

Perbandingan Metode Fellenius dan Bishop pada Stabilitas Lereng Bendungan Leuwikeris dengan Bantuan Aplikasi Komputer

SATRIO WARDHANU*¹, DYAH PRATIWI KUSUMASTUTI²

1. Dinas Sumber Daya Air DKI Jakarta, Indonesia
2. Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi PLN, Indonesia
Email: satriowardanu01@gmail.com

ABSTRAK

Bendungan Leuwikeris merupakan bendungan tipe urugan batuan sehingga memiliki kerentanan terhadap bahaya keruntuhan akibat beban material penyusun maupun gaya-gaya luar yang terjadi. Hal tersebut yang mendasari perlunya perhitungan stabilitas lereng bendungan dalam perencanaannya. Analisis stabilitas lereng tubuh bendungan menggunakan bantuan aplikasi komputer dengan membuat simulasi kondisi muka air dan menerapkan kondisi gempa OBE. Simulasi kondisi muka air yang ditinjau dalam analisis adalah kondisi muka air kosong atau setelah konstruksi, kondisi muka air normal, kondisi muka air banjir dan kondisi muka air surut cepat. Berdasarkan hasil analisis diperoleh bahwa angka keamanan terbesar tanpa penerapan gempa dibagian hulu bendungan adalah 3,251 sedangkan dibagian hilir bendungan 2,657. Untuk angka keamanan lereng tubuh bendungan terbesar dengan penerapan gempa kondisi OBE dibagian hulu bendungan adalah 2,262 dan dibagian hilir bendungan adalah 1,868. Secara keseluruhan angka keamanan lereng tubuh bendungan dalam kondisi aman dan telah memenuhi atau berada diatas batas yang disyaratkan.

Kata kunci: *stabilitas lereng, tubuh bendungan, angka keamanan*

ABSTRACT

The Leuwikeris dam is a rockfill type so it has a vulnerability to the danger of collapse due to the load of the constituent materials and external forces that occur. This is what underlies the need for calculating the slope stability in its design. Analysis of the slope stability using computer applications by simulating water level conditions and applying earthquake conditions. Simulations of water level conditions that are reviewed in the analysis are after construction, normal, floods and rapid drawdown conditions. Based on the results of the analysis, it was found that the greatest safety factor without an earthquake condition in the upstream of the dam was 3.251 while the downstream was 2.657. For the safety factor of the largest dam slope with the application of an earthquake condition upstream of the dam is 2.262 and downstream is 1.868. Overall, the safety factor for the slopes of the dam is in a safe condition and has met or is above the required limits.

Keywords: *slope stability, dam, safety factor*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan bendungan merupakan salah satu upaya dalam menjaga ketersediaan air [5], yang juga berfungsi menahan jalannya air menjadi sebuah waduk [4] serta manfaat lainnya sebagai tenaga listrik, perikanan, pariwisata dan konservasi [6]. Selain fungsi dan manfaat yang diperoleh dalam pembangunan bendungan, akan tetapi juga wajib memperhatikan risiko yang dapat terjadi dengan menyempurnakan desain sehingga mengurangi risiko bahaya [7]. Salah satu syarat yang harus dipenuhi dalam pembangunan bendungan adalah stabilitas atau keamanan bendungan dari segi kebocoran, rembesan, keruntuhan, erosi dan retakan [10].

Namun setidaknya terdapat dua stabilitas yang harus memenuhi persyaratan dalam perencanaan bendungan, yaitu bahaya rembesan dan stabilitas lereng tubuh bendungan [3]. Khususnya pada bendungan tipe urugan yang sangat rentan terhadap keruntuhan akibat tekanan air, air pori dan beban gempa, maka stabilitas lereng sebagai persyaratan keamanan wajib memenuhi standar angka keamanan yang ditetapkan [9]. Angka keamanan lereng tubuh bendungan yang perlu ditinjau terdiri dari kondisi muka air maupun gempa. Untuk kondisi muka air perlu ditinjau pada kondisi muka air normal, kondisi kosong, kondisi surut tiba-tiba dan kondisi muka air [3]. Sedangkan pada kondisi gempa yang perlu ditinjau pada sebuah bendungan mencakup kondisi operating basis earthquake (OBE) dan kondisi gempa desain maksimum (*maximum design earthquake*, MDE) [11].

Bendungan Leuwikeris, merupakan salah satu bendungan yang dibangun dengan tipe urugan batu dan zona lempung dan direncanakan dapat menampung 30,30 juta m³. Bendungan Leuwikeris direncanakan memiliki fungsi sebagai penampungan air, irigasi dan Pembangkit Listrik Tenaga Air (PLTA). Dengan fungsinya yang sangat penting, maka dalam perencanaannya perlu mempertimbangkan persyaratan diantaranya adalah stabilitas lereng bendungan. Stabilitas lereng bendungan perlu dianalisis dengan berbagai kondisi agar bendungan aman dan dapat dioperasikan sesuai dengan umur rencana [2] [8]. Berdasarkan penjelasan tersebut, maka dalam analisis stabilitas lereng bendungan Leuwikeris akan ditinjau pada kondisi kosong, muka air normal, muka air maksimum dan surut cepat dengan menerapkan kondisi gempa OBE. Analisis dilakukan dengan menggunakan bantuan aplikasi komputer yang menerapkan metode Bishop.

2. METODE PENELITIAN

Analisis yang dilakukan untuk mengetahui stabilitas lereng Bendungan Leuwikeris secara umum menggunakan bantuan aplikasi komputer, tetapi secara keseluruhan harus melalui beberapa tahapan pekerjaan. Tahapan penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahapan, yaitu tahap persiapan, tahap analisis dan tahap akhir.

2.1 Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan dengan mengumpulkan data-data yang dibutuhkan dalam analisis. Data yang digunakan dalam analisis merupakan data sekunder yang didapatkan dari perencanaan. Data tersebut diantaranya adalah geometri bendungan, material yang menyusun tubuh bendungan, kondisi muka air waduk dan peta gempa. Bendungan Leuwikeris diapit oleh dua kabupaten di Jawa Barat, yaitu Kabupaten Ciamis dan Kabupaten Tasikmalaya yang akan membendung Sungai Citanduy dengan luas daerah pengaliran sungai 646 km².



Gambar 1. Letak bendungan Leuwikeris

Tubuh Bendungan Leuwikeris direncanakan dibangun dengan ketinggian 83,5 m dengan lebar puncak 14,5 m dan panjang puncak tubuh bendungan sepanjang 387,76 m. Kemiringan lereng dari tubuh bendungan pada bagian hulu adalah 1:3 sedangkan bagian hilir adalah 1:2,5. Bahan urugan yang digunakan pada tubuh bendungan terdiri lempung untuk dibagian inti dan pasir, kerikil, batuan dibagian filter, transisi, *rockfill*, riprap serta di lapisan terbawah merupakan batuan dasar.

Kondisi muka air yang akan diterapkan dalam analisis terdiri dari 4 kondisi, yaitu kondisi muka air kosong pada elevasi +81, kondisi muka air normal pada elevasi +150, kondisi muka air banjir atau maksimum pada elevasi +156,5 dan kondisi muka air surut cepat (*rapid draw down*) pada elevasi +150 menuju elevasi +133. Untuk kondisi gempa menggunakan Peta Hazard Gempa Indonesia 2010 dengan percepatan puncak di batuan dasar (SB) untuk probabilitas terlampaui 10% dalam 50 tahun. Selain itu untuk mendapatkan koefisien kegempaan akan ditinjau pada 3 zona tubuh bendungan, yaitu pada zona *rockfill* kiri bendungan, zona *rockfill* kanan bendungan dan zona inti bendungan.

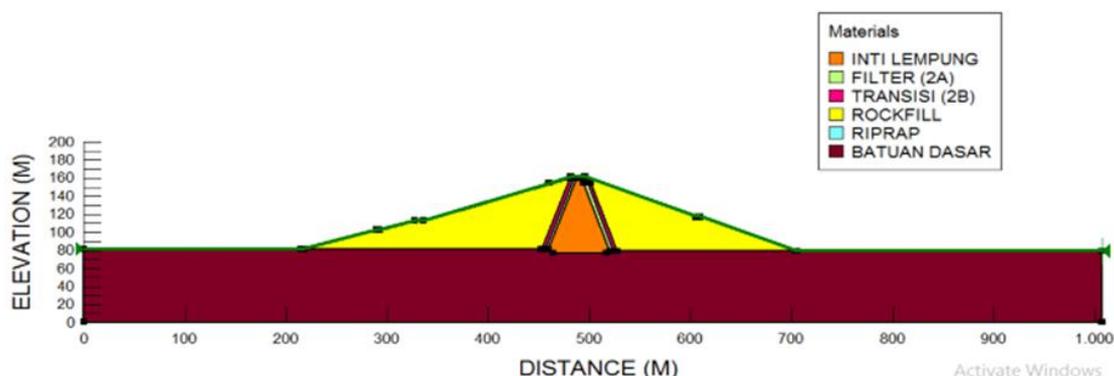
2.2 Tahap Analisis

Setelah data-data yang dibutuhkan telah tersedia, maka tahap selanjutnya adalah dengan melakukan analisis. Tahap analisis pada penelitian dilakukan dengan bantuan aplikasi komputer yang didesain untuk mendapatkan nilai angka keamanan lereng. Langkah awal analisis dilakukan dengan membuat pemodelan atau membuat gambar penampang tubuh bendungan sesuai dengan data geometri yang didapatkan sebelumnya dan data bahan urugan yang digunakan pada tubuh bendungan (**Gambar 2**).

Setelah membuat pemodelan dan memasukkan data material yang digunakan ke dalam aplikasi, tahap analisis dilakukan dengan menerapkan berbagai kondisi yang telah ditetapkan dan menentukan dasar teori yang digunakan dalam analisis oleh aplikasi komputer. Penggunaan aplikasi komputer pada penelitian agar proses analisis atau perhitungan lebih efektif, serta mendapatkan hasil yang optimal dengan kualitas yang memuaskan [10].

Selain itu, pada penelitian ini menggunakan analisis angka keamanan dengan dasar teori dari Bishop. Penggunaan teori atau metode Bishop adalah digunakan untuk analisis bidang gelincir yang berbentuk lingkaran [1]. Langkah yang wajib dilakukan pada tahap analisis adalah

dengan melakukan pengecekan pada hasil yang dikeluarkan aplikasi. Hal tersebut bertujuan agar masukan data yang digunakan sudah benar serta hasil atau angka keamanan yang dihasilkan realistis dan memenuhi persyaratan yang disyaratkan.



Gambar 2. Penampang melintang bendungan dengan aplikasi komputer

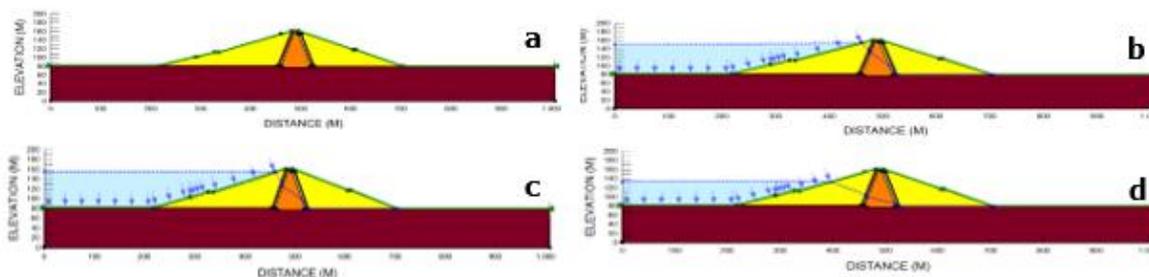
2.3 Tahap Akhir

Tahap akhir dilakukan setelah tahap analisis pada seluruh kondisi telah diselesaikan. Pada tahap akhir ini, langkah yang dilakukan adalah dengan membuat pembahasan hasil analisis dan menarik kesimpulan. Pada langkah pembahasan yang dilakukan adalah dengan membuat pengelompokan hasil analisis angka keamanan berdasarkan kondisi yang telah ditetapkan. Sedangkan pada langkah penarikan kesimpulan dilakukan dengan menghasilkan simpulan sesuai dengan tujuan yaitu mendapatkan angka keamanan lereng tubuh bendungan dengan berbagai kondisi muka air tanah pada penerapan tanpa gempa maupun dengan gempa.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pemodelan

Pemodelan tubuh bendungan dilakukan langsung dengan menggunakan aplikasi komputer berdasarkan data geometri dan data material yang digunakan. Pemodelan dibuat dengan menerapkan berbagai kondisi, yaitu kondisi kosong air pada elevasi +81 yang merupakan keadaan pasca konstruksi dan tubuh bendungan hanya dipengaruhi oleh berat sendirinya (**Gambar 3a**), kondisi muka air normal pada elevasi +150 yang digunakan untuk memenuhi kebutuhan analisis bendungan dalam operasional jangka panjang (**Gambar 3b**), kondisi muka air maksimum pada elevasi +156,5 yang digunakan untuk analisis bendungan dalam kondisi kritis (**Gambar 3c**) dan kondisi muka air surut cepat pada elevasi +150 menuju +133 yang digunakan untuk kebutuhan analisis bendungan pada kondisi hulu kritis (**Gambar 3d**). Setelah pemodelan akan dilanjutkan dengan penentuan bidang gelincir yang terjadi. Hal ini bertujuan untuk menentukan daerah atau area terjadinya bidang gelincir ketika analisis berlangsung dengan menggunakan aplikasi komputer.



Gambar 3. Pemodelan penampang bendungan dengan berbagai kondisi

3.2 Analisis Beban Gempa

Pada penelitian, beban gempa yang akan diterapkan dalam analisis stabilitas lereng tubuh bendungan dengan menerapkan kondisi OBE (*Operating Basic Earthquake*). Berdasarkan posisi tubuh bendungan, maka koefisien gempa yang dianalisis meliputi zona rockfill kiri bendungan, zona *rockfill* kanan bendungan dan zona inti bendungan (**Tabel 1**). Sedangkan untuk koefisien gempa berdasarkan perbandingan y/H terdiri dari $y/H = 1$; $y/H = 0,75$; $y/H = 0,50$ dan $y/H = 0,25$ (**Tabel 2**).

Tabel 1. Koefisien Gempa Berdasarkan Zona Tubuh Bendungan

Zona	Koefisien Gempa
Zona <i>Rockfill</i> Kiri	0,247g
Zona <i>Rockfill</i> Kanan	0,210g
Zona Inti	0,077g
Rata-rata 3 Zona (K_0)	0,178g

Berdasarkan nilai K_0 , kemudian dihitung nilai K_h pada **Persamaan 1** berikut.

$$K_h = 0,50 \times K_0 \quad \dots(1)$$

Maka, nilai $K_h = 0,089$. Dari nilai K_h tersebut, dilanjutkan dengan perhitungan nilai K (koefisien gempa) sesuai **Persamaan 2** berikut.

$$K = K_h \times \left[2,00 - \left(0,60 \times \frac{y}{H} \right) \right] \quad \dots(2)$$

Kemudian nilai K_h yang telah didapatkan dari **Tabel 1** dimasukkan ke dalam **Persamaan 2** sehingga didapatkan nilai K berdasarkan perbandingan y/H (**Tabel 2**).

Tabel 2. Koefisien Gempa Berdasarkan Perbandingan y/H

Perbandingan y/H	Koefisien Gempa
1	0,125g
0,75	0,138g
0,50	0,151g
0,25	0,181g

3.3 Analisis Angka Keamanan Lereng Tubuh Bendungan

Setelah perhitungan koefisien gempa maka analisis angka keamanan lereng tubuh bendungan dengan menggunakan aplikasi komputer dapat dilakukan. Analisis angka keamanan ditinjau dari bagian lereng hulu dan lereng hilir tubuh bendungan, baik dengan penerapan tanpa gempa (**Tabel 3**) dan gempa (**Tabel 4**). Analisis angka keamanan pada penelitian ini dengan menerapkan metode atau teori Bishop.

Tabel 3. Angka Keamanan Lereng Tubuh Bendungan Tanpa Gempa

No.	Kondisi	AK_{hitung}	AK_{syarat}	Kesimpulan
Kondisi Kosong (EL +81)				
1	Hulu	3,214	1,3	Aman
	Hilir	2,657		
Kondisi Normal (EL +150)				
2	Hulu	3,158	1,5	Aman
	Hilir	2,600		
Kondisi Banjir (EL +156,5)				
3	Hulu	3,251	1,3	Aman
	Hilir	2,610		
Kondisi Surut Cepat (EL +133)				
4	Hulu	3,153	1,2	Aman
	Hilir	2,620		

Tabel 4. Angka Keamanan Lereng Tubuh Bendungan dengan Gempa

No.	Kondisi	AK_{hitung}				AK_{syarat}	Kesimpulan
		$y/H = 1$	$y/H = 0,75$	$y/H = 0,50$	$y/H = 0,25$		
Kondisi Kosong (EL +81)							
1	Hulu	2,262	2,195	1,944	1,727	1,2	Aman
	Hilir	1,868	1,805	1,709	1,605		
Kondisi Normal (EL +150)							
2	Hulu	1,754	1,711	1,503	1,423	1,1	Aman
	Hilir	1,805	1,805	1,709	1,605		
Kondisi Banjir (EL +156,5)							
3	Hulu	1,796	1,747	1,533	1,444	1,1	Aman
	Hilir	1,868	1,804	1,709	1,605		
Kondisi Surut Cepat (EL +133)							
4	Hulu	1,917	1,901	1,874	1,703	1,1	Aman
	Hilir	1,868	1,804	1,709	1,605		

Berdasarkan hasil perhitungan angka keamana lereng tubuh bendungan baik tanpa penerapan gempa maupun dengan penerapan gempa diperoleh bahwa angka keamanan memenuhi angka keamanan yang disyaratkan menurut SNI 8064:2016 tentang metode analisis stabilitas lereng statik bendungan tipe urugan. Angka keamanan lereng tubuh bendungan di seluruh kondisi baik pada sisi hulu maupun sisi hilir dapat disimpulkan dalam kondisi aman karena angka keamanan yang diperoleh melebihi batