

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Analisa stabilitas lereng

Metode analisa stabilitas lereng bendungan tipe urugan dapat dilakukan dengan 2 cara, salah satu cara yang dapat digunakan menurut RSNI M-03-2002 pasal 7.1 adalah dengan cara keseimbangan batas (*limit equilibrium method*). Metode analisis dengan cara keseimbangan batas merupakan cara analisis yang paling praktis dalam desain bendungan. Hasil analisis biasanya dinyatakan dalam faktor keamanan, yang dinyatakan sebagai berikut:

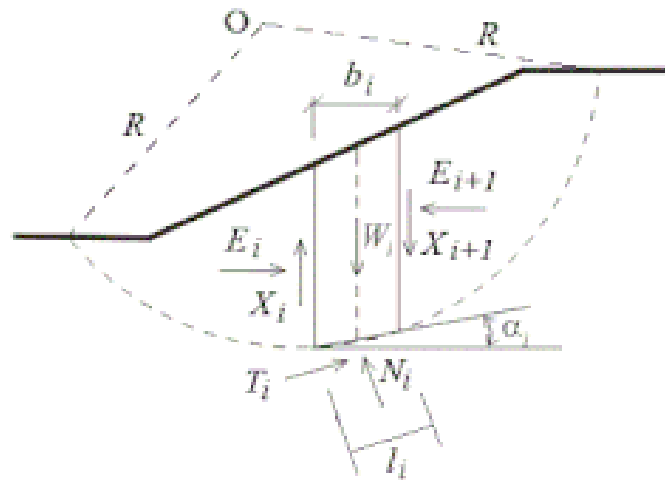
$$FK = \frac{\tau}{\tau d} \quad (2-1)$$

Keterangan:

τ = kuat geser maksimum yang dapat ditahan oleh tanah
 τd = tegangan geser yang terjadi akibat gaya berat tanah

2.1.1 Analisis Stabilitas dengan Bidang Longsor Berbentuk Lingkaran

Lereng dengan tanah homogen biasanya memiliki longsor dengan bentuk bidang longsor berbentuk lengkungan. Lengkung pada bidang longsor dapat berbentuk lingkaran, spiral logaritmik ataupun kombinasi dari keduanya. Bidang longsor biasanya dianggap berupa lingkaran untuk mempermudah perhitungan analisis stabilitas secara matematik, serta bentuk lingkaran ini juga dipertimbangkan serupa dengan bentuk sebenarnya di alam (Hardiyatmo, 2018).



Gambar 2.1 Analisis Stabilitas Bidang Longsor Berbentuk Lingkaran

2.1.2 Metode *Bishop*

Metode *Bishop* merupakan salah satu metode yang termasuk kedalam *limit equilibrium method*. Pada Metode *Bishop* bidang longsor akan terbagi menjadi beberapa irisan. Metode *bishop* menganggap gaya-gaya yang bekerja pada sisi irisan mempunyai resultan nol terhadap arah vertical dan horizontal (*Bishop*, 1955). Lokasi lingkaran kritis dari Metode *Bishop* biasanya mendekati dengan hasil pengamatan di lapangan, sehingga penggunaan metode ini lebih disukai. Semua faktor aman harus dihitung terhadap titik pusat lingkaran agar dapat menentukan nilai faktor aman yang terkecil. Perhitungan dilakukan dengan mengubah jari-jari lingkarannya. Oleh karena itu, perhitungan secara manual akan membutuhkan waktu yang lama, sehingga dibutuhkan bantuan program-program computer untuk melakukan hitungan analisis stabilitas ini (*Hardiyatmo*, 2018).

Analisis menggunakan metode *bishop* dapat dilakukan dengan rumus sebagai berikut:

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c'b_i + N \tan \phi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i} \quad (2-2)$$

Dengan rumus N (gaya normal) sebagai berikut:

$$N = \frac{W - \left[\frac{c' b \sin \theta - \mu_n b \tan \varphi' \sin \theta}{F} \right]}{\cos \theta + \frac{\sin \theta \tan \varphi'}{F}} \quad (2-3)$$

Apabila terdapat beban gempa, maka rumus pada metode bishop menjadi:

$$FK = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} [c' b_i + (N - F_n \sin \theta_i) \tan \varphi']}{\sum_{i=1}^{i=n} W_i \sin \theta_i + \sum_{i=1}^{i=n} F_h \cos \theta_i} \quad (2-4)$$

Dengan rumus F_h (gaya horizontal akibat beban gempa) sebagai berikut:

$$F_h = K_h \times W \quad (2-5)$$

Keterangan:

FK = faktor keamanan

N = gaya normal (kN)

c' = kohesi tanah efektif (kN/m²)

W_i = berat irisan tanah ke- i (kN)

μ_i = tekanan air pori irisan ke- i (kN/m²)

θ_i = sudut irisan ke- i (°)

b_i = lebar irisan ke- i (m)

