

ANALISIS KEAMANAN LERENG BENDUNGAN UTAMA PADA BENDUNGAN BENEL DI KABUPATEN JEMBRANA

I G. N. Putu Dharmayasa¹, I W. Redana², Tjok Gde Suwarsa Putra²

Abstrak: Pembangunan bendungan sangat bermanfaat bagi masyarakat di sekitarnya. Oleh karena itu, perlu ditinjau kondisi keamanan bendungan ketika bendungan sedang dibangun dan kondisi ketika bendungan beroperasi pada saat ini. Kondisi keamanan berkenaan dengan perubahan ketinggian air pada hulu bendungan yang mempengaruhi besar rembesan dan keamanan lereng bendungan ketika bendungan telah beroperasi. Tinjauan keamanan bendungan ini dilakukan terhadap Bendungan Benel yang terletak di Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Propinsi Bali.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, hasil perhitungan rembesan (q) pada tubuh bendungan dengan SEEP/W dan *flownet* menunjukkan bahwa, debit rembesan (q) yang melewati tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan jumlahnya kurang dari 1 % (4,9206 m³/detik) terhadap debit banjir rata-rata, sehingga telah memenuhi persyaratan keamanan yang ditentukan

Perhitungan angka keamanan bendungan tanpa beban gempa dan dengan beban gempa, untuk kondisi saat pembangunan, ketika bendungan beroperasi dengan muka air banjir, ketika bendungan beroperasi pada musim hujan (muka air normal), ketika bendungan beroperasi pada musim kemarau, dan ketika air bendungan surut cepat (*rapid draw down*) untuk lereng bagian hulu dan bagian hilir dengan SLOPE/W dan dengan metode Bishop memperoleh hasil lebih besar dari yang ditentukan dalam RSNI M-03-2002.

Kata kunci: Bendungan Benel, debit rembesan, angka keamanan

MAIN DAM SLOPE SAFETY ANALYSIS OF BENEL DAM IN THE JEMBRANA REGENCY

Abstract : Development of dam very important for community surrounding the dam. To maintain that the benefits can be continued, it is necessary to review whether the safety of dams already meet the expected requirements. Dam safety to be reviewed when the dam was built and when the dam operating at this time. Security conditions associated with changes in water level on the upstream dam that affects the seepage on the body of dam and seepage under the dam. The water level also affects the slope of the dam when the dam has been operating. Evaluation of the safety of the dam was conducted on Benel dam which located in Melaya District, Jembrana Regency, Bali Province.

The results of the calculation of seepage (q) in the dam body with SEEP/W and *flownet* shows that, seepage discharge (q) which passes through under the dam and the body of dam is less than 1% (4.9206 m³/second) against the average flood discharge, so it has met the security requirements.

Dam safety factor calculations without seismic load and with seismic load, for upstream slope and downstream slope when the dam was constructed, when operating with flood water level, when operating in the rainy season (normal water level), when operating in the dry season (minimum water level) and with rapid draw down condition, with SLOPE/W and the Bishop method, the safety factor obtained more than minimum requirement by RSNI M-03-2002.

Keywords: Benel dam, seepage discharge, safety factor

¹ Alumnus Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Udayana

² Staf Pengajar Program Studi Magister Teknik Sipil, Program Pascasarjana Universitas Udayana

PENDAHULUAN

Pembangunan bendungan di suatu daerah berperan penting bagi kemajuan daerah disekitar bendungan, karena banyak manfaat yang dapat dinikmati oleh masyarakat di sekitarnya. Manfaat yang dapat diperoleh oleh masyarakat yaitu diantaranya untuk persediaan air, sebagai pembangkit listrik dan sebagai tempat rekreasi.

Agar manfaat yang diperoleh dapat berkelanjutan maka perlu diketahui keamanan bendungan apakah sudah sesuai dengan yang diharapkan ketika bendungan telah beroperasi. Oleh karena itu, perlu ditinjau kondisi keamanan bendungan ketika bendungan sedang dibangun dan kondisi ketika bendungan beroperasi pada saat ini. Kondisi keamanan berkenaan dengan perubahan ketinggian air pada hulu bendungan yang mempengaruhi besar rembesan pada tubuh bendungan dan di bawah bendungan. Ketinggian air ini juga mempengaruhi keamanan lereng bendungan ketika telah beroperasi.

Tinjauan keamanan bendungan ini dilakukan terhadap Bendungan Benel yang terletak di Kecamatan Melaya, Kabupaten Jembrana, Propinsi Bali yaitu diantaranya analisis rembesan pada tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan. Analisis rembesan dilakukan terhadap kondisi muka air di hulu bendungan adalah ketika muka air di hulu bendungan adalah muka air banjir, muka air normal (musim hujan), dan muka air minimum (musim kemarau).

Untuk perhitungan keamanan bendungan adalah ketika masa pembangunan (tanpa air di hulu bendungan), ketika bendungan beroperasi dengan muka air banjir, ketika muka air normal (musim hujan), ketika muka air minimum (musim kemarau), serta ketika bendungan mengalami kondisi surut cepat (*rapid draw down*) maksimum.

KAJIAN PUSTAKA Bendungan Urugan

Bendungan urugan adalah bangunan yang dibuat dari bahan timbunan seperti tanah, pasir dan batuan yang dibuat sedemikian rupa sehingga membentuk suatu dinding yang mampu menampung air. Bendungan urugan biasanya dibuat di lokasi yang mudah memperoleh bahan timbunan seperti tanah lempung, pasir dan batuan.

Angka Keamanan dan Longsor Pada Lereng Bendungan

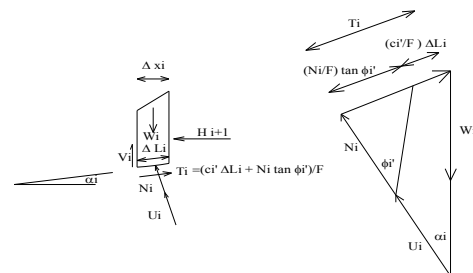
Longsor pada lereng bendungan sangat berbahaya bagi keamanan bendungan. Pada bendungan urugan, keruntuhan lereng biasanya berbentuk lingkaran. Untuk menganalisis faktor keamanan tanah yang keruntuhannya berbentuk lingkaran di gunakan metode kesetimbangan gaya atau metode kesetimbangan momen.

Kadaan kritis yang ditinjau dalam analisis keamanan lereng tubuh bendung adalah :

1. masa konstruksi (ketika sedang dibangun)
2. pada masa beroperasi : muka air banjir, musim hujan (muka air normal) dan musim kemarau (muka air minimum)
3. ketika bendungan kehilangan air secara cepat / kondisi surut cepat.

Metode Bishop

Metode Bishop adalah pengembangan metode ordinary dari Fellenius. Metode Bishop mengasumsikan bahwa tegangan geser antar segmen adalah nol. Dalam beberapa studi stabilitas lereng menunjukkan bahwa, resultante gaya sisi samping segmen dapat diabaikan tanpa suatu kesalahan yang berarti pada stabilitas. Hal ini akan mengurangi kerumitan analisis sehingga membuat analisis menjadi sederhana, analisis ini kemudian dinamakan “Simplified Bishop Method” (Gambar 1).



Gambar 1. Metode *simplified* Bishop

Gaya vertikal yang bekerja pada irisan bidang gelincir adalah:

$$W_i = T_i \sin \alpha_i + N_i \cos \alpha_i + u_i \Delta x_i \dots (1)$$

Gaya penggelincir sama dengan T_i yaitu:

$$T_i = \frac{c_i' \Delta L_i}{SF} + \frac{N_i \tan \phi_i'}{SF} \dots (2)$$

Dengan mensubstitusikan persamaan (1) ke persamaan (2), dengan nilai Δx_i adalah $\Delta L_i \cos \alpha$ maka:

$$W_i = \left(\frac{c_i' \Delta L_i}{SF} + \frac{N_i \tan \phi_i'}{SF} \right) \sin \alpha_i + N_i \cos \alpha_i + u_i \Delta x_i \dots \dots \dots (3)$$

$$N_i = \frac{W_i - \frac{c_i' \Delta x \tan \alpha_i}{SF} - u_i \Delta x_i}{\cos \alpha_i \left(\frac{\tan \phi_i' \tan \alpha_i}{SF} + 1 \right)} \dots \dots \dots (4)$$

$$\cos \alpha_i \left(\frac{\tan \phi_i' \tan \alpha_i}{SF} + 1 \right) = M \alpha \dots \dots \dots (5)$$

Persamaan dari nilai keamanan adalah:

$$SF = \frac{\sum (c_i' \Delta L_i + N_i \tan \phi_i')}{\sum W_i \sin \alpha_i} \dots \dots \dots (6)$$

Dengan memasukkan nilai N dari persamaan (4) ke persamaan (8) maka dihasilkan persamaan:

$$SF = \frac{\sum (c_i' \Delta x_i + (W_i - u_i \Delta x) \tan \phi_i') / M \alpha_i}{\sum W_i \sin \alpha_i} \dots \dots \dots (7)$$

Perhitungan Keamanan Bendungan Terhadap Gempa dengan Metode Pseudostatik

Pada metode ini perhitungan terhadap gempa dilakukan dengan memasukkan koefisien gaya gempa ke dalam perhitungan metode Bishop. Berdasarkan koefisien gaya gempa tersebut dihasilkan komponen gaya gempa horizontal (F_h) dan gaya gempa vertikal (F_v) sehingga menghasilkan persamaan (2.10):

$$SF = \frac{\sum \left[c_i' \Delta x_i + \left((W_i - F_v) \cos \alpha_i - u_i \Delta x_i - F_h \sin \alpha_i \right) \tan \phi_i' \right] \frac{1}{M \alpha_i}}{\sum (W_i - F_v) \sin \alpha_i + F_h \cos \alpha_i} \dots \dots \dots (8)$$

Untuk mendapatkan nilai angka keamanan terhadap gempa dengan metode pseudo statik dilakukan dengan proses mencoba berulang-ulang (*trial and error*).

Perhitungan Keamanan Bendungan Terhadap Gempa dengan Analisis Lereng Dinamik Sederhana (Matyas, 1985)

Perhitungan keamanan lereng dinamik dilakukan dengan penurunan rumus pada tes triaksial dinamik sehingga diperoleh hubungan tekanan normal pada keruntuhan (σ_{1c}), tekanan keliling efektif (σ_{3c}), tekanan

geser pada keruntuhan dinamik (τ_{ϕ}) dan sudut keruntuhan dinamik (ϕ_f) sebagai berikut:

$$\sigma_{1c} = \frac{\sigma_{1c} + \sigma_{3c}}{2} + \left[\frac{\sigma_{1c} - \sigma_{3c}}{2} \right] \cos 2\phi_f \dots \dots (9)$$

$$\sigma_{3c} = \frac{2\sigma_{fc}}{(K_c + 1)(K_c - 1) \cos 2\phi_f} \dots \dots \dots (10)$$

$$\tau_{\phi} = \frac{2\sigma_{fc}}{(K_c + 1)(K_c - 1) \cos 2\phi_f} \left[\frac{K_c + SR - 1}{2} \right] \sin 2\phi_f \dots \dots \dots (11)$$

$$\phi_f = 45^\circ + \frac{\phi'}{2} \dots \dots \dots (12)$$

$$SR = \frac{\sigma_{dc}}{2\sigma_{3c}} = \frac{\tau_c}{\sigma_{3c}} \dots \dots \dots (13)$$

$$K_c = \frac{\sigma_{1c}}{\sigma_{3c}} = \frac{1 + \sin \phi'_m}{1 - \sin \phi'_m} \dots \dots \dots (14)$$

$$\phi'_m = \arcsin \left(\frac{\tan \phi'}{F} \right) \dots \dots \dots (15)$$

Perhitungan Koefisien Gempa di Indonesia

Nilai koefisien gempa dihitung berdasarkan kepada peta zona gempa Indonesia yang dipakai sebagai acuan dalam merencanakan dan merancang bangunan. Zona gempa di Indonesia di bagi menjadi 6 yaitu zone A, B, C, D, E dan F.

Untuk aplikasi dalam desain bangunan tahan gempa perlu dikoreksi pengaruh jenis tanah setempat dengan persamaan:

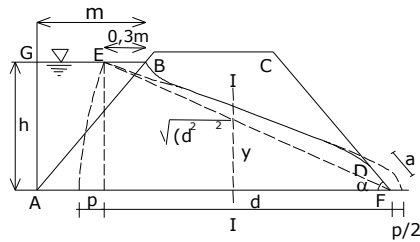
$$ad = z \times ac \times v \dots \dots \dots (16)$$

Berdasarkan persamaan diatas maka dapat dihitung koefisien gempa dengan persamaan:

$$k_h = ad/g \dots \dots \dots (17)$$

Rembesan Pada Tubuh Bendungan

Menurut Casagrande, garis rembesan pada tubuh bendungan mempunyai bentuk dasar parabola. Titik F adalah titik fokus yang merupakan titik potong antara garis dasar bendungan dengan garis keluarnya air di hilir bendungan (Gambar 2).



Gambar 2. Garis aliran di dalam tubuh bendungan

Sumber: EM 1110-2-1901: 6-2

Persamaan parabola:

$$y^2 = 2px + p^2 \dots\dots\dots (19)$$

$$BE = 0,3BG \dots\dots\dots (20)$$

$$d = FA - 0,7BG \dots\dots\dots (21)$$

Untuk menentukan debit aliran dalam tubuh bendungan dibedakan dalam dua keadaan yaitu:

a. Untuk sudut lereng hilir $\alpha \geq 30^\circ$ dianggap garis rembesan masih sama dengan parabola dasar, debit:

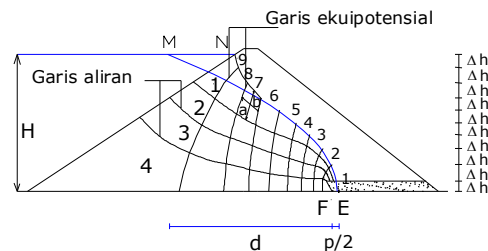
$$q = kp \dots\dots\dots (22)$$

b. Untuk sudut lereng hilir $\alpha < 30^\circ$ penyimpangan garis rembesan terhadap parabola dasar cukup banyak, debit:

$$q = k a \sin \alpha \dots\dots\dots (23)$$

Flownet Pada Bendungan Urugan

Cara lain untuk menghitung debit rembesan pada tubuh bendungan adalah dengan menggambar *flownet*. *Flownet* adalah cara menghitung besar debit rembesan pada tubuh bendungan dengan cara grafis. *Flownet* dalam tubuh bendungan ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3. *Flownet* pada tubuh bendungan

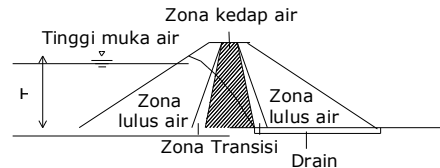
Maka besarnya debit adalah :

$$q = kH \left(\frac{N_f}{N_d} \right) \dots\dots\dots (24)$$

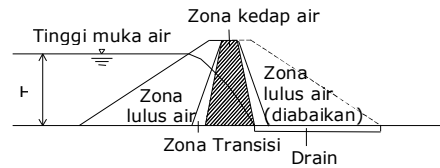
Agar bendungan aman maka besar debit rembesan (q) yang diijinkan kurang dari 1% debit limpasan tahunan rata-rata.

Rembesan Pada Bendungan Tipe Urugan Zonal

Pada desain bendungan agar dapat mengontrol rembesan maka permeabilitas material luar lebih besar daripada material inti atau material luar dan *zonal* transisi dianggap sangat permeabel terhadap inti (k material luar / k inti ≥ 20).



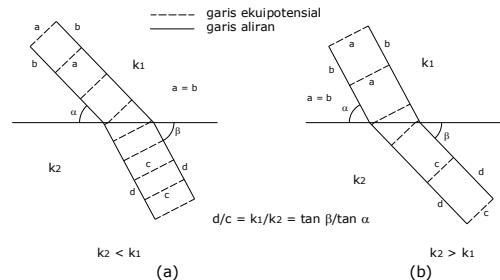
(a). Material luar apabila tidak diabaikan



(b). Material luar di hilir apabila diabaikan

Gambar 4. Perhitungan posisi garis aliran pada bendungan *zonal*

Karena rembesan melalui media yang koefisien rembesannya berbeda maka akan terjadi pembelokan arah aliran pada batas kedua media yang berbeda tersebut (Gambar 11).



Gambar 5. Pembelokan arah aliran ketika terjadi perbedaan permeabilitas pada suatu lapisan tanah

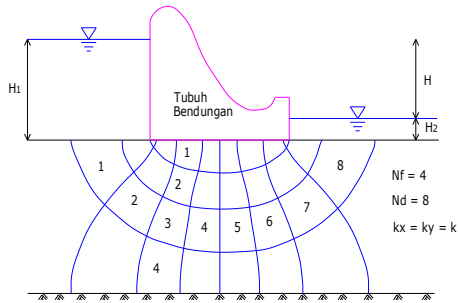
Sumber: EM 1110-2-1901: 4-17

Kondisi untuk gambar (a) adalah $k_2 < k_1$ dan kondisi untuk gambar (b) adalah $k_2 > k_1$. Kondisi (a) dan kondisi (b) dapat dirumuskan :

$$\frac{d}{c} = \frac{k_1}{k_2} = \frac{\tan \beta}{\tan \alpha} \dots\dots\dots (25)$$

Rembesan di Bawah Tubuh Bendungan Urugan dengan Tanah Dasar Isotropis dan Homogen

Untuk menghitung besar rembesan yang terjadi di bawah tubuh bendungan dilakukan dengan menggunakan *flownet* dan cara menggambar sama dengan menggambar *flownet* untuk aliran pada tubuh bendungan. Besar debit untuk rembesan di bawah bendungan adalah sama dengan yang dinyatakan pada persamaan (24).



Gambar 6. *Flownet* di bawah tubuh bendungan

METODE PENELITIAN

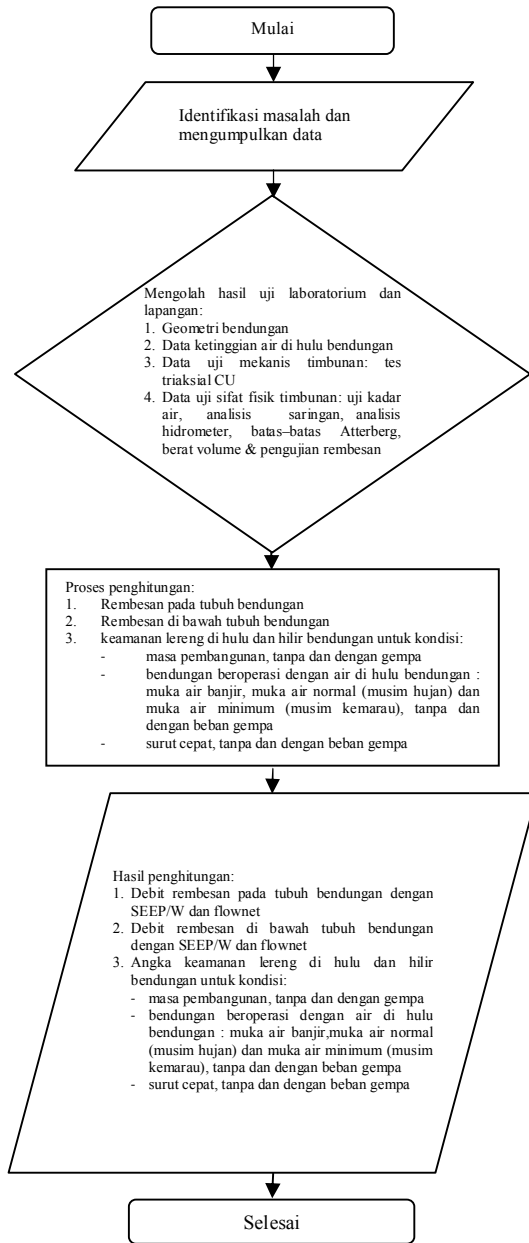
Rencana Analisis

Pelaksanaan analisis ini dimulai dengan identifikasi masalah yang selanjutnya diikuti dengan pengumpulan data-data penunjang analisis. Data-data yang dikumpulkan berupa data desain bendungan, hasil pengujian bahan timbunan bendungan, ketinggian air pada hulu bendungan dan uji rembesan.

Metode Pengumpulan Data

Data yang digunakan untuk penelitian ini merupakan data sekunder yang diperoleh dari proyek pembangunan Bendungan Benel. Data-data yang diperlukan berupa:

1. data-data geometri bendungan,
2. data-data tanah material timbunan bendungan,
3. koefisien permeabilitas (*k*) material timbunan bendungan dan tanah dasar bendungan.
4. data ketinggian air pada hulu bendungan



Gambar 7. Diagram alir (*flowchart*) analisis keamanan bendungan Benel

Perhitungan Rembesan pada Tubuh Bendungan dan di Bawah Tubuh Bendungan

Tujuannya adalah untuk mengetahui debit rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan. Perhitungan debit rembesan pada tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan digunakan metode *flownet* . Besar debit dihitung sesuai dengan persamaan 2.4.

Perhitungan Keamanan Lereng Bendungan dengan Metode Bishop untuk Kondisi Masa Pembangunan

Pada kondisi masa pembangunan bendungan tipe urugan pengaruh tekanan air pori $u_i = 0$ pada dinding tubuh bendung, sehingga bentuk persamaannya menjadi:

$$SF = \frac{\sum \left[(c_i' \Delta x_i + W_i \cos \alpha_i \tan \phi_i') \frac{1}{M \alpha} \right]}{\sum W_i \sin \alpha_i} \dots (36)$$

Untuk kondisi dengan beban gempa persamaan menjadi:

$$SF = \frac{\sum \left[(c_i' \Delta x_i + ((W_i - Fv) \cos \alpha_i - Fh \sin \alpha) \tan \phi_i') \frac{1}{M \alpha} \right]}{\sum (W_i - Fv) \sin \alpha_i + Fh \cos \alpha} \dots (37)$$

Perhitungan Keamanan Lereng Bendungan dengan Metode Bishop untuk Kondisi Ketika Bendungan Beroperasi

Pada kondisi bendungan beroperasi secara penuh maka perlu diperhitungkan tekanan air pada dinding tubuh bendungan bagian hulu oleh air yang mengisi bendungan serta dengan adanya tekanan air pori, sehingga persamaan menjadi:

$$SF = \frac{\sum \left[(c_i' \Delta x_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i \Delta x_i + h \Delta x_i \gamma_w) \tan \phi_i') \frac{1}{M \alpha_i} \right]}{\sum W_i \sin \alpha_i} \dots (37)$$

$SF =$
Untuk kondisi dengan beban gempa persamaan menjadi:

$$SF = \frac{\sum \left[(c_i' \Delta x_i + ((W_i - Fv) \cos \alpha_i - u_i \Delta x_i - Fh \sin \alpha) \tan \phi_i') \frac{1}{M \alpha} \right]}{\sum (W_i - Fv) \sin \alpha_i + Fh \cos \alpha} \dots (38)$$

Perhitungan Keamanan Lereng Bendungan dengan Metode Bishop untuk Kondisi Ketika Air Bendungan Surut Cepat (Rapid Draw Down)

Pada kondisi bendungan kehilangan air secara cepat, kondisi yang terjadi adalah adanya tekanan air pori pada tubuh bendung tetapi terjadi kehilangan tekanan air pada dinding tubuh bendung bagian hulu sehingga faktor keamanan menjadi:

$$SF = \frac{\sum \left[(c_i' \Delta x_i + (W_i \cos \alpha_i - u_i \Delta x_i) \tan \phi_i') \frac{1}{M \alpha_i} \right]}{\sum W_i \sin \alpha_i} \dots (39)$$

Untuk kondisi dengan beban gempa persamaan menjadi:

$$SF = \frac{\sum \left[(c_i' \Delta x_i + ((W_i - Fv) \cos \alpha_i - u_i \Delta x_i - Fh \sin \alpha) \tan \phi_i') \frac{1}{M \alpha} \right]}{\sum (W_i - Fv) \sin \alpha_i + Fh \cos \alpha} \dots (40)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN
Rangkuman Data-data Untuk Perhitungan Rembesan dan Keamanan Bendungan

Berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan, maka dapat dirangkum data-data yang diperlukan untuk melakukan perhitungan rembesan pada tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan serta untuk perhitungan angka keamanan tubuh bendungan. Rangkuman data-data yang diperlukan untuk perhitungan debit rembesan dan keamanan bendungan dapat dilihat pada Tabel 1.

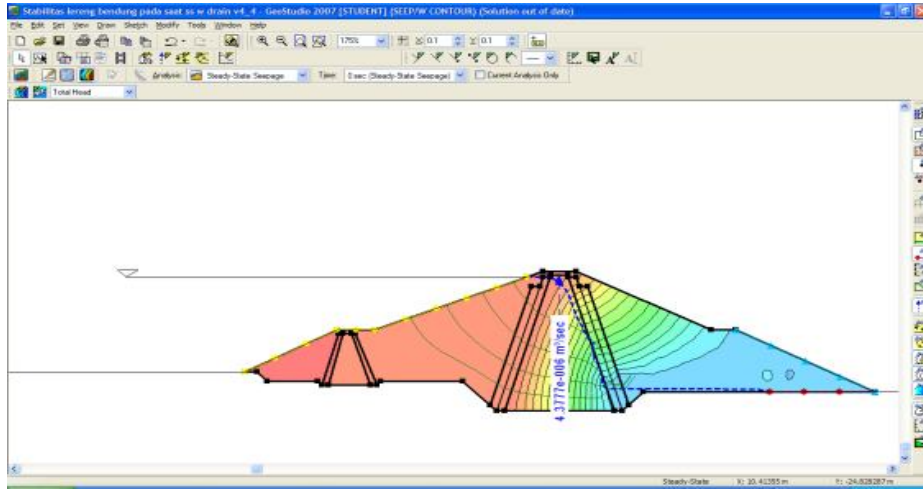
Tabel 1. Rangkuman data-data untuk menghitung rembesan dan keamanan lereng dari bendungan Benel

Zona	Berat Volume		$ \phi' $ ($ ^\circ $)	$ c' $ ($ t/m^2 $)	Koefisien Rembesan (K) ($ m/dt $)	
	$ \gamma_t $ ($ t/m^3 $)	$ \gamma_d $ ($ t/m^3 $)			Maximum	Minimum
Zona I (Inti Bendungan)	1,780	1,314	21,5	3,4	1,240E-07	6,515E-10
Zona II (Filter Halus)	2,165	1,948	40 (asumsi)	0 (asumsi)	8,080E-05	1,938E-06
Zona III (Filter Kasar)	2,330	2,210	40 (asumsi)	0 (asumsi)	4,367E-04	5,987E-05
Zona IV (Rocks)	2,222	2,116	40 (asumsi)	0 (asumsi)	4,367E-04	5,987E-05
Tanah dasar bendungan	-	-	-	-	5,000E-07	1,000E-08

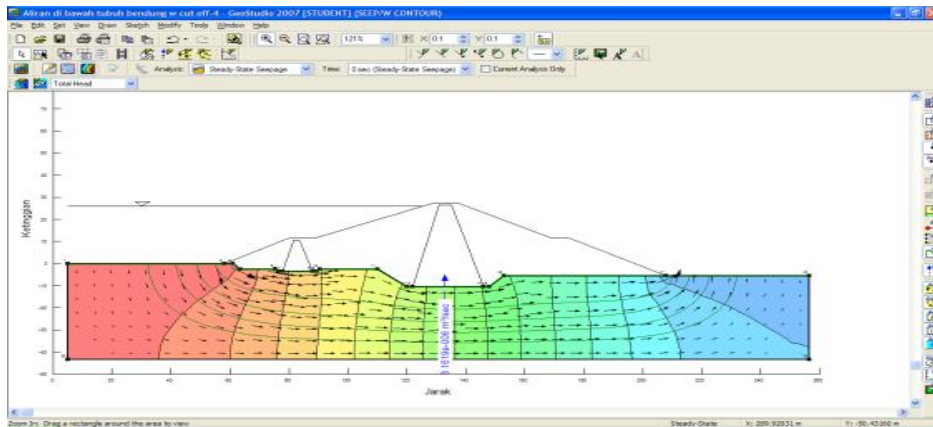
Hasil Perhitungan Rembesan
Perhitungan Rembesan di Dalam dan di
Bawah Tubuh Bendungan

Setelah dilakukan perhitungan maka,

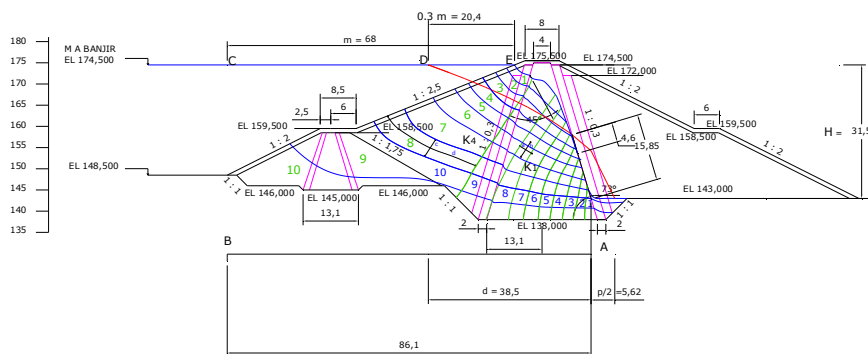
diperoleh hasil untuk rembesan di dalam tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan seperti pada Tabel 2.



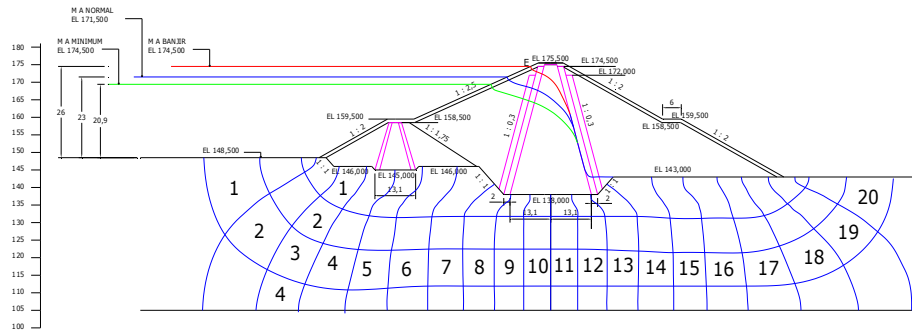
Gambar 8. Hasil perhitungan SEEP/W untuk kondisi bendungan beroperasi dengan muka air banjir



Gambar 9. Hasil perhitungan debit rembesan dengan SEEP/W di bawah tubuh bendungan untuk kondisi muka air banjir di hulu bendungan



Gambar 10. *Flownet* pada tubuh bendungan untuk muka air banjir di hulu bendungan

