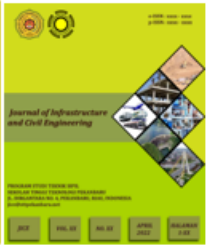
JICE - Journal of Infrastructure and Civil Engineering
Vol. 06, No. 3 (November, 2026),
Hal. 539-553

Diterima redaksi : 21 07 2026
Revisi akhir : 15 11 2026
Diterbitkan online : 28 11 2026

JICE
JOURNAL OF INFRASTRUCTURE AND CIVIL ENGINEERING
Web: http://jice.sttp-yds.ac.id/index.php/jice/index
ISSN: 2809-5030 (online) 2809-5227 (print)



Analisis Kinerja Waktu, Biaya dan Produktivitas Retaining Wall Pada Proyek CWC-1BKC: Studi Kasus CS-9 Cibingbin

Faraz Muhammad Harya Fitra[1], Bukhori[2], Heri Mulyono[3]*

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Swadaya Gunung Jati, Cirebon, Indonesia

**farazfitra99@gmail.com*

Abstrak

Dinding penahan tanah pada proyek infrastruktur sungai memerlukan pengelolaan yang terkoordinasi terhadap volume pekerjaan, biaya langsung, produktivitas tenaga kerja, dan durasi pelaksanaan konstruksi. Penelitian ini mengkaji segmen CS-9 Cibingbin pada proyek CWC-1BKC dengan menggunakan pendekatan studi kasus deskriptif kuantitatif. Volume pekerjaan dan biaya langsung dievaluasi terhadap 12 item pekerjaan dinding penahan tanah, sedangkan produktivitas tenaga kerja diestimasi berdasarkan koefisien tenaga kerja yang tersedia dengan skenario penggunaan delapan orang tenaga kerja. Durasi setiap aktivitas juga dianalisis menggunakan estimasi tiga titik dengan metode Program Evaluation and Review Technique (PERT). Hasil perhitungan menunjukkan bahwa total biaya langsung sebesar Rp8.228.068.715,52, dengan kontribusi biaya terbesar berasal dari beton siap pakai mutu K-225 sebesar 40,00%, baja tulangan sebesar 31,19%, dan tulangan tiang bor (bored pile) sebesar 12,48%. Lima item pekerjaan dengan biaya terbesar mencakup 93,51% dari total estimasi biaya. Hasil perhitungan normatif menunjukkan bahwa pekerjaan pembesian membutuhkan kapasitas tenaga kerja yang cukup besar, sedangkan berdasarkan skenario PERT, pekerjaan tiang bor memiliki estimasi durasi terlama, yaitu 250,17 hari. Karena data planned value dan earned value yang dilengkapi dengan informasi tanggal belum tersedia secara lengkap, varians jadwal aktual dan indeks kinerja jadwal (Schedule Performance Index) belum dapat ditentukan. Temuan penelitian ini memberikan dasar yang transparan dalam menentukan prioritas pengendalian biaya dan sumber daya, sekaligus menekankan pentingnya validasi asumsi jumlah tenaga kerja, parameter input PERT, serta pencatatan progres pekerjaan sebelum menarik kesimpulan mengenai kinerja jadwal aktual.

Kata Kunci: dinding penahan tanah, perhitungan volume pekerjaan (quantity take-off), biaya langsung, produktivitas tenaga kerja, PERT, pengendalian jadwal.

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur pengendali banjir merupakan kebutuhan strategis karena bencana hidrometeorologi masih berdampak luas terhadap keselamatan masyarakat,

https://doi.org/10.35583/jice.v6i3.220

permukiman, fasilitas umum, dan keberlanjutan kegiatan ekonomi. Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB) [1] mencatat bahwa kejadian bencana pada tahun 2024 menyebabkan korban jiwa, pengungsian, dan kerusakan fasilitas dasar, sehingga pengendalian banjir dan perlindungan infrastruktur sungai perlu dikelola secara terukur. Badan Pusat Statistik (BPS) [2] juga menunjukkan luasnya cakupan wilayah administrasi desa dan kelurahan di Indonesia, yang memperlihatkan pentingnya infrastruktur dasar dan mitigasi risiko bencana sampai tingkat lokal.

Salah satu program yang relevan dengan isu tersebut adalah Flood Management in North Java Project, yang dikembangkan untuk memperkuat ketahanan masyarakat dan perekonomian terhadap risiko banjir di wilayah utara Jawa [3]. Pada Proyek CWC-1BKC, pekerjaan Babakan and Cisanggarung River Works mencakup penanganan infrastruktur sungai di wilayah Brebes, Kuningan, dan Cirebon. Pada Segmen CS-9 Cibingbin, retaining wall berfungsi mempertahankan kestabilan tebing sungai, mengendalikan erosi, dan mengurangi risiko gerusan.

Pelaksanaan retaining wall pada lingkungan sungai memiliki karakter yang lebih kompleks dibandingkan pekerjaan struktur pada area kering karena dipengaruhi perubahan muka air, aliran sungai, sedimentasi, keterbatasan akses, ruang kerja sempit, serta kebutuhan pengamanan pekerjaan sementara. Kajian Kay Leng *et al.* [4] menunjukkan bahwa kegagalan riverbank protection dapat dipengaruhi oleh faktor geomorfologi, hidraulika, dan ketidakstabilan konstruksi. Dengan demikian, evaluasi retaining wall perlu ditempatkan dalam kerangka manajemen konstruksi yang mampu membaca keterkaitan antara volume pekerjaan, biaya, waktu, produktivitas, urutan aktivitas, dan kendala pelaksanaan. perspektif manajemen proyek, keberhasilan pekerjaan konstruksi tidak cukup dinilai dari terselesaikannya volume fisik. Keberhasilan perlu diukur melalui kesesuaian lingkup, waktu, biaya, produktivitas, mutu, keselamatan, dan kemampuan proyek merespons perubahan. ISO 21502:2020 memberikan panduan manajemen proyek pada konteks project, programme, and portfolio management, sedangkan PMBOK edisi ketujuh menempatkan manajemen proyek pada prinsip dan domain kinerja yang menekankan pencapaian nilai, pengukuran, ketidakpastian, dan penyesuaian pendekatan terhadap karakter proyek [5], [6].

