

# ANALISA KESTABILAN BANGUNAN EMBUNG NUNUKA 1

Camela Apriani Seroy,  
Fabian J. Manoppo, Steeva G. Rondonuwu  
Program Studi Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Sam Ratulangi manado  
email: [camela.seroy@gmail.com](mailto:camela.seroy@gmail.com)

## ABSTRACT

*Embung or can also be called a small dam is one of the buildings of water resources that can function to accommodate water, water conservation efforts, and can also control flooding even on a small scale. Some criteria for a shelter building are included in the embung criteria, including building height <15 meters calculated from the foundation to the highest elevation of the building and also the amount of water storage caused by construction is less than 500,000 thousand.*

*Nunuka Embankment is one of the efforts carried out in order to overcome water shortages in East Bolangitang Sub district, where water deficits were identified in terms of needs and the availability of water in the sub-district.*

*In order to avoid disasters caused by failure factors, embung buildings need to be reviewed for failure factors that are likely to occur similar to those used in potential failures in the construction of dams in general, namely building failure caused by the influence of hydrology and hydraulics, building failure caused because of the influence of water seepage, and building failure caused by the influence of the structure itself.*

*In this thesis, the author has conducted an analysis using the parameters  $C$  (cohesion), Permeability ( $k$ ), Poisson Ratio ( $n$ ),  $\phi$  (shear angle),  $\gamma_{sat}$  (gamma saturated),  $E$  (modulus of elasticity) and  $\gamma_{unsat}$  (gamma unsaturated) to calculate the potential for embung failure in terms of failure due to water seepage in the body of the reservoir and failure caused by the influence of the embung structure itself. Application Plaxis 8.5 is a tool used by the author to conduct a review of building safety factors, seepage that occurs in buildings and decreases that occur in dams in several scenarios then compared with the results of the same review using the Geostudio application.*

**Keywords:** *Embung, Small Dam, Nunuka Embankment, Small Dam Stability, Safety Factor.*

## PENDAHULUAN

### Latar Belakang

Embung merupakan bangunan air yang banyak dibangun sebagai salah satu solusi dalam berbagai masalah yang berhubungan dengan sumber daya air, baik pemanfaatan, pengelolaan, pelestarian maupun penanganan daya rusak air. Pada musim kering, embung digunakan untuk menampung air untuk persediaan air suatu daerah dan dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan air penduduk.

Embung Nunuka terletak di Desa Nunuka Kecamatan Bolangitang Timur Kabupaten Bolaang Mongondow Utara. Secara geografis terletak antara 123°23'32,61" Bujur Timur dan 0°52' 48,16" Lintang Utara. Kebutuhan air baku masyarakat di kampung Nunuka menggunakan sumur dan pada saat musim kemarau kondisi air sumur yang ada sedikit terasa asin karena lokasi kampung berada di pesisir pantai. Tujuan pembangunan embung ini adalah untuk mengantisipasi persoalan keseimbangan antara

kebutuhan dan ketersediaan air, menurunnya kualitas air sumur dangkal yang dikonsumsi masyarakat.

Pembangunan embung yang mempunyai kapasitas tampungan yang besar, mempunyai potensi yang membahayakan, sehingga membangun embung berarti pula membangun suatu bangunan yang beresiko tinggi. Resiko kegagalan embung merupakan ancaman bahaya yang tidak dapat dielakkan bagi masyarakat di hilir embung. Pada umumnya kerusakan atau keruntuhan suatu embung disebabkan oleh overtopping, yakni meluapnya air melalui puncak tubuh embung karena debit inflow yang besar melebihi kapasitas spillway mengalirkan air, sehingga air dalam embung akan meningkat kemudian melimpas di atas tanggul yang mengakibatkan longsor pada dinding embung. Keruntuhan embung dapat juga disebabkan oleh mengalirnya air melalui lubang-lubang pada tubuh embung sehingga mempengaruhi stabilitas tubuh embung, yang disebut piping.

Mengingat lokasi Embung Nunuka letaknya berdekatan dengan pemukiman penduduk, maka apabila terjadi keruntuhan embung maka air yang tertampung dengan debit yang besar akan mengalir dengan kecepatan yang tinggi ke arah hilir, sehingga secara langsung maupun tidak langsung akan menimbulkan bencana yang mengancam jiwa dan harta benda masyarakat. Berdasarkan hal tersebut, maka dipandang perlu untuk dilakukan suatu analisis kestabilan terutama pada tubuh embung..

### Perumusan Masalah

Masalah yang dibahas adalah:

1. Berapa besar faktor keamanan pada tubuh embung terhadap kestabilan lereng, bahaya piping dan deformasi
2. Bagaimana perbandingan faktor keamanan dengan menggunakan program *PLAXIS* dan program *Geostudio*

### Pembatasan Masalah

Adapun batasan masalah adalah:

1. Tinjauan penelitian hanya dilakukan pada tubuh embung
2. Analisis hanya menggunakan metode *Finite Element* dengan membandingkan hasil dari program *PLAXIS* dan program *Geostudio*
3. Stabilitas tubuh embung yang dimaksud adalah masih amannya tubuh embung berdasarkan *safety factor* terhadap kestabilan lereng, piping dan deformasi

### Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui analisis kestabilan bangunan pada tubuh embung terhadap deformasi, rembesan dan faktor keamanan
2. Membandingkan hasil analisis menggunakan program *PLAXIS* dan program *Geostudio* terhadap stabilitas embung.

### Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian adalah sebagai berikut:

1. Memberikan alternatif pembanding terkait analisa kestabilan bangunan Embung Nunuka
2. Menjadi acuan dalam pelaksanaan konstruksi atau pembangunan Embung Nunuka

## TINJAUAN PUSTAKA

### Definisi Embung

Embung adalah bangunan penyimpanan air yang dibangun di daerah depresi, biasanya di

luar sungai (*off stream*), dengan batasan sebagai berikut:

- Tinggi tubuh embung maksimum 10 m untuk embung tipe urugan, dan 6 m untuk embung tipe gravitasi atau komposit, dimana tinggi embung diukur dari galian pondasi terdalam sampai ke puncak embung.
- Kapasitas tampungan embung maksimum 100.000 m<sup>3</sup>.
- Luas daerah tangkapan hujan maksimum 100 ha atau 1 km<sup>2</sup>.

Embung dalam batasan tersebut di atas merupakan embung kecil (Departemen Pekerjaan Umum, 1994).

Embung merupakan suatu bangunan yang berfungsi untuk menampung kelebihan air pada saat debit tinggi dan melepaskannya pada saat dibutuhkan. Embung merupakan salah satu bagian dari proyek secara keseluruhan maka letaknya juga dipengaruhi oleh bangunan-bangunan lain seperti bangunan pelimpah, bangunan penyadap, bangunan pengeluaran, bangunan untuk pembelokan sungai dan lain-lain (Soedibyo, 2003).

Faktor-faktor yang menentukan didalam pemilihan tipe embung adalah (Soedibyo, 1993):

- Tujuan pembangunan proyek
- Keadaan klimatologi setempat
- Keadaan hidrologi setempat
- Keadaan di daerah genangan
- Keadaan geologi setempat
- Tersedianya bahan bangunan
- Hubungan dengan bangunan pelengkap
- Keperluan untuk pengoperasian embung
- Keadaan lingkungan setempat
- Biaya proyek

Tipe Embung dapat dikelompokkan menjadi empat keadaan yaitu (Soedibyo, 1993):

- a. Tipe Embung berdasarkan tujuan pembangunannya:
  - Embung dengan tujuan tunggal
  - Embung serbaguna
- b. Tipe Embung berdasarkan penggunaannya
  - Embung penampung air
  - Embung pembelok
  - Embung penahan
- c. Tipe Embung berdasarkan letaknya terhadap aliran air
  - Embung pada aliran air
  - Embung di luar aliran air
- d. Tipe Embung berdasarkan material pembentuknya
  - Embung urugan
  - Embung beton / pasangan batu
  - Embung komposit

**Elevasi Puncak Embung**

Elevasi puncak Embung ditentukan berdasarkan tinggi muka air di kolam pada kondisi penuh (muka air normal) ditambah tinggi tampungan banjir dan ditambah tinggi jagaan. Tinggi tampungan air banjir ditentukan berdasarkan banjir rencana periode ulang 50 tahun (Q50th). Elevasi puncak embung juga perlu ditentukan berdasarkan tinggi muka air banjir rencana periode ulang 100 tahun (Q100th) dengan tinggi jagaan minimum sebesar 30 cm. Elevasi muka air kolam maksimum Embung ditentukan berdasarkan keadaan topografinya.

Menurut Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil Untuk Daerah Semi Kering di Indonesia, elevasi puncak embung ditentukan dengan rumus:

$$H_d = H_k + H_b + H_f$$

dimana:

- H<sub>d</sub> = tinggi atau elevasi puncak embung rencana (El. m)
- H<sub>k</sub> = tinggi atau elevasi muka air kolam pada kondisi penuh (El. m)
- H<sub>b</sub> = tinggi tampungan banjir (m)
- H<sub>f</sub> = tinggi jagaan dihitung dari tinggi muka air banjir (m)

Untuk embung tipe urugan tanah, diperlukan tinggi cadangan atau timbunan ekstra untuk mengantisipasi adanya penurunan yang secara praktis dapat diambil sebesar H<sub>c</sub> = 0,25 m.

