Piping Works Engineering</i>	D	31	Thu 08:00	15/06/23	Sat 17:00	15/07/23	3FS-1 day	77FS+260 days;66FS+291 days
8	<i>Soil Investigation and Soil Test</i>	E	33	Fri 08:00	07/07/23	Tue 17:00	08/08/23	3FS+21 days	9SS+11 days
9	<i>Final Report Soil Investigation</i>	F	22	Tue 08:00	18/07/23	Tue 17:00	08/08/23	8SS+11 days	21FS+22 days
10	<i>Mobilisasi Manpower dan Safety Induction</i>	G	4	Wed 08:00	09/08/23	Sat 17:00	12/08/23	10FS-1 day	11FS-1 day;12FS-1 day

Berdasarkan data dari jadwal proyek diatas menunjukkan bahwa pelaksanaan proyek dimulai pada tanggal 14 Juni 2023 dan selesai pada 03 September 2024. Data jadwal proyek realita ini akan disusun menggunakan *Microsoft Project* untuk mengidentifikasi pekerjaan mana yang tergolong ke dalam pekerjaan kritis dan non-kritis, mengelola sumber daya (*manpower*), dan melihat waktu total *float* yang dihasilkan sehingga dapat dilakukan penyesuaian ulang untuk meningkatkan efisiensi penjadwalan proyek menggunakan pendekatan CCPM.

4.2.3. Data Biaya Tenaga Kerja

Pada proyek ini data biaya tenaga kerja terdiri dari biaya tenaga kerja langsung (*direct cost*) dan biaya tenaga kerja tidak langsung (*indirect cost*). Biaya tenaga kerja langsung adalah biaya yang dikeluarkan untuk tenaga kerja yang terlibat langsung dalam konstruksi proyek di lapangan dengan sistem dibayar sesuai dengan jumlah hari kerja. Sedangkan biaya tenaga kerja tidak langsung adalah biaya yang dikeluarkan untuk tenaga kerja yang tidak terlibat langsung dalam pekerjaan konstruksi proyek tetapi berperan dalam bagian perencanaan, pengawasan, pengendalian mutu, koordinasi, dan administrasi. Berikut ini merupakan data dari biaya tenaga kerja langsung dan data biaya tenaga kerja tidak langsung:

1. Biaya Tenaga Kerja Langsung

Tenaga kerja langsung pada proyek ini adalah Mandor, Tukang, Kenek, *Foreman*, *Helper*, *Driver*, *Fitter*, *Painter*, *Welder*, *Warehouse HO*, *Warehouse Site*, *Electrical*, *Scaffolder*, *Operator Crane*, dan *Operator Test Inspeksi*. Pada tabel 4.3 berikut ini merupakan rincian dari biaya tenaga kerja langsung dalam Rupiah dan satuan waktu 1 orang/hari.

Tabel 4. 3 Biaya Tenaga Kerja Langsung

No	Jabatan	QTY	Unit	Upah (IDR)	Satuan Waktu
1	Mandor	1	orang	275.333	1 orang/hari
2	Tukang	7	orang	233.333	1 orang/hari
3	Kenek	8	orang	226.666	1 orang/hari
4	<i>Foreman</i>	1	orang	275.333	1 orang/hari
5	<i>Helper</i>	19	orang	231.333	1 orang/hari
6	<i>Driver</i>	2	orang	166.666	1 orang/hari

7	<i>Fitter</i>	11	orang	263.833	1 orang/hari
8	<i>Painter</i>	4	orang	231.333	1 orang/hari
9	<i>Welder</i>	13	orang	351.000	1 orang/hari
10	<i>Warehouse HO</i>	1	orang	233.333	1 orang/hari
11	<i>Warehouse Site</i>	1	orang	268.266	1 orang/hari
12	<i>Eletrical</i>	2	orang	337.666	1 orang/hari
13	<i>Scaffolder</i>	8	orang	231.333	1 orang/hari
14	<i>Operator Crane</i>	1	orang	275.333	1 orang/hari
15	Operator <i>Test</i> Inspeksi	1	orang	298.000	1 orang/hari

2. Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung

Tenaga kerja tidak langsung pada proyek ini adalah *Project Manager*, *Site Manager*, HRD, Humas, HSE Officer, *Safety Man*, *Engineering Sipil*, *Engineering Mechanical*, *Welding Engineer*, *Welding Inspector*, *Quality Control*, *Supervisor Mechanical*, *Supervisor Sipil*, *Supervisor Painting*, *Surveyor*, dan Admin QC. Pada tabel 4.4 berikut ini merupakan rincian dari biaya tenaga kerja langsung dalam Rupiah dan satuan waktu 1 orang/bulan.

Tabel 4. 4 Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung

No	Jabatan	QTY	Unit	Upah (IDR)/unit	Satuan Waktu
1	<i>Project Manager</i>	1	orang	15.130.000	1 orang/bulan
2	<i>Site Manager</i>	1	orang	13.010.000	1 orang/bulan
3	HRD	2	orang	9.150.000	1 orang/bulan
4	Humas	1	orang	8.504.000	1 orang/bulan
5	HSE Officer	1	orang	8.504.000	1 orang/bulan
6	<i>Safety Man</i>	2	orang	7.250.000	1 orang/bulan
7	<i>Engineering Sipil</i>	1	orang	10.250.000	1 orang/bulan
8	<i>Engineering Mechanical</i>	1	orang	11.250.000	1 orang/bulan
9	<i>Welding Engineer</i>	1	orang	9.750.000	1 orang/bulan
10	<i>Welding Inspector</i>	1	orang	8.500.000	1 orang/bulan

Tabel 4. 5 *Fishbone Diagram* Penyebab Keterlambatan Pelaksanaan Proyek

Faktor	Penyebab	Sub-Penyebab	Keterangan	Akibat
<i>Manpower</i>	<i>Overallocated resources</i> pada sebagian besar aktivitas	Banyaknya pekerja <i>multitasking</i>	Pekerja banyak melaksanakan beberapa pekerjaan dalam waktu yang bersamaan melebihi beban kerja	Keterlambatan Pelaksanaan Proyek
			Jumlah tenaga kerja yang berkurang sehingga terjadi penambahan komposisi tenaga kerja dari dua daerah	
<i>Method</i>	Metode penjadwalan masih tradisional	Fokus penjadwalan hanya berdasarkan urutan teknis antara aktivitas	Penjadwalan hanya memperhitungkan aspek teknis urutan pekerjaan seperti <i>finish to start</i> (FS) dan <i>start to start</i> (SS)	
<i>Mother Nature</i>	Perbedaan lokasi yang jauh antara <i>workshop</i> dan <i>site project</i>	Gangguan faktor cuaca dan logistik	Lokasi yang berjauhan akan meningkatkan terjadinya hambatan ketidakpastian seperti kendala pengiriman <i>resource</i> yang dipengaruhi oleh perbedaan kondisi lingkungan	

<i>Time</i>	Kurang fleksibilitas waktu proyek	Tidak penggunaan <i>buffer</i>	ada	Sebagian aktivitas mempunyai kelonggaran (<i>slack</i>) sehingga keterlambatan aktivitas akan mempengaruhi aktivitas lainnya.
				besar tidak waktu

Pada *diagram fishbone* dan penjelasan tabel diatas menunjukkan bahwa penyebab terjadinya keterlambatan pelaksanaan proyek disebabkan oleh faktor *manpower*, *method*, *mother nature*, dan *time*. Berdasarkan wawancara oleh *project manager* pada faktor *manpower* penyebab perbedaan upah minimum regional antara Jakarta dan NTB telah diselesaikan dengan melakukan kesepakatan biaya dengan tenaga kerja dari Jakarta dan NTB.

Adapun faktor-faktor lainnya mempunyai pengaruh besar terhadap keterlambatan pelaksanaan proyek sehingga diperlukan identifikasi lebih detail mengenai penyebab dari masing-masing faktor. Salah satu *tools* untuk mendapatkan akar penyebab masalah dengan menggunakan *5-Why's Analysis*. Pada tabel 4.6 merupakan identifikasi dari *5-Why's Analysis* untuk menentukan akar masalah penyebab keterlambatan pelaksanaan proyek.

Tabel 4. 6 *Five Why's Analysis* Penyebab Utama Pelaksanaan Keterlambatan Proyek

Kategori	<i>Why 1</i>	<i>Why 2</i>	<i>Why 3</i>	<i>Why 4</i>	<i>Why 5</i>
<i>Manpower</i>	<i>Overallocated</i> pada sebagian besar aktivitas	Pekerja dijadwalkan untuk melaksanakan banyak aktivitas dalam waktu bersamaan (<i>multitasking</i>)	Tidak <i>resource leveling</i> penyesuaian kerja	adanya dan tenaga kerja	Jadwal tidak disesuaikan dengan jumlah tenaga kerja

Kategori	Why 1	Why 2	Why 3	Why 4	Why 5
Method		Fokus			
	Metode penjadwalan masih tradisional	penjadwalan hanya berdasarkan urutan teknis antara aktivitas	Penjadwalan tidak memperhitungkan keterbatasan sumber daya	Belum diterapkannya metode penjadwalan CCPM	Pihak perencana proyek belum menggunakan metode CCPM
Mother Nature	Perbedaan lokasi yang jauh antara workshop dan site project	Gangguan faktor cuaca dan logistik			
Time		Tidak adanya waktu pelindung aktivitas yaitu <i>buffer</i>	Penjadwalan tidak mempertimbangkan risiko hambatan ketidakpastian	Penjadwalan menggunakan durasi estimasi waktu optimis	
	Kurangnya fleksibilitas waktu proyek				

Berdasarkan akar penyebab permasalahan dari keempat faktor tersebut diperlukan pendekatan penjadwalan yang lebih realistis dan adaptif terhadap berbagai hambatan ketidakpastian di lapangan yaitu dengan menggunakan metode penjadwalan CCPM. *Critical Chain Project Management* (CCPM) yang dilakukan dengan menyeimbangkan beban dan kapasitas harian tenaga kerja (*manpower*), mengaplikasikan pendekatan metode CCPM untuk menyusun aktivitas jadwal proyek dengan mempertimbangkan kapasitas sumber daya (*method*), memberikan ruang yang cukup pada aktivitas non-kritis dengan adanya kelonggaran waktu atau *slack* sebagai antisipasi terjadi permasalahan yang tidak dapat diprediksi seperti gangguan cuaca dan logistik (*mother nature*), dan meningkatkan fleksibilitas penjadwalan dengan menyisipkan *buffer* serta mengurangi durasi estimasi awal untuk menghilangkan waktu cadangan (*time*).

4.3.2. Pengurangan Durasi Kegiatan dengan *Cut and Paste Method* (C&PM)

Sebelum menyusun jadwal dengan menggunakan metode CCPM dilakukan pemotongan durasi kegiatan untuk menghilangkan waktu pengaman (*safety time*) yang tersembunyi pada masing-masing aktivitas pekerjaan. Adanya pemotongan durasi kegiatan berpengaruh terhadap kebutuhan tenaga kerja per hari, durasi pekerjaan, dan penentuan *buffer*.

Pemilihan pemotongan durasi sebesar 20% didasarkan pada pertimbangan terhadap pemotongan durasi aktivitas yang realistis, peningkatan kebutuhan tenaga kerja yang tidak terlalu besar, dan *buffer* yang cukup sesuai dengan kebutuhan aktivitas. Namun apabila dengan memotong durasi sebesar 50% tentunya akan berdampak pada estimasi waktu yang terlalu optimis terhadap berbagai hambatan seperti keterlambatan material, cuaca, dan *overallocated* sumber daya. Selain itu, probabilitas 50% juga membutuhkan tenaga kerja yang jauh lebih banyak dikarenakan estimasi durasi yang dihasilkan terlalu cepat. Pada lampiran B memuat perhitungan durasi CCPM yang telah dilakukan pemotongan sebesar 20% dari durasi awalnya. Setelah durasi CCPM didapatkan menggunakan pemotongan durasi sebesar 20%, selanjutnya akan dilakukan penyusunan *network planning* untuk menentukan nilai *total float* pada setiap aktivitas sehingga dapat dilakukan identifikasi aktivitas yang termasuk dalam kategori kritis dan non-kritis.

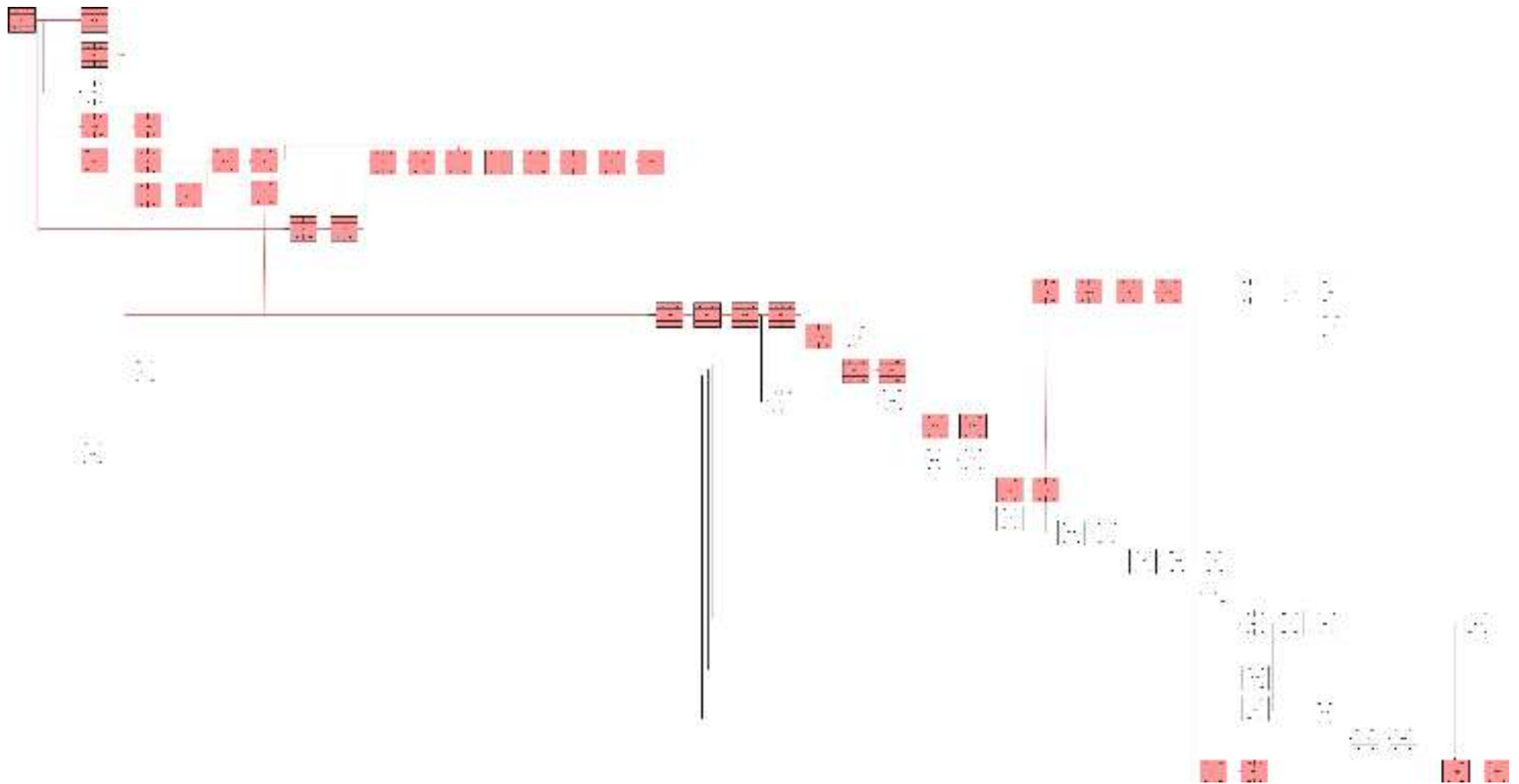
4.3.3. Menyusun *Network Planning* Penjadwalan Awal dan Penjadwalan CCPM

1. Penjadwalan Awal

Penyusunan *network planning* dilakukan dengan melakukan perhitungan maju atau *forward pass* yaitu *early start* (ES) dan *early finish* (EF). Kemudian dilanjutkan dengan melakukan perhitungan mundur atau *backward pass* yaitu *latest start* (LS) dan *latest finish* (LF). Setelah didapatkan hasil perhitungan maju dan perhitungan mundur maka dapat dilakukan perhitungan *total float* yang merupakan selisih antara LF dengan EF atau LS dengan ES. *Network planning* penjadwalan awal untuk keseluruhan aktivitas dapat dilihat pada lampiran C. Pada tabel 4.7 berikut ini merupakan perhitungan *network planning* dari penjadwalan yang telah dilaksanakan proyek dari 13 aktivitas pertama.

Tabel 4. 7 *Network Planning* Penjadwalan Awal

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total <i>Float</i> (hari)
			ES	EF	LS	LF	
1	A	2	0	1	0	1	0
2	B	31	1	31	1	31	0
3	C	31	1	31	1	31	0
4	D	31	1	31	8	38	7
5	E	33	23	55	23	55	0
6	F	22	34	55	34	55	0
7	G	4	56	59	56	59	0
9	H	3	59	61	59	61	0
10	I	3	59	61	59	61	0
11	J	15	61	75	61	75	0
12	K	3	66	68	66	68	0
13	L	8	68	75	68	75	0



Gambar 4. 5 AON Penjadwalan Sebelum CCPM

Berdasarkan hasil perhitungan maju dan perhitungan mundur didapatkan bahwa waktu penyelesaian proyek selama 441 hari dan terdapat 41 aktivitas kritis dan 28 aktivitas non-kritis. Aktivitas kritis adalah aktivitas yang mempunyai total *float* 0 hari dan aktivitas non-kritis adalah aktivitas yang mempunyai total float lebih dari 0. Adapun aktivitas yang berada pada jalur kritis yaitu aktivitas A, B, C, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AN, AP, AR, AT, AV, BN, BO, BP, dan BQ. Sedangkan aktivitas yang tidak termasuk aktivitas jalur non-kritis yaitu aktivitas D, Y, Z, AA, AB, AL, AM, AO, AQ, AS, AU, AW, AX, AY, AZ, BA, BB, BC, BD, BE, BF, BG, BH, BI, BJ, BK, BL, dan BM.

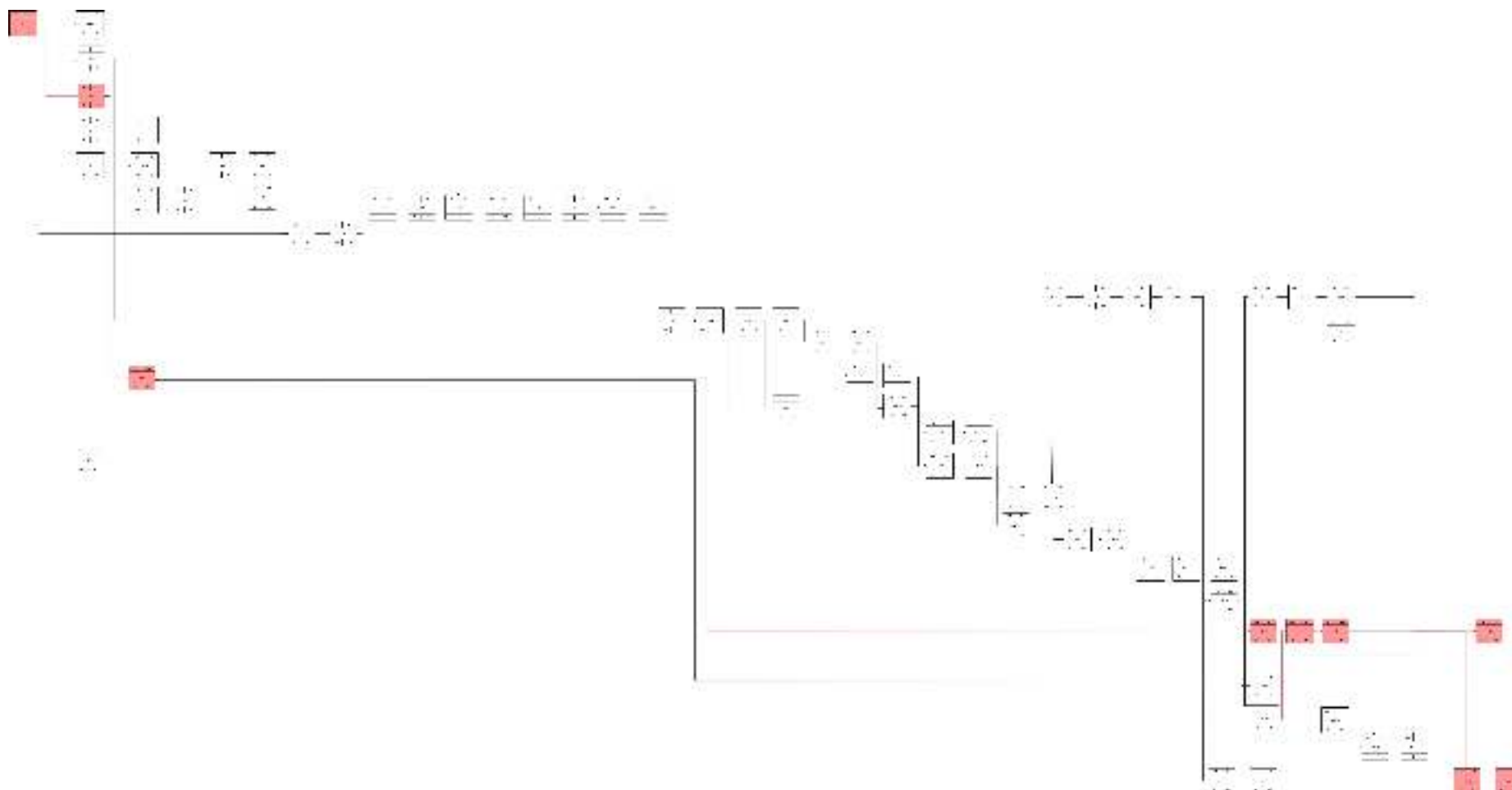
Hasil *network planning* ini menunjukkan bahwa dari lebih dari 50% aktivitas pada proyek ini terdapat keterkaitan aktivitas yang sangat tinggi yaitu pekerjaan tidak mempunyai kelonggaran waktu (*float*). Banyaknya aktivitas yang tidak mempunyai kelonggaran waktu (*float*) dapat meningkatkan risiko keterlambatan jika salah satu aktivitas saja terhambat. Oleh karena itu dilakukan penyusunan penjadwalan ulang menggunakan metode CCPM untuk mengelola durasi proyek menggunakan *buffer* waktu sehingga dapat meningkatkan fleksibilitas pada jadwal untuk mengantisipasi terjadinya berbagai hambatan yang terjadi di lapangan.

2. Penjadwalan CCPM

Penyusunan *network planning* penjadwalan CCPM dilakukan dengan menggunakan durasi hasil pemotongan sebesar 20% dan melakukan perhitungan maju yaitu *early start* (ES) dan *early finish* (EF) serta melakukan perhitungan mundur *latest start* (LS) dan *latest finish* (LF). Setelah didapatkan hasil perhitungan maju dan perhitungan mundur maka dapat dilakukan perhitungan total *float* yang merupakan selisih antara LF dengan EF atau LS dengan ES. *Network planning* penjadwalan CCPM dari keseluruhan aktivitas dapat dilihat pada lampiran D. Pada tabel 4.8 berikut ini merupakan perhitungan *network planning* dari penjadwalan yang telah dilaksanakan proyek yang terdiri dari 13 aktivitas.

Tabel 4. 8 *Network Planning* Penjadwalan CCPM

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total Float
			ES	EF	LS	LF	
1	A	2	0	1	0	1	0
2	B	25	1	25	44	68	43
3	C	25	1	25	28	52	27
4	D	25	1	25	1	25	0
5	E	26	23	48	63	88	40
6	F	18	34	51	74	91	40
7	G	3	54	56	82	84	28
8	H	2	56	57	84	85	28
9	I	2	56	57	84	85	28
10	J	12	57	68	85	96	28
11	K	2	62	63	90	91	28
12	L	6	63	68	102	107	39
13	M	6	63	68	91	96	28



Gambar 4. 6 AON Penjadwalan Sesudah CCPM

Berdasarkan hasil perhitungan maju dan perhitungan mundur didapatkan bahwa waktu penyelesaian proyek selama 410 hari dan aktivitas yang mempunyai total *float* 0 hari yaitu aktivitas A, D, BA, BD, BG, BI, BJ, BP, dan BQ. Selanjutnya untuk aktivitas yang berada di jalur non-kritis yaitu B, C, E, F, G, H, I, J, K, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, U, V, W, X, Y, Z, AA, AB, AC, AD, AE, AF, AG, AH, AI, AJ, AK, AL, AM, AN, AO, AP, AQ, AR, AS, AT, AU, AV, AW, AX, AY, AZ, BB, BC, BE, BF, BH, BK, BL, BM, BN, dan BO.

Pada penjadwalan CCPM terlihat pengurangan aktivitas kritis dikarenakan waktu cadangan yang tersembunyi pada setiap aktivitas telah dihapus dan menyebabkan perubahan durasi aktivitas proyek. Akibatnya aktivitas yang awalnya berada di jalur kritis beralih ke jalur non-kritis sehingga hanya aktivitas yang sangat penting yang berada di jalur kritis.

4.3.4. Penentuan Jumlah Tenaga Kerja Langsung dengan Menghilangkan *Overallocated*

Pada pelaksanaan aktivitas proyek sering munculnya kondisi *overallocated resources* yang menandakan bahwa beban tenaga kerja melebihi jumlah maksimum harian yang tersedia. Kondisi *overallocated resources* ini membuat pekerja melaksanakan beberapa aktivitas dalam waktu yang bersamaan (*multitasking*) melebihi batas harian.

Multitasking ini dapat meningkatkan risiko terjadinya keterlambatan akibat pekerja tidak dapat menyelesaikan pekerjaan tersebut sehingga menurunnya tingkat produktivitas pekerja. Dalam mengatasi permasalahan *multitasking* atau *overallocated resources* maka dilakukan *resource leveling* untuk pemerataan penggunaan sumber daya yang bertujuan untuk menghindari penumpukan beban kerja pada waktu tertentu. Jumlah aktivitas yang membutuhkan tenaga kerja langsung sebanyak 60 aktivitas yang dapat dilihat pada lampiran E. Pada tabel 4.9 berikut ini merupakan penentuan jumlah tenaga kerja langsung dari aktivitas J hingga aktivitas V.

Tabel 4. 9 Penentuan Jumlah Tenaga Kerja Langsung

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
1	J	12	Driver	2
2	K	2	Tukang, Kenek	5
3	L	6	Warehouse Site	1
4	M	6	Warehouse Head Office	1

Terlihat pada gambar bahwa tenaga kerja yang mengalami kondisi *overallocated* yaitu Mandor, Tukang, Kenek, *Foreman*, *Helper*, *Scaffolder*, dan Operator *Crane*. Untuk menyelesaikan kondisi *overallocated* tersebut dapat dilakukan *resource leveling* yang dimana hanya akan dilakukan jika masih terdapat kelonggaran waktu (*slack*) dan tidak mengganggu durasi proyek secara keseluruhan sehingga tidak berdampak pada aktivitas kritis.

Resource Name	Type	Initial	Allocated	Available	Overallocated	Start Date	End Date	Resource Leveling	Status
Mandor	Man	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Tukang	Man	1	1	0	1	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Kenek	Man	8	8	0	8	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Foreman	Man	1	1	0	1	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Helper	Man	11	11	0	11	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Scaffolder	Man	11	11	0	11	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Operator Crane	Man	11	11	0	11	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Material	Mat	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Equipment	Eq	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Subcontractor	Sub	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Material	Mat	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Equipment	Eq	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Subcontractor	Sub	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Material	Mat	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Equipment	Eq	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard
Subcontractor	Sub	10	10	0	10	11p275.352May	11p275.352May	11p275.352May	Standard

Gambar 4. 8 *Overallocated* Setelah *Resource Leveling*

Meskipun *resource leveling* telah dilakukan masih terdapat *resources* yang mengalami *overallocated* yaitu tenaga kerja Mandor, Tukang, Kenek, *Foreman*, dan *Scaffolder*. Kelima *resources* tersebut masih dalam kondisi *overallocated* dikarenakan tidak ada kelonggaran waktu (*slack*) yang cukup dan jadwal proyek mempunyai batas waktu yang ketat sehingga masalah *overallocated* belum sepenuhnya terselesaikan.

Tabel 4. 10 Alokasi *Feeding Buffer*

No	Pekerjaan	Durasi Awal (S)	Durasi CCPM (A)	$\frac{(S-A)}{2}$	$\left(\frac{(S-A)}{2}\right)^2$	$\sqrt{\left(\frac{(S-A)}{2}\right)^2}$
1	<i>Final NDT</i>	6	5	0,5	0,25	1
2	<i>Scaffolding Installation</i>	6	5	0,5	0,25	1

Gambar 4. 10 Alokasi *Feeding Buffer* 1Gambar 4. 11 Alokasi *Feeding Buffer* 2

Berdasarkan tampilan pada bagian jadwal proyek dan *gant chart* yang ditunjukkan pada *gant bar* berwarna hijau sebagai representasi dari adanya penyisipan *buffer*. Secara keseluruhan terdapat 2 *feeding buffer*. *Feeding buffer* 1 adalah *buffer* yang diletakkan setelah aktivitas *Final NDT* untuk melindungi aktivitas kritis *Final Inspection and Punch List*. *Feeding buffer* 2 adalah *buffer* yang diletakkan setelah aktivitas *Internal Scaffolding Installation* untuk melindungi aktivitas kritis *Touch Up, Second, and Finish Painting Internal*.

2. Project Buffer

Project buffer adalah waktu pelindung yang diletakkan pada akhir aktivitas kritis pada jadwal proyek untuk melindungi jadwal akhir proyek sebagai antisipasi apabila terjadi keterlambatan pada aktivitas-aktivitas yang berada pada rantai kritis. Pada tabel 4.11 ini merupakan tabel perhitungan alokasi *project buffer* pada aktivitas yang berada pada rantai kritis.

Tabel 4. 11 Alokasi *Project Buffer*

No	Pekerjaan	Durasi Awal (S)	Durasi CCPM (A)	$\frac{(S - A)}{2}$	$\left(\frac{(S - A)}{2}\right)^2$	$2 \times \sqrt{\left(\frac{(S - A)}{2}\right)^2}$
1	Kick of Meeting	2	2	0	0	
2	Piping Works Engineering	31	25	3	9	
3	Piping Flange Management to New Tank	12	10	1	1	
4	Bundwall Bridge Erection	4	3	0,5	0,25	
5	Final Inspection and Punch List	8	6	1	1	
6	Touch Up, Second, and Finish Painting External	31	25	3	9	
7	Touch Up, Second, and Finish	31	25	3	9	

No	Pekerjaan	Durasi Awal (S)	Durasi CCPM (A)	$\frac{(S-A)}{2}$	$\left(\frac{(S-A)}{2}\right)^2 \times 2 \times \sqrt{\left(\frac{(S-A)}{2}\right)^2}$
	<i>Painting Internal</i>				
8	<i>Finishing and Clean Up Tank</i>	4	3	0,50	0,25
9	<i>Final Work and Completion</i>	6	5	0,50	0,25
Project Buffer (hari)					11

Setelah dilakukan perhitungan *project buffer* didapatkan *project buffer* selama 11 hari dan dilakukan penyisipan *buffer* pada aktivitas kritis terakhir proyek yaitu diletakkan setelah aktivitas *Final Work and Completion* yang ditunjukkan pada gambar berikut:



Gambar 4. 12 Alokasi *Project Buffer*

Pada tampilan *gant chart* diatas *project buffer* ditempatkan setelah aktivitas *Final Work and Completion* yang berlangsung dari 30 Juli 2024 hingga 3 Agustus 2024. Kemudian dilakukan penambahan *project buffer* selama 11 hari yaitu dari tanggal 4 Agustus 2024 hingga 14 Agustus 2024. Hal ini menunjukkan bahwa konsumsi *buffer* maksimum proyek selesai pada tanggal 14 Agustus 2024 namun apabila *buffer* tidak terkonsumsi proyek akan selesai jauh lebih cepat yaitu 3 Agustus 2024

4.3.6. Finalisasi Hasil Penjadwalan CCPM

Setelah alokasi *feeding buffer* dan *project buffer* maka hasil penjadwalan menggunakan *Critical Chain Project Management* terdapat pada lampiran F. Pada hasil penjadwalan CCPM menunjukkan bahwa *project buffer* mempunyai durasi waktu 11 hari sebagai perlindungan durasi waktu proyek terhadap kemungkinan terjadinya keterlambatan. Penggunaan konsumsi waktu *buffer* harus dipantau secara berkala agar memastikan penggunaan *buffer* tetap sesuai dan durasi pelaksanaan proyek tetap berada pada batas aman sesuai waktu *buffer*.

Monitoring konsumsi *buffer* dapat dibagi menjadi tiga zona bagian pemakaian *buffer* yaitu bagian berwarna hijau, kuning, dan merah. Zona warna hijau menunjukkan persentase pemakaian *buffer* berada pada rentang 0% hingga 33%, zona warna kuning menunjukkan persentase pemakaian *buffer* pada rentang 34% hingga 66%, dan zona warna merah menunjukkan persentase pemakaian *buffer* pada rentang 67% hingga 100%. Apabila konsumsi *buffer* berada pada zona berwarna hijau maka tidak perlu ada tindakan yang diambil tergolong dalam status aman (OK), namun jika konsumsi *buffer* berada pada zona berwarna kuning diperlukan perencanaan (*plan*) supaya konsumsi *buffer* tidak berlebihan, dan jika konsumsi *buffer* proyek sudah berada di zona berwarna merah diperlukan tindakan segera berdasarkan perencanaan yang telah dibuat sebelumnya (*action*) (Sugiyanto, 2021). Pada tabel 4.12 ini merupakan tabel zona pemakaian *buffer* untuk pemantauan penggunaan *project buffer*.

Tabel 4. 12 Zona Pemakaian *Project Buffer*

Zona Pemakaian <i>Buffer</i>	<i>Project Buffer</i> (hari)	Durasi yang terpakai (hari)
0% - 33%	11	0 – 3
34% - 66%	11	4 – 7
67% - 100%	11	8 – 11

Berdasarkan tabel zona pemakaian *buffer* diatas menunjukkan bahwa apabila zona pemakaian *buffer* berada pada warna hijau maka durasi yang terpakai adalah 0 sampai 3 hari, zona pemakaian *buffer* pada warna kuning maka durasi yang terpakai adalah 4 sampai 7 hari, dan zona pemakaian *buffer* pada warna merah maka durasi yang terpakai adalah 8 sampai 11 hari

4.3.7. Perhitungan Biaya Tenaga Kerja

Perhitungan biaya tenaga kerja langsung disesuaikan dengan rincian biaya tenaga kerja langsung per hari yang terdapat pada tabel 4.3 dan rincian biaya tenaga kerja tidak langsung terdapat pada tabel 4.4. Berikut ini merupakan hasil perhitungan biaya tenaga kerja sebelum CCPM dan sesudah penerapan CCPM.

1. Biaya Tenaga Kerja Sebelum Penerapan CCPM

Setelah tenaga kerja langsung ditugaskan pada masing-masing aktivitas maka dapat dilakukan perhitungan total biaya tenaga kerja langsung dari tanggal awal proyek pada 14 Juni 2023 hingga tanggal selesai proyek pada 03 September 2024. Hasil perhitungan yang terdapat pada lampiran G total biaya tenaga kerja langsung selama 441 hari sebesar Rp2.179.032.133. Kemudian dilanjutkan dengan perhitungan tenaga kerja tidak langsung yang terdapat pada lampiran H. Berdasarkan hasil perhitungan, biaya tenaga kerja tidak langsung dibayar setiap bulannya sesuai dengan durasi pelaksanaan proyek. Durasi pelaksanaan proyek yang terhitung selama 441 hari atau 15 bulan didapatkan total biaya tenaga kerja tidak langsung selama 15 bulan sebesar Rp2.730.315.000. Dengan demikian, total biaya tenaga kerja yang dikeluarkan pada jadwal realisasi proyek sebesar Rp4.909.347.133

2. Biaya Tenaga Kerja Sesudah CCPM

Besarnya biaya tenaga kerja langsung pada proyek tanpa konsumsi *buffer* yang berarti proyek diasumsikan selesai pada hari terakhir aktivitas kritis selesai dilaksanakan yaitu pada tanggal 03 Agustus 2024. Berbeda apabila proyek menggunakan *buffer* secara penuh yang menandakan bahwa proyek selesai pada hari terakhir *buffer* yaitu 14 Agustus 2024.

Adapun perhitungan biaya tenaga kerja langsung dapat dilakukan dengan menggunakan *Microsoft Project* yang disesuaikan dengan *resources* yang diinputkan pada masing-masing aktivitas. Berikut ini merupakan hasil perhitungan biaya tenaga kerja langsung yang dapat dilihat pada *project statistics* di *Microsoft Project*:

	Start	Finish	
Current	Wed 14/06/23 08:00	Sat 03/08/24 17:00	
Baseline	NA	NA	
Actual	NA	NA	
Variance	0d	0d	
	Duration	Work	Cost
Current	410d	54.576h	Rp1.739.423.863
Baseline	0d	0h	Rp0
Actual	0d	0h	Rp0
Remaining	410d	54.576h	Rp1.739.423.863
Percent complete			
Duration: 0% Work: 0%			
<div>Close</div>			

Gambar 4. 13 Total Biaya Tenaga Kerja Langsung Tanpa Konsumsi *Buffer*

Untuk menghitung total biaya tenaga kerja langsung dengan konsumsi *buffer* dilakukan perhitungan terlebih dahulu mengenai biaya tenaga kerja langsung yang dibutuhkan untuk setiap *feeding buffer*. Setelah perhitungan biaya tenaga kerja langsung pada masing-masing *buffer* selanjutnya hasil perhitungan tersebut akan dimasukkan ke dalam aplikasi *Microsoft Project* untuk dihitung total biaya tenaga kerja langsung secara keseluruhan. Adapun total biaya tenaga kerja langsung apabila semua *buffer* digunakan adalah sebagai berikut:

	Start	Finish
Current	Wed 14/06/23 08:00	Wed 14/08/24 17:00
Baseline	NA	NA
Actual	NA	NA
Variance	0d	0d

	Duration	Work	Cost
Current	421d	54.576h	Rp1.989.386.130
Baseline	0d	0h	Rp0
Actual	0d	0h	Rp0
Remaining	421d	54.576h	Rp1.989.386.130

Percent complete:

Duration: 0% Work: 0%

Close

Gambar 4. 14 Total Biaya Tenaga Kerja Langsung Konsumsi Keseluruhan *Buffer*

Total biaya tenaga kerja langsung dari pelaksanaan proyek selama 410 hari (tanpa konsumsi *buffer*) menunjukkan biaya sebesar Rp1.739.423.863 sedangkan total biaya tenaga kerja langsung dari pelaksanaan proyek selama 421 hari (konsumsi keseluruhan *buffer*) menunjukkan biaya sebesar Rp1.989.386.130.

Selanjutnya besarnya biaya tenaga kerja tidak langsung pada proyek tanpa konsumsi *buffer* yaitu pada tanggal 3 Agustus 2024 dan konsumsi *buffer* secara penuh yaitu pada tanggal 14 Agustus 2024 mempunyai hasil perhitungan biaya yang sama. Adapun perhitungan biaya tenaga kerja tidak langsung setelah penjadwalan CCPM dapat dilakukan dengan menghitung total biaya selama 14 bulan terhitung dari Juni 2023 hingga Agustus 2024 pada lampiran I.

Berdasarkan rincian biaya tenaga kerja tidak langsung selama 14 bulan menunjukkan akumulasi biaya sebesar Rp2.548.294.000 dengan jumlah total tenaga kerja tidak langsung sebanyak 20 orang. Kemudian total biaya tenaga kerja yang dihasilkan jika tanpa konsumsi *buffer* sebesar Rp4.287.717.863 dan jika proyek menggunakan keseluruhan *buffer* total biaya yang dihasilkan sebesar Rp4.537.680.130.

BAB V

PEMBAHASAN

5.1 Akar Masalah Penyebab Keterlambatan Proyek

Berdasarkan hasil dari identifikasi akar masalah keterlambatan proyek menggunakan *fishbone diagram* dan metode 5 *Why's* disebabkan oleh beberapa faktor yaitu *manpower* (tenaga kerja), *method* (metode penjadwalan), *mother nature* (lingkungan proyek), dan *time* (waktu penjadwalan). Akar masalah penyebab faktor *manpower* yaitu penjadwalan proyek tidak disesuaikan dengan jumlah tenaga kerja, faktor *method* yaitu pihak perencana belum menerapkan metode penjadwalan CCPM, faktor *mother nature* yaitu gangguan faktor cuaca dan logistik, dan faktor *time* yaitu penjadwalan menggunakan durasi estimasi waktu optimis.

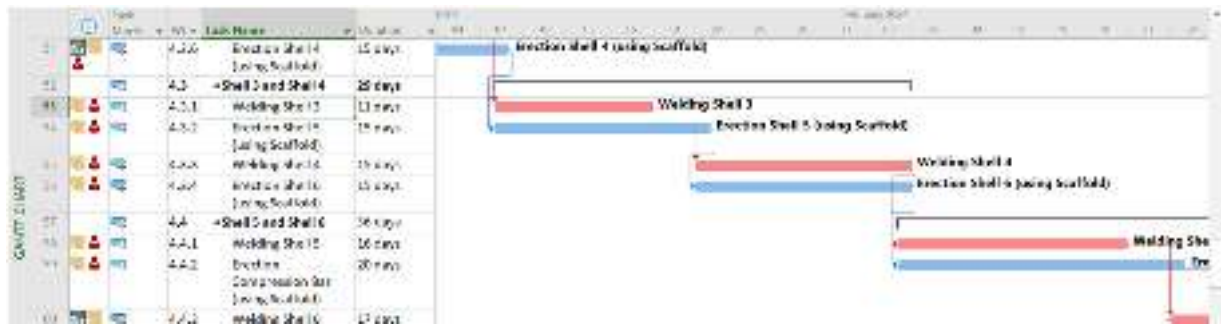
Dari keempat faktor diatas dapat dinyatakan bahwa keterlambatan proyek disebabkan oleh penjadwalan dilakukan secara konvensional yang tidak mempertimbangkan kapasitas sumber daya, tidak mempertimbangkan ketidakpastian gangguan atau hambatan, dan durasi waktu proyek yang terlalu optimis sehingga tidak adanya penyisipan waktu (*buffer*) sebagai daya serap durasi pelaksanaan proyek. Meskipun pada faktor *mother nature* terdapat potensi dari gangguan cuaca dan logistik namun pada penelitian ini tidak dilakukan peninjauan lebih lanjut mengenai data material, logistik, dan kondisi cuaca.

5.2 Pemotongan Durasi Kegiatan

Pada perencanaan ulang proyek menggunakan CCPM, dilakukan pemotongan durasi kegiatan sebesar 20%. Pemotongan durasi kegiatan ini bertujuan untuk menghilangkan *safety time* yang tersembunyi dan menggantikannya dengan *buffer time*. Penjadwalan awal proyek menunjukkan bahwa pekerjaan *civil works* membutuhkan waktu selama 337 hari kerja terhitung dari tanggal 28 Agustus 2023 hingga 05 Agustus 2024.

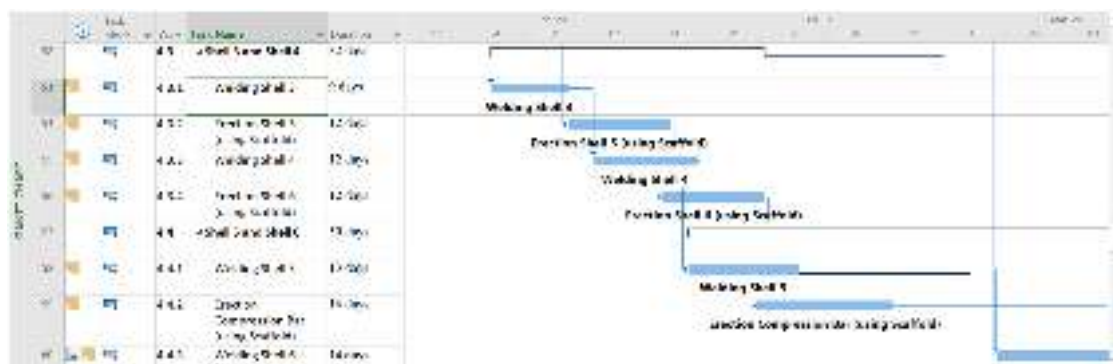
5.3 Kegiatan Multitasking

Pada penjadwalan awal proyek dapat dilihat bahwa sub-aktivitas 4.3 dan sub-aktivitas 4.4 memiliki beberapa paket pekerjaan yang menumpuk pada bulan Januari sampai Februari 2024. Pekerjaan yang menumpuk ini menunjukkan kondisi *multitasking* yang tinggi dan berpotensi menyebabkan beban kerja meningkat dan menurunkan produktivitas pekerja. Pada gambar 5.3 ini merupakan tampilan *ganttt chart* sub-aktivitas 4.3 dan sub-aktivitas 4.4 sebelum CCPM.



Gambar 5. 3 Kegiatan Multitasking Penjadwalan Awal

Tampilan *ganttt chart* menunjukkan pekerjaan *welding shell 3*, *erection shell 5*, *welding shell 4*, *erection shell 6*, *welding shell 5*, dan *erection compression bar* saling tumpang tindih dan perlu dilakukan penyesuaian durasi kegiatan supaya kegiatan tersebut menggunakan metode CCPM berdasarkan ketersediaan sumber daya dan urutan prioritas pekerjaan. Penyesuaian durasi kegiatan ini bertujuan untuk menghindari penjadwalan aktivitas paralel yang berlebihan dan mengurangi kegiatan *multitasking*. Pada gambar 5.4 ini merupakan tampilan *ganttt chart* sub-aktivitas 4.3 dan sub-aktivitas 4.4 setelah dilakukan penjadwalan ulang menggunakan metode CCPM.

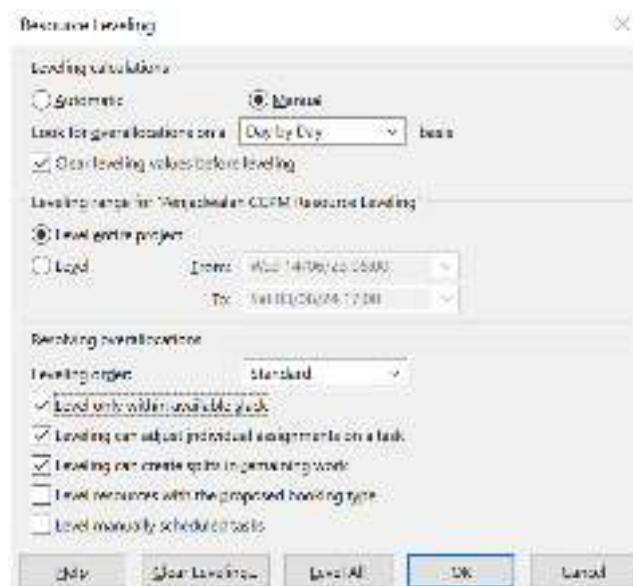


Gambar 5. 4 Penyesuaian Kegiatan Metode CCPM

Setelah durasi kegiatan disesuaikan menggunakan metode CCPM terlihat pekerjaan dilakukan dengan lebih merata dan mengurangi terjadinya kegiatan *multitasking*. Penyesuaian dilakukan dengan memotong durasi aktivitas *welding shell* 3 menjadi 9 hari, *erection shell* 5 menjadi 12 hari, *welding shell* 4 menjadi 12 hari, *erection shell* 6 menjadi 12 hari, *welding shell* 5 menjadi 13 hari, dan *erection compression bar* menjadi 16 hari. Hasil dari pemotongan durasi kegiatan ini akan menyebabkan penurunan jumlah aktivitas yang berjalan paralel pada bulan Januari sampai Februari 2024.

5.4 Overallocated Resources

Alokasi sumber daya yang tidak merata akan menimbulkan terjadinya penumpukan beban kerja berlebih pada waktu tertentu. Penumpukan beban kerja yang tidak sesuai dengan kapasitas maksimum sumber daya akan menimbulkan terjadinya *overallocated resources*. Permasalahan ini dapat diselesaikan melalui menu *resource leveling* di *Microsoft Project* agar distribusi tenaga kerja lebih merata. Pada gambar 5.5 ini merupakan tampilan dari *resource leveling* pada bagian *leveling options*.



Gambar 5. 5 Resource Leveling

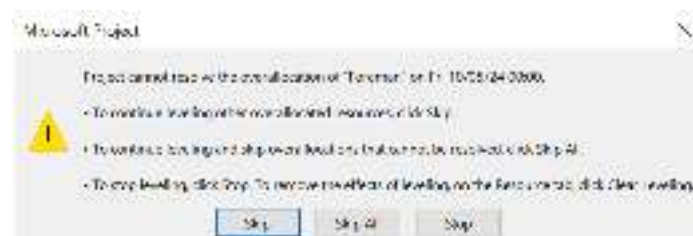
Pada menu *resource leveling* diatas terdapat berbagai opsi yang dapat digunakan pada penelitian yaitu *leveling calculations*, *look for overallocations*, *leveling range*, dan *levelling order*. Opsi *leveling calculations* dilakukan secara manual dikarenakan supaya *leveling* dapat disesuaikan dan dikendalikan oleh perencana proyek untuk mencegah terjadinya perubahan tidak terduga di dalam jadwal. Kemudian agar *software* dapat mengidentifikasi *overallocated*

yang terjadi setiap hari maka dapat dilakukan pemilihan opsi *day by day* pada *look for overallocations on*. Selanjutnya dilakukan *ceklist* pada bagian *clear leveling values before leveling* yaitu untuk menghapus hasil *leveling* yang sebelumnya dijalankan agar mencegah terjadinya duplikasi konflik sumber daya. Supaya *leveling* diaplikasikan pada keseluruhan durasi proyek pada opsi *leveling range* dilakukan pemilihan opsi *level entire project*. Opsi *standard* dipilih agar *software* dapat menentukan aktivitas mana yang akan dilakukan *leveling* terlebih dahulu berdasarkan urutan ID aktivitas, prioritas, dan *slack*.

Pada bagian opsi *levelling order* terdapat berbagai opsi tambahan yang dipilih agar *leveling* tetap berjalan dan tidak mengubah penjadwalan proyek. Dilakukan *ceklist* pada opsi *level only within available slack* yaitu *software* akan melakukan *leveling* apabila masih terdapat *slack* dan tidak mengganggu jalur kritis serta mengubah durasi keseluruhan proyek. Selanjutnya dilakukan *ceklist* pada opsi *leveling can create adjust individual assignment on a task* untuk meningkatkan fleksibilitas distribusi pekerjaan dikarenakan *software* dapat melakukan *leveling* sesuai dengan ketersediaan sumber daya. Kemudian dilakukan *ceklist* pada bagian *leveling can create splits in remaining work* supaya *software* dapat membagi aktivitas yang tersisa menjadi beberapa bagian waktu yang terpisah untuk mencegah penundaan keseluruhan tugas apabila terjadi keterbatasan sumber daya. Setelah dilakukan pemilihan opsi pada *resource leveling* dilanjutkan dengan proses *leveling*, namun terdapat beberapa *error* pada *leveling* mandor dan *foreman* seperti pada gambar 5.6 dan 5.7.



Gambar 5. 6 Error Resource Leveling Mandor



Gambar 5. 7 Error Resource Leveling Foreman

Pemberitahuan notifikasi *error leveling* pada *mandor* dan *foreman* menandakan bahwa kedua *resources* tersebut tidak dapat dilakukan *leveling* sehingga masih dalam kondisi *overallocated*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan tenaga kerja sesuai dengan kapasitas beban kerja harian untuk mengatasi permasalahan *overallocated*. Permasalahan serupa juga terjadi pada *resources* lainnya seperti tukang, kenek, *helper*, *scaffolder*, dan *operator crane* yang tidak dapat dilakukan *leveling* secara bersamaan.

Misalnya tukang, kenek, dan *helper* tidak bisa dilakukan *leveling* secara bersamaan dikarenakan ketiga *resources* tersebut sering bekerja pada aktivitas yang saling terkait sehingga *software* sulit untuk menentukan jadwal yang terbebas dari konflik sumber daya. Kondisi serupa juga dialami oleh *resources helper* dan *scaffolder* serta *scaffolder* dan *operator crane*. Pada tabel 5.1 ini merupakan rincian dari kombinasi *resource* yang dapat dilakukan *leveling* dan tidak dapat dilakukan *leveling*.

Tabel 5. 1 Kombinasi *Resource Leveling*

No	Resource 1	Resource 2	Leveling Bersamaan
1	<i>Helper</i>	Kenek	Tidak
2	<i>Helper</i>	Tukang	Tidak
3	<i>Helper</i>	<i>Scaffolder</i>	Tidak
4	Kenek	Tukang	Tidak
5	<i>Scaffolder</i>	Operator Crane	Tidak
6	Tukang	Operator Crane	Tidak
7	<i>Scaffolder</i>	Tukang	Ya
8	<i>Scaffolder</i>	Kenek	Ya
9	Helper	Operator Crane	Ya
10	Kenek	Operator Crane	Ya

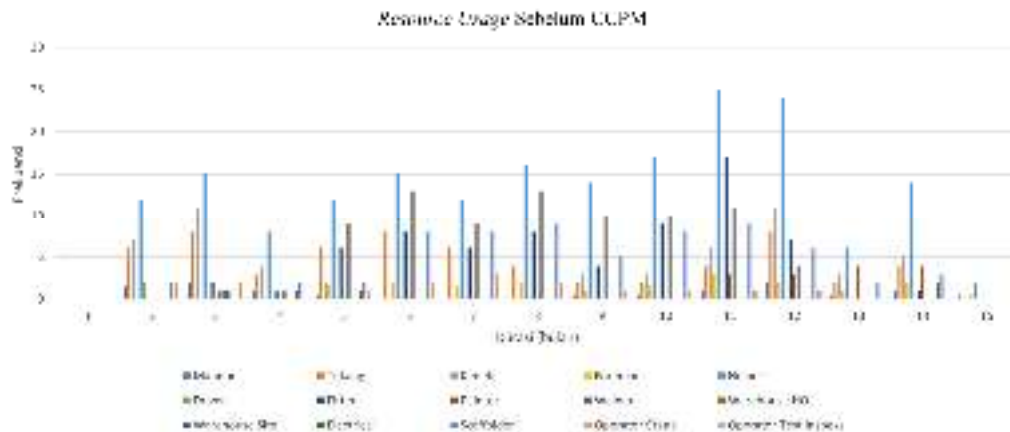
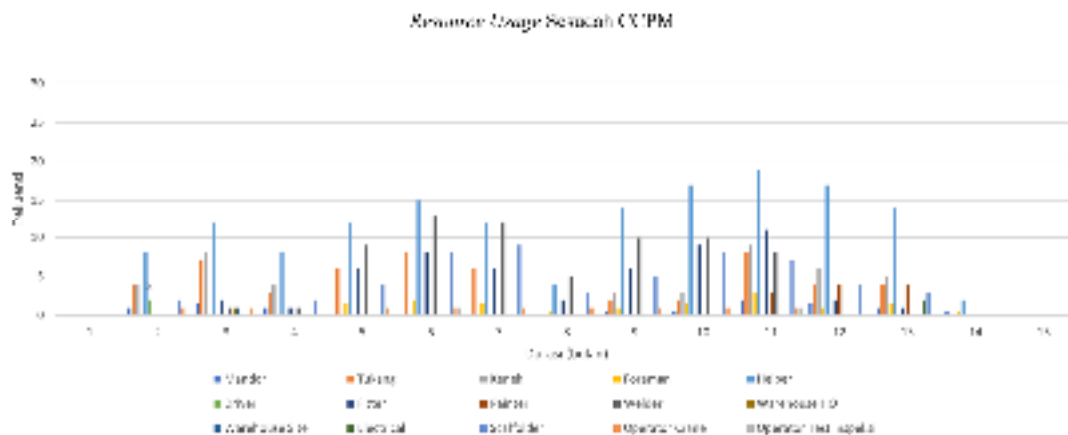
Resources yang terdapat pada tabel yang dapat dikombinasi adalah nomor 7, 8, 9, dan 10. Pemilihan *leveling resources* dapat dilakukan dengan potensi biaya *overload* masing-masing *resources*. Potensi biaya *overload* merupakan hasil perkalian antara hari *overload* dan upah tenaga kerja per hari. Rincian dari potensi biaya *overload* masing-masing *resources* terdapat pada tabel 5.2.

Tabel 5. 2 Potensi Biaya *Overload*

Tenaga Kerja	<i>Overallocated</i> Maksimum	Hari <i>Overload</i>	Upah per hari (IDR)	Potensi biaya <i>overload</i> (IDR)
Tukang	1	2	233.333,33	466.667
Kenek	1	1	226.667	226.667
<i>Helper</i>	4	4	231.333	925.333
<i>Scaffolder</i>	1	1	231.333	231.333
<i>Operator</i> <i>Crane</i>	1	3	275.333	826.000

Pada tabel diatas menunjukkan bahwa potensi biaya *overload* terbesar dialami oleh tenaga kerja *helper* dan operator *crane*. Potensi biaya *overload* adalah biaya yang dikeluarkan apabila dilakukan penambahan pekerja sesuai dengan jumlah *overallocated* maksimumnya. Potensi biaya *overload helper* sebesar Rp925.333 dan potensi biaya *overload operator crane* sebesar Rp826.000. Oleh karena itu, untuk mengurangi penambahan biaya tenaga kerja langsung yang berlebih dilakukan *leveling* terhadap *helper* dan operator *crane*. Setelah *leveling helper* dan operator *crane*, *resources* lainnya yang masih dalam kondisi *overallocated* seperti mandor, *foreman*, tukang, kenek, dan *scaffolder* tidak dapat dilakukan *leveling* sehingga harus dilakukan penambahan jumlah tenaga kerja sesuai dengan jumlah *overallocated* maksimumnya. Adapun hasil finalisasi jumlah tenaga kerja dapat dilihat pada gambar 4.9.

Penambahan tenaga kerja yaitu tukang 1 orang, kenek 1 orang, dan *scaffolder* 1 orang menghasilkan biaya Rp691.333, meskipun terjadi penambahan biaya tenaga kerja langsung hal ini tetap dianggap layak dan sesuai dikarenakan mendorong penyelesaian proyek secara lebih cepat dan pemerataan beban kerja dapat dikurangi sehingga permasalahan *overallocated* dapat diselesaikan. Beban kerja yang lebih merata berdampak secara signifikan terhadap penurunan beban kerja. Untuk mengetahui lebih detail mengenai fluktuasi kebutuhan tenaga kerja dan beban kerja dapat dilakukan identifikasi pada gambar dibawah ini.

Gambar 5. 8 *Resource Usage* Sebelum CCPMGambar 5. 9 *Resource Usage* Sesudah CCPM

Grafik *resource usage* sebelum CCPM menunjukkan kondisi beban kerja yang tidak seimbang, terlihat pada bulan ke 11 mengalami puncak beban kerja tertinggi dimana kebutuhan tenaga kerja seperti *helper*, *fitter*, dan *foreman* melebihi kapasitas maksimum hariannya (*overallocated*). Hal tersebut dikarenakan tenaga kerja *helper* membutuhkan 25 orang, *fitter* membutuhkan 17 orang, dan *foreman* membutuhkan 3 orang. Sedangkan kapasitas maksimum harian sebelum dilakukan *resource levelling* untuk *helper* adalah 19 orang, *fitter* 12 orang, dan *foreman* 1 orang. Berbeda dengan grafik *resource usage* sesudah CCPM yang menunjukkan beban kerja lebih seimbang yang dimana frekuensi penggunaan sumber daya tidak terjadi kenaikan yang signifikan dan masih berada dalam kapasitas maksimum hariannya

5.5 Project Buffer dan Feeding Buffer

Pada penjadwalan menggunakan metode CCPM, *buffer* berperan penting dalam menjaga durasi proyek agar tepat waktu dan menghindari terjadinya keterlambatan. Penggunaan kedua *buffer* ini bertujuan untuk memberikan perlindungan terhadap proyek terhadap berbagai permasalahan ketidakpastian selama berada di lapangan.

Analisis penggunaan *buffer* dilakukan dengan mengidentifikasi total durasi proyek sebelum CCPM dan sesudah CCPM, penghematan durasi dari penjadwalan awal, jumlah *feeding buffer* dan *project buffer*, dan zona konsumsi *buffer* untuk mengevaluasi efektivitas penjadwalan ulang proyek menggunakan metode CCPM. Pada tabel 5.3 terdapat analisis *buffer* sebelum dan sesudah penjadwalan CCPM.

Tabel 5. 3 Analisis *Buffer*

No	Aspek Analisis	Sebelum CCPM	Setelah CCPM Konsumsi Buffer
1	Total Durasi Proyek	441 hari	421 hari
2	Penghematan Durasi dari Penjadwalan Awal	-	20 hari
3	Jumlah <i>Feeding Buffer</i>	-	2 <i>feeding buffer</i> (total 2 hari)
4	<i>Project Buffer</i>	-	11 hari
5	Zona Konsumsi <i>Buffer</i>	-	Hijau (0 - 3 hari), Kuning (4 - 7 hari), dan Merah (8 - 11 hari).

Berdasarkan tabel analisis *buffer* diatas menunjukkan bahwa total durasi proyek sebelum CCPM membutuhkan waktu selama 441 hari dan sesudah CCPM dengan *buffer* selama 421 hari. Durasi proyek menggunakan CCPM menghasilkan penghematan durasi sebesar 20 hari jika menggunakan keseluruhan *buffer* yang tersedia. Kemudian terdapat dua *feeding buffer* yang memiliki durasi 1 hari diletakkan pada aktivitas non-kritis *Final* NDT dan aktivitas non-

kritis *Internal Scaffolding Installation*. Selanjutnya terdapat durasi *project buffer* sebesar 11 hari sebagai waktu pelindung untuk seluruh aktivitas kritis yang diletakkan pada aktivitas kritis terakhir yaitu *Final Work and Completion*. Adapun batas atau zona konsumsi *project buffer* dibedakan menjadi hijau, kuning, dan merah. Zona konsumsi *buffer* hijau yaitu menggunakan *buffer* selama 0 hari hingga 3 hari, zona kuning yaitu menggunakan *buffer* selama 4 hingga 7 hari, dan zona konsumsi merah yaitu menggunakan *buffer* selama 8 hingga 11 hari. Supaya *buffer* tetap menjaga durasi proyek sebagaimana mestinya, dilakukan pemantauan secara berkala terhadap penggunaan *buffer* yang disesuaikan dengan zona konsumsi *buffer* untuk diambil tindakan yang tepat sesuai dengan jumlah konsumsi *buffer* yang digunakan.

5.6 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja

Biaya tenaga kerja merupakan komponen biaya yang berpengaruh secara signifikan terhadap biaya proyek sehingga efisiensi biaya tenaga kerja merupakan salah satu indikator untuk mencapai keberhasilan proyek. Total biaya tenaga kerja sebelum dan sesudah CCPM menunjukkan selisih perbedaan yang mempengaruhi tingkat efisiensi biaya tenaga kerja. Pada tabel 5.4 berikut ini merupakan perbandingan biaya tenaga kerja sebelum dan sesudah CCPM.

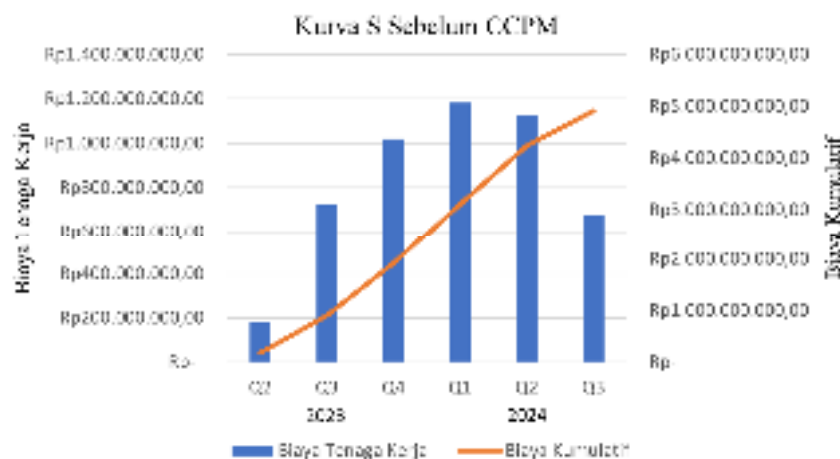
Tabel 5. 4 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja

Kategori Biaya	Sebelum CCPM	Sesudah CCPM (dengan <i>buffer</i>)
Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp2.179.032.133	Rp1.989.386.130
Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung	Rp2.730.315.000	Rp2.548.294.000
Total Biaya Tenaga Kerja	Rp4.909.347.133	Rp4.537.680.130
Efisiensi Biaya Proyek	-	7,57%

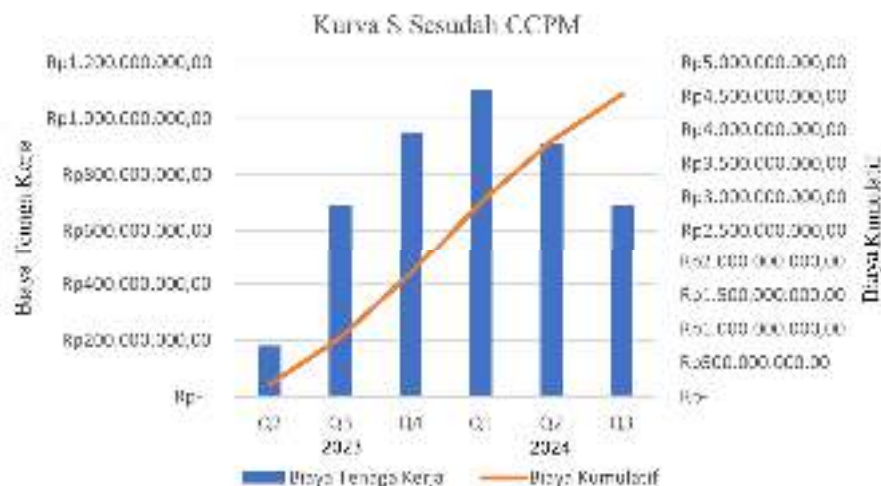
$$\text{Efisiensi Biaya Proyek Dengan Buffer} = \frac{(4.909.347.133 - 4.537.680.130)}{(4.909.347.133)} \times 100\% \approx 7,57\%$$

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa terjadi selisih pengurangan biaya tenaga kerja sebelum CCPM dan sesudah penerapan CCPM. Selisih biaya tenaga kerja langsung apabila *buffer* terkonsumsi secara penuh oleh proyek akan menghasilkan penghematan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp371.667.003. Dengan demikian, menghasilkan persentase efisiensi biaya proyek sebesar 7,57% (konsumsi keseluruhan *buffer*).

Selanjutnya perbandingan biaya tenaga kerja sebelum CCPM dan sesudah CCPM dapat dianalisis menggunakan kurva-S seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 5. 10 Kurva-S Sebelum CCPM



Gambar 5. 11 Kurva-S Sesudah CCPM

Berdasarkan gambar diatas menunjukkan bahwa sebelum penggunaan metode CCPM, kurva-S menunjukkan jumlah kumulatif yang lebih tinggi yaitu sebesar Rp4,9 M dikarenakan estimasi waktu penjadwalan menggunakan estimasi optimis tanpa mempertimbangkan ketersediaan sumber daya. Sedangkan kurva-S setelah penggunaan metode CCPM menunjukkan jumlah kumulatif yang lebih rendah yaitu sebesar Rp4,5 M dikarenakan penggunaan sumber daya telah disesuaikan sehingga dapat mengurangi beban tenaga kerja berlebih dan meminimalisir *multitasking*.

5.7 Analisis Tanpa Buffer

Penjadwalan CCPM tanpa *buffer* berarti penjadwalan tidak memasukkan waktu pelindung (*buffer*) pada setiap aktivitas yang berpotensi dapat menyebabkan terjadinya keterlambatan. Tanpa adanya *buffer*, keterlambatan proyek akan berdampak secara langsung terhadap keseluruhan waktu proyek. Oleh karena itu, penerapan *buffer* dalam metode CCPM menjadi elemen penting untuk stabilitas jadwal proyek. Apabila proyek dapat diselesaikan tepat waktu sesuai tanggal aktivitas kritis terakhir, durasi waktu proyek akan jauh lebih cepat dan efisiensi biaya proyek yang dihasilkan lebih besar dibandingkan efisiensi biaya proyek dengan *buffer*. Pada tabel 5.5 dan tabel 5.6 merupakan perbandingan analisis durasi tanpa *buffer* serta biaya tenaga kerja sebelum dan sesudah CCPM.

Tabel 5. 5 Analisis Durasi Tanpa Buffer

No	Aspek Analisis	Sebelum CCPM	Setelah CCPM Tanpa Buffer
1	Total Durasi Proyek	441 hari	410 hari
2	Penghematan Durasi dari Penjadwalan Awal	-	31 hari
3	Jumlah <i>Feeding Buffer</i>	-	-
4	<i>Project Buffer</i>	-	-
5	Zona Konsumsi <i>Buffer</i>	-	-

Tabel 5. 6 Perbandingan Biaya Tenaga Kerja

Kategori Biaya	Sebelum CCPM	Sesudah CCPM (tanpa <i>buffer</i>)
Biaya Tenaga Kerja Langsung	Rp2.179.032.133	Rp1.739.423.863
Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung	Rp2.730.315.000	Rp2.548.294.000
Total Biaya Tenaga Kerja	Rp4.909.347.133	Rp4.287.717.863
Efisiensi Biaya Proyek	-	12,65%

$$\text{Efisiensi Biaya Proyek Tanpa Buffer} = \frac{(4.909.347.133 - 4.287.717.863)}{(4.909.347.133)} \times 100\% \approx 12,65\%$$

Berdasarkan tabel diatas menunjukkan bahwa terjadi selisih pengurangan biaya tenaga kerja sebelum CCPM dan sesudah penerapan CCPM. Selisih biaya tenaga kerja langsung apabila *buffer* tidak terkonsumsi oleh proyek akan menghasilkan penghematan biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp621.629.270. yang menghasilkan persentase efisiensi biaya proyek sebesar 12,65%.

5.8 Kekurangan Penelitian

Penelitian ini mempunyai beberapa keterbatasan yang dapat dijadikan sebagai arah untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Berikut ini merupakan keterbatasan pada penelitian:

1. Meskipun pada faktor *mother nature* terdapat potensi dari gangguan cuaca dan logistik namun pada penelitian ini tidak dilakukan peninjauan lebih lanjut mengenai data material, logistik, dan kondisi cuaca sebagai faktor penentu potensi keterlambatan. Sehingga pada penelitian selanjutnya dapat dilakukan integrasi antara CCPM dengan sistem manajemen logistik *real-time* dan simulasi *monte carlo* untuk memprediksi risiko cuaca dan pemantauan logistik.
2. Perhitungan analisis biaya terbatas pada biaya tenaga kerja langsung dan tidak langsung. Data biaya lainnya yang diperlukan untuk gambaran total biaya proyek secara keseluruhan seperti biaya *overhead*, biaya sewa alat, dan biaya operasional lainnya yang diperlukan selama pelaksanaan proyek belum dipaparkan lebih lanjut dalam penelitian ini dikarenakan keterbatasan data penelitian. Oleh karena itu, diharapkan pada penelitian selanjutnya dapat memasukkan seluruh komponen biaya yang diperlukan agar analisis yang dihasilkan lebih komprehensif.
3. Pada penelitian ini hanya menggunakan *project buffer* dan *feeding buffer*. Belum ada penerapan *resource buffer* pada penelitian ini dikarenakan penelitian difokuskan pada pengukuran dampak dari penerapan *project buffer* dan *feeding buffer* terhadap durasi waktu proyek. Belum adanya penerapan *resource buffer* dikarenakan data pada proyek ini belum terdokumentasi secara detail mengenai mobilisasi dan jadwal kedatangan sumber daya kritis. Untuk mengantisipasi terjadinya keterlambatan sumber daya dilakukan penyesuaian jadwal kerja dengan kapasitas tenaga kerja dan menerapkan perlindungan jadwal proyek menggunakan *project buffer* dan *feeding buffer*. Oleh karena itu, diharapkan pada penelitian selanjutnya *resource buffer* dapat diimplementasikan supaya dapat memberikan analisis pembahasan yang lebih komprehensif terhadap efektivitas penggunaan metode CCPM.

BAB VI

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pengolahan dan pembahasan data yang telah dilakukan berikut ini merupakan kesimpulan dari penelitian:

1. Total durasi waktu proyek yang dihasilkan menggunakan metode CCPM adalah 421 hari. Hal ini menandakan bahwa proyek dapat selesai lebih cepat 20 hari dibandingkan dengan penjadwalan awalnya yang membutuhkan waktu selama 441 hari.
2. Jumlah biaya tenaga kerja yang dihasilkan menggunakan metode CCPM sebesar Rp4.537.680.130 yang merupakan akumulasi dari biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp1.989.386.130 dan biaya tenaga kerja tidak langsung sebesar Rp2.548.294.000. Sedangkan jumlah biaya tenaga kerja yang dihasilkan sebelum menggunakan metode CCPM sebesar Rp4.909.347.133 yang merupakan akumulasi dari biaya tenaga kerja langsung sebesar Rp2.179.032.133 dan biaya tenaga kerja tidak langsung sebesar Rp2.730.315.000. Perbedaan selisih biaya tersebut menimbulkan terjadinya penghematan biaya tenaga kerja sebesar Rp371.667.003 dan menghasilkan efisiensi biaya proyek sebesar 7,57%.

6.2 Saran

Berikut ini merupakan saran dari penelitian untuk mendukung penelitian selanjutnya yang lebih baik:

1. Penelitian selanjutnya diharapkan dapat menggunakan integrasi metode CCPM dengan sistem logistik secara *real-time* dan simulasi *monte carlo* untuk meningkatkan keakuratan pengaplikasian metode CCPM. Kemudian penelitian selanjutnya diharapkan dapat menganalisis indikator biaya lainnya seperti biaya *overhead*, biaya sewa alat, dan biaya operasional lainnya yang diperlukan selama pelaksanaan proyek serta dapat menggunakan *resource buffer* untuk memberikan analisis pembahasan yang lebih komprehensif mengenai efektivitas penggunaan *buffer* pada metode CCPM.
2. Perusahaan diharapkan dapat menggunakan aplikasi *Microsoft Project* untuk membuat penjadwalan proyek, mengalokasikan *resources*, pemantauan jadwal proyek, mengaplikasikan penjadwalan proyek menggunakan metode penjadwalan proyek seperti CCPM untuk mengantisipasi terjadinya keterlambatan proyek. Kemudian perusahaan diharapkan dapat mendokumentasikan secara detail mengenai mobilisasi dan jadwal kedatangan sumber daya untuk memudahkan pengaplikasian metode CCPM khususnya *resource buffer*.

DAFTAR PUSTAKA

- A. Rani, H. (2016). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Deepublish. Yogyakarta
- Kusnadi. (2023). Analisis Penerapan Manajemen Waktu dengan Metode CPM pada Proyek Pembangunan Perumahan Griya Mahari. *JENIUS : Jurnal Terapan Teknik Industri*, 4(2), 271–283.
- Lynna Luthan, P. A. (2021). Analisa Penjadwalan *Main Work* Dengan Metode CPM dan PDM Pada Proyek Jalan Tol Tebing Tinggi-Parapat. *Jurnal Engineering Development*, 1(1), 7–15.
- Roman, N. (2023). *Boosting Construction Project Timeline: The Case of Critical Chain Project Management (CCPM)*. *Buildings*, 13(5), 1–35.
- Hosseini, M. R. (2022). *A Multi-objective Dynamic Optimization Approach to Project Schedule Management: A Case Study of a Gas Field Construction*. *KSCE Journal of Civil Engineering*, 26(3), 1005–1013.
- Kusnadi, K. (2021). Perencanaan Manajemen Proyek Dengan Metode CPM (*Critical Path Method*) Dan PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). *Konstruksia*, 13(1), 164.
- Bharadiya, R. (2023). *Project Management Techniques for Planning and Scheduling: A General Overview*. In *Emerging Trends and Innovations in Industries of the Developing World: A Multidisciplinary Approach* (Issue 2014).
- Elhakeem, A. (2024). *Monitoring and Controlling Engineering Projects with Blockchain-based Critical Chain Project Management*. *Automation in Construction*, 165(May), 105484.
- Bhandari, M. (2020). *Implication of Theory of Constraints in Project Management*. *International Journal of Advanced Trends in Engineering and Technology*, 5(1), 1–13.
- Siregar, S. V. (2023). Implementasi *Stakeholder Engagement* dalam *Sustainable Development* Studi Kasus Pada PT XYZ. *Owner*, 7(4), 2956–2969.
- Hall, N. G. (2021). *Incentive Cchemes for Resolving Parkinson 's Law in Project Management*. 288, 666–681.
- El-Reedy, M. A. (2011). *Construction Management for Industrial Projects: A Modular Guide for Project Managers*. John Wiley & Sons and Scrivener Publishing LLC. Hoboken, New Jersey.
- Ervianto, W. I. (2023). *Manajemen Proyek Konstruksi*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Pupkov, A. N. (2018). *Using PERT and Gantt Charts for Planning Software Projects on The Basis of Distributed Digital Ecosystems*. *Journal of Physics: Conference Series*, 1074(1).
- Samali, B. (2022). *Applicability-Compatibility Analysis of PMBOK Seventh Edition from The Perspective of The Construction Industry Distinctive Peculiarities*. *Buildings*, 12(2), 210.
- Pulansari, F. (2023). *Re-Scheduling of the Crude Oil Storage Tank MSTB T-701d Project Using the Critical Path Method (CPM) and Critical Chain Project Management (CCPM)*. *Journal of Industrial Engineering Management*, 8(2), 136–150.
- Yaqin, M. A. (2022). *Pemodelan Proses Bisnis Manajemen Proyek Berdasarkan Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. *ILKOMNIKA: Journal of Computer Science and Applied Informatics*, 4(1), 1–24.
- Latief, Y. (2024). Pengembangan Proses Perencanaan dan Pengendalian Pembangunan Jalan Tol Berbasis PMBOK untuk Meningkatkan Kinerja Proyek. *Jurnal Ilmiah Indonesia*, 9(4).
- Kozhemiakin, A. (2016). *Project Management Using the Buffers of Time and Resources*. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 235(October), 189–197.
- Rachmawati, F. (2024). Analisis Penjadwalan Probabilistik (Studi Kasus: Proyek Apartemen Grand Shamaya Tower Aubrey). *Jurnal Teknik ITS*, 13(1).

- Kerzner, H. (2003). *Project Management A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (8th ed.). John Wiley & Sons, Inc. Hoboken, New Jersey.
- Kerzner, H. (2009). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling* (10th ed.). John Wiley & Sons, Incorporated. Hoboken, New Jersey
- Kerzner, H. (2017). *Project Management: A Systems Approach to Planning, Scheduling, and Controlling*. Wiley. Hoboken, New Jersey.
- Permatasari, I. (2024). Pengembangan *Project Management Information System (PMIS)* untuk Sistem *Monitoring and Controlling* Pada PT XYZ. 15(4), 843–857.
- Kurnia Utami, D. T. (2025). Optimasi Penjadwalan Proyek Pembangunan Penambahan Kapasitas *Storage Bio-Diesel Tank* Kapasitas 8.500 kl dengan Metode *Critical Chain Project Management (CCPM)* Studi Kasus: PT. Buana Megah Teknik.
- Leach, L. P. (2000). *Critical Chain Project Management (First)*. Artech House. Boston, Amerika Serikat.
- Leach, L. P. (2014). *Critical Chain Project Management (Third)*. Artech House. Boston, Amerika Serikat.
- Gusty, S. (2024). *Dinamika Industri Konstruksi di Indonesia*. (A. Safar (ed.); 1st ed.). CV. Tohar Media. Makassar
- Alhady, A. (2025). *Modified Critical Chain Scheduling for Construction Projects*. *HBRC Journal*, 21(1), 127–143.
- Riswanto, S. (2023). Penggunaan Metode *Project Evaluation Review Technique (PERT)* Dalam Evaluasi Perencanaan Penjadwalan Proyek. *Jurnal Teknik Sipil*, 17(3), 163–173.
- Suroso, A. (2023). Penggunaan *Critical Chain Project Management Method* Terhadap Perencanaan Waktu Pelaksanaan *Fly Over* Jalan Tol. *Konstruksia*, 14(2), 44.
- Hafid, M. F. (2022). Evaluasi Penjadwalan Proyek Kapal Penyeberangan RO-RO 500 GT Melalui Pendekatan Metode CPM Dan PERT Studi Kasus PT. XYZ. *Jurnal Rekayasa Industri (JRI)*, 4(2), 80–86.
- Pastiarsa, M. (2015). *Manajemen Proyek Konstruksi Bangunan Industri: Perspektif Pemilik Proyek*. Penerbit Teknosain. Yogyakarta.
- Peng, C. (2022). *Buffer Sizing in Critical Chain Project Management by Brittle Risk Entropy*. *Buildings*, 12(9), 1390.
- Project Management Institute. (2017). *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (Sixth)*. Project Management Institute, Inc.
- Tukimun. (2024). *Manajemen Proyek* (J. Mariyanto (ed.); 1st ed.). Sulur Pustaka, CV. Triple Konsultan. Yogyakarta
- Kelvin, K. (2022). Penerapan Metode CPM Dan CCPM untuk Perencanaan Sumber Daya Dan Waktu Penyelesaian Multi Proyek. *JISO : Journal of Industrial and Systems Optimization*, 5(2), 92.
- Yaqin, M. A. (2022). Implementasi *Project Management Body Of Knowledge (PMBOK)* pada Organisasi Sekolah. *ILKOMNIKA: Journal of Computer Science and Applied Informatics*, 4(1), 104–115.
- Maulana, R. (2023). Evaluasi Perencanaan Proyek Pembangunan SDS X Menggunakan *Network Diagram* dan *Crashing Project* Guna Mengoptimalkan Waktu dan Biaya Proyek. *Jurnal Teknik Industri Terintegrasi*, 6(4), 1118–1128.
- Moselhi, O. (2021). *Integrating Critical Chain Project Management with Last Planner System for Linear Scheduling of Modular Construction*. *Construction Innovation*, 21(4), 525–554.
- Ernawati, D. (2024). Analisa *Reschedule Repair* KM STU menggunakan Metode *Critical Chain Project Management*. *Teknika STTKD: Jurnal Teknik, Elektronik, Engine*, 10(2), 182–195.

- Patel, S. (2021). *Critical Chain Project Management for A Highway Construction Project with A Focus on Theory of Constraints*. *International Journal of Construction Management*, 21(2), 194–207.
- Yahfizham, Y. (2024). Manajemen Proyek Sistem Informasi Pengaduan Pegawai Di Badan Keuangan Dan Aset Daerah Provinsi Sumatera Utara. *Jurnal Publikasi Sistem Informasi Dan Manajemen Bisnis*, 3(2), 162–174.
- Luthan, P. L. A. (2019). *Pengantar Konsep Manajemen Proyek untuk Teknik*. Yayasan Kita Menulis, 2019. Medan
- Soeharto, I. (1999). *Manajemen Proyek (Dari Konseptual Sampai Operasional)* (2nd ed.). Penerbit Erlangga. Jakarta
- Vijay Kumar, P. (2022). *Buffer Sizing in Construction Scheduling Using Critical Chain Project Management*. In *Lecture Notes in Civil Engineering* (Vol. 277). Springer Nature Singapore.
- Santosa, A. W. B. (2020). Implementasi Perbandingan *Critical Chain Project Management* dengan *Critical Path Method Repowering* Kapal MV. *Sinar Ambon. Teknik Perkapalan*, 8(2), 222–230.
- Sugiyanto. (2021). *Manajemen Proyek Rantai Kritis*. Penerbit Cipta Medi Nusantara. Surabaya
- Insan, K. (2022). Optimalisasi Metode Critical Chain Project Management Pada Pelaksanaan Proyek Konstruksi. 9(2), 356–363.
- Amiruddin, I. P. bin. (2024). *Penjadwalan Proyek Konstruksi*. Penerbit Andi. Yogyakarta
- Tumpu, M. (2022). *Metode Optimalisasi Penjadwalan Pelaksanaan Proyek Konstruksi* (1st ed.). Tohar Media. Makassar
- Syairudin, B. (2021). Perencanaan dan Pengendalian Proyek Konstruksi dengan Metode *Critical Chain Project Management* dan *Root Cause Analysis*. *Jurnal Teknik ITS*, 9(2).
- Lenggogeni. (2013). *Manajemen Konstruksi*. In P. Latifah (Ed.), *Widiasanti, Irika Lenggogeni* (1st ed.). PT. Remaja Rosdakarya Offset. Bandung
- Akromusyuhada, A. (2024). *Manajemen Waktu Pada Pekerjaan Arsitektur Proyek Pembangunan Gedung Yayasan Pelita Ilmu Insani*. *Jurnal Informatika Ekonomi Bisnis*, 6, 75–79.
- Bihanudin. (2021). *Manajemen Proyek Efektif dan Sederhana* (T. Sumarsan (ed.)). CV. CAMPUSTAKA. Kalideres, Jakarta Barat.
- Mahfud, Y. (2021). Kajian Metode PERT-CPM dan Pemanfaatannya dalam Manajemen Waktu dan Biaya Pelaksanaan Proyek. *Journal of Economic, Management, Accounting and Technology*, 4(2), 192–214.
- Baroudi, B. (2020). *Incorporation of Resource Reliability into Critical Chain Project Management Buffer Sizing*. *International Journal of Production Research*, 58(20), 6130–6144.
- Wang, X. (2025). *Critical Chain Project Buffer Monitoring Based on Integrated Attributes and Activity Preferences*. *Journal of the Operational Research Society*, 0(0), 1–14.
- Khalilzadeh, M. (2020). *A Project Buffer and Resource Management Model in Energy Sector; A Case Study in Construction of A Wind Farm Project*. *International Journal of Energy Sector Management*, 14(6), 1123–1142.
- Shadrokh, S. (2023). *A Fuzzy Project Buffer Management Algorithm: A Case Study in The Construction of A Renewable Project*. *International Journal of Construction Management*, 23(12), 2134–2143.

