

TESIS

**ANALISIS BIAYA DAN WAKTU PADA PERUBAHAN
PEKERJAAN PERKUATAN TEBING SUNGAI DARI
CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE KE SISTEM
PANEL SERBAGUNA**

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



Oleh :

MUHAMMAD FAJAR NUGROHO

NIM : 20202400107

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

LEMBAR PERSETUJUAN TESIS

**ANALISIS BIAYA DAN WAKTU PADA PERUBAHAN PEKERJAAN
PERKUATAN TEBING SUNGAI DARI *CORRUGATED CONCRETE*
SHEET PILE KE SISTEM PANEL SERBAGUNA**

Disusun oleh :

MUHAMMAD FAJAR NUGROHO

NIM : 20202400107

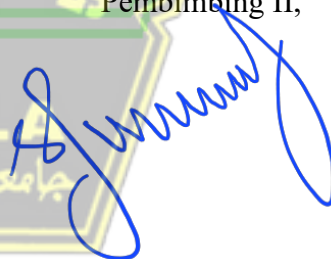
Telah disetujui oleh :

Semarang, Februari 2026

Pembimbing I,

Semarang, Februari 2026

Pembimbing II,



Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, ST.,MT.,IPU Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA

NIK.210200030

NIK.210291014

LEMBAR PENGESAHAN TESIS

**ANALISIS BIAYA DAN WAKTU PADA PERUBAHAN PEKERJAAN
PERKUATAN TEBING SUNGAI DARI *CORRUGATED CONCRETE*
SHEET PILE KE SISTEM PANEL SERBAGUNA**

Disusun oleh :

MUHAMMAD FAJAR NUGROHO

NIM : 20202400107

Dipertahankan di Depan Tim Penguji Tanggal :

20 Februari 2026

Tim Penguji :

1. Ketua


Prof. Dr. Ir. S. Imam Wahyudi, DEA

2. Anggota


Ir. Moh Faiqun Ni'am, MT.,Ph.D.

3. Anggota


Dr. Ir. Juny Andry Sulisty, ST.,SS.,MT.

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

Semarang, Februari 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi




Prof. Dr. Ir. Antonius, MT.,IPU

NIK. 2102020233

Mengesahkan,

Dekan Fakultas Teknik




Dr. Abdul Rochim, ST.,MT.

NIK. 0608067601

MOTTO

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

“Kamu adalah umat yang terbaik yang dilahirkan untuk manusia, menyuruh kepada yang ma’ruf, dan mencegah dari yang mungkar, dan beriman kepada Allah. Sekiranya Ahli Kitab beriman, tentulah itu lebih baik bagi mereka. Di antara mereka ada yang beriman, tetapi kebanyakan mereka adalah orang-orang fasik.” (QS. Ali ‘ Imran [3]: 110)

فَإِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ إِنَّ مَعَ الْعُسْرِ يُسْرًا ۖ
فَإِذَا فَرَغْتَ فَانصَبْ ۖ وَإِلَىٰ رَبِّكَ فَارْغَبْ

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. Maka apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras untuk urusan yang lain, dan hanya kepada Tuhanmulah engkau berharap.” (QS. Al-Insyirah [94]: 5–8)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa, karya ini saya persembahkan kepada:

1. Ayah dan Ibu tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, pengorbanan, serta dukungan yang tiada henti.
2. Calon istri saya, yang menjadi sumber motivasi dan harapan dalam setiap proses perjuangan yang saya jalani.
3. Bapak/Ibu Dosen pembimbing, atas bimbingan, kesabaran, dan ilmu yang telah diberikan selama proses penyusunan karya ini.

Semoga karya ini dapat memberikan manfaat dan menjadi langkah awal menuju kontribusi yang lebih baik di masa depan.



ABSTRAK

Pekerjaan perkuatan tebing sungai berperan penting dalam menjaga kestabilan lereng dan melindungi infrastruktur di sekitarnya. Namun, metode *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) yang umum digunakan sering terkendala biaya tinggi, durasi panjang, dan keterbatasan stok material precast. Sebagai alternatif, dikembangkan Sistem Panel Serbaguna (SPS) yang lebih efisien dan mudah diaplikasikan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbandingan biaya dan waktu antara metode CCSP dan SPS pada pekerjaan perkuatan tebing sungai.

Penelitian ini bertujuan untuk mendeskripsikan perbedaan metode pelaksanaan antara CCSP dan SPS, menganalisis perbandingan biaya pelaksanaan kedua metode, menganalisis perbandingan waktu pelaksanaan, serta menentukan metode yang lebih efektif dan efisien dari segi biaya dan waktu pada pekerjaan perkuatan tebing sungai.

Pendekatan penelitian bersifat deskriptif kuantitatif dengan menganalisis volume pekerjaan dan data biaya dari dokumen Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek aktual. Analisis biaya dilakukan dengan membandingkan *unit rate* setiap komponen pekerjaan, sedangkan analisis waktu didasarkan pada kapasitas produksi tiap item pekerjaan dan penyusunan *Gantt Chart* untuk menentukan total durasi proyek.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode SPS mampu menghemat biaya pelaksanaan sebesar \pm Rp 1,73 miliar atau sekitar 8,89%, serta mempercepat waktu pelaksanaan menjadi 102 hari, lebih cepat 26 hari atau \pm 20,3% dibandingkan CCSP. Selain efisien dalam biaya dan waktu, metode SPS juga unggul dari sisi kemudahan pemasangan dan pengendalian mutu. Dengan demikian, penerapan Sistem Panel Serbaguna dapat menjadi alternatif efektif dan berkelanjutan dalam pekerjaan perkuatan tebing sungai.

Kata kunci: analisis biaya, efisiensi waktu, kapasitas produksi, perkuatan tebing sungai, sistem panel serbaguna.

ABSTRACT

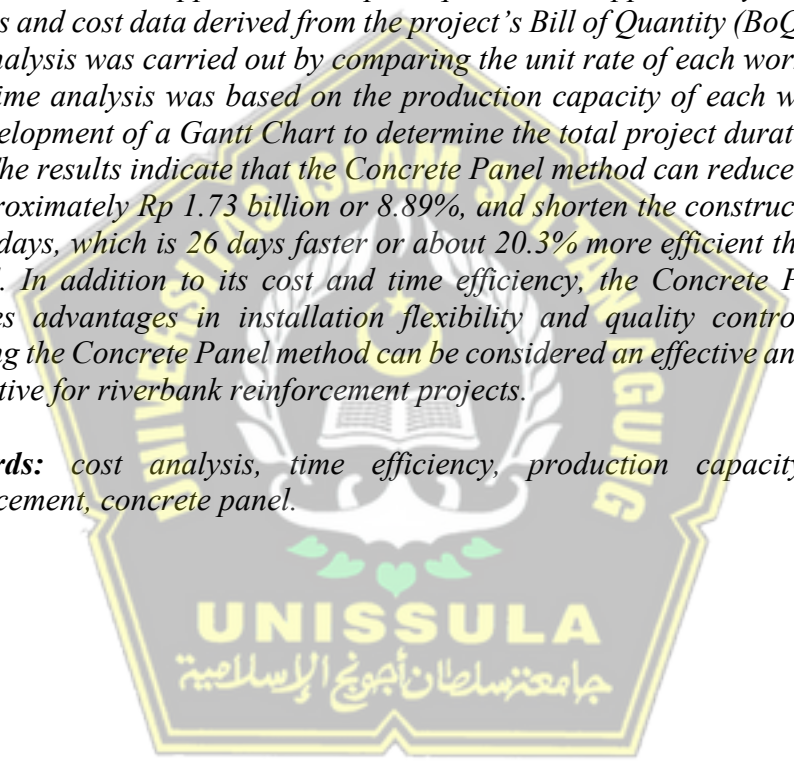
Riverbank reinforcement plays a vital role in maintaining slope stability and protecting nearby infrastructure. However, the commonly used Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) method often faces challenges such as high costs, long construction duration, and limited availability of precast materials. As an alternative, the Concrete Panel method offers a more efficient and practical solution. This study aims to analyze the comparison of cost and time between the CCSP and Concrete Panel methods in riverbank reinforcement work.

This study aims to (1) describe the differences in implementation methods between CCSP and MPS, (2) analyze the cost comparison of both methods, (3) analyze the comparison of construction time, and (4) determine the more effective and efficient method in terms of cost and time for riverbank reinforcement works.

This research applies a descriptive quantitative approach by analyzing work volumes and cost data derived from the project's Bill of Quantity (BoQ) documents. Cost analysis was carried out by comparing the unit rate of each work component, while time analysis was based on the production capacity of each work item and the development of a Gantt Chart to determine the total project duration.

The results indicate that the Concrete Panel method can reduce project costs by approximately Rp 1.73 billion or 8.89%, and shorten the construction duration to 102 days, which is 26 days faster or about 20.3% more efficient than the CCSP method. In addition to its cost and time efficiency, the Concrete Panel method provides advantages in installation flexibility and quality control. Therefore, adopting the Concrete Panel method can be considered an effective and sustainable alternative for riverbank reinforcement projects.

Keywords: *cost analysis, time efficiency, production capacity, riverbank reinforcement, concrete panel.*



SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : MUHAMMAD FAJAR NUGROHO

NIM : 20202400107

Dengan ini saya nyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa Tesis yang berjudul :

**“ANALISIS BIAYA DAN WAKTU PADA PERUBAHAN PEKERJAAN
PERKUATAN TEBING SUNGAI DARI *CORRUGATED CONCRETE*
SHEET PILE KE SISTEM PANEL SERBAGUNA”**

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

Semarang, 20 Februari 2026



MUHAMMAD FAJAR NUGROHO

KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah Subhanahu wa Ta'ala, atas limpahan rahmat, taufik, dan hidayah-Nya, penulis dapat menyelesaikan tesis dengan judul “**Analisis Biaya dan Waktu pada Perubahan Pekerjaan Perkuatan Tebing Sungai dari *Corrugated Concrete Sheet Pile* ke Sistem Panel Serbaguna**”. Tesis ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan guna memperoleh gelar Magister Teknik (M.T.) pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung Semarang.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan penghargaan dan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Henny Pratiwi Adi, S.T., M.T., selaku Dosen Pembimbing I, atas arahan, motivasi, dan bimbingan ilmiah yang sangat berharga selama proses penyusunan tesis ini.
2. Prof. Dr. Ir. H. S. Imam Wahyudi, DEA, selaku Dosen Pembimbing II, atas masukan, perhatian, serta dorongan dalam penyempurnaan penelitian ini.
3. Prof. Dr. Ir. Antonius, M.T., selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung Semarang, atas dukungan dan fasilitas yang diberikan.
4. Seluruh dosen dan staf Magister Teknik Sipil UNISSULA, atas ilmu, wawasan, dan bantuan yang telah diberikan selama masa studi.
5. Keluarga tercinta, yang senantiasa memberikan doa, kasih sayang, dan semangat yang tiada henti kepada penulis.
6. Rekan-rekan mahasiswa seperjuangan, atas kebersamaan dan dukungan moral selama proses penyusunan tesis ini.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam tesis ini. Saran dan masukan yang bersifat membangun sangat diharapkan guna penyempurnaan di masa depan. Semoga penelitian ini dapat memberikan kontribusi positif bagi pengembangan ilmu manajemen rekayasa konstruksi.

Semarang, Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

TESIS.....	i
LEMBAR PERSETUJUAN TESIS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN TESIS	iii
MOTO.....	iv
HALAMAN PERSEMBAHAN	v
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
SURAT PERNYATAAN KEASLIAN	viii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiii
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian.....	5
1.6 Sistematika Penulisan.....	6
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA.....	7
2.1 Proyek.....	7
2.1.1 Definisi Proyek.....	7
2.1.2 Karakteristik Proyek.....	8
2.1.3 Proyek Bendung	9
2.2 Perkuatan Tebing.....	9
2.2.1 Definisi Perkuatan Tebing.....	9
2.2.2 Klasifikasi Jenis Perkuatan Tebing Sungai	10
2.3 <i>Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)</i>	12
2.3.1 Pengertian <i>Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)</i>	12
2.3.2 Komponen <i>Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)</i>	14

2.3.3	Metode Kerja <i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i> (CCSP).....	14
2.3.4	Kelebihan dan Kekurangan <i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i>	16
2.4	Sistem Panel Serbaguna	17
2.4.1	Definisi Sistem Panel Serbaguna.....	17
2.4.2	Proses Produksi Panel di Lapangan.....	19
2.5	Analisis Waktu Pelaksanaan.....	20
2.5.1	Pentingnya <i>Time Management</i> dalam Proyek	22
2.5.2	Penjadwalan.....	23
2.5.3	Risiko Keterlambatan dan Penalti Proyek.....	27
2.6	Analisis Biaya dalam Proyek Konstruksi.....	27
2.6.1	Rencana Anggaran Biaya	27
2.6.2	Rencana Anggaran Pelaksanaan	27
2.6.3	Faktor-faktor yang Mempengaruhi Biaya Proyek.....	29
2.6.4	Hubungan antara Biaya dan Waktu dalam Proyek.....	31
2.6.5	Pengendalian Biaya Proyek.....	31
2.7	Penelitian Terdahulu.....	32
2.8	Kerangka Pemikiran	35
BAB III. METODE PENELITIAN		37
3.1	Bentuk Penelitian.....	37
3.2	Lokasi Penelitian	39
3.3	Metode Pengumpulan Data	39
3.4	Metode Pengolahan Data.....	40
3.5	Metode Analisis Data	40
3.5.1	Analisis Biaya.....	40
3.5.2	Analisis Waktu	42
3.5.3	Perbandingan Efisiensi	43
3.5.4	Interprestasi Hasil.....	45
3.6	Alur Penelitian.....	46
BAB IV. HASIL DAN PEMBAHASAN		48
4.1	Gambaran Umum Pekerjaan.....	49
4.2	<i>Review Design</i> Perkuatan Tebing.....	50
4.3	Pelaksanaan Pekerjaan di Lapangan.....	52

4.3.1	Metode <i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i>	52
4.3.2	Metode Sistem Panel Serbaguna	56
4.3.3	Perbandingan Teknis Pelaksanaan	63
4.4	Analisis Biaya Pelaksanaan	66
4.4.1	Rencana Anggaran Pelaksanaan Perkuatan Tebing <i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i>	66
4.4.1.1	Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing <i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i>	67
4.4.1.2	Analisis Perbandingan Biaya Rencana dan Realisasi	68
4.4.2	Rencana Anggaran Pelaksanaan Perkuatan Tebing Sistem Panel Serbaguba	69
4.4.2.9	Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing Metode Sistem Panel Serbaguna	69
4.4.3	Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing	71
4.5	Analisa Waktu	72
4.5.1.	Rekapitulasi Waktu Pelaksanaan CCSP	72
4.5.2.	Rekapitulasi Waktu Pekerjaan Sistem Panel Serbaguna	75
4.6	Analisa Efisiensi Biaya dan Waktu Perkuatan Tebing.....	79
4.6.1	Analisa Efisiensi Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing	79
4.6.2	Analisa Efisiensi Waktu Pekerjaan Perkuatan Tebing	81
BAB V. KESIMPULAN & SARANN		83
5.1	Kesimpulan.....	83
5.2	Saran	84
DAFTAR PUSTAKA		85
LAMPIRAN.....		87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Kelebihan dan Kekurangan Corrugated Concrete Sheet Pile ...	17
Tabel 2.2	Kelebihan dan Kekurangan Sistem Panel Serbaguna	20
Tabel 2.3	Referensi Penelitian-penelitian Terdahulu.....	33
Tabel 3.1	Item Pekerjaan yang dianalisis.....	31
Tabel 4.1	Perbandingan Teknis CCSP dan SPS.....	65
Tabel 4.2	Rekapitulasi Biaya Pekerjaan CCSP.....	67
Tabel 4.3	Komparasi Rencana dan Realisasi Biaya CCSP.....	68
Tabel 4.4	Rekapitulasi Biaya Pekerjaan SPS.....	70
Tabel 4.5	Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing.....	72
Tabel 4.6	Gant Chart Pekerjaan Corrugated Concrete Sheet Pile.....	73
Tabel 4.7	Gant Chart Pekerjaan Sistem Panel Serbaguna.....	76
Tabel 4.8	Komparasi Efisiensi Biaya Perkuatan Tebing	78



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Proyek Bendung Karet Sungai Juana.....	9
Gambar 2.2	Perkuatan Tebing Sungai Kapuas Ruas Makam.....	10
Gambar 2.3	Visualisasi <i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i>	12
Gambar 2.4	Proses Persiapan Lahan.....	14
Gambar 2.5	Proses Pemancangan CCSP.....	15
Gambar 2.6	Proses Pengecoran <i>Capping Beam</i>	16
Gambar 2.7	Visualisasi Sistem Panel Serbaguna.....	18
Gambar 2.8	<i>Flow Chart</i> Metode Kerja Sistem Panel Serbaguna.....	19
Gambar 2.9	Penjadwalan menggunakan Microsoft Project.....	23
Gambar 2.10	Contoh Tampilan <i>Bar Chart</i>	24
Gambar 2.11	Contoh Tampilan <i>Network Planning</i>	25
Gambar 2.12	Diagram Alir Kerangka Pemikiran.....	36
Gambar 3.1	Lokasi Penelitian.....	37
Gambar 3.2	Sisi Perkuatan Tebing SPS.....	38
Gambar 3.3	Bagan Alir Penelitian.....	47
Gambar 4.1	Lokasi Proyek.....	41
Gambar 4.2	Potongan Samping CCSP dan CSP.....	51
Gambar 4.3	Tampak Depan <i>Concrete Panel</i>	51
Gambar 4.4	Proses Pemancangan CCSP.....	54
Gambar 4.5	Proses Penulangan dan Bekisting.....	55
Gambar 4.6	CCSP yang sudah selesai.....	56
Gambar 4.7	Lokasi Pekerjaan <i>Concrete Panel</i>	58
Gambar 4.8	Data Tanah Lokasi Pekerjaan.....	58
Gambar 4.9	Permodelan SPS menggunakan aplikasi plaxis.....	59
Gambar 4.10	Proses Penulangan <i>Concrete Panel</i>	60
Gambar 4.11	Proses Pengecoran Panel.....	60
Gambar 4.12	Pengangkatan Panel ke Lokasi Pemasangan.....	61
Gambar 4.13	Proses Galian Tanah Lokasi Pemasangan SPS.....	61
Gambar 4.14	Proses Pemasangan <i>Interlock Panel</i>	62
Gambar 4.15	Proses Pengurangan sisi dalam SPS.....	62
Gambar 4.16	Proses Pemasangan Panel Sisi atas.....	63

Gambar 4.17	Perkuatan Tebing SPS yang sudah selesai	63
Gambar 4.18	Grafik Komparasi Biaya Efisiensi Perkuatan Tebing	79





BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pembangunan infrastruktur sumber daya air merupakan bagian penting dalam agenda strategis nasional guna mendukung ketahanan air, pengendalian bencana, dan pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN). Salah satu aspek penting dari infrastruktur ini adalah pekerjaan perkuatan tebing sungai yang berfungsi menjaga kestabilan lereng dan mencegah erosi terhadap struktur kritikal seperti intake atau bendung (Sjahri & Haryanto, 2020). Dalam konteks proyek-proyek strategis nasional, seperti yang dicanangkan dalam Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN), kualitas dan kecepatan pelaksanaan infrastruktur menjadi faktor yang sangat menentukan keberhasilan pembangunan (Handayani, 2021).

Pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN) di Kalimantan Timur merupakan salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) terbesar yang tidak hanya bertujuan sebagai pemindahan pusat pemerintahan, tetapi juga sebagai simbol transformasi menuju kota masa depan yang cerdas, berkelanjutan, dan tangguh terhadap perubahan iklim (Puspitaningrum, 2023). Dalam pelaksanaannya, infrastruktur dasar seperti jaringan jalan, jembatan, bangunan air, dan sarana pendukung lainnya menjadi fondasi utama yang harus diselesaikan secara efisien dan terintegrasi. Salah satu tantangan utama dalam proyek Ibu Kota Nusantara (IKN) adalah terbatasnya waktu pelaksanaan proyek, tingginya volume pekerjaan konstruksi secara simultan, serta kebutuhan terhadap fleksibilitas metode pelaksanaan. Oleh karena itu, diperlukan strategi eksekusi teknis yang tidak hanya mempercepat pekerjaan, tetapi juga tetap mempertahankan mutu dan efisiensi biaya (Wirawan & Susanti, 2022).

Dalam proyek prasarana intake air baku pada kawasan Sungai Sepaku, keberadaan struktur pelengkap seperti perkuatan tebing sungai menjadi sangat krusial untuk mendukung stabilitas fondasi dan mencegah kerusakan akibat gerusan air atau longsor tanah. Salah satu bagian struktural penting adalah dinding perkuatan tebing yang berada di sisi jembatan dan bantaran sungai. Fungsi utamanya adalah sebagai penopang lateral timbunan tanah serta pengaman struktur

utama terhadap gaya hidraulis dan geoteknis. Efektivitas metode pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing sangat memengaruhi kelancaran konstruksi secara keseluruhan, baik dalam aspek teknis, waktu, maupun mutu pekerjaan. Oleh karena itu, pemilihan metode perkuatan yang tepat, adaptif terhadap kondisi lapangan, dan efisien dari sisi biaya merupakan faktor penentu keberhasilan proyek (Haris, Widyawati, & Fitriani, 2022).

Penggunaan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) merupakan salah satu solusi perkuatan tebing yang banyak digunakan pada proyek infrastruktur skala besar karena sifatnya yang kaku, tahan lama, dan mampu menahan tekanan lateral tanah serta beban air dengan baik. Namun, dalam implementasinya, metode *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) juga memiliki keterbatasan yang dapat menghambat progres proyek, terutama dalam kondisi lapangan yang dinamis. Instalasi *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) membutuhkan alat berat khusus, keterampilan pemasangan yang presisi, serta kondisi tanah yang cukup stabil agar proses pemancangan dapat dilakukan dengan optimal (Arif & Irawan, 2022). Di sisi lain, ketersediaan material *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) sangat bergantung pada pasokan dari pabrik precast, yang pada proyek-proyek di kawasan IKN sering mengalami keterlambatan akibat tingginya permintaan. Selain itu, lonjakan harga material dan risiko ketidaksesuaian dengan kondisi tanah lunak juga dapat menyebabkan peningkatan biaya serta waktu pelaksanaan yang tidak efisien (Putra & Lestari, 2020). Hal inilah yang mendorong perlunya evaluasi terhadap metode alternatif yang lebih adaptif dan efisien. Dalam konteks proyek dengan waktu pelaksanaan terbatas seperti di Ibu Kota Nusantara, penggunaan metode konvensional berpotensi menjadi hambatan serius yang perlu dicari solusinya.

Sebagai solusi terhadap keterbatasan metode *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP), salah satu pendekatan alternatif yang diterapkan dalam proyek Intake Sepaku adalah penggunaan Sistem Panel Serbaguna yang diproduksi langsung di lokasi proyek (*on-site fabrication*). Metode ini menggabungkan prinsip modular dari sistem precast dengan fleksibilitas produksi lapangan, sehingga mengurangi ketergantungan terhadap pasokan pabrik serta mempercepat proses instalasi. Dengan elemen beton yang dicetak dan dirakit di lokasi, sistem ini mampu mengatasi hambatan logistik, memperpendek waktu tunggu material, serta

mengoptimalkan kontrol mutu di bawah pengawasan langsung pelaksana lapangan (Suryapratama, Purnomo, & Berliana, 2024). Selain itu, metode ini juga meminimalkan ketergantungan terhadap kondisi cuaca dan mendukung percepatan pelaksanaan pada proyek berskala besar dengan tenggat waktu ketat seperti pembangunan infrastruktur IKN (Santoso, 2020).

Analisis biaya dan waktu menjadi aspek krusial dalam pengambilan keputusan perubahan metode kerja pada proyek konstruksi, termasuk pekerjaan perkuatan tebing sungai. Dalam konteks proyek Intake Sepaku, perubahan metode dari *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) ke Sistem Panel Serbaguna perlu dilandasi oleh evaluasi komprehensif mengenai dampaknya terhadap efisiensi biaya dan percepatan jadwal pelaksanaan (Anugerahanto & Adistana, 2021). Efisiensi biaya tidak hanya mencakup biaya langsung seperti material dan tenaga kerja, tetapi juga biaya tidak langsung seperti risiko keterlambatan, *rework*, serta implikasi kontraktual lainnya. Sementara itu, percepatan waktu pelaksanaan dapat memberikan nilai tambah melalui optimalisasi sumber daya, pengurangan durasi proyek, dan penurunan risiko penalti akibat keterlambatan (Kharina & Sambowo, 2019). Oleh karena itu, diperlukan analisis menyeluruh terhadap kedua aspek tersebut guna memastikan bahwa perubahan metode yang diambil benar-benar layak dari sisi teknis maupun ekonomis.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis perubahan metode pekerjaan perkuatan tebing sungai dari CCSP menjadi SPS pada Proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transimis Sungai Sepaku. Perubahan metode ini dilakukan karena keterbatasan waktu pelaksanaan proyek yang ketat serta adanya tuntutan mutu konstruksi yang tinggi. Penggunaan *Corrugated Sheet Pile* dinilai kurang efisien dalam memenuhi target waktu dan berisiko terhadap mutu hasil pekerjaan akibat ketergantungan pada kondisi lapangan dan cuaca. Oleh karena itu, pemilihan metode precast menjadi alternatif yang dianggap mampu mempercepat pelaksanaan tanpa mengorbankan kualitas. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan rekomendasi yang aplikatif bagi pelaku konstruksi dalam menentukan metode kerja yang optimal, sehingga meningkatkan efisiensi serta kualitas pelaksanaan proyek infrastruktur jalan dan jembatan di Indonesia.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian, rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Bagaimana perbedaan metode pelaksanaan dan *sequence* pekerjaan perkuatan tebing sungai menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile* dan Sistem Panel Serbaguna pada proyek pembangunan prasarana intake dan jaringan pipa transmisi Sungai Sepaku?
2. Bagaimana perbandingan biaya antara penggunaan *Corrugated Concrete Sheet Pile* dan Sistem Panel Serbaguna pada proyek pembangunan prasarana intake dan jaringan pipa transmisi Sungai Sepaku?
3. Bagaimana perbandingan waktu antara penggunaan *Corrugated Concrete Sheet Pile* dan Sistem Panel Serbaguna pada proyek pembangunan prasarana intake dan jaringan pipa transmisi Sungai Sepaku?
4. Metode kerja mana yang lebih efektif dan efisien dari segi biaya dan waktu untuk pekerjaan perkuatan tebing sungai pada proyek pembangunan prasarana intake dan jaringan pipa transmisi Sungai Sepaku?

1.3. Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk :

1. Mendeskripsikan pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing sungai menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile* dan Sistem Panel Serbaguna pada proyek pembangunan prasarana intake dan jaringan pipa transmisi Sungai Sepaku.
2. Menganalisis perbandingan biaya antara penggunaan *Corrugated Concrete Sheet Pile* dan Sistem Panel Serbaguna dalam pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing sungai.
3. Menganalisis perbandingan waktu antara penggunaan *Corrugated Concrete Sheet Pile* dan Sistem Panel Serbaguna dalam pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing sungai.
4. Menentukan metode kerja yang paling efektif dan efisien dari segi biaya dan waktu pada pekerjaan perkuatan tebing sungai di proyek tersebut.

1.4. Batasan Masalah

Untuk menjaga fokus dan ruang lingkup penelitian tetap jelas, maka batasan masalah yang ditetapkan adalah:

1. Penelitian ini hanya difokuskan pada analisis perubahan metode pekerjaan perkuatan tebing dari *corrugated concrete sheet pile* menjadi sistem panel serbaguna, terutama dalam kaitannya dengan pengendalian biaya dan efisiensi waktu pelaksanaan proyek.
2. Studi kasus yang diambil terbatas pada Proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku, Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur.
3. Data yang digunakan dalam penelitian ini meliputi data sekunder dari dokumen proyek serta data primer yang diperoleh melalui wawancara dengan pihak terkait, seperti manajer proyek, kontraktor, dan konsultan pengawas.
4. Penelitian ini tidak membahas aspek teknis mendalam seperti desain struktur, kualitas mutu beton secara rinci, atau keselamatan kerja. Fokus utama adalah pada aspek manajemen pelaksanaan, Khususnya biaya, dan waktu.

1.5. Manfaat Penulisan

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. **Manfaat Praktis**
Memberikan informasi dan rekomendasi yang berguna bagi pelaksana proyek, khususnya dalam memilih metode kerja yang paling efisien dari segi biaya dan waktu pada pekerjaan perkuatan tebing sungai.
2. **Manfaat Akademis**
Menambah khasanah ilmu pengetahuan dan referensi terkait penerapan metode precast dalam konstruksi perkuatan tebing, khususnya dalam konteks proyek Pembangunan prasarana intake dan jaringan pipa transmisi Sungai Sepaku.
3. **Manfaat bagi Pengembangan Proyek Infrastruktur**
Membantu pihak-pihak terkait, seperti kontraktor, konsultan, dan pemilik proyek, dalam merancang strategi pelaksanaan yang optimal untuk mendukung percepatan penyelesaian proyek Bendung dan Jaringan Pipa Transmisi.
4. **Manfaat untuk Peneliti Selanjutnya**
Menjadi acuan dan bahan pertimbangan untuk penelitian lanjutan yang mengkaji aspek biaya, waktu, dan metode pelaksanaan konstruksi pada proyek serupa atau yang lebih kompleks.

1.6. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam penelitian ini disusun sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menguraikan teori-teori yang relevan dengan topik penelitian, seperti manajemen konstruksi, penggunaan *corrugated sheet pile* dan sistem panel serbaguna, aspek biaya dan waktu dalam proyek konstruksi, serta penelitian-penelitian terdahulu yang mendukung.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, termasuk jenis dan pendekatan penelitian, lokasi dan waktu penelitian, teknik pengumpulan data, serta metode analisis data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil analisis perbandingan antara penggunaan *corrugated sheet pile* dan sistem panel serbaguna dalam pekerjaan perkuatan tebing sungai, ditinjau dari aspek biaya dan waktu, serta interpretasi hasilnya.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini memuat kesimpulan dari hasil penelitian serta saran yang dapat diberikan untuk pelaksana proyek maupun untuk penelitian selanjutnya.

DAFTAR PUSTAKA

Berisi daftar referensi yang digunakan dalam penelitian, baik dari buku, jurnal, dokumen proyek, maupun sumber lainnya yang relevan.

LAMPIRAN

Memuat data-data pendukung, gambar teknis, hasil perhitungan, dan dokumen penting lainnya yang digunakan dalam penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Proyek

2.1.1 Definisi Proyek

Proyek merupakan suatu kegiatan sementara yang dilaksanakan untuk mencapai tujuan spesifik dalam batasan waktu, biaya, sumber daya, serta ruang lingkup tertentu. Definisi ini telah banyak dikemukakan dalam berbagai literatur dan standar internasional, salah satunya oleh Project Management Institute (PMI), yang mendefinisikan proyek sebagai “*a temporary endeavor undertaken to create a unique product, service, or result*” (PMI, 2021).

Menurut Kerzner (2017), proyek dapat dipahami sebagai rangkaian aktivitas yang terorganisir dan saling berhubungan, yang dilaksanakan untuk mencapai suatu tujuan tertentu dengan memperhitungkan batasan waktu, anggaran, dan mutu. Dalam pandangannya, keberhasilan proyek tidak hanya diukur dari tercapainya hasil akhir, tetapi juga dari kemampuan manajemen dalam menjaga keseimbangan antara tiga aspek kritis yaitu waktu, biaya, dan mutu (*triple constraint*). Sejalan dengan hal ini, Nasution (2014) menyatakan bahwa proyek merupakan serangkaian kegiatan yang bersifat unik, memiliki siklus hidup terbatas, serta mengandung unsur risiko dan ketidakpastian, sehingga membutuhkan pengelolaan yang sistematis dan terstruktur.

Di lingkungan konstruksi, proyek sering kali melibatkan aspek teknis yang kompleks, sumber daya manusia dari berbagai disiplin ilmu, serta ketergantungan pada faktor eksternal seperti regulasi, kondisi cuaca, hingga teknologi yang tersedia. Soeharto (1997) dalam bukunya menyebutkan bahwa proyek pada hakikatnya adalah suatu kegiatan investasi, di mana terdapat unsur pengeluaran yang signifikan dan bertujuan menghasilkan nilai tambah, baik dalam bentuk fisik (seperti bangunan atau infrastruktur) maupun manfaat ekonomi dan sosial. Dalam konteks inilah, proyek konstruksi tidak dapat dipandang hanya sebagai sekumpulan aktivitas teknis, melainkan sebagai sistem terintegrasi yang memerlukan pengelolaan komprehensif untuk mencapai hasil yang optimal.

2.1.2 Karakteristik Proyek

Setiap proyek memiliki ciri khas yang membedakannya dari kegiatan rutin atau operasional organisasi. Karakteristik ini penting dipahami untuk menentukan pendekatan manajerial yang tepat dalam perencanaan, pelaksanaan, serta pengendalian proyek. Secara umum, terdapat beberapa karakteristik utama yang menjadi atribut universal proyek konstruksi.

Pertama, proyek bersifat sementara, artinya memiliki batasan waktu yang jelas, mulai dari tahap inisiasi hingga penyelesaian. Durasi proyek tergantung pada kompleksitas pekerjaan dan ketersediaan sumber daya, dan setelah tujuan proyek tercapai, maka kegiatan proyek berakhir secara formal. Kedua, proyek bersifat unik, karena meskipun jenis pekerjaan dapat serupa (misalnya membangun jembatan), setiap proyek memiliki kondisi geografis, sumber daya, spesifikasi teknis, serta *stakeholder* yang berbeda, sehingga menimbulkan tantangan tersendiri dalam implementasinya (PMI, 2021).

Ketiga, proyek membutuhkan koordinasi multidisiplin, karena dalam pelaksanaannya melibatkan berbagai pihak seperti pemilik proyek, perencana, kontraktor, konsultan pengawas, hingga pemerintah. Masing-masing pihak membawa peran dan keahlian yang harus disinergikan agar proyek dapat berjalan sesuai rencana. Keempat, proyek dijalankan dalam lingkungan dinamis, dengan kemungkinan terjadinya perubahan terhadap ruang lingkup, jadwal, biaya, dan risiko akibat berbagai faktor eksternal seperti kondisi cuaca, bencana, kebijakan pemerintah, atau fluktuasi harga material. Oleh karena itu, pengelolaan risiko menjadi bagian tak terpisahkan dari manajemen proyek (Kerzner, 2017).

2.1.3 Proyek Bendung

Proyek bendung merupakan salah satu jenis infrastruktur sumber daya air yang berfungsi untuk menaikkan muka air sungai agar dapat dialirkan ke saluran irigasi, pipa transmisi air baku, atau sistem distribusi lainnya. Tidak seperti bendungan (dam) yang menahan air dalam jumlah besar, bendung umumnya

bersifat low head structure dan memiliki elevasi muka air yang lebih rendah (Dirjen SDA, 2021).

Dalam pelaksanaannya, proyek bendung sering kali membutuhkan komponen pendukung seperti perkuatan tebing, *revetment*, atau dinding penahan untuk melindungi bangunan utama dari bahaya erosi dan gerusan sungai, terutama pada sisi hulu dan hilir bendung. Perkuatan tebing pada proyek bendung menjadi krusial karena kestabilan lereng sangat mempengaruhi kinerja hidrolis, umur layanan bangunan, serta keamanan operasionalnya (Sukamto & Prasetya, 2020).



Gambar 2.1 Proyek Bendung Karet Sungai Juana
Sumber : (Majalah Teknik Konstruksi, 2024)

Selain itu, pekerjaan bendung biasanya dilaksanakan pada lokasi dengan kondisi tanah lunak dan aliran sungai aktif, sehingga pemilihan metode konstruksi harus mempertimbangkan kecepatan instalasi, ketahanan terhadap air, dan gangguan terhadap aliran sungai (Bappenas, 2023).

2.2 Perkuatan Tebing

2.2.1 Definisi dan Tujuan Perkuatan Tebing

Perkuatan tebing sungai merupakan suatu bentuk intervensi teknik sipil yang bertujuan untuk meningkatkan kestabilan lereng atau bantaran sungai agar

tidak mengalami longsor, gerusan, atau keruntuhan akibat gaya alamiah seperti aliran air, erosi, dan perubahan debit sungai. Secara umum, pekerjaan ini termasuk dalam kategori *revetment* atau *slope protection*, dan menjadi bagian integral dari sistem pengendalian sungai (Syarif & Lubis, 2018).



Gambar 2.2 Perkuatan Tebing Sungai Kapuas Ruas Makam

Sumber : (Ngadri, 2023)

Menurut Peraturan Menteri PUPR No. 12/PRT/M/2014 tentang Penyelenggaraan Pengendalian Daerah Aliran Sungai, perkuatan tebing berperan dalam menjaga kestabilan geometrik penampang sungai, mempertahankan kapasitas aliran, dan melindungi infrastruktur penting di sekitarnya seperti jembatan, jalan, dan bangunan air dari potensi kerusakan akibat aliran sungai. Struktur perkuatan dapat berupa konstruksi kaku seperti dinding penahan, beton bertulang, sheet pile, maupun struktur fleksibel seperti bronjong (*gabion*), geotekstil, atau vegetasi teknik (*bioengineering*).

2.2.2 Klasifikasi Jenis Perkuatan Tebing Sungai

Perkuatan tebing sungai memiliki berbagai jenis klasifikasi berdasarkan prinsip kerja struktur, material yang digunakan, serta tingkat fleksibilitasnya. Pemilihan jenis perkuatan sangat bergantung pada kondisi hidrologi sungai, karakteristik tanah, ketersediaan material, dan keterbatasan anggaran proyek.

Secara umum, klasifikasi metode perkuatan tebing dapat dikelompokkan ke dalam lima kategori utama berikut:

1. Perkuatan Gravitasi (*Gravity Wall*)

Jenis ini mengandalkan berat struktur itu sendiri untuk menahan tekanan lateral tanah dan air. Umumnya dibuat dari pasangan batu kali, beton massal, atau beton pracetak. Kelebihannya adalah kesederhanaan desain dan pelaksanaan, namun memerlukan fondasi yang kuat karena bobotnya yang besar (Widodo & Hermanto, 2017).

2. Sheet Pile

Merupakan metode dinding vertikal yang ditanam ke dalam tanah menggunakan sistem pemancangan. Bahan yang digunakan bisa berupa baja (*steel sheet pile*), beton bertulang (*precast concrete sheet pile*), atau PVC. *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) termasuk dalam kategori ini, dan sering digunakan pada proyek sungai atau pelabuhan karena kekakuan dan kekuatan lateralnya. Namun, metode ini menuntut alat berat khusus dan kondisi tanah yang mendukung pemancangan (Santosa et al., 2019).

3. Struktur Fleksibel: Bronjong / Gabion

Gabion adalah struktur berbentuk kotak dari kawat baja berlapis seng yang diisi dengan batu belah. Struktur ini bersifat fleksibel, dapat menyesuaikan pergerakan tanah, dan cocok untuk sungai dengan debit rendah hingga sedang. Pemasangannya mudah dan cocok untuk daerah rawan longsor, tetapi kurang efektif jika tekanan air tinggi (Subagio & Hendrawan, 2020).

4. Perkuatan Geotekstil dan Geobag

Geotekstil adalah material sintetik permeabel yang digunakan untuk stabilisasi tanah dan kontrol erosi. Dalam konteks perkuatan tebing, geotekstil dapat digabungkan dengan kantong pasir (*geobag*) untuk memperkuat tebing dari gerusan aliran air. Metode ini ekonomis dan ramah lingkungan, tetapi memerlukan perlindungan tambahan terhadap sinar UV dan abrasi (Wibowo & Astuti, 2018).

5. Sistem Modular / Precast Panel

Merupakan sistem konstruksi yang memanfaatkan panel beton bertulang pracetak yang dirakit secara modular di lapangan. Metode ini dikenal efisien

dalam waktu pelaksanaan dan mutu produk karena produksinya lebih terkontrol. Sistem Panel Serbaguna yang digunakan dalam proyek Intake Sepaku termasuk dalam klasifikasi ini. Metode ini sangat cocok untuk proyek dengan keterbatasan waktu dan akses pasokan material seperti di IKN (Purnomo et al., 2022).

2.3 Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)

2.3.1 Pengertian dan Prinsip Kerja Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)

Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) adalah salah satu jenis elemen struktur perkuatan vertikal yang berbentuk panel beton bertulang dengan permukaan bergelombang (*corrugated*), yang berfungsi sebagai dinding penahan tanah dan pelindung tebing sungai. (Santosa et al., 2019).

Secara prinsip kerja, Fungsi utama CCSP adalah menahan gaya aktif tanah (*active earth pressure*) dan mencegah keruntuhan lereng, terutama pada area tebing sungai yang terancam erosi atau longsor (Yulianto & Hermanto, 2020).

Kedalaman dan dimensi CCSP dirancang berdasarkan parameter geoteknik lokal, tinggi timbunan tanah, dan gaya dinamis dari aliran sungai (Putra & Wahyuni, 2021).



Gambar 2.3 Visualisasi *Corrugated Concrete Sheet Pile*

Dalam proyek-proyek berskala besar seperti infrastruktur sungai dan pelabuhan, CCSP dipilih karena kemampuannya dalam pemasangan cepat dan kekakuan tinggi. Namun, keberhasilan implementasinya sangat bergantung pada kondisi tanah yang memadai untuk pemancangan serta ketersediaan alat berat dan material berkualitas (Santoso & Arifin, 2018).

2.3.2 Komponen *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP) terdiri dari beberapa komponen utama yang dirancang untuk bekerja sebagai satu kesatuan struktur penahan lateral tanah dan air. Komponen-komponen ini disusun untuk memastikan kekakuan, kekuatan, ketahanan terhadap gaya luar, serta kemudahan pemasangan di lapangan. Adapun komponen utama dari sistem CCSP adalah sebagai berikut:

1. Panel CCSP (Lembaran Beton Bergelombang)

Merupakan elemen utama dari sistem CCSP. Panel ini terbuat dari beton bertulang pracetak dengan bentuk bergelombang pada permukaannya (*corrugated*). Fungsi gelombang adalah untuk meningkatkan kekakuan (*rigiditas*) dan kapasitas momen lentur, serta mengurangi risiko deformasi saat menerima gaya lateral dari tanah dan air.

2. Sambungan Panel (Joint System)

Panel CCSP biasanya dilengkapi sistem sambungan antar panel seperti *tongue and groove* atau sistem sambungan lurus (*butt joint*) dengan pengelasan pelat pengikat.

3. Struktur Pengunci / *Anchor*

Pada lokasi dengan tekanan tanah lateral tinggi atau beban tambahan dari struktur di atas, sering ditambahkan *anchor* (angkur) atau *tie-rod* yang menghubungkan CCSP ke struktur penahan belakang.

4. *Top Beam / Cap Beam*

Komponen ini berupa balok beton bertulang yang dipasang di bagian atas deretan panel CCSP untuk:

- a. Menyatukan semua panel menjadi satu sistem kontinu
- b. Menambah kekakuan horizontal

- c. Sebagai elemen struktural tambahan (misalnya untuk balok jalan atau tanggul di atasnya)

5. Lapisan Perkerasan / Proteksi Permukaan

- a. Pada beberapa aplikasi, bagian luar CCSP dapat dilapisi dengan:
- b. *Epoxy coating*: untuk tahan terhadap abrasi atau air laut
- c. Pelapisan anti-retak: untuk memperpanjang umur beton
- d. Filter geotekstil: di bagian belakang, untuk mencegah hilangnya partikel halus akibat tekanan air

2.3.3 Metode Kerja *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

Metode kerja pemasangan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* mencakup serangkaian tahapan teknis yang bertujuan untuk memastikan panel-panel CCSP terpasang secara presisi, stabil, dan berfungsi optimal dalam menahan tekanan lateral tanah serta gaya hidraulis dari aliran sungai.

Berikut adalah tahapan umum dalam metode kerja CCSP:

1. Persiapan Lahan dan Akses Kerja
 - a. Pembersihan area tebing dari semak, akar, atau material lepas.
 - b. Pembuatan akses kerja untuk alat berat (vibro hammer, crane, excavator).
 - c. Penimbunan sementara (*working platform*) bila tanah lunak tidak dapat menopang peralatan.



Gambar 2.4 Proses Persiapan Lahan

5. Penyambungan Antar Panel

- a. Pemeriksaan sambungan antar panel untuk memastikan tidak ada celah (*leak-proof*).
- b. Pengelasan atau penguncian sambungan (jika sistemnya menggunakan pelat baja pengikat).
- c. Pemasangan sealant atau mortar pada sambungan jika dibutuhkan.

6. Pemasangan Top Beam / Cap Beam (Opsional)

- a. Setelah semua panel terpasang, bagian atas dinding bisa diperkuat dengan balok beton bertulang (*cap beam*).
- b. Cetakan dan tulangan cap beam dipasang menyatu di atas deretan panel CCSP.
- c. Dilakukan pengecoran beton untuk menyatukan seluruh panel sebagai struktur tunggal.



Gambar 2.6 Proses Pengecoran *Caping Beam*

7. Pemeriksaan, *Finishing*, dan Dokumentasi

- a. Pemeriksaan vertikalitas dan kedalaman setiap panel.
- b. Pembersihan permukaan dan pengisian celah yang terlihat.
- c. Dokumentasi *as-built* pemasangan sebagai bagian dari laporan teknis proyek.

2.3.4 Kelebihan dan Kekurangan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

Metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* memiliki berbagai keunggulan struktural dan konstruksional yang menjadikannya populer dalam

proyek perkuatan tebing dan bangunan air. Namun, dalam praktiknya, metode ini juga memiliki keterbatasan yang perlu dipertimbangkan, terutama pada proyek dengan kondisi tanah lunak, keterbatasan logistik, dan target waktu ketat seperti proyek Intake Sepaku.

Berikut adalah tabel perbandingan kelebihan dan kekurangan CCSP:

Tabel 2.1 Kelebihan dan Kekurangan *Corrugated Concrete Sheet Pile*

No.	Aspek	Kelebihan	Kekurangan
1	Struktural	Bentuk bergelombang meningkatkan kekakuan dan kapasitas lentur	Tidak fleksibel terhadap pergerakan tanah
2	Durabilitas	Tahan lama dan kuat terhadap tekanan air & tanah	Rentan retakan saat proses pemancangan
3	Metode Kerja	Pemasangan cepat di kondisi ideal dengan alat berat	Sangat tergantung dengan alat berat
4	Mutu & Standar	Produk pra cetak , mutu beton lebih tercontrol	Risiko kerusakan saat mobilisasi & <i>lifting</i>
5	Logistik	Cocok untuk proyek besar dan lokasi terbuka	Sulit diterapkan jika akses alat berat terbatas
6	Biaya	Relatif efisien untuk volume besar	Mahal jika volume kecil

2.4 Sistem Panel Serbaguna

2.4.1 Deskripsi Sistem Panel Serbaguna (*On-Site Precast System*)

Sistem panel serbaguna merupakan metode perkuatan tebing menggunakan elemen beton bertulang modular yang diproduksi secara precast *on-site* (dicetak langsung di lokasi proyek). Metode ini dikembangkan sebagai solusi untuk mempercepat waktu pelaksanaan dan mengurangi ketergantungan terhadap

pasokan pabrik precast seperti pada proyek Intake Sepaku di kawasan Ibu Kota Nusantara (IKN).

Sistem ini terdiri atas panel-panel beton bertulang berbentuk segi empat atau trapesium, yang dirakit secara modular membentuk struktur dinding penahan. Panel dicetak dalam *formwork* khusus menggunakan mutu beton terstandar (biasanya K-300 hingga K-350), dan dilengkapi tulangan horizontal dan vertikal sesuai perhitungan teknis. Pekerjaan pengecoran dilakukan di lokasi proyek dengan pengawasan langsung oleh tim teknis, sehingga mutu produksi tetap dapat dikontrol secara optimal (Suryapratama et al., 2022).

Setelah proses pengecoran dan curing, panel-panel tersebut diangkat dan dipasang pada area tebing menggunakan crane ringan atau alat bantu manual, tergantung ukuran dan berat panel. Penyusunan panel dilakukan secara bertahap dari bawah ke atas dengan sambungan basah (*wet joint*) menggunakan mortar atau bahan pengikat lainnya.



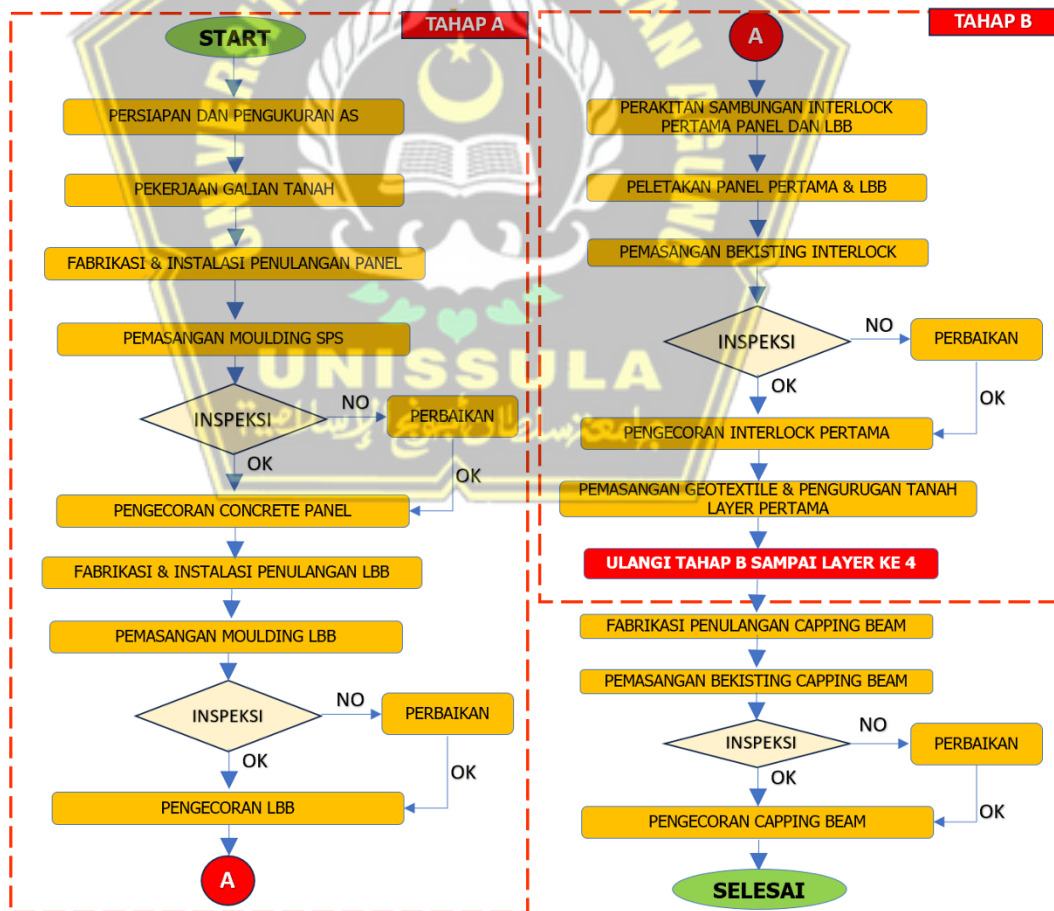
Gambar 2.7 Visualisasi Sistem Panel Serbaguna

Sistem panel serbaguna dikategorikan sebagai solusi semi-precast modular, di mana kontrol mutu tetap dijaga seperti *precast* pabrik, namun seluruh rantai produksinya terjadi di lapangan. Hal ini memungkinkan fleksibilitas dalam desain, efisiensi transportasi, serta adaptasi cepat terhadap kondisi lapangan yang berubah-ubah, termasuk di daerah yang sulit dijangkau kendaraan berat atau pabrik beton (Purnomo & Berliana, 2023).

2.4.2 Proses Produksi Panel di Lapangan (*On-Site Casting*)

Proses produksi dimulai dengan perakitan cetakan panel menggunakan *formwork* baja atau plywood yang telah dipotong dan dibentuk sesuai dimensi perencanaan. Di dalam cetakan ini dipasang tulangan utama (horizontal dan vertikal) serta pengait (lifting hook) jika diperlukan. Setelah itu dilakukan proses pengecoran beton dengan mutu K-300 atau lebih, menggunakan beton *site-mix* (molen) atau *readymix portable*.

Setelah dicor, panel didiamkan selama ± 24 jam dalam kondisi tertutup dan lembap untuk mencegah retak awal, kemudian dilakukan perawatan (curing) selama 5–7 hari agar beton mencapai kekuatan optimal. Panel yang sudah cukup umur kemudian dibongkar dari cetakan, diperiksa secara visual (kualitas permukaan, keretakan, dan dimensi), lalu disiapkan untuk pengangkatan dan pemasangan.



Gambar 2.8 Flow Chart Metode Kerja Sistem Panel Serbaguna

2.4.3 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Panel Serbaguna

Sistem Panel Serbaguna (SPS) merupakan inovasi metode perkuatan tebing sungai yang menggabungkan keunggulan sistem pracetak (*precast system*) dengan fleksibilitas produksi di lapangan (*on-site fabrication*). Metode ini berkembang sebagai solusi untuk mengatasi keterbatasan waktu, logistik, dan ketersediaan material pada proyek-proyek berskala besar seperti pembangunan infrastruktur Ibu Kota Nusantara (IKN).

SPS menggunakan elemen beton bertulang yang dicetak langsung di lokasi proyek dan dirakit secara modular membentuk dinding penahan atau struktur perkuatan tebing. Dengan sistem ini, kontrol mutu tetap terjaga karena proses produksi dapat diawasi langsung oleh tim lapangan. Namun, sebagaimana metode lain, SPS memiliki kelebihan dan keterbatasan yang perlu dipertimbangkan dalam pemilihan metode pelaksanaan proyek.

Tabel berikut merangkum kelebihan dan kekurangan Sistem Panel Serbaguna dibandingkan metode konvensional:

Tabel 2.2 Kelebihan dan Kekurangan Sistem Panel Serbaguna

No.	Aspek	Kelebihan	Kekurangan
1	Waktu Pelaksanaan	Waktu pelaksanaan lebih singkat karena panel dapat diproduksi dan dipasang secara paralel (<i>overlapping activities</i>).	Tidak fleksibel terhadap pergerakan tanah
2	Fleksibilitas Produksi	Dapat diproduksi di lokasi proyek (<i>on-site casting</i>), sehingga mengurangi ketergantungan pada pabrik precast dan mempercepat logistik.	Membutuhkan area kerja yang cukup luas untuk lokasi pencetakan dan penyimpanan panel.
3	Kualitas dan Kontrol Mutu	Kualitas beton dan dimensi dapat diawasi langsung oleh tim teknis lapangan.	Risiko variasi mutu meningkat jika kontrol curing dan

			pencampuran beton tidak disiplin.
4	Efisiensi Biaya	Menghemat biaya transportasi dan mobilisasi alat berat; biaya logistik lebih rendah.	Biaya awal pembuatan cetakan dan peralatan tambahan (formwork, crane kecil) relatif tinggi.
5	Kebutuhan Alat Berat	Dapat menggunakan alat ringan atau crane kecil karena ukuran panel modular.	Masih memerlukan alat angkat sederhana; tidak sepenuhnya bebas dari alat mekanis.
6	Kesesuaian Kondisi Lapangan	Sangat cocok untuk lokasi terpencil, akses terbatas, atau tanah lunak seperti di kawasan IKN.	Kurang efisien jika dilakukan pada area sempit tanpa lahan kerja memadai.
7	Aspek Lingkungan dan Sosial	Dapat melibatkan tenaga kerja lokal dan mengurangi emisi transportasi material jarak jauh.	Produksi di lapangan dapat menimbulkan gangguan sementara (kebisingan, area kerja luas).
8	Risiko Teknis	Risiko kegagalan struktur rendah karena sistem modular yang saling mengunci.	Risiko retak awal pada panel jika perawatan beton (curing) kurang optimal.

2.5 Analisis Waktu Pelaksanaan

Dalam proyek konstruksi, waktu pelaksanaan merupakan salah satu parameter utama yang harus dikendalikan secara ketat. Perubahan metode kerja, seperti dari sistem konvensional ke precast, harus dianalisis dari aspek waktu agar diketahui dampaknya terhadap keseluruhan jadwal proyek.

2.5.1 Pentingnya *Time Management* dalam Proyek

Manajemen waktu (*time management*) merupakan aspek fundamental dalam pengelolaan proyek konstruksi, terutama pada proyek-proyek strategis nasional yang memiliki cakupan luas, anggaran besar, dan pengaruh langsung terhadap kepentingan publik. Dalam konteks pembangunan Ibu Kota Nusantara (IKN), di mana berbagai komponen infrastruktur dikerjakan secara paralel dalam tenggat waktu ketat, keterlambatan pada satu proyek dapat menyebabkan efek domino terhadap proyek lainnya (Kharina & Sambowo, 2019).

Time management yang efektif mencakup perencanaan durasi, penjadwalan aktivitas, pemantauan kemajuan, serta pengendalian terhadap potensi deviasi waktu. Keterlambatan sering kali tidak hanya menyebabkan pembengkakan biaya langsung (*overtime*, perpanjangan alat, dll.), tetapi juga kerugian tidak langsung seperti penalti kontrak, kerusakan reputasi kontraktor, dan dampak sosial akibat terganggunya fungsi layanan publik (Anugrahanto & Adistana, 2021).

Dalam proyek strategis, pencapaian milestone tepat waktu sangat penting karena:

- a. Terkait dengan target nasional atau rencana jangka menengah pemerintah (misalnya RPJMN)
- b. Menjadi indikator utama keberhasilan manajemen proyek
- c. Memengaruhi arus kas, progres fisik, dan efektivitas sumber daya

Penerapan sistem pengelolaan waktu berbasis kurva-S, CPM (*Critical Path Method*), atau *Earned Value Management* menjadi alat penting dalam mendeteksi potensi keterlambatan dan mengoptimalkan penjadwalan ulang (*rescheduling*). Dalam proyek Intake Sepaku, perubahan metode pekerjaan dari CCSP ke sistem panel serbaguna juga harus dievaluasi dari sisi waktu

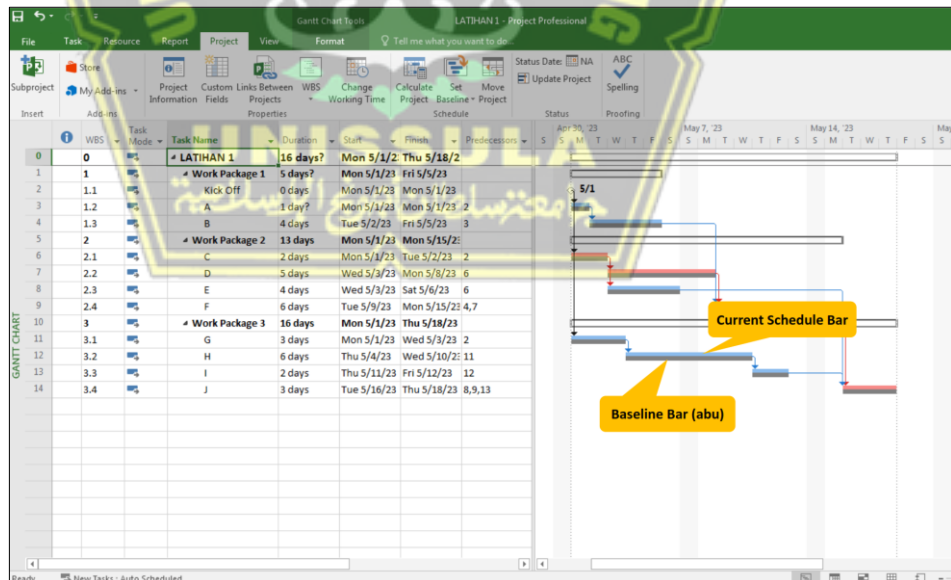
pelaksanaan, karena keputusan teknis yang tepat dapat mempercepat penyelesaian pekerjaan tanpa menurunkan kualitas pekerjaan (Suryapratama et al., 2022).

2.5.2 Penjadwalan

Penjadwalan dalam proyek konstruksi merupakan cara untuk menentukan kegiatan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek dalam urutan pekerjaan serta kerangka waktu tertentu, yang mana setiap kegiatan harus diselesaikan agar proyek selesai tepat waktu dengan biaya seefisien (Widiasanti and Lenggogeni 2014).

Berdasarkan penjadwalan dapat diketahui kapan item-item pekerjaan dimulai, berapa waktu pelaksanaan tiap pekerjaan, bagaimana hubungan antar pekerjaan, serta dapat diketahui apakah pekerjaan tersebut dapat ditunda atau tidak.

Penjadwalan dilakukan dengan cara menentukan urutan kapan aktivitas dimulai dan diselesaikan sehingga kebutuhan sumber daya dan biaya disesuaikan menurut kebutuhan dan waktu pelaksanaannya. Beberapa metode yang sering digunakan untuk merencanakan penjadwalan pada proyek konstruksi diantaranya *Network Planing* dan *Bar Chart*.



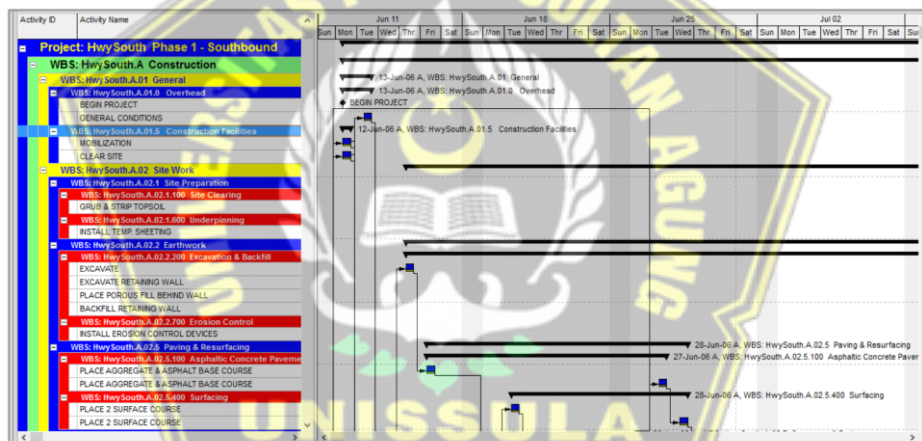
Gambar 2.9 Penjadwalan menggunakan Microsoft Project

Sumber : (Bintoro, 2022)

1. *Barchart* (Diagram Balok)

Barchart merupakan sekumpulan aktivitas yang digambarkan dengan baris horizontal. Waktu mulai dan selesai setiap kegiatan beserta durasinya ditunjukkan dengan menempatkan balok horizontal dibagian sebelah kanan dari setiap aktivitas.

Barchart dapat digunakan untuk menentukan jadwal kebutuhan tenaga kerja pada proyek konstruksi. Yang dimaksud dengan tenaga kerja disini adalah besarnya jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan untuk menyelesaikan bagian pekerjaan dalam satu kesatuan pekerjaan (Ibrahim, 2007) dalam (Widiasanti I. L., 2014) pada gambar adalah contoh *Barchart* dari sebuah proyek konstruksi:



Gambar 2.10 Contoh Tampilan *Bar Chart*

Sumber : (Bintoro, 2022)

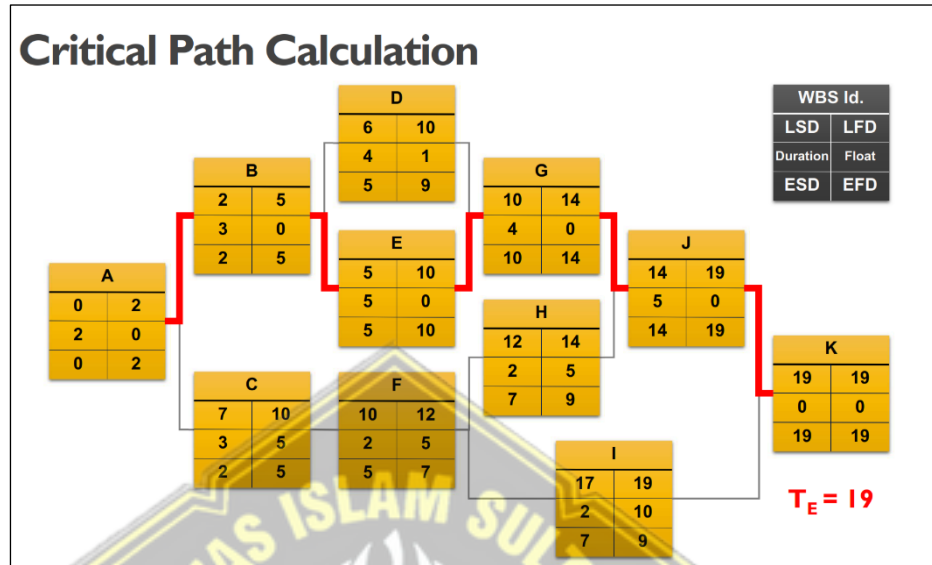
2. *Network Planning* (Jaringan Kerja)

Network Planning merupakan metode penjadwalan yang berbentuk suatu jaringan yang terdiri dari serangkaian kegiatan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu proyek (Pratiwi . A 2017).

Menurut (Widiasanti and Lenggogeni 2014) Ada beberapa hal yang harus dilakukan terlebih dahulu dalam membuat metode jaringan kerja yaitu :

- Menentukan aktivitas/kegiatan,
- Menentukan durasi aktivitas/kegiatan,

- c) Mendeskripsikan aktivitas/kegiatan
- d) Menentukan hubungan yang logis antar aktivitas/kegiatan.
- e) Berikut adalah contoh *Network Planing Activity On Arrow*:



Gambar 2.11 Contoh Tampilan *Network Planning*

Sumber : (Bintoro, 2022)

3. Produktivitas Pekerja

Cepat atau lambatnya suatu proyek sangat dipengaruhi oleh produktivitas pekerja proyek tersebut. Produktivitas bisa kita dapatkan dengan membagi volume pekerjaan yang telah terpasang dengan dengan jumlah mandays yang yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan sebesar volume tersebut. sehingga rumus produktivitas pekerja dapat dirumuskan sebagai berikut (Rostiyanti 2008) :

$$Produktivitas\ Pekerja = \frac{volume\ pekerjaan}{jumlah\ pekerja\ x\ hari\ kerja} \dots\dots\dots(2.1)$$

4. Produktivitas alat

Kinerja / produktivitas suatu alat sangat bergantung pada kinerja alat dan waktu siklus alat yang digunakan. Jadi, rumus dasar kinerja alat adalah (Rostiyanti 2008):

$$\text{Produktifitas Alat} = \frac{\text{kapasitas}}{\text{cycle time}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Pada umumnya *cycle time* alat ditetapkan dalam menit, sedangkan produktifitas alat dihitung dalam produksi/jam. Jika faktor efisiensi dimasukkan maka rumus diatas menjadi (Rostiyanti 2008):

$$\text{Produktifitas} = \text{kapasitas} \times \frac{60}{\text{cycle time}} \times \text{efisiensi} \dots\dots\dots(2.3)$$

dimana :

- Produktivitas dalam (m, m2, m3, ton)/jam
- Kapasitas dalam m, m2, m3, ton
- Waktu siklus (CT) dalam menit

Cycle Time (CT) adalah waktu yang diperlukan suatu alat untuk menyelesaikan satu siklus kerja *Cycle Time* (CT) adalah waktu yang diperlukan suatu alat atau tindakan, dalam hal ini untuk menggali memuat, memindahkan, membongkar dan mengatur ulang. Waktu siklus memiliki beberapa unsur diantaranya (Rostiyanti 2008):

1. Waktu tunggu / *Spotting Time* (ST)
2. Waktu Pembongkaran / *Dumping Time* (DT)
3. Waktu Kembali / *Return Time* (RT)
4. Waktu Angkut / *Hauling Time* (HT)
5. Waktu Muat / *Loading Time* (LT)

Sehingga dari kelima variabel diatas waktu siklus/cycle time dapat dirumuskan sebagai berikut (Rostiyanti 2008) :

$$CT = RT + ST + HT + LT + DT \dots\dots\dots(2.4)$$

Waktu siklus/cycle time dapat juga dihitung dengan menggunakan rumus (Rostiyanti 2008):

$$\text{Cycle Time} = \text{Fixed Time} + \text{Variable Time} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

Variable Time dapat dirumuskan sebagai berikut (Rostiyanti 2008):

$$\text{Variable Time} = \frac{\text{jarak buang}}{\text{kecepatan 1}} + \frac{\text{jarak kembali}}{\text{kecepatan 2}} \dots\dots\dots(2.6)$$

2.6 Analisis Biaya dalam Proyek Konstruksi

Biaya pelaksanaan merupakan salah satu parameter utama dalam menilai efektivitas suatu metode konstruksi. Analisis biaya dilakukan untuk mengetahui besarnya pengeluaran yang diperlukan dalam pelaksanaan proyek, serta membandingkan efisiensi ekonomi antara metode konvensional dan precast.

Biaya pelaksanaan harus melalui perencanaan dimana merupakan rangkaian langkah untuk perkiraan besarnya biaya dari sumber daya yang diperlukan oleh proyek. Langkah-langkah tersebut termasuk mempertimbangkan berbagai alternatif yang mungkin dalam mendapatkan biaya yang paling ekonomis bagi kinerja atau material. Hal ini menyebabkan perencanaan biaya baru dapat diselesaikan bila telah tersedia perencanaan keperluan sumber daya (Widiasanti and Lenggogeni 2014)

2.6.1 Rencana Anggaran Biaya

Rencana anggaran biaya adalah perhitungan jumlah uang yang dibutuhkan untuk bahan dan upah serta biaya lain yang terkait dengan pelaksanaan konstruksi atau proyek. Rencana anggaran biaya bukan merupakan biaya yang sebenarnya, melainkan biaya yang dipakai kontraktor untuk menetapkan harga untuk penawaran. sehingga dalam pelaksanaan nantinya tidak menghabiskan biaya yang melebihi penawaran dan bila memungkinkan diupayakan kurang dari penawaran yang ditetapkan (Remi 2017)

2.6.2 Rencana Anggaran Pelaksanaan

Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) merupakan dokumen perencanaan biaya yang disusun secara rinci berdasarkan gambar kerja, spesifikasi teknis, serta metode pelaksanaan aktual yang digunakan dalam proyek. RAP menjadi acuan utama dalam mengestimasi total biaya yang diperlukan untuk merealisasikan proyek konstruksi di lapangan. Tidak seperti Rencana Anggaran Biaya (RAB) yang bersifat estimatif berdasarkan standar umum, RAP disusun oleh kontraktor pelaksana dengan mempertimbangkan harga pasar aktual, metode kerja yang dipilih (konvensional atau *precast*), serta

analisis produktivitas tenaga kerja dan alat berat. Menurut Kusuma dan Aribowo (2022), RAP mencerminkan kondisi teknis dan ekonomis sebenarnya yang akan dihadapi dalam pelaksanaan proyek, sehingga berfungsi sebagai dasar pengendalian biaya yang lebih realistis dan terukur.

Dalam RAP, seluruh pekerjaan diklasifikasikan ke dalam kelompok biaya langsung dan tidak langsung. Biaya langsung meliputi pengadaan material (seperti beton, tulangan, dan bekisting), tenaga kerja, dan peralatan konstruksi. Sementara itu, biaya tidak langsung meliputi biaya mobilisasi, overhead kantor lapangan, asuransi, serta keuntungan dan pajak. Pemilihan metode pelaksanaan sangat memengaruhi struktur RAP, khususnya dalam perbandingan antara metode konvensional dan metode pracetak. Metode konvensional cenderung memiliki beban biaya lebih besar pada aspek tenaga kerja dan pekerjaan bekisting, sementara metode pracetak lebih tinggi pada biaya pabrikasi, logistik, dan alat berat seperti crane serta trailer.

Meski biaya per unit pada sistem precast sering kali lebih tinggi, metode ini menawarkan efisiensi dalam waktu pelaksanaan dan pengurangan risiko pekerjaan ulang di lapangan. Hal ini sejalan dengan temuan Mushlih (2021), yang menyatakan bahwa RAP metode precast menunjukkan efisiensi biaya jangka panjang karena mengurangi jumlah tenaga kerja lapangan, volume bekisting, serta durasi sewa alat. Oleh karena itu, RAP menjadi instrumen penting dalam membandingkan efektivitas biaya antara dua metode konstruksi berbeda, sekaligus sebagai dasar evaluasi kinerja proyek dari sisi finansial.

Dalam perencanaan anggaran pelaksanaan, terdapat dua kategori biaya utama yang harus diperhitungkan, yaitu biaya langsung dan biaya tidak langsung.

1. Biaya Langsung

Biaya langsung adalah biaya yang diperlukan langsung untuk mendapatkan sumber daya yang akan dipergunakan untuk penyelesaian proyek. Biaya langsung ini juga biasa disebut dengan biaya tidak tetap (*variable cost*) karena sifat biaya ini tiap bulannya jumlahnya tidak tetap, tetapi berubah-ubah sesuai dengan kemajuan pekerjaan. Biaya langsung adalah biaya-biaya

yang dapat dihitung dengan [akurat], yang termasuk biaya ini adalah biaya material, upah, peralatan dan perlengkapan (Hansen, Mowen, and Heitger 2017).

2. Biaya tidak Langsung (*Overhead*)

Biaya Overhead adalah biaya-biaya yang tidak dapat dialokasikan secara spesifik sebagai biaya item pekerjaan. Biasanya biaya overhead ini dinyatakan dalam bentuk presentase dan di distribusikan ke dalam beberapa atau keseluruhan item pekerjaan di dalam Rencana Anggaran Biaya (Hansen, Mowen, and Heitger 2017). Biaya overhead ini tidak ditentukan oleh volume pekerjaan, akan tetapi tergantung pada durasi waktu pekerjaan. biaya tidak langsung akan semakin besar apabila durasi pekerjaan semakin lama dikarenakan biaya untuk membayar gaji pegawai, biaya umum seperti sewa kantor dan keamanan lingkungan dan lain-lain

2.6.3 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Biaya Proyek Konstruksi

Biaya proyek konstruksi dipengaruhi oleh berbagai faktor internal dan eksternal yang saling berinteraksi selama proses perencanaan dan pelaksanaan. Menurut Soeharto (1997), biaya konstruksi adalah fungsi dari sumber daya proyek yang terdiri atas material, tenaga kerja, peralatan, metode pelaksanaan, serta kondisi lingkungan kerja.

Kerzner (2017) menambahkan bahwa estimasi biaya proyek tidak hanya ditentukan oleh kebutuhan teknis, tetapi juga oleh manajemen risiko, kebijakan organisasi, serta kondisi ekonomi makro. Adapun faktor-faktor utama yang memengaruhi biaya proyek konstruksi dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Faktor Desain dan Spesifikasi Teknis

Desain yang kompleks dan penggunaan material berkualitas tinggi cenderung meningkatkan biaya proyek. Perubahan desain (*design change order*) di tengah pelaksanaan juga dapat memicu kenaikan biaya yang signifikan (Nasution, 2014).

2. Faktor Produktivitas Tenaga Kerja

Tingkat produktivitas pekerja sangat menentukan efisiensi biaya. Produktivitas dipengaruhi oleh keterampilan, pengalaman, jam kerja, kondisi cuaca, serta sistem manajemen di lapangan (Rostiyanti, 2008).

3. Faktor Material dan Harga Pasar

Fluktuasi harga bahan bangunan seperti semen, baja, dan beton merupakan salah satu penyebab utama *cost overrun* (Nurdiansyah & Firmansyah, 2020). Selain itu, ketersediaan material lokal, biaya transportasi, dan sistem logistik juga memengaruhi total pengeluaran proyek.

4. Faktor Peralatan dan Teknologi

Jenis, kapasitas, dan efisiensi alat berat mempengaruhi besarnya biaya sewa maupun biaya operasional. Penggunaan teknologi baru, seperti sistem *precast modular* atau panel serbaguna, dapat mengurangi biaya tenaga kerja namun meningkatkan biaya awal investasi (Suryapratama et al., 2022).

5. Faktor Waktu dan Jadwal Pelaksanaan

Keterlambatan proyek menyebabkan meningkatnya biaya tidak langsung seperti *overhead*, biaya sewa alat, serta penalti kontrak (Anugrahanto & Adistana, 2021). Oleh karena itu, sinkronisasi jadwal dan arus kas menjadi faktor penting dalam efisiensi biaya.

6. Faktor Lokasi dan Kondisi Lapangan

Kondisi geoteknik, topografi, dan aksesibilitas memengaruhi volume pekerjaan dan kebutuhan logistik. Proyek di lokasi terpencil seperti kawasan IKN sering menghadapi biaya transportasi dan logistik yang tinggi (Purnomo & Berliana, 2023).

7. Faktor Manajemen dan Pengendalian Proyek

Kemampuan manajerial dalam perencanaan, pengawasan, dan pengendalian biaya berperan besar dalam menjaga efisiensi anggaran. Sistem pengendalian biaya yang baik (*cost control system*) dapat mencegah pemborosan dan kesalahan perhitungan (Kerzner, 2017).

Dalam konteks penelitian ini, analisis perbandingan antara *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) dan Sistem Panel Serbaguna akan

mempertimbangkan beberapa faktor di atas, terutama terkait biaya material, produktivitas alat, serta durasi pelaksanaan.

2.6.4 Hubungan antara Biaya dan Waktu dalam Proyek Konstruksi

Dalam proyek konstruksi, biaya dan waktu memiliki hubungan yang saling memengaruhi (*trade-off*). Menurut Kerzner (2017), setiap upaya mempercepat waktu pelaksanaan (*crashing schedule*) biasanya akan meningkatkan biaya, terutama pada biaya tenaga kerja lembur, mobilisasi alat, dan material cepat pakai. Namun, percepatan waktu juga bisa menurunkan biaya tidak langsung (*overhead*) karena durasi proyek yang lebih singkat.

Dalam konteks penelitian ini, perubahan metode dari *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) ke Sistem Panel Serbaguna mempengaruhi keseimbangan antara biaya langsung dan waktu pelaksanaan. Metode panel serbaguna memiliki *direct cost* relatif tinggi (produksi *on-site*), namun menurunkan *indirect cost* (durasi proyek lebih singkat dan efisiensi alat).

2.6.5 Pengendalian Biaya Proyek (*Cost Control*)

Pengendalian biaya (*cost control*) merupakan upaya untuk memastikan realisasi pengeluaran proyek tetap sesuai dengan rencana anggaran. Tujuan utamanya adalah mendeteksi lebih dini adanya penyimpangan antara rencana dan realisasi agar dapat dilakukan tindakan korektif.

Menurut PMI (2021), tahapan pengendalian biaya meliputi:

1. *Cost planning*: menetapkan baseline anggaran proyek.
2. *Cost monitoring*: memantau penggunaan sumber daya dan progres keuangan.
3. *Cost analysis*: membandingkan antara nilai rencana (*planned value*) dan realisasi (*earned value*).
4. *Cost reporting*: melaporkan hasil pengendalian kepada pihak manajemen.

Dengan sistem ini, manajer proyek dapat menilai apakah proyek berjalan efisien atau mengalami pemborosan biaya. Dalam proyek perkuatan

tebing sungai, metode ini penting untuk membandingkan efektivitas biaya antara CCSP dan Sistem Panel Serbaguna.

2.7 Penelitian Terdahulu

Penelitian-penelitian sebelumnya telah banyak membahas mengenai metode perkuatan tebing sungai menggunakan berbagai pendekatan struktur, seperti *sheet pile* (baja maupun beton) dan sistem modular. Studi ini menjadi landasan penting dalam mengevaluasi efektivitas teknis, efisiensi biaya, dan waktu pelaksanaan suatu metode konstruksi, terutama pada kondisi tanah lunak dan proyek dengan batas waktu ketat.

Berikut ini adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan fokus penelitian ini:



Tabel 2.3 Referensi Penelitian-penelitian Terdahulu

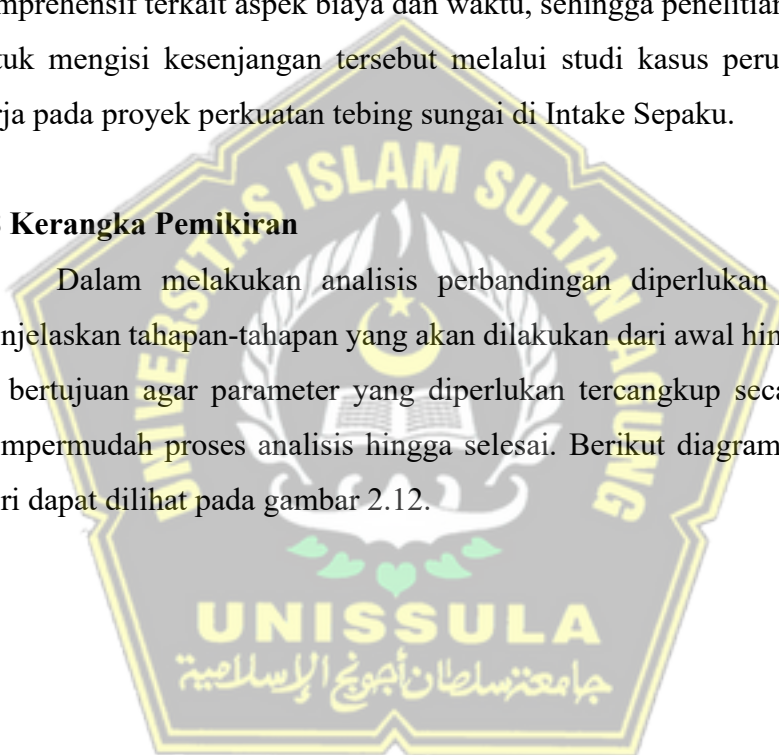
No.	JUDUL	PENULIS DAN TAHUN	METODE	HASIL
1	Analisis Perbandingan Metode Pekerjaan Perkuatan Tebing Sungai Menggunakan Sheet Pile dan Dinding Modular Beton Precast (Studi Kasus Proyek Sungai Serayu)	Wibowo, E. & Rahmatullah, I. (2022)	Studi kasus lapangan dan evaluasi RAB dua metode (sheet pile vs panel modular precast) dengan pendekatan kuantitatif terhadap biaya dan waktu.	Hasil analisis menunjukkan bahwa penggunaan dinding modular precast dapat mengurangi durasi pekerjaan hingga 28% dibanding sheet pile konvensional. Dari sisi biaya, modular precast lebih hemat 15% karena menurunkan biaya logistik dan alat berat. Metode ini direkomendasikan untuk proyek dengan akses terbatas dan kondisi tanah lunak.
2	Analisa Perbandingan Efektivitas Dinding Turap/Sheet Pile Baja dengan Beton di Pelabuhan Belawan (Fase I)	Sitompul, G. (2022)	Perbandingan teknis dan biaya antara sheet pile baja dan beton bertulang melalui data lapangan dan analisis teknis.	Sheet pile beton lebih ekonomis di lokasi urban, tetapi kalah fleksibel dan lambat dari sisi pemasangan dibanding baja, terutama untuk proyek pelabuhan.
3	Evaluasi Fungsi Perkuatan Tebing Menggunakan Corrugated Concrete Sheet Pile pada Sungai Deli	Arifin, T. & Lubis, R. (2021)	Observasi lapangan dan evaluasi teknis proyek CCSP dalam kondisi tanah semi-padat di kawasan perkotaan.	CCSP efektif dari sisi kekuatan, namun pelaksanaannya sulit jika tidak tersedia alat berat dan akses lokasi sempit; biaya tinggi jika lokasi jauh dari pabrik precast.
4	Perbandingan Biaya dan Durasi Penggunaan Sheet Pile dan Bronjong dalam Proyek Sungai di Sumatera Utara	Wahyuni, D. & Fadillah, R. (2020)	Analisis biaya dan waktu dua metode perkuatan melalui data proyek aktual dan simulasi RAB.	Bronjong unggul dalam biaya dan kecepatan pelaksanaan, tetapi kurang tahan lama; sheet pile cocok untuk proyek jangka panjang dan debit tinggi.

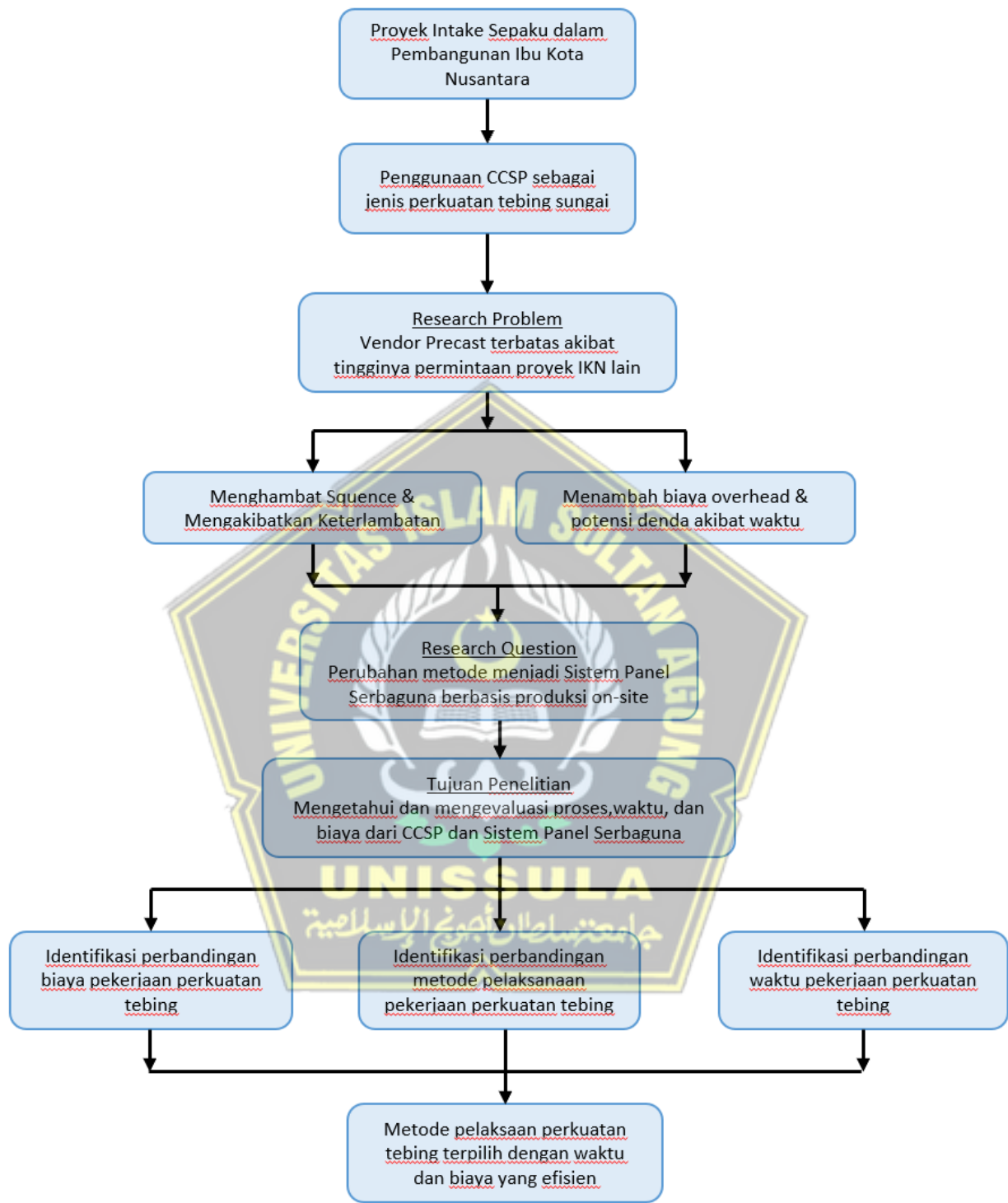
No.	JUDUL	PENULIS DAN TAHUN	METODE	HASIL
5	Implementasi Sistem Panel Modular di Lokasi Terbatas: Studi Kasus Intake Sepaku	Purnomo, A. & Berliana, R. (2023)	Studi kasus pada proyek Intake Sepaku, dengan dokumentasi metode panel pracetak on-site, durasi kerja, dan aspek logistik.	Sistem panel modular lebih cepat dipasang, tidak memerlukan alat berat besar, dan dapat diproduksi mandiri di lokasi; cocok untuk proyek terpencil dan tanah lunak.
6	Efektivitas Panel Precast On-site dalam Proyek Sungai di Kalimantan Timur	Suryapratama, R. Y. et al. (2022)	Evaluasi metode produksi panel modular di lapangan pada proyek sungai dengan durasi terbatas.	Penggunaan panel precast on-site mengurangi ketergantungan pada pabrik precast, mempercepat instalasi hingga 25%, dan mengurangi biaya logistik.
7	Studi Efisiensi Waktu pada Penggunaan Modular Beton dalam Proyek Irigasi Sekunder	Ramadhan, F. & Setiawan, A. (2021)	Studi kuantitatif perbandingan waktu pelaksanaan antara cor in-situ dan modular beton pada saluran irigasi.	Metode modular memungkinkan pekerjaan dilakukan paralel dan efisiensi waktu meningkat hingga 30% dibanding metode konvensional.
8	Identifikasi Penyebab Cost Overrun pada Proyek Pemerintah di Sektor SDA	Nurdiansyah, A. & Firmansyah, B. (2020)	Analisis kualitatif terhadap 8 proyek SDA di Indonesia untuk menemukan penyebab kelebihan biaya.	Keterlambatan pengadaan, metode kerja yang tidak adaptif, dan kesalahan estimasi awal menjadi penyebab utama cost overrun.
9	Pengaruh Pemilihan Metode Kerja terhadap Durasi dan Biaya Proyek Konstruksi	Kharina, F. N. & Sambowo, K. A. (2019)	Studi korelasi antara metode pelaksanaan, waktu pelaksanaan, dan biaya akhir pada proyek infrastruktur jalan dan jembatan.	Metode kerja yang tidak sesuai kondisi lapangan dapat meningkatkan durasi proyek hingga 25% dan menyebabkan penalti kontrak signifikan.
10	Kajian Efisiensi Biaya dan Waktu pada Perbandingan Metode Konstruksi Dinding Penahan Tanah	Anugrahanto, A. & Adistana, A. (2021)	Analisis komparatif precast panel vs cast-in-situ dari segi waktu pelaksanaan, biaya tenaga kerja, dan durasi.	Metode precast modular unggul dalam efisiensi biaya jangka pendek dan durasi pemasangan; cocok untuk proyek berskala besar dengan tenggat ketat.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian terdahulu, metode perkuatan tebing sungai seperti CCSP unggul dari segi kekuatan dan kekakuan struktur, namun memiliki keterbatasan dalam hal biaya, kebutuhan alat berat, dan ketergantungan pada pasokan pabrik precast. Sebaliknya, metode panel modular pracetak yang diproduksi langsung di lokasi proyek lebih efisien dari segi waktu pelaksanaan dan logistik, terutama pada proyek di wilayah terpencil dengan akses terbatas dan kondisi tanah lunak. Meskipun telah banyak studi yang membahas masing-masing metode secara terpisah, masih sedikit penelitian yang membandingkan keduanya secara langsung dalam satu studi komprehensif terkait aspek biaya dan waktu, sehingga penelitian ini dilakukan untuk mengisi kesenjangan tersebut melalui studi kasus perubahan metode kerja pada proyek perkuatan tebing sungai di Intake Sepaku.

2.8 Kerangka Pemikiran

Dalam melakukan analisis perbandingan diperlukan metode yang menjelaskan tahapan-tahapan yang akan dilakukan dari awal hingga akhir. Hal ini bertujuan agar parameter yang diperlukan tercakup secara runtut dan mempermudah proses analisis hingga selesai. Berikut diagram alir kerangka teori dapat dilihat pada gambar 2.12.





Gambar 2.12 Diagram alir kerangka pemikiran

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Bentuk Penelitian

Jenis penelitian tesis ini adalah penelitian komparatif, yaitu membandingkan metode, biaya, dan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan perkuatan tebing sungai menggunakan *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) dan Sistem Panel Serbaguna (*Concrete Panel*) pada proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan dampak penggunaan CCSP dan *Concrete Panel* dalam mencari metode yang paling efisien dari segi biaya dan waktu pelaksanaan.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku yang berlokasi di Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur. Fokus penelitian adalah pada pekerjaan perkuatan tebing sebagai lingkup utama pekerjaan, yang memiliki pengaruh signifikan terhadap keberhasilan dan keberlanjutan proyek secara keseluruhan. Berikut ditampilkan peta lokasi proyek pada Gambar 3.1



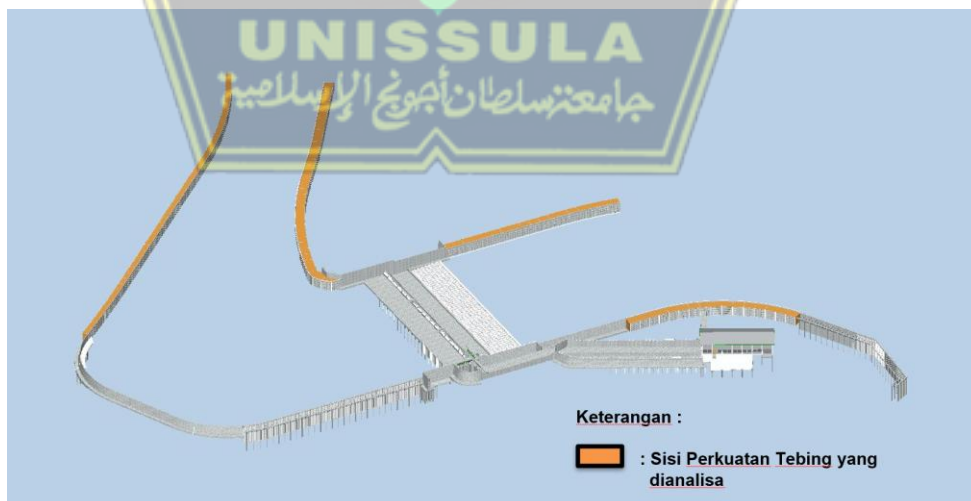
Gambar 3.1 Lokasi Penelitian

Untuk keperluan analisis biaya dan waktu, panjang tebing yang dijadikan sampel perhitungan ditetapkan sepanjang 682,5 meter. Pemilihan panjang 682,5 meter ini didasarkan pada pertimbangan bahwa:

1. Satuan analisis pekerjaan dalam Rencana Anggaran Biaya (RAB) proyek pada umumnya disajikan per satuan panjang (m^1), sehingga perhitungan per 682,5 meter memudahkan proses normalisasi biaya.
2. Panjang 682,5 meter dianggap cukup *representatif* untuk menggambarkan kondisi lapangan aktual, sekaligus memudahkan perbandingan antar-metode pekerjaan (*Corrugated Concrete Sheet Pile* dan Sistem Panel Serbaguna).
3. Data teknis dan volume pekerjaan pada segmen tersebut tersedia lengkap dalam dokumen pelaksanaan proyek dan hasil observasi lapangan.

Dengan demikian, seluruh analisis biaya (RAB dan RAP) serta analisis waktu pelaksanaan (menggunakan metode CPM dan kurva-S) akan dihitung dan dibandingkan untuk segmen tebing sepanjang 682,5 meter, baik menggunakan metode CCSP maupun SPS.

Apabila pada tahap implementasi panjang aktual berbeda, maka hasil perhitungan dapat disesuaikan secara proporsional berdasarkan satuan panjang pekerjaan.



Gambar 3.2 Sisi perkuatan tebing SPS

3.3 Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa cara. Observasi lapangan digunakan untuk memperoleh gambaran nyata terkait pelaksanaan pekerjaan, didukung dengan wawancara kepada pihak terkait seperti *site engineer*, manajer proyek, serta *scheduller* untuk mendapatkan informasi lebih detail mengenai metode, *sequence*, durasi, serta produktivitas pekerjaan. Selain itu, studi dokumen juga dilakukan terhadap metode kerja, laporan proyek, jadwal pelaksanaan (bar chart, network planning, MS Project), serta laporan progres. Data sekunder berupa RAB, RAP, dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) digunakan untuk memperoleh informasi biaya material, upah, peralatan, maupun *overhead*. Seluruh data ini kemudian dikompilasi agar dapat digunakan dalam analisis efektivitas pelaksanaan baik dari segi biaya maupun waktu.

3.4 Metode Pengolahan Data

Alat analisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode perbandingan yang bertujuan untuk mengidentifikasi perbedaan kinerja antara metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* dan Sistem Panel Serbaguna pada pekerjaan perkuatan tebing sungai. Tahapan pengolahan data dilakukan sebagai berikut:

- a. Menyusun dan men-tabulasikan urutan pekerjaan (*sequence*) masing-masing metode berdasarkan observasi lapangan, wawancara dengan pihak proyek, serta dokumen metode kerja. Dari data tersebut diidentifikasi perbedaan tahapan pelaksanaan, kebutuhan alat, jumlah tenaga kerja, serta kesulitan teknis yang dihadapi.
- b. Menghitung kebutuhan biaya pekerjaan pada masing-masing metode dengan menggunakan data Rencana Anggaran Biaya (RAB), Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP), serta Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP). Perhitungan dilakukan dengan memisahkan biaya langsung (material, tenaga kerja, peralatan) dan biaya tidak langsung (*overhead*, mobilisasi).
- c. Mengolah data waktu pekerjaan dengan menggunakan jadwal proyek (bar chart, network planning, MS Project) serta laporan progres. Analisis

dilakukan dengan metode *Critical Path Method* (CPM) dan kurva-S untuk mengetahui total durasi pelaksanaan serta produktivitas tenaga kerja maupun peralatan.

- d. Menggabungkan hasil pengolahan biaya dan waktu untuk menghitung rasio efisiensi biaya dan durasi pekerjaan per satuan panjang tebing yang dikerjakan. Dari data ini ditentukan tingkat efektivitas dan efisiensi masing-masing metode pelaksanaan.

Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) untuk metode CCSP maupun Concrete Panel dihitung dengan mempertimbangkan biaya serta biaya tidak langsung yang terjadi di lapangan. Pengolahan data dilakukan menggunakan perangkat lunak Microsoft Excel dengan acuan harga dari Analisa Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) Kementerian PUPR, ditambah data realisasi biaya pada proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur.

3.5 Metode Analisis Data

Analisis data pada penelitian ini dilakukan dengan pendekatan analisis komparatif, yaitu membandingkan hasil perhitungan biaya dan durasi pekerjaan antara dua metode konstruksi, yaitu *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) dan *Concrete Panel*, pada pekerjaan Perkuatan Tebing Proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku. Tahapan analisis meliputi:

3.5.1 Analisis Biaya

Analisis biaya dilakukan untuk menghitung dan membandingkan total pengeluaran pada masing-masing metode konstruksi. Langkah-langkahnya meliputi:

- a. Identifikasi Item Pekerjaan
 - Menentukan seluruh jenis pekerjaan yang relevan dengan metode CCSP dan *Concrete Panel*.
 - Mengelompokkan pekerjaan berdasarkan komponen utama, seperti pekerjaan persiapan, pekerjaan struktur, dan pekerjaan finishing.

b. Penghitungan Biaya Langsung

- Biaya Material : dihitung berdasarkan volume kebutuhan material yang diperoleh dari gambar kerja dan spesifikasi teknis, dikalikan dengan harga satuan material sesuai AHSP Kementerian PUPR dan data kontrak proyek.
- Biaya Tenaga Kerja : dihitung dari kebutuhan tenaga kerja (mandays) untuk tiap item pekerjaan dikalikan dengan upah harian/jam sesuai standar daerah dan kontrak.
- Biaya Peralatan : dihitung dari waktu penggunaan alat (jam operasi) dikalikan harga sewa atau biaya operasional peralatan.

c. Penghitungan Biaya Tidak Langsung

- *Overhead Lapangan* : meliputi biaya pengawasan, utilitas lapangan, dan fasilitas pekerja.
- *Overhead Kantor & Administrasi* termasuk biaya manajemen proyek, administrasi, dan komunikasi.

d. Rekapitulasi dan Perbandingan

- Menjumlahkan biaya langsung dan tidak langsung untuk mendapatkan total biaya masing-masing metode.
- Menganalisa komponen-komponen biaya menjadi Harga Satuan Jadi Pekerjaan
- Menghitung selisih dan persentase efisiensi biaya antara CCSP dan Concrete Panel.

e. Item Kegiatan Analisis Biaya dan Waktu

Analisis biaya dan waktu dalam penelitian ini dilakukan terhadap seluruh item pekerjaan utama dan pendukung yang terlibat dalam pelaksanaan perkuatan tebing Sungai Sepaku.

Item kegiatan tersebut mencakup pekerjaan mulai dari tahap persiapan, pekerjaan struktur utama, hingga pekerjaan akhir (finishing), sebagaimana dirangkum pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Item Kegiatan yang Dianalisis

NO	URAIAN PEKERJAAN	SATUAN
A	Corrugated Concrete Sheet Pile	
I	Pekerjaan Sheet Pile	
1	Pengadaan & Pemasangan Sheet Pile	m1
2	Pembobokan Sheet Pile	Titik
II	Pekerjaan Geotekstil	
1	Pengadaan & Pemasangan Geotekstill	m2
III	Pekerjaan Spun Pile	
1	Concrete Spun Pile Ø300 C Bottom 12 m	m1
2	Pembobokan Spun Pile	Titik
IV	Pekerjaan Pile Cap	
1	Bekisting Pile Cap	m2
2	Pembesian Pile Cap	kg
3	Pengecoran K-225	m3
4	Lantai Kerja K-125	m3
V	Pekerjaan Angkur	
1	Wailling Beam Besi	kg
2	Pembesian	kg
3	Pengecoran K-225	m3
VI	Pekerjaan Capping Beam	
1	Bekisting Capping Beam	m2
2	Pembesian Capping Beam	kg
3	Pengecoran K-225	m3
B	Pekerjaan Sistem Panel Serbaguna	
1	Pengadaan Panel SPS Pracetak Ukuran 600.150-30 (K-350)	Unit
2	Batang Tekan Uk 30x30x540 cm	Unit
3	Interlock IWF 25 panjang 150 cm	Kg
4	Interlock IWF 25 panjang 150 cm (Penutup)	Kg
5	Pemasangan Geotextile Layer Non Woven (G300)	M2
6	Caping Beam 50 x 40 x 650	M3
6	Pemasangan Panel Beton Pracetak	Unit
7	Pemasangan SPS Steel Interlock	Unit
8	Pemasangan SPS LBB	Unit

3.5.2 Analisis Waktu

Analisis waktu bertujuan untuk membandingkan durasi pekerjaan yang dibutuhkan oleh kedua metode. Langkah-langkahnya meliputi:

a. Identifikasi Kegiatan Konstruksi

- Menentukan daftar aktivitas yang harus dilakukan dalam masing-masing metode berdasarkan urutan logis pekerjaan.

- Menentukan durasi setiap aktivitas berdasarkan pengalaman proyek sebelumnya, produktivitas tenaga kerja, dan spesifikasi alat.

b. Penyusunan Jadwal Kerja

- Menyusun *network* untuk masing-masing metode konstruksi.
- Menentukan *critical path* untuk mengetahui aktivitas yang mempengaruhi durasi keseluruhan proyek.

c. Perbandingan Durasi

- Menghitung total waktu penyelesaian proyek untuk metode CCSP dan *Concrete Panel*.
- Menganalisis potensi percepatan atau keterlambatan yang mungkin terjadi pada setiap metode.

d. Evaluasi Efisiensi Waktu

- Menghitung selisih durasi antara kedua metode.
- Mengkaji pengaruh durasi terhadap potensi biaya tambahan, produktivitas, dan risiko pelaksanaan di lapangan.

3.5.3 Perbandingan Efisiensi

Tahap ini dilakukan untuk menentukan metode konstruksi yang paling menguntungkan dari segi biaya dan waktu. Analisis dilakukan dengan beberapa langkah berikut:

a. Efisiensi Biaya

1. Menghitung Selisih Biaya *Absolut*

$$\Delta C = C_{CCSP} - C_{Concrete Panel}$$

Di mana :

- C_{CCSP} : total biaya metode CCSP
- $C_{Concrete Panel}$: total biaya metode *Concrete Panel*
- ΔC : selisih biaya absolut (dalam rupiah)

2. Menghitung Persentase Efisiensi Biaya Proyek

$$Efisiensi\ Biaya\ (\%) = \frac{\Delta C}{C_{lebih\ mahal}} \times 100\%$$

Rumus ini menunjukkan seberapa besar penghematan biaya dari metode yang lebih murah dibanding yang lebih mahal.

3. Analisis Komponen Biaya

- Membandingkan perbedaan tiap komponen biaya (material, tenaga kerja, peralatan, overhead) antara kedua metode.
- Mengidentifikasi komponen yang memberikan kontribusi penghematan terbesar.

b. Efisiensi Waktu

1. Menghitung Selisih Durasi Absolut

$$\Delta T = T_{CCSP} - T_{Concrete Panel} \dots\dots\dots(3.1)$$

Di mana :

- T_{CCSP} : durasi metode CCSP
- $T_{Concrete Panel}$: durasi metode *Concrete Panel*
- ΔT : selisih durasi absolut (dalam hari)

2. Menghitung Persentase Efisiensi Waktu Proyek

$$Efisiensi Waktu (\%) = \frac{\Delta T}{T_{lebih\ mahal}} \times 100\% \dots\dots\dots(3.2)$$

3. Analisis Aktivitas Kritis (Critical Path)

- Membandingkan durasi aktivitas-aktivitas kritis antara kedua metode.
- Menilai dampak perubahan metode pada potensi percepatan proyek.

c. Efisiensi Gabungan (*Cost-Time Efficiency Index*)

Untuk menilai efisiensi secara keseluruhan, digunakan indeks gabungan yang memperhitungkan efisiensi biaya dan waktu sekaligus:

$$CTEI = \frac{Efisiensi\ Biaya + Efisiensi\ Waktu}{2} \dots\dots\dots(3.3)$$

Indeks ini memberikan gambaran umum metode mana yang paling optimal secara keseluruhan.

3.5.4 Interpretasi Hasil

Interpretasi hasil dilakukan untuk memberikan makna terhadap temuan analisis, sehingga dapat menjawab tujuan penelitian. Hasil analisis biaya dan waktu yang diperoleh dibandingkan secara kuantitatif dan kualitatif untuk menilai tingkat efisiensi antara metode CCSP dan *Concrete Panel*.

1. Interpretasi Hasil Analisis Biaya

- Perbandingan total biaya menunjukkan bahwa salah satu metode memiliki nilai Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) yang lebih rendah, baik pada komponen biaya langsung (material, tenaga kerja, peralatan) maupun biaya tidak langsung (*overhead*, administrasi, mobilisasi).
- Selisih persentase efisiensi biaya dihitung menggunakan rumus:

$$Efisiensi\ Biaya\ (\%) = \frac{Biaya\ Metode\ A - Biaya\ Metode\ B}{Biaya\ Metode\ A} \times 100\% \dots \dots \dots (3.4)$$

- Hasil perhitungan menunjukkan bahwa metode yang lebih murah dapat memberikan penghematan biaya proyek dalam skala signifikan, yang berpotensi meningkatkan keuntungan kontraktor atau mengurangi kebutuhan anggaran pemilik proyek.

2. Interpretasi Hasil Analisis Waktu

- Perbandingan durasi pelaksanaan pekerjaan berdasarkan jadwal rencana menunjukkan bahwa salah satu metode memiliki waktu penyelesaian lebih singkat.
- Selisih durasi dievaluasi terhadap *milestone* proyek untuk melihat dampaknya terhadap jadwal keseluruhan. Rumus efisiensi waktu yang digunakan:

$$Efisiensi\ Waktu\ (\%) = \frac{Durasi\ Metode\ A - Durasi\ Metode\ B}{Durasi\ Metode\ A} \times 100\% \dots \dots \dots (3.5)$$

- Metode dengan durasi lebih cepat berimplikasi pada percepatan penyelesaian pekerjaan, mengurangi risiko keterlambatan, dan menghindari potensi klaim biaya tambahan.

3. Evaluasi Keseluruhan Efisiensi

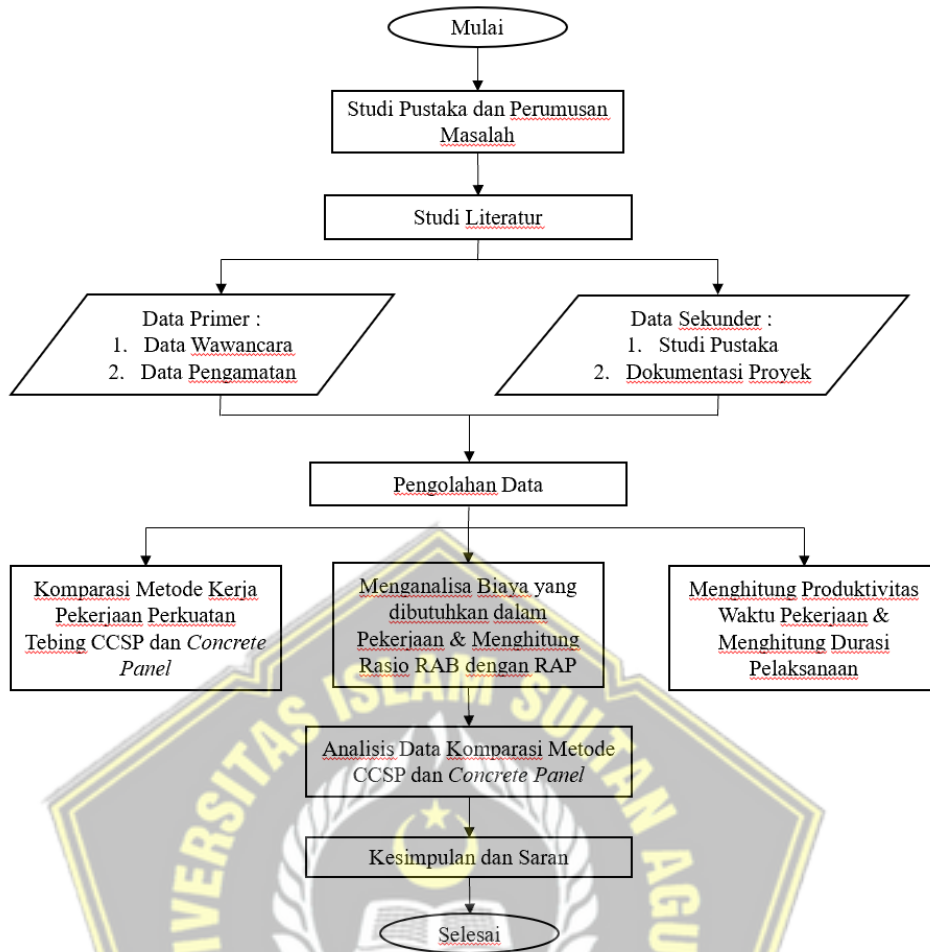
- Efisiensi total dinilai dengan mempertimbangkan keseimbangan antara biaya dan waktu. Jika satu metode lebih murah tetapi lebih lama, atau sebaliknya, interpretasi mempertimbangkan prioritas pemilik proyek (*cost-oriented* atau *time-oriented*).
- Analisis juga mengaitkan hasil dengan kondisi lapangan, seperti akses material, ketersediaan tenaga kerja, dan kondisi cuaca di lokasi proyek di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur.

