

STUDI ANALISA STABILITAS PENAHAN PERMUKAAN LERENG BLOCK – 3 INTAKE IRIGASI KANAN BENDUNGAN KARANGNONGKO DENGAN PENDEKATAN *VALUE ENGINEERING*

Dinar Malika Ardha^{*1}, Bambang Suprpto² dan Aasniari³

¹Mahasiswa Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: 22101051034@unisma.ac.id

² Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: bambang.suprpto@unisma.ac.id

³ Dosen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Islam Malang
e-mail: aasniari@unisma.ac.id

ABSTRAK

Research on the Karangnongko Dam Project Package 2 in Bojonegoro evaluated the effectiveness of four slope stabilization methods—shotcrete, hydroseeding, grassblock, and geocell—on steep slopes of weathered napal soil at STA 0+300. The analysis utilized GeoStudio Slope/W with the Mohr-Coulomb model and a Value Engineering approach based on three criteria: safety factor (SF), cost, and implementation time. The results showed that shotcrete had the highest SF (1.862) but the highest cost and implementation time, while geocell was the most efficient with an SF of 1.683, the lowest cost (8.01%), and an implementation time of 24.49%. Geocell is recommended as the optimal method.

Keywords : *Slope stability, value engineering, safety factor, cost, time.*

1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Bendungan Karangnongko yang terletak di Kabupaten Blora dan Bojonegoro merupakan bagian dari Proyek Strategis Nasional yang ditujukan untuk meningkatkan ketersediaan air baku, pengendalian banjir, serta penyediaan air irigasi bagi wilayah Blora, Bojonegoro, Ngawi, dan Tuban [1]. Salah satu area kritis dalam proyek ini adalah intake irigasi kanan di STA 0+300 Block –3 yang memiliki topografi curam dan kedalaman galian signifikan, sehingga berpotensi menimbulkan instabilitas lereng. Kondisi ini diperparah oleh karakteristik geologi berupa dominasi batuan Napal, yakni batuan sedimen berkekerasan sedang yang mudah mengalami pelapukan fisik saat terekspos dan menghasilkan massa batuan lemah [2]. Pelapukan lanjutan menghasilkan tanah residual dengan sifat kohesi rendah dan permeabilitas tinggi, yang berisiko menyebabkan retakan dan longsoran.

Dalam upaya menjaga kestabilan lereng dan keberlangsungan konstruksi, diperlukan pemilihan metode penahan lereng yang mempertimbangkan kondisi geoteknik, ketahanan terhadap cuaca, serta kemudahan pelaksanaan. Beragam metode seperti *shotcrete*, *geocell*, *grassblock*, dan *hydroseeding* memiliki karakteristik masing-masing terkait aspek teknis, biaya, dan efisiensi waktu. Analisis komparatif terhadap metode tersebut menjadi penting [3]. Untuk mendukung pengambilan keputusan yang optimal, studi ini menerapkan *Value Engineering* (VE) sebagai metode sistematis yang mengevaluasi alternatif berdasarkan fungsi, biaya, dan durasi pelaksanaan guna menghasilkan nilai terbaik bagi proyek [4].

1.2 Identifikasi Masalah

1. Lereng galian memiliki geometri curam dengan jenis tanah napal lapuk yang berpotensi longsor.

2. Belum tersedia perlindungan permukaan lereng yang tepat dan efisien.
3. Pemilihan metode penahan lereng selama ini belum berbasis analisis nilai dan perbandingan multikriteria.
4. Diperlukan pendekatan sistematis untuk menentukan alternatif penahan lereng terbaik dari segi keamanan, biaya, dan waktu pelaksanaan.

1.3 Rumusan Masalah

1. Bagaimana perbandingan biaya, waktu, dan analisis faktor keamanan penahan permukaan lereng antara metode *shotcrete*, *hydroseeding*, *grassblock*, dan *geocell* dalam penanganan lereng?
2. Metode mana yang paling efektif untuk diterapkan di lereng Karangnongko, baik dari segi biaya maupun waktu?
3. Berapa angka *safety factor* masing – masing metode penahan lereng tersebut?

1.4 Batasan Masalah

1. Metode yang digunakan hanya *shotcrete*, *hydroseeding*, *grassblock*, dan *geocell* saja dalam penahan pada STA 0+300 lereng block – 3 intake irigasi kanan.
2. Analisis dilakukan pada lereng hasil galian di area STA 0+300 Block–3 intake irigasi kanan Bendungan Karangnongko.
3. Fokus penelitian adalah pada perbandingan biaya, waktu, dan analisis faktor keamanan penahan permukaan lereng di STA 0+300 block – 3 intake irigasi kanan Bendungan Karangnongko.
4. Tidak membahas analisa resiko.
5. Tidak mengubah analisa struktur.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lereng

Lereng merupakan permukaan tanah miring yang terbentuk secara alami atau akibat aktivitas manusia dan memiliki potensi pergerakan massa tanah akibat gaya gravitasi. Berdasarkan pembentukannya, lereng dibagi menjadi tiga jenis: lereng alami yang terbentuk karena proses alamiah seperti erosi dan tektonik; lereng buatan akibat pemotongan tanah; serta lereng timbunan seperti urugan jalan [5]

2.2 Longsor

Longsor, yang juga dikenal sebagai pergerakan tanah, merujuk pada pergerakan massa tanah atau batuan yang terjadi di lereng, baik secara horizontal maupun vertikal. Proses ini dipengaruhi oleh berbagai kekuatan dari dalam lereng, termasuk gaya gravitasi Bumi dan tekanan air pori, serta faktor luar seperti getaran dan beban yang dihasilkan oleh kendaraan [6]. Menurut Terzaghi (1950), penyebab dari kegagalan lereng dapat diklasifikasikan menjadi dua kategori, yaitu efek internal dan efek eksternal. Efek internal mencakup faktor-faktor yang meningkatkan tegangan geser tanpa mengubah kekuatan geser tanah, seperti penggalian tanah yang dalam dan erosi yang disebabkan oleh aliran sungai.

2.3 Perbaikan Permukaan Lereng

Perbaikan tanah (*ground improvement*) adalah suatu cara untuk memperbaiki sifat-sifat teknik tanah, seperti kuat geser, kekakuan, dan permeabilitas. Tembok penahan, yang juga dikenal sebagai penahan lereng, adalah struktur yang dirancang untuk menstabilkan kondisi tanah tertentu, terutama di daerah tebing yang mungkin mengalami ketidakstabilan. Tujuan utama dari struktur ini adalah untuk melindungi massa tanah di belakangnya dari potensi longsor. Untuk mencegah terjadinya penurunan tanah yang berlebihan, beban yang diterima harus ditopang dengan cukup, dan tegangan yang timbul dalam struktur harus tetap dalam batas yang diizinkan [7].

2.4 Proyek

Proyek adalah suatu tindakan yang dilakukan untuk mencapai tujuan dan sasaran tertentu, dengan adanya batasan waktu, sumber daya, dan persyaratan lain yang mengatur pelaksanaannya. Umumnya, kesuksesan suatu proyek dapat diukur berdasarkan tiga faktor: (1) *On Time*, yaitu penyelesaian proyek sesuai dengan jadwal yang telah direncanakan; (2) *On Spesification*, di mana pemilik proyek mengharapkan hasil yang berkualitas tinggi sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan; dan (3) *On Budget*, yang berarti pengeluaran tidak melebihi biaya yang telah

ditetapkan. Alokasi dana (anggaran), jadwal waktu, dan standar kualitas yang diperlukan merupakan beberapa batasan yang harus dipenuhi untuk mencapai tujuan. Ketiga elemen ini sangat penting bagi manajer proyek dan sering kali berhubungan langsung dengan tujuan utama proyek [3].

2.5 Value Engineering

Value engineering (VE) adalah pendekatan terorganisir/sistematis yang diarahkan untuk menganalisis fungsi sistem, peralatan, fasilitas, layanan, dan persediaan untuk tujuan mencapai fungsi esensial mereka dengan biaya siklus hidup terendah yang konsisten dengan kinerja, keandalan, kualitas, dan keselamatan yang diperlukan. Penerapan proses VE pada suatu masalah biasanya meningkatkan kinerja, keandalan, kualitas, keamanan, daya tahan, efektivitas, atau karakteristik lain yang diinginkan [4]

2.6 Perhitungan Biaya

Menurut [8] Pengendalian biaya diperlukan untuk menjaga konsistensi antara perencanaan dan pelaksanaan. Tujuan dari pengendalian ini adalah untuk memastikan bahwa biaya proyek tidak melebihi anggaran yang telah ditetapkan. Fase perencanaan dan analisis kelayakan memberikan peluang terbaik untuk mengurangi total biaya proyek. Hal yang diperlukan untuk mengontrol pengendalian biaya adalah rencana pelaksanaan yang menyangkut mutu, volume dan harga satuan pekerjaan yang didapatkan.

2.7 Perhitungan Waktu

Menurut [9] Pelaksanaan suatu pekerjaan anajemen waktu adalah faktor yang sangat penting dalam sektor konstruksi, karena mengabaikannya dapat berakibat pada keterlambatan penyelesaian proyek. Pelaksana proyek dapat menghadapi kerugian yang signifikan akibat keterlambatan ini, karena sering kali hal tersebut mengakibatkan biaya tambahan untuk mengganti kerugian dari proyek yang tidak selesai sesuai dengan waktu yang ditentukan.

2.8 Analisis Stabilitas Lereng

Konsep keseimbangan plastik batas (*limit*

plastic equilibrium) secara umum menjadi dasar bagi analisis stabilitas lereng. Analisis ini bertujuan untuk menghitung faktor keamanan terhadap kemungkinan terjadinya longsor. Faktor keamanan (F) yang diperoleh kemudian digunakan untuk menilai stabilitas lereng. Nilai berikut menggambarkan hubungan antara faktor keamanan dan klasifikasi stabilitas lereng. Jika $F < 1$, ini menunjukkan bahwa lereng stabil; F antara 1 dan 1,25 menunjukkan stabilitas lereng yang moderat; F antara 1,25 dan 1,5 menunjukkan stabilitas lereng yang moderat; dan $F > 1,5$ menunjukkan bahwa lereng stabil [10].

3. METODOLOGI PENELITIAN

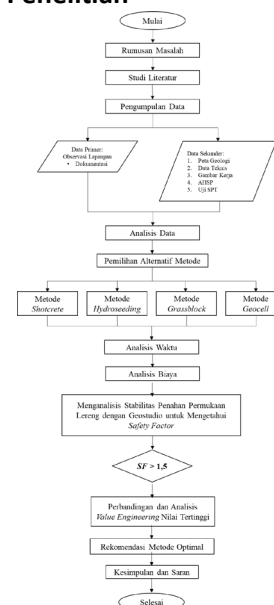
3.1 Lokasi Penelitian

Bendungan Karangnongko terletak wilayah administratif Desa Ngelo, Kecamatan Margomulyo, Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur dan Desa Mendenrejo, Kecamatan Kradenan, Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah.



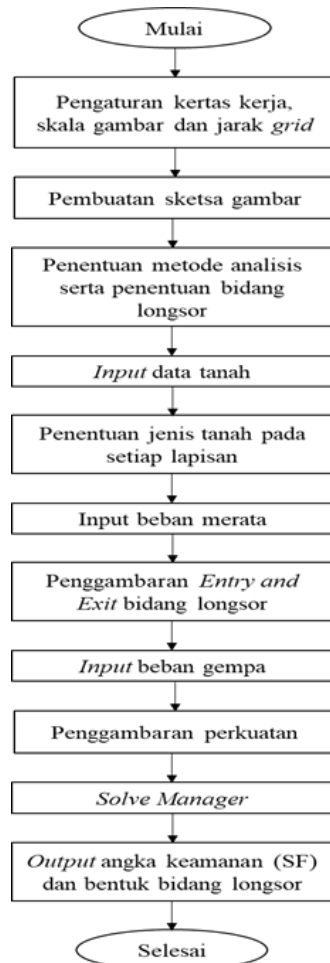
Gambar 1. Lokasi Penelitian

3.2 Data Penelitian



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari data primer berupa foto kondisi eksisting lereng yang diperoleh langsung dari lapangan, dan data sekunder berupa peta geologi, data teknis, gambar kerja, regulasi daerah (Perbub Bojonegoro, Perbub Blora, Pergub Jatim), serta literatur atau jurnal terkait metode penahan lereng yang dikumpulkan dari sumber-sumber terdahulu.



Gambar 3. Bagan Alir Pengoperasian Program *Geoslope*

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Umum

Analisis ini mengevaluasi stabilitas lereng pada lokasi STA 0+300 Block-3 Intake Irigasi Kanan Bendungan Karangnongko dengan membandingkan empat metode penahan permukaan lereng *Shotcrete*, *Hydroseeding*, *Grassblock*, dan *Geocell* melalui pendekatan *Value Engineering* untuk menentukan alternatif paling optimal berdasarkan kombinasi durasi pelaksanaan, biaya, dan faktor keamanan.

4.2 Perhitungan Analisa Waktu

4.2.1 Shotcrete

Kapasitas Produksi/jam (Q1)

$$= \frac{(V \times F_a) \times T_3}{Ts1} = \frac{(15,00 \times 0,83) \times 10,00}{14,50} = 8,586 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Durasi

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Kapasitas Produksi}} = \frac{10.052,718}{8,586} = 1170,798 \text{ jam}$$

$$= 146,350 \text{ hari untuk 1 shotmachine}$$

$$= 29,270 \approx 30 \text{ hari untuk 5 shotmachine}$$

4.2.2 Hydroseeding

Kapasitas Produksi/jam (Q1)

$$= \frac{(V \times F_a) \times T_3}{Ts1} = \frac{(2000,00 \times 0,83) \times 10,00}{40,50} = 409,877 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Durasi

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Kapasitas Produksi}} = \frac{10.052,718}{409,877} = 24,526 \text{ jam}$$

$$= 3,066 \approx 4 \text{ hari}$$

4.2.3 Grassblock

Kapasitas Produksi/jam (Q1)

$$= \frac{(V \times F_a) \times T_3}{Ts1} = \frac{(500,00 \times 0,83) \times 60,00}{40,50} = 622,50 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Durasi

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Kapasitas Produksi}} = \frac{10.052,718}{622,50} = 16,149 \text{ jam}$$

$$= 2,019 \approx 3 \text{ hari}$$

Kapasitas Produksi Vibrator

$$\text{Kapasitas Produksi/jam (Q1)} = V \times F_a$$

$$\text{Kapasitas Produksi/jam (Q1)} = 60,00 \times 0,83 = 49,80 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Durasi

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Kapasitas Produksi}} = \frac{10.052,718}{49,80} = 201,862 \text{ jam}$$

$$= 25,233 \text{ untuk 1 vibrator}$$

$$= 3 \text{ hari untuk 8 vibrator}$$

4.2.4 Geocell

Kapasitas Produksi/jam (Q1)

$$= \frac{(V \times F_b \times F_a) \times 60}{Ts1 \times F_v} = \frac{(1,00 \times 0,83) \times 60,00}{0,47 \times 1,1} = 106,335 \text{ m}^3/\text{jam}$$

Durasi

$$= \frac{\text{Volume}}{\text{Kapasitas Produksi}} = \frac{10.052,718}{106,335}$$

= 201,862 jam

= 11,817 ≈ 12 hari

4.3 Perhitungan Analisa Biaya

4.3.1 Shotcrete

Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Karangnongko di Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur dan Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah Paket 2

Paket : Bendungan Karangnongko Paket II

Jenis Pekerjaan : *Shotcrete*

Satuan/Unit : m²

Berikut disajikan tabel analisa harga satuan pekerja

4.3.2 Hydroseeding

Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Karangnongko di Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur dan Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah Paket 2