LAMPIRAN

A- Penjadwalan Awal Proyek

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
11	Pengurusan Koordinasi untuk Toilet, Air Kerja, dan Listrik Kerja	H	3	Sat 12/08/23 08:00	Mon 14/08/23 17:00	10FS-1 day	14FS+4 days
12	Koordinasi Pengamanan dan Security	I	3	Sat 12/08/23 08:00	Mon 14/08/23 17:00	10FS-1 day	13FS-1 day
13	Pengiriman Material dan Alat Kerja	J	15	Mon 14/08/23 08:00	Mon 28/08/23 17:00	12FS-1 day	14SS+5 days
14	Pembuatan Bedeng / Gudang Alat Kerja dan Material	K	3	Sat 19/08/23 08:00	Mon 21/08/23 17:00	11FS+4 days;13SS+5 days	15FS-1 day;16FS-1 day
15	Pembelian Material Sipil di Site	L	8	Mon 21/08/23 08:00	Mon 28/08/23 17:00	14FS-1 day	18FS-1 day;23FS+9 days;24FS+16 days;25FS+16 days

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
16	Pembelian Material Baja di Jakarta	M	8	Mon 21/08/23 08:00	Mon 28/08/23 17:00	14FS-1 day	40FS+65 days
17	Civil Works		337	Mon 28/08/23 08:00	Mon 05/08/24 17:00		
18	Pembongkaran <i>Bundwall</i> di Bagian Utara	N	4	Mon 28/08/23 17:00	Thu 31/08/23 17:00	5FS+43 days;15FS-1 day	19FF
19	Pembuatan <i>Temporary Bundwall</i> Tanki yang <i>Existing</i>	O	4	Mon 28/08/23 17:00	Thu 31/08/23 17:00	18FF	21FS-1 day
20	Pondasi Tanki		64	Thu 31/08/23 08:00	Thu 02/11/23 17:00		
21	Galian Tanah untuk Pondasi Tanki	P	8	Thu 31/08/23 17:00	Thu 07/09/23 17:00	9FS+22 days;19FS-1 day	22FS-1 day
22	Urugan Tanah Kembali	Q	8	Thu 07/09/23 17:00	Thu 14/09/23 17:00	21FS-1 day	23SS
23	Lantai Kerja Pondasi	R	8	Thu 07/09/23 17:00	Thu 14/09/23 17:00	15FS+9 days;22SS	24FS-1 day
24	Pembesian Pondasi Tanki	S	15	Thu 14/09/23 17:00	Thu 28/09/23 17:00	15FS+16 days;23FS- 1 day	25SS

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
25	Pengecoran Pondasi Tanki	T	15	Thu 14/09/23 17:00	Thu 28/09/23 17:00	15FS+16 days;24SS	26FS-1 day
26	<i>Backfill Sility Sand + Compacted Soil</i>	U	18	Thu 28/09/23 17:00	Sun 15/10/23 17:00	25FS-1 day	27
27	<i>Surface Asphalt Work</i>	V	11	Mon 16/10/23 08:00	Thu 26/10/23 17:00	26	28FS-1 day
28	<i>Installation Aluminium Sheel Foundation Under Earth Foundation</i>	W	8	Thu 26/10/23 17:00	Thu 02/11/23 17:00	27FS-1 day	40FS-1 day
29	<i>Floor Slab and Permanent Bundwall</i>		144	Fri 08/03/24 08:00	Mon 05/08/24 17:00		
30	<i>Install rebar on Permanent Bundwall</i>	X	102	Fri 08/03/24 08:00	Mon 24/06/24 17:00	59SS+13 days	35FS-1 day
31	<i>Install Formwork for Footing/Slab</i>	Y	7	Mon 03/06/24 08:00	Sun 09/06/24 17:00	32FS-1 day	34FS-1 day
32	<i>Install Wiremesh Footing/Slab</i>	Z	7	Tue 28/05/24 08:00	Mon 03/06/24 17:00	71SS+4 days	31FS-1 day
33	<i>Dismantling Internal Scaffolding</i>	AA	5	Fri 07/06/24 08:00	Tue 11/06/24 17:00	72FS-1 day	78SS+3 days

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
34	<i>Pouring Concrete Footings/Slab</i>	AB	4	Sun 09/06/24 08:00	Wed 12/06/24 17:00	31FS-1 day	79FS+11 days
35	<i>Install Formwork Permanent Bundwall</i>	AC	8	Mon 24/06/24 08:00	Mon 01/07/24 17:00	30FS-1 day	36FS+30 days
36	<i>Pouring Concrete Permanent Bundwall</i>	AD	5	Thu 01/08/24 08:00	Mon 05/08/24 17:00	35FS+30 days	37SS
37	<i>Grouting Pondasi Tanki</i>	AE	5	Thu 01/08/24 08:00	Mon 05/08/24 17:00	36SS	80FS+13 days
38	<i>Mechanical Storage Tank</i>		272	Thu 02/11/23 08:00	Tue 06/08/24 17:00		
39	<i>Bottom Plate and Sheel 1</i>		45	Thu 02/11/23 08:00	Sat 16/12/23 17:00		
40	<i>Erection Annular and Bottom Plate</i>	AF	16	Thu 02/11/23 08:00	Fri 17/11/23 17:00	6FS+109 days;16FS+65 days;28FS-1 day	41FS-1 day
41	<i>Welding Annular + NDT Ray</i>	AG	6	Fri 17/11/23 17:00	Wed 22/11/23 17:00	40FS-1 day	42FS-1 day;48FS+26 days
42	<i>Welding Bottom Plate</i>	AH	25	Wed 22/11/23 08:00	Sat 16/12/23 17:00	41FS-1 day	43SS;48FS+2 days

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
43	<i>Erection Shell 1</i>	AI	11	Wed 22/11/23 08:00	Sat 02/12/23 17:00	42SS	45FS-1 day
44	<i>Sheel 1 and Sheel 2</i>		38	Sat 02/12/23 08:00	Mon 08/01/24 17:00		
45	<i>Erection Shell 2 and Prepare Construction Scaffold for Shell 3</i>	AJ	12	Sat 02/12/23 17:00	Wed 13/12/23 17:00	43FS-1 day	47FS-1 day;46FS-1 day
46	<i>Welding Shell 1</i>	AK	11	Wed 13/12/23 17:00	Sat 23/12/23 17:00	45FS-1 day	49FS+1 day
47	<i>Erection Shell 3 (using Scaffold)</i>	AL	13	Wed 13/12/23 17:00	Mon 25/12/23 17:00	45FS-1 day	50FS-1 day
48	<i>Vaccum Test for Annular Plate and Bottom Plate</i>	AM	6	Tue 19/12/23 08:00	Sun 24/12/23 17:00	41FS+26 days;42FS+2 days	50
49	<i>Welding Shell 2</i>	AN	11	Mon 25/12/23 08:00	Thu 04/01/24 17:00	46FS+1 day	52FS+3 days
50	<i>Erection Shell 4 (using Scaffold)</i>	AO	15	Mon 25/12/23 08:00	Mon 08/01/24 17:00	47FS-1 day;48	53FS-1 day
51	<i>Shell 3 and Shell 4</i>		29	Mon 08/01/24 08:00	Mon 05/02/24 17:00		
52	<i>Welding Shell 3</i>	AP	11	Mon 08/01/24 17:00	Thu 18/01/24 17:00	49FS+3 days	54FS+3 days
53	<i>Erection Shell 5 (using Scaffold)</i>	AQ	15	Mon 08/01/24 17:00	Mon 22/01/24 17:00	50FS-1 day	55FS-1 day
54	<i>Welding Shell 4</i>	AR	15	Mon 22/01/24 17:00	Mon 05/02/24 17:00	52FS+3 days	57FS-1 day

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
55	<i>Erection Shell 6 (using Scaffold)</i>	AS	15	Mon 22/01/24 17:00	Mon 05/02/24 17:00	53FS-1 day	58FS-1 day
56	Shell 5 and Shell 6		36	Mon 05/02/24 08:00	Mon 11/03/24 17:00		
57	<i>Welding Shell 5</i>	AT	16	Mon 05/02/24 17:00	Tue 20/02/24 17:00	54FS-1 day	59FS+3 days
58	<i>Erection Compression Bar (using Scaffold)</i>	AU	20	Mon 05/02/24 17:00	Sat 24/02/24 17:00	55FS-1 day	61
59	<i>Welding Shell 6</i>	AV	17	Sat 24/02/24 17:00	Mon 11/03/24 17:00	57FS+3 days	30SS+13 days;61FS-1 day
60	Compression Bar and Rafter		38	Mon 11/03/24 08:00	Wed 24/04/24 17:00		
61	<i>Welding Compression Bar (Shell 7)</i>	AW	17	Mon 11/03/24 17:00	Wed 27/03/24 17:00	58;59FS-1 day	62FS-1 day
62	<i>Erection Rafter + Welding + NDT (using Scaffold)</i>	AX	22	Wed 27/03/24 17:00	Wed 24/04/24 17:00	61FS-1 day	64FS-1 day
63	Roof, Stair, and Accessories		105	Wed 24/04/24 08:00	Thu 06/08/24 17:00		

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
64	<i>Erection Annular Roof + Welding + NDT</i>	AY	22	Wed 24/04/24 17:00	Wed 15/05/24 17:00	62FS-1 day	65SS+14 days
65	<i>Erection Roof + Welding Roof</i>	AZ	25	Wed 08/05/24 08:00	Sat 01/06/24 17:00	64SS+14 days	67SS+9 days;68SS+9 days
66	<i>Piping Flange Management to New Tank</i>	BA	12	Thu 09/05/24 08:00	Mon 20/05/24 17:00	7FS+291 days;77SS+25 days	69SS+8 days;70FS-1 days;71FS+3 days;73FS+7 days
67	<i>Install Stairway, Roof Platform, and Handrail</i>	BB	16	Fri 17/05/24 08:00	Sat 01/06/24 17:00	65SS+9 days	72SS+14 days;69SS;70SS+3 days
68	<i>Install Nozzle, Manhole, and Accessories</i>	BC	8	Fri 17/05/24 08:00	Fri 24/05/24 17:00	65SS+9 days	71FS-1 day;73FS+6 days
69	<i>Bundwall Bridge Erection</i>	BD	4	Fri 17/05/24 08:00	Mon 20/05/24 17:00	66SS+8 days;67SS	72FS+10 days
70	<i>Touch Up Painting</i>	BE	17	Mon 20/05/24 08:00	Wed 05/06/24 17:00	66FS-1 days;67SS+3 days	72SS+11 days
71	<i>Final NDT</i>	BF	6	Fri 24/05/24 17:00	Wed 29/05/24 17:00	66FS+3 days;68FS-1 day	32SS+4 days;72FS+1 days;73FS+1 days

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
72	<i>Final Inspection and Punch List</i>	BG	8	Fri 31/05/24 08:00	Fri 07/06/24 17:00	67SS+14 days;69FS+10 days;70SS+11 days;71FS+1 day	33FS-1 day;73SS;74FS+29 days;75FS+29 days
73	<i>Hydrotest Preparation</i>	BH	11	Fri 31/05/24 08:00	Mon 10/06/24 17:00	66FS+7 days;68FS+6 days;71FS+1 days;72SS	78FS-1 day
74	<i>Touch Up, Second and Finish Painting External</i>	BI	31	Sun 07/07/24 08:00	Tue 06/08/24 17:00	72FS+29 days	82FS+6 days
75	<i>Touch Up, Second and Finish Painting Internal</i>	BJ	31	Sun 07/07/24 08:00	Tue 06/08/24 17:00	72FS+29 days;79FS+5 days	82FS+6 days
76	<i>Mechanical Piping Works</i>		143	Sun 14/04/24 08:00	Tue 03/09/24 17:00		
77	<i>Piping Erection</i>	BK	35	Sun 14/04/24 08:00	Sat 18/05/24 17:00	7FS+260 days	66SS+25 days;78FS+22 days
78	<i>Filling, Pressure, Discharge</i>	BL	15	Mon 10/06/24 08:00	Mon 24/06/24 17:00	73FS-1 day;33SS+3 days;77FS+22 days	79FS-1 day
79	<i>Internal Scaffolding Installation</i>	BM	6	Mon 24/06/24 17:00	Sat 29/06/24 17:00	34FS+11 days;78FS-1 day	75FS+5 days

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
80	<i>Dismantling Internal Scaffolding</i>	BN	4	Tue 27/08/24 08:00	Fri 30/08/24 17:00	37FS+13 days	81SS
81	<i>Cathodic Protection Work</i>	BO	4	Tue 27/08/24 08:00	Fri 30/08/24 17:00	80SS	82SS+1 day
82	<i>Finishing and Clean Up Tank</i>	BP	4	Wed 28/08/24 08:00	Sat 31/08/24 17:00	74FS+6 days;75FS+6 days;81SS+1 day	83SS+1 day
83	<i>Final Work and Completion</i>	BQ	6	Thu 29/08/24 08:00	Tue 03/09/24 17:00	82SS+1 day	

B- Pemotongan Durasi Kegiatan C&PM 20%

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Potongan durasi 20%	Durasi CCPM (hari)	Pembulatan Durasi CCPM (hari)
1	A	2	0,4	1,6	2
2	B	31	6,2	24,8	25
3	C	31	6,2	24,8	25
4	D	31	6,2	24,8	25
5	E	33	6,6	26,4	26
6	F	22	4,4	17,6	18
7	G	4	0,8	3,2	3
8	H	3	0,6	2,4	2
9	I	3	0,6	2,4	2
10	J	15	3	12	12
11	K	3	0,6	2,4	2
12	L	8	1,6	6,4	6
13	M	8	1,6	6,4	6
14	N	4	0,8	3,2	3
15	O	4	0,8	3,2	3
16	P	8	1,6	6,4	6
17	Q	8	1,6	6,4	6
18	R	8	1,6	6,4	6
19	S	15	3	12	12
20	T	15	3	12	12
21	U	18	3,6	14,4	14
22	V	11	2,2	8,8	9
23	W	8	1,6	6,4	6
24	X	102	20,4	81,6	82
25	Y	7	1,4	5,6	6
26	Z	7	1,4	5,6	6
27	AA	5	1	4	4
28	AB	4	0,8	3,2	3
29	AC	8	1,6	6,4	6
30	AD	5	1	4	4
31	AE	5	1	4	4
32	AF	16	3,2	12,8	13
33	AG	6	1,2	4,8	5
34	AH	25	5	20	20
35	AI	11	2,2	8,8	9
36	AJ	12	2,4	9,6	10
37	AK	11	2,2	8,8	9

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Potongan durasi 20%	Durasi CCPM (hari)	Pembulatan Durasi CCPM (hari)
38	AL	13	2,6	10,4	10
39	AM	6	1,2	4,8	5
40	AN	11	2,2	8,8	9
41	AO	15	3	12	12
42	AP	11	2,2	8,8	9
43	AQ	15	3	12	12
44	AR	15	3	12	12
45	AS	15	3	12	12
46	AT	16	3,2	12,8	13
47	AU	20	4	16	16
48	AV	17	3,4	13,6	14
49	AW	17	3,4	13,6	14
50	AX	22	4,4	17,6	18
51	AY	22	4,4	17,6	18
52	AZ	25	5	20	20
53	BA	12	2,4	9,6	10
54	BB	16	3,2	12,8	13
55	BC	8	1,6	6,4	6
56	BD	4	0,8	3,2	3
57	BE	17	3,4	13,6	14
58	BF	6	1,2	4,8	5
59	BG	8	1,6	6,4	6
60	BH	11	2,2	8,8	9
61	BI	31	6,2	24,8	25
62	BJ	31	6,2	24,8	25
63	BK	35	7	28	28
64	BL	15	3	12	12
65	BM	6	1,2	4,8	5
66	BN	4	0,8	3,2	3
67	BO	4	0,8	3,2	3
68	BP	4	0,8	3,2	3
69	BQ	6	1,2	4,8	5

C-Penyusunan *Network Planning* Sebelum CCPM (Lanjutan)

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total Float (hari)
			ES	EF	LS	LF	
14	N	4	75	78	75	78	0
15	O	4	75	78	75	78	0
16	P	8	78	85	78	85	0
17	Q	8	85	92	85	92	0
18	R	8	85	92	85	92	0
19	S	15	92	106	92	106	0
20	T	15	92	106	92	106	0
21	U	18	106	123	106	123	0
22	V	11	124	134	124	134	0
23	W	8	134	141	134	141	0
24	X	102	268	376	268	376	0
25	Y	7	355	361	362	368	7
26	Z	7	349	355	356	362	7
27	AA	5	359	363	366	370	7
28	AB	4	361	364	368	371	7
29	AC	8	376	383	376	383	0
30	AD	5	414	418	414	418	0
31	AE	5	414	418	414	418	0
32	AF	16	141	156	141	156	0
33	AG	6	156	161	156	161	0
34	AH	25	161	185	161	185	0
35	AI	11	161	171	161	171	0
36	AJ	12	171	182	171	182	0
37	AK	11	182	192	182	192	0
38	AL	13	182	194	204	216	22

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total <i>Float</i> (hari)
			ES	EF	LS	LF	
39	AM	6	188	193	210	215	22
40	AN	11	194	204	194	204	0
41	AO	15	194	208	216	230	22
42	AP	11	208	218	208	218	0
43	AQ	15	208	222	230	244	22
44	AR	15	222	236	222	236	0
45	AS	15	222	236	244	258	22
46	AT	16	236	251	236	251	0
47	AU	20	236	255	258	277	22
48	AV	17	255	271	255	271	0
49	AW	17	271	287	278	294	7
50	AX	22	287	315	294	322	7
51	AY	22	315	336	322	343	7
52	AZ	25	329	353	336	360	7
53	BA	12	330	341	337	348	7
54	BB	16	338	353	345	360	7
55	BC	8	338	345	345	352	7
56	BD	4	338	341	345	348	7
57	BE	17	341	357	348	364	7
58	BF	6	345	350	352	357	7
59	BG	8	352	359	359	366	7
60	BH	11	352	362	359	369	7
61	BI	31	389	419	396	426	7
62	BJ	31	389	419	396	426	7
63	BK	35	305	339	312	346	7
64	BL	15	362	376	369	383	7

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total <i>Float</i> (hari)
			ES	EF	LS	LF	
65	BM	6	376	381	383	388	7
66	BN	4	440	443	440	443	0
67	BO	4	440	443	440	443	0
68	BP	4	441	444	441	444	0
69	BQ	6	442	447	442	447	0

D-Penyusunan *Network Planning* Sesudah CCPM (Lanjutan)

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total <i>Float</i>
			ES	EF	LS	LF	
14	N	3	69	71	112	114	43
15	O	3	69	71	112	114	43
16	P	6	74	79	114	119	40
17	Q	6	79	84	119	124	40
18	R	6	85	90	119	124	34
19	S	12	90	101	124	135	34
20	T	12	90	101	124	135	34
21	U	14	101	114	135	148	34
22	V	9	115	123	149	157	34
23	W	6	123	128	157	162	34
24	X	82	268	356	269	357	1
25	Y	6	346	351	351	356	5
26	Z	6	341	346	346	351	5
27	AA	5	350	354	356	360	6
28	AB	3	351	353	356	358	5
29	AC	6	356	361	357	362	1
30	AD	4	392	395	393	396	1
31	AE	4	392	395	393	396	1
32	AF	13	141	153	162	174	21

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total Float
			ES	EF	LS	LF	
33	AG	5	153	157	174	178	21
34	AH	20	157	176	178	197	21
35	AI	9	157	165	178	186	21
36	AJ	10	165	174	186	195	21
37	AK	9	174	182	195	203	21
38	AL	10	174	183	213	222	39
39	AM	5	184	188	217	221	33
40	AN	9	184	192	205	213	21
41	AO	12	194	205	222	233	28
42	AP	9	196	204	217	225	21
43	AQ	12	205	216	233	244	28
44	AR	12	208	219	229	240	21
45	AS	12	216	227	244	255	28
46	AT	13	219	231	240	252	21
47	AU	16	227	242	255	269	28
48	AV	14	255	268	256	271	1
49	AW	14	268	281	271	284	3
50	AX	18	281	305	284	308	3
51	AY	18	305	322	308	325	3
52	AZ	20	319	338	322	341	3
53	BA	10	324	333	324	333	0
54	BB	13	328	340	331	343	3
55	BC	8	328	335	332	339	6
56	BD	3	332	334	332	334	0
57	BE	15	333	347	334	348	1
58	BF	5	337	341	339	343	2

No	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Perhitungan Maju		Perhitungan Mundur		Total <i>Float</i>
			ES	EF	LS	LF	
59	BG	6	345	350	345	350	0
60	BH	10	345	354	350	359	5
61	BI	25	380	404	380	404	0
62	BJ	25	380	404	380	404	0
63	BK	28	286	320	292	326	6
64	BL	12	354	365	359	370	5
65	BM	5	365	369	370	374	5
66	BN	3	409	411	410	412	1
67	BO	3	409	411	410	412	1
68	BP	3	411	413	411	413	0
69	BQ	5	412	416	412	416	0

E-Penentuan Jumlah Tenaga Kerja Langsung (Lanjutan)

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
14	W	6	Mandor	0,5
			Tukang	1
			Kenek	2
			Helper	4
			Fitter	1
			Welder	1
			Electrical	1
15	X	82	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	3
			Helper	5
16	Y	6	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	3
			Helper	5
17	Z	6	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	3
			Helper	5
18	AA	4	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	2
			Helper	4
			Scaffolder	4
19	AB	3	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	3
			Helper	5

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
20	AC	6	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	3
			Helper	5
			Scaffolder	2
21	AD	4	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	3
			Helper	5
			Scaffolder	2
22	AE	4	Mandor	0,5
			Tukang	2
			Kenek	2
			Helper	3
23	AF	13	Foreman	0,5
			Tukang	4
			Helper	5
			Fitter	2
			Scaffolder	2
			Operator Crane	1
24	AG	5	Foreman	0,50
			Tukang	2
			Helper	4
			Fitter	2
			Welder	3
25	AH	20	Foreman	0,50
			Tukang	2
			Helper	4
			Fitter	2
			Welder	4

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
26	AI	9	<i>Foreman</i>	0,50
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	2
			Operator <i>Crane</i>	1
27	AJ	10	<i>Foreman</i>	0,5
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	2
			<i>Scaffolder</i>	4
			Operator <i>Crane</i>	1
28	AK	9	<i>Foreman</i>	0,5
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	3
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	5
29	AL	10	<i>Foreman</i>	0,50
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	2
			<i>Scaffolder</i>	4
30	AM	5	Operator <i>Crane</i>	1
			<i>Foreman</i>	0.50
			Tukang	1
			<i>Helper</i>	2
			<i>Fitter</i>	1
			Operator <i>Test Inspeksi</i>	1

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
31	AN	9	<i>Foreman</i>	0,50
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	5
32	AO	12	<i>Foreman</i>	0,5
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	2
			<i>Scaffolder</i>	4
			Operator Crane	1
33	AP	9	<i>Foreman</i>	0,50
			Tukang	2
			Helper	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	5
			Operator Crane	1
34	AQ	12	<i>Foreman</i>	0,5
			Tukang	2
			Helper	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	2
			<i>Scaffolder</i>	4
			Operator Crane	1
35	AR	12	<i>Foreman</i>	0,5
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	5
36	AS	12	<i>Foreman</i>	0,5
			Tukang	2
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	2
			<i>Welder</i>	2
			<i>Scaffolder</i>	4
			Operator Crane	1

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
37	AT	13	Foreman	0,50
			Helper	4
			Fitter	2
			Welder	5
			Scaffolder	2
38	AU	16	Foreman	0,50
			Helper	4
			Fitter	2
			Welder	1
			Scaffolder	3
			Operator Crane	1
39	AV	14	Foreman	0,5
			Helper	4
			Fitter	2
			Welder	5
			Scaffolder	2
40	AW	14	Foreman	0,5
			Helper	5
			Fitter	2
			Welder	5
			Scaffolder	2
41	AX	18	Foreman	0,5
			Helper	4
			Fitter	2
			Welder	4
			Scaffolder	3
			Operator Crane	1
42	AY	18	Foreman	0,50
			Helper	4
			Fitter	3
			Welder	4
			Scaffolder	3
43	AZ	20	Foreman	0,50
			Helper	4
			Fitter	2
			Welder	4
			Scaffolder	3
			Operator Crane	1

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
44	BA	10	Foreman	0,50
			Helper	4
			Fitter	4
			Welder	1
45	BB	13	Foreman	0,50
			Helper	3
			Fitter	3
			Scaffolder	2
46	BC	6	Foreman	0,50
			Helper	3
			Fitter	2
			Welder	2
47	BD	3	Foreman	0,50
			Helper	2
			Fitter	2
			Scaffolder	2
48	BE	14	Foreman	0,5
			Helper	2
			Painter	3
49	BF	5	Operator Test Inspeksi	1
			Helper	2
			Scaffolder	1
50	BG	6	Helper	2
			Operator Test Inspeksi	1
51	BH	9	Foreman	0,50
			Helper	3
			Fitter	2
52	BI	25	Foreman	0,50
			Helper	3
			Painter	2
			Scaffolder	1
53	BJ	25	Foreman	0,50
			Helper	3
			Painter	2

No	Kode Kegiatan	Durasi CCPM (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)
54	BK	28	<i>Foreman</i>	0,50
			<i>Helper</i>	4
			<i>Fitter</i>	4
			<i>Welder</i>	2
			<i>Scaffolder</i>	2
55	BL	12	<i>Foreman</i>	0,50
			<i>Helper</i>	2
			<i>Fitter</i>	2
56	BM	5	<i>Foreman</i>	0,50
			<i>Helper</i>	3
			<i>Scaffolder</i>	4
57	BN	3	<i>Foreman</i>	0,50
			<i>Helper</i>	2
			<i>Electrical</i>	1
58	BO	3	<i>Foreman</i>	0,50
			<i>Helper</i>	2
			<i>Fitter</i>	1
			<i>Electrical</i>	1
59	BP	3	Mandor	0,50
			<i>Foreman</i>	0,50
			<i>Helper</i>	3
60	BQ	5	Mandor	0,50
			<i>Foreman</i>	0,50
			<i>Helper</i>	2

F-Finalisasi Hasil Penjadwalan CCPM

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
1	Pembangunan Keseluruhan		421	Wed 14/06/23 08:00	Sat 14/08/24 17:00		
2	Preliminary Works		69	Wed 14/06/23 08:00	Mon 21/08/23 17:00		
3	<i>Kick of Meeting</i>	A	2	Wed 14/06/23 08:00	Thu 15/06/23 17:00		5FS-1 day;6FS-1 day;7FS-1 day;8FS+21 days
4	Engineering Calculation and Shop Drawing		68	Thu 15/06/23 08:00	Mon 21/08/23 17:00		
5	<i>Civil Works Engineering</i>	B	25	Thu 15/06/23 08:00	Sun 09/07/23 17:00	3FS-1 day	19FS+43 days
6	<i>Mechanical Storage Tank Engineering</i>	C	25	Thu 15/06/23 08:00	Sun 09/07/23 17:00	3FS-1 day	41FS+109 days
7	<i>Piping Works Engineering</i>	D	25	Thu 15/06/23 08:00	Sun 09/07/23 17:00	3FS-1 day	67FS+291 days;78FS+260 days
8	<i>Soil Investigation and Soil Test</i>	E	26	Fri 07/07/23 08:00	Tue 01/08/23 17:00	3FS+21 days	9SS+11 days
9	<i>Final Report Soil Investigation</i>	F	18	Tue 18/07/23 08:00	Fri 04/08/23 17:00	8SS+11 days	22FS+22 days
10	<i>Mobilisasi Manpower dan Safety Induction</i>	G	3	Mon 07/08/23 08:00	Wed 09/08/23 17:00	10FS-1 day	12FS-1 day;13FS-1 day

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
11	Pengurusan Koordinasi untuk Toilet, Air Kerja, dan Listrik Kerja	H	2	Wed 09/08/23 08:00	Thu 10/08/23 17:00	10FS-1 day	14FS+4 days
12	Koordinasi Pengamanan dan <i>Security</i>	I	2	Wed 09/08/23 08:00	Thu 10/08/23 17:00	10FS-1 day	13FS-1 day
13	Pengiriman Material dan Alat Kerja	J	12	Thu 10/08/23 08:00	Mon 21/08/23 17:00	12FS-1 day	14SS+5 days
14	Pembuatan Bedeng / Gudang Alat Kerja dan Material	K	2	Tue 15/08/23 08:00	Wed 16/08/23 17:00	11FS+4 days;13SS+5 days	15FS-1 day;16FS-1 day
15	Pembelian Material Sipil di <i>Site</i>	L	6	Wed 16/08/23 08:00	Mon 21/08/23 17:00	14FS-1 day	18FS-1 day;23FS+9 days;24FS+16 days;25FS+16 days
16	Pembelian Material Baja di Jakarta	M	6	Wed 16/08/23 08:00	Mon 21/08/23 17:00	14FS-1 day	40FS+65 days
17	<i>Civil Works</i>		320	Tue 22/08/23 08:00	Sat 13/07/24 17:00		
18	Pembongkaran <i>Bundwall</i> di Bagian Utara	N	3	Tue 22/08/23 08:00	Thu 24/08/23 17:00	5FS+43 days;15FS-1 day	19FF

No	Nama Aktivitas		Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
19	Pembuatan <i>Temporary Bundwall</i> Tanki yang <i>Existing</i>		O	3	Tue 22/08/23 08:00	Thu 24/08/23 17:00	18FF	21FS-1 day
20	Pondasi Tanki			55	Sun 27/08/23 08:00	Fri 20/10/23 17:00		
21	Galian	Tanah	P	6	Sun 27/08/23 08:00	Fri 01/09/23 17:00	9FS+22 days;19FS-1 day	22FS-1 day
	untuk Pondasi Tanki							
22	Urugan	Tanah	Q	6	Fri 01/09/23 08:00	Wed 06/09/23 17:00	21FS-1 day	23SS
	Kembali							
23	Lantai	Kerja	R	6	Thu 07/09/23 08:00	Tue 12/09/23 17:00	15FS+9 days;22SS	24FS-1 day
	Pondasi							
24	Pembesian Pondasi Tanki		S	12	Tue 12/09/23 08:00	Sat 23/09/23 17:00	15FS+16 days;23FS-1 day	25SS
25	Pengecoran Pondasi Tanki		T	12	Tue 12/09/23 08:00	Sat 23/09/23 17:00	15FS+16 days;24SS	26FS-1 day
26	<i>Backfill</i>	<i>Silty</i> <i>Sand + Compacted</i> <i>Soil</i>	U	14	Sat 23/09/23 08:00	Fri 06/10/23 17:00	25FS-1 day	27
27	<i>Surface</i>	<i>Asphalt</i> <i>Work</i>	V	9	Sat 07/10/23 08:00	Sun 15/10/23 17:00	26	28FS-1 day
28	<i>Installation</i>	<i>Aluminium Sheel</i> <i>Foundation Under</i> <i>Earth Foundation</i>	W	6	Sun 15/10/23 08:00	Fri 20/10/23 17:00	27FS-1 day	40FS-1 day

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
29	Floor Slab and Permanent Bundwall		121	Fri 08/03/24 08:00	Sat 13/07/24 17:00		
30	Install rebar on Permanent Bundwall	X	82	Fri 08/03/24 08:00	Tue 04/06/24 17:00	59SS+13 days	35FS-1 day
31	Install Formwork for Footing/Slab	Y	6	Sat 25/05/24 08:00	Thu 30/05/24 17:00	32FS-1 day	34FS-1 day
32	Install Wiremesh Footing/Slab	Z	6	Mon 20/05/24 08:00	Sat 25/05/24 17:00	71SS+4 days	31FS-1 day
33	Dismantling Internal Scaffolding	AA	5	Wed 29/05/24 08:00	Sun 02/06/24 17:00	72FS-1 day	78SS+3 days
34	Pouring Concrete Footing/Slab	AB	3	Thu 30/05/24 08:00	Sat 01/06/24 17:00	31FS-1 day	79FS+11 days
35	Install Formwork Permanent Bundwall	AC	6	Tue 04/06/24 08:00	Sun 09/06/24 17:00	30FS-1 day	36FS+30 days
36	Pouring Concrete Permanent Bundwall	AD	4	Wed 10/07/24 08:00	Sat 13/07/24 17:00	35FS+30 days	37SS
37	Grouting Pondasi Tanki	AE	4	Wed 10/07/24 08:00	Sat 13/07/24 17:00	36SS	80FS+13 days
38	Mechanical Storage Tank		257	Thu 02/11/23 08:00	Mon 22/07/24 17:00		

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
39	Bottom Plate and Sheel 1		36	Thu 02/11/23 08:00	Thu 07/12/23 17:00		
40	Erection Annular and Bottom Plate	AF	13	Thu 02/11/23 08:00	Tue 14/11/23 17:00	6FS+109 days;16FS+65 days;28FS-1 day	41FS-1 day
41	Welding Annular + NDT Ray	AG	5	Tue 14/11/23 08:00	Sat 18/11/23 17:00	40FS-1 day	42FS-1 day;48FS+26 days
42	Welding Bottom Plate	AH	20	Sat 18/11/23 08:00	Thu 07/12/23 17:00	41FS-1 day	43SS;48FS+2 days
43	Erection Shell 1	AI	9	Sat 18/11/23 08:00	Sun 26/11/23 17:00	42SS	45FS-1 day
44	Sheel 1 and Sheel 2		41	Sun 26/11/23 08:00	Fri 05/01/24 17:00		
45	Erection Shell 2 and Prepare Construction Scaffold for Shell 3	AJ	10	Sun 26/11/23 08:00	Tue 05/12/23 17:00	43FS-1 day	47FS-1 day;46FS-1 day
46	Welding Shell 1	AK	9	Tue 05/12/23 08:00	Wed 13/12/23 17:00	45FS-1 day	49FS+1 day
47	Erection Shell 3 (using Scaffold)	AL	10	Tue 05/12/23 08:00	Thu 14/12/23 17:00	45FS-1 day	50FS-1 day
48	Vaccum Test for Annular Plate and Bottom Plate	AM	5	Fri 15/12/23 08:00	Tue 19/12/23 17:00	41FS+26 days;42FS+2 days	50
49	Welding Shell 2	AN	9	Fri 15/12/23 08:00	Sat 23/12/23 17:00	46FS+1 day	52FS+3 days
50	Erection Shell 4 (using Scaffold)	AO	12	Mon 25/12/23 08:00	Fri 05/01/24 17:00	47FS-1 day;48	53FS-1 day

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
51	Shell 3 and Shell 4		32	Wed 27/12/23 08:00	Sat 27/01/24 17:00		
52	Welding Shell 3	AP	9	Wed 27/12/23 08:00	Thu 04/01/24 17:00	49FS+3 days	54FS+3 days
53	Erection Shell 5 (using Scaffold)	AQ	12	Fri 05/01/24 08:00	Tue 16/01/24 17:00	50FS-1 day	55FS-1 day
54	Welding Shell 4	AR	12	Mon 08/01/24 08:00	Fri 19/01/24 17:00	52FS+3 days	57FS-1 day
55	Erection Shell 6 (using Scaffold)	AS	12	Tue 16/01/24 08:00	Sat 27/01/24 17:00	53FS-1 day	58FS-1 day
56	Shell 5 and Shell 6		50	Fri 19/01/24 08:00	Fri 08/03/24 17:00		
57	Welding Shell 5	AT	13	Fri 19/01/24 08:00	Wed 31/01/24 17:00	54FS-1 day	59FS+3 days
58	Erection Compression Bar (using Scaffold)	AU	16	Sat 27/01/24 08:00	Sun 11/02/24 17:00	55FS-1 day	61
59	Welding Shell 6	AV	14	Sat 24/02/24 08:00	Fri 08/03/24 17:00	57FS+3 days	30SS+13 days;61FS-1 day
60	Compression Bar and Rafter		31	Fri 08/03/24 08:00	Sun 14/04/24 17:00		
61	Welding Compression Bar (Shell 7)	AW	14	Fri 08/03/24 08:00	Thu 21/03/24 17:00	58;59FS-1 day	62FS-1 day
62	Erection Rafter + Welding + NDT (using Scaffold)	AX	18	Thu 21/03/24 08:00	Sun 14/04/24 17:00	61FS-1 day	64FS-1 day
63	Roof, Stair, and Accessories		100	Sun 14/04/24 08:00	Mon 22/07/24 17:00		

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
64	Erection Annular Roof + Welding + NDT	AY	18	Sun 14/04/24 08:00	Wed 01/05/24 17:00	62FS-1 day	65SS+14 days
65	Erection Roof + Welding Roof	AZ	20	Sun 28/04/24 08:00	Fri 17/05/24 17:00	64SS+14 days	67SS+9 days;68SS+9 days
66	Piping Flange Management to New Tank	BA	10	Fri 03/05/24 08:00	Sun 12/05/24 17:00	7FS+291 days;77SS+25 days	69SS+8 days;70FS-1 days;71FS+3 days;73FS+7 days
67	Install Stairway, Roof Platform, and Handrail	BB	13	Tue 07/05/24 08:00	Sun 19/05/24 17:00	65SS+9 days	72SS+14 days;69SS;70SS+3 days
68	Install Nozzle, Manhole, and Accessories	BC	8	Tue 07/05/24 08:00	Tue 14/05/24 17:00	65SS+9 days	71FS-1 day;73FS+6 days
69	Bundwall Bridge Erection	BD	3	Sat 11/05/24 08:00	Mon 13/05/24 17:00	66SS+8 days;67SS	72FS+10 days
70	Touch Up Painting	BE	15	Sun 12/05/24 08:00	Sun 26/05/24 17:00	66FS-1 days;67SS+3 days	72SS+11 days
71	Final NDT	BF	5	Thu 16/05/24 08:00	Mon 20/05/24 17:00	66FS+3 days;68FS-1 day	32SS+4 days;72FS+1 days;73FS+1 days
72	Feeding Buffer 1		1	Tue 21/05/24 08:00	Tue 21/05/24 08:00	72	74
73	Final Inspection and Punch List	BG	6	Fri 24/05/24 08:00	Wed 29/05/24 17:00	68SS+14 days;70FS+10 days;71SS+11 days;72FS+1 day	34FS-1 day;74SS;75FS+29 days;76FS+29 days

