



PERENCANAAN EMBUNG WAE LERONG UNTUK PEMENUHAN KEBUTUHAN AIR IRIGASI DI DAERAH IRIGASI WAE LERONG RUTENG PROVINSI NTT

WAE LERONG SMALL DAM DESIGN TO FULFILL IRRIGATION WATER NEEDS IN THE WAE LERONG IRRIGATION AREA OF RUTENG IN EAST NUSA TENGGARA PROVINCE

Oleh:

**Denik Sri Krisnayanti¹⁾✉, Elsy E. Hangge¹⁾, Tri M.W. Sir¹⁾,
Eugenius Nino Mbauth¹⁾, Alvine C. Damayanti²⁾**

¹⁾ Prodi Teknik Sipil, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Jl. Adi Sucipto Penfui, Kupang, Indonesia

²⁾ Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya
Jl. MT. Haryono No.167, Malang, Indonesia

Korespondensi Penulis, email: ✉denik.krisnayanti@staf.undana.ac.id, telp: +62-8123794142

Naskah ini diterima pada 31 Maret 2019; revisi pada 18 Mei 2020;
disetujui untuk dipublikasikan pada 24 Agustus 2020

ABSTRACT

Wae Lerong Small dam is located in Ruteng City, Manggarai District which has a catchment area of 0,606 km² and the annual rainfall ranges from 2,500-3,000 mm/year. But in some locations still having water shortages, so it needs rainwater harvesting to get increase agricultural potential during the dry season. This study aims to design the Wae Lerong Small dam as a rainwater reservoir during the rainy season and used in utilization to fulfill the needs of irrigation water. The method used is a quantitative method with empirical data analysis. The rainfall analysis used the Log Pearson III method and flood discharge analysis using the rational method. Evapotranspiration calculations using the Penman Modification method and the dependable discharge analysis using the F.J. Mock method. The analysis of slope stability using the Limit Equilibrium Method aided by the GeoStudio Slope / W 2007 Program. The results showed that the average monthly rainfall ranged from 28.87 - 511.99 mm/month. The rainfall for 50-year return period of 249.28 mm, and flood discharge for 50-year return period of 12.094 m³/s. The design of Wae Lerong dam is height of 13.5 m, a width of 5 m, length of 81.50 m, the upstream slope of 1:3, and downstream slope 1:2.25. For the stability of the reservoir body safety value > 1.10 so it is still in a safe condition. Wae Lerong Small dam storage capacity is 86,540.96 m³ with an inundation surface area of 19,855.69 m² at a normal water level of 1,204.00 m. The value of dependable flow is 0.001 - 0.793 m³/s and the water requirements for planting pattern 1 (Paddy-Paddy-Palawija) increase up to 0.176 m³/s. The water balance values deficit in May - September which ranged from 0.017 to 0.13 m³/s.

Keywords: **small dam design, slope stability, irrigation water, GeoStudio Slope/W, dependable flow**

ABSTRAK

Embung Wae Lerong terletak di Kota Ruteng Kabupaten Manggarai, memiliki luas tangkapan sebesar 0,606 km² dan curah hujan tahunan berkisar 2.500-3.000 mm/tahun. Namun pada beberapa lokasi masih mengalami keterbatasan air, sehingga dibutuhkan bangunan penangkap hujan untuk membantu peningkatan pertanian saat musim kemarau. Penelitian ini bertujuan untuk mendesain Embung Wae Lerong sebagai penampung air selama musim hujan agar dapat digunakan dalam pemenuhan kebutuhan air irigasi. Metode yang digunakan adalah metode kuantitatif dengan analisis data secara empiris. Analisis curah hujan digunakan metode Log Pearson III dan analisis debit banjir menggunakan metode Rasional. Perhitungan evapotranspirasi menggunakan metode Penman Modifikasi dan analisis debit andalan menggunakan metode F.J. Mock. Analisis stabilitas lereng menggunakan metode *Limit Equilibrium Method* dibantu dengan Program *GeoStudio Slope/W 2007*. Hasil penelitian menunjukkan curah hujan rerata bulanan berkisar 28,87 - 511,99 mm/bulan. Curah hujan periode ulang 50 tahun sebesar 249,28 mm serta debit banjir untuk kala ulang 50 tahun sebesar 12,094 m³/s. Desain tubuh Embung Wae Lerong adalah tinggi 13,5 m, lebar puncak 5 m, panjang embung 81,50 m, kemiringan lereng hulu 1:3, dan kemiringan hilir 1:2,25. Untuk angka keamanan stabilitas tubuh embung nilainya > 1,10 sehingga masih dalam kondisi aman. Kapasitas tampungan Embung Wae Lerong adalah sebesar 86.540,96 m³ dengan luas permukaan genangan sebesar 19.855,69 m² pada elevasi MAN 1.204,00 m. Ketersediaan debit andalan pada Embung Wae Lerong adalah 0,001 - 0,793 m³/s dan kebutuhan air irigasi untuk Pola Tata Tanam I (Padi-Padi-Palawija) berkisar hingga 0,176 m³/s. Nilai keseimbangan air mengalami defisit pada bulan Mei - September yang berkisar 0,017 - 0,13 m³/s.

Kata kunci: **desain embung, stabilitas lereng, air irigasi, GeoStudio Slope/W, debit andalan**

I. PENDAHULUAN

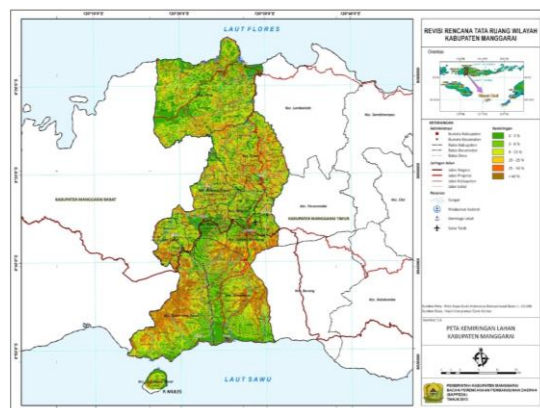
Penyediaan air untuk berbagai kebutuhan menjadi prioritas utama dalam pengembangan Sumber Daya Air (SDA) di Provinsi Nusa Tenggara Timur. Keberadaan sektor pertanian dan peternakan di Kabupaten Manggarai menjadi sangat penting karena mata pencaharian utama masyarakat pada kabupaten ini adalah bertani dan beternak. Kedua sektor di atas merupakan sektor andalan dalam menyumbang pendapatan asli daerah Kabupaten Manggarai. Sumber air yang digunakan masyarakat Kabupaten Manggarai untuk kebutuhan pertanian sebagian besar berasal dari sungai-sungai dan air hujan. Ditinjau dari aspek iklim, kondisi curah hujan yang terjadi di Manggarai relatif tinggi dengan intensitas curah hujan rata-rata 2.500-3.000 mm/tahun, sehingga mempunyai potensi limpasan air yang cukup besar untuk bisa dimanfaatkan pada saat musim kemarau/kering (Krisnayanti & Bunganaen, 2018). Konstruksi embung sangat cocok digunakan pada kondisi topografinya berbukit-bukit sehingga banyak cekungan yang dapat digunakan untuk menampung air hujan.

Embung merupakan bangunan konservasi air berbentuk kolam yang bertujuan untuk menampung air hujan, air limpasan, serta sumber air lainnya, yang kemudian digunakan pada saat musim kemarau untuk memenuhi kebutuhan masyarakat di sekitar lokasi (Kasiro, Adidarma, Rusli, Sunarto, & Nugroho, 1994). Pembangunan tanggungan air berupa waduk dan embung, serta penghematan air untuk semua pengguna air merupakan salah satu upaya dalam meningkatkan ketahanan air irigasi (Hatmoko, Radhika, Firmansyah, & Fathoni, 2018). Beberapa kajian telah dilakukan terhadap ketahanan air irigasi permukaan dengan pemanfaatan air embung ataupun air tanah di daerah semi kering seperti Nusa Tenggara Timur (Ginting, Rahmandani, & Indarta, 2018; Notoatmojo & Rivai, 2001; Prianto, Umar, Kartamihardja, & Husnah, 2017; Soedireja, 2017). Berbagai faktor dalam perhitungan ketersediaan air yang diperoleh selama musim penghujan menentukan keberhasilan pembangunan dan pengoperasian embung.

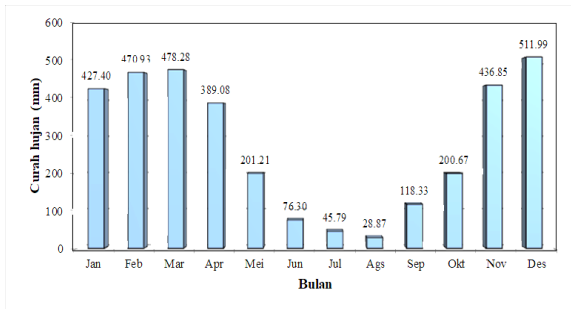
Embung Wae Lerong, terletak di Kelurahan Golodukal, Kota Ruteng, Kabupaten Manggarai, pada $08^{\circ}35'4.25''$ - $08^{\circ}37'34.98''$ LS dengan luas Daerah Aliran Sungai (DAS) sekitar 0,606 km² (Erojaya, 2017). Koefisien pengaliran pada Kabupaten Manggarai berkisar dari 0,220- 0,823 (Krisnayanti, Karels, & Nursyam, 2018). Peta Administrasi Kabupaten Manggarai ditunjukkan pada Gambar 1. Curah hujan di Pos Stasiun Hujan Ruteng berkisar 28,87 mm pada bulan Agustus dan

511,99 mm pada bulan Desember, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Namun pada beberapa lokasi masih mengalami kekurangan air, khususnya air untuk kebutuhan pertanian seperti pada Desa Benteng Kuwu dan Desa Poco Likang. Kedua desa tersebut terletak di sebelah barat Kota Ruteng dengan keadaan topografi berbukit serta terdapat daerah dataran yang cukup luas yang berpotensi untuk dikembangkan sebagai lahan pertanian. Untuk kebutuhan air bersih, pada kedua desa ini sebagian besar menggunakan air PDAM sedangkan kebutuhan untuk air pertanian, kedua desa ini mengandalkan sumber air dari Gunung Tuke Nikit yang berada di bagian selatan desa tersebut. Tetapi volume air yang didapat dari Gunung Tuke Nikit masih belum mencukupi sehingga sedikit dari warga sekitar yang memanfaatkan lahannya untuk menanam sayur-sayuran ataupun menanam padi. Oleh karena itu, di daerah ini perlu dibangun embung guna menampung air hujan agar dapat dimanfaatkan untuk kebutuhan pertanian.