Paket : Bendungan Karangnongko Paket II

Jenis Pekerjaan : *Hydroseeding*

Satuan/Unit : m²

Tabel 1. Analisa Harga Satuan Pekerja Shotcrete

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
I	BAHAN/MATERIAL				
1.	Campuran Beton fc' 25 Mpa	m3	1,0200	Rp 825.000,00	Rp 841.500,00
2.	Wiremesh M.6	m3	1,1000	Rp 509.800,00	Rp 560.780,00
				Sub Jumlah I	Rp 1.402.280,00
II	UPAH/TENAGA KERJA				
1.	Pekerja	org/j	0,2329	Rp 94.400,00	Rp 21.985,76
2.	Tukang	org/j	0,1165	Rp 106.700,00	Rp 12.430,55
3.	Mandor	org/j	0,0233	Rp 125.100,00	Rp 2.914,83
				Sub Jumlah II	Rp 37.331,14
III	Peralatan				
1.	Shotcrete Machine 5-15 m3/jam	Hari	0,0117	Rp 350.000,00	Rp 4.077,50
				Sub Jumlah III	Rp 4.077,50
				Sub Jumlah (I + II + III)	Rp 1.443.688,64
				Profit 10%	Rp 144.368,86
				Harga Satuan Pekerjaan	Rp 1.588.058,00

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 2. Analisa Harga Satuan Pekerja Hydroseeding

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
I	BAHAN/MATERIAL				
1.	Matras Tipe II, termasuk angkur/penguat matras	m3	1,0000	Rp 1.650.000,00	Rp 1.650.000,00
2.	Perekat campuran hydroseeding	kg	0,0030	Rp 103.740,00	Rp 311,22
3.	Bibit vegetasi (biji rumput)	m2	0,0100	Rp 50.000,00	Rp 500,00
4.	Mulsa	kg	0,3000	Rp 125.000,00	Rp 37.500,00
5.	Pupuk Tanaman	m2	0,0002	Rp 18.000,00	Rp 3,60
				Sub Jumlah I	Rp 1.688.314,82
II	UPAH/TENAGA KERJA				
1.	Pekerja	org/j	0,2329	Rp 94.400,00	Rp 21.985,76
2.	Tukang tanam	org/j	0,1165	Rp 106.700,00	Rp 12.430,55
3.	Mandor	org/j	0,0233	Rp 125.100,00	Rp 2.914,83
				Sub Jumlah II	Rp 37.331,14
III	Peralatan				
1.	Sewa Mesin Hydroseeding 2000L	Hari	0,0024	Rp 7.000.000,00	Rp 17.078,31
				Sub Jumlah III	Rp 17.078,31
				Sub Jumlah (I + II + III)	Rp 1.742.724,27
				Profit 10%	Rp 174.272,43
				Harga Satuan Pekerjaan	Rp 1.916.997,00

(Sumber: Hasil Perhitungan)

4.3.3 Grassblock

Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Karangnongko di Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur dan Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah Paket 2
Paket : Bendungan Karangnongko Paket II
Jenis Pekerjaan : Grassblock

4.3.4 Geocell

Pekerjaan : Pembangunan Bendungan Karangnongko di Kabupaten Bojonegoro, Provinsi Jawa Timur dan Kabupaten Blora, Provinsi Jawa Tengah Paket 2
Paket : Bendungan Karangnongko Paket II
Jenis Pekerjaan : Geocell