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
74	Hydrotest Preparation	BH	10	Fri 24/05/24 08:00	Sun 02/06/24 17:00	66FS+7 days;68FS+6 days;71FS+1 days;72SS	78FS-1 day
75	Touch Up, Second and Finish Painting External	BI	25	Fri 28/06/24 08:00	Mon 22/07/24 17:00	72FS+29 days	82FS+6 days
76	Touch Up, Second and Finish Painting Internal	BJ	25	Fri 28/06/24 08:00	Mon 22/07/24 17:00	72FS+29 days;79FS+5 days	82FS+6 days
77	Mechanical Piping Works		135	Tue 26/03/24 08:00	Wed 14/08/24 17:00		
78	Piping Erection	BK	28	Tue 26/03/24 08:00	Mon 29/04/24 17:00	7FS+260 days	66SS+25 days;78FS+22 days
79	Filling, Pressure, Discharge	BL	12	Sun 02/06/24 08:00	Thu 13/06/24 17:00	73FS-1 day;33SS+3 days;77FS+22 days	79FS-1 day
80	Internal Scaffolding Installation	BM	5	Thu 13/06/24 08:00	Mon 17/06/24 17:00	34FS+11 days;78FS-1 day	75FS+5 days
81	Feeding buffer 2		1	Tue 18/06/24 08:00	Tue 18/06/24 17:00	80	76
82	Dismantling Internal Scaffolding	BN	3	Sat 27/07/24 08:00	Mon 29/07/24 17:00	37FS+13 days	81SS
83	Cathodic Protection Work	BO	3	Sat 27/07/24 08:00	Mon 29/07/24 17:00	80SS	82SS+1 day
84	Finishing and Clean Up Tank	BP	3	Mon 29/07/24 08:00	Wed 31/07/24 17:00	74FS+6 days;75FS+6 days;81SS+1 day	83SS+1 day

No	Nama Aktivitas	Kode Kegiatan	Durasi (hari)	Mulai	Selesai	Kegiatan Sebelum (Predecessor)	Kegiatan Sesudah (Successor)
85	<i>Final Work and Completion</i>	BQ	5	Tue 30/07/24 08:00	Sat 03/08/24 17:00	82SS+1 day	86
86	<i>Project Buffer</i>		11	Sun 04/08/24 08:00	Wed 14/08/24 17:00	85	

G- Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Langsung Sebelum CCPM

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
1	J	15	Driver	2	5.000.000,00
			Tukang	2	
2	K	3			1.400.000,00
			Kenek	3	
					2.040.000,00
3	L	8	<i>Warehouse Site</i>	1	2.146.133,33
4	M	8	<i>Warehouse Head Office</i>	1	1.866.666,67
			Mandor	0,5	550.666,67
			Tukang	2	1.866.666,67
5	N	4	Kenek	2	1.813.333,33
			<i>Helper</i>	4	3.701.333,33
			<i>Operator Crane</i>	1	1.101.333,33
			Mandor	0,5	550.666,67
			Tukang	2	1.866.666,67
6	O	4	Kenek	2	1.813.333,33
			<i>Helper</i>	4	3.701.333,33
			<i>Scaffolder</i>	2	1.850.666,67
			Mandor	0,5	1.101.333,33
			Tukang	2	3.733.333,33
7	P	8	Kenek	3	5.440.000,00
			<i>Helper</i>	4	7.402.666,67
			<i>Operator Crane</i>	1	2.202.666,67
			Mandor	0,5	1.101.333,33
			Tukang	2	3.733.333,33
8	Q	8	Kenek	3	5.440.000,00
			<i>Helper</i>	4	7.402.666,67
			<i>Operator Crane</i>	1	2.202.666,67

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
9	R	8	Mandor	0,5	1.101.333,33
			Tukang	1	1.866.666,67
			Kenek	2	3.626.666,67
			Helper	3	5.552.000,00
10	S	15	Mandor	0,5	2.065.000,00
			Tukang	2	7.000.000,00
			Kenek	3	10.200.000,00
			Helper	4	13.880.000,00
			Fitter	2	7.915.000,00
			Welder	1	5.265.000,00
11	T	15	Mandor	0,5	2.065.000,00
			Tukang	3	10.500.000,00
			Kenek	3	10.200.000,00
			Helper	4	13.880.000,00
			Operator Crane	1	4.130.000,00
12	U	18	Mandor	0,5	2.478.000,00
			Tukang	2	8.400.000,00
			Kenek	2	8.160.000,00
			Helper	4	16.656.000,00
13	V	11	Mandor	0,5	1.514.333,33
			Tukang	2	5.133.333,33
			Kenek	2	4.986.666,67
			Helper	4	10.178.666,67
			Scaffolder	2	5.089.333,33
14	W	8	Mandor	0,5	1.101.333,33
			Tukang	1	1.866.666,67
			Kenek	2	3.626.666,67
			Helper	4	7.402.666,67
			Fitter	1	2.110.666,67
			Welder	1	2.808.000,00
			Electrical	1	2.701.333,33

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
15	X	102	Mandor	0,5	14.042.000,00
			Tukang	2	47.600.000,00
			Kenek	3	69.360.000,00
			Helper	5	117.980.000,00
16	Y	7	Mandor	0,5	963.666,67
			Tukang	2	3.266.666,67
			Kenek	3	4.760.000,00
			Helper	5	8.096.666,67
17	Z	7	Mandor	0,5	963.666,67
			Tukang	2	3.266.666,67
			Kenek	3	4.760.000,00
			Helper	5	8.096.666,67
18	AA	5	Mandor	0,5	688.333,33
			Tukang	2	2.333.333,33
			Kenek	2	2.266.666,67
			Helper	4	4.626.666,67
			Scaffolder	4	4.626.666,67
19	AB	4	Mandor	0,5	550.666,67
			Tukang	2	1.866.666,67
			Kenek	3	2.720.000,00
			Helper	5	4.626.666,67
20	AC	8	Mandor	0,5	1.101.333,33
			Tukang	2	3.733.333,33
			Kenek	3	5.440.000,00
			Helper	5	9.253.333,33
			Scaffolder	2	3.701.333,33
21	AD	5	Mandor	0,5	688.333,33
			Tukang	2	2.333.333,33
			Kenek	3	3.400.000,00
			Helper	5	5.783.333,33
			Scaffolder	2	2.313.333,33

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
22	AE	5	Mandor	0,5	688.333,33
			Tukang	2	2.333.333,33
			Kenek	2	2.266.666,67
			Helper	3	3.470.000,00
23	AF	16	Foreman	0,5	2.202.666,67
			Tukang	4	14.933.333,33
			Helper	5	18.506.666,67
			Fitter	2	8.442.666,67
			Scaffolder	2	7.402.666,67
			Operator Crane	1	4.405.333,33
24	AG	6	Foreman	0,50	826.000,00
			Tukang	2	2.800.000,00
			Helper	4	5.552.000,00
			Fitter	2	3.166.000,00
			Welder	3	6.318.000,00
25	AH	25	Foreman	0,50	3.441.666,67
			Tukang	2	11.666.666,67
			Helper	4	23.133.333,33
			Fitter	2	13.191.666,67
			Welder	4	35.100.000,00
26	AI	11	Foreman	0,50	1.514.333,33
			Tukang	2	5.133.333,33
			Helper	4	10.178.666,67
			Fitter	2	5.804.333,33
			Welder	2	7.722.000,00
			Operator Crane	1	3.028.666,67
27	AJ	12	Foreman	0,5	1.652.000,00
			Tukang	2	5.600.000,00
			Helper	4	11.104.000,00
			Fitter	2	6.332.000,00
			Welder	2	8.424.000,00
			Scaffolder	4	11.104.000,00
			Operator Crane	1	3.304.000,00

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
28	AK	11	Foreman	0,5	1.514.333,33
			Tukang	2	5.133.333,33
			Helper	3	7.634.000,00
			Fitter	2	5.804.333,33
			Welder	5	19.305.000,00
29	AL	13	Foreman	0,50	1.789.666,67
			Tukang	2	6.066.666,67
			Helper	4	12.029.333,33
			Fitter	2	6.859.666,67
			Welder	2	9.126.000,00
			Scaffolder	4	12.029.333,33
			Operator Crane	1	3.579.333,33
30	AM	6	Foreman	0.50	826.000,00
			Tukang	1	1.400.000,00
			Helper	2	2.776.000,00
			Fitter	1	1.583.000,00
			Operator Test Inspeksi	1	1.788.000,00
31	AN	11	Foreman	0,50	1.514.333,33
			Tukang	2	5.133.333,33
			Helper	4	10.178.666,67
			Fitter	2	5.804.333,33
			Welder	5	19.305.000,00
32	AO	15	Foreman	0,5	2.065.000,00
			Tukang	2	7.000.000,00
			Helper	4	13.880.000,00
			Fitter	2	7.915.000,00
			Welder	2	10.530.000,00
			Scaffolder	4	13.880.000,00
			Operator Crane	1	4.130.000,00
33	AP	11	Foreman	0,50	1.514.333,33
			Tukang	2	5.133.333,33
			Helper	4	10.178.666,67
			Fitter	2	5.804.333,33
			Welder	5	19.305.000,00
			Operator Crane	1	3.028.666,67

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
34	AQ	15	Foreman	0,5	2.065.000,00
			Tukang	2	7.000.000,00
			Helper	4	13.600.000,00
			Fitter	2	7.915.000,00
			Welder	2	10.530.000,00
			Scaffolder	4	13.880.000,00
			Operator Crane	1	4.130.000,00
35	AR	15	Foreman	0,5	2.065.000,00
			Tukang	2	7.000.000,00
			Helper	4	13.880.000,00
			Fitter	2	7.915.000,00
			Welder	5	26.325.000,00
36	AS	15	Foreman	0,5	2.065.000,00
			Tukang	2	7.000.000,00
			Helper	4	13.880.000,00
			Fitter	2	7.915.000,00
			Welder	2	10.530.000,00
			Scaffolder	4	13.880.000,00
			Operator Crane	1	4.130.000,00
37	AT	16	Foreman	0,50	2.202.666,67
			Helper	4	14.805.333,33
			Fitter	2	8.442.666,67
			Welder	5	28.080.000,00
			Scaffolder	2	7.402.666,67
38	AU	20	Foreman	0,50	2.753.333,33
			Helper	4	18.506.666,67
			Fitter	2	10.553.333,33
			Welder	1	7.020.000,00
			Scaffolder	3	13.880.000,00
			Operator Crane	1	5.506.666,67
39	AV	17	Foreman	0,5	2.340.333,33
			Helper	4	15.730.666,67
			Fitter	2	8.970.333,33
			Welder	5	29.835.000,00
			Scaffolder	2	7.865.333,33

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
40	AW	17	Foreman	0,5	2.340.333,33
			Helper	5	19.663.333,33
			Fitter	2	8.970.333,33
			Welder	5	29.835.000,00
			Scaffolder	2	7.865.333,33
41	AX	22	Foreman	0,5	3.028.666,67
			Helper	4	20.357.333,33
			Fitter	2	11.608.666,67
			Welder	4	30.888.000,00
			Scaffolder	3	15.268.000,00
			Operator Crane	1	6.057.333,33
42	AY	22	Foreman	0,50	3.028.666,67
			Helper	4	20.357.333,33
			Fitter	3	17.413.000,00
			Welder	4	30.888.000,00
			Scaffolder	3	15.268.000,00
43	AZ	25	Foreman	0,50	3.441.666,67
			Helper	4	23.133.333,33
			Fitter	2	13.191.666,67
			Welder	4	35.100.000,00
			Scaffolder	3	17.350.000,00
			Operator Crane	1	6.883.333,33
44	BA	12	Foreman	0,50	1.652.000,00
			Helper	4	11.104.000,00
			Fitter	4	12.664.000,00
			Welder	1	4.212.000,00
45	BB	16	Foreman	0,50	2.202.666,67
			Helper	3	11.104.000,00
			Fitter	3	12.664.000,00
			Scaffolder	2	7.402.666,67

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
46	BC	8	Foreman	0,50	1.101.333,33
			Helper	3	5.552.000,00
			Fitter	2	4.221.333,33
			Welder	2	5.616.000,00
47	BD	4	Foreman	0,50	550.666,67
			Helper	2	1.850.666,67
			Fitter	2	2.110.666,67
			Scaffolder	2	1.850.666,67
48	BE	17	Foreman	0,5	2.340.333,33
			Helper	2	7.865.333,33
			Painter	3	11.798.000,00
49	BF	6	Operator Test Inspeksi	1	1.788.000,00
			Helper	2	2.776.000,00
			Scaffolder	1	1.388.000,00
50	BG	8	Helper	2	3.701.333,33
			Operator Test Inspeksi	1	2.384.000,00
51	BH	11	Foreman	0,50	1.514.333,33
			Helper	3	7.634.000,00
			Fitter	2	5.804.333,33
52	BI	31	Foreman	0,50	4.267.666,67
			Helper	3	21.514.000,00
			Painter	2	14.342.666,67
			Scaffolder	1	7.171.333,33
53	BJ	31	Foreman	0,50	4.267.666,67
			Helper	3	21.514.000,00
			Painter	2	14.342.666,67
54	BK	35	Foreman	0,50	4.818.333,33
			Helper	4	32.386.666,67
			Fitter	4	36.936.666,67
			Welder	2	24.570.000,00
			Scaffolder	2	16.193.333,33
55	BL	15	Foreman	0,50	2.065.000,00
			Helper	2	6.940.000,00
			Fitter	2	7.915.000,00

No	Kode Kegiatan	Durasi Awal (hari)	Resources	Jumlah Tenaga Kerja (orang)	Total Biaya Tenaga Kerja (IDR)
56	BM	6	Foreman	0,50	826.000,00
			Helper	3	4.164.000,00
			Scaffolder	4	5.552.000,00
57	BN	4	Foreman	0,50	550.666,67
			Helper	2	1.850.666,67
			Electrical	1	1.350.666,67
58	BO	4	Foreman	0,50	550.666,67
			Helper	2	1.850.666,67
			Fitter	1	1.055.333,33
			Electrical	1	1.350.666,67
59	BP	4	Mandor	0,50	550.666,67
			Foreman	0,50	550.666,67
			Helper	3	2.776.000,00
60	BQ	6	Mandor	0,50	826.000,00
			Foreman	0,50	826.000,00
			Helper	2	2.776.000,00
Total Biaya Tenaga Kerja Langsung (IDR)					2.179.032.133

H- Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung Sebelum CCPM

No	Jabatan	QTY	Unit	Upah (IDR)/bulan	Biaya untuk 1 bulan (IDR)	Biaya untuk 15 bulan (IDR)
1	<i>Project Manager</i>	1	orang	15.130.000	15.130.000	226.950.000
2	<i>Site Manager</i>	1	orang	13.010.000	13.010.000	195.150.000
3	HRD	2	orang	9.150.000	18.300.000	274.500.000
4	Humas	1	orang	8.504.000	8.504.000	127.560.000
5	HSE Officer	1	orang	8.504.000	8.504.000	127.560.000
6	Safety Man	2	orang	7.250.000	14.500.000	217.500.000
7	<i>Engineering Sipil</i>	1	orang	10.250.000	10.250.000	153.750.000
8	<i>Engineering Mechanical</i>	1	orang	11.250.000	11.250.000	168.750.000
9	<i>Welding Engineer</i>	1	orang	9.750.000	9.750.000	146.250.000
10	<i>Welding Inspector</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	127.500.000
11	<i>Quality Control</i>	1	orang	7.523.000	7.523.000	112.845.000
12	<i>Supervisor Mechanical</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	127.500.000
13	<i>Supervisor Sipil</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	127.500.000
14	<i>Supervisor Painting</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	127.500.000
15	Surveyor	2	orang	8.500.000	17.000.000	255.000.000
16	Admin QC	2	orang	7.150.000	14.300.000	214.250.000
Total Biaya 15 Bulan					Rp2.730.315.000	

I- Perhitungan Biaya Tenaga Kerja Tidak Langsung Sesudah CCPM

No	Jabatan	QTY	Unit	Upah (IDR)/unit	Total biaya per bulan (IDR)	Total biaya 14 bulan (IDR)
1	<i>Project Manager</i>	1	orang	15.130.000	15.130.000	211.820.000
2	<i>Site Manager</i>	1	orang	13.010.000	13.010.000	182.140.000
3	HRD	2	orang	9.150.000	18.300.000	256.200.000
4	Humas	1	orang	8.504.000	8.504.000	119.056.000
5	<i>HSE Officer</i>	1	orang	8.504.000	8.504.000	119.056.000
6	<i>Safety Man</i>	2	orang	7.250.000	14.500.000	203.000.000
7	<i>Engineering Sipil</i>	1	orang	10.250.000	10.250.000	143.500.000
8	<i>Engineering Mechanical</i>	1	orang	11.250.000	11.250.000	157.500.000
9	<i>Welding Engineer</i>	1	orang	9.750.000	9.750.000	136.500.000
10	<i>Welding Inspector</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	119.000.000
11	<i>Quality Control</i>	1	orang	7.523.000	7.523.000	105.322.000
12	<i>Supervisor Mechanical</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	119.000.000
13	<i>Supervisor Sipil</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	119.000.000
14	<i>Supervisor Painting</i>	1	orang	8.500.000	8.500.000	119.000.000
15	<i>Surveyor</i>	2	orang	8.500.000	17.000.000	238.000.000
16	Admin QC	2	orang	7.150.000	14.300.000	200.200.000
Total Biaya 14 Bulan					Rp2.548.294.000	