Pada aspek waktu, Earned Value Method banyak digunakan untuk mengevaluasi kinerja proyek karena menghubungkan rencana, progres aktual, dan nilai pekerjaan yang telah dicapai. Proaño-Narváez *et al.* [7] menunjukkan bahwa EVM dapat digunakan untuk menganalisis dan menginterpretasikan kinerja proyek konstruksi. Namun, Mayo-Alvarez *et al.* [8] menjelaskan bahwa EVM tradisional memiliki keterbatasan dalam pengendalian jadwal karena indikator jadwal sering direpresentasikan melalui nilai biaya; karena itu, evaluasi jadwal perlu ditelusuri terhadap aktivitas dan jalur pekerjaan. Pada aspek biaya, Quantity Take-Off dan Analisis Harga Satuan Pekerjaan menjadi dasar penting dalam pembentukan biaya langsung. QTO menerjemahkan gambar kerja menjadi kuantitas terukur, sedangkan AHSP menghubungkan volume dengan koefisien tenaga kerja, bahan, peralatan, dan harga satuan dasar. Di Indonesia, penyusunan perkiraan biaya pekerjaan konstruksi mengacu pada Permen PUPR Nomor 8 Tahun 2023, sedangkan AHSP bidang sumber daya air mengacu pada SE DJBK Nomor 47/SE/Dk/2026 [9], [10].

Penelitian terkini juga memperlihatkan bahwa integrasi kuantitas, biaya, dan progres menjadi arah penting dalam pengendalian proyek konstruksi. Pishdad dan Onungwa [11] menjelaskan bahwa 5D BIM digunakan untuk estimasi biaya, cost monitoring, cost control, pembayaran, visualisasi biaya, dan pengendalian anggaran. Meskipun penelitian ini tidak menggunakan BIM, prinsip integrasinya relevan karena penelitian ini menghubungkan kuantitas pekerjaan, harga satuan, biaya langsung, progres, produktivitas, dan prioritas pengendalian dalam satu kerangka analitis.

Produktivitas menjadi variabel penghubung antara volume pekerjaan dan kebutuhan durasi. Jian *et al.* [12] menunjukkan bahwa produktivitas tenaga kerja konstruksi dipengaruhi

oleh faktor tenaga kerja, manajemen, material, peralatan, informasi, dan lingkungan kerja. Yıldız *et al.* [13] juga menunjukkan bahwa praktik manajemen material, seperti pengadaan, penanganan material, serta pengendalian stok dan limbah, berhubungan dengan kinerja proyek konstruksi. Pada pekerjaan retaining wall sungai, faktor tersebut menjadi penting karena keterlambatan material beton, tulangan, bekisting, timbunan, atau keterbatasan akses dapat menghambat produktivitas dan memperpanjang durasi pekerjaan.

Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi volume dan komposisi biaya pekerjaan retaining wall di Segmen CS-9 Cibingbin, menghitung produktivitas dan durasi normatif berdasarkan koefisien tenaga kerja, serta menelaah perkiraan durasi menggunakan PERT. Hasil ketiga analisis tersebut kemudian digunakan untuk menentukan prioritas pengendalian pekerjaan. Penilaian deviasi waktu aktual dibatasi oleh ketersediaan data progres rencana dan realisasi pada periode pelaporan yang sebanding.

2. Metodologi

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif deskriptif dengan metode studi kasus pada pekerjaan retaining wall Segmen CS-9 Cibingbin dalam paket CWC-1BKC Babakan and Cisanggarung River Works. Pengolahan data difokuskan pada volume pekerjaan, rekapitulasi biaya, koefisien tenaga kerja, dan estimasi durasi yang tersedia dalam dokumen penelitian. Produktivitas yang dihitung merupakan produktivitas normatif berdasarkan asumsi kapasitas tenaga, bukan hasil pengamatan langsung terhadap keluaran regu kerja di lapangan. Unit analisis berupa item pekerjaan retaining wall yang memiliki volume, satuan, dan nilai biaya yang dapat ditelusuri. Bahan analisis mencakup rekapitulasi kuantitas dan biaya, koefisien tenaga kerja, serta masukan perkiraan durasi kegiatan. Data rencana dan realisasi progres juga ditelaah untuk menilai apakah indikator kinerja jadwal dapat dihitung. Karena rekaman PV dan EV belum tersedia secara lengkap, penilaian waktu aktual tidak dilakukan secara numerik. Dalam dokumen penelitian terdapat dua kelompok rekapitulasi dengan lingkup yang berbeda. Rekapitulasi 12 item pekerjaan yang digunakan dalam artikel ini berjumlah Rp8.228.068.715,52, sedangkan rekapitulasi enam kelompok pekerjaan dalam dokumen tugas akhir mencantumkan nilai Rp15.366.816.731. Perbedaan tersebut belum dapat dinyatakan sebagai selisih biaya pelaksanaan karena cakupan item dan volume keduanya tidak sama. Seluruh perhitungan biaya utama dalam penelitian ini menggunakan rekapitulasi 12 item secara konsisten.

Tahapan analisis mencakup identifikasi kuantitas, penghitungan biaya langsung dan kontribusi per item, estimasi produktivitas serta durasi normatif, pengujian masukan durasi PERT, dan penyusunan prioritas pengendalian. Schedule Variance (SV) dan Schedule Performance Index (SPI) digunakan sebagai kerangka evaluasi jadwal, tetapi tidak diberi nilai numerik ketika data Planned Value (PV) dan Earned Value (EV) tidak lengkap.

Untuk elemen berpenampang konstan, volume geometris dihitung dengan $V = p \times l \times t$ (1); untuk pembesian, berat $W = \Sigma(Lj \times wj)$ (2), dengan Lj panjang tulangan dan wj berat satuan setiap diameter. Biaya item ke-i dihitung sebagai $Bi = Vi \times HSPi$ (3), sedangkan kontribusi biaya $Ci = (Bi/\Sigma Bi) \times 100\%$ (4). Jika tersedia PV dan EV berbasis bobot yang sama pada periode t, $SVt = EVt - PVt$ (5) dan $SPIt = EVt/PVt$ (6), untuk $PVt > 0$. Untuk koefisien tenaga kerja Ki (OH/satuan) dan jumlah tenaga ni (orang/tim), produktivitas tim $Pi = ni/Ki$ (7) satuan/hari serta durasi $Di = Vi/Pi = ViKi/ni$ (8) hari. Estimasi tiga titik PERT diperoleh dari $ETi = (ai + 4mi + bi)/6$ (9). Seluruh persamaan diterapkan sesuai satuan masing-masing pekerjaan; durasi satu item tidak boleh ditafsirkan sebagai durasi total proyek.