Tinggi jagaan embung menurut Pedoman tersebut di atas adalah seperti pada Tabel.1, sebagai berikut:

Tabel 1. Tinggi Jagaan Embung

Tipe Embung	Tinggi	
	Jagaan (m)	Sketsa Penjelasan
1. Urugan homogen dan majemuk	0,50	
2. Pasangan batu/beton	0,00	
3. Komposit	0,50	

Menurut Pedoman Perencanaan Bendungan Urugan, elevasi puncak embung ditentukan berdasarkan beberapa kondisi, yaitu:

- Kondisi tinggi muka air normal (hwl)
- Kondisi tinggi muka air banjir Q50th
- Kondisi tinggi muka air Q 100<sup>th</sup> ditambah dengan tinggi jagaan.

Sedangkan untuk tinggi jagaan yang diperhitungkan untuk embung terdiri dari:

- H<sub>w</sub> = tinggi gelombang karena angin.
- H<sub>s</sub> = peningkatan tinggi muka air karena angin.
- H<sub>r</sub> = tinggi rayapan gelombang.
- H<sub>e</sub> = tinggi gelombang akibat gempa.
- H<sub>u</sub> = tinggi cadangan.

Berdasarkan *Buku Panduan Perencanaan Bendungan Urugan, Departemen Pekerjaan Umum, 1999*, tinggi jagaan yang diperhitungkan terdiri dari :

- a. Tinggi gelombang karena angin (wave height = H<sub>w</sub>)  
Dihitung dengan menggunakan rumus Molitor Stevenson:

$$H_w = 0.17 \sqrt{V} x F + 2.5 - F^{1/4}$$

dimana :

- H<sub>w</sub> = tinggi gelombang (ft)
- V = kecepatan angin  
= 100 mile/jam (untuk keadaan muka air normal)  
= 50 mile/jam (untuk keadaan muka air banjir Q50th)
- F = jarak tiup angin (fetch) efektif (mile)

Jarak tiup angin efektif dihitung dengan menggunakan rumus:

$$F = \frac{\sum_{\theta=-45}^{\theta=+45} F_i \cdot \text{Cos}.\theta_i}{\sum_{\theta=-45}^{\theta=+45} \text{Cos}.\theta_i}$$

- F<sub>i</sub> = panjang fetch untuk satu sekmen i
- θ<sub>i</sub> = sudut deviasi antara fetch ke i dengan fetch terpanjang.

- b. Peningkatan tinggi muka air karena angin (wind set up = H<sub>s</sub>)

Dihitung dengan menggunakan persamaan Zuider Zee:

$$H_s = \frac{V^2 F}{1400 x D} x \text{Cos} A$$

dimana;

- V = kecepatan angin = 100 mile/jam (untuk keadaan muka air normal)  
= 50 mile/jam (untuk keadaan muka air banjir Q50th)
- F = jarak tiup angin/ fetch (=0,1093 mile)
- D = kedalaman air rata-rata sepanjang fetch efektif (ft)
- A = sudut antara bidang tegak lurus sumbu bendungan dengan arah gelombang (derajat)

c. Tinggi rayapan gelombang (wave run up = Hr)

Dihitung dengan menganggap bahwa gesekan di lereng embung kecil,

$$Hr = \frac{V_g^2}{2g}$$

dimana :

Vg = kecepatan gelombang (ft/det)

Vg = 5 + 2 Hd (Rumus Galard)

Hd = tinggi gelombang desain (ft)  
= 1,3 x Hw

g = gravitasi = 32,15 ft/det<sup>2</sup>

d. Tinggi gelombang akibat gempa (He)

Dihitung menggunakan dengan persamaan:

$$He = \frac{K \times T}{2 \times \pi} \sqrt{g \times Ho}$$

dimana :

K = koefisien gempa  
= 0,155 (untuk gempa periode ulang 50 tahun)

T = periode gelombang = 1 detik

G = gravitasi = 9,8 m/det<sup>2</sup>

Ho = kedalaman air waduk

e. Tinggi cadangan untukantisipasi penurunan (Hc)

Tinggi cadangan untukantisipasi penurunan yang terjadi menurut Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil secara parktis dapat diambil Hc = 0,25 m.

### Lebar Puncak Embung

Lebar puncak embung berdasarkan Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil (1994) ditentukan seperti pada Tabel 2, adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Lebar Puncak Tinggi Embung

Tipe Embung	Tinggi (m)	Lebar Puncak (m)
1. Urugan	(a) ≤ 5,00	2,00
	(b) 5,00 – 10,00	3,00
2. Pasangan batu / beton	Sampai maksimal 7,00	1,00

Lebar puncak embung berdasarkan Panduan Perencanaan Bendungan Urugan, dapat ditentukan berdasarkan rumus,

$$b = \frac{5}{3} \times \sqrt{H}$$

dimana:

b = lebar puncak embung

H = tinggi embung

### Koefisien Gempa Desain

Beban gempa untuk desain Embung, ditetapkan berdasarkan gempa dengan periode ulang 50 tahun, atau sama dengan periode ulang untuk banjir desain embung.

Koefisien gempa yang digunakan untuk analisis stabilitas lereng embung didasarkan pada Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur yang diterbitkan oleh Kementerian Pekerjaan Umum, Juli 2010.

Peta percepatan gempa di batuan dasar (SB) untuk periode ulang 50 tahun menurut Peta Zona Gempa Indonesia 2010, dapat dilihat pada Gambar.1. Percepatan puncak gempa di permukaan tanah diperoleh dengan menggunakan persamaan sbb:

$$PSA = F_{PGA} \times PBA$$

dimana:

PSA = Percepatan puncak gempa di permukaan tanah, yang berdasarkan klasifikasi site

F<sub>PGA</sub> = Faktor amplifikasi tanah

PBA = Percepatan puncak gempa di batuan dasar, mengacu pada Peta Gempa Indonesia tahun 2010.

Galian pondasi untuk struktur embung pada umumnya tidak begitu dalam, namun cukup untuk menahan beban struktur embung, sehingga jenis batuan pada pondasi embung diklasifikasikan sebagai “Tanah Sedang”. Perhitungan percepatan puncak gempa di batuan dasar dan di permukaan tanah dilakukan dengan cara yang dikembangkan oleh Puslitbang Sumber Daya Air (Pusair) Bandung secara online (‘Online PGA Calculator’) melalui website <http://www.pusair-pu.go.id>, dengan memasukkan koordinat lokasi embung yang akan dihitung percepatan gempunya.

Koefisien gempa dengan satu gaya statik mendatar dihitung dengan dengan persamaan sebagai berikut:

$$k_h = \alpha_1 \times k$$

$$k = \frac{PSA}{g}$$

dimana:

kh = koefisien gempa desain arah mendatar terkoreksi untuk perhitungan stabilitas lereng.

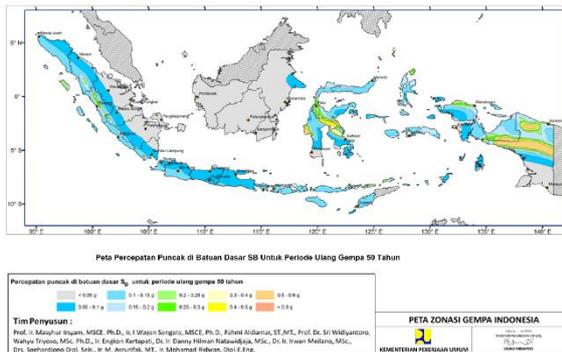
α<sub>1</sub> = koreksi pengaruh daerah bebas (free field), untuk embung tipe urugan = 0,7, untuk embung beton dan pasangan batu = 1.

K = koefisien gempa dasar yang tergantung periode ulang T.

PSA = percepatan puncak gempa di permukaan tanah, yang berdasarkan klasifikasi site (gal).

g = percepatan gravitasi (=980 cm/det<sup>2</sup>).

Dalam analisis stabilitas lereng embung diperhitungkan adanya koefisien gempa arah vertikal ( $k_v$ ) yang besarnya antara 50 % ~ 65 % dari koefisien gempa horisontal ( $k_h$ ).



Gambar 1. Peta percepatan puncak di batuan dasar untuk periode Ulang Gempa

**Stabilitas Dinding Penahan Tanah**

Tekanan tanah dan gaya-gaya yang bekerja pada dinding penahan tanah sangat mempengaruhi stabilitas dinding penahan tanah itu sendiri (Suryolelono, 1994). Analisis yang diperlukan pada konstruksi dinding penahan tanah adalah:

a. Stabilitas terhadap bahaya guling

$$SF = \frac{M_L}{M_G} \geq 1,5$$

dimana,

$M_L$  = Jumlah dari momen yang mencegah struktur terguling (melawan) dengan titik pusat di titik 0

$M_G$  = Jumlah dari momen yang mengguling struktur dengan titik pusat putaran di titik 0.

b. Stabilitas terhadap bahaya geser

Gaya aktif tanah ( $P_a$ ) selain menimbulkan terjadinya momen juga menimbulkan gaya dorong sehingga dinding akan bergeser. Perlawanan terhadap gaya dorong ini terjadi pada bidang kontak antara tanah dasar pondasi (Suryolelono, 1994).

$$SF = \frac{\text{Gaya Lawan}}{\text{Gaya Dorong}} \geq 1,5$$

**Potensi Kegagalan Embung**

Konstruksi tubuh embung tanah, secara umum harus menyediakan bangunan pelimpah dan atau bangunan pengeluaran yang cukup kapasitasnya untuk mencegah terjadinya limpasan yang melewati puncak embung, hanya diperbolehkan yang berasal dari gelombang yang terjadi karena angin, tanpa menimbulkan kerusakan tubuh embung yang berarti. Lereng di hulu dan hilir embung harus stabil dan aman pada semua kondisi. Aman disini meliputi aman terhadap geser, aman terhadap penurunan bendungan dan aman terhadap rembesan (Soedibyo, 1988).

Kegagalan embung dibedakan dalam tiga kategori yaitu (North Carolina Department of Environment and Natural Resources, 2007) :

1. Kegagalan *overtopping*
2. Kegagalan rembesan
3. Kegagalan struktur

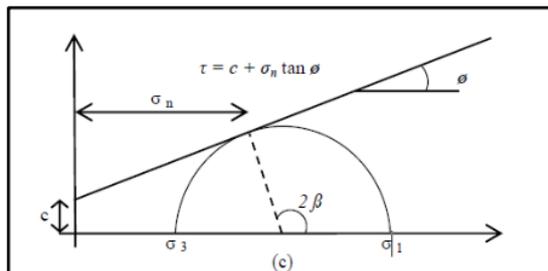
*Overtopping* adalah fenomena peluapan air waduk melalui bagian puncak pada tubuh embung yang kemudian dapat menyebabkan erosi pada tubuh embung yang berakhir pada kelongsoran (Ardiansyah, 2017).

Salah satu masalah yang sering terjadi pada embung adalah adanya rembesan pada tubuh embung tersebut. Rembesan terjadi apabila bangunan harus mengatasi beda tinggi muka air dan jika aliran yang disebabkan meresap masuk ke dalam tanah di sekitar bangunan. Aliran ini mempunyai pengaruh yang dapat merusak stabilitas bangunan karena terangkutnya bahan-bahan halus sehingga dapat menyebabkan erosi bawah tanah (piping). Jika erosi bawah tanah sudah terjadi, maka terbentuklah lajur rembesan (jaringan aliran) antara bagian hulu dan hilir bangunan. Air rembesan yang mengalir pada lapisan tanah akan mengangkut butiran tanah yang lebih halus menuju lapisan tanah yang kasar (Sukirman, 2014).

Timbunan yang dibuat di atas lapisan tanah lunak dapat terjadi keruntuhan pada tanah di bawah timbunan tersebut karena tanah timbunan biasanya lebih kaku dan kuat dibandingkan dengan lapisan tanah dibawahnya, hal itu memungkinkan timbunan akan mengalami patah saat lapisan tanah di bawah berdeformasi, mengalami penurunan akibat berat sendiri, dan terjadi keruntuhan akibat tegangan dan regangan antara timbunan dan lapisan tanah dibawahnya. Timbunan mempunyai tendensi untuk runtuh didasari oleh tegangan geser yang terjadi pada tanah. Tegangan geser tersebut dapat berasal dari

gravitasi, ataupun gaya-gaya lain (aliran air, tektonik, aktifitas seismik). Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan Teori Mohr-Coulomb.

Teori keruntuhan Mohr Coulomb diperkenalkan oleh Mohr yang menyatakan bahwa keruntuhan terjadi pada suatu material akibat kombinasi kritis antara tegangan normal dan geser, bukan hanya akibat tegangan normal dan geser dalam kondisi maksimum saja. Faktor keamanan ditentukan berdasarkan jarak dari titik pusat lingkaran Mohr ke garis kekuatan batuan (kurva intrinsik) dibagi dengan jari-jari lingkaran Mohr seperti ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2 Kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb (Sumber: Das, 1995)

Kriteria Mohr-Coulomb didefinisikan pada Persamaan 1

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

Untuk kondisi tanah jenuh air didefinisikan pada Persamaan 2

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad (2)$$

Untuk kondisi tanah unsaturated didefinisikan pada Persamaan 3

$$\tau = c + \sigma' \tan \phi \quad (3)$$

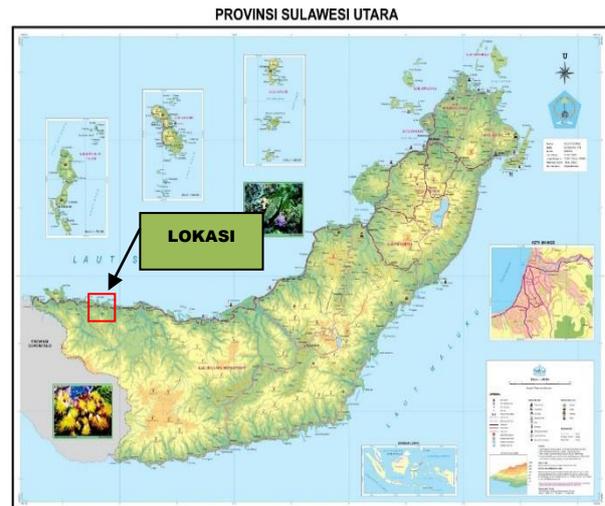
dimana,

- $\sigma'$ : tegangan efektif
- $\tau$ : tegangan geser
- $c$ : kohesi
- $\sigma$ : tegangan normal
- $\phi$ : sudut geser dalam

## METODOLOGI PENELITIAN

### Lokasi dan Kondisi Daerah Studi

Lokasi kegiatan pembangunan embung Nunuka terletak di Desa Nunuka Kecamatan Bolangitang Timur Kabupaten Bolaang Mongondow Utara Provinsi Sulawesi Utara. Untuk menuju lokasi ini dapat dijangkau dengan menggunakan kendaraan roda empat sampai lokasi embung yang berjarak  $\pm 1,7$  km dari Jalan Trans Sulawesi.



Gambar 3 Lokasi Pembangunan Embung Nunuka

Embung Nunuka direncanakan berada dalam alur sungai (*on stream*) Onggagu Nunuka dan luas daerah tangkapan hujannya  $4,3 \text{ km}^2$  atau melebihi batasan sebagai embung kecil. Untuk itu dalam perencanaan Embung Nunuka dipergunakan pedoman lainnya, seperti: "*Pedoman Perencanaan Bendungan Urugan*", yang diterbitkan oleh Departemen Pekerjaan Umum, Juli 1999".

Embung Nunuka direncanakan bertipe urugan tanah homogen dilengkapi dengan sistem drainase horisontal di sisi hilir tubuh embung. Pemilihan tipe ini didasarkan pada pertimbangan ketersediaan material yang ada di sekitar lokasi embung.

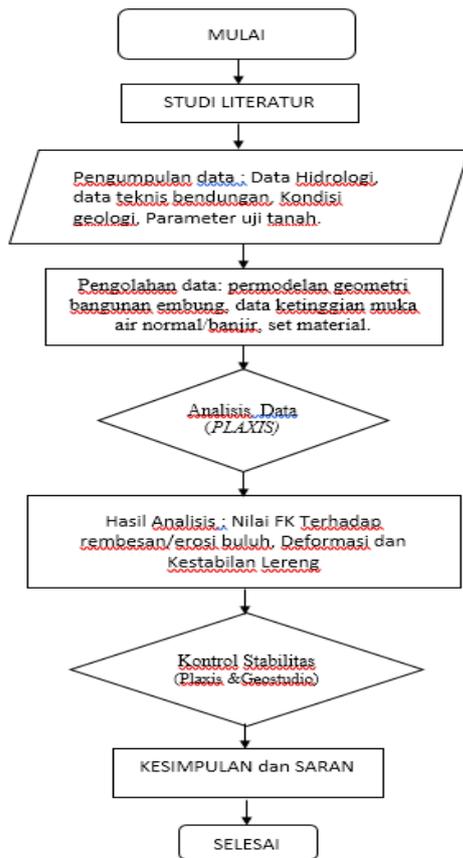
Bendungan pengelak hulu yang juga direncanakan bertipe urugan tanah homogen nantinya akan menjadi satu kesatuan dengan tubuh embung utama.

Kemiringan lereng bagian hulu Embung Nunuka direncanakan 1:2,50 dan kemiringan lereng bagian hilir direncanakan 1:2,25

### Analisis Data

Data primer maupun sekunder yang diperoleh dilakukan analisis menggunakan PLAXIS dan Geostudio. Setelah dilakukan running melalui program PLAXIS disandingkan dengan hasil perhitungan program Geostudio. Perbandingan dari hasil perhitungan tersebut dibuat kesimpulan sebagai alternatif menyangkut kestabilan serta metode perbaikan yang ditawarkan dalam pembangunan Embung Nunuka.

### Bagan Alir Penelitian



Gambar 4. Bagan Alir

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data Teknis Embung Nunuka

Embung Nunuka bertipe urugan homogen, dengan tinggi 8,10 m dari dasar sungai atau 11,10 m sampai galian pondasi terdalam, dan volume timbunan sekitar 24.397 m<sup>3</sup>.

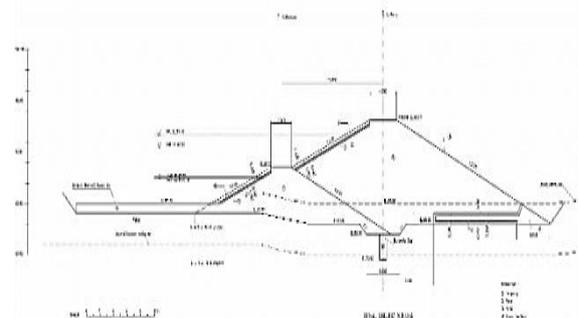
Bendung pengelak hulu dengan tinggi maksimum 5,5 m nantinya akan menjadi satu kesatuan dengan tubuh embung. Tubuh embung akan bertumpu pada pondasi endapan sungai dan andesit lapuk sedang di sandaran kiri dan kanan. Kemiringan lereng hulu embung direncanakan 1:2,50, dan kemiringan lereng hilir direncanakan 1:2,25 agar dapat menahan beban gempa periode ulang 50 tahun.

Tinggi Embung Nunuka ditetapkan berdasarkan elevasi muka air tinggi normal (HWL) pada El. 90,50 m atau sama dengan elevasi ambang pelimpah ditambah dengan tinggi jagaan.

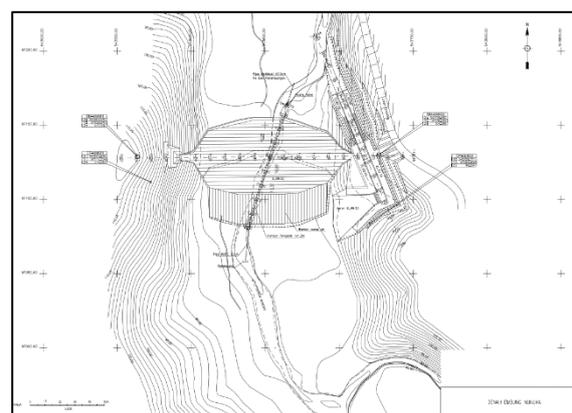
Elevasi puncak Embung Nunuka ditentukan berdasarkan tinggi muka air di tampungan pada

kondisi penuh (muka air normal) ditambah tinggi tampungan banjir dan ditambah tinggi jagaan. Tinggi tampungan air banjir ditentukan berdasarkan banjir rencana periode ulang 50 tahun (Q50th).

Elevasi puncak embung juga perlu ditentukan berdasarkan tinggi muka air banjir rencana periode ulang 100 tahun (Q100th) dengan tinggi jagaan minimum sebesar 30 cm. Elevasi muka air tampungan maksimum Embung Nunuka ditentukan berdasarkan keadaan topografinya dimana elevasi dasar sungai pada ± El. 85,00 m, tinggi embung maksimum 10 m. Dengan perkiraan tinggi jagaan 2,5 m dan galian pondasi 2 m, maka elevasi muka air tampungan maksimum ditentukan pada El. 90,50 m (= El. 85,00 m - 2 m + 10 m - 2,5 m).



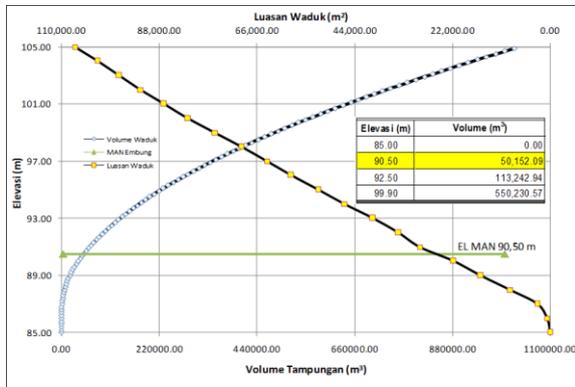
Gambar 5. Potongan Memanjang Embung Nunuka



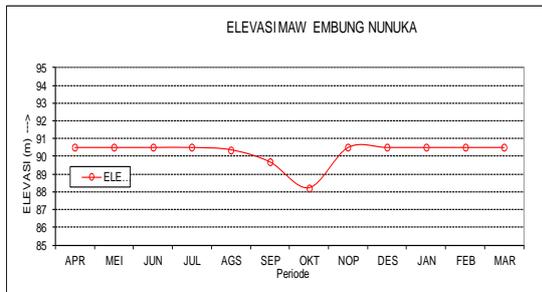
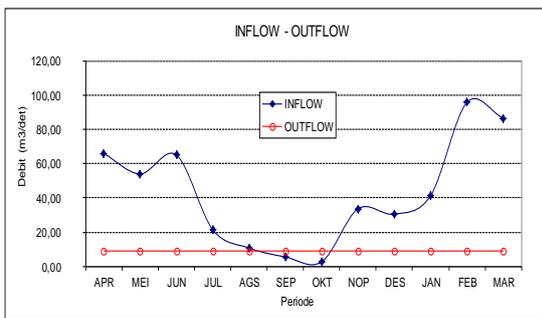
Gambar 6. Denah Embung Nunuka

Kapasitas tampung embung nunuka ditentukan berdasarkan grafik hubungan antara elevasi, luas dan volume tampungan embung dapat dicari luas dan volume setiap elevasi tertentu dari tampungan embung. Dengan

demikian luas dan volume total tampungan embung dapat ditentukan, seperti yang ada di dalam gambar 7.



Gambar 7. Kurva Kapasitas Tampungan Vs Luas Genangan Embung Nunuka



Gambar 8. Kurva Inflow-Outflow dan Elevasi Muka Air Embung Nunuka

Hasil simulasi tinjauan hidrologi di embung Nunuka, berikut adalah data hasil tinjauan yang telah dilakukan yang menunjukkan Kurva Inflow–Outflow dan Elevasi Muka Air Embung Nunuka seperti yang tergambar pada gambar 8.

Data penyelidikan tanah (*test pit*) yang dilakukan uji laboratorium, hasilnya dapat dilihat pada tabel 3 berikut ini,

Tabel 3. Parameter tanah hasil pengujian laboratorium

PARAMETER UJI TANAH					
PROJECT	EMBUNG NUNUKA				
LOCATION	NUNUKA				
SAMPLE No	TP -1	TP -2			
DEPTH (m)					
PHYSICAL TEST	Natural Water Content	w <sub>n</sub> (%)	27.32	23.03	
	Specific gravity of soil	G <sub>s</sub>	2.688	2.646	
	Wet density	γ <sub>wet</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.716	1.859	
	Dry density	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.278	1.495	
	Void ratio	e	1.104	0.769	
	Saturated density	γ <sub>sat</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.802	1.930	
	Submerged density	γ <sub>sub</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	0.802	0.930	
	Degree of Saturation	S <sub>ro</sub> %	83.62	83.56	
	GRAIN SIZE ANALYSIS	Gravel part	w <sub>g</sub> (%)	16.85	12.82
		Sand part	w <sub>s</sub> (%)	24.39	14.77
Silt part		w <sub>si</sub> (%)	22.86	47.16	
Clay part		w <sub>cl</sub> (%)	35.91	25.25	
Max. diameter		w <sub>d</sub> (mm)	38.10	25.40	
60 % diameter		w <sub>60</sub> (mm)	0.0914	0.0311	
10 % diameter		w <sub>10</sub> (mm)			
Uniformity Coefficient					
Dispersive		w <sub>d</sub> (%)			
Passing # 200			58.76	72.41	
CONSISTENCY	Liquid limit	LL (%)	84.36	45.55	
	Plastic limit	PL (%)	37.75	28.76	
	Plasticity index	PI (%)	46.61	16.79	
	Flow index		19.85	12.69	
	Shrinkage limit	SL			
	Unified Classification		CH	ML	
COMPACTION	Opt. moisture content	w <sub>p</sub> (%)	34.35	24.30	
	Max. dry density	γ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	1.345	1.574	
PERMEABILITY	K	cm/sec	1.745E-07	3.182E-07	
DIRECT SHEAR	Cohesion	c (kg/cm <sup>2</sup> )			
	Internal friction angle	φ			
SHEARING STRENGTH	UNCONSOLIDATED	Cohesion C	kg/cm <sup>2</sup>		
		Internal friction angle φ			
	CONSOLIDATED	Cohesion C	kg/cm <sup>2</sup>	0.312	0.283
		Internal friction angle φ		15 ° 48'	18 ° 56'
UNCONSOLIDATED	Cohesion C'	kg/cm <sup>2</sup>	0.271	0.237	
	Internal friction angle φ'		18 ° 55'	22 ° 37'	
CONSOLIDATION	Initial void ratio	e <sub>0</sub>	1.104	0.770	
	Preconsolidation load	P <sub>0</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	2.080	2.620	
	Compression index	C <sub>c</sub>	0.343	0.318	
	Coef of Consolidation	C <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /sec)	1.190E-02	1.050E-02	
	Coef. of vol.comp.	m <sub>v</sub> (cm <sup>2</sup> /gr)	2.290E-05	1.690E-05	
	Coef. of Perm. eability K	γ <sub>w</sub> (g/cm <sup>3</sup> sec)	2.730E-07	1.810E-07	

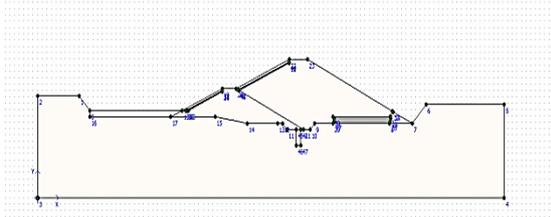
Sedangkan untuk parameter desain embung Nunuka dapat dilihat pada tabel 4 dibawah ini,

Tabel 4. Ringkasan parameter desain Embung Nunuka

No	Parameter	Simbol	Unit	Material						
				1 Lempung	2 Filter Halus	4 Filter Kasar	5 Rip-Rap	6 Bentonite	7 Pondasi	
1	Berat isi kering	γ <sub>s</sub>	t/m <sup>3</sup>	1,50	1,68	1,74	1,80	-	1,62	
2	Berat isi basah	γ <sub>t</sub>	t/m <sup>3</sup>	1,86	1,79	1,81	1,90	1,7	1,79	
3	Sudut geser dalam:									
	- Efektif	φ'	°	22	30	35	38	20	23	
	- Total	φ	°	18,9						
4	Kohesi:									
	- Efektif	C'	kg/cm <sup>2</sup>	0,23	0	0	0	0,20	0,30	
	- Total	C	kg/cm <sup>2</sup>	0,28						
5	Koef permeabilitas	K	cm/det	1x10 <sup>-6</sup>	1x10 <sup>-3</sup>	1x10 <sup>-2</sup>	1x10 <sup>-1</sup>	1x10 <sup>-6</sup>	5x10 <sup>-4</sup> 5x10 <sup>-2</sup>	
6	Berat isi basah	γ <sub>t</sub>	t/m <sup>3</sup>	1,86	1,79	1,81	1,90	1,70	1,79	
7	Modulus elastisitas	E <sub>s</sub>	kg/cm <sup>2</sup>	290	390	590	1750	800	600	
8	Poisson ratio	ν		0,37	0,34	0,33	0,30	0,30	0,34	

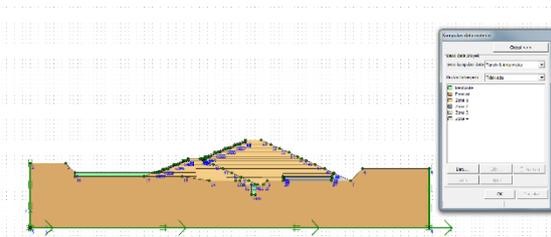
**Permodelan Plaxis 2D**

- Pengisian pengaturan global, pengisian standar unit serta penentuan batas-batas dalam penggambaran geometri
- Penggambaran geometri bangunan embung Nunuka.



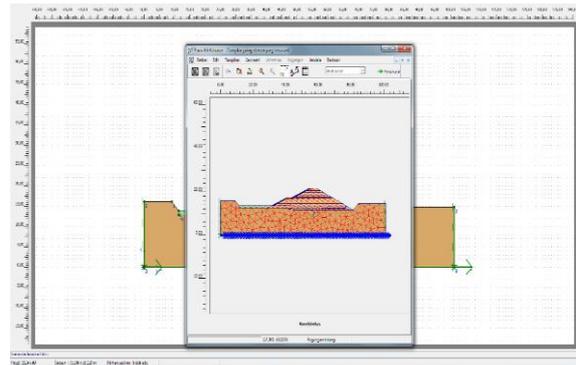
Gambar 9. Geometri Embung Nunuka

Sesudah dilakukan penggambaran geometri embung, dilakukan pengaktifan jepit standar untuk pembatasan daerah yang akan ditinjau. Sesudah itu dilakukan pengisian material sesuai dengan data-data parameter desain yang telah direncanakan. Parameter-parameter tanah timbunan dan pondasi di Embung Nunuka secara lengkap, adapun data material yang diperlukan adalah sebagai berikut: material zona 1 (lempung), zona 2 (filter halus), zona 3 (Filter Kasar), zona 4 (Rip-rap), Zona Pondasi, serta material bentonite. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 10.

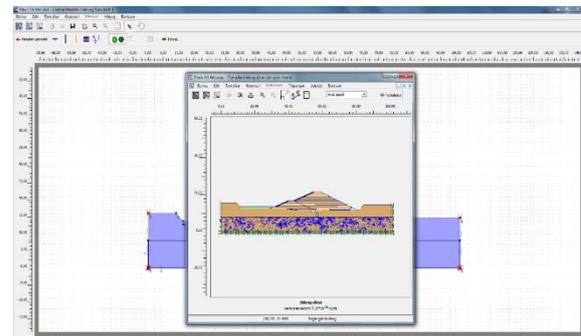


Gambar 10. Gambar tampilan setelah parameter data material terinput.

- Sesudah input material telah dilakukan, perlu dilakukan adalah dengan mengaktifkan jaring elemen hingga dengan menekan tombol "jaring elemen". Tahapan ini perlu dilakukan agar dapat dilakukan perhitungan oleh aplikasi melalui pembagian elemen-elemen menjadi cluster sehingga dapat dilakukan perhitungan elemen hingga, kemudian melakukan pengaktifan jaring elemen.

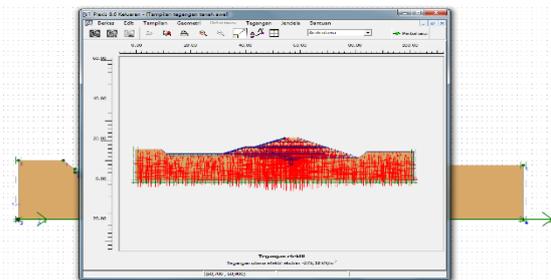


Gambar 11. Gambar tampilan setelah parameter data material terinput.



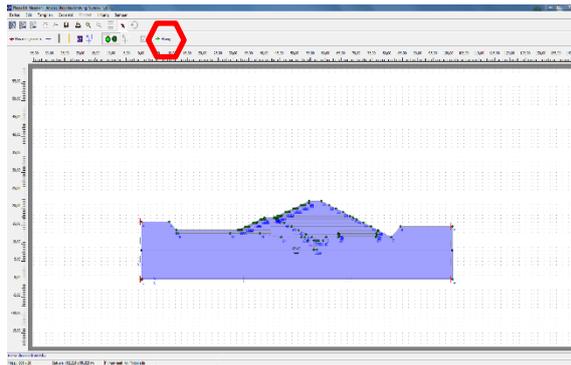
Gambar 12. Kondisi tekanan air awal di embung Nunuka

- Sesudah diketahui tekanan air awal, dilanjutkan ke permodelan tegangan efektif awal untuk mengetahui tekanan tanah awal yang bekerja pada bangunan. Tekanan tanah awal yang bekerja pada embung nunuka dapat dilihat pada gambar 13. Selanjutnya klik "perbaharui".



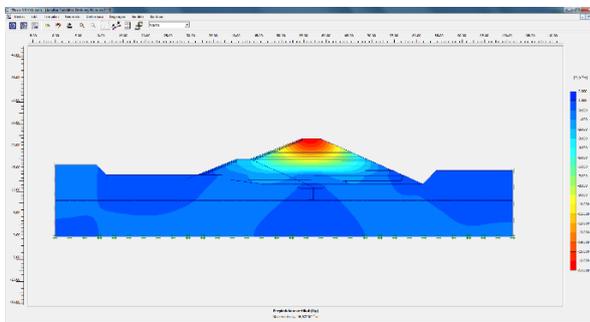
Gambar 13. Tekanan tanah efektif yang bekerja di embung Nunuka

- Sesudah kondisi tekanan air dan tekanan aktif tanah awal selesai, akan muncul gambar seperti gambar 4.14 di bawah ini. Selanjutnya klik tombol "hitung" untuk melanjutkan permodelan berdasarkan skenario yang diinginkan.

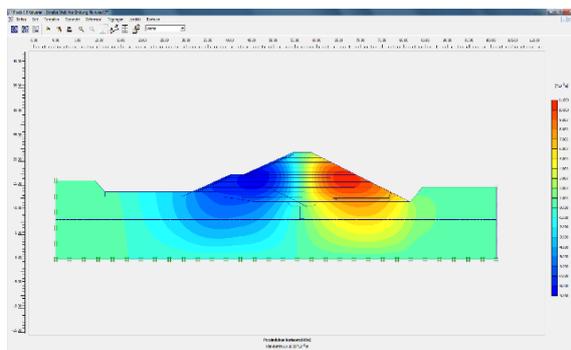


Gambar 14. Kondisi setelah tegangan tanah dan tegangan air awal diinput

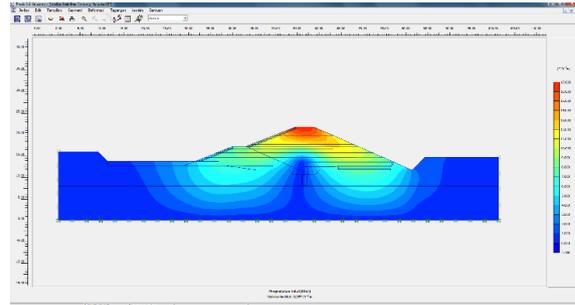
- Sesudah tombol “hitung” di klik, dilakukan pengisian pada tabel “Nomor/id” untuk setiap tahapan yang akan dilaksanakan, pada tahap awal ini diisi dengan “tahap I”. Untuk mengetahui deformasi pada tiap tahap, jenis perhitungan yang digunakan adalah” analisa plastis”. Tahapan konstruksi di embung Nunuka ini direncanakan sebanyak 10 tahap. Perpindahan yang terjadi di setiap tahapan dapat dilakukan pemantauan. Pada tahapan pekerjaan tahap 10 keluaran perpindahan yang terjadi dapat dilihat pada gambar 15, gambar 16 dan gambar 17



Gambar 15. Deformasi yang terjadi pada tubuh embung arah vertical



Gambar 16. Deformasi yang terjadi pada tubuh embung arah horizontal



Gambar 17. Deformasi Total yang terjadi di Tahap 10 (Utot)

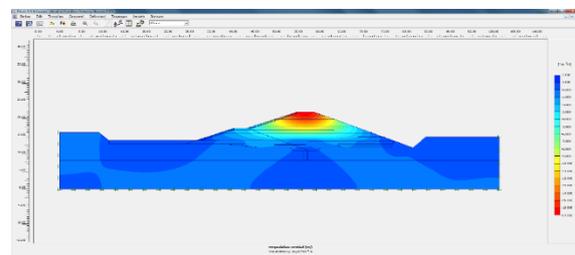
**Analisa stabilitas embung terhadap pengaruh deformasi**

- Menggunakan aplikasi Plaxis 8.5  
Tinjauan deformasi yang ditinjau dibagi atas 6 kondisi menggunakan plaxis v8.5, adapun kondisi-kondisi tersebut yaitu:

Tabel 5. Deformasi arah vertikal yang terjadi pada tubuh embung dalam beberapa kondisi

Kondisi	Besarnya deformasi (Uy) (m)
Embung selesai di bangun	$16,83 \times 10^{-3}$
Elevasi Muka Air Normal (EL + 87,5)	$11,41 \times 10^{-3}$
Elevasi Muka Air Banjir (EL +90,50)	$9,35 \times 10^{-3}$
Elevasi Muka Air Maksimum (EL +91,50)	$8,60 \times 10^{-3}$
Elevasi Muka Air Normal (EL + 87,5) + Gempa 0,05 det	$11,42 \times 10^{-3}$
Elevasi Muka Air Normal (EL + 90,5) + Gempa 0,05 det	$9,32 \times 10^{-3}$
Elevasi Muka Air Normal (EL + 91,5) + Gempa 0,05 det	$8,60 \times 10^{-3}$

Besarnya deformasi terbesar arah vertikal (Uy) yang terjadi adalah sebesar 0,16 m pada kondisi embung Nunuka selesai dibangun.



Gambar 18. Deformasi arah vertical maksimum kondisi embung selesai dibangun

- Deformasi arah vertikal yang terjadi menggunakan rumus empiris.  
Penurunan pada embung tipe urugan dapat diperkirakan dengan rumus empiris sbb

(Engineering Manual for Irrigation and Drainage No.3, Fill Dam, The Japan Institute of Irrigation and Drainage, March 1988):

$$S = 0,001 \times H^{3/2}$$

dimana:

S = penurunan total (m)

H = tinggi embung

$$= 93,10 \text{ m} - 82 \text{ m} = 11,10 \text{ m}$$

$$S = 0,001 \times 11,10^{3/2}$$

$$= 0,001 \times 36,98$$

$$= 0,037 \text{ m}$$

Penurunan pada puncak bendungan dapat juga diperkirakan dengan rumus sebagai berikut

$$\Delta H = \frac{1}{2 \times E_D} \times \gamma \times H^2 \times T$$

dimana :

$\Delta H$  = penurunan pd puncak bendungan (m)

H = tinggi embung (=11,10 m)

$\gamma$  = berat isi timbunan bendungan

T = koefisien penurunan (antara 0,3 ~ 0,5, diambil = 0,4)

$E_D$  = modulus deformation (ton/m<sup>2</sup>)

$$\gamma = 1,86 \text{ t/m}^2$$

$E_s = 300 \text{ kg/cm}^2$  (modulus elastisitas zona inti lempung)

$$E_D = \frac{1}{2} \times E_s = \frac{1}{2} \times 300 = 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$= 1500 \text{ t/m}^2$$

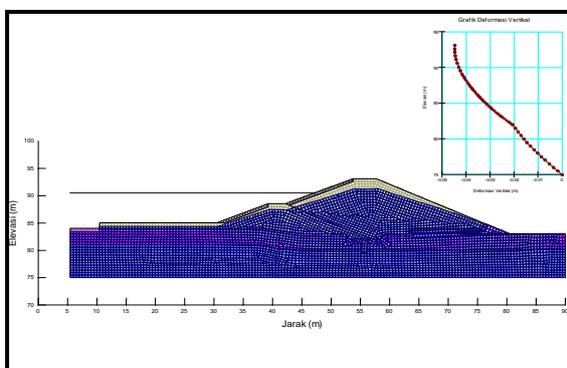
$$\Delta H = \frac{1}{2 \times E_D} \times \gamma \times H^2 \times T$$

$$\Delta H = \frac{1}{2 \times 1500} \times 1,86 \times 11,1^2 \times 0,4$$

$$= 0,031 \text{ m}$$

- Deformasi arah vertikal yang terjadi menggunakan aplikasi Geostudio,

Menggunakan aplikasi geostudio dapat dilihat bahwa deformasi arah vertikal terbesar terjadi pada puncak embung yaitu sebesar 0,045 meter. Dapat dilihat pada gambar 19 dibawah ini;

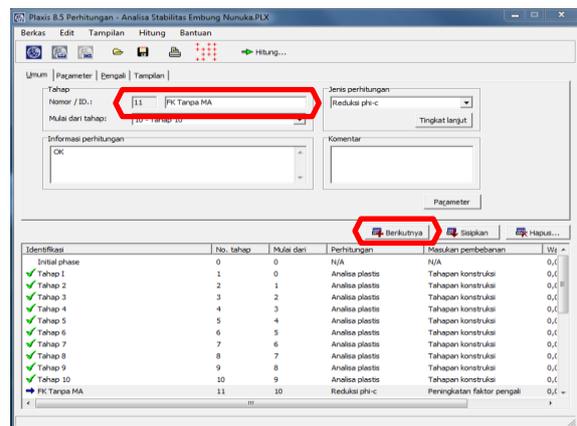


Gambar 19. Deformasi arah vertikal maksimum menggunakan Geostudio

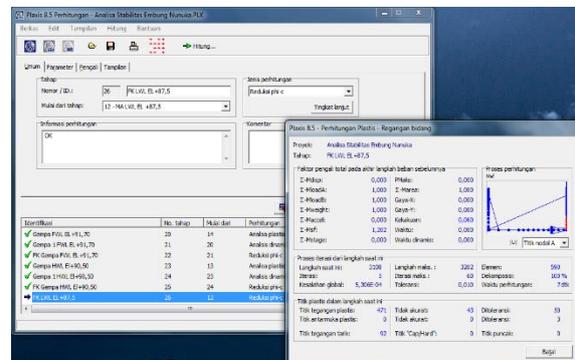
## Analisa stabilitas embung terhadap Faktor Keamanan (FK)

- Menggunakan aplikasi Plaxis 8.5

Setelah dilakukan analisis untuk tahapan konstruksi yaitu tahap 10 di klik tombol “berikutnya”. Pada kolom nomor/id diberi nama FK Tanpa Muka Air, kemudian untuk mencari Faktor Keamanan, Kolom “Jenis Perhitungan” dirubah menjadi “Reduksi phi/c”. Kemudian klik tombol “Hitung” kemudian langsung dilakukan kalkulasi untuk mencari angka keamanan.

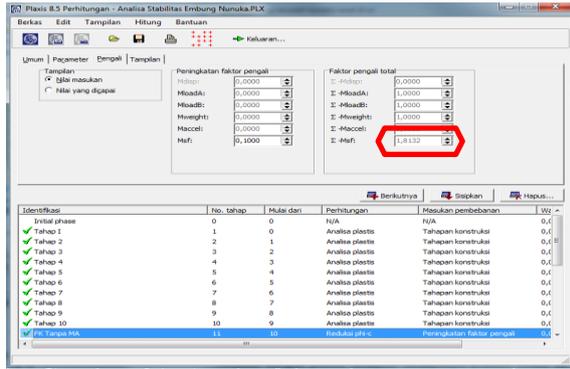


Gambar 20. Pengisian data umum perhitungan FK



Gambar 21. Kalkulasi dalam mencari angka keamanan (FK)

Sesudah dilakukan kalkulasi, klik pada bagian “pengali” dalam pada tampilan plaxis kemudian dilihat pada kolom “Σ-Msf” yang merupakan koefisien angka keamanan. Dapat dilihat bahwa angka keamanan pada kondisi sesudah dibangun tanpa Muka Air adalah sebesar 1,8132.



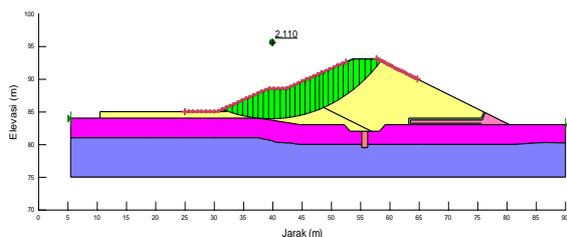
Gambar 21. Angka faktor keamanan pada kondisi embung sesudah dibangun

Proses dilakukan seterusnya disesuaikan dengan permodelan/simulasi terhadap kondisi embung yang akan ditinjau, diinginkan dilakukan Sesudah dilakukan kalkulasi, pada table dibawah ini merupakan rekapitulasi Faktor Keamanan pada berbagai kondisi yang ditinjau :

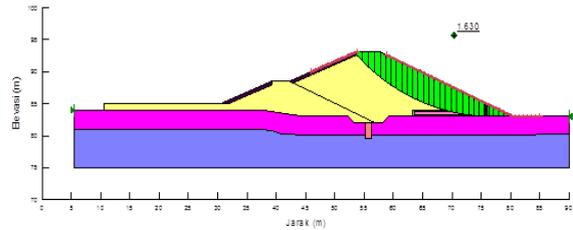
Tabel 5. Rekapitulasi angka keamanan embung pada beberapa kondisi yang ditinjau

Kondisi	Faktor Keamanan		Keterangan
	FKhitung	FK Ijin	
Embung selesai di bangun	1,813	1,5	OK
Elevasi Muka Air Normal (EL + 87,5)	1,808	1,5	OK
Elevasi Muka Air Banjir (EL +90,50)	1,774	1,5	OK
Elevasi Muka Air Maksimum (EL +91,7)	1,722	1,5	OK
Elevasi Muka Air Normal (EL + 87,5) + Gempa 0,05 det	1,809	1,2	OK
Elevasi Muka Air Banjir (EL + 90,5) + Gempa 0,05 det	1,769	1,2	OK
Elevasi Muka Air Maksimum (EL + 91,7) + Gempa 0,05 det	1,718	1,2	OK

- Menggunakan aplikasi Geostudio  
 Dalam melakukan analisis kestabilan lereng embung dengan menggunakan dilakukan pada beberapa kondisi, antara lain :
  - Embung selesai di bangun