Satuan/Unit : m²

Satuan/Unit : m²

Tabel 3. Analisa Harga Satuan Pekerja Grassblock

No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
I	BAHAN/MATERIAL				
1.	Campuran Beton fc' 25 Mpa	m3	0,1200	Rp 825.000,00	Rp 99.000,00
2.	Besi Tulangan (Ø10 atau Ø8 mm)	kg	4,0000	Rp 13.100,00	Rp 52.400,00
3.	Papan Bekisting	m2	0,1000	Rp 1.900.000,00	Rp 190.000,00
4.	Kawat bendrat	kg	0,1000	Rp 21.800,00	Rp 2.180,00
5.	Grassblock siap pakai	m2	0,0100	Rp 50.000,00	Rp 500,00
6.	Tanah tumbuh/media tanam	m3	0,0150	Rp 75.800,00	Rp 1.137,00
				Sub Jumlah I	Rp 345.217,00
II	UPAH/TENAGA KERJA				
1.	Pekerja	org/j	0,4000	Rp 94.400,00	Rp 37.760,00
2.	Tukang	org/j	0,2500	Rp 106.700,00	Rp 26.675,00
3.	Tukang tanam	org/j	0,0045	Rp 106.700,00	Rp 480,15
4.	Mandor	org/j	0,1000	Rp 125.100,00	Rp 12.510,00
				Sub Jumlah II	Rp 77.425,15
III	Peralatan				
1.	Vibrator	Jam	0,0200	Rp 750.000,00	Rp 15.000,00
2.	Pompa beton/concrete pump	Jam	0,0016	Rp 7.600.000,00	Rp 12.208,84
				Sub Jumlah III	Rp 27.208,84
			Sub Jumlah (I + II + III)		Rp 449.850,99
			Profit	10%	Rp 44.985,10
			Harga Satuan Pekerjaan		Rp 494.837,00

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Tabel 4. Analisa Harga Satuan Pekerja Geocell

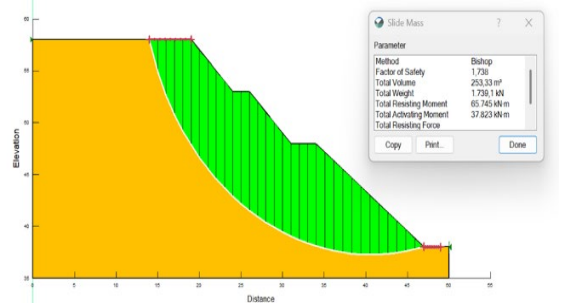
No	Uraian	Satuan	Koefisien	Harga Satuan (Rp)	Jumlah Harga (Rp)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
I	BAHAN/MATERIAL				
1.	Campuran Beton fc' 25 Mpa	m3	0,1200	Rp 825.000,00	Rp 99.000,00
2.	Besi Tulangan (Ø10 atau Ø8 mm)	kg	4,0000	Rp 13.100,00	Rp 52.400,00
3.	Papan Bekisting	m2	0,1000	Rp 1.900.000,00	Rp 190.000,00
4.	Kawat bendrat	kg	0,1000	Rp 21.800,00	Rp 2.180,00
5.	Grassblock siap pakai	m2	0,0100	Rp 50.000,00	Rp 500,00
6.	Tanah tumbuh/media tanam	m3	0,0150	Rp 75.800,00	Rp 1.137,00
				Sub Jumlah I	Rp 345.217,00
II	UPAH/TENAGA KERJA				
1.	Pekerja	org/j	0,4000	Rp 94.400,00	Rp 37.760,00
2.	Tukang	org/j	0,2500	Rp 106.700,00	Rp 26.675,00
3.	Tukang tanam	org/j	0,0045	Rp 106.700,00	Rp 480,15
4.	Mandor	org/j	0,1000	Rp 125.100,00	Rp 12.510,00
				Sub Jumlah II	Rp 77.425,15
III	Peralatan				
1.	Vibrator	Jam	0,0200	Rp 750.000,00	Rp 15.000,00
2.	Pompa beton/concrete pump	Jam	0,0016	Rp 7.600.000,00	Rp 12.208,84
				Sub Jumlah III	Rp 27.208,84
			Sub Jumlah (I + II + III)		Rp 449.850,99
			Profit	10%	Rp 44.985,10
			Harga Satuan Pekerjaan		Rp 494.837,00

(Sumber: Hasil Perhitungan)