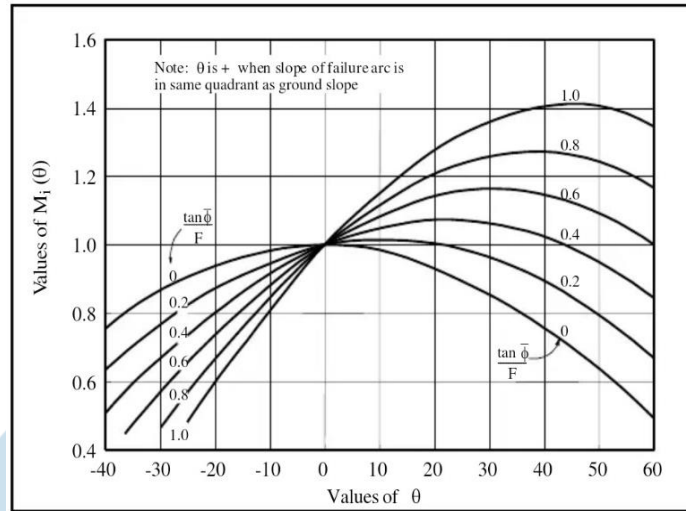
φ' = sudut gesek dalam efektif (°)

F_h = gaya horizontal akibat beban gempa (kN)

K_h = koefisien gempa horizontal

Penghitungan besarnya nilai FK melalui metode Bishop ini harus dilakukan dengan *trial and error*, namun untuk mempermudah perhitungan dapat digunakan nilai fungsi M_i , dimana:

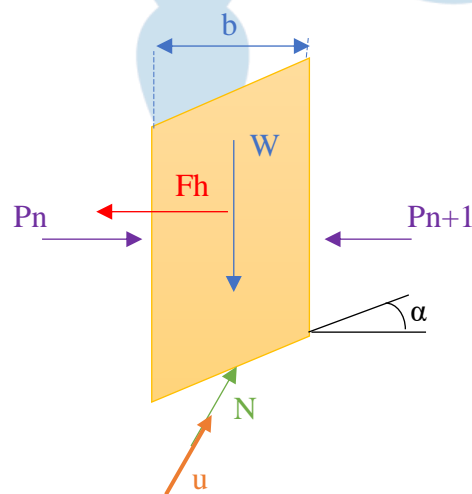
$$M_i = \cos \theta_i (1 + \tan \theta_i \tan \varphi' / F) \quad (2-6)$$



Gambar 2.2 Diagram menentukan nilai M_i (Janbu dkk, 1956)

Pada metode *Bishop* terdapat beberapa asumsi, diantaranya:

1. Keruntuhan akibat gerakan rotasi tanah berbentuk lingkaran.
2. Nilai dari gaya horizontal pada kedua sisi diabaikan sebab pada metode *Bishop* tidak dapat memenuhi syarat *force equilibrium* dan hanya memenuhi syarat *moment equilibrium*.
3. Gaya normal diperoleh dengan menjumlahkan gaya-gaya arah vertikal dan bekerja ditengah bidang irisan.



Gambar 2.3 Gaya yang bekerja pada irisan Metode Bishop

2.2 Analisa Terjadinya Piping

Piping merupakan rembesan yang terjadi akibat tekanan air pori berlebih yang membawa butiran-butiran tanah sehingga menyebabkan terbentuknya pipa-pipa didalam tubuh bendungan. *Piping* dapat menyebabkan kerusakan fisik serta kegagalan pada tubuh bendungan.

Faktor aman sebesar 4 (tanpa filter) atau 2 (dengan filter) cukup untuk memenuhi angka aman pada tubuh bendungan. Analisa faktor keamanan terhadap *piping* dapat dihitung berdasarkan rumus berikut ini (Harza, 1935):

$$FK_{piping} = \frac{i_{cr}}{i_e} \quad (2-7)$$

Dengan rumus i_{cr} sebagai berikut:

$$i_{cr} = \frac{Gs - 1}{1 + e} \quad (2-8)$$

Keterangan:

- FK_{piping} = faktor keamanan *piping*
- i_e = gradien keluaran dari hasil analisis rembesan atau pembacaan instrument pisometer
- i_{cr} = gradien keluaran kritis
- Gs = berat jenis material
- e = angka porositas

2.3 Studi sebelumnya

2.3.1 Analisis Stabilitas Lereng pada Bendungan Titab (Tjokorda Gede Suwarsa Putra, 2017)

Analisis dilakukan pada Bendungan Titab yang berlokasi di Tukad Saba, Kecamatan Seririt, Kabupaten Buleleng, Bali. Bendungan Titab berada pada ketinggian 96 m di dasar tebing sungai Tukad Saba. Berdasarkan kondisi geologi dari lokasi Bendungan Titab diperoleh koefisien gempa sebesar 0,218 dan koefisien gempa horizontal sebesar 0,06.

Data-data teknis Bendungan Titab:

1. Tipe bendungan : Urugan tanah
2. Debit banjir rencana (Q_{1000th}) : 676,31 m³/det
3. Debit rata-rata tahunan : 3,058 m³/det
4. Elevasi puncak : 162,4 m
5. Lebar puncak : 12 m
6. Kemiringan hulu : 1: 2,25
7. Kemiringan hilir : 1: 2
8. Panjang timbunan : 210 m
9. Dasar sungai : 102,5 m
10. Muka air banjir : 160 m
11. Muka air rendah : 131,2 m

Kondisi material-material yang digunakan pada tubuh Bendungan Titab adalah sebagai berikut:

1. Bahan material inti kedap air

Setelah dilakukan uji laboratorium material lempung dengan pengambilan 14 contoh tanah, diperoleh data-data teknis sebagai berikut:

- Kohesi (C) : 2,7 – 8,39 t/m²
- Sudut geser dalam (ϕ) : 12°08' – 20°38'
- Berat isi basah (γ) : 1,518 – 1,825 t/m³
- Berat isi jenuh (γ_{sat}) : 1,777 t/m³
- Permeabilitas (k) : 9×10^{-7} – $1,88 \times 10^{-7}$ cm/detik

2. Bahan material filter halus

Parameter material filter halus yang diperoleh setelah pengujian laboratorium adalah sebagai berikut:

- Kohesi (C) : 0 t/m²
- Sudut geser dalam (ϕ) : 30°
- Berat isi jenuh (γ_{sat}) : 1,736 t/m³
- Permeabilitas (k) : $1,89 \times 10^{-4}$ cm/detik

3. Bahan material filter kasar

Parameter material filter kasar yang diperoleh setelah pengujian laboratorium adalah sebagai berikut:

- Kohesi (C) : 0 t/m²
- Sudut geser dalam (ϕ) : 40°
- Berat isi jenuh (γ_{sat}) : 1,586 t/m³
- Permeabilitas (k) : 8,32 x 10⁻⁴ cm/detik

4. Bahan material rip – rap

Jumlah material rip – rap adalah \pm 2.000.000 m³. Hasil pengujian laboratorium bahan material rip – rap adalah sebagai berikut:

- *Specific gravity* (SSDC) : 2,691 – 2,715
- Berat isi jenuh (γ_{sat}) : 2,374 t/m³
- Kohesi (C) : 0 t/m²
- Sudut geser dalam (ϕ) : 40°
- Permeabilitas : 1 x 10⁻¹ cm/detik
- *Soundness* : 2,92 – 3,28 %
- *Los Angeles Abrasion* : 17,38 – 20,1 %

3. Bahan material batuan random

Material batuan random diambil dari *quarry* daerah Karangasem, sekitar perbukitan Gunung Agung. Dari hasil pengujian di laboratorium didapatkan parameter sebagai berikut:

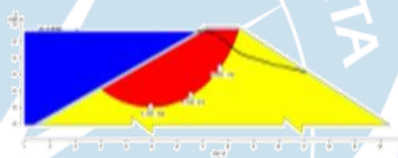
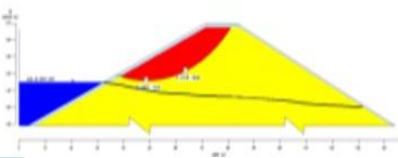

- *Specific gravity* (SSDC) : 2,706 – 2,764
- *Dry density* (γ_d max) : 1,447 – 1,841 kg/cm³
- *Wet density* (γ) : 1,623 – 1,909 kg/cm³
- Berat isi jenuh (γ_{sat}) : 2,067 t/m³
- Kohesi (C) : 0,09 kg/cm²
- Sudut geser dalam (ϕ) : 37,5°
- Permeabilitas (k) : 7,8 x 10⁻² (cm/detik)

Hasil analisis stabilitas lereng Bendungan Titab adalah sebagai berikut:

- Sesaat setelah konstruksi bendungan (*immediately after completion*)
Fellenius = 1,32; *Bishop* = 1,38; *Wedge* = 1,44 (aman)

- Saat air waduk penuh (*reservoir full*)
Fellenius = 0,88; *Bishop* = 0,92; *Wedge* = 0,96 (tidak aman)
- Saat air waduk mengalami penurunan secara cepat tiba-tiba (*rapid draw down*)
Fellenius = 0,92; *Bishop* = 1,06; *Wedge* = 1,15 (tidak aman)

Tabel 2.1 Hasil analisis stabilitas Bendungan Titab menggunakan program Geostudio 2007 pada kondisi muka air maksimum, muka air surut cepat dan sesaat setelah konstruksi

NO.	KONDISI	FAKTOR KEAMANAN ($SF \geq 1,2$)	
		SYARAT	PADA BENDUNGAN
1.	Muka Air Maksimum	1,2	Fellinius = 0,88; Bishop = 0,92; Wedge: 0,96
			 <u>TIDAK AMAN</u>
2.	Muka Air Surut Cepat	1,2	Fellinius = 0,92; Bishop = 1,06; Wedge: 1,15
			 <u>TIDAK AMAN</u>
3.	Muka Air Setelah Konstruksi	1,2	Fellinius = 1,32; Bishop = 1,38; Wedge: 1,44
			 <u>AMAN</u>