

Analisis Stabilitas Lereng Pembangunan Embung Bena dengan Geostudio

Antonius L. Antjak^{1*}, Indradhi Lasmana¹, Ramzy Sayonara¹, Fabianus J. S. Nope¹

¹Politeknik Negeri Kupang, Kupang, Indonesia

ronaldantjak11@gmail.com*

| Received: 03/06/2025 | Revised: -/-/ | Accepted: 24/06/2025 |

Copyright©2025 by authors, all rights reserved. Authors agree that this article remains permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License

Abstrak

Embung Bena dirancang sebagai solusi penyediaan air di Desa Bena, Kabupaten Timor Tengah Selatan yang kondisi iklim semi kering. Keberhasilan pembangunan embung tidak hanya ditentukan oleh kapasitas tampung, tetapi juga stabilitas lereng tubuh tanggul yang mempengaruhi keselamatan dan keberhasilan fungsi embung. Penelitian ini fokus menganalisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak GeoStudio 2012 dengan metode Modified Morgenstern. Analisis dilakukan pada empat kondisi operasi: saat kosong, muka air normal, muka air banjir, dan *rapid drawdown*. Parameter geoteknik seperti kohesi, sudut geser dalam, dan permeabilitas tanah dimasukkan dalam simulasi. Hasil menunjukkan bahwa nilai *Safety Factor* (SF) pada seluruh kondisi jauh di atas batas minimum yang disyaratkan ($SF > 1.2 - 1.5$), dengan nilai tertinggi 43.525 dan terendah 10.122. Temuan ini menegaskan bahwa lereng embung berada dalam kondisi sangat stabil. Dengan demikian Embung Bena secara teknis memenuhi kriteria keamanan lereng dan siap menunjang pengelolaan air secara aman dan berkelanjutan.

Kata kunci: Embung, Stabilitas Lereng, GeoStudio, Faktor Keamanan, Rapid Drawdown.

Abstract

The Bena Reservoir was designed as a water supply solution in Bena Village, South Central Timor District, which has semi-arid climatic conditions. The success of embankment construction is not only determined by the storage capacity, but also the slope stability of the embankment body which affects the safety and successful functioning of the embankment. This research focuses on analyzing slope stability using GeoStudio 2012 software and the Modified Morgenstern method. The analysis was conducted under four operating conditions: empty, normal water level, flood water level, and rapid drawdown. Geotechnical parameters such as cohesion, inner shear angle, and soil permeability were included in the simulation. Results showed that the *Safety Factor* (SF) values under all conditions were well above the minimum required ($SF > 1.2 - 1.5$), with the highest value being 43.525 and the lowest being 10.122. This finding confirms that the embankment slopes are in a very stable

condition. Therefore, The Bena Reservoir technically meets the slope safety criteria and is ready to support safe and sustainable water management.

Keywords: Reservoir, Slope Stability, GeoStudio, Safety Factor, Rapid Drawdown.

1. Pendahuluan

Kabupaten Timor Tengah Selatan merupakan salah satu wilayah daerah semi kering di Provinsi Nusa Tenggara Timur (Mali et al., 2018). Secara geografis kondisi daerah Kabupaten Timor Tengah Selatan merupakan daerah dengan permukaan tanah yang umumnya berbukit-bukit, bergunung-gunung dan sebagian terdiri dari dataran rendah dengan tingkat kemiringan rata-rata mencapai 45°. Kondisi iklim wilayah Kabupaten Timor Tengah Selatan dan Pulau Timor serta wilayah Provinsi Nusa Tenggara Timur, umumnya sangat menentukan besarnya potensi air hujan. Iklim di kabupaten ini adalah iklim semi kering yang dipengaruhi oleh angin Muson, dengan musim hujan yang pendek (3 hingga 4 bulan) pada Desember – Maret, dengan curah hujan rata-rata sebesar 1000 - 1.700 mm/tahun. Kondisi topografi yang didominasi oleh perbukitan dengan alur-alur yang cenderung curam maupun kondisi geologi batuan yang cenderung porous sehingga kemampuan tanah untuk menyerap dan menyimpan air menjadi minim. Secara umum permasalahan yang sering terjadi di wilayah Kabupaten Timor Tengah Selatan adalah pemenuhan kebutuhan air untuk masyarakat baik kebutuhan air bersih, pertanian maupun peternakan. Dimana pada musim kemarau cukup tinggi sedangkan ketersediaan air sangat kurang, sehingga diperlukan embung untuk dapat menampung air pada musim hujan dan dipergunakan pada musim kemarau.

Daerah dengan curah hujan musiman seperti di Desa Bena Kecamatan Amanuban Kabupaten Timor Tengah Selatan mengakibatkan ketersediaan air bersih sangat terbatas dihadapi oleh masyarakat terutama saat musim kemarau. Sebagai solusi, pembangunan Embung Bena dirancang untuk menampung air hujan dan dimanfaatkan saat musim kemarau, guna meningkatkan ketahanan air di wilayah Desa Bena. Namun keberhasilan suatu embung tidak hanya diukur dari aspek daya tampungnya, tetapi juga dari kekuatan dan kestabilan strukturnya (Wijaya, 2021). Salah satu aspek penting yang perlu menjadi perhatian adalah stabilitas lereng tubuh embung. Lereng yang tidak stabil mengalami longsor, mengakibatkan kerusakan fatal pada struktur embung hingga memberikan kerugian keselamatan masyarakat dan ekosistem di sekitarnya.

Stabilitas lereng bertujuan untuk mengevaluasi kondisi geoteknik lereng dan menentukan faktor keamanan (*safety factor*) terhadap potensi longsor. Studi ini mempertimbangkan parameter geoteknik seperti jenis tanah, sudut geser dalam, kohesi tanah, kemiringan lereng, serta kondisi muka air tanah. Melalui analisis stabilitas lereng yang cermat dan terstruktur, diharapkan perencanaan Embung Bena dapat menghasilkan struktur yang aman dan berkelanjutan dalam mendukung pengelolaan sumber daya air di Desa Bena.

2. Metodologi Penelitian

2.1. Dimensi Tubuh Embung

Penentuan elevasi tinggi tanggul embung ditentukan berdasarkan elevasi tinggi genangan tampungan yang dibutuhkan ditambah dengan elevasi tinggi air banjir di atas pelimpah pada saat debit banjir rencana Q50 dan tinggi jagaan (*free board*).

Tinggi jagaan (*free board*) adalah tambahan ketinggian yang disediakan sebagai faktor pengamanan untuk mencegah agar gelombang atau aliran banjir yang lebih besar dari Q50 tidak meluap melalui embankment dimana akan berakibat rusaknya tubuh tanggul itu sendiri. Faktor lain yang perlu dipertimbangkan untuk menentukan tinggi jagaan (*free board*) adalah ketidakmerataan permukaan puncak (*crest*) dan penurunan akibat konsolidasi.

Sementara untuk kemiringan dalam perencanaan perlu dipertimbangkan beberapa faktor terutama yang berkaitan dengan kestabilan lereng dan daya dukung tanah dasar, maka kemiringan lereng tanggul diambil 1:3 untuk bagian hulu dan 1:3 atau 1: 2.5 pada bagian hilir.

2.2. Daya Dukung Tanah Dasar

Besarnya daya dukung tanah dasar (*ultimate bearing capacity*) dihitung dengan rumus Terzaghi Fondasi menerus:

$$Q_{ult} = \alpha \cdot c \cdot N_c + \gamma_n \cdot z \cdot N_q + \beta \cdot \gamma_n \cdot B \cdot N_j \quad (1-1)$$

dengan :

- Q_{ult} = daya dukung ultimate
- c = angka kohesi (t/m^2)
- θ = sudut geser ($^{\circ}$)
- γ_n = berat persatuan volume tanah
- α, β = faktor yang tak berdimensi
- Z = kedalaman pondasi (m)
- B = lebar tanggul (m)
- N_c, N_q, N_j = faktor - faktor daya dukung tak berdimensi, harga N_c, N_q, N_j .

2.3. Stabilitas Tubuh Embung

Untuk mengurangi kegagalan konstruksi perhitungan stabilitas terhadap konstruksi tanggul embung meliputi beberapa hal yaitu perhitungan garis depresi, volume rembesan, stabilitas lereng, gempa dan daya dukung tanah pondasi serta penurunan tubuh tanggul (Setiyanto et al., 2014).

Rembesan pada Tubuh Tanggul (*Seepage Line Formation*). Untuk mengetahui kemampuan daya tahan tubuh embung terhadap adanya aliran filtrasi, maka harus dilakukan penyelidikan sebagai berikut :

1. Formasi garis depresi dalam tubuh embung pada saat embung dalam kondisi penuh.
2. Kapasitas air infiltrasi yang mengalir melalui tubuh dan pondasi embung.
3. Kemungkinan terjadinya bahaya sufosi yang disebabkan oleh gaya hidrodinamis dalam aliran air filtrasi.

Rumus yang digunakan untuk perhitungan rembesan:

$$X = \frac{Y^2 - Y_0^2}{2 Y_0} \quad Y = \sqrt{2 Y_0 X + Y_0^2} \quad (1-1)$$

$$Y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \quad (1-2)$$

dengan:

- h = tinggi muka air di bagian upstream dalam meter (jarak vertikal antar titik A dan titik B)
- d = jarak horisontal antara titik A dan B2
- L₁ = jarak horisontal antara titik B dan E
- L₂ = jarak horisontal antara titik B dan A
- A = Titik ujung tumit di hilir tanggul
- B = Titik potong antara muka air waduk dengan lereng udik tanggul
- B2 = Titik yang terletak sejauh 0,3 L₁, horisontal ke arah udik dari titik B
- B1 = Titik potong antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B

Dengan asumsi bahwa debit aliran filtrasi konstan maka, debit rembesan melalui tubuh embung dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut :

$$Q_t = K_t \times y_0 \times A \times B \quad (1-3)$$

dengan:

- K_t = Koefisien permeabilitas (m/dt)
- Y₀ = Gradien Hidrolik
- A = Luas potongan melintang yang dilalui air filtrasi (m)
- B = Panjang rata-rata tubuh embung (m)

Dan debit rembesan melalui pondasi dihitung dengan rumus berikut :

$$Q_p = K_p \times h \times \left(\frac{T}{B+T} \right) \quad (1-4)$$

dengan :

- K_p = Koefisien permeabilitas pada lapisan Pondasi (m/dt)
- h = Tinggi air (m)
- T = Tinggi pondasi embung (m)
- B = Lebar pondasi embung (m)

Garis depresi yang memotong lereng hilir tanggul embung homogen akan dapat berakibat terjadinya aliran-aliran filtrasi keluar permukaan lereng tersebut dan mengakibatkan terjadinya gejala-gejala sufosi serta sembulan air yang dapat mengakibatkan keruntuhan atau longsor kecil pada permukaan lereng yang bersangkutan. Untuk mengatasi masalah tersebut dianjurkan untuk dibuatkan sistem drainase di ujung tanggul hilirnya.

Tipe sistem drainase yang sesuai untuk tanggul dengan ketinggian kurang dari 15 m disarankan menggunakan konstruksi drainase pada tumit tanggul. Perhitungan tinggi sembulan air di hilir tanggul dapat dipakai rumus sebagai berikut:

$$\alpha + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} \quad (1-5)$$

dengan :

A = jarak $\overline{AC}$

Δa = jarak $\overline{C_0C}$

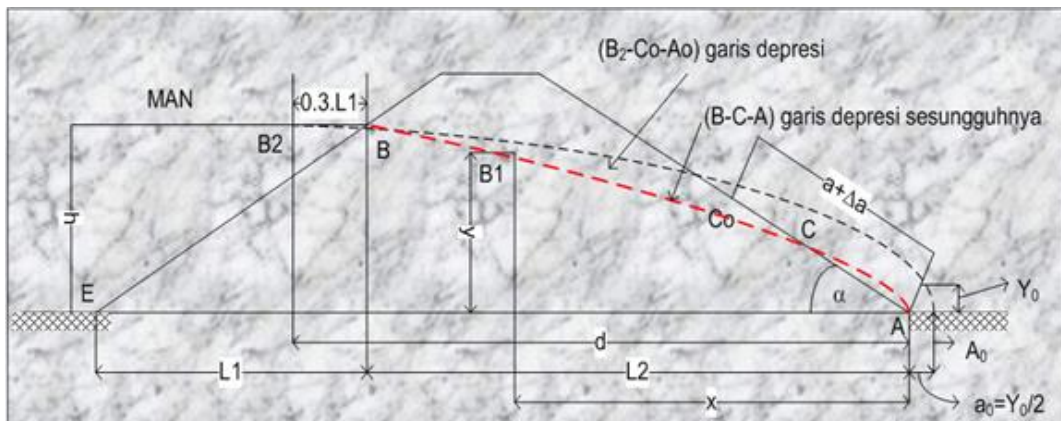
α = Sudut kemiringan lereng hilir tanggul

Maka :

$$a = ((d/\cos \alpha) - ((d/\cos \alpha) - (h/\cos \alpha)^2)^{0.5}) \quad (1-6)$$

(B₂-C₀-A₀) = garis depresi bukan sesungguhnya

(B-C-A) = garis depresi sesungguhnya

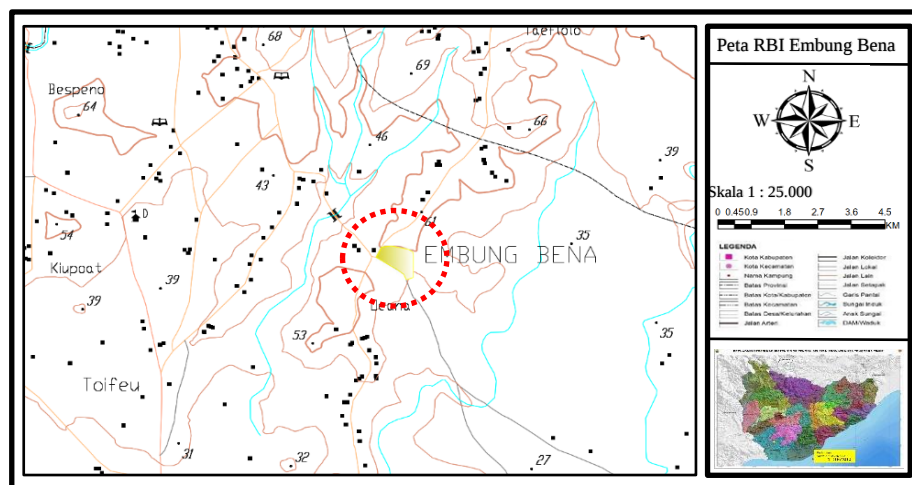


Gambar 1 Sketsa Garis Depresi pada Tubuh Embung.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Lokasi

Pembangunan Embung Bena berlokasi di Desa Bena Kecamatan Amanuban Kabupaten Timor Tengah Selatan, secara geografis terletak pada 10° 5'13.73"LS dan 124°14'21.17" BT.



Gambar 2 Peta RBI Embung Bena.

Embung Bena memiliki cakupan luas wilayah daerah aliran sungai (DAS) seluas 0.019 km² dengan panjang alur sungai yakni 0.142 km. Elevasi tertinggi DAS berada pada 51 mdpl sedangkan elevasi terendah berada pada ketinggian 41 mdpl. Stasiun hujan yang terdapat disekitar Lokasi Embung adalah Stasiun Hujan Panite (-10 LS, 124.21 BT) dan Stasiun Hujan Nifukani (09°54' 58,36,7" LS, 124° 19' 28,8" BT). Embung Bena berada pada morfologi alur yang diapit oleh bukit yang memiliki kelerengan 10° - 30°. Kondisi pada lokasi embung merupakan alur *intermiten* (musiman). Dilihat dari kondisi vegetasi yang ada sebagian besar terdiri atas semak, pepohonan sedang dan tanah kosong. Alur utama yang terbentuk mempunyai *gradien slope* miring (10°- 30°) dan hanya berair pada musim penghujan, karena sifat batuan dasar yang cukup kedap, sehingga menyebabkan air hujan yang turun lebih banyak langsung melimpas melalui alur-alur yang terbentuk di permukaan menuju ke sungai yang lebih besar di bagian hilir dari lokasi rencana.

3.2. Perencanaan Teknik

Perencanaan dan pengelolaan sumber daya air, khususnya pada pembangunan embung, analisis debit banjir dengan berbagai kala ulang menjadi salah satu komponen penting untuk memastikan keamanan dan efektifitas fungsi embung. Embung Bena yang beradach di wilayah dengan karakteristik hidrologi tertentu, memerlukan kajian debit bajir untuk memahami potensi aliran air puncak yang mungkin terjadi selama periode tertentu. Tabel berikut menyajikan hasil rekapitulasi debit banjir dengan berbagai metode perhitungan dan kalau ulang (T) yaitu 25 tahun, 50 tahun dan 100 tahun.

3.2.1 Rekapitulasi debit banjir dengan berbagai kala ulang T (tahun) Embung Bena

Tabel 1. Debit banjir dengan berbagai kala ulang

CA (Km ²)	Debit Kala Ulang (m ³ /dt)			Debit Kala Ulang (m ³ /dt)			Debit Kala Ulang (m ³ /dt)		
	25 th			50 th			100 th		
	Gumbel - Rasional	Log Pearson Type III - Rasional	Rasional Australia	Gumbel - Rasional	Log Pearson Type III - Rasional	Rasional Australia	Gumbel - Rasional	Log Pearson Type III - Rasional	Rasional Australia
0.019	0.458	0.363	0.496	0.363	0.420	0.559	0.557	0.464	0.623

Sumber: Hasil perhitungan.

3.2.2 Hubungan volume genangan dan luas tampungan

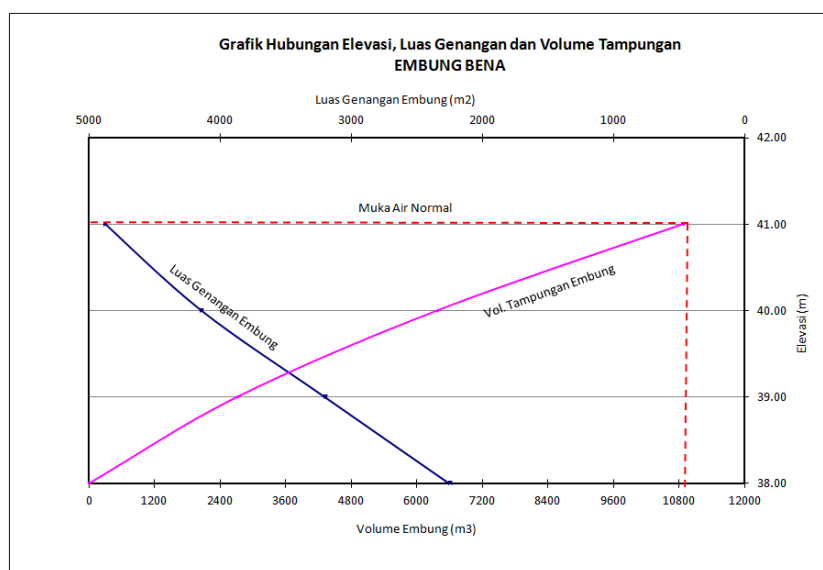
Sesuai hasil perencanaan desain embung diperoleh volumen tampungan masing-masing embung adalah sebagai berikut:

- | | |
|----------------------------------|----------------|
| a. Elevasi muka air normal | : 42.00 mdpl |
| b. Elevasi top tanggul | : 43.00 mdpl |
| c. Volume gross genangan | : 10,872.44 m3 |
| d. Volume sedimen untuk 20 tahun | : 38.96 m3 |
| e. Volume netto tampungan embung | : 10,833.48 m3 |
| f. Elevasi tampungan mati | : 38.270 mdpl |

Tabel 2. Hubungan volume genangan dan luas tampungan

No	Elevasi (m)	Tinggi Genangan (m)	Luas Genangan (m ²)	Kapasitas Tampungan (m ³)
1	38.00	0	2,249.85	-
2	39.00	1	3,199.45	2,710.75
3	40.00	2	4,140.52	6,370.64
4	41.00	3	4,873.01	10,872.44
5	42.00	4		
6	43.00	5		

Sumber: Hasil survey topografi dan perhitungan.



Gambar 2. Grafik Hubungan Elevasi, Luas Genangan dan Volume Tampungan.

3.2.3 Dimensi tanggul

Penentuan elevasi tinggi tanggul embung ditentukan berdasarkan elevasi tinggi genangan tampungan yang dibutuhkan ditambah dengan elevasi tinggi air banjir di atas pelimpah pada saat debit banjir rencana Q50 dan tinggi jagaan (*free board*).

Tabel 3. Dimensi Tanggul

Uraian	Keterangan
Jenis Tanggul	Homogen
Bahan Timbunan	Tanah
Kemiringan Lereng Hulu	1 : 3
Kemiringan Lereng Hilir	1 : 2.5
Elevasi Puncak Tanggul	43
Elevasi Dasar Genangan	36
Tinggi dr Dasar Genangan (m)	7.00

Lebar Puncak (m)	4.00
Panjang Tanggul (m)	129.92
Kedalaman Cut Off (m)	1.00

Sumber: Hasil perhitungan.

3.3. Stabilitas tubuh embung

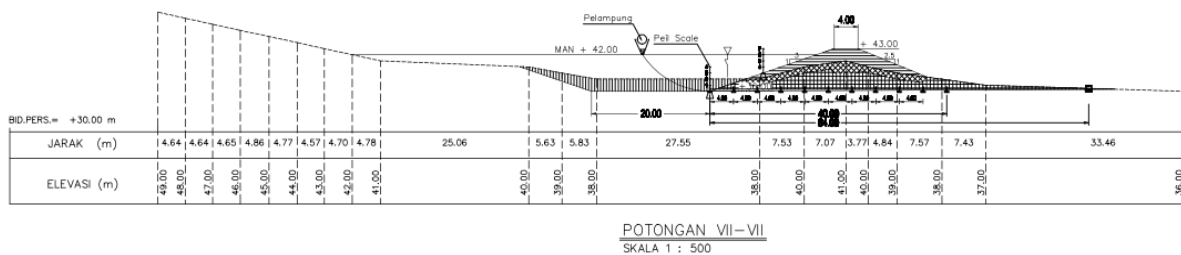
Perhitungan stabilitas embung didasarkan pada kaidah dan metode sebagaimana disyaratkan didalam Panduan Perencanaan. Dimana tinjauan stabilitas ini meliputi stabilitas lereng Embung, stabilitas Embung terhadap rembesan dan Deformasi. Dalam analisa tinjauan digunakan program bantu GeoStudio 2012.

3.2.1 Material penyusunan tubuh embung

Hasil pengujian sampel tanah diperoleh sifat fisik dan mekanika tanah seperti pada tabel berikut:

Tabel 4. Hasil Pengujian Sampel Tanah

No.	Parameter Material	Berat Volume		Koheisi		Sudut Geser	Permeability	
		g	g	C	C	f °	K	K
		gr/cm ³	kN/m ³	kg/cm ²	kPa	derajat	cm/dt	m/dt
1	Timbunan	1.31	12.847	0.883	86.593	21.57	1.23E-06	1.23E-08
2	Pondasi	1.31	12.847	0.883	86.593	21.57	1.23E-06	1.23E-08



Gambar 3. Profil potongan Embung Bena.

3.2.2 Faktor beban gempa

Lokasi Embung Bena terletak pada posisi 10° 5'13.73"LS dan 124°14'21.17" BT. Dari lokasi pekerjaan dapat kita tarik dalam Peta Hazard Gempa Indonesia 2017 nilai percepatan gempa dasar (PGA/*Peak Ground Acceleration*) untuk perhitungan periode kala ulang kegempaan yang akan kita gunakan dalam perhitungan stabilitas yaitu periode 100 tahun, dapat dilihat pada tabel Hazard Gempa Indonesia 2017 dibawah ini:

Tabel 4. Hazard Gempa Indonesia 2017



Sumber: (PuSGeN, 2017).

Peta Hazard Gempa Indonesia 2017 didapat nilai percepatan nilai puncak di batuan dasar S_b kala ulang 50 tahun = 0.2g.

1. Stabilitas Lereng Embung Terhadap Gelincir

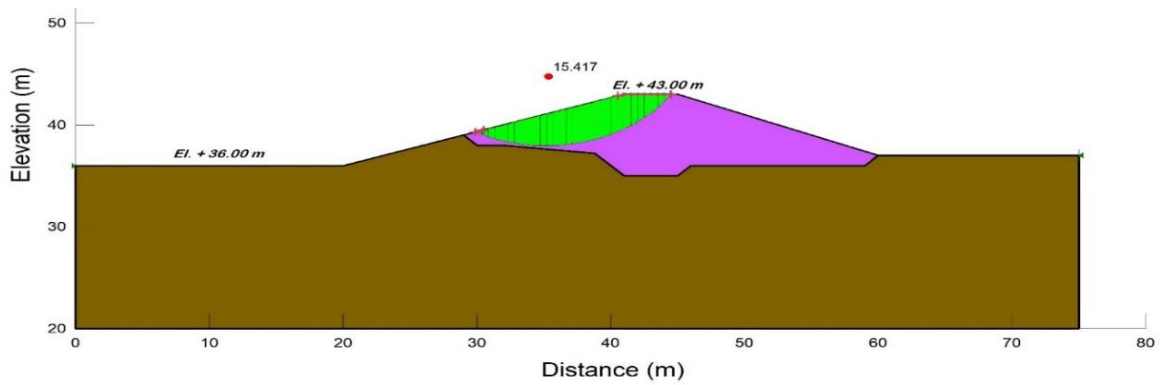
Stabilitas lereng Embung dikaji berdasarkan kesetimbangan antara ketahanan geser pada bidang miring Embung terhadap tekanan gesernya. Adapun metode yang digunakan adalah Metode Modified Morgenstern (untuk perhitungan cara gempa konvensional, dimana koefisien beban gempa dianggap merata untuk setiap ketinggian).

2. Perhitungan Stabilitas

Dengan bantuan Program GeoStudio 2012, perhitungan stabilan Embung dianalisa dalam dua kondisi yaitu kondisi statis (tanpa gempa) dan kondisi gempa. Prinsip dari program ini adalah mencari bidang longsor yang paling lemah.

a. Kondisi kosong

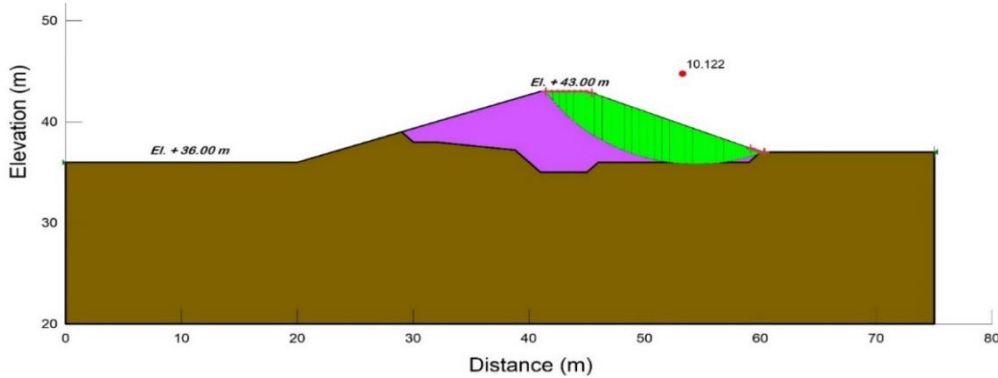
Hulu



Gambar 4. Analisis Lereng Hulu Kondisi Kosong.

Gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) pada saat kondisi kosong untuk lereng sebelah hulu adalah $15.417 > 1.3$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

Hilir

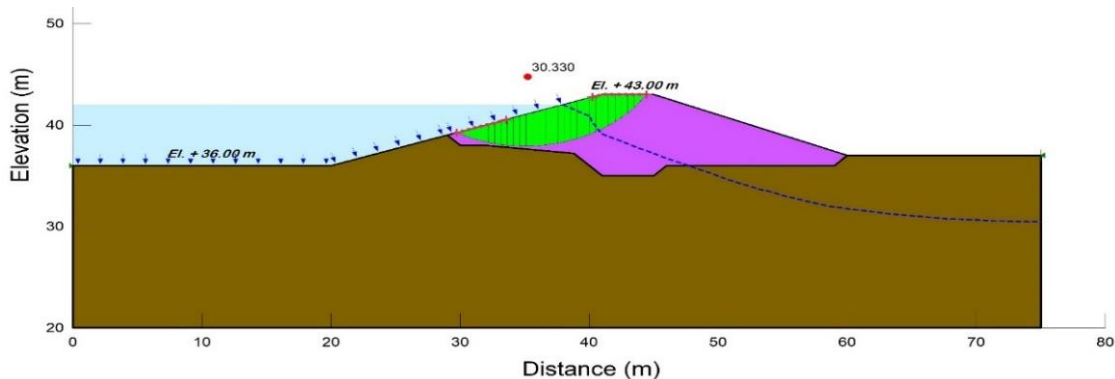


Gambar 5. Analisis Lereng Hilir Kondisi Kosong.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) pada saat kondisi kosong untuk lereng sebelah hilir adalah $10.122 > 1.3$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

b. Kondisi Muka Air Normal (MAN)

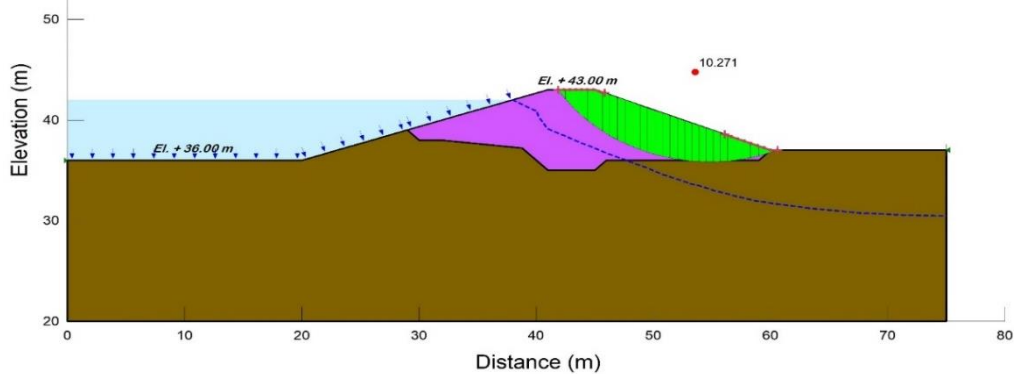
Hulu



Gambar 6. Analisis Lereng Hulu Kondisi Muka Air Normal.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) pada saat kondisi muka air normal untuk lereng sebelah hulu adalah $30.330 > 1.5$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

Hilir

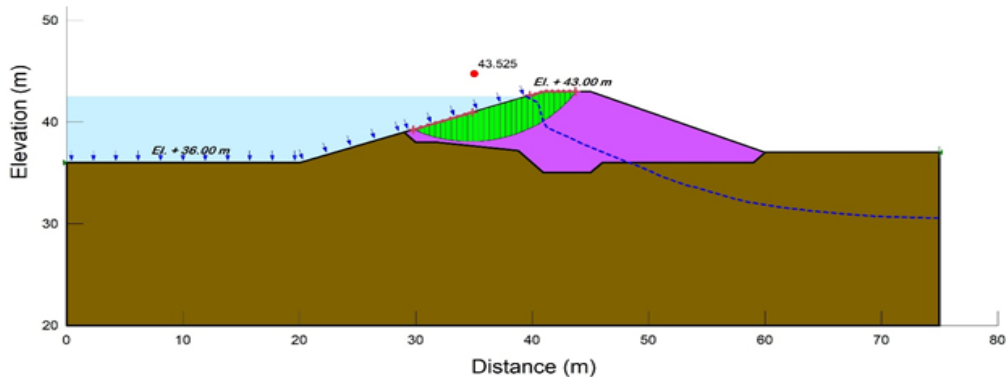


Gambar 7. Analisis Lereng Hilir Kondisi Muka Air Normal.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) pada saat kondisi muka air normal untuk lereng sebelah hilir adalah $10.271 > 1.5$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

c. Kondisi Muka Air Banjir (MAB)

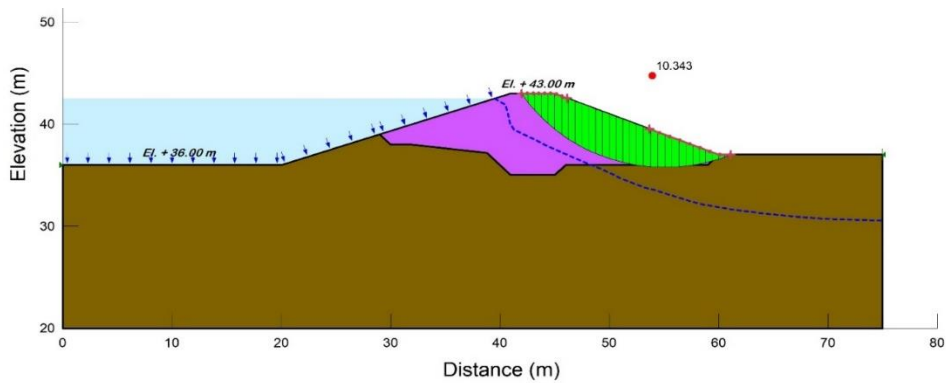
Hulu



Gambar 8. Analisis Lereng Hulu Kondisi Muka Air Banjir.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) pada saat kondisi muka air banjir untuk lereng sebelah hulu adalah $43.525 > 1.5$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

Hilir

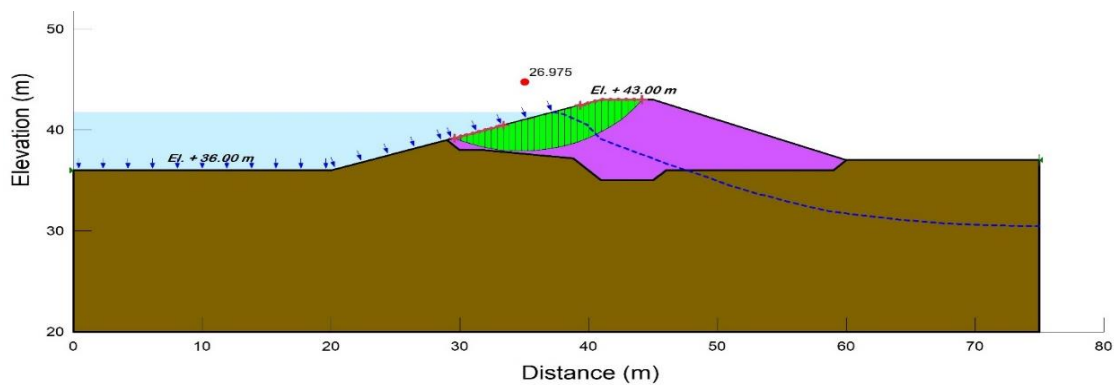


Gambar 9. Analisis Lereng Hilir Kondisi Muka Air Banjir.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai Safety Factor (SF) pada saat kondisi muka air banjir untuk lereng sebelah hilir adalah $10.343 > 1.5$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

d. Kondisi *Rapid drawdown* (RDD)

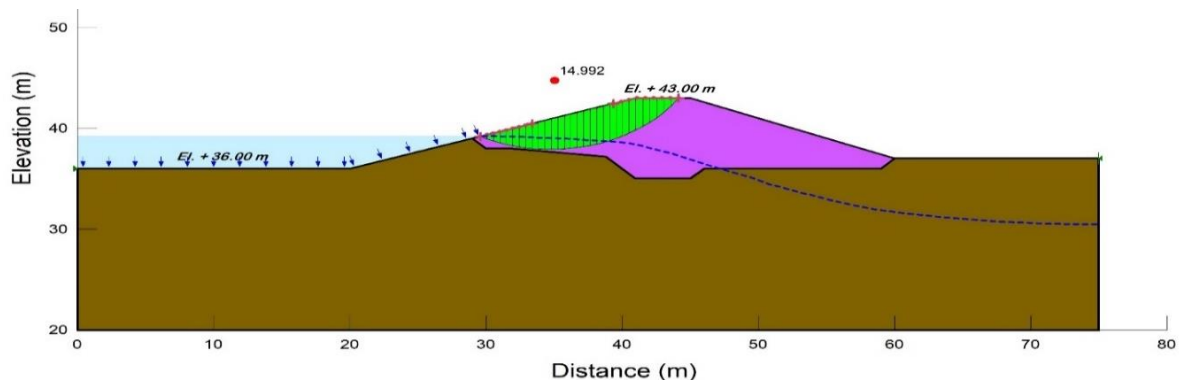
Hulu (SF Tertinggi)



Gambar 10. Analisis Lereng Hulu Kondisi *Rapid drawdown* (SF Tertinggi).

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) tertinggi pada saat kondisi rapid drawdown terjadi pada hari ke-1 untuk lereng sebelah hulu adalah $26.975 > 1.2$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

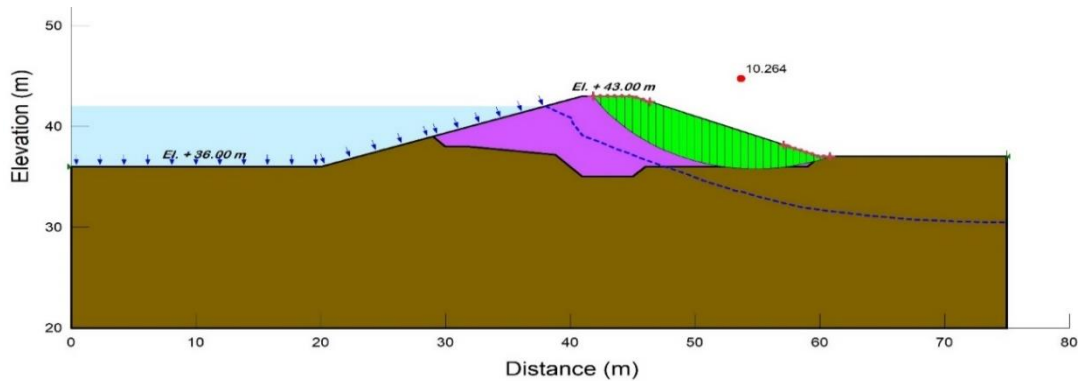
Hulu (SF Terendah)



Gambar 11. Analisis Lereng Hulu Kondisi *Rapid drawdown* (SF Terendah).

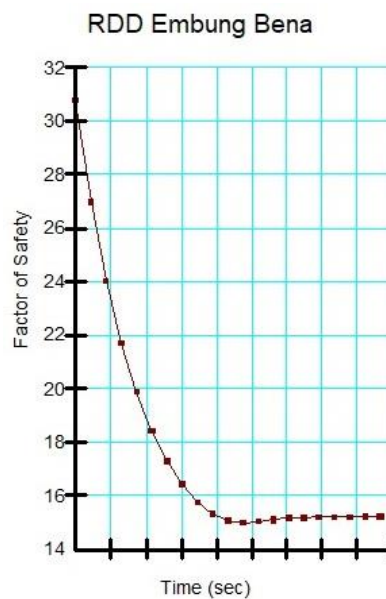
Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) terendah pada saat kondisi *rapid drawdown* terjadi pada hari ke-11 untuk lereng sebelah hulu adalah $14.992 > 1.2$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.

Hilir



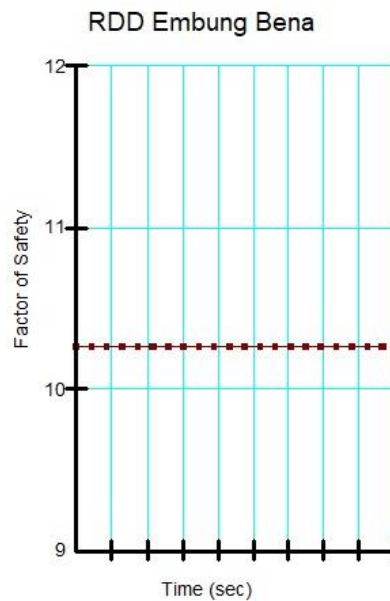
Gambar 12. Analisis Lereng Hilir Kondisi Rapid drawdown.

Dari gambar diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) sama untuk setiap penurunan muka air, untuk lereng sebelah hilir adalah $10.264 > 1.2$ (SF Ijin), maka lereng tersebut dikatakan aman.



Gambar 13. Grafik Nilai SF Kondisi *Rapid drawdown* (Hulu).

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) tertinggi terjadi pada hari ke-1 kemudian nilai *Safety Factor* (SF) semakin rendah sampai hari ke-20, hal ini dikarenakan apabila terjadi penurunan muka air secara tiba-tiba dapat mempengaruhi nilai *Safety Factor* (SF) semakin rendah.



Gambar 14. Grafik Nilai SF Kondisi *Rapid drawdown* (Hulu).

Dari gambar grafik diatas dapat dilihat bahwa nilai *Safety Factor* (SF) konstan atau tidak berubah pada hari ke-1 sampai hari ke-20, hal ini dikarenakan apabila garis freatik tidak menyentuh bidang longsor maka nilai *Safety Factor* (SF) tidak akan berubah.

4. Kesimpulan

Studi stabilitas lereng Embung Bena menunjukkan bahwa seluruh kondisi operasional yang dianalisis termaksud kondisi saat kosong, muka air normal (MAN), muka air banjir (MAB), dan *rapid drawdown* (RDD) menghasilkan nilai *safety factor* (SF) yang secara konsisten berada jauh di atas nilai ambang batas yang dipersyaratkan ($SF \geq 1.2 - 1.5$). Melalui analisis numerik menggunakan GeoStudio 2012 dengan metode Modified Morgenstren-Price, diperoleh SF tertinggi sebesar 43.525 dan SF terendah sebesar 10.122 pada kondisi ekstrim sekalipun. Hal ini menunjukkan bahwa lereng tubuh embung, baik sisi hulu maupun sisi hilir berada pada kondisi sangat stabil. Dengan demikian harapan yang disampaikan yakni bahwa keberhasilan Embung Bena tidak hanya ditentukan oleh kapasitas tampungnya saja tetapi juga oleh kekuatan dan kestabilan lereng telah terpenuhi secara menyeluru. Analisis ini membuktikan bahwa desain teknis yang diterapkan mampu menjamin keselamatan struktur dan keberlanjutan fungsi embung jangka panjang.

Daftar Pustaka

- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia. (2018). *Surat Edaran No. 7 Tahun 2018 tentang Pedoman Pembangunan Embung Kecil dan Bangunan Penampung Air Lainnya di Desa* (p. 113).
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2004a). *Analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat gempa: Pedoman konstruksi dan bangunan* (Pd T-14-2004-A).
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2004b). *Peta zona gempa Indonesia sebagai acuan dasar perencanaan dan perancangan bangunan*. Pusat Litbang Sumber Daya Air.

- Mali, M. S., Tanesib, J. L., & Pingak, R. K. (2018). Pemetaan daerah rawan erosi dengan menggunakan aplikasi penginderaan jauh dan sistem informasi geografi di Kabupaten Timor Tengah Selatan, Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Fisika: Fisika Sains dan Aplikasinya*, 2(2), 58–65. <https://doi.org/10.35508/fisa.v2i2.546>
- Pusat Studi Gempa Nasional (PuSGeN). (2017). *Pusat Studi Gempa Nasional*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Perumahan dan Permukiman.
- Setiyanto, R., Djarwanti, N., & Rahmadi, A. P. (2014). Analisis struktur bendungan (Studi kasus konstruksi Embung Gamang). *E-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2(2), 657. <http://peer.berkeley.edu/smcat/search.html>
- Wijaya, I. P. S. (2021). Analisis stabilitas lereng pembangunan embung Desa Bumi Ayu Kecamatan Pringsewu. *Jurnal Profesi Insinyur Universitas Lampung*, 2(2), 6–11. <https://doi.org/10.23960/jpi.v2n2.59>
-