4. Implikasi Hasil Penelitian

- Bagi pemilik proyek, hasil ini menjadi dasar pengambilan keputusan dalam pemilihan metode konstruksi pada proyek sejenis.
- Bagi kontraktor, hasil ini memberikan gambaran mengenai potensi optimasi sumber daya untuk meningkatkan daya saing penawaran.

3.6 Alur Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan efisiensi biaya dan durasi pekerjaan antara metode *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) dan Concrete Panel pada proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku di Kabupaten Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur. Metodologi penelitian disusun secara sistematis melalui beberapa tahapan yang meliputi pengumpulan data, pengolahan data Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) dengan mempertimbangkan biaya langsung dan tidak langsung, serta analisis perbandingan hasil perhitungan biaya dan durasi antara kedua metode. Alur lengkap penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.3 Bagan Alir Penelitian

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Gambaran Umum Lokasi Studi

Penelitian ini mengambil studi kasus pada Proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku, yang berlokasi di Kabupaten Penajam Paser Utara, Provinsi Kalimantan Timur. Proyek ini merupakan bagian dari Program Strategis Nasional (PSN) dalam rangka penyediaan air baku untuk Ibu Kota Nusantara (IKN). Pekerjaan ini dilaksanakan di bawah koordinasi Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR).

Berikut adalah data proyek dan data teknis dari topik studi kasus :

1. Data Proyek

Berikut adalah data teknis dari Proyek tersebut

- Nama Paket : Proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Transmisi Sungai Sepaku
- Lokasi Proyek : Sungai Sepaku, Desa Sukaraja, Kec. Sepaku, Kab. Penajam Paser Utara, Kalimantan Timur
- Pengguna Jasa : Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Balai Wilayah Sungai Kalimantan IV Samarinda
- Penyedia Jasa : PT. Adhi Karya – Selaras – Ikhsan, KSO
- Konsultan Supervisi : PT. Yodya Karya
- Jenis Kontrak : Harga Satuan
- Nilai Kontrak : Rp. 364.827.967.000,00 (INCL PPN)
- Sumber Dana : APBN
- Cara Pembayaran : Termyn
- Waktu Pelaksanaan : 600 (Enam Ratus Hari Kalender)
- Waktu Pemeliharaan : 365 (Tiga Ratus Enam Puluh Lima Hari)

1.1.Data Teknis

Umum :

- Nama Sungai : Sungai Sepaku
- Catchment Area : 277 Km²
- Debit Pengambilan : 3000 Lt/Detik

Bendung

- Tipe : Bendung Gerak (*Obermeyer*)
- Elevasi Mercu : 2,3 m (Mengembang)
: 0,8 m (Mengempis)
- Lebar Bendung : 117,2 m
- Jumlah Span : 3 Unit (@35 m)
- Pintu Penguras : 4 Unit (@1,5 m)
- Debit Andalan Q90 : 4710 Liter/Detik
- Debit Pengambilan : 3600 Liter/Detik

Elevasi

- Elevasi Dasar Sungai : +1,5 mdpl
- Elevasi Muka Air : +3,8 mdpl
- Elevasi Apron : +1,5 mdpl
- Elevasi Kolam Olak : -0,5 mdpl

Perkuatan Tebing Sungai

- Panjang Hulu Kanan : 696 m (Top Elevasi +7.00)
- Panjang Hulu Kiri : 386 m (Top Elevasi +7.00)
- Panjang Hilir Kanan : 281 m (Top Elevasi +7.00)
- Panjang Hilir Kiri : 330 m (Top Elevasi +7.00)

Dimensi Intake

- Intake : P = 9,2 m; L=4m
Elv. Dasar +3.20; Top Dinding +10
- Feeder Canal : P = 75 m, L = 9,2 m
- Kantong Lumpur : P = 80 m, L = 20,2 m
- Tampungan Reservoir : 15 m x 25 m x 5,5 = 2060,5 m³

Secara umum, proyek ini bertujuan untuk menyediakan pasokan air baku yang stabil dan berkelanjutan bagi wilayah IKN dan sekitarnya. Salah satu komponen utama pekerjaan adalah perkuatan tebing sungai (*revetment work*) di area sekitar bangunan intake air baku Sungai Sepaku, yang berfungsi untuk menjaga kestabilan lereng dan mencegah erosi atau longsor akibat aliran sungai.



Gambar 4.1 Lokasi Proyek Intake Sepaku

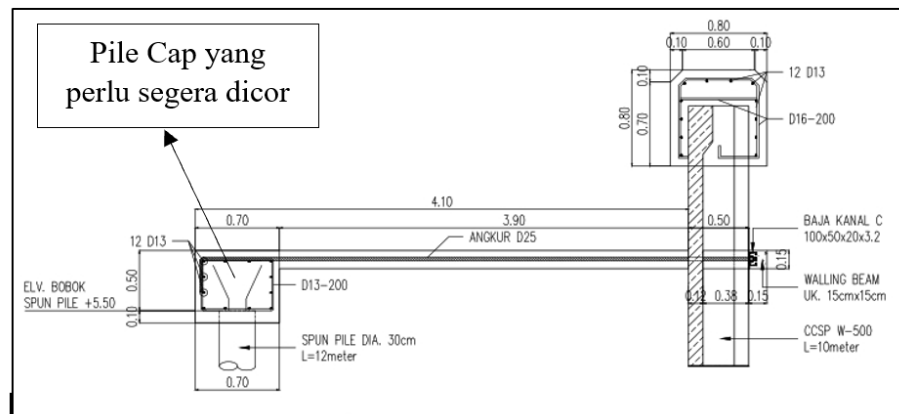
4.2. *Review Design* Perkuatan Tebing Sungai *Corrugated Concrete Sheet Pile* Menjadi *Concrete Panel*

Review design terhadap desain perencana merupakan suatu hal yang perlu diperhatikan oleh kontraktor pelaksana, dimana dengan dilakukannya *review design* ini diharapkan desain dapat dilaksanakan dengan lebih mudah, lebih cepat dan lebih baik. Banyak faktor dari dipilihnya desain ini, di antaranya adalah:

1. Curah Hujan

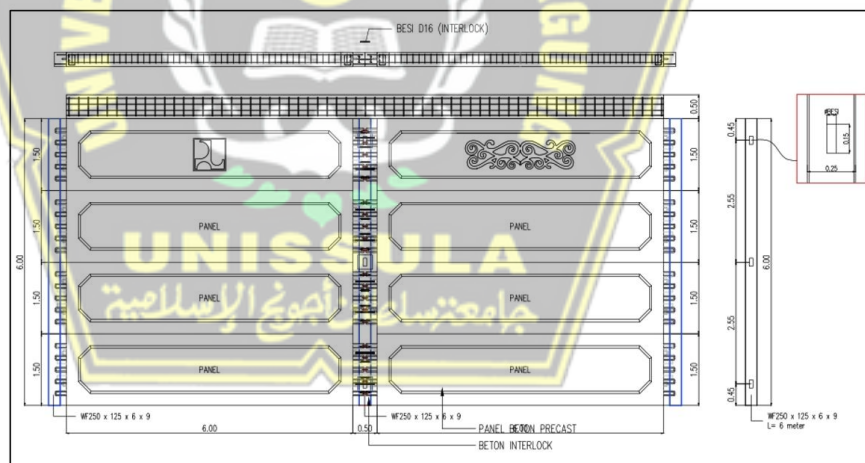
Pekerjaan proteksi tebing dengan menggunakan *CCSP* masih memerlukan adanya pengecoran di lokasi yang mana jika terjadi hujan, maka pengecoran angkur dapat tertunda. Ditambah lagi *CCSP* ini cukup berbahaya apabila tidak segera diangkur ke *Spun Pile* dengan *Pile cap* atau balok, maka *CCSP* ini akan bersifat *free standing* yang mana beban lateral dari tanah di belakang akan mendorong dan akhirnya terjadi keruntuhan. Kemudian dalam menunggu waktu *setting time* yang mana

jika mutu beton tidak segera tercapai, maka struktur yang tercor dapat terjadi *crack* dini jika beban lateral semakin naik akibat hujan.



Gambar 4.2 Potongan Samping perkuatan tebing menggunakan CCSP + CSP

Sebaliknya, Penggunaan *Concrete Panel* tidak terhambat oleh faktor hujan, karena mulai dari fabrikasi dan pemasangan dapat dilaksanakan meskipun kondisi hujan.



Gambar 4.3 Tampak Depan Perkuatan Tebing *Concrete Panel*

2. Metode Percepatan

Penggunaan *Concrete Panel* dinilai lebih efisien dan aman dari segi pelaksanaan pekerjaan, karena metode ini memiliki tingkat kemudahan yang tinggi untuk diterapkan pada berbagai kondisi lapangan. Sistem konstruksi panel pracetak ini bersifat modular, sehingga proses

pemasangan dapat dilakukan dengan cepat melalui tahapan penyusunan dan penyambungan elemen-elemen yang telah diproduksi sebelumnya.

3. Kemampuan Produksi Vendor

Penggunaan *Concrete Panel* dinilai memiliki keunggulan dari sisi kecepatan pelaksanaan dibandingkan dengan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan kapasitas produksi dari vendor penyedia *CCSP* dan *Spun Pile*, yang berpotensi menyebabkan keterlambatan pekerjaan,

Sebaliknya, penerapan *Concrete Panel* menawarkan solusi yang lebih efektif karena tidak memerlukan waktu tunggu produksi dan perawatan beton sebagaimana pada sistem *CCSP*. Elemen struktur *Concrete Panel* dan Lantai Beton Bertulang (LBB) diproduksi secara mandiri oleh kontraktor pelaksana di area proyek.

4.3. Pelaksanaan Pekerjaan di Lapangan

Pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing sungai pada proyek Pembangunan Prasarana Intake dan Jaringan Pipa Transmisi Sungai Sepaku dilakukan dengan dua metode berbeda, yaitu *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* dan Sistem Panel Serbaguna (SPS).

4.3.1 Metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

Pelaksanaan pekerjaan *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* dilakukan melalui beberapa tahapan yang terencana dan sistematis, dengan mempertimbangkan aspek teknis, keselamatan kerja, serta kesesuaian terhadap dokumen perencanaan dan spesifikasi teknis proyek.

Secara umum, pelaksanaan pekerjaan *CCSP* terdiri dari tiga tahapan utama, yaitu (1) tahap persiapan, (2) tahap pelaksanaan utama, dan (3) tahap penyelesaian akhir, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Tahap Persiapan

a. Persiapan Lapangan

Pada tahap awal, dilakukan kegiatan mobilisasi alat dan material ke lokasi proyek, Area kerja dibersihkan dari material pengganggu, vegetasi, dan sisa konstruksi yang dapat menghambat pekerjaan.

b. Survey dan Pengukuran Awal

Dilakukan survey topografi dan pengukuran elevasi dasar tanah untuk menentukan batas area pemasangan, garis as dinding, serta elevasi dasar pemancangan.

c. Pemeriksaan Kondisi Tanah

Selanjutnya dilakukan pengumpulan data tanah, termasuk hasil Soil Investigation dan Soil Properties, untuk menentukan karakteristik tanah dan kedalaman pemancangan yang optimal.

d. Persiapan Dokumen Teknis

Setelah data lapangan diperoleh, dibuat shop drawing, metode pelaksanaan, serta *Job Safety Analysis* (JSA) yang kemudian diajukan kepada konsultan supervisi dan pemilik proyek (*owner*) untuk mendapatkan persetujuan (*approval*) sebelum pekerjaan dimulai.

2. Tahap Pelaksanaan Utama

a. Produksi dan Pengadaan Elemen CCSP

Elemen *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) diproduksi oleh vendor pracetak dengan mutu beton minimal K-500, sesuai spesifikasi proyek.

Karena proses produksi dilakukan di pabrik, maka tahap ini seringkali menjadi sumber keterlambatan apabila vendor memiliki keterbatasan kapasitas produksi atau jika diperlukan waktu tambahan untuk pencapaian mutu beton.

b. Pembuatan Guide Beam

Sebelum pemancangan dilakukan, dibuat guide beam atau guide wall di sepanjang jalur pemasangan CCSP. Struktur ini berfungsi sebagai panduan untuk menjaga posisi, jarak antar elemen, dan ketegakan (vertikalitas) saat proses pemancangan berlangsung.

c. Pemancangan CCSP

Pemancangan CCSP dilakukan menggunakan vibro hammer yang terpasang pada crane. Pemancangan dilakukan secara bertahap dari satu sisi

ke sisi lainnya, dengan tetap memperhatikan alignment, elevasi, dan *interlock* antar panel agar hasil akhir tetap lurus, rapat, dan stabil.

Apabila lapisan tanah keras ditemukan di kedalaman tertentu, dilakukan pre-boring untuk mempermudah penetrasi *CCSP* ke dalam tanah dan mencegah kerusakan pada ujung elemen.



Gambar 4.4 Proses Pemasangan *CCSP*

d. Pemasangan Sistem Angkur (*Spun Pile* dan *Tie Rod*)

Setelah seluruh elemen *CCSP* terpasang, dilakukan pemasangan sistem angkur untuk menahan gaya lateral tanah yang bekerja pada dinding. Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Pemasangan *Spun Pile* pada titik-titik angkur yang telah ditentukan. *Spun Pile* berfungsi sebagai pondasi tarik (*anchor foundation*).
2. Setelah *Spun Pile* terpasang, dilakukan pemasangan tie rod baja yang menghubungkan antara dinding *CCSP* dan kepala *Spun Pile*.
3. Tie rod dipasang dengan panjang dan sudut tertentu sesuai desain, kemudian dilakukan *pre-tension* dan pengecekan alignment agar sistem angkur dapat bekerja secara optimal.

e. Pekerjaan *Pile Cap* dan Balok Angkur

Selanjutnya dilakukan pembuatan bekisting dan penulangan untuk elemen *Pile cap* serta balok angkur (*anchor beam*) yang menjadi pengikat

tie rod dan dinding *CCSP*. Setelah inspeksi oleh konsultan supervisi dinyatakan sesuai, dilakukan pengecoran beton menggunakan mutu yang telah ditentukan.

Setelah pengecoran, dilakukan perawatan beton (*curing*) hingga mencapai kuat tekan minimum yang disyaratkan untuk menerima beban tarik dari *tie rod*.



Gambar 4.5 Proses Penulangan dan Bekisting

3. Tahap Penyelesaian Akhir

a. Pengurangan dan Pemasangan Tanah

Setelah seluruh sistem struktur *CCSP* dan angkurnya selesai terpasang, dilakukan pengurangan tanah kembali di area belakang dinding secara bertahap. Setiap lapisan tanah dihamparkan dan dipadatkan menggunakan *vibro compactor* untuk menghindari penurunan *diferensial*.

b. Pemeriksaan dan *Finishing*

Tahap terakhir meliputi pemeriksaan alignment, elevasi, dan kestabilan struktur, serta uji fungsi sistem angkur. Setelah seluruh hasil pengujian dan inspeksi dinyatakan sesuai dengan spesifikasi teknis, dilakukan pembersihan area kerja (*site cleaning*) dan dokumentasi hasil pekerjaan sebagai bagian dari laporan akhir pelaksanaan.



Gambar 4.6 CCSP yang sudah selesai

Dengan adanya sistem ankur menggunakan *Spun Pile*, metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* memiliki ketahanan lateral yang tinggi terhadap tekanan tanah aktif. Namun demikian, metode ini relatif memerlukan waktu pelaksanaan lebih panjang dibandingkan sistem *Concrete Panel*, karena melibatkan proses pemancangan ganda, pekerjaan beton tambahan (*Pile cap* dan balok ankur), serta waktu tunggu untuk produksi dan curing elemen *CCSP* dari vendor.

4.3.2 Metode Sistem Panel Serbaguna (SPS)

Sebagai alternatif dari metode *CCSP*, digunakan Sistem Panel Serbaguna (SPS) yang menerapkan konsep *on-site precast modular system*, di mana panel beton bertulang dicetak dan dirakit langsung di lokasi proyek. Metode ini memungkinkan pelaksanaan pekerjaan yang lebih cepat dan fleksibel.

A. Tahap Persiapan

1. Alat

Peralatan yang digunakan dalam pelaksanaan pekerjaan *Concrete Panel* terdiri dari beberapa jenis alat utama dan pendukung, yang berfungsi untuk menunjang proses fabrikasi, pengangkutan, serta pemasangan di lapangan.

Adapun alat-alat yang digunakan antara lain:

- a. Alat las, digunakan untuk pekerjaan sambungan dan pengikatan elemen baja pada struktur panel.
- b. Crane, berfungsi untuk mengangkat dan memindahkan elemen panel pracetak pada saat proses pemasangan.

- c. Excavator, digunakan untuk pekerjaan penggalian dan penyiapan area kerja.
- d. Vibro, digunakan untuk pemadatan tanah dasar sebelum pemasangan panel.
- e. *Molding precast*, sebagai cetakan dalam proses pembuatan elemen *Concrete Panel* dan Lantai Beton Bertulang (LBB).
- f. Truck mixer, digunakan untuk mengangkut campuran beton dari batching plant atau *ready mix* menuju lokasi pengecoran.
- g. Dump truck, digunakan untuk pengangkutan material urugan atau tanah hasil galian.
- h. Alat Pelindung Diri (APD), digunakan oleh seluruh personel untuk menjamin keselamatan kerja di lapangan.

2. Personel

Sumber daya manusia yang terlibat dalam pelaksanaan pekerjaan ini terdiri dari tenaga ahli, operator, dan tenaga kerja pelaksana.

3. Bahan

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam pekerjaan ini meliputi:

- a. Beton mutu K-350, digunakan sebagai material utama dalam pembuatan elemen pracetak.
- b. Baja tulangan, digunakan sebagai tulangan utama dan tambahan pada elemen struktur.
- c. *Interlock WF 250.250.9.14*, digunakan sebagai elemen sambungan antar panel untuk memastikan kekakuan struktur.
- d. *Geotextile non-woven*, digunakan sebagai lapisan pemisah dan perkuatan tanah dasar.

B. Tahap Pelaksanaan

Pelaksanaan pekerjaan *Concrete Panel* dilakukan secara bertahap dengan memperhatikan aspek ketelitian, keselamatan kerja, serta kesesuaian terhadap desain yang telah disetujui. Adapun tahapan pelaksanaan pekerjaan adalah sebagai berikut:

a. Survey dan Pengukuran Awal

Pekerjaan diawali dengan kegiatan survei dan pengukuran lokasi untuk menentukan batas area pekerjaan yang akan menggunakan sistem *Concrete Panel*.



Gambar 4.7 Lokasi Pekerjaan *Concrete Panel*

b. Pengumpulan Data Lapangan

Data hasil pengukuran kemudian digunakan sebagai dasar perencanaan struktur *Concrete Panel*, dilengkapi dengan data geoteknik seperti hasil uji *Soil Investigation* dan karakteristik tanah (*Soil Properties*) untuk memperoleh parameter yang dibutuhkan dalam perhitungan stabilitas dinding penahan tanah.

c. Perencanaan Desain Struktur

Setelah seluruh data terkumpul, dilakukan proses perencanaan desain dengan tujuan memperoleh konfigurasi *Concrete Panel* yang memenuhi kriteria keamanan dan stabilitas. Desain harus mengacu pada standar yang diterbitkan oleh Badan Standardisasi Nasional (BSN), yaitu SNI 8460:2017 – Perencanaan Dinding Penahan Tanah, dengan memperhatikan faktor keamanan terhadap geser, guling, dan daya dukung tanah.

d. Pembuatan *Shop Drawing*

Apabila hasil perencanaan telah memenuhi syarat teknis dan faktor keamanan yang ditentukan, maka dilanjutkan dengan pembuatan *shop drawing* sebagai acuan pelaksanaan pekerjaan di lapangan.

e. Fabrikasi Elemen Pracetak

Setelah seluruh dokumen teknis disetujui, tahap berikutnya adalah pelaksanaan fabrikasi *molding precast* di area produksi. Terdapat dua jenis elemen yang difabrikasi, yaitu panel beton dan lantai beton bertulang (LBB).



Gambar 4.10 Proses Penulangan *Concrete Panel*

f. Pekerjaan Penulangan dan Pengecoran

Setelah cetakan (*molding*) selesai dibuat, dilakukan perakitan dan instalasi tulangan baja sesuai gambar kerja. Setelah itu dilakukan pengecoran beton mutu K-350 dengan penambahan aditif untuk mempercepat proses *setting time*, sehingga elemen pracetak dapat segera dilepaskan dari cetakan dan digunakan dalam waktu singkat.



Gambar 4.11 Proses Pengecoran Panel

g. Pembongkaran dan Pengangkutan Elemen Beton

Setelah beton mengalami pengerasan awal selama ± 8 jam dan mencapai mutu yang disyaratkan, elemen pracetak dilepas dari cetakan (*demolding*) dan diangkut menuju area pemasangan menggunakan *crane* dan *dump truck*.



Gambar 4.12 Pengangkutan Panel ke Lokasi Pemasangan

h. Pekerjaan Persiapan Lapangan

Sebelum pemasangan dimulai, dilakukan pekerjaan penggalian tanah hingga mencapai elevasi yang telah direncanakan. Permukaan dasar kemudian dipadatkan menggunakan vibro untuk memastikan kestabilan pondasi panel.



Gambar 4.13 Proses Galian Tanah Lokasi Pemasangan

i. Pemasangan *Interlock* dan Panel Beton

Tahap selanjutnya adalah perakitan dan pemasangan *interlock* WF 250.250.9.14 di lokasi kerja. Setelah *interlock* terpasang, dilakukan

pemasangan panel beton tingkat pertama pada bagian dasar konstruksi dengan menggunakan crane sebagai alat bantu.



Gambar 4.14 Proses Pemasangan *Interlock Panel*

j. Pemasangan Geotekstil dan Pengurugan

Setelah panel tingkat pertama terpasang, dilakukan pelapisan geotekstil non-woven pada bagian bawah dan sisi dalam struktur *Concrete Panel*. Selanjutnya dilakukan pengurugan tanah di belakang panel hingga mencapai tinggi panel terpasang. Proses ini dilakukan secara bertahap hingga seluruh panel pada elevasi yang direncanakan selesai terpasang.



Gambar 4.15 Proses Pengurugan Sisi dalam *Concrete Panel*

k. Penyelesaian Akhir

Setelah seluruh elemen panel dan urugan tanah terpasang sesuai desain, dilakukan pengurugan akhir dan perapihan area belakang struktur sebagai tahap penyelesaian pekerjaan.



Gambar 4.16 Proses Pemasangan Panel Sisi Atas



Gambar 4.17 Perkuatan Tebing *Concrete Panel* yang sudah selesai

4.3.3 Perbandingan Teknis Pelaksanaan *CCSP* dan *Concrete Panel*

Berdasarkan hasil kajian teknis di lapangan, metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* dan *Concrete Panel* memiliki perbedaan yang cukup signifikan dalam hal proses pelaksanaan, waktu, serta efisiensi sumber daya.

Metode *CCSP* menggunakan sistem dinding penahan tanah pracetak yang dipancang ke dalam tanah menggunakan alat. Prosesnya memerlukan beberapa tahapan yang relatif kompleks. Hal ini mengakibatkan durasi pelaksanaan menjadi lebih panjang dan sangat bergantung pada kemampuan produksi vendor pracetak.

Sementara itu, metode *Concrete Panel* menggunakan sistem modular dengan elemen pracetak yang dapat diproduksi langsung oleh kontraktor pelaksana di area proyek. Karena proses produksi dilakukan secara *in-house*, waktu tunggu material dapat diminimalkan. Pekerjaan bersifat *assembly type*, serupa dengan sistem lego modular, yang memungkinkan proses pemasangan lebih cepat dan efisien tanpa tahapan pemancangan dan pengecoran tambahan di lapangan.

Dengan demikian, metode *Concrete Panel* dinilai lebih efisien dalam aspek waktu dan fleksibilitas pelaksanaan, sementara metode *CCSP* unggul dalam aspek kekakuan struktur dan durabilitas terhadap tekanan tanah pada kondisi tertentu.



Tabel 4.1 Perbandingan Teknis *CCSP* dan *Concrete Panel*

NO	ASPEK TEKNIS	<i>CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE</i>	COCONRETE PANEL	HASIL PERBANDINGAN
1	Tahap Persiapan	Memerlukan mobilisasi alat berat (crane, vibro, excavator) serta menunggu produksi <i>CCSP</i> dan <i>Spun Pile</i> dari vendor.	Dapat langsung dimulai setelah <i>molding</i> dan area kerja siap, karena panel diproduksi di lokasi proyek	<i>Concrete Panel</i> lebih cepat dimobilisasi dan tidak tergantung vendor.
2	Proses Produksi	Dikerjakan oleh vendor pracetak dengan waktu produksi $\pm 14-21$ hari termasuk curing beton.	Diproduksi oleh kontraktor pelaksana dengan <i>Carmix</i> dan beton ready mix, waktu curing ± 1 hari.	<i>Concrete Panel</i> lebih fleksibel dan mempercepat siklus produksi.
3	Pekerjaan Angkur	Memerlukan pemasangan <i>Spun Pile</i> sebagai angkur, kemudian dilakukan pengecoran <i>Pile cap</i> dan balok angkur.	Tidak diperlukan sistem angkur tambahan karena mengandalkan berat sendiri dan <i>interlock system</i> .	<i>Concrete Panel</i> lebih mudah dipasang dan lebih sedikit risiko deviasi posisi.

NO	ASPEK TEKNIS	<i>CORRUGATED CONCRETE SHEET PILE</i>	COCONCRETE PANEL	HASIL PERBANDINGAN
4	Metode Pemasangan	Pemancangan vertikal <i>CCSP</i> dengan vibro hammer, kemudian penyambungan antar elemen dan pengangkuran ke <i>Spun Pile</i> .	Pemasangan panel modular secara horizontal-vertikal menggunakan crane, kemudian dilakukan pengurangan bertahap.	<i>Concrete Panel</i> lebih mudah dipasang dan lebih sedikit risiko deviasi posisi.
5	Kebutuhan Tenaga Kerja	Lebih banyak tenaga kerja khusus (operator vibro, tukang las, formwork, dan pengawas tambahan).	Lebih sederhana, hanya memerlukan operator crane dan pekerja beton pracetak.	<i>Concrete Panel</i> lebih hemat tenaga kerja dan manajemen lapangan lebih sederhana.
6	Durasi Pelaksanaan	Relatif lama karena menunggu produksi, curing, pemancangan, pengecoran <i>Pile cap</i> , dan angkur.	Lebih cepat karena sistem <i>precast on-site</i> dan tidak memerlukan curing panjang.	<i>Concrete Panel</i> memiliki durasi pelaksanaan $\pm 40-50\%$ lebih singkat.

Berdasarkan hasil perbandingan, metode *Concrete Panel* memiliki keunggulan pada aspek kecepatan pelaksanaan, kemudahan mobilisasi, dan efisiensi penggunaan sumber daya. Sementara metode *CCSP* tetap relevan digunakan pada kondisi tanah yang membutuhkan daya dukung lateral tinggi atau kedalaman penanaman besar.

4.4. Analisis Biaya Pelaksanaan

Analisis biaya pelaksanaan dilakukan untuk mengetahui perbandingan efisiensi biaya antara penggunaan metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* dan Sistem Panel Serbaguna (SPS) pada pekerjaan perkuatan tebing Sungai Sepaku.

Perbandingan ini didasarkan pada Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) yang disusun berdasarkan volume pekerjaan aktual, harga satuan material, tenaga kerja, serta biaya peralatan di lapangan.

4.4.1 Rencana Anggaran Pelaksanaan Perkuatan Tebing *Corrugated Concrete Sheet Pile*

Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) pekerjaan perkuatan tebing dengan metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* disusun berdasarkan data volume pekerjaan dan harga satuan aktual yang diperoleh dari pelaksanaan di lapangan. Penyusunan RAP ini bertujuan untuk menghitung besarnya total biaya yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan dengan metode *CCSP*, yang nantinya akan dibandingkan dengan metode alternatif yaitu Sistem Panel Serbaguna (SPS).

Penyusunan RAP mengacu pada *Bill of Quantity (BoQ)* proyek dan analisis harga satuan pekerjaan (AHSP) yang berlaku pada proyek pembangunan Intake Sungai Sepaku. Analisis ini dilakukan dengan pendekatan empiris berdasarkan kondisi lapangan aktual, sehingga hasilnya mencerminkan nilai realistis dari pelaksanaan pekerjaan di proyek.

Komponen utama RAP mencakup empat kelompok biaya, yaitu:

- a) Biaya material, meliputi beton pracetak *corrugated*, tulangan baja, semen, pasir, dan bahan pendukung lainnya.
- b) Biaya tenaga kerja, yang terdiri atas pekerjaan persiapan, fabrikasi, dan instalasi di lapangan.

- c) Biaya peralatan, seperti crane, excavator, dump truck, dan vibrator, yang dihitung berdasarkan jam operasi dan produktivitas alat.
- d) Biaya pendukung dan umum, termasuk pekerjaan mobilisasi, pengawasan, serta biaya tak langsung proyek (*indirect cost*).

4.4.1.1 Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing Metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

Perhitungan rekapitulasi biaya pekerjaan sistem *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* disusun berdasarkan hasil analisis volume dan harga satuan (harsat) pada setiap komponen pekerjaan yang telah dijabarkan sebelumnya.

Berikut hasil rekapitulasi biaya pekerjaan *CCSP* berdasarkan Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP):

Tabel 4.2 Rekapitulasi Biaya Pekerjaan *Corrugated Concrete Sheet Pile*

NO	URAIAN PEKERJAAN	RAP CCSP				HARGA PER M'
		PANJANG BENTANG 682,5 M'				
		SAT	VOL	HARSAT	JUMLAH	
I	Pekerjaan Sheet Pile					
1	Pengadaan & Pemasangan Sheet Pile	m1	8,190.00	1,585,170.00	12,982,542,300.00	19,022,040.00
2	Pembobokan Sheet Pile	Titik	683.00	326,111.00	222,733,813.00	326,349.91
II	Pekerjaan Geotekstil					
1	Pengadaan & Pemasangan Geotekstill	m2	1,365.00	81,159.85	110,783,195.25	162,319.70
III	Pekerjaan Spun Pile					
1	Concrete Spun Pile Ø300 C Bottom 12 r	m1	4,095.00	391,840.33	1,604,586,167.51	2,351,042.00
2	Pembobokan Spun Pile	Titik	342.00	297,277.49	101,668,901.58	148,965.42
IV	Pekerjaan Pile Cap					
1	Bekisting Pile Cap	m2	791.70	238,727.32	189,000,419.24	276,923.69
2	Pembesian Pile Cap	kg	18,188.63	14,504.28	263,812,909.82	386,539.06
3	Pengecoran K-225	m3	189.74	1,622,215.23	307,791,006.66	450,975.83
4	Lantai Kerja K-125	m3	39.25	940,141.67	36,900,560.55	54,066.76
V	Pekerjaan Angkur					
1	Wailling Beam Besi	kg	3,753.75	25,537.00	95,859,513.75	140,453.50
2	Pembesian Pile Cap	kg	19,724.25	14,504.28	286,086,044.79	419,173.69
3	Pengecoran K-225	m3	429.98	1,622,215.23	697,520,104.60	1,022,007.48
VI	Pekerjaan Capping Beam					
1	Bekisting Capping Beam	m2	1,525.39	238,727.32	364,152,266.65	533,556.43
2	Pembesian Capping Beam	kg	102,651.41	14,504.28	1,488,884,793.03	2,181,516.18
3	Pengecoran K-225	m3	429.98	1,622,215.23	697,520,104.60	1,022,007.48
					19,449,842,101.03	28,497,937.14

Dari hasil rekapitulasi dapat disimpulkan bahwa:

1. Total biaya perkuatan tebing dengan sistem *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* sepanjang 682,5 meter mencapai Rp 19,45 miliar, dengan rata-rata Rp 28,50 juta per meter panjang (m').
2. Komponen biaya terbesar berasal dari pengadaan dan pemancangan sheet *Pile*, diikuti oleh pekerjaan caping beam dan waling beam sebagai elemen pengikat struktural utama.
3. Sistem *CCSP* memiliki biaya konstruksi tinggi karena menggunakan material beton bertulang dan pekerjaan lapangan intensif, namun menawarkan stabilitas dan durabilitas jangka panjang yang unggul pada kondisi tanah lembek dan tebing sungai dengan tekanan air tinggi.

4.4.1.2 Analisis Perbandingan Biaya Rencana dan Realisasi Metode *CCSP*

Berdasarkan hasil perhitungan Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) pada subbab sebelumnya, diketahui bahwa total biaya pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* sepanjang 682,5 meter mencapai Rp 19.449.842.101,03 atau setara dengan Rp 28.497.937,14 per meter panjang (m').

Namun demikian, nilai tersebut telah mengalami peningkatan signifikan dibandingkan anggaran awal (RAP rencana) yang disusun pada tahap perencanaan awal proyek, yaitu sebesar Rp 15.439.755.601,73 atau Rp 22.622.352,50 per meter panjang.

Tabel 4.3 Komparasi Rencana dan Realisasi Biaya *CCSP*

NO	URAIAN	PANJANG (m')	TOTAL BIAYA (Rp.)	BIAYA PER M' (Rp.)
1	RAP Awal (Rencana)	682,5	15.439.755.601	22.622.352
2	RAP Aktual (Realisasi)	682,5	19.449.842.101	28.497.937
DEVIASI			4.010.086.499	
% DEVIASI			+ 25,97 %	

Peningkatan biaya sebesar Rp 4,01 miliar ($\pm 26\%$) dari rencana awal terutama disebabkan oleh faktor eksternal di luar kendali pelaksana proyek, yaitu:

- 1) Kenaikan harga material konstruksi di kawasan IKN, terutama beton *ready mix*, besi tulangan, dan geotekstil, akibat tingginya permintaan serentak dari banyak proyek strategis nasional di area tersebut.
- 2) Peningkatan biaya transportasi dan logistik, karena pasokan material utama (beton pracetak, besi, semen) berasal dari wilayah Balikpapan dan Samarinda, sementara akses jalan dan infrastruktur logistik masih terbatas.
- 3) Kenaikan biaya alat berat dan BBM solar nonsubsidi, yang berpengaruh langsung terhadap pekerjaan pemancangan, pengecoran, dan mobilisasi alat di lapangan.
- 4) Penyesuaian upah tenaga kerja konstruksi terampil, terutama pekerja spesialis seperti tukang besi dan operator vibro hammer, akibat peningkatan permintaan tenaga kerja di proyek IKN.

Oleh karena itu, perlu dilakukan analisis perbandingan biaya dan efisiensi waktu terhadap sistem alternatif, yakni Sistem Panel Serbaguna (SPS), untuk menilai metode yang paling efektif diterapkan pada kondisi proyek serupa di kawasan IKN.

4.4.2 Rencana Anggaran Pelaksanaan Perkuatan Tebing Sistem Panel Serbaguna (*Concrete Panel*)

Pekerjaan perkuatan tebing dengan sistem Panel Serbaguna (SPS) merupakan alternatif teknologi konstruksi dinding penahan tanah berbasis beton pracetak modular, yang dirancang untuk memberikan efisiensi biaya dan waktu dibandingkan metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*.

4.4.2.1 Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing Metode Sistem Panel Serbaguna (*Concrete Panel*)

Rekapitulasi ini memuat seluruh komponen pekerjaan yang membentuk sistem perkuatan tebing menggunakan Metode Panel Serbaguna Beton Pracetak (SPS). Metode ini mengintegrasikan elemen-elemen pracetak seperti panel SPS, balok LBB, *steel interlock*, *joint* beton, geotekstil, dan capping beam menjadi satu kesatuan struktur yang kaku, stabil, serta efisien terhadap waktu pelaksanaan.

Berikut ini adalah tabel rekapitulasi biaya yang dibutuhkan untuk pekerjaan *Concrete Panel* :

Tabel 4.4 Rekapitulasi Biaya Pekerjaan SPS

Rekapitulasi Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing Concrete Panel					
NO	URAIAN PEKERJAAN	RAP SPS			
		PANJANG BENTANG 682,5 M'			
		SAT	VOL	HARSAT	JUMLAH
I	Pek. Panel SPS Pracetak Ukuran 600.150-30 (K-350)				
1	Pek. Beton Mutu K-350 Panel	Unit	840.00	3,087,583.89	2,593,570,467.60
2	Pek. Pembesian Panel	Unit	840.00	3,767,395.43	3,164,612,161.20
3	Pek. Moulding Panel	Unit	15.00	39,234,268.09	588,514,021.35
4	Upah Borong Produksi	Unit	840.00	1,250,000.00	1,050,000,000.00
5	Biaya Mobilisasi Panel	Unit	840.00	1,323,986.64	1,112,148,777.60
II	Pek. Balok LBB 30x30 5,4 m				
1	Pek. Balok LBB 30x30 5,4 m	Unit	324.00	3,792,219.45	1,228,679,103.00
2	(Inc. Cor, Bekisting, Besi)				
III	Pek. SPS Steel Interlock				
1	SPS Interlock - WF 250.125.6.9	Pcs	864.00	1,837,800.00	1,587,859,200.00
IV	Pek. Pemasangan Panel SPS				
1	Upah Install Panel	Unit	840.00	1,500,000.00	1,260,000,000.00
2	Assembling + erection Interlock (2pcs) +	Unit	108.00	1,750,000.00	189,000,000.00
3	Fabrikasi H beam	Unit	216.00	500,000.00	108,000,000.00
V	Pek. Pengecoran SPS Steel Interlock				
1	Pek. Kolom Interlock SPS	m3	226.80	3,485,887.37	790,599,256.28
2	(Inc. Cor, Bekisting, Besi)				
VI	Pek. Geotextile Layer Non Woven (G300)				
1	Geotextile Non Woven	m2	11,107.69	40,000.00	444,307,500.00
2	Upah Geotektil	m2	10,578.75	10,000.00	105,787,500.00
VII	Pek. Capping Beam				
1	Pek. Capping Beam				
2	(Inc. Cor, Bekisting, Besi)	m3	136.86	3,200,099.85	437,965,664.92
VIII	Royalti SPS				
1	Royalti Panel SPS	Unit	840.00	2,500,000.00	2,100,000,000.00
2	Royalti Balok LBB	Unit	324.00	1,295,000.00	419,580,000.00
3	Royalti Interlock SPS	Pcs	864.00	625,000.00	540,000,000.00
					17,720,623,651.95

Dari tabel di atas dapat disimpulkan bahwa :

Total biaya pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing dengan metode Sistem Panel Serbaguna (SPS) untuk panjang bentang 682,5 meter adalah sebesar Rp 17.720.623.651,95, atau rata-rata Rp 25.964.283,74 per meter panjang.

4.4.3 Rencana Anggaran Biaya Perkuatan Tebing

Rencana Anggaran Biaya (RAB) merupakan dokumen keuangan yang menunjukkan total biaya yang akan dibayarkan oleh pemilik proyek (*owner*) kepada kontraktor sebagai imbalan atas pelaksanaan pekerjaan konstruksi.

Berbeda dengan RAP (Rencana Anggaran Pelaksanaan) yang bersifat internal (menggambarkan biaya riil pelaksanaan di sisi kontraktor), RAB telah mencakup unsur-unsur tambahan seperti:

- 1) Overhead dan Profit (OHP) kontraktor,
- 2) Pajak Pertambahan Nilai (PPN) sesuai ketentuan pemerintah, dan
- 3) Faktor risiko dan kontingensi proyek.

Dengan demikian, RAB mencerminkan nilai kontrak proyek (Contract Value) yang akan tercantum dalam dokumen kontraktual antara pemilik pekerjaan dan pelaksana.

RAB pekerjaan Perkuatan Tebing) disusun berdasarkan:

- 1) Hasil analisis biaya pelaksanaan (RAP) yang diperoleh dari Bab IV,
- 2) Volume pekerjaan hasil perhitungan teknis (quantity take-off),
- 3) Harga satuan terkini sesuai survei di wilayah proyek (IKN, Kalimantan Timur),
- 4) Ketentuan standar biaya konstruksi dari Permen PUPR No. 28/PRT/M/2016,
- 5) Penambahan komponen Overhead & Profit (10%) dan PPN (11%) terhadap nilai RAP.

Berikut ini adalah tabel rincian Rencana Anggaran Biaya pekerjaan perkuatan tebing :

Tabel 4.5 Rencana Anggaran Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing

No.	Uraian Pekerjaan	Vol (m1)	Harga Satuan	Jumlah
1	Metode CCSP	682,5	36.739.978	25.075.035.318,57
2	Metode SPS	682,5	38.283.200	26.128.284.061,17
Deviasi (SPS – CCSP)				1.053.248.742,60

Dari tabel di atas total nilai Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan Perkuatan Tebing Metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* sepanjang 682,5 meter adalah sebesar Rp 25.075.035.318,57, sedangkan untuk Metode SPS sebesar Rp 26.128.284.061,17.

4.5. Analisis Waktu

Analisis waktu pekerjaan dilakukan untuk memperkirakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan dalam proyek konstruksi. Perhitungan waktu dilakukan dengan membagi volume dari masing-masing pekerjaan dengan produktivitas pekerjaan. Setelah durasi dari masing-masing pekerjaan didapatkan, selanjutnya dilakukan perhitungan durasi total pekerjaan menggunakan Microsoft Excel untuk memudahkan dalam menyusun urutan pekerjaan dan hubungan ketergantungan antar pekerjaan.

4.5.1. Rekapitulasi Waktu Pelaksanaan Metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)*

Rekapitulasi waktu pelaksanaan metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* disusun berdasarkan hasil perhitungan durasi masing-masing item pekerjaan.

Penjadwalan keseluruhan divisualisasikan dalam bentuk diagram Gantt (*Gantt Chart*) untuk menggambarkan urutan, durasi, serta tumpang tindih (*overlap*) antar aktivitas pekerjaan selama pelaksanaan proyek.

Keterangan *Gantt Chart*:

1. Sumbu horizontal (*X-axis*) menunjukkan rentang waktu pelaksanaan pekerjaan dalam satuan hari dan minggu, dengan total 128 hari kalender (± 18 minggu).

Diagram dibagi dalam kolom Bulan ke-1 sampai Bulan ke-5 sesuai periode pelaksanaan.

2. Sumbu vertikal (*Y-axis*) berisi daftar jenis pekerjaan utama dan subpekerjaan
3. Blok berwarna (warna oranye) menunjukkan periode aktif pelaksanaan pekerjaan.

Panjang blok menggambarkan durasi tiap pekerjaan, sedangkan posisi antar blok memperlihatkan hubungan waktu antar kegiatan.

4. *Overlap* antar kegiatan terlihat jelas pada pekerjaan yang berjalan bersamaan, seperti:

- Pembobokan *Sheet Pile* berjalan paralel dengan Pemancangan *Sheet Pile*.
- Pemancangan *Spun Pile* dimulai saat *Sheet Pile* belum sepenuhnya selesai.
- *Pile Cap* dilakukan bertahap setelah sebagian *Spun Pile* terpasang.
- *Capping Beam overlap* dengan pekerjaan *Wailing Beam*.

5. Jalur kritis proyek (*critical path*) terdiri atas:

Pemancangan *Sheet Pile* - Pemancangan *Spun Pile* - *Pile Cap* - *Wailing Beam* - *Capping Beam*

Rangkaian ini menentukan total waktu pelaksanaan proyek selama 128 hari kalender.

Berdasarkan *Gantt chart* pada Gambar 4.24, metode *Corrugated Concrete Sheet Pile (CCSP)* memerlukan waktu pelaksanaan selama 128 hari kalender atau 18 minggu kerja, dengan beberapa kegiatan berjalan secara tumpang tindih untuk meningkatkan efisiensi waktu.

4.5.2 Rekapitulasi Waktu Pekerjaan Sistem Panel Serbaguna (SPS)

Berdasarkan hasil analisa waktu pada setiap item pekerjaan sistem Sistem Panel Serbaguna (SPS), rangkaian pelaksanaan konstruksi dapat dikelompokkan menjadi dua tahap utama:

Tahap Produksi Panel SPS Pracetak, meliputi kegiatan fabrikasi besi, produksi panel pracetak, dan fabrikasi serta produksi balok LBB di area precast yard;

1. Tahap Instalasi *Concrete Panel*, meliputi pekerjaan instalasi panel di lapangan, perakitan dan pemasangan balok LBB, pemasangan bekisting interlock, pengecoran sambungan (*joint interlock*), serta pengurugan tanah bertahap.
2. Setiap tahapan dilaksanakan secara terkoordinasi dan tumpang tindih (*overlap*) antara proses fabrikasi dan instalasi, sehingga durasi keseluruhan proyek dapat dipersingkat secara efektif.