Data diolah menggunakan Microsoft Excel untuk menyusun rekapitulasi dan memeriksa konsistensi aritmetika. Sebagai dasar pembandingan antarkegiatan, produktivitas dihitung dengan asumsi delapan pekerja efektif dalam satu regu. Asumsi ini tidak menggambarkan komposisi regu aktual, jumlah regu yang bekerja bersamaan, maupun kapasitas alat yang digunakan. Demikian pula, nilai optimis, paling mungkin, dan pesimis dalam PERT

diperlakukan sebagai masukan skenario sampai tersedia dasar penetapannya dari catatan proyek.

3. Hasil dan pembahasan

3.1. Karakteristik dan Volume Pekerjaan Dinding Penahan Tanah

Hasil *Quantity Take-Off* menunjukkan bahwa pekerjaan dinding penahan tanah CS-9 Cibingbin terdiri atas pekerjaan tanah, *bored pile*, penulangan bored pile, bekisting, pembesian, beton *ready mix*, suling-suling, dan geotekstil. Setiap item dihitung sesuai dimensi, satuan, dan spesifikasi teknis, sebagaimana disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Volume dinding penahan tanah CS-9 Cibingbin

No.	Item pekerjaan	Satuan	Volume
1	Galian tanah	m^3	9.733,20
2	Angkutan hasil galian	m^3	1.614,72
3	Perapihan tanah	m^3	1.614,72
4	Pemadatan tanah	m^3	7.413,18
5	Bored pile 40 cm	m	2.304,00
6	Penulangan bored pile	m	2.304,00
7	Bekisting dinding beton	m^2	4.113,72
8	Besi tulangan ulir	kg	170.246,73
9	Beton K-100 ready mix	m^3	207,36
10	Beton K-225 ready mix	m^3	2.618,88
11	Pipa PVC suling-suling	bh	288,00
12	Pemasangan geotekstil	m^2	5.956,36

Sumber: Pengolahan data Microsoft Excel

Besarnya nilai kuantitas tidak dapat langsung menunjukkan dominasi suatu pekerjaan karena satuan yang digunakan berbeda, yaitu m^3, m^2, m, kg, dan buah. Oleh sebab itu, volume pada Tabel 1 selanjutnya dipadukan dengan nilai biaya masing-masing item. Kuantitas yang disajikan dibatasi pada 12 item pekerjaan yang menjadi lingkup analisis dan perlu dicocokkan dengan gambar pelaksanaan sebelum digunakan untuk pengendalian kontrak.

3.2. Analisis Biaya Langsung dan Kontribusi Biaya

Berdasarkan nilai biaya masing-masing dari 12 item pada Tabel 2, total estimasi biaya langsung pekerjaan yang ditelaah adalah Rp8.228.068.715,52. Jumlah ini mewakili lingkup rekapitulasi yang dianalisis, bukan otomatis total anggaran seluruh pekerjaan dalam paket kontrak.

Tabel 2. Rekapitulasi biaya langsung dan kontribusi biaya

No.	Item pekerjaan	Biaya	Kontribusi
1	Galian tanah	Rp37.192.138,85	0,45%
2	Angkutan hasil galian	Rp26.557.412,87	0,32%
3	Perapihan tanah	Rp6.926.084,67	0,08%
4	Pemadatan tanah	Rp32.179.956,46	0,39%

No.	Item pekerjaan	Biaya	Kontribusi
5	Bored pile	Rp. 486.772.925,30	5,92%
6	Penulangan bored pile	Rp. 1.026.621.661,73	12,48%
7	Bekisting	Rp. 322.922.906,28	3,92%
8	Pembesian	Rp. 2.566.382.203,30	31,19%
9	Ready Mix K-100	Rp. 224.858.742,91	2,73%
10	Ready Mix K-225	Rp. 3.291.357.364,94	40,00%
11	Pasangan suling-suling	Rp. 54.288.870,77	0,66%
12	Pemasangan geotekstil	Rp. 152.008.447,44	1,85%
	Total	**Rp. 8.228.068.715,52**	**100,00%**

Sumber: Pengolahan data Microsoft Excel

Komponen terbesar adalah beton ready mix K-225 sebesar 40,00%, pembesian 31,19%, dan penulangan bored pile 12,48%. Lima item dominan meliputi tiga pekerjaan tersebut, bored pile dan bekisting; kelimanya secara bersama-sama mewakili sekitar 93,51% dari total yang tercantum pada Tabel 2. Pengawasan kuantitas dan pengadaan material pada item tersebut memiliki pengaruh besar terhadap estimasi biaya.

3.3. Ketersediaan Data untuk Evaluasi Kinerja Waktu

Penghitungan SV dan SPI membutuhkan nilai rencana (PV) dan nilai pekerjaan yang telah dicapai (EV) pada tanggal evaluasi yang sama dengan dasar pembobotan konsisten. Dokumen yang tersedia belum memberikan pasangan data PV dan EV kumulatif yang dapat diverifikasi untuk Segmen CS-9. Karena itu, nilai SV, SPI, dan kategori kondisi jadwal aktual tidak disajikan. Persyaratan datanya dirangkum pada Tabel 3.

Tabel 3. Kelengkapan data evaluasi waktu untuk segmen CS-9 Cibingbin

No.	Data yang disyaratkan	Temuan dalam sumber	Implikasi
1	PV kumulatif per tanggal	Belum tersedia lengkap	Perlu kurva rencana berbobot
2	EV kumulatif per tanggal	Belum tersedia lengkap	Perlu laporan progres berbobot
3	SV dan SPI	Belum dapat dihitung	Jangan menafsirkan status waktu

Sumber: Kebutuhan data PV dan EV pada dokumen pengendalian jadwal

Untuk melaksanakan evaluasi waktu pada periode berikutnya diperlukan tanggal pemutakhiran, kurva rencana berbobot, catatan progres fisik yang telah disetujui, serta dasar konversi progres menjadi PV dan EV. Ketersediaan data tersebut penting agar analisis dapat membedakan perubahan jadwal yang benar-benar terjadi dari perkiraan berdasarkan kapasitas kerja.

3.4. Produktivitas dan Durasi Normatif Berdasarkan AHSP

Tabel 4 menyajikan produktivitas normatif yang dihitung dari koefisien tenaga kerja K dan asumsi satu regu dengan delapan orang pekerja efektif. Produktivitas dinyatakan dalam satuan volume per hari sesuai item pekerjaan. Angka-angka ini merupakan indikator kapasitas tenaga secara matematis dan tidak serta-merta menunjukkan produktivitas alat, metode, atau kondisi lapangan.

Tabel 4. Perhitungan ulang produktivitas dan durasi normatif (skenario delapan orang per tim)

No.	Item pekerjaan	Satuan	Volume	K (OH/ satuan)	Pnorm (satuan/hari)	Durasi (hari)
1	Galian tanah	m^3	9.733,20	0,002	4.000,00	2,43
2	Angkutan hasil galian	m^3	1.614,72	0,0059	1.355,93	1,19
3	Perapihan tanah	m^3	1.614,72	0,020	400,00	4,04
4	Pemadatan tanah	m^3	7.413,18	0,0016	5.000,00	1,48
5	Bored pile	m	2.304,00	0,0426	187,79	12,27
6	Penulangan bored pile	m	2.304,00	0,0075	1.066,67	2,16
7	Bekisting	m^2	4.113,72	0,036	222,22	18,51
8	Besi tulangan ulir	kg	170.246,73	0,07	114,29	1.489,66
9	Ready Mix K-100	m^3	207,36	0,0019	4.210,53	0,05
10	Ready Mix K-225	m^3	2.618,88	0,0019	4.210,53	0,62
11	Pipa PVC suling-suling	bh	288,00	0,001	8.000,00	0,04
12	Pemasangan geotekstil	m^2	5.956,36	0,002	4.000,00	1,49

Sumber: Perhitungan berdasarkan volume dan koefisien tenaga kerja; persamaan (7)–(8).

Keterangan: K adalah koefisien orang-hari (OH) per satuan; n = 8 pekerja efektif merupakan asumsi perhitungan. Produktivitas tim P = n/K dan durasi D = V/P. Perhitungan belum memasukkan waktu tunggu, ketergantungan kegiatan, kondisi cuaca, akses, dan keterbatasan peralatan.

Pada asumsi satu regu beranggotakan delapan orang, pekerjaan besi tulangan ulir menunjukkan kebutuhan durasi normatif paling besar. Angka tersebut tidak mencerminkan durasi konstruksi aktual karena dalam pelaksanaan pembesian dapat dibagi ke beberapa regu atau zona kerja. Hasil ini menunjukkan pentingnya menguji kecukupan tenaga, ruang fabrikasi, dan pasokan material terhadap jadwal pelaksanaan.

3.5. Analisis Skenario Durasi Menggunakan PERT

Perkiraan durasi PERT dihitung dari tiga nilai waktu untuk setiap kelompok pekerjaan, yaitu optimis (a), paling mungkin (m), dan pesimis (b). Hasil penghitungan ET pada Tabel 5 menggunakan persamaan (9). Karena dasar empiris penetapan ketiga nilai tersebut belum dapat diperiksa secara lengkap, PERT digunakan untuk menggambarkan perbandingan skenario durasi antarkegiatan, bukan untuk memastikan waktu penyelesaian proyek.

Tabel 4 dan Tabel 5 memiliki dasar perhitungan yang berbeda. Durasi normatif pada Tabel 4 diperoleh dari kebutuhan orang-hari dengan asumsi satu regu delapan orang, sedangkan ET pada Tabel 5 berasal dari tiga perkiraan waktu kegiatan. Kedua hasil baru dapat dibandingkan secara operasional apabila lingkup pekerjaan, pembagian regu, kalender kerja, dan metode pelaksanaan telah disetarakan. Sebagai ilustrasi kapasitas, kebutuhan 1.489,66 hari-regu pembesian setara dengan sedikitnya 13 regu sebanding untuk target 121 hari pada kondisi ideal; angka 13 regu bukan jumlah tenaga yang tercatat di proyek.

Tabel 5. Perkiraan durasi harapan berdasarkan analisis PERT

No.	Item pekerjaan	a (hari)	m (hari)	b (hari)	ET (hari)
1	Galian tanah	9	12	15	12,00
2	Bored pile	197	246	320	250,17
3	Pembesian	95	119	155	121,00
4	Bekisting	22	28	36	28,33
5	Ready Mix K-225	40	50	65	50,83
6	Timbunan/Pemadatan	40	50	65	50,83

Sumber: Perhitungan berdasarkan masukan durasi optimis, paling mungkin, dan pesimis.

Hasil PERT memperlihatkan bahwa bored pile memiliki durasi harapan terbesar, yakni 250,17 hari, diikuti pembesian 121,00 hari, beton K-225 50,83 hari, dan bekisting 28,33 hari. Pekerjaan dengan porsi biaya terbesar dengan demikian tidak selalu memiliki perkiraan durasi terpanjang. Namun, penentuan jalur kritis tetap memerlukan hubungan ketergantungan antarkegiatan dan jadwal pelaksanaan yang telah ditetapkan.

3.6. Matriks Prioritas Pengendalian Pekerjaan

Pengelompokan prioritas pada Tabel 6 didasarkan pada tiga pertimbangan utama: kontribusi terhadap biaya langsung, kebutuhan kapasitas tenaga, serta peran kegiatan dalam urutan pelaksanaan struktur. Durasi PERT digunakan sebagai informasi tambahan mengenai potensi kebutuhan waktu. Kategori prioritas bersifat penilaian awal dan bukan hasil pemeringkatan menggunakan deviasi jadwal aktual.