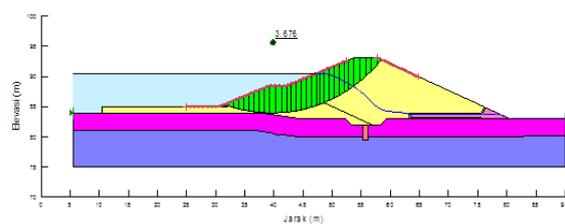


Gambar 22. FK Lereng Hulu Embung Nunuka Kondisi Selesai Pembangunan

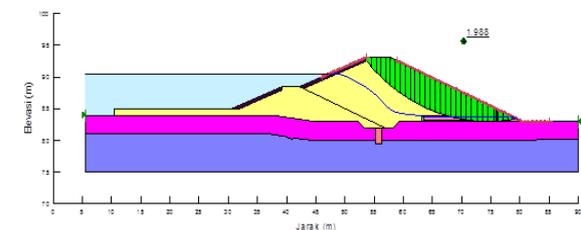


Gambar 23. FK Lereng Hilir Embung Nunuka Kondisi Selesai Pembangunan

Kondisi Embung Nunuka Selesai Pembangunan, dimana FK Keamanan pada bagian hulu = 2,110 sedangkan bagian hilir adalah sebesar 1,630



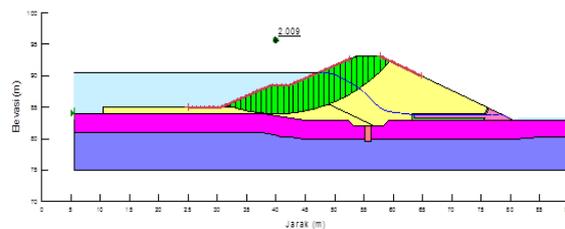
Gambar 24. FK Lereng Hulu Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) HWL El +90,50



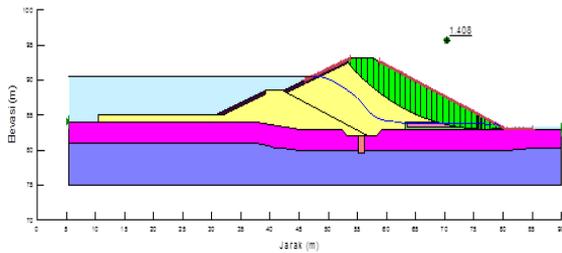
Gambar 25. FK Lereng Hilir Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) HWL El +90,50

Kondisi Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) HWL El +90,50, dimana FK Keamanan pada bagian hulu = 3,676 sedangkan bagian hilir adalah sebesar 1,988

- Elevasi Muka Air Maksimum (EL +91,7)



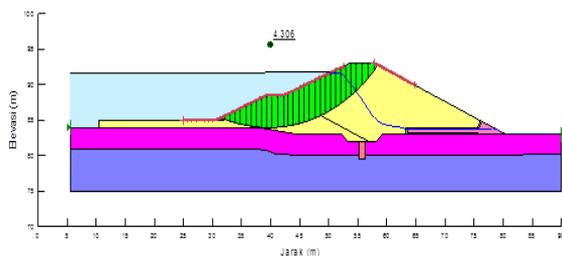
Gambar 26. FK Lereng Hulu Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) HWL El +90,50 dengan Gempa 50 th



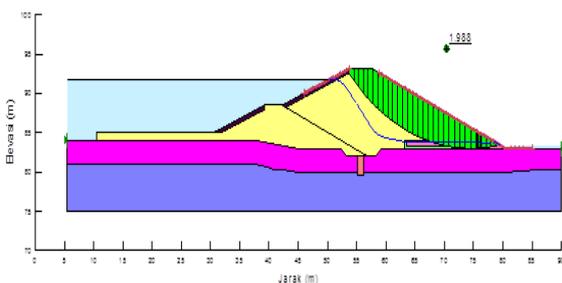
Gambar 27. FK Lereng Hilir Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) HWL El +90,50 dengan Gempa 50 th

Kondisi Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) HWL El +90,50 dengan Gempa 50 Th, dimana FK Keamanan pada bagian hulu = 2,009 sedangkan bagian hilir adalah sebesar 1,408

d. Elevasi Muka Air Banjir (EL + 90,5) + Gempa 0,05 det.



Gambar 28. FK Lereng Hulu Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) FWL El +91,70 Tanpa Gempa



Gambar 29. FK Lereng Hilir Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) FWL El +91,70 Tanpa Gempa

Kondisi Embung Nunuka Aliran Langgeng (Steady State) FWL El +91,70 Tanpa Gempa, dimana FK Keamanan pada bagian hulu = 4,306 sedangkan bagian hilir adalah sebesar 1,988 Rekapitulasi permodelan dalam berbagai kondisi menggunakan aplikasi geostudi, adalah sebagai berikut:

Tabel 6. Rekapitulasi Angka Keamanan di berbagai kondisi pada Embung Nunuka.

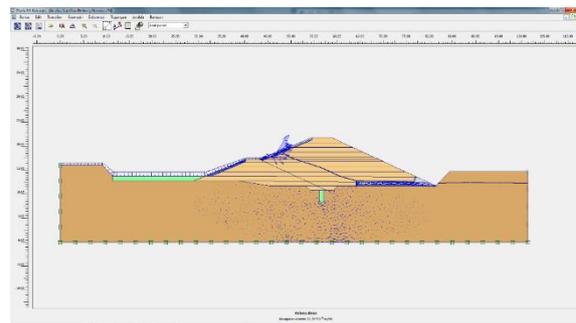
Kondisi	FK IJIN	Geostudio	
		Hulu	Hilir
Embung selesai di bangun	1,5	2.110	1.630
Elevasi Muka Air Banjir (EL +90,50)	1,5	3.676	1.988
Elevasi Muka Air Maksimum (EL +91,7)	1,5	4.306	1.988
Elevasi Muka Air Banjir (EL + 90,5) + Gempa 0,05 det	1,2	2.009	1.408

**Analisa Rembesan pada Embung Nunuka**

- Analisa Rembesan Menggunakan aplikasi Plaxis 8.5.

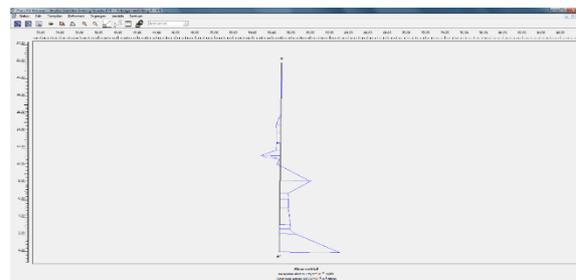
a. Kondisi Aliran Langgeng pada HWL EL +90,50

Pada kondisi ini, dapat dilihat kecepatan aliran ekstrim adalah sebesar  $22,78 \times 10^{-6}$  m/detik.



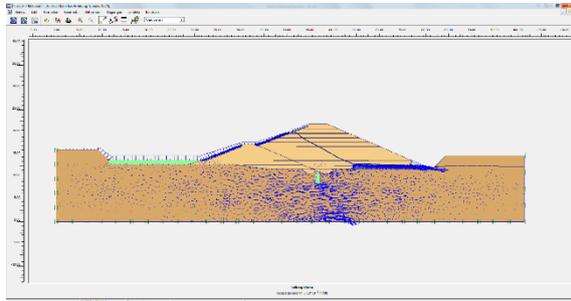
Gambar 30. Kondisi Aliran Ektrim yang terjadi pada Tubuh/Pondasi embung pada Kondisi Aliran Langgeng HWL +90,50.

Sedangkan aliran vertikal ekstrim yang terjadi pada tubuh/pondasi embung adalah sebesar  $178,65 \times 10^{-9}$  m/det atau  $178,65 \times 10^{-6}$  liter/det



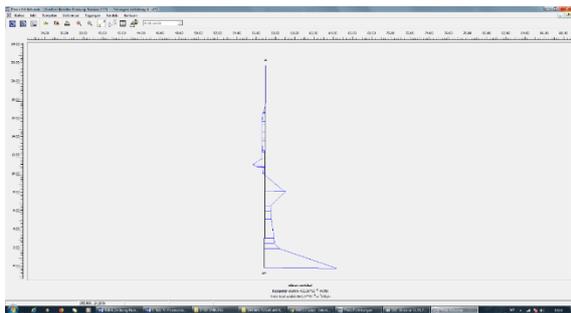
Gambar 31. Kondisi Aliran Ektrim yang terjadi pada Tubuh/Pondasi embung pada Kondisi Aliran Langgeng HWL +90,50.

- b. Kondisi Aliran Langgeng pada HWL EL +91,70  
 Pada kondisi ini, dapat dilihat kecepatan aliran ekstrim adalah sebesar  $5,13 \times 10^{-6}$  m/detik



Gambar 32. Kondisi Aliran Ekstrim yang terjadi pada Tubuh/Pondasi embung pada Kondisi Aliran Lenggeng FWL +91,70

Sedangkan aliran vertikal ekstrim yang terjadi pada tubuh/pondasi embung adalah sebesar  $452,98 \times 10^{-9}$  m/det atau 452,98 x 10<sup>-6</sup> liter/det.