Perencanaan tentang embung sudah banyak dilakukan. Berbagai metode dalam analisis hidrologi ataupun dalam analisis perhitungan stabilitas tubuh embung menjadi pilihan bagi perencana bangunan air. Azizi, Anwar, & Ansori (2014) menggunakan metode Nakayasu dalam menghitung debit banjir Embung Jatibamban Banyuwangi. Pujiastuti, Asmaranto, & Hendrawan (2016) menggunakan dua metode dalam menghitung debit banjir yakni metode Rasional dan metode Nakayasu, sedangkan perhitungan stabilitas lereng menggunakan Metode Fellenius. Arizal, Juwono, & Saputra (2017) menggunakan 3 metode sekaligus untuk menghitung debit banjir yakni Metode HSS Nakayasu, HSS Gama 1, HSS Snyder. Untuk analisis stabilitas lereng digunakan metode irisan bidang miring. Penentuan metode dalam analisis debit banjir juga bergantung pada luasan daerah tangkapan embung.



Gambar 1 Peta Administrasi Kabupaten Manggarai
Sumber: Peta Tematik Indonesia, 2018



Sumber: Stasiun Klimatologi Ruteng, 2018

Gambar 2 Tinggi Curah Hujan Bulanan Rata-rata di Ruteng

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendesain Embung Wae Lerong sebagai penampung air selama musim hujan sehingga dapat digunakan pada saat musim kemarau. Dengan demikian, diharapkan mampu meningkatkan kesejahteraan masyarakat sekitar embung di bidang pertanian. Perencanaan Embung Wae Lerong di Kabupaten Manggarai ini menggunakan metode Log Pearson III sebagai metode terpilih untuk curah hujan rancangan, metode Rasional untuk analisis debit banjir, metode *Limit Equilibrium Method* (LEM) untuk analisis stabilitas tubuh embung dan dibantu dengan *software* Program *GeoStudio Slope/W* 2007. Hasil desain tersebut dilanjutkan dengan menghitung ketersediaan air embung untuk kebutuhan air irigasi beserta pola tata tanam yang sesuai dengan kondisi kebutuhan areal irigasi

II. METODOLOGI

Sumber data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer dan data sekunder. Tahapan yang dilakukan meliputi:

- 1) Perhitungan curah hujan rancangan selama 15 tahun yaitu dari tahun 2001 - 2015 dengan menggunakan metode Gumbel, Log Pearson Tipe III, metode Distribusi Normal, metode Distribusi Log Normal.
- 2) Pemilihan jenis sebaran dilakukan dengan memilih jenis sebaran yang memenuhi syarat keterpenuhannya yaitu metode Log Pearson Tipe III kemudian dilanjutkan dengan pengujian data menggunakan Uji Chi Square dan Uji Smirnov Kolmogorof.

Persyaratan parameter statistik yang harus dipenuhi oleh suatu distribusi curah hujan adalah seperti dalam Tabel 1.

Tabel 1 Persyaratan Parameter Statistik

Jenis Distribusi	Syarat yang Harus Dipenuhi
Normal	$C_s = 0; C_k = 3$
Log Normal	$C_s = 1,137; C_k = 3 C_v$
Gumbel Tipe I	$C_s = 1,139; C_k = 5,400$
Log Pearson Tipe III	$C_s \neq 0$

Sumber: Soewarno, 1995

- 3) Perhitungan debit banjir dilakukan dengan menggunakan kala ulang beberapa tahun mulai dari 2 tahun, 5 tahun, 10 tahun, 25 tahun dan 50 tahun dengan menggunakan metode Rasional.
- 4) Perhitungan volume tampungan embung dihitung berdasarkan hasil pengukuran topografi.
- 5) Perhitungan dimensi tubuh embung yang dimulai dengan pemilihan kemiringan lereng urugan, perhitungan tinggi jagaan dan tinggi puncak, perhitungan lebar puncak, perhitungan panjang embung, pemilihan pelindung lereng serta penempatan drainase kaki.
- 6) Perhitungan formasi garis depresi dengan menggunakan metode casagrande untuk embung menggunakan drainase kaki dengan menggunakan dimensi tubuh embung hasil perhitungan sebelumnya.
- 7) Perhitungan stabilitas lereng tubuh embung dengan menggunakan *Software SLOPE/W* dari *GeoStudio 2007* sesuai dengan dimensi tubuh embung yang telah dihitung dan dengan menggunakan parameter desain yang didapatkan dari hasil pengujian tanah pada lokasi embung yang dihitung dengan menggunakan beberapa keadaan seperti dalam keadaan normal, keadaan banjir, keadaan gempa serta keadaan terjadinya penurunan muka air secara tiba-tiba.
- 8) Perhitungan evapotranspirasi dengan metode Penman Modifikasi, kebutuhan air tanaman, kebutuhan air di petak, efisiensi irigasi hingga kebutuhan air total.
- 9) Perhitungan debit andalan FJ Mock untuk mendapatkan nilai neraca air di DAS Wealerong.
- 10) Simulasi pola tata tanam yang sesuai untuk kondisi ketersediaan air dan kebutuhan air irigasi di DAS Wae Lerong.

Untuk lebih jelasnya tahapan dalam penelitian ini disajikan dalam bagan alir seperti pada Gambar 3.

Perhitungan hidrograf banjir digunakan metode Rasional karena praktis untuk penentuan nilai debit banjir pada luasan areal DAS yang tidak luas ($< 25 \text{ km}^2$). Adapun rumus Rasional yang digunakan adalah:

$$Q_p = 0,278 \cdot C \cdot I \cdot A \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- Q_p = Debit maksimum (m^3/s)
- C = Koefisien aliran
- I = Intensitas Hujan (mm/jam)
- A = Luas daerah aliran (km^2)

$$t_c = L/V \dots\dots\dots(2)$$

$$V = 72 (H/L)^{0.5} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:

- L = Panjang sungai (km)
- V = Kecepatan rambat banjir (km/jam)
- H = Beda tinggi antara titik terjauh (di hulu) dengan titik pengamatan (km)

Untuk mengetahui elevasi muka air banjir maka dilakukan penelusuran banjir melalui pelimpah dengan perhitungan hidrolika dan lebar pelimpah akan digunakan Q_{50th} . Rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$Q = V \times A \dots\dots\dots(4)$$

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{0.5} \dots\dots\dots(5)$$

$$R = A/P \dots\dots\dots(6)$$

$$P = B + ((2 \times h \times (m^2 + 1))^{0.5}) \dots\dots\dots(7)$$

$$A = (B + (m \times h)) \times h \dots\dots\dots(8)$$

Keterangan:

- Q = Puncak banjir desain yang melalui pelimpah (m^3/d)
- B = Lebar rencana
- H = Tinggi air
- V = Kecepatan aliran (m/d)
- A = Potongan melintang basah (m^2)
- n = Koefisien kekasaran manning
- P = Parameter basah (m)
- R = Jari-jari hidrolis (m)
- S = Kemiringan saluran
- m = Kemiringan talud

2.1. Kapasitas Tampung Embung

Kapasitas tampungan suatu embung yang bentuknya beraturan dapat dihitung dengan rumus – rumus untung menghitung benda padat. Perhitungan ini didasarkan pada peta hasil pengukuran di lapangan dengan beda tinggi kontur 1 meter (Soedibyo, 1993).

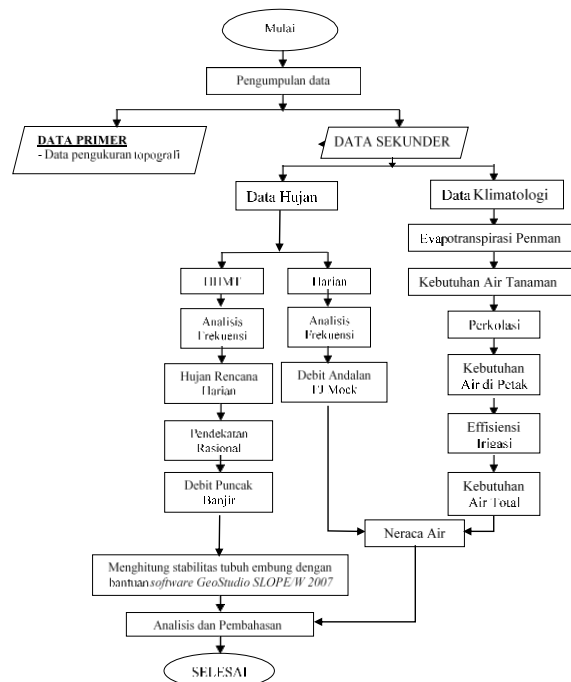
$$V_x = \frac{1}{3} \times Z \times (F_y + F_x + \sqrt{F_y + F_x}) \dots\dots\dots(9)$$

Keterangan:

- V_x = Volume pada kontur X (m^3)
- Z = Beda tinggi antar kontur (m)
- F_y = Luas pada kontur Y (km^2)
- F_x = Luas pada kontur X (km^2)

2.2. Stabilitas Lereng Embung

Analisa stabilitas lereng embung berguna untuk menganalisa kondisi stabilitas rencana bangunan, dimana diharapkan dari analisa ini diperoleh hasil desain yang aman. Faktor aman yang disyaratkan dapat dilihat pada Tabel 2.



Gambar 3 Diagram Alir Penelitian

Tabel 2 Angka Aman Minimum untuk Stabilitas Lereng

Keadaan Rancangan/Tinjauan	Angka Aman Minimum	
	Lereng hilir	Lereng hulu
Saat konstruksi dan akhir konstruksi	1,25	1,25
Saat pengoperasian embung dan saat embung penuh	1,50	1,50
Rapid draw down	1,20	1,20
Saat gempa	1,10	1,10

Sumber: (Sosrodarsono & Takeda, 2016)

2.3. Formasi Garis Depresi

Penentuan garis depresi pada zona kedap air suatu embung dapat dihitung dengan metode Casagrande, seperti pada Gambar 4. Ujung tumit hilir bendungan dianggap sebagai titik permulaan koordinat dengan sumbu-sumbu x dan y, maka garis depresi dapat diperoleh dengan persamaan parabola bentuk dasar sebagai berikut:

$$x = \frac{y^2 - y_0^2}{2y_0} \dots\dots\dots(10)$$

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \dots\dots\dots(11)$$

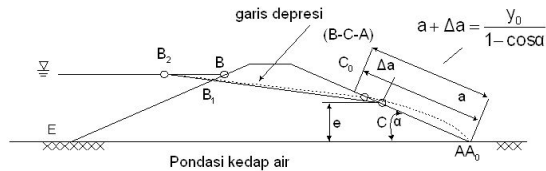
$$y_0 = \sqrt{h^2 + d^2} - d \dots\dots\dots(12)$$

Keterangan:

- h = jarak vertikal antara titik-titik A dan B
- d = jarak horizontal antara titik B₂ dan A
- I₁ = jarak horizontal antara titik-titik B dan E
- I₂ = jarak horizontal antara titik B dan A
- A = ujung tumit hilir bendungan
- B = titik perpotongan antara permukaan air waduk dan lereng hulu bendungan

A₁ = titik perpotongan antara parabola bentuk besar garis depresi dengan garis vertikal melalui titik B

B₂ = titik yang terletak sejauh 0,3 I₃ horizontal ke arah hulu dari titik B



Sumber: Sosrodarsono & Takeda (1989)

Gambar 4 Garis Depresi Pada Embung Homogen (sesuai Garis Parabola)

2.4. Stabilitas Lereng

Perhitungan stabilitas tubuh bendungan biasanya dilakukan dengan metode irisan bidang luncur bundar (*slice method on circular slip surface*). Selanjutnya akan diuraikan perhitungan metode irisan pada bidang luncur dan metode metode irisan pada bidang luncur kombinasi.

Andaikan bidang luncur bundar dibagi dalam beberapa irisan vertikal, maka faktor keamanan dari kemungkinan terjadinya longsor dapat diperoleh dengan menggunakan rumus keseimbangan sebagai berikut (Sosrodarsono & Takeda, 2016):

$$F_s = \frac{\sum \{C_l + (N - U - Ne) \tan \phi\}}{\sum (T - Te)}$$

$$= \frac{\sum C_l + \sum \{ \gamma \cdot A (\cos \alpha - e \cdot \sin \alpha) - V \} \tan \phi}{\sum \gamma \cdot A (\sin \alpha + e \cdot \cos \alpha)} \dots \dots \dots (13)$$

Keterangan:

- F_s = Faktor keamanan
- N = Beban komponen vertikal yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur (= $\gamma \cdot A \cdot \cos \alpha$)
- T = Beban komponen tangensial yang timbul dari berat setiap irisan bidang luncur (= $\gamma \cdot A \cdot \sin \alpha$)
- U = Tekanan air pori yang bekerja pada setiap irisan luncur.
- N_e = Komponen vertikal beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang luncur (= $e \cdot \gamma \cdot A \cdot \sin \alpha$)
- T_e = Komponen tangensial beban seismis yang bekerja pada setiap irisan bidang luncurnya (= $e \cdot \gamma \cdot A \cdot \cos \alpha$)
- Ø = Sudut gesekan dalam bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur.
- C = Angka kohesi bahan yang membentuk dasar setiap irisan bidang luncur
- Z = Lebar setiap irisan bidang luncur
- e = Intensitas seismis horisontal

- γ = Berat isi dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- A = Luas dari setiap bahan pembentuk irisan bidang luncur
- α = Sudut kemiringan rata-rata dasar setiap irisan bidang luncur
- V = Tekanan air pori

2.5. Koefisien Gempa untuk Embung

Analisis koefisien gempa yang digunakan untuk perencanaan bendungan/embung, didasarkan pada "Pedoman Konstruksi dan Bangunan Sipil, Analisis Dinamik Bendungan/embung Urugan, di mana koefisien gempa dihitung dengan menggunakan rumus-rumus sebagai berikut:

$$a_d = Z \times a_c \times v \dots \dots \dots (14)$$

$$K = a_d / g \dots \dots \dots (15)$$

Keterangan:

- K = koefisien gempa
- a_d = Percepatan gempa permukaan tanah terkoreksi (cm/s²)
- g = percepatan gravitasi (980 cm/s²)
- Z = koefisien zona gempa (Gambar 5)
- a_c = percepatan gempa dasar (g)
- v = faktor koreksi pengaruh jenis tanah setempat

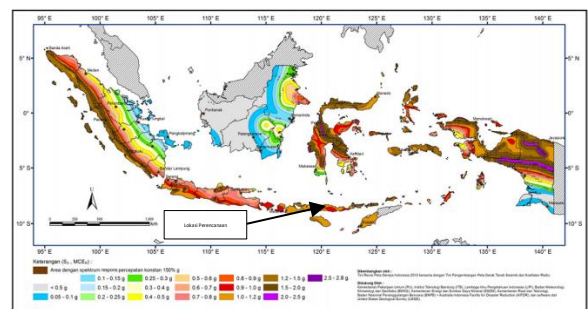
2.4. Analisis Kebutuhan Air

Analisis kebutuhan air yang dikaji adalah meliputi segala aspek dibidang pertanian yang berkaitan dengan penggunaan air di lahan yang terdiri atas:

a) Kebutuhan Air Irigasi

Kebutuhan air irigasi adalah sejumlah air yang diperlukan untuk mengganti air yang hilang akibat penguapan. Untuk menghitung kebutuhan air irigasi menurut rencana pola tata tanam, ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan yaitu:

- 1) Pola tanam yang direncanakan
- 2) Luas areal yang akan ditanami
- 3) Kebutuhan air pada petak sawah
- 4) Efisiensi irigasi



Sumber: Pusat Studi Gempa Nasional, 2017

Gambar 5 Peta Zona Gempa Indonesia

b) Kebutuhan Air di Sawah

Kebutuhan air di sawah adalah kebutuhan air yang diperlukan pada petakan sawah yang terdiri atas:

- 1) Kebutuhan air untuk pengolahan tanah
- 2) Kebutuhan air untuk pertumbuhan tanaman
- 3) Kebutuhan air untuk mengganti kehilangan air pada petakan-petakan sawah.
- 4) Efisiensi irigasi

Banyaknya air yang diperlukan oleh tanaman pada suatu petak sawah dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$NFR = ETc + P + WLR - Re \dots\dots\dots(16)$$

Keterangan:

- NFR = kebutuhan air di sawah (mm/hari)
- ETc = kebutuhan air tanaman (mm/hari)
- WLR = penggantian lapisan air (mm/hari)
- P = perkolasi (mm/hari)
- Re = curah hujan efektif (mm)

c) Kebutuhan Air Tanaman

Besarnya kebutuhan air tanaman dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut (Limantara, 2018):

$$ETc = Kc \cdot Eto \dots\dots\dots(17)$$

keterangan:

- ETc = kebutuhan air tanaman (mm/hari)
- Kc = koefisien tanaman
- Eto = evapotranspirasi potensial (mm/hari)

d) Kebutuhan Air Untuk Penyiapan Lahan

Kebutuhan air selama jangka waktu penyiapan lahan dihitung berdasarkan rumus V.D. Goor – Zijlstra dengan persamaan sebagai berikut (Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum, 2013):

$$IR = \frac{Nxe^k}{e^{k-1}} \dots\dots\dots(18)$$

Keterangan:

- IR = kebutuhan air irigasi di sawah (mm/hari)
- N = kebutuhan air untuk mengganti kehilangan akibat evaporasi dan perkolasi di sawah yang sudah dijenuhkan (mm/hari) = $Eo + P$
- Eo = evaporasi air terbuka yang diambil $1,1 \times Eto$ selama penyiapan lahan (mm/hari)
- P = perkolasi (mm/hari)
- e^k = efisiensi irigasi secara keseluruhan
- k = NT / S
- T = jangka waktu penyiapan lahan (hari)
- S = air yang dibutuhkan untuk penjenuhan ditambah dengan 50 mm, jadi $20 + 50 = 300$ mm

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis untuk perencanaan Embung Wae Lerong meliputi empat hal, yaitu aliran masuk (*inflow*) yang mengisi embung, tampungan embung, banjir desain untuk menentukan kapasitas dan dimensi bangunan pelimpah (*spillway*), dan analisis neraca air (*water balance*) untuk mendapatkan pola tata tanam yang optimum.