Tabel 6. Matriks prioritas awal pengendalian pekerjaan berdasarkan biaya, kapasitas, dan dependensi

Item pekerjaan	Indikator dominan	Tingkat prioritas
Ready Mix K-225	Kontribusi biaya terbesar, bagian struktur utama, ET 50,83 hari	Tinggi
Pembesian	Kontribusi biaya sangat besar, durasi normatif dominan, ET 121,00 hari	Tinggi
Penulangan bored pile	Kontribusi biaya besar dan terkait dengan pekerjaan pondasi	Tinggi
Bored pile	ET tertinggi dan menjadi dasar pekerjaan struktur berikutnya	Tinggi
Bekisting	Berpengaruh pada siklus pengecoran dan durasi normatif menengah	Sedang-tinggi
Galian tanah	Pekerjaan awal yang menentukan kesiapan area kerja	Sedang
Timbunan dan pemadatan	Bergantung pada penyelesaian struktur sebelumnya	Sedang
Pemasangan geotekstil	Kontribusi biaya rendah, tetapi terkait dengan fungsi perlindungan	Rendah-sedang
Suling-suling	Kontribusi biaya rendah, tetapi berfungsi sebagai drainase	Rendah-sedang

Sumber: Analisis kontribusi biaya, kebutuhan tenaga, dan perkiraan durasi pada Tabel 2, 4, dan 5.

Hasil penilaian menunjukkan bahwa pengendalian pembelian dan pemakaian beton K-225, fabrikasi dan pemasangan tulangan, serta pelaksanaan bored pile perlu mendapat perhatian utama. Bekisting juga penting karena berkaitan langsung dengan kesiapan pengecoran. Penetapan prioritas akhir tetap perlu mempertimbangkan perkembangan lapangan, pemakaian sumber daya, dan jadwal yang disetujui.

3.7. Analisis Harga Satuan Tersirat dan Rekonsiliasi Kuantitas

Pengujian hubungan antara volume dan biaya dilakukan dengan menghitung harga satuan tersirat, yaitu biaya item dibagi volume pada satuan yang bersangkutan. Nilai tersebut berguna sebagai pemeriksaan aritmetika rekapitulasi dan untuk menentukan item yang perlu dicocokkan dengan harga satuan kontrak. Harga satuan tersirat tidak menggantikan rincian Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP).

$$HSP_i,\text{tersirat} = B_i/V_i \; ; \quad B_i = V_i \times HSP_i,\text{tersirat} \tag{1}$$

Tabel 7. Harga satuan tersirat berdasarkan volume dan biaya pekerjaan

No.	Item pekerjaan	Satuan	Volume	HSP tersirat (Rp)	Biaya (Rp)
1	Galian tanah	m^3	9.733,20	3.821,16	37.192.139
2	Angkutan hasil galian	m^3	1.614,72	16.447,07	26.557.413
3	Perapihan tanah	m^3	1.614,72	4.289,34	6.926.085
4	Pemadatan tanah	m^3	7.413,18	4.340,91	32.179.956
5	Bored pile 40 cm	m	2.304,00	211.272,97	486.772.925
6	Penulangan bored pile	m	2.304,00	445.582,32	1.026.621.662
7	Bekisting dinding beton	m^2	4.113,72	78.499,00	322.922.906
8	Besi tulangan ulir	kg	170.246,73	15.074,49	2.566.382.203
9	Beton K-100 ready mix	m^3	207,36	1.084.388,23	224.858.743
10	Beton K-225 ready mix	m^3	2.618,88	1.256.780,52	3.291.357.365
11	Pipa PVC suling-suling	bh	288,00	188.503,02	54.288.871
12	Pemasangan geotekstil	m^2	5.956,36	25.520,36	152.008.447

Sumber: Hasil penghitungan berdasarkan Tabel 1 dan Tabel 2; angka harga satuan ditampilkan dengan pembulatan.

Perbedaan harga satuan pada Tabel 7 harus ditafsirkan sesuai satuan dan lingkup item. Harga satuan per kilogram besi tulangan, misalnya, tidak dapat dibandingkan secara langsung dengan harga per meter kubik beton. Pemeriksaan lanjutan terhadap AHSP dan dokumen kontrak diperlukan untuk memastikan komponen tenaga, bahan, dan peralatan yang tercakup dalam setiap harga.

3.8. Distribusi Kumulatif Biaya dan Identifikasi Item Dominan

Untuk melihat konsentrasi biaya, kedua belas item diurutkan dari biaya tertinggi ke terendah. Kontribusi kumulatif dihitung dengan menjumlahkan persentase item secara bertahap. Analisis ini membantu menentukan titik pengawasan biaya yang berdampak besar terhadap nilai rekapitulasi, tetapi tidak dapat digunakan sendiri untuk menyimpulkan keterlambatan.

$$\text{Kontribusi}_i = (B_i/\Sigma B_i) \times 100\%; \quad \text{Kumulatif}_k = \Sigma\ \text{Kontribusi}_i\ (i = 1 \ldots k). \qquad (2)$$

Tabel 8. Peringkat kontribusi dan persentase kumulatif biaya langsung

Peringkat	Item pekerjaan	Biaya (Rp)	Kontribusi (%)	Kumulatif (%)
1	Beton K-225 ready mix	3.291.357.365	40,00	40,00
2	Besi tulangan ulir	2.566.382.203	31,19	71,19
3	Penulangan bored pile	1.026.621.662	12,48	83,67
4	Bored pile 40 cm	486.772.925	5,92	89,59
5	Bekisting dinding beton	322.922.906	3,92	93,51
6	Beton K-100 ready mix	224.858.743	2,73	96,24
7	Pemasangan geotekstil	152.008.447	1,85	98,09
8	Pipa PVC suling-suling	54.288.871	0,66	98,75
9	Galian tanah	37.192.139	0,45	99,20
10	Pemadatan tanah	32.179.956	0,39	99,59
11	Angkutan hasil galian	26.557.413	0,32	99,92
12	Perapihan tanah	6.926.085	0,08	100,00

Sumber: Hasil pengurutan kontribusi biaya dari Tabel 2.

Sebanyak 83,67% biaya langsung berasal dari tiga item terbesar, yaitu beton K-225, besi tulangan ulir, dan penulangan bored pile. Setelah bored pile dan bekisting dimasukkan, kontribusi kumulatif mencapai 93,51%. Konsentrasi tersebut mendukung pengawasan ketat terhadap ketepatan kuantitas, harga material, serta pemakaian sumber daya pada kelompok pekerjaan utama.