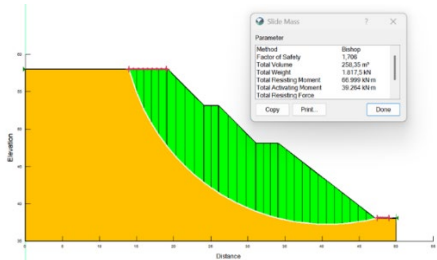
Berdasarkan hasil analisis perhitungan biaya terhadap beberapa metode penahan permukaan lereng, dapat disimpulkan bahwa terdapat perbedaan signifikan dalam efisiensi biaya antar metode yang digunakan. Dari segi rasio antara keempat metode tersebut metode geocell memberikan efisiensi biaya yang tinggi. Berikut merupakan tabel perbandingan biaya dari keempat metode penahan permukaan lereng.

4.4 Perhitungan Analisa Mutu

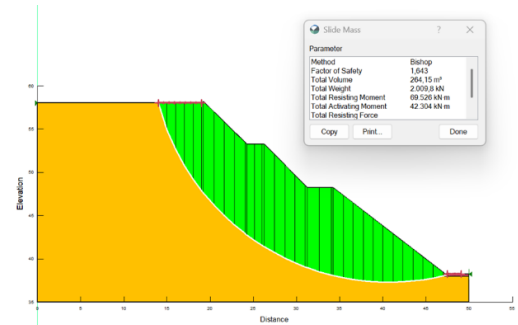
Analisis mutu dilakukan menggunakan software Slope/W untuk membandingkan nilai faktor keamanan (FS) antara kondisi lereng eksisting dan setelah diperkuat dengan metode shotcrete, hydroseeding, grassblock, dan geocell.



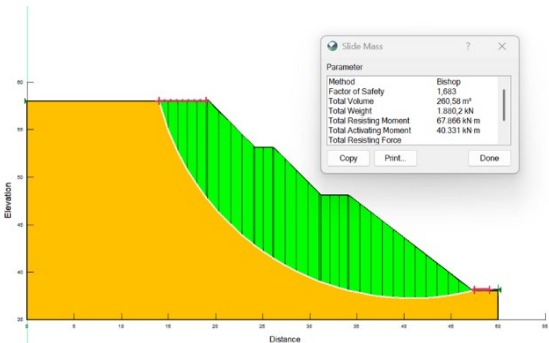
Gambar 4. Hasil Running Nilai FK dengan Perkuatan Shotcrete
Sumber: Hasil Analisis, 2025



Gambar 5. Hasil Running Nilai FK dengan Perkuatan Hydroseeding
(Sumber: Hasil Analisis, 2025)



Gambar 6. Hasil Running Nilai FK dengan Perkuatan Grassblock
(Sumber: Hasil Analisis, 2025)



Gambar 7. Hasil Running Nilai FK dengan Perkuatan Geocell
(Sumber: Hasil Analisis, 2025)

Pemodelan berbasis data geometri dan parameter geoteknik tanah menunjukkan efektivitas masing-masing metode dalam meningkatkan stabilitas lereng dan mencegah longsoran.

4.5 Perbandingan Alternatif Mode

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis terhadap keempat metode yang digunakan, yang mencakup aspek waktu pelaksanaan, biaya, dan mutu, maka diperoleh perbandingan seperti yang ditunjukkan pada tabel 5.

Tabel 5. Perbandingan Alternatif Metode

No.	Metode	Waktu (Hari)	Biaya (Rp.)	Faktor Keamanan		
				(Faktor Keamanan)	Standar FK	Keterangan
1	Shotcrete	30	Rp 1.576.917.773,13	1,876	1,500	Memenuhi
2	Hydroseeding	4	Rp 1.903.549.266,05	1,706	1,500	Memenuhi
3	Grassblock	3	Rp 491.365.718,45	1,643	1,500	Memenuhi
4	Geocell	12	Rp 345.841.780,73	1,683	1,500	Memenuhi

(Sumber: Hasil Perhitungan)

4.6 Rekomendasi

Berdasarkan analisis terhadap empat metode penahan lereng *Shotcrete*, *Hydroseeding*, *Grassblock*, dan *Geocell* dapat disimpulkan bahwa *Geocell* merupakan pilihan paling efektif secara keseluruhan. Metode ini menawarkan biaya terendah (8,01%), waktu pelaksanaan yang cukup (24,49%), dan faktor keamanan yang memadai (24,36%), sehingga paling efisien dibandingkan metode lainnya. *Shotcrete* memang memiliki keamanan tertinggi (27,16%), namun tidak efisien karena biaya dan waktu pelaksanaan yang tinggi. *Hydroseeding* cepat dalam waktu (8,16%) tetapi biayanya paling mahal (44,09%), sedangkan *Grassblock* lebih murah dan cepat, namun kualitasnya rendah (23,78%). Oleh karena itu, dengan pendekatan *Value Engineering*, *Geocell* direkomendasikan sebagai metode cukup layak untuk diterapkan di proyek Bendungan Karangnongko.

Tabel 6. Presentase Perbandingan Metode

No.	Metode	Waktu	Biaya	Faktor Keamanan
		(%)	(%)	(%)
1.	<i>Shotcrete</i>	61,22	36,52	27,16
2.	<i>Hydroseeding</i>	8,16	44,09	24,70
3.	<i>Grassblock</i>	6,12	11,38	23,78
4.	<i>Geocell</i>	24,49	8,01	24,36

(Sumber: Hasil Perhitungan)

5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

1. Perbandingan biaya, waktu, dan faktor keamanan menunjukkan bahwa *shotcrete* unggul dalam faktor keamanan (FK 1,876) namun paling mahal dan lama, *geocell* paling seimbang dengan biaya rendah, faktor keamanan baik (FK 1,683), dan waktu sedang, *hydroseeding* tercepat kedua tapi mahal, *grassblock* tercepat dan biaya menengah namun faktor keamanan paling rendah (FK 1,643).
2. Metode paling efektif secara keseluruhan adalah *geocell*, karena memberikan keseimbangan terbaik antara biaya, faktor keamanan, dan waktu pelaksanaan.
3. Semua metode memiliki faktor keamanan $\geq 1,500$, sehingga layak digunakan, dengan *shotcrete* paling stabil

(FK tertinggi), diikuti *hydroseeding*, *geocell*, dan *grassblock*.

5.2 Saran

1. Penelitian selanjutnya disarankan untuk memperluas analisis dengan mempertimbangkan kondisi geoteknik yang lebih rinci, seperti jenis tanah, curah hujan, dan aktivitas seismik, agar pemilihan metode penanganan lereng lebih akurat.
2. Analisis biaya ke depan sebaiknya memasukkan faktor biaya pemeliharaan jangka panjang, agar evaluasi efektivitas metode tidak hanya terbatas pada biaya awal pelaksanaan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] BBWS Bengawan Solo, "Progres dan Isu Pelaksanaan Pembangunan Bendungan Karangnongko," 2024.

[2] B. M. Das, "Principles Of Geotechnical Engineering," 2010.

[3] I. Soeharto, *Manajemen Proyek dari Konseptual Sampai Operasional*. Jakarta: Penerbit Erlangga, 1999.

[4] Mandelbaum, Jay, and Danny L, *Value Engineering Handbook*. Institute for Defense Analyses, 2006.

[5] L. D. Wesley, *Mekanika Tanah untuk Endapan dan Residu*. Yogyakarta: Andi, 2010.

[6] H. C. Hardiyatmo, *Mekanika Tanah 2*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2018.

[7] A. Wicaksono, "Metodologi Penelitian Pendidikan: Pengantar Ringkas - Andri Wicaksono - Google Books," *Garudhawaca*, pp. viii–324, 2022.

[8] Pratiwi, "Pengendalian Biaya Dan Waktu Puskesmas Tabaringan, Universitas Hasanuddin, Makassar," 2012.

[9] V. Gaspersz, *Total Quality Management*. Jakarta: PT Gramedia Pustaka Utama, 2001.

[10] H. C. Hardiyatmo, *Perbaikan Tanah*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press, 2020.