3.1. Analisis Hidrologi

Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan hujan maksimum rata-rata kawasan (*areal rainfall*) yang mewakili suatu DAS/Sub-DAS, dengan mempertimbangkan besar curah hujan yang terjadi baik pada pos pengamatan hujan di dalam maupun di sekitar DAS/Sub-DAS yang ditinjau. Secara umum kondisi curah hujan di daerah kajian adalah sebagai berikut:

- Jumlah curah hujan tahunan rata-rata untuk stasiun hujan adalah 3.385,71 mm.
- Bulan basah, yaitu curah hujan bulanan rata-rata > 200 mm, terjadi pada bulan Januari – Mei dan Oktober – Desember dengan tinggi curah hujan bulanan berkisar antara 200,67 – 511,99 mm.
- Bulan bulan lembab, yaitu curah hujan bulanan rata-rata berkisar antara 100 - 200 mm, terjadi pada bulan September dengan curah hujan sebesar 118,33 mm.
- Bulan kering, yaitu curah hujan bulanan rata-rata < 100 mm, terjadi pada bulan Juni sampai dengan bulan Agustus, dengan tinggi curah hujan bulanan berkisar antara 28,87 – 76,30 mm.

a) Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi data hujan diperlukan untuk menentukan distribusi yang akan digunakan pada perhitungan curah hujan rencana. Curah hujan rencana didapatkan dari Hujan Harian Maksimum Tahunan (HHMT) selama 15 tahun (2001-2015) pada Stasiun Meteorologi Ruteng di Kabupaten Manggarai.

Untuk analisis frekuensi curah hujan rencana dilakukan dengan beberapa metode seperti Gumbel, Log Normal, dan Log Pearson Tipe III (Soemarto, 1987). Untuk menentukan distribusi frekuensi yang digunakan maka harus dihitung parameter statistik sebagai batasan dalam pemilihan distribusi frekuensi seperti persyaratan yang diberikan pada Tabel 1. Adapun yang menjadi batasan adalah Koefisien Skewness (Cs) dan Koefisien Kurtosis (Ck).

a) Menentukan nilai rata-rata (\bar{X})

Banyaknya data (n) = 15 data

$$\bar{X} = \frac{1793}{15} = 119,53$$

b) Menentukan Standar Deviasi

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \text{Log}(X_i - \bar{X})^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{0,2760}{15 - 1}} = 0,1404$$

c) Menentukan Koefisien Asimetri (Cs)

$$C_s = \frac{n \sum \text{Log}(X_i - \bar{X})^3}{(n - 1)(n - 2)S^3} = \frac{15 \times 0,0255}{(15 - 1)(15 - 2)(0,1404)^3} = 0,7589$$

Uji dilakukan secara vertikal dengan metode Chi Square dan secara horisontal dengan metode Smirnov Kolmogorof. Metode distribusi yang memenuhi syarat keterpenuhannya metode *Log Pearson Tipe III* dan hasilnya sebagaimana yang tertera pada Tabel 3.

Tabel 3 Curah Hujan Rencana Berbagai Kala Ulang dengan Metode Log Pearson Tipe III

No.	Kala Ulang	S	G	Log X_r	Curah hujan (mm)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
1	2	0,14	0,125	2,037	108,98
2	5	0,14	0,784	2,165	146,23
3	10	0,14	1,334	2,242	174,72
4	25	0,14	1,982	2,333	215,41
5	50	0,14	2,434	2,396	249,28
6	100	0,14	2,863	2,456	286,40

b) Koefisien limpasan

Nilai koefisien limpasan (C) digunakan dalam perhitungan Metode Rasional. Maka diperlukan perhitungan dalam menentukan nilai koefisien C.

$$C = C_p + C_t + C_o + C_s + C_c = 0,30 + 0,05 + 0,10 + 0,10 + 0,10 = 0,65$$

Hasil perhitungan di atas maka nilai koefisien limpasan (C) adalah 0,65.

c) Analisis debit banjir menggunakan Metode Rasional

Dalam perhitungan debit banjir menggunakan Metode Rasional terdapat beberapa parameter sebagai dasar perhitungan. Adapun parameter-parameter yang dibutuhkan antara lain:

Luas DAS (A) = 0,606 km²
 Panjang Sungai (L) = 2,169 km
 Koefisien Limpasan (C) = 0,65

Elevasi Hulu = 1211 m
 Elevasi Hilir = 1204 m
 Beda elevasi = 0,007 km

Untuk beberapa parameter yang belum diketahui, maka perlu dilakukan analisis lebih lanjut. Berikut perhitungan debit banjir untuk kala ulang 2 tahun dengan menggunakan data curah hujan (R_{24}) sebesar 108,98 mm (Tabel 3).

$$t = t_c$$

$$t_c = L/V$$

$$V = 72 (H/L)^{0.5}$$

$$V = 72 (0,007/2,169)^{0.5} = 3,45 \text{ km/jam}$$

$$t_c = L/V = 2,169 / 3,45 = 0,62 \text{ jam}$$

$$I = \frac{R_{24} \left(\frac{24}{t_c}\right)^{2/3}}{24}$$

$$I = \frac{108,98 \left(\frac{24}{0,62}\right)^{2/3}}{24} = 51,961 \text{ mm/jam}$$

$$Q = 0,278 C I A = 0,278 \times 0,65 \times 51,961 \times 0,606 = 5,287 \text{ m}^3/\text{s}$$

Hasil perhitungan debit banjir untuk kala ulang 2 tahun sebesar 5,287 m³/s. Untuk hasil perhitungan debit banjir dengan kala ulang lainnya dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Hasil Analisis Debit Banjir dengan Menggunakan Metode Rasional

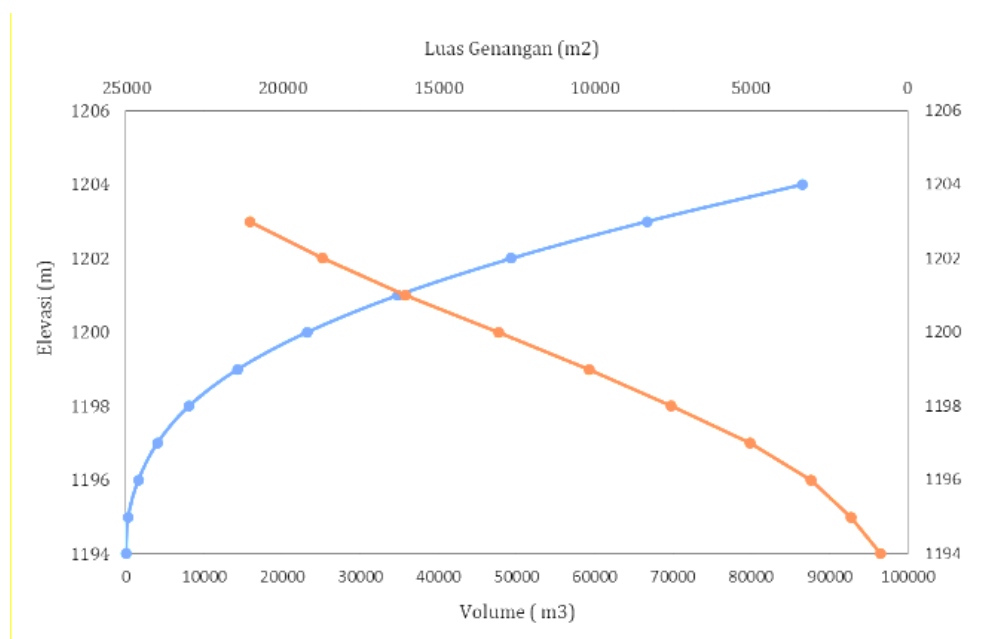
Kala ulang	C	Rt (mm)	I (mm/jam)	A (km ²)	Q (m ³ /s)
2	0,65	108,98	51,961	0,606	5,287
5	0,65	146,23	69,723	0,606	7,095
10	0,65	174,72	83,308	0,606	8,477
25	0,65	215,41	102,707	0,606	10,451
50	0,65	249,28	118,857	0,606	12,094
100	0,65	286,40	136,555	0,606	13,895

3.2 Perhitungan Kapasitas Tampung Embung

Untuk elevasi, luas, dan volume daerah genangan akan disajikan pada Tabel 5 dan Gambar 6. Pada Tabel 5 didapatkan volume tampungan Embung Wae Lerong sebesar 86.540,96 m³ dengan luas permukaan genangan sebesar 21.031,53 m² serta diketahui elevasi muka air normal yaitu pada elevasi 1204,00 m. Untuk mengetahui elevasi muka air banjir maka dilakukan penelusuran banjir melalui pelimpah dengan perhitungan hidrolika dan lebar pelimpah akan digunakan Q_{50th} . Berikut perhitungan dengan memasukkan nilai $h = 0,05$ sehingga elevasi menjadi 1204,05 m.

Tabel 5 Perhitungan Hubungan Elevasi, Luas dan Volume Daerah Genangan

Elevasi (m)	Tinggi Genangan (m)	Luas Permukaan (m ²)	Luas Total (m ²)	H (m)	Volume Genangan (m ³)	Volume Kumulatif (m ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
1194,00	0		0			0,00
		863,32		1	287,77	
1195,00	1		863,32			287,77
		1.815,47		1	1.310,24	
1196,00	2		2.678,79			1.598,01
		3.088,60		1	2.424,01	
1197,00	3		5.767,39			4.022,03
		5.037,42		1	4.023,49	
1198,00	4		10.804,81			8.045,51
		7.575,35		1	6.263,39	
1199,00	5		18.380,81			14.308,90
		10.188,80		1	8.849,86	
1200,00	6		28.568,96			23.158,76
		13.090,23		1	11.609,26	
1201,00	7		41.659,19			34.768,02
		16.062,88		1	14.551,23	
1202,00	8		57.722,07			49.313,25
		18.702,62		1	17.366,02	
1203,00	9		76.429,69			66.685,27
		21.031,53		1	19.855,69	
1204,00	10		97.456,22			86.540,96



Gambar 6 Grafik Hubungan Elevasi dengan Volume dan Luas Genangan

Data : $Q = 12,094 \text{ m}^3/\text{s}$ (Q desain 50 tahun)
 $B = 7,50 \text{ m}$ (Lebar rancana)
 $S = 0,0012$
 $n = 0,02$
 $m = 1$

$$A = (B + (m \times h)) h$$

$$= (7,50 + (1 \times 0,05)) 0,05 = 0,38 \text{ m}^2$$

$$P = B + ((2 \times h (m^2 + 1))^{0,5}$$

$$= 7,5 + ((2 \times 0,05) (1^2 + 1))^{0,5} = 7,64 \text{ m}$$

$$R = A/P$$

$$= 0,38/7,64 = 0,05 \text{ m}$$

$$V = 1/n \times R^{2/3} \times S^{0,5}$$

$$= 1/0,02 \times 0,05^{2/3} \times 0,0012^{0,5} = 0,32 \text{ m/s}$$

$$Q = V \times A$$

$$= 0,32 \times 0,38 = 0,121 \text{ m}^3/\text{s}$$

Jadi nilai h yang direncanakan tidak dapat dipakai atau tidak memenuhi karena Q desain 50 tahun lebih besar dari Q rencana saluran. Untuk itu

dilakukan perhitungan ulang dengan menggunakan nilai h yang lebih besar dengan menggunakan acuan elevasi muka air normal yang ditunjukkan pada Tabel 6. Berdasarkan Tabel 6 diambil nilai h 0,8 m pada elevasi 1204,80 karena memenuhi di mana Q desain 50 tahun lebih kecil dari Q rencana saluran.