3.9. Evaluasi Input Tenaga Kerja dan Kapasitas Normatif

Kebutuhan tenaga normatif dihitung dalam satuan orang-hari (OH) dengan mengalikan volume pekerjaan dan koefisien tenaga kerja. Besaran OH menunjukkan jumlah input tenaga berdasarkan koefisien yang dipakai, bukan jumlah kehadiran pekerja yang teramati. Lama pelaksanaan tetap dipengaruhi pembagian regu, tingkat mekanisasi, ketersediaan material, dan urutan kegiatan.

$$E_i = V_i \times K_i\ (\text{OH}); \quad D_i = E_i / n\ (\text{hari kerja}), \text{untuk n pekerja efektif.} \qquad (3)$$

Tabel 9. Kebutuhan orang-hari normatif menurut koefisien pada naskah

No.	Item pekerjaan	Volume	K (OH/satuan)	E (OH)	D untuk 8 orang (hari)
1	Galian tanah	9.733,20	0,0020	19,47	2,43
2	Angkutan hasil galian	1.614,72	0,0059	9,53	1,19
3	Perapihan tanah	1.614,72	0,0200	32,29	4,04
4	Pemadatan tanah	7.413,18	0,0016	11,86	1,48
5	Bored pile 40 cm	2.304,00	0,0426	98,15	12,27
6	Penulangan bored pile	2.304,00	0,0075	17,28	2,16
7	Bekisting dinding beton	4.113,72	0,0360	148,09	18,51
8	Besi tulangan ulir	170.246,73	0,0700	11.917,27	1.489,66

No.	Item pekerjaan	Volume	K (OH/satuan)	E (OH)	D untuk 8 orang (hari)
9	Beton K-100 ready mix	207,36	0,0019	0,39	0,05
10	Beton K-225 ready mix	2.618,88	0,0019	4,98	0,62
11	Pipa PVC suling-suling	288,00	0,0010	0,29	0,04
12	Pemasangan geotekstil	5.956,36	0,0020	11,91	1,49

Sumber: Perhitungan dari volume pekerjaan dan koefisien tenaga kerja pada Tabel 1 dan 4.

Kebutuhan tenaga normatif terbesar terdapat pada pembesian, yaitu 11.917,27 OH. Dengan asumsi hanya delapan pekerja efektif tanpa pembagian regu, kebutuhan ini setara dengan 1.489,66 hari kerja. Nilai tersebut lebih tepat dipakai sebagai dasar pemeriksaan kecukupan kapasitas tenaga daripada sebagai perkiraan durasi proyek. Untuk pekerjaan yang sangat bergantung pada alat, kapasitas alat juga harus diperhitungkan secara terpisah.

3.10. Analisis Sensitivitas Jumlah Tenaga Kerja

Pengaruh jumlah pekerja terhadap durasi ditelaah melalui tiga skenario, yaitu 8, 16, dan 32 pekerja efektif. Perhitungan mengasumsikan produktivitas berbanding lurus dengan jumlah pekerja, tanpa memperhitungkan pembatas ruang kerja, kapasitas alat, gangguan pasokan, maupun waktu tunggu. Dengan demikian, hasil pada Tabel 10 menggambarkan perubahan durasi matematis, bukan proyeksi jadwal yang telah dikalibrasi untuk kondisi proyek.

$$D(n) = (V \times K) / n \; ; \quad \Delta D = D(8) - D(n). \tag{4}$$

Tabel 10. Sensitivitas durasi normatif terhadap kapasitas tenaga kerja

Item pekerjaan	E (OH)	8 pekerja (hari)	16 pekerja (hari)	32 pekerja (hari)
Galian tanah	19,47	2,43	1,22	0,61
Bored pile 40 cm	98,15	12,27	6,13	3,07
Penulangan bored pile	17,28	2,16	1,08	0,54
Bekisting dinding beton	148,09	18,51	9,26	4,63
Besi tulangan ulir	11.917,27	1.489,66	744,83	372,41
Beton K-225 ready mix	4,98	0,62	0,31	0,16
Pemasangan geotekstil	11,91	1,49	0,74	0,37

Sumber: Hasil penghitungan sensitivitas kebutuhan tenaga menurut persamaan (4).

Pada pekerjaan pembesian, penambahan pekerja efektif dari 8 menjadi 16 orang menurunkan durasi normatif secara matematis dari 1.489,66 menjadi 744,83 hari. Akan tetapi, besarnya penurunan tersebut hanya mungkin tercapai apabila kebutuhan material, area fabrikasi,

pembagian zona, dan koordinasi regu turut mendukung. Hasil skenario menunjukkan arah pengaruh kapasitas tenaga, bukan jaminan percepatan sebesar proporsi yang sama. Kesesuaian antara hasil sensitivitas dan PERT perlu diperiksa dengan menyamakan cakupan dan satuan analisis. Pendekatan orang-hari menghitung kebutuhan input tenaga untuk suatu kuantitas, sementara PERT memperkirakan waktu kegiatan berdasarkan tiga nilai durasi. Perbedaan hasil kedua metode belum dapat dikaitkan dengan gangguan lapangan tertentu tanpa data operasional yang mendukung.

3.11. Ketidakpastian Durasi Berdasarkan Estimasi PERT

Ketidakpastian durasi dalam pendekatan PERT juga ditinjau melalui simpangan baku dan varians dari tiga nilai waktu kegiatan. Penghitungan ini memberikan ukuran sebaran relatif antarskenario berdasarkan masukan a, m, dan b pada Tabel 5. Angka tersebut menggambarkan variasi dalam estimasi, bukan distribusi durasi aktual yang diperoleh melalui pengamatan lapangan.

$$\sigma = (b - a)/6 \; ; \quad \sigma^2 = [(b - a)/6]^2 \; ; \quad ET = (a + 4m + b)/6. \tag{5}$$

Tabel 11. Waktu harapan, simpangan baku, dan varians PERT

Kegiatan	a	m	b	ET (hari)	σ (hari)	σ^2 (hari^2)
Galian tanah	9	12	15	12,00	1,00	1,00
Bored pile	197	246	320	250,17	20,50	420,25
Pembesian	95	119	155	121,00	10,00	100,00
Bekisting	22	28	36	28,33	2,33	5,44
Ready Mix K-225	40	50	65	50,83	4,17	17,36
Timbunan/Pemadatan	40	50	65	50,83	4,17	17,36

Sumber: Perhitungan berdasarkan tiga masukan waktu pada Tabel 5.