Tabel berikut menunjukkan *Gantt Chart* pelaksanaan pekerjaan metode Sistem Panel Serbaguna (SPS), yang memvisualisasikan urutan waktu dan tumpang tindih antar kegiatan dari tahap fabrikasi hingga pekerjaan akhir:



Grafik ini memperlihatkan keterkaitan antar pekerjaan, di mana beberapa aktivitas berlangsung paralel (misalnya fabrikasi dan instalasi), sedangkan beberapa pekerjaan seperti pemasangan panel dan bekisting bersifat sequential.

A. Analisis Durasi Keseluruhan

1. Total Waktu Pelaksanaan

- Berdasarkan perhitungan durasi dan penjadwalan kerja, total waktu penyelesaian seluruh rangkaian pekerjaan sistem Sistem Panel Serbaguna (SPS) adalah ± 102 hari kalender atau sekitar 15 minggu.
- Durasi ini sudah termasuk proses fabrikasi, instalasi lapangan, curing, serta kegiatan pendukung seperti pengurugan bertahap.

2. Keterpaduan Tahapan

- Pelaksanaan dilakukan dengan sinkronisasi antara pekerjaan di precast yard dan lapangan, sehingga pekerjaan tidak menunggu penyelesaian penuh tahap sebelumnya.
- Pola overlap ini memungkinkan produksi panel dan fabrikasi besi berlangsung bersamaan dengan pekerjaan instalasi di lapangan.

3. *Critical Path* (Jalur Kritis)

- Jalur kritis dalam metode ini mencakup urutan:
Fabrikasi panel → Produksi panel → Instalasi panel (layer 1–4) → Pemasangan bekisting interlock → Pengecoran *joint interlock*.
- Kegiatan lain seperti pengurugan atau fabrikasi balok LBB berada di luar jalur kritis namun tetap mendukung progres utama.

Berdasarkan hasil analisis penjadwalan yang telah dilakukan, metode Sistem Panel Serbaguna (SPS) menunjukkan durasi pelaksanaan yang lebih singkat dibandingkan dengan metode pembanding. Perbedaan durasi ini tidak hanya dipengaruhi oleh penggunaan elemen pracetak, tetapi juga oleh karakteristik metode pelaksanaan yang memungkinkan terjadinya *overlapping activity* atau pekerjaan yang dilakukan secara bersamaan.

Pada metode SPS, beberapa tahapan pekerjaan dapat dilaksanakan secara paralel, seperti pekerjaan pemancangan sheet pile pada satu segmen yang dapat berjalan bersamaan dengan pekerjaan persiapan segmen berikutnya, *Overlapping*

sangat berpengaruh pada proses produksi *Precast on site* yaitu proses instalasi panel dapat berjalan sembari melakukan proses produksi *Precast* untuk segmen berikutnya. Pola pelaksanaan ini memungkinkan pengurangan waktu tunggu antar aktivitas, sehingga durasi total pelaksanaan proyek menjadi lebih efisien.

Berbeda dengan metode pembanding yang umumnya dilaksanakan secara berurutan (*sequential*), di mana suatu tahapan pekerjaan harus diselesaikan terlebih dahulu sebelum tahapan berikutnya dapat dimulai. Kondisi tersebut menyebabkan terbatasnya peluang untuk melakukan *overlapping activity* dan berdampak pada durasi pelaksanaan yang relatif lebih panjang.

Pola *overlapping activity* pada metode SPS juga tercermin pada jadwal pelaksanaan proyek, di mana beberapa aktivitas utama dapat dilakukan secara bersamaan tanpa saling mengganggu tahapan pekerjaan lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa penjadwalan metode SPS lebih fleksibel dan adaptif terhadap pembagian segmen pekerjaan di lapangan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *overlapping activity* merupakan faktor utama yang menyebabkan metode SPS memiliki durasi pelaksanaan yang lebih cepat dibandingkan metode pembanding. Kemampuan metode SPS dalam mengakomodasi pekerjaan yang berjalan secara bersamaan memberikan kontribusi signifikan terhadap efisiensi waktu pelaksanaan proyek.

Dengan total waktu penyelesaian 102 hari kalender, metode Sistem Panel Serbaguna (SPS) menunjukkan pola kerja yang efisien, sistematis, dan mudah dikontrol. Tahapan pekerjaan saling terintegrasi antara area *precast yard* dan lapangan, menghasilkan sistem pelaksanaan konstruksi yang efektif dan terukur.

4.6. Analisis Efisiensi Biaya dan Waktu Pekerjaan Perkuatan Tebing

4.6.1 Efisiensi Biaya Pekerjaan Perkuatan Tebing

Analisis nilai tambah konstruksi bertujuan untuk mengidentifikasi selisih antara biaya pelaksanaan (RAP) yang dikeluarkan kontraktor dengan biaya kontrak (RAB) yang dibayarkan oleh pemilik pekerjaan. Selisih positif dari kedua nilai tersebut mencerminkan nilai tambah proyek atau margin keuntungan, yang juga dapat diartikan sebagai indikator efisiensi ekonomi pelaksanaan pekerjaan.

Analisis dilakukan dengan menggunakan persamaan umum:

- *Laba atau Nilai Tambah* = $RAB - RAP$
- *Margin Efisiensi* = $\frac{(RAB-RAP)}{RAB} \times 100\%$

Perhitungan ini menggambarkan tingkat efisiensi biaya yang dihasilkan dari metode pelaksanaan, serta kemampuan kontraktor dalam mengelola sumber daya agar memperoleh keuntungan yang wajar dan kompetitif.

Tabel 4.8 Komparasi Efisiensi Biaya Perkuatan Tebing

NO	METODE PERKUATAN	TOTAL RAP (Rp.)	TOTAL RAB (Rp.)	DEVIASI	MARGIN (%)
1.	<i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i> (Rencana)	15.439.755.601	25.075.035.318	9.635.279.717	38.43
2.	<i>Corrugated Concrete Sheet Pile</i> (Realisasi)	19.449.842.101	25.075.035.318	5.625.193.217	22.43
3.	Sistem Panel Serbaguna	17.720.623.651	26.128.284.061	8.407.660.410	32.18
Deviasi CCSP Rencana Awal dengan Realisasi				-4.010.086.500	
Deviasi CCSP Realisasi dengan Sistem Panel Serbaguna				Rp 1.729.218.449,08	

Dari hasil analisis di atas dapat disimpulkan beberapa hal penting:

- 1) Terjadi penurunan margin keuntungan sebesar Rp 4,01 miliar antara CCSP rencana awal dan CCSP realisasi.

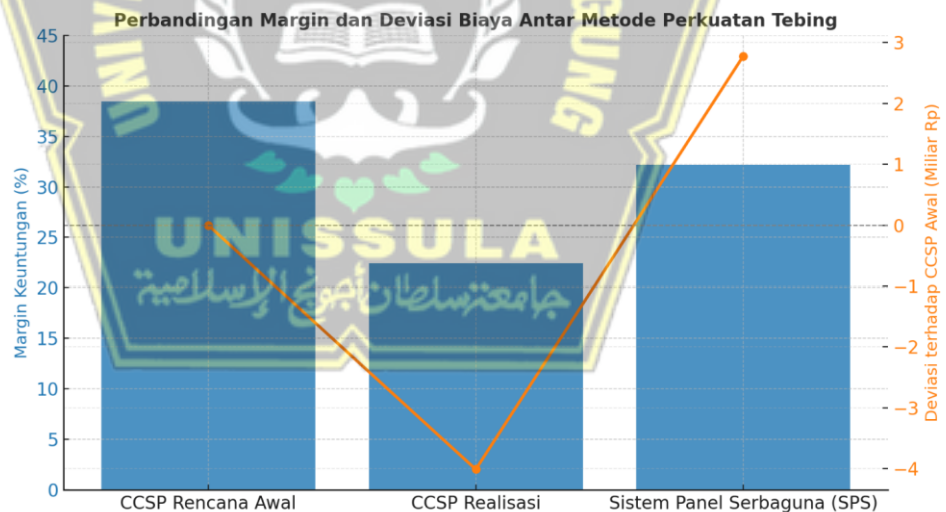
Penurunan margin dari 38,43% menjadi 22,43% disebabkan oleh:

- a) Kenaikan harga material beton dan besi akibat tingginya permintaan di wilayah IKN,
 - b) Keterlambatan waktu pelaksanaan yang berdampak pada biaya tidak langsung (overhead),
 - c) Peningkatan biaya sewa alat berat dan transportasi material.
- 2) Penerapan metode SPS memberikan penghematan biaya sebesar ±Rp 1,73 miliar dibandingkan realisasi metode *CCSP*.

Hal ini terjadi karena:

- a) Sebagian besar elemen struktur SPS (panel, interlock, balok tekan) diproduksi secara fabrikasi, sehingga menekan biaya mobilisasi dan waktu pemasangan di lapangan,
- b) Penurunan penggunaan alat berat untuk pekerjaan pemancangan dan pembobokan.

Dengan nilai margin efisiensi 32,18%, metode Sistem Panel Serbaguna (SPS) terbukti lebih stabil secara ekonomi dibandingkan realisasi *CCSP*



Gambar 4.18 Grafik Komparasi Biaya Efisiensi Perkuatan Tebing

4.6.2 Perbandingan Waktu Pelaksanaan Metode CCSP dan SPS

Analisa perbandingan ini dilakukan untuk mengetahui tingkat efisiensi waktu antara dua metode pelaksanaan pekerjaan perkuatan tebing

A. Analisis Perbandingan

1. Total Durasi Pelaksanaan

- Metode CCSP memerlukan waktu 128 hari kalender (± 18 minggu), sedangkan metode SPS dapat diselesaikan dalam 102 hari kalender (± 15 minggu).
- Dengan demikian, sistem SPS memberikan penghematan waktu sekitar 26 hari atau $\pm 20,3\%$ lebih cepat dibandingkan sistem konvensional.

2. Karakteristik Pelaksanaan

- CCSP bersifat *sequential*, artinya setiap tahap pekerjaan harus selesai sebelum tahap berikutnya dimulai. Hal ini menyebabkan waktu tunggu antar pekerjaan cukup besar.
- SPS bersifat *parallel & overlap*, di mana proses fabrikasi di precast yard dapat dilakukan bersamaan dengan pekerjaan instalasi di lapangan, sehingga waktu tunggu dapat dikurangi.

3. Efisiensi Waktu

- Efisiensi utama metode SPS berasal dari:
 - Fabrikasi di *precast yard* yang tidak tergantung kondisi lapangan.
 - Penggunaan sistem modular yang mempercepat pemasangan di lapangan.
 - *Overlap* antar pekerjaan (misalnya fabrikasi – instalasi – grouting dilakukan bersamaan pada tahapan berbeda).

4. Kondisi Lapangan dan Risiko

- Pada CCSP, sebagian besar pekerjaan dilakukan di area sungai dengan kondisi lahan sempit dan lembek, yang berpotensi menyebabkan gangguan logistik dan keselamatan kerja.

- Pada SPS, pekerjaan lapangan berkurang hingga 40–50%, sehingga risiko gangguan cuaca, keterlambatan alat, dan kesalahan lapangan lebih kecil.

5. Jalur Kritis (Critical Path)

- Jalur kritis metode CCSP terdiri dari:
 - Pemancangan *Sheet Pile* → Pemancangan *Spun Pile* → *Pile Cap* → *Wailing Beam* → *Capping Beam*
- Jalur kritis metode SPS terdiri dari:
 - Fabrikasi Panel → Produksi Panel → Instalasi Panel (Layer 1–4) → Bekisting Interlock → Pengecoran Joint Interlock
- Perbedaan jalur kritis ini memperlihatkan bahwa SPS lebih stabil secara durasi, karena sebagian pekerjaan kritis dilakukan di lingkungan pabrik (*precast yard*) yang terkontrol.

B. Kesimpulan Analisa Komparasi

1. Total durasi pelaksanaan metode SPS (102 hari) lebih cepat 26 hari dibanding metode CCSP (128 hari).
2. Pola pelaksanaan SPS lebih efisien karena terdapat tumpang tindih antar pekerjaan (*overlap*) dan proses produksi yang berlangsung simultan antara *precast yard* dan lapangan.
3. SPS memiliki risiko lapangan lebih rendah, karena 60–70% pekerjaan dilakukan di area terkendali.
4. Jalur kritis SPS lebih pendek dan stabil dibanding CCSP, sehingga potensi keterlambatan lebih kecil.
5. Berdasarkan analisa waktu, metode Sistem Panel Serbaguna (SPS) lebih efisien secara durasi dan manajemen pelaksanaan, serta cocok diterapkan pada proyek dengan batas waktu ketat seperti Intake Sepaku.

Berdasarkan hasil analisa komparasi, metode Sistem Panel Serbaguna (SPS) terbukti memberikan efisiensi waktu pelaksanaan sebesar $\pm 20\%$ dibandingkan metode konvensional *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP). Pola *overlap* antar pekerjaan dan sistem modular pracetak menjadi faktor utama percepatan konstruksi tanpa mengurangi mutu dan stabilitas struktur.

BAB V

KESIMPULAN & SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan yang telah dilakukan pada penelitian ini dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perbedaan Metode Pelaksanaan dan Urutan Kerja (*Sequence*)

Perbedaan metode pelaksanaan antara *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) dan Sistem Panel Serbaguna (SPS) terletak pada proses konstruksinya. CCSP menggunakan elemen beton *precast* yang dipancang dengan alat berat dan sangat bergantung pada pasokan material pabrik, kondisi cuaca, serta kesiapan alat, sehingga rentan terhadap kendala logistik dan waktu. Sebaliknya, SPS menerapkan konsep *on-site casting* yang memungkinkan proses produksi dan pemasangan dilakukan secara paralel, lebih fleksibel terhadap kondisi lapangan, dan efisien dari segi waktu.

2. Perbandingan Biaya Pekerjaan

- a. Biaya yang diperlukan untuk Pekerjaan *Corrugated Concrete* adalah Rp. 28.497.937,14 per m².
- b. Biaya yang diperlukan untuk Pekerjaan Sistem Panel Serbaguna (SPS) Rp. 25.964.283,7 per m²
- c. Rencana Anggaran Biaya (RAB) untuk pekerjaan Perkuatan Tebing Metode *Corrugated Concrete Sheet Pile* (CCSP) sepanjang 682,5 meter adalah sebesar Rp 25.075.035.318,57, sedangkan untuk Metode SPS sebesar Rp 26.128.284.061,17 .

3. Perbandingan Waktu Pekerjaan

Pekerjaan dengan metode CCSP memerlukan waktu pelaksanaan selama 128 hari kalender. Sementara itu, pekerjaan SPS hanya membutuhkan waktu 102 hari kalender.

4. Analisis Efisiensi Biaya dan Waktu

Berdasarkan hasil analisis gabungan terhadap aspek biaya dan waktu pelaksanaan, adalah sebagai berikut :

- a. Dari sisi biaya, metode SPS menghasilkan penghematan sebesar Rp 1.729.218.449 ($\approx 8,9\%$) dibanding CCSP. Selain itu, metode CCSP

mengalami *cost overrun* sebesar 25,97% dari Rencana Anggaran Pelaksanaan (RAP) awal. Secara finansial, metode SPS juga menunjukkan rasio laba lebih tinggi, yaitu 32,18%, dibanding 22,43% pada CCSP, menandakan tingkat efisiensi dan *profitabilitas* yang lebih baik.

- b. Dari sisi waktu pelaksanaan, SPS membutuhkan 102 hari kalender, lebih singkat 26 hari atau sekitar 20,3% lebih cepat dibanding CCSP. Efisiensi ini diperoleh karena proses produksi panel dan pemasangan dapat dilakukan secara paralel (*overlapping activities*), serta minim ketergantungan terhadap kondisi cuaca dan pasokan material.

5.2. Saran

Adapun saran yang disampaikan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Pelaksana proyek

Disarankan menggunakan Sistem Panel Serbaguna (SPS) pada pekerjaan perkuatan tebing sungai di lokasi dengan keterbatasan waktu dan akses logistik. Metode ini terbukti lebih efisien dari sisi biaya dan waktu serta dapat memanfaatkan tenaga kerja lokal secara optimal.

2. Perencana dan konsultan pengawas

Sebelum menetapkan metode pelaksanaan, perlu dilakukan kajian teknis awal terhadap kondisi tanah, ketersediaan lahan kerja, serta perencanaan logistic flow agar penerapan SPS dapat berlangsung efektif dan sesuai dengan standar mutu konstruksi.

3. Penelitian selanjutnya

Perlu dilakukan analisis struktural dan kinerja jangka panjang terhadap Sistem Panel Serbaguna, termasuk aspek daya tahan terhadap erosi, gaya lateral tanah, serta perbandingan umur layanan struktur dengan metode CCSP, agar diperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai efektivitas sistem ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Anugerahanto, A., & Adistana, A. (2021). Kajian Efisiensi Biaya dan Waktu pada Perbandingan Metode Konstruksi. *Jurnal Manajemen Proyek dan Konstruksi*, 5(2), 91–98. <https://doi.org/10.25077/jmpk.5.2.91-98.2021>
- Arif, M., & Irawan, A. (2022). Analisis Risiko dan Efisiensi Pemasangan Corrugated Concrete Sheet Pile pada Proyek Infrastruktur. *Jurnal Rekayasa Sipil Indonesia*, 11(1), 51–60. <https://doi.org/10.25008/jrsi.11.1.51-60.2022>
- Arifin, T., & Lubis, R. (2021). Evaluasi fungsi perkuatan tebing menggunakan Corrugated Concrete Sheet Pile pada Sungai Deli. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Sipil*, 9(2), 83–92.
- Bappenas. (2023). Rencana Pembangunan Jangka Menengah Nasional (RPJMN) 2020–2024. Jakarta: Kementerian PPN/Bappenas.
- Handayani, L. (2021). Evaluasi percepatan proyek infrastruktur strategis nasional berdasarkan metode konstruksi modular. *Jurnal Infrastruktur dan Teknologi Sipil*, 8(2), 56–68.
- Kharina, F. N., & Sambowo, K. A. (2019). Pengaruh Pemilihan Metode Kerja terhadap Durasi dan Biaya Proyek Konstruksi. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 14(1), 33–41.
- Mushlih, M. (2021). Analisis biaya pelaksanaan metode precast dibandingkan metode konvensional. *Jurnal Manajemen Rekayasa Konstruksi*, 6(2), 110–119.
- Nasution, M. N. (2014). *Manajemen Proyek: Perencanaan, Penjadwalan, dan Pengendalian*. Ghalia Indonesia.
- Nurdiansyah, A., & Firmansyah, B. (2020). Identifikasi penyebab cost overrun pada proyek sektor sumber daya air pemerintah. *Jurnal Ekonomi Teknik dan Infrastruktur*, 5(2), 63–72.

Prasetya, D. A., Sutrisno, H., & Rifa'i, M. (2021). Evaluasi Pemilihan Metode Alternatif Pekerjaan Perkuatan Tebing pada Proyek Bendung. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 6(1), 45–55. <https://doi.org/10.14710/jrsl.6.1.45-55>

Purnomo, A., Suryapratama, R., & Berliana, R. (2022). Studi Efisiensi Metode Panel Precast Modular pada Infrastruktur Sungai. *Jurnal Teknik Infrastruktur dan Konstruksi*, 9(2), 55–63.

Purnomo, A., & Berliana, R. (2023). Implementasi Sistem Panel Modular di Lokasi Terbatas: Studi Kasus Intake Sepaku. *Jurnal Sipil dan Lingkungan Nusantara*, 10(1), 41–50.

Putra, R. Y., & Wahyuni, L. M. (2021). Perencanaan Dinding Penahan Tanah Menggunakan CCSP pada Proyek Sungai. *Jurnal Teknik Sipil Nusantara*, 11(1), 41–49.

Puspitaningrum, D. A. (2023). Transformasi Kota Berkelanjutan dalam Pembangunan Ibu Kota Nusantara. *Jurnal Perencanaan Wilayah dan Kota*, 15(1), 33–42. <https://doi.org/10.14710/jpwwk.15.1.33-42>

Santosa, D., Arifin, Z., & Raharjo, T. (2019). Studi komparatif penggunaan CCSP dan dinding modular pada proyek bendung. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 5(1), 33–44.

Setiawan, R., & Nugroho, T. (2021). Kajian Stabilitas Lereng dan Efisiensi Metode Perkuatan Tebing Sungai pada Proyek Infrastruktur. *Jurnal Geoteknik Indonesia*, 14(2), 89–98. <https://doi.org/10.25077/jgi.14.2.89-98.2021>

Santosa, D., Arifin, Z., & Raharjo, T. (2019). Studi komparatif penggunaan CCSP dan dinding modular pada proyek bendung. *Jurnal Teknik Sumber Daya Air*, 5(1), 33–44.

Sukanto, A., & Prasetya, R. D. (2020). Evaluasi Stabilitas Lereng dan Struktur Pelindung pada Proyek Bendung. *Jurnal Teknik Hidraulik Indonesia*, 7(2), 113–120. <https://doi.org/10.25008/jthi.7.2.113-120.2020>

Suryapratama, R. Y., Purnomo, A., & Berliana, R. (2024). Efektivitas Metode Panel Precast On-site dalam Proyek Infrastruktur Skala Besar. *Jurnal Teknik Sipil Nusantara*, 12(1), 22–30. <https://doi.org/10.25008/jtsn.12.1.22-30.2024>

Wibowo, A., & Astuti, R. (2018). Efisiensi metode geotekstil dan geobag dalam stabilisasi tebing sungai. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 15(3), 89–97.

Wibowo, A., & Astuti, R. (2018). Efisiensi metode geotekstil dan geobag dalam stabilisasi tebing sungai. *Jurnal Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 15(3), 89–97.

Widodo, D., & Hermanto, Y. (2017). Perbandingan efektivitas konstruksi dinding gravitasi dan sheet pile. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Diponegoro*, 9(1), 23–32.

Wirawan, A., & Susanti, D. (2022). Strategi Percepatan Proyek Infrastruktur dalam Kawasan IKN: Studi Evaluatif. *Jurnal Teknik dan Manajemen Konstruksi*, 8(2), 75–84. <https://doi.org/10.25077/jtmk.8.2.75-84.2022>

Yulianto, H., & Hermanto, T. (2020). Pengaruh bentuk corrugation terhadap kekakuan panel beton bertulang. *Jurnal Material dan Struktur Sipil*, 12(2), 98–107.