3.3 Desain Tubuh Embung

Tipe embung yang direncanakan dalam perencanaan ini adalah embung tipe urugan homogen yang di mana pemilihan tipe ini didasarkan pada ketersediaan material di lokasi rencana embung yang di mana bahan-bahan material yang akan digunakan diambil dari lokasi yang dekat dengan lokasi rencana embung.

Tanah bahan timbunan berupa tanah merah hasil pelapukan batu lempung. Dari hasil pengujian laboratorium mekanikan tanah dan berdasar pada *unified soil classification*, tanah tersebut dapat digolongkan ke dalam jenis CH/SC. Desain tubuh embung meliputi beberapa perhitungan dimensi-dimensi berikut.

1) Kemiringan lereng urugan (*slope gradient*)

Untuk penggunaan material berupa tanah jenis CH/SC maka kemiringan embung adalah:

Kemiringan hulu = 1 : 3

Kemiringan hilir = 1 : 2.25

2) Tinggi jagaan

Berdasarkan jenis embung yang dipilih maka tinggi jagaan dipakai 0,5 m, sesuai dengan standar tinggi jagaan embung urugan.

3) Tinggi puncak

Berdasarkan hasil perhitungan penelusuran banjir didapat elevasi muka air banjir (MAB) yang terjadi + 1204,8 m dan elevasi dasar + 1192,00 m. Maka tinggi puncak ialah:

Elevasi puncak embung = elevasi muka air banjir + tinggi jagaan
 = 1204,8 + 0,5
 = 1205,3 m \approx 1205,5 m

Tinggi puncak embung = elevasi puncak - elevasi dasar
 = 1205,5 - 1192
 = 13,5 m

4) Lebar puncak

Untuk lebar minimum mercu embung didapatkan:

$B = 3,60 (H)^{1/3} - 3,00$
 = $3,60 \times 13,5^{1/3} - 3,00$
 = 4,697 m \approx 5,00 meter

5) Panjang embung

Panjang embung diukur pada peta kontur per meter. Dengan elevasi puncak embung +1205,5 m maka panjang embung adalah 81,50 m.

6) Perlindungan lereng

Berdasarkan Tabel Ukuran Batu Dan Ketebalan Hamparan Pelindung *rip-rap* maka, lereng sebelah hulu dan hilir dari Embung Wae Lerong dilindungi oleh lapisan timbunan batu (*rip-rap*) setebal 30 cm, dalam pelaksanaannya lapisan timbunan batu ini diletakkan di atas suatu lapisan saringan yang terdiri dari batu pasir dengan ukuran butir yang teratur. Lapisan saringan ini memiliki ketebalan sebesar 15 cm.

7) Drainase kaki

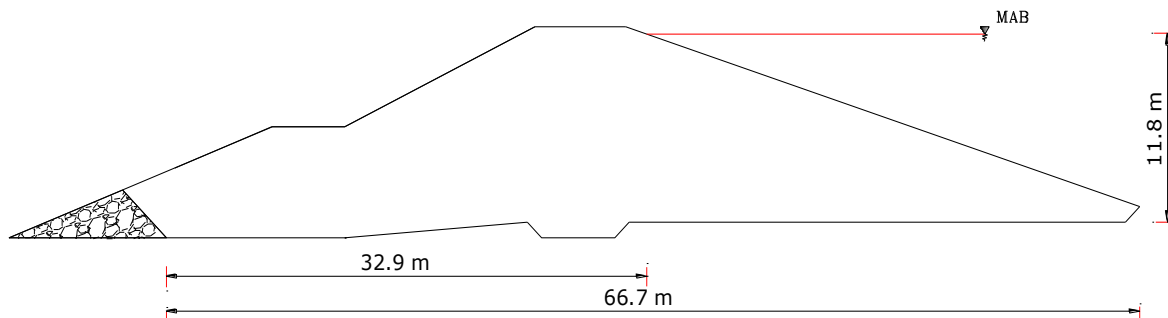
Drainase kaki dipasang pada bagian hilir kaki embung dengan kedalaman dari dalam tanah yaitu 3m.

8) Pondasi

Pondasi yang digunakan adalah pondasi timbunan tanah sehingga perlu dilakukan pengupasan lapisan tanah bagian atas yang dapat melemahkan kekuatan pondasi. Untuk mengikat material timbunan pada pondasi maka dibuat parit pengunci (*key trench*) dengan lebar 5 m sesuai dengan lebar puncak embung serta dengan kedalaman 1 m sampai pada lapisan tanah keras.

Tabel 6 Penelusuran Banjir Melalui Pelimpah

Elev.	h	A	P	R	V	Q	Ket.
	(m)	(m ²)	(m)	(m)	(m/s)	(m ³ /s)	
1.204,00	0,00	0,00	7,50	0,00	0,00	0,000	MAN
1.204,05	0,05	0,38	7,64	0,05	0,03	0,121	
1.204,10	0,10	0,76	7,78	0,10	0,51	0,385	
1.204,15	0,15	1,15	7,92	0,15	0,66	0,756	
1.204,20	0,20	1,54	8,07	0,19	0,79	1,220	
1.204,25	0,25	1,94	8,21	0,24	0,91	1,768	
1.204,30	0,30	2,34	8,35	0,28	1,02	2,394	
1.204,35	0,35	2,75	8,49	0,32	1,13	3,094	
1.204,40	0,40	3,16	8,63	0,37	1,22	3,864	
1.204,45	0,45	3,58	8,77	0,41	1,31	4,700	
1.204,50	0,50	4,00	8,91	0,45	1,40	5,601	
1.204,55	0,55	4,43	9,06	0,49	1,48	6,565	
1.204,60	0,60	4,86	9,20	0,53	1,56	7,589	
1.204,65	0,65	5,30	9,34	0,57	1,64	8,673	
1.204,70	0,70	5,74	9,48	0,61	1,71	9,815	
1.204,75	0,75	6,19	9,62	0,64	1,78	11,013	
1.204,80	0,80	6,64	9,76	0,68	1,85	12,268	MAB
1.204,85	0,85	7,10	9,90	0,72	1,91	13,579	
1.204,90	0,90	7,56	10,05	0,75	1,98	14,943	
1.204,95	0,95	8,03	10,19	0,79	2,04	16,362	
1.205,00	1,00	8,50	10,33	0,82	2,10	17,883	
1.205,05	1,05	8,98	10,47	0,86	2,16	19,358	
1.205,10	1,10	9,46	10,61	0,89	2,21	20,935	
1.205,15	1,15	9,95	10,75	0,93	2,27	22,563	
1.205,20	1,20	10,44	10,89	0,96	2,32	24,244	
1.205,25	1,25	10,94	11,04	0,99	2,37	25,975	
1.205,30	1,30	11,44	11,18	1,02	2,43	27,758	
1.205,35	1,35	11,95	11,32	1,06	2,48	29,591	
1.205,40	1,40	12,46	11,46	1,09	2,53	31,475	
1.205,45	1,45	12,98	11,60	1,12	2,57	33,410	
1.205,50	1,50	13,50	11,74	1,15	2,62	35,394	CREST



Gambar 7 Rencana Tubuh Embung

3.4. Perhitungan Garis Depresi

Dari Gambar 7 diketahui:

$$h = 11,8 \text{ m}$$

$$l_1 = 66,7 \text{ m}$$

$$l_2 = 32,9 \text{ m}$$

$$d = 0,3(L_1 + L_2) \\ = 0,3(33,8 + 66,7) = 52,9 \text{ m}$$

$$d_1 = 0,3l_1 \\ = 0,3 \times 66,7 = 20,01 \text{ m}$$

$$y_0 = (h^2 + d^2)^{0,5} - d \\ = (11,8^2 + 20,01^2)^{0,5} - 20,01 = 1.306 \text{ m}$$

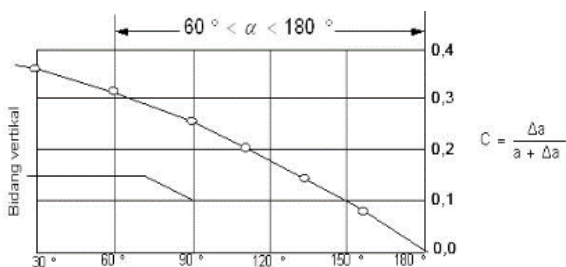
Parabola bentuk dasar dapat diperoleh dengan persamaan:

$$y = \sqrt{2y_0x + y_0^2} \\ y = \sqrt{2,1306x + 1306^2}$$

Hasil persamaan koordinat parabola garis depresi tersebut ditabulasikan pada Tabel 7.

Tabel 7 Koordinat Parabola Garis Depresi

x	-0,875	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
y	0,00	1,31	3,84	5,28	6,40	7,35	8,19	8,95	9,65	10,3	10,9	11,5	12,1



Sumber: (Sosrodarsono & Takeda, 2016)

Gambar 8 Hubungan Antara Sudut Bidang Singgung

Untuk $\alpha = 135^\circ$, berdasarkan grafik pada Gambar 8 didapat nilai:

$$C = \frac{\Delta a}{a + \Delta a} = 0,15$$

Formasi garis depresi yang didapat dari hasil perhitungan kemudian dimasukkan kedalam gambar potongan tubuh embung dan dapat dilihat pada Gambar 9. Garis berwarna biru yang merupakan garis depresi berada dibawah batas luar lereng hilir dan berakhir pada drainase kaki. Dengan demikian dimensi tubuh embung ini bisa dikatakan aman terhadap rembesan.

Maka dapat ditentukan nilai:

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} = 1,988 = 1,165$$

$$0,15 = \frac{\Delta a}{1,165}$$

Sehingga didapat nilai:

$$\Delta \alpha = 0,15 \times 1,165 = 0,175$$

$$\alpha = 1,165 - 0,175 = 0,99c$$

Dimensi tubuh embung ini bisa dikatakan aman terhadap rembesan.

Maka dapat ditentukan nilai:

$$a + \Delta a = \frac{y_0}{1 - \cos \alpha} = 1,988 = 1,165$$

$$0,15 = \frac{\Delta a}{1,165}$$

Sehingga didapat nilai:

$$\Delta \alpha = 0,15 \times 1,165 = 0,175$$

$$\alpha = 1,165 - 0,175 = 0,99c$$

Dimensi tubuh embung ini bisa dikatakan aman terhadap rembesan.

3.4 Perhitungan Stabilitas Tubuh Embung

Analisa stabilitas bangunan ini berguna untuk menganalisa kondisi stabilitas rencana bangunan, yang diharapkan dari analisa ini diperoleh hasil desain yang aman. Untuk itu dilakukan pengecekan stabilitas rencana tubuh Embung Wae lerong dengan menggunakan bantuan *software GeoStudio SLOPE/W 2007* yang akan menghasilkan faktor aman dari setiap keadaan di hulu maupun hilir embung baik dalam keadan normal, banjir ataupun gempa.

1) Koefisien gempa untuk embung

Analisis koefisien gempa yang digunakan untuk perencanaan bendungan/embung, berdasarkan Gambar 5, lokasi Embung Wae Lerong terletak di zona merah, dengan koefisien zona Z antara 0,90 – 1,00 diambil Z = 1,00. Jenis batuan dasar adalah batuan, sehingga faktor koreksi $v = 0,80$ (Tabel 8). Faktor koreksi pengaruh jenis tanah / batuan serta Gempa periode ulang $T = 100$ tahun, maka percepatan gempa dasar $a_c = 190 \text{ cm/s}^2$ (Tabel 9).

$$\begin{aligned} ad &= Z \times a_c \times v \\ &= 1,00 \times 190 \times 0,80 = 142 \text{ cm/s}^2 \\ K &= ad / g \\ &= 142 / 980 = 0,14 \end{aligned}$$

2) Pemodelan material

Material tubuh embung yang digunakan dalam analisis ini yaitu material timbunan berupa tanah lempung, material filter berupa pasir halus hingga kerikil dan material untuk *rip-rap* berupa hamparan batu. Pada analisis ini memerlukan 3 buah parameter untuk diinput pada *software GeoStudio SLOPE/W 2007* yaitu kohesi (c), sudut geser dalam (φ), dan berat isi basah (γ_w).

Pada Tabel 10 diberikan penjelasan mengenai parameter-parameter tanah yang digunakan pada analisa stabilitas berdasarkan hasil pengujian tanah pada lokasi TP-02.

Tabel 8 Faktor Koreksi Pengaruh Jenis Tanah/ Batuan (v)

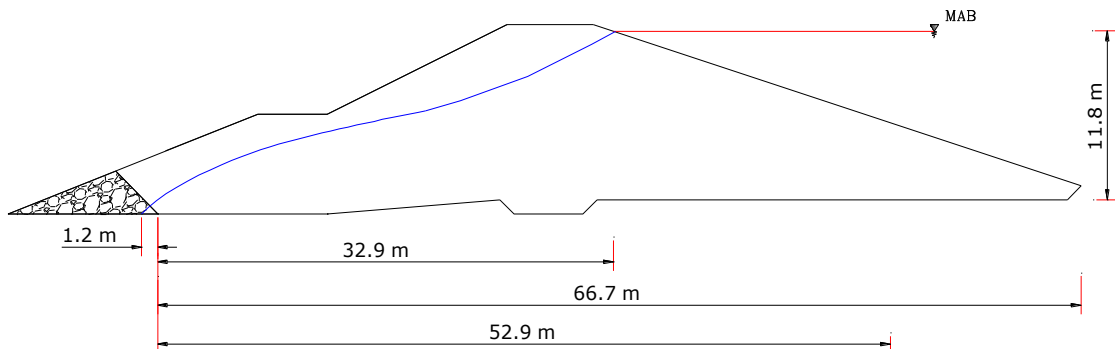
Jenis Batuan Dasar	Periode Predominan Ts (s)	Faktor Koreksi (v)
Batuan	$T_s < 0,25$	0,80
Diluvium	$0,25 < T_s < 0,50$	1,00
Aluvium	$0,50 < T_s < 0,75$	1,10
Aluvium Lunak	$T_s > 0,75$	1,20

Sumber: Standar Perencanaan Teknis Bangunan Embung

Tabel 9 Periode Ulang dan Percepatan Gempa Dasar (a_c)

Periode Ulang T (Tahun)	A_c (gal= cm/s^2)
10	90
20	120
50	150
100	190
200	220
500	250
1.000	280
5.000	330
10.000	390

Sumber: Standar Perencanaan Teknis Bangunan Embung



Gambar 9 Garis Depresi pada Embung Homogen dengan Drainase Kaki

Tabel 10 Parameter Desain Material Timbunan Tubuh Embung Wae Lerong

No	Parameter	Simbol	Satuan	Material		
				Riprap	Timbunan	Filter
1	Berat isi basah	γ_w	kN/m^3	17	15,7	21
2	Sudut geser dlm	φ	-	40	4,73	30
3	Kohesi	C	kPa	0	34,4	0

3) Tahapan analisis dengan menggunakan SLOPE/W dari GeoSlope 2007

Analisis menggunakan *Geoslope 2007* memerlukan tiga tahapan untuk mendapatkan nilai faktor aman dari beberapa keadaan yang diujikan yaitu *Geoslope Input*, *Geoslope Calculation*, dan *Geoslope Output*. Berikut ditampilkan hasil analisis stabilitas tubuh Embung Wae Lerong dalam beberapa keadaan.

Keadan kosong adalah keadaan di mana embung telah selesai dibangun dan belum terisi air. Keadaan ini juga ditinjau pada dua titik yaitu pada lereng hulu dan lereng hilir embung dalam kondisi ada dan tidak ada gempa. Pada Gambar 10 didapatkan nilai faktor aman 2,165 > 1,25 sehingga kondisi tersebut dinyatakan aman.

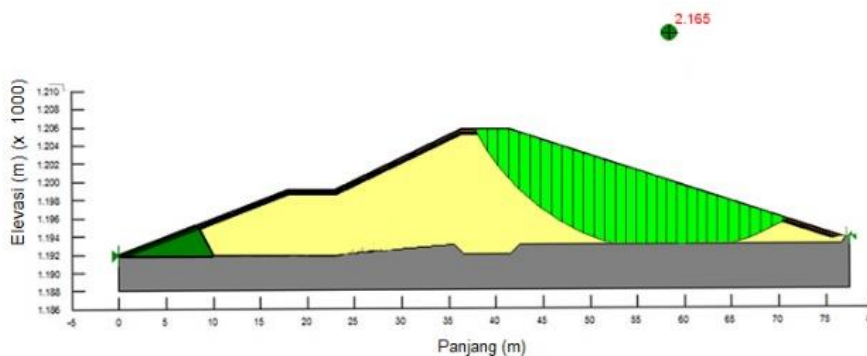
Keadaan normal adalah keadaan di mana embung telah selesai dibangun dan terisi air sampai pada keadaan muka air normal yaitu pada elevasi 1.204,00 m. Untuk hasil analisis dapat dilihat pada

Gambar 11 dengan nilai faktor aman 4,309 > 1,50 yang dinyatakan aman.

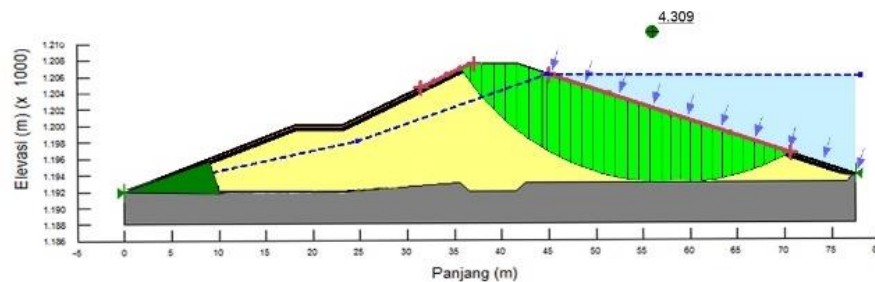
Keadaan banjir adalah keadaan di mana embung telah selesai dibangun dan terisi air sampai pada keadaan muka air banjir pada elevasi 1.204,80 m. Hasil analisis diperoleh nilai faktor aman 4,752 > 1,50 sehingga dinyatakan aman ketika air embung mencapai level muka air banjir (Gambar 12).

Kondisi embung di atas secara keseluruhan dikategorikan aman dari bahaya longsor setelah dilakukan analisis menggunakan *software Slope/W*, untuk lebih ringkasnya mengenai faktor keamanan dari beberapa keadaan lain dapat dilihat pada Tabel 11.

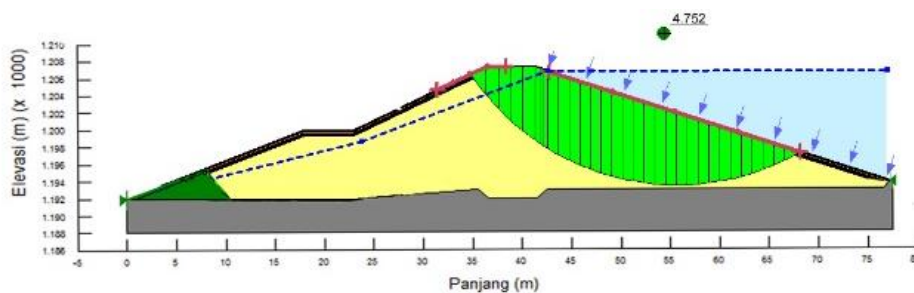
Berdasarkan hasil perhitungan analisis stabilitas lereng pada Tabel 11, Embung Wae Lerong aman terhadap bahaya longsor di lereng hulu maupun lereng hilirnya pada keadaan normal, banjir, maupun pada keadaan gempa dengan kala ulang 100 tahun.



Gambar 10 Stabilitas Lereng Hulu Kondisi Kosong



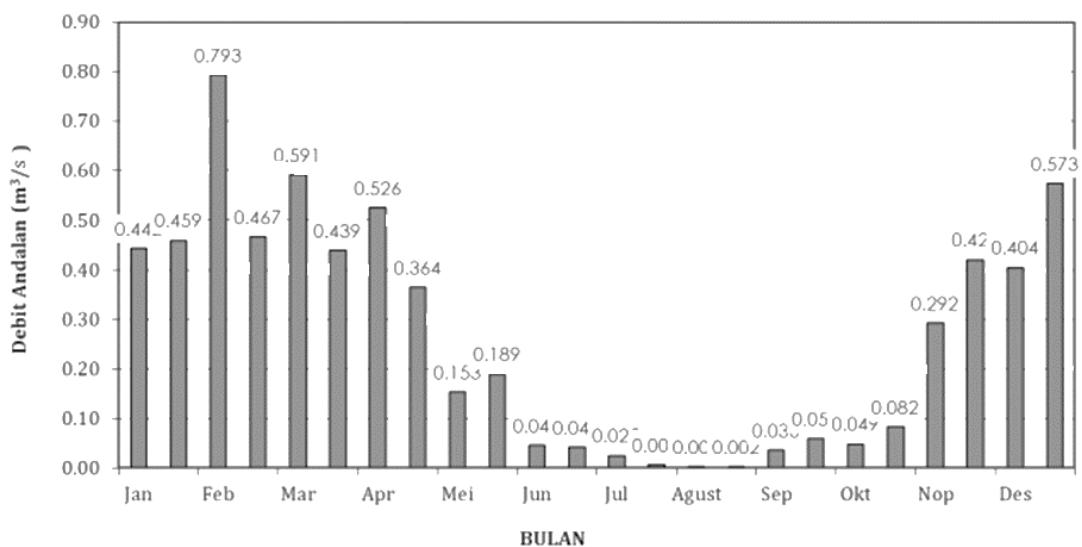
Gambar 11 Stabilitas Lereng Hulu Wae Lerong Kondisi Normal



Gambar 12 Stabilitas Lereng Hulu Wae Lerong Kondisi Banjir

Tabel 11 Rekapitulasi Hasil Perhitungan Stabilitas Lereng Embung Wae Lerong

No.	Kondisi	FK syarat	Angka Keamanan (FK)		Keterangan	
			Hulu	Hilir	Hulu	Hilir
1	Sesaat setelah selesai pembangunan, kondisi tidak ada gempa.	1,25	2,16	1,94	Aman	Aman
2	Sesaat setelah selesai pembangunan, kondisi ada gempa	1.1	1,49	1,42	Aman	Aman
3	Aliran langgeng (<i>steady flow</i>) muka air normal, tidak ada gempa	1.5	4,30	1,71	Aman	Aman
4	Aliran langgeng (<i>steady flow</i>) muka air normal, ada gempa	1,10	2,19	1,18	Aman	Aman
5	Muka air banjir	1,50	4,75	1,77	Aman	Aman
6	<i>Rapid Drawdown</i> NWL ke LWL	1,20	1,94	2,02	Aman	Aman
7	<i>Rapid Drawdown</i> NWL ke LWL, Ada Gempa	1,10	1,72	1,54	Aman	Aman



Gambar 13 Debit Andalan pada Embung Wae Lerong

Pada tabel 12 terlihat bahwa alternatif 1, 2, 3, dan 4 memiliki ketercukupan dalam pemenuhan kebutuhan air irigasi di pintu pengambilan. Untuk nilai terbesar pada PTT 3 dengan luas lahan yang mampu diari sebesar 579 Ha dan nilai terkecil pada PTT yang ke 4 dengan luas lahan 174 Ha.

Selanjutnya dilakukan perhitungan keseimbangan air pada DI Wae Lerong seperti pada Tabel 13. Pada Tabel 13 terlihat bahwa kebutuhan air irigasi mengalami peningkatan pada bulan Mei hingga September yang mana pada bulan-bulan tersebut ketersediaan air semakin berkurang dan mengalami defisit air.

Kebutuhan air yang tidak seimbang dengan ketersediaan yang ada dapat dilihat pada Gambar 14. Berdasarkan Gambar 14 tersebut, maka diambil nilai defisit terkecil untuk

pelaksanaan pola tata tanam pada DI Wae Lerong yakni simulasi pola tata tanam I (PTT 1) dengan awal tanam per 1 Januari.

Untuk defisit kebutuhan air irigasi di *intake* pada PTT 1 sebesar 0,131 m³/s yang terjadi pada bulan Agustus periode 1 sedangkan surplus terjadi pada bulan Februari periode 1.

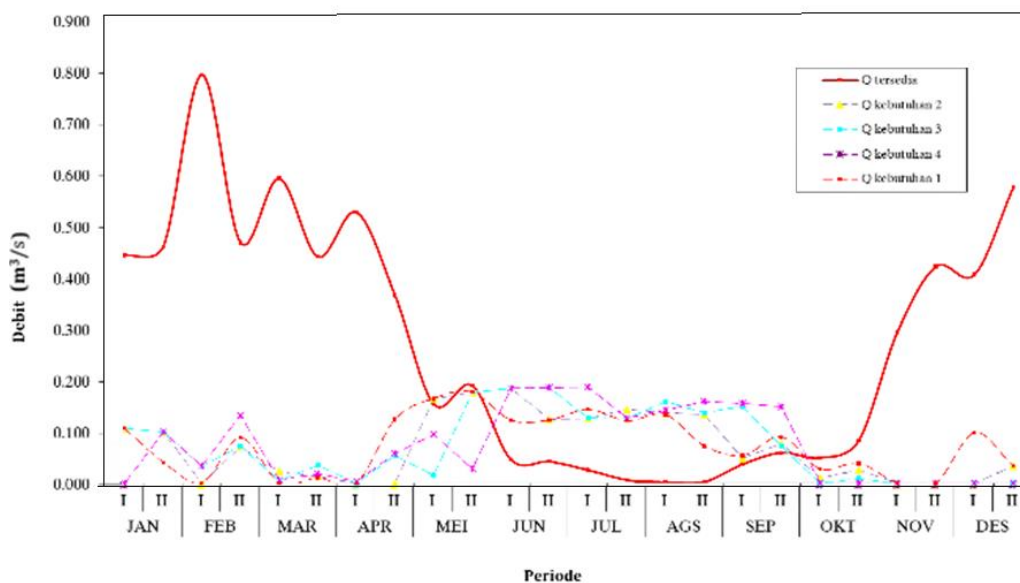
Hasil perhitungan desain Embung Wae Lerong ini memiliki kemiripan dengan desain tubuh Embung Hutanamora yang dilakukan oleh Arizal *et al.* (2017). Pada Embung Hutanamora diperoleh tinggi embung = 14 m; lebar puncak = 5,7 m; volume tampungan embung = 23.726,8 m³. Namun pada Embung Wae Lerong memiliki volume tampungan yang jauh lebih besar dibandingkan Embung Hutanamora yakni sebesar 86.540,96 m³.

Tabel 12 Simulasi Pola Tata Tanam DI Wae Lerong (160,36 Ha) di Ruteng

ALTERNATIF	1/2 Bulan	Unit	Jan		Feb		Mar		Apr		May		Jun		Jul		Aug		Sep		Oct		Nov		Dec		
			1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
KEBUTUHAN AIR IRIGASI	Alternatif 1 Desember	l/s/ha	0,99	0,37	0,00	0,82	0,00	0,08	0,00	1,16	1,54	1,65	1,14	1,14	1,33	1,13	1,24	0,67	0,49	0,83	0,25	0,36	0,00	0,00	0,91	0,30	
DI PINTU PENGAMBILAN	Alternatif 15 Desember	l/s/ha	0,99	0,94	0,00	0,65	0,21	0,12	0,00	0,00	1,54	1,65	1,72	1,15	1,17	1,33	1,28	1,24	0,45	0,71	0,09	0,23	0,00	0,00	0,00	0,30	
	Alternatif 1 Januari	l/s/ha	0,99	0,94	0,31	0,66	0,04	0,32	0,00	0,50	0,14	1,65	1,72	1,74	1,18	1,17	1,48	1,28	1,40	0,67	0,00	0,07	0,00	0,00	0,00	0,00	
	Alternatif 15 Januari	l/s/ha	0,00	0,94	0,31	1,23	0,05	0,16	0,03	0,53	0,88	0,25	1,72	1,74	1,75	1,18	1,32	1,48	1,45	1,39	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
DEBIT ANDALAN		l/s	442,2	459,3	792,6	466,8	8591,2	439,2	525,5	363,9	153,0	189,0	44,8	51,3	24,7	2,5	7,3	1,39	2,03	36,18	58,5	48,5	82,1	292,4	420,0	404,5	573,4
LAHAN TERAIRI	Alternatif 1 Desember	ha	449	1235	Max	569	Max	5226	Max	314	100	115	39	36	19	5	1	3	73	70	195	230	Max	Max	443	1911	
	Alternatif 15 Desember	ha	449	491	Max	714	2884	3773	Max	Max	100	115	26	36	21	4	1	2	80	82	534	353	Max	Max	Max	1911	
	Alternatif 1 Januari	ha	449	491	2594	704	14239	1360	Max	723	1093	115	26	24	21	5	1	2	26	87	Max	1105	Max	Max	Max	Max	
	Alternatif 15 Januari	ha	Max	491	2594	379	11303	2753	15312	684	173	742	26	24	14	5	1	1	25	42	Max	Max	Max	Max	Max	Max	
Luas Areal Layanan	=		106,63 ha																								
Alternatif	Total Luas																										
Alternatif 1 Desember	453	PADI I			449			PADI II			1			PALAWIJA			3										
Alternatif 15 Desember	529	PADI I			449			PADI II			1			PALAWIJA			80										
Alternatif 1 Januari	579	PADI I			491			PADI II						1			PALAWIJA										
Alternatif 15 Januari	174	PADI I						173			PADI II						1			PALAWIJA							

Tabel 13 Analisis Keseimbangan Air pada DI Wae Lerong di Ruteng

Uraian	Bulan Satuan	JAN		FEB		MAR		APR		MEI		JUN		JUL		AGS		SEP		OKT		NOV		DES	
		I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II
KETERSEDIAAN AIR																									
Q Andalan FJ. MOCK	m ³ /s	0,442	0,459	0,793	0,467	0,591	0,439	0,526	0,364	0,153	0,189	0,045	0,041	0,025	0,006	0,001	0,002	0,036	0,059	0,049	0,082	0,292	0,420	0,404	0,573
KEBUTUHAN AIR IRIGASI DI INTAKE	m ³ /s	0,105	0,040	0,000	0,087	0,000	0,009	0,000	0,123	0,164	0,176	0,121	0,122	0,142	0,120	0,132	0,072	0,053	0,089	0,027	0,038	0,000	0,000	0,097	0,032
		0,105	0,100	0,000	0,070	0,022	0,012	0,000	0,000	0,164	0,176	0,183	0,123	0,125	0,142	0,136	0,132	0,048	0,076	0,010	0,025	0,000	0,000	0,000	0,032
		0,105	0,100	0,033	0,071	0,004	0,034	0,000	0,054	0,015	0,176	0,183	0,185	0,126	0,125	0,158	0,136	0,149	0,072	0,000	0,008	0,000	0,000	0,000	0,000
		0,000	0,100	0,033	0,132	0,006	0,017	0,004	0,057	0,094	0,027	0,183	0,185	0,187	0,126	0,141	0,158	0,154	0,148	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
Q kebutuhan total	m ³ /s	0,315	0,339	0,065	0,359	0,032	0,073	0,004	0,234	0,437	0,555	0,672	0,615	0,579	0,513	0,567	0,498	0,405	0,384	0,036	0,071	0,000	0,000	0,097	0,064



Gambar 14 Grafik Rekapitulasi Keseimbangan Air Embung Wae Lerong

Bila dilihat nilai debit banjir kala ulang 50 tahun untuk Embung Wae Lerong hanya sebesar 12,09 m³/s dibandingkan Embung Hutanamora yang sebesar 18,66 m³/s. Perbedaan kapasitas tampungan juga dipengaruhi oleh kontur topografi kolam embung dan luasan genangan pada permukaan embung.

Berdasarkan kemampuan layan untuk areal irigasi maka Embung Wae Lerong mampu memenuhi kebutuhan air irigasi dengan luasan 106,36 ha. Ketersediaan air yang mencukupi karena curah hujan yang cukup tinggi di wilayah Ruteng khususnya di Wae Lerong tentu dapat memaksimalkan luasan areal potensial yang akan dikembangkan oleh Pemerintah setempat. Perencanaan simulasi pola tata tanam yang tepat dalam pemanfaatan air embung Wae Lerong sangat menentukan tingkat produksi hasil tanam bagi petani di sekitar lokasi Embung Wae Lerong.

IV. KESIMPULAN

Curah hujan kala ulang pada wilayah DAS Wae Lerong menggunakan distribusi *Log Pearson III* diperoleh nilai: $R_2 = 108,98$ mm; $R_5 = 146,23$ mm; $R_{10} = 174,72$ mm; $R_{25} = 215,41$ mm; $R_{50} = 286,40$ mm dan $R_{100} = 286,40$ mm.

Untuk kapasitas tampungan Embung Wae Lerong berdasarkan peta hasil pengukuran di lapangan adalah 86.540,69 m³ dengan luas permukaan genangan sebesar 21.031,53 m².

Angka aman lereng embung untuk berbagai kondisi ialah pada aliran tetap (*steady flow*) muka air normal, tidak ada gempa = hulu 4,30 hilir 1,71; aliran tetap (*steady flow*) muka air normal, ada gempa = hulu 2,19 hilir 1,18; muka air banjir = hulu 5,14 hilir 1,77; *rapid drawdown* NWL ke LWL = hulu 1,94 hilir 2,02; dan *rapid drawdown* NWL ke LWL, ada gempa = hulu 1,72 hilir 1,54.

Hasil desain berdasarkan analisis stabilitas tubuh Embung Wae Lerong didapatkan tinggi embung = 13,5 m; lebar puncak = 5 m; panjang embung = 81,50 m; tinggi jagaan = 0,7 m; dan kemiringan lereng hulu 1:3, hilir 1:2,25.

Ketersediaan debit andalan pada Embung Wae Lerong adalah 0,001 – 0,793 m³/s dan kebutuhan air irigasi untuk Pola Tata Tanam I (Padi-Padi-Palawija) berkisar hingga 0,176 m³/s. Nilai keseimbangan air mengalami defisit pada bulan Mei – September yang berkisar 0,017 – 0,13 m³/s.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada PT. Terosis Erojaya yang memberikan kesempatan bagi tim penulis untuk meneliti tentang perencanaan Embung Waelerong dan semua pihak yang terlibat dalam kegiatan ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Arizal, M. W., Juwono, P. T., & Saputra, A. W. W. (2017). *Studi Perencanaan Embung Hutanamora Kecamatan Balige Kabupaten Toba Samosir Provinsi Sumatera Utara* (Skripsi). Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.
- Azizi, B., Anwar, N., & Ansori, M. B. (2014). Perencanaan Embung Jatitamban Kecamatan Wringin Kabupaten Bondowoso. *Jurnal Teknik Pomits*, 1(1), 1–4.
- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum. (2013). *Standar Perencanaan Irigasi—Bagian Perencanaan (KP-01)*. Jakarta, Indonesia: Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat.
- Erojaya, T., PT. (2017). *Penyusunan Survey Investigasi dan Desain (SID) Wae Lerong Kecamatan Langke Rembong*. Manggarai, Indonesia: Dinas Pekerjaan Umum Bidang PSDA dan Irigasi Kabupaten Manggarai.
- Ginting, S., Rahmandani, D., & Indarta, A. H. (2018). Optimasi pemanfaatan air embung Kasih untuk domestik dan irigasi tetes. *Jurnal Irigasi*, 13(1), 41–54. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v13.i1.41-54>
- Hatmoko, W., Radhika, Firmansyah, R., & Fathoni, A. (2018). Ketahanan air irigasi pada wilayah sungai di Indonesia. *Jurnal Irigasi*, 12(2), 65–76. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v12.i2.65-76>
- Kasiro, I., Adidarma, W., Rusli, B. S., Sunarto, & Nugroho, C. L. (1994). *Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil untuk Daerah Semi Kering di Indonesia*. Jakarta, Indonesia: Direktorat Jenderal Pengairan, Departemen Pekerjaan Umum.
- Krisnayanti, D. S., & Bunganaen, W. (2018). *Koefisien Limpasan Permukaan untuk Embung Kecil di Nusa Tenggara Timur*. Kupang: Lembaga Penelitian Universitas Nusa Cendana.
- Krisnayanti, D. S., Karels, D. W., & Nursyam, N. A. (2018). Koefisien pengaliran embung kecil Di Pulau Flores Bagian Barat. *Jurnal Teknik Sipil*, 7(1), 1–14.
- Limantara, L. M. (2018). *Rekayasa Hidrologi: Edisi Revisi*. Yogyakarta, Indonesia: Penerbit Andi.
- Notoatmojo, B., & Rivai, R. (2001). Optimasi pengembangan embung di Indonesia. *The Winners*, 2(1), 12–17. <https://doi.org/10.21512/tw.v2i1.3795>
- Prianto, E., Umar, C., Kartamihardja, E. S., & Husnah, H. (2017). Pengelolaan dan pemanfaatan perairan embung dan bendung di provinsi Nusa Tenggara Timur. *Jurnal Kebijakan Perikanan Indonesia*, 9(2), 105–114. <http://dx.doi.org/10.15578/jkpi.9.2.2017.105-114>

- Pujiastuti, I. T., Asmaranto, R., & Hendrawan, A. P. (2016). *Studi Perencanaan Embung Tegaldlimo Kecamatan Tegaldlimo Kabupaten Banyuwangi* (Skripsi). Universitas Brawijaya, Malang, Indonesia.
- Soediby. (1993). *Teknik Bendungan*. Jakarta, Indonesia: Pradnya Paramita.
- Soedireja, H. R. (2017). Potensi dan upaya pemanfaatan air tanah untuk irigasi lahan kering di Nusa Tenggara. *Jurnal Irigasi*, 11(2), 67–80. <http://dx.doi.org/10.31028/ji.v12.i2.67-80>
- Soemarto, C. D. (1987). *Hidrologi Teknik*. Surabaya, Indonesia: Usaha Nasional.
- Soewarno. (1995). *Hidrologi Aplikasi Metode Statistik untuk Analisa Data*. Bandung, Indonesia: Nova.
- Sosrodarsono, S., & Takeda, K. (2016). *Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta, Indonesia: Balai Pustaka.