Pada kelompok bored pile, selisih waktu optimis dan pesimis mencapai 123 hari, dengan simpangan baku PERT sebesar 20,50 hari. Rentang ini lebih besar daripada kelompok kegiatan lainnya sehingga ketepatan asumsi durasi bored pile perlu diperhatikan. Penjumlahan varians untuk menghitung ketidakpastian waktu penyelesaian proyek belum dapat dilakukan tanpa jaringan kegiatan, penetapan jalur kritis, dan penjelasan asumsi ketergantungan durasi. Sebaran durasi PERT tidak dapat digunakan sebagai bukti keterlambatan pekerjaan. Penilaian ketepatan waktu tetap memerlukan perbandingan progres rencana dan progres terukur pada tanggal evaluasi yang sama sebagaimana dibahas pada Subbagian 3.3.

3.12. Perbandingan Lingkup Rekapitulasi Biaya pada Skripsi dan Jurnal

Dokumen penelitian memuat dua rekapitulasi biaya yang berbeda cakupan. Rekapitulasi enam kelompok pekerjaan menampilkan total Rp15.366.816.731, sedangkan rincian 12 item yang menjadi objek analisis artikel ini berjumlah Rp8.228.068.715,52. Tabel 12 menyajikan kedua informasi tersebut secara terpisah agar pembaca dapat menelusuri dasar penghitungan tanpa menyamakan keduanya sebagai anggaran pada lingkup yang identik.

Tabel 12. Perbandingan rekapitulasi biaya menurut lingkup data

Sumber	Kelompok/rekapitulasi	Volume tertera	Satuan	Biaya tertera (Rp)
Dokumen tugas akhir	Galian tanah	77.216,25	m^3	Tidak terbaca lengkap*
Dokumen tugas akhir	Lantai kerja	364,50	—	392.838.417
Dokumen tugas akhir	Beton struktur	4.603,50	—	6.524.008.846
Dokumen tugas akhir	Pembesian	391,92	—	6.536.281.073
Dokumen tugas akhir	Bekisting	7.131,92	—	1.532.368.325
Dokumen tugas akhir	Timbunan kembali	4.001,05	—	381.320.070
Dokumen tugas akhir	Total tertera pada tabel	—	—	15.366.816.731
Analisis 12 item	Total 12 item pekerjaan	—	—	8.228.068.715,52

Sumber: Rekapitulasi biaya enam kelompok dalam dokumen tugas akhir dan 12 item pada Tabel 2.

Keterangan: Salah satu nominal pada rekapitulasi enam kelompok belum memiliki format angka yang lengkap dan subtotalnya belum sesuai dengan nilai total yang ditampilkan. Nilai tersebut perlu diperiksa kembali pada dokumen anggaran asli. Kuantitas dari satuan yang berbeda tidak dijumlahkan menjadi satu volume fisik.

Selisih nominal Rp7.138.748.015,48 antara dua total rekapitulasi bukan bukti adanya penghematan atau pembengkakan biaya. Analisis selisih membutuhkan pencocokan item, batas pekerjaan, revisi gambar, satuan, serta komponen biaya yang dicakup oleh masing-masing rekapitulasi.

3.13. Verifikasi Data Waktu dan Matriks Keterlacakan Hasil

Keterlacakan analisis disajikan dengan menghubungkan setiap keluaran terhadap sumber data dan batas interpretasinya. Volume serta biaya merupakan data rekapitulasi yang diolah kembali, sedangkan jumlah regu pada analisis produktivitas dan durasi PERT menggunakan asumsi atau masukan skenario. Data PV dan EV untuk pengujian jadwal belum tersedia dalam bentuk yang dapat diperbandingkan.

Tabel 13. Keterlacakan sumber data dan hasil analisis

Variabel	Sumber/pendekatan	Letak hasil	Status interpretasi
Volume 12 item	Daftar volume rekapitulasi 12 item	Tabel 1	Tersedia; perlu cek shop drawing
Biaya 12 item	Rekap biaya rekapitulasi 12 item	Tabel 2 dan 7–8	Perhitungan turunan dapat diaudit
Koefisien tenaga	Koefisien rekapitulasi 12 item	Tabel 4 dan 9	Asumsi AHSP perlu verifikasi item
Regu kerja	Asumsi 8/16/32 pekerja	Tabel 9–10	Skenario, bukan tenaga aktual
PERT a–m–b	Masukan estimasi kegiatan	Tabel 5 dan 11	Belum dikonfirmasi sebagai durasi aktual

Variabel	Sumber/pendekatan	Letak hasil	Status interpretasi
PV/EV	Kurva-S/progres berkala	Tabel 3	Tidak cukup untuk hitung SV/SPI
Anggaran lingkup lain	Enam kelompok pekerjaan	Tabel 12	Lingkup berbeda; belum direkonsiliasi

Sumber: Pengelompokan data dan hasil perhitungan penelitian.

Nilai PV dan EV untuk perhitungan SV dan SPI harus menggunakan tanggal cut-off serta dasar pembobotan yang sama. Jika dinyatakan dalam persentase berbobot, SV merupakan selisih dalam poin persentase; jika keduanya dinyatakan dalam nilai anggaran, SV menggunakan satuan biaya. SPI hanya dapat dihitung untuk PV lebih besar dari nol. Ketentuan ini diperlukan agar indikator kinerja waktu tidak ditafsirkan secara keliru.

Tabel 14. Kebutuhan dokumen untuk memeriksa kinerja waktu

Kebutuhan data	Dokumen pembuktian	Pemeriksaan
Tanggal cut-off	Laporan mingguan/bulanan	Tanggal rencana dan realisasi sama
PV kumulatif	Kurva-S baseline yang disetujui	Bobot dan lingkup terdefinisi
EV kumulatif	Laporan volume/progres terukur	Pencapaian terverifikasi dan berbobot
SV dan SPI	Lembar kerja kalkulasi	Dihitung dari PV/EV periode yang sama

Sumber: Kebutuhan data pengendalian jadwal berdasarkan definisi PV, EV, SV, dan SPI.

Keterbatasan penelitian terutama berkaitan dengan belum tersedianya catatan progres terukur yang lengkap, belum terverifikasinya dasar penetapan tiga masukan PERT, serta belum disamakannya lingkup dua rekapitulasi biaya. Oleh karena itu, matriks prioritas yang dihasilkan merupakan hasil analisis awal. Penilaian kinerja jadwal dan penetapan jumlah regu yang sesuai memerlukan data lapangan serta dokumen pelaksanaan tambahan.