Gambar 33. Kondisi Aliran Ekstrim yang terjadi pada Tubuh/Pondasi embung pada Kondisi Aliran Lenggeng FWL +91,70

Dari hasil analisis rembesan diperoleh besarnya rembesan per meter lebar yang melalui bagian tengah embung adalah:

$$q_f = 10,65E-06 \text{ m}^3/\text{det.per meter lebar embung.}$$

Elevasi muka air normal = EL. 90,50 m  
 Elevasi dasar embung = El. 83,00 m  
 Tinggi air (H) = El. 90,50 m – El. 83,00 m = 7,50 m  
 Luas penampang basah embung = 622,5 m<sup>2</sup>  
 Lebar ekivalen memanjang bendungan ( $B_{ek}$ ) =  $A/H = 622,5 / 7,50 = 83 \text{ m}$   
 Sehingga jumlah rembesan yang melalui bendungan:  
 $Q_r = q_f \times B_{ek} = 0,00001065 \text{ m}^3/\text{det/m} \times 83 \text{ m} = 0,00088395 \text{ m}^3/\text{det} = 0,88395 \text{ ltr/det}$

Debit inflow tahunan rata-rata,  
 $Q_i = 133,34 \text{ ltr/det}$   
 $Q_r / Q_i = 0,142 \text{ ltr/det} / 133,34 \text{ ltr/det} = 0,6629 \% < 2 \% \dots \text{OK}$

Untuk pipung, dari hasil uji laboratorium untuk zona lempung, diperoleh:

$$G_s = 2,646$$

$$e = 0,770$$

$$I_c = \frac{G_s - 1}{1 + e} = 0,9299$$

Dari hasil analisis rembesan pada Gambar 4.52 terlihat besarnya komponen vertikal gradien keluaran atau y-gradien adalah:

$$I_y = 0,0178, \text{ sehingga:}$$

$$FK = \frac{0,9299}{0,0178} = 2,24 > 2 \quad \text{Aman.}$$

- Analisa Rembesan Menggunakan Geostudio
  - a. Standar menyangkut besarnya rembesan melalui tubuh embung  
 Besarnya rembesan yang melalui tubuh embung harus lebih kecil dari ketentuan yang disyaratkan, yaitu antara 2% ~ 5% dari inflow tahunan rata-rata yang masuk ke waduk. (Soedibyo).
  - b. Pemeriksaan terhadap erosi buluh/ pipung  
 Faktor keamanan terhadap erosi buluh pada zona lempung dinyatakan sebagai perbandingan antara gradien kritis ( $I_c$ ) dengan komponen vertikal dari gradien keluaran ( $I_y$ ).

$$FK = \frac{I_c}{I_y} \geq 4 \quad \text{Tanpa filter}$$

$$\geq 2 \quad \text{Dengan filter}$$

$$I_c = \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

dimana

$FK$  = faktor keamanan

$I_c$  = gradien keluar kritis

$I_y$  = gradien keluaran dari hasil analisis rembesan

$G_s$  = berat spesifik material zona inti

$e$  = angka pori material zona inti

- c. Hasil dari running program Geostudio pada kondisi Muka Air Langgeng Pada Kondisi HWL EL +90,50  
 Dari hasil analisis rembesan diperoleh besarnya rembesan per meter lebar (*water flux*) yang melalui bagian tengah embung adalah:

$$q_f = 1,7054E-06 \text{ m}^3/\text{det.per meter lebar embung.}$$

Elevasi muka air normal = EL. 90,50 m

Elevasi dasar embung = El. 83,00 m  
 Tinggi air (H)  
 = El. 90,50 m – El. 83,00 m = 7,50 m

Luas penampang basah embung  
 = 622,5 m<sup>2</sup> (diukur)

Lebar ekivalen memanjang bendungan (B<sub>ek</sub>)  
 = A/H = 622,5 / 7,50 = 83 m

Sehingga jumlah rembesan yang melalui bendungan:

$$Q_r = q_f \times B_{ek}$$

$$= 0,0000017054 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m} \times 83 \text{ m}$$

$$= 0,000142 \text{ m}^3/\text{det.}$$

$$= 0,142 \text{ ltr}/\text{det}$$

Debit inflow tahunan rata-rata

$$Q_i = 133,34 \text{ ltr}/\text{det}$$

$$Q_r / Q_i = 0,142 \text{ ltr}/\text{det} / 133,34 \text{ ltr}/\text{det}$$

$$= 0,106 \% < 2 \%$$

Untuk piping, dari hasil uji laboratorium untuk zona lempung, diperoleh:

$$G_s = 2,646$$

$$e = 0,770$$

$$I_c = \frac{2,646 - 1}{1 + 0,770}$$

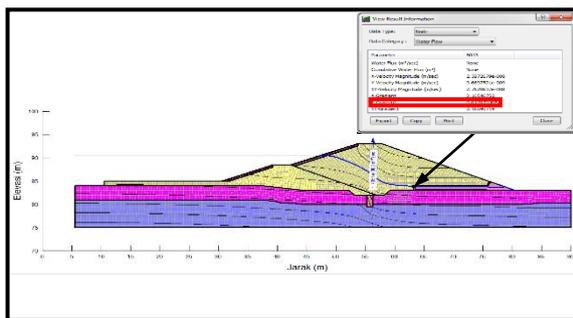
$$= 0,9299$$

Dari hasil analisis rembesan pada Gambar. 34 terlihat besarnya komponen vertikal gradien keluaran atau y-gradien adalah:

$$I_y = 0,01207 \text{ sehingga:}$$

$$FK = \frac{0,9299}{0,01207}$$

$$= 77,04 > 2 \quad \text{Aman.}$$



Gambar 43. Angka Y-Gradient Aliran Air pada Tubuh/Pondasi Embung pada Kondisi Aliran Langgeng HWL +90,50

Dari hasil analisis rembesan diperoleh besarnya rembesan per meter lebar (*water flux*) yang melalui bagian tengah embung adalah:

$$q_f = 1,7054E-06 \text{ m}^3/\text{det. per meter lebar embung.}$$

Elevasi muka air normal = EL. 90,50 m

Elevasi dasar embung = El. 83,00 m  
 Tinggi air (H) = El. 90,50 m – El. 83,00 m = 7,50 m

Luas penampang basah embung  
 = 622,5 m<sup>2</sup> (diukur)

Lebar ekivalen memanjang bendungan (B<sub>ek</sub>)  
 = A/H = 622,5 / 7,50 = 83 m

Sehingga jumlah rembesan yang melalui bendungan:

$$Q_r = q_f \times B_{ek}$$

$$= 0,0000017054 \text{ m}^3/\text{det}/\text{m} \times 83 \text{ m}$$

$$= 0,000142 \text{ m}^3/\text{det.}$$

$$= 0,142 \text{ ltr}/\text{det}$$

Debit inflow tahunan rata-rata

$$Q_i = 133,34 \text{ ltr}/\text{det}$$

$$Q_r / Q_i = 0,142 \text{ ltr}/\text{det} / 133,34 \text{ ltr}/\text{det}$$

$$= 0,106 \% < 2 \%$$

## PENUTUP

Kesimpulan yang bisa didapat dari hasil analisa yang telah dilakukan, adalah sebagai berikut:

- Embung Nunuka mengalami deformasi terbesar arah vertikal (U<sub>y</sub>) sebesar 0,16 meter yaitu pada kondisi bangunan embung selesai dibangun dengan menggunakan plaxis 8.5, dan dari rumus empiris dapat diperkirakan penurunan yang terjadi adalah sebesar 0,037 meter, sedangkan deformasi arah vertikal yang terjadi menggunakan aplikasi geostudio dimana deformasi arah vertikal yang terbesar terjadi pada puncak embung yaitu sebesar 0,045 meter. Hasil analisa deformasi untuk ketiga metode diatas yang dipergunakan diatas dapat disimpulkan bahwa timbunan ekstra yang diperlukan adalah sebesar minimal sebesar 0,25-0,30 meter.
- Faktor keamanan yang terjadi pada bangunan embung Nunuka menggunakan aplikasi plaxis 8.5 pada berbagai kondisi yang ditinjau adalah aman berkisar antara 1,722 – 1,813 dengan FK ijin yaitu 1,5 sedangkan dengan menggunakan aplikasi geostudio faktor keamanannya berkisar antara 1,630-1,1988. Dapat disimpulkan bahwa Embung Nunuka aman dari beberapa kondisi yang ditinjau baik menggunakan aplikasi plaxis 8.5 maupun menggunakan Geostudio. Dimana tidak ada yang < dari FK ijin yang ada.
- Rembesan yang terjadi pada Embung Nunuka ditinjau dari rembesan yang terjadi pada bangunan embung Nunuka dengan

menggunakan aplikasi Plaxis maupun aplikasi geostudio adalah aman. Dengan menggunakan aplikasi Plaxis total rembesan yang terjadi pada embung berbanding dengan debit inflow tahunan rata-rata adalah sebesar

0,6629 % dimana angka itu adalah lebih kecil dari FK ijin yaitu 2%, sedangkan dengan menggunakan aplikasi Geostudio total rembesan yang terjadi adalah sebesar 0,106 % (lebih kecil dari 2%)

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, Rizki, 2017. *Analisis Keruntuhan Bendungan Manggar Menggunakan Aplikasi Zhong Xing XY21*, Jurnal Ilmiah Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya Malang.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1994. *Pedoman Kriteria Desain Embung Kecil untuk Daerah Semi Kering di Indonesia*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 1999. *Pedoman Perencanaan Bendungan Urugan*. Jakarta.
- Das, Braja M. 1995. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 1*, Erlangga, Jakarta.
- Kementerian Pekerjaan Umum, 2010. *Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 Sebagai Acuan Dasar Perencanaan dan Perancangan Infrastruktur*.
- Soedibyo. 1993. *Teknik Bendungan*, Pradnya Paramita, Jakarta.
- Sukirman, 2014. *Analisis Rembesan pada Bendung Tipe Urugan Melalui Uji Hidrolik di Laboratorium Hidro FT Unsri*, Jurusan Teknik Sipil, Universitas, Vol 2.
- Suryolelono, K. B., 1994. *Teknik Pondasi bagian I (Pondasi Telapak dan Dinding Penahan Tanah)*, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- The Japan Institute of Irrigation and Drainage, 1988. *Engineering Manual for Irrigation and Drainage No.3, Fill Dam*, Japan.