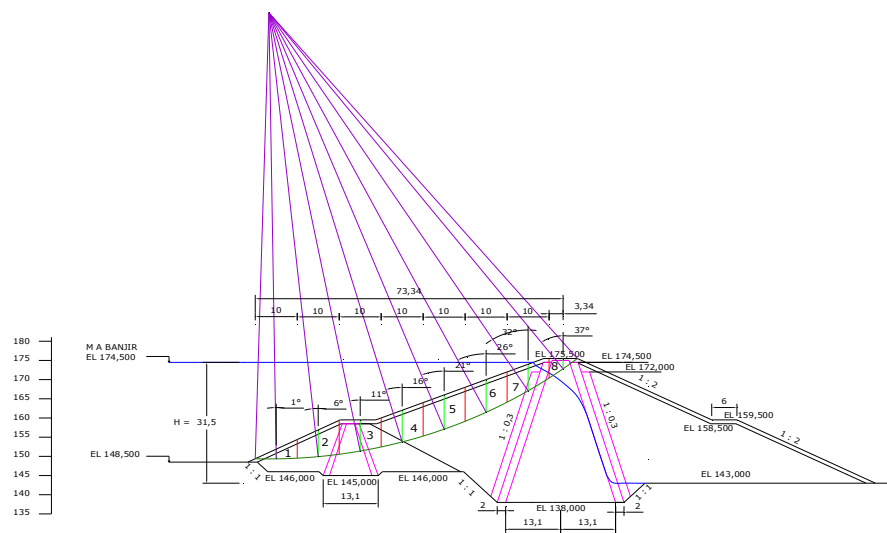


Gambar 11. *Flownet* di bawah tubuh bendungan

Tabel 2. Rangkuman hasil perhitungan rembesan pada tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan Benel

Metode	Debit Rembesan (q) ($m^3/detik$)					
	Di Tubuh Bendungan			Di Bawah Tubuh Bendungan		
	Muka air banjir	Muka air normal (musim hujan)	Muka air minimum (musim kemarau)	Muka air banjir	Muka air normal (musim hujan)	Muka air minimum (musim kemarau)
SEEP/W	6.5447E-04	5.1881E-04	4.3484E-04	4.7270E-04	4.3144E-04	3.9493E-04
Flownet	5.8395E-04	3.6983E-04	2.9302E-04	4.7093E-04	4.2608E-04	3.9468E-04

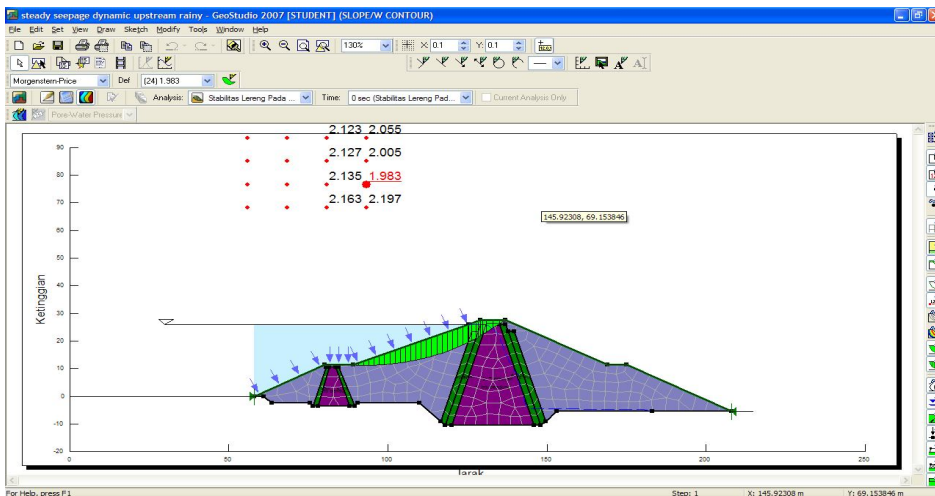
Hasil Perhitungan Keamanan Lereng Bendungan



Gambar 12. Bidang gelincir pada lereng bendungan bagian hulu (*upstream*), untuk kondisi bendungan beroperasi dengan muka air banjir

Tabel 3. Rangkuman hasil perhitungan keamanan pada lereng bendungan Benel dengan SLOPE/W dan metode Bishop tanpa beban gempa

Metode	Angka Keamanan (SF) Tanpa Gempa										
	Lereng bendungan bagian hulu bendungan (<i>upstream</i>)					Lereng bendungan bagian hilir bendungan (<i>downstream</i>)					
	Masa Pembangunan	Bendungan Beroperasi				Surut Cepat	Masa Pembangunan	Bendungan Beroperasi			
		Muka Air Banjir	Musim Hujan (Muka Air Normal)	Musim Kemarau (Muka Air Minimum)	Muka Air Banjir			Musim Hujan (Muka Air Normal)	Musim Kemarau (Muka Air Minimum)	Surut Cepat	
SLOPE/W	2.555	2.646	2.403	2.330	1.417	2.013	2.013	2.013	2.013	2.013	
Bishop	2.502	3.360	2.990	2.774	1.210	2.550	2.550	2.550	2.550	2.550	



Gambar 13. Hasil perhitungan keamanan lereng bendungan bagian hulu (*upstream*) dengan SLOPE/W, untuk kondisi masa bendungan beroperasi dengan muka air banjir dan dengan beban gempa

Tabel 4. Rangkuman hasil perhitungan keamanan pada lereng bendungan Benel terhadap beban gempa, dihitung dengan metode pseudostatik (metode Bishop)

Metode	Angka Keamanan (SF) Dengan Gempa Metode Pseudo Statik										
	Lereng bendungan bagian hulu bendungan (<i>upstream</i>)					Lereng bendungan bagian hilir bendungan (<i>downstream</i>)					
	Masa Pembangunan	Bendungan Beroperasi				Surut Cepat	Masa Pembangunan	Bendungan Beroperasi			
		Muka Air Banjir	Musim Hujan (Muka Air Normal)	Musim Kemarau (Muka Air Minimum)	Muka Air Banjir			Musim Hujan (Muka Air Normal)	Musim Kemarau (Muka Air Minimum)	Surut Cepat	
SLOPE/W	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Bishop	1.620	1.630	1.365	1.205	1.210	1.720	1.200	1.200	1.200	2.550	

Tabel 5. Rangkuman hasil perhitungan keamanan pada lereng bendungan Benel dengan SLOPE/W dan metode Bishop terhadap beban gempa, dihitung dengan analisis lereng dinamik

Metode	Angka Keamanan (SF) Dengan Gempa Metode Dinamik										
	Lereng bendungan bagian hulu bendungan (<i>upstream</i>)					Lereng bendungan bagian hilir bendungan (<i>downstream</i>)					
	Masa Pembangunan	Bendungan Beroperasi				Surut Cepat	Masa Pembangunan	Bendungan Beroperasi			
		Muka Air Banjir	Musim Hujan (Muka Air Normal)	Musim Kemarau (Muka Air Minimum)	Muka Air Banjir			Musim Hujan (Muka Air Normal)	Musim Kemarau (Muka Air Minimum)	Surut Cepat	
SLOPE/W	1.950	1.983	1.925	1.862	1.417	1.874	1.874	1.874	1.874	1.874	
Bishop	1.975	2.102	2.018	2.020	1.210	2.107	2.107	2.107	2.107	2.107	

SIMPULAN

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan :

1. Besar rembesan yang melewati tubuh bendungan dan di bawah tubuh bendungan lebih kecil dari debit rembesan yang diijinkan yaitu 4,9206 m³/detik.
2. Angka keamanan lereng tanpa gempa untuk kondisi pembangunan, kondisi beroperasi dengan muka air banjir, muka air normal (musim hujan) dan muka air minimum (musim kemarau), serta kondisi surut cepat (*rapid draw down*) lebih besar daripada angka keamanan minimum tanpa gempa yang disyaratkan yaitu 1,3(RSNI M-03-2002)
3. Angka keamanan lereng dengan gempa untuk kondisi pembangunan, kondisi beroperasi dengan muka air banjir, muka air normal (musim hujan) dan muka air minimum (musim kemarau), serta kondisi surut cepat (*rapid draw down*) lebih besar daripada angka keamanan minimum dengan gempa yang disyaratkan yaitu 1,2(RSNI M-03-2002)

Sehingga kondisi bendungan aman setelah beroperasi dua tahun terhadap rembesan dan longsor pada lereng akibat perubahan ketinggian muka air waduk.

SARAN

Perlu dilakukan analisis berkala terhadap keamanan bendungan sehingga dapat dimonitor kondisi keamanan selama bendungan beroperasi di masa mendatang.

DAFTAR PUSTAKA

ASTM International, 2006, Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (USCS), 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959

Astuti, Y, Aniek Masrevanah, dan Suwanto Marsudi, 2012, Analisa Rembesan Bendungan Bajulmati terhadap Bahaya Piping untuk Perencanaan Perbaikan Pondasi, *Jurnal Teknik Pengairan*, Volume 3, Nomor 1, Mei 2012, 51–60

BSN, 2002, RSNI M-03-2002: Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan

BSN, 2002, RSNI T-01-2002: Tata Cara Desain Tubuh Bendungan Tipe Urugan

Deepankar Choudhury, Sanjay S. Nimbalkar and J.N.Mandal, 2006, Comparison of Pseudo-Static and Pseudo-Dynamic Methods for Seismic Earth Pressure on Retaining Wall, *J. Ind. Geophys. Union (October 2006)*, Vol.10, No.4, pp.263-271

Depkimpraswil, 2004, Pd T-14-2004-A: Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa

Depkimpraswil, dan PT. Indira Karya, 2004, Gambar Perencanaan Waduk Benel

Dep. PU, Dirjen SDA, Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, Pengembangan dan Konservasi SDA, 2007, Laporan Hasil Tes Tanah Borrow Area Tambahan (Alternatif) Pembangunan Waduk Benel Tahap II di Kabupaten Jembrana Bali Desember 2007

Dep. PU, Dirjen SDA, Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, Pengembangan dan Konservasi SDA, 2008, Laporan Pelaksanaan Timbunan Pembangunan Waduk Benel di Kabupaten Jembrana

Dep. PU, Dirjen SDA, Satuan Kerja Balai Wilayah Sungai Bali-Penida, Pengembangan dan Konservasi SDA, 2008, Quality Control Laporan Bulanan (Pekerjaan Tanah) Pembangunan Waduk Benel Tahap II di Kabupaten Jembrana Bali 2008

Freeze. R.A. dan Jhon A. Cherry, 1979, *Groundwater*, Prentice - Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632

Krahn, John, 2004, *Stability Modeling with SLOPE/W (An Engineering Methodology)*, First Edition, Revision 1, August 2004

Lambe. T. W, dan Robert V. Withman, 1979, *Soil Mechanics, SI Version*, Massachusetts Institute of Technology

Redana, I Wayan, 2010, *Teknik Pondasi*, Udayana University Press, Denpasar - Bali

U.S. Departement of the Army, Corps of Engineers, 1986, Seepage Analysis and Control for Dams, Engineering Manual EM 1110-2-1901, Office of the Chief of Engineers, Washington, D.C.