4. Kesimpulan

Penelitian terhadap 12 item pekerjaan retaining wall Segmen CS-9 Cibingbin menghasilkan rekapitulasi volume, estimasi biaya langsung, serta kebutuhan kapasitas tenaga berdasarkan koefisien yang tersedia. Hasil tersebut berlaku pada lingkup 12 item yang dianalisis dan tidak dapat langsung disamakan dengan rekapitulasi pekerjaan lain yang memiliki batas dan jumlah item berbeda. Estimasi biaya langsung mencapai Rp8.228.068.715,52. Porsi terbesar berasal dari beton ready mix K-225 (40,00%), pembesian (31,19%), dan penulangan bored pile (12,48%). Secara kumulatif, lima item terbesar menyumbang 93,51% biaya, sehingga kelompok pekerjaan struktur utama menjadi fokus yang relevan untuk pengendalian kuantitas dan biaya.

Berdasarkan asumsi satu regu beranggotakan delapan pekerja efektif, pembesian memiliki kebutuhan tenaga dan durasi normatif terbesar. Sementara itu, perhitungan PERT memberikan waktu harapan terpanjang pada bored pile, yaitu 250,17 hari. Kedua hasil tidak menyatakan durasi proyek aktual. Nilai SV dan SPI belum dapat ditentukan karena data PV dan EV pada periode yang sebanding tidak tersedia secara memadai. Pertimbangan biaya, kebutuhan tenaga, durasi skenario, dan urutan kegiatan dapat digunakan untuk menyusun prioritas pengendalian awal. Penerapannya pada jadwal pelaksanaan harus disertai verifikasi jumlah regu aktual, kapasitas alat, hubungan antarkegiatan, serta pencatatan progres yang konsisten. Penelitian berikutnya dapat memperkuat analisis melalui penyamaan lingkup rekapitulasi, pengukuran produktivitas aktual, dokumentasi dasar estimasi PERT, dan evaluasi

SV–SPI secara berkala dari kurva rencana dan progres terukur. Data tersebut juga memungkinkan penilaian jalur kritis dan pengembangan pengendalian pekerjaan yang lebih operasional.

Daftar Pustaka

[1] Badan Nasional Penanggulangan Bencana (BNPB), *Buku Data Bencana Indonesia Tahun 2024*. Jakarta, Indonesia: PDSI Pusdatinkom BNPB, 2025. [Online]. Available: https://bnpb.go.id/buku/buku-data-bencana-indonesia-tahun-2024

[2] Badan Pusat Statistik, *Statistik Potensi Desa Indonesia 2024*. Jakarta, Indonesia: Badan Pusat Statistik, 2024. [Online]. Available: https://www.bps.go.id/id/publication/2024/12/10/2f5217e2d6a695a0830290a7/

[3] Asian Development Bank, "Flood management in North Java project: Report and recommendation of the President," Asian Development Bank, Manila, Philippines, 2023. [Online]. Available: https://www.adb.org/projects/documents/ino-51157-001-rrp

[4] S. T. Kay Leng, F. M. Ata, M. Jaafar, M. E. Toriman, and M. K. A. Kamarudin, "Riverbank protection structure failure factors and remedial approach: A case study in Kelantan, Malaysia," *Plan. Malaysia*, vol. 21, no. 30, pp. 213–226, 2023, doi: 10.21837/pm.v21i30.1397.

[5] International Organization for Standardization, *Project, Programme and Portfolio Management—Guidance on Project Management*, ISO 21502:2020, Geneva, Switzerland, 2020. [Online]. Available: https://www.iso.org/standard/74947.html

[6] Project Management Institute, *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK Guide) and The Standard for Project Management*, 7th ed. Newtown Square, PA, USA: Project Management Institute, 2021. [Online]. Available: https://www.pmi.org/standards/pmbok

[7] M. Proaño-Narváez, C. Flores-Vázquez, P. Vásquez Quiroz, and M. Avila-Calle, "Earned value method for construction projects: Current application and future projections," *Buildings*, vol. 12, no. 3, Art. no. 301, 2022, doi: 10.3390/buildings12030301.

[8] L. Mayo-Alvarez, A. Alvarez-Risco, S. Del-Aguila-Arcentales, M. C. Sekar, and J. A. Yáñez, "A systematic review of earned value management methods for monitoring and control of project schedule performance: An AHP approach," *Sustainability*, vol. 14, no. 22, Art. no. 15259, 2022, doi: 10.3390/su142215259.

[9] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 8 Tahun 2023 tentang Pedoman Penyusunan Perkiraan Biaya Pekerjaan Konstruksi Bidang Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*, Jakarta, Indonesia, 2023. [Online]. Available: https://jdih.pu.go.id/detail-dokumen/PermenPUPR-nomor-8-tahun-2023-Pedoman-Penyusunan-Perkiraan-Biaya-Pekerjaan-Konstruksi-Bidang-Pekerjaan-Umum-dan-Perumahan-Rakyat

[10] Direktorat Jenderal Bina Konstruksi, "Lampiran IV Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Konstruksi Nomor 47/SE/Dk/2026: Analisis Harga Satuan Pekerjaan (AHSP) bidang sumber daya air," Kementerian Pekerjaan Umum, Jakarta, Indonesia, 2026. [Online]. Available: https://binakonstruksi.pu.go.id/sdm_downloads/lampiran-iv-se-djbk-no-47-se-dk-2026/

[11] P. Pishdad and I. O. Onungwa, "Analysis of 5D BIM for cost estimation, cost control and payments," *J. Inf. Technol. Constr.*, vol. 29, pp. 525–548, 2024, doi: 10.36680/j.itcon.2024.024.

[12] F. Jian, Q. Liu, C. Feng, Q. Hu, Q. Yu, and Q. Guo, "Critical factors affecting construction labor productivity: A systematic review and meta-analysis," *Buildings*, vol. 15, no. 14, Art. no. 2463, 2025, doi: 10.3390/buildings15142463.

[13] S. Yıldız, S. Güneş, and S. Kıvrak, "Examining the impact of material management practices on project performance in the construction industry," *Buildings*, vol. 14, no. 7, Art. no. 2076, 2024, doi: 10.3390/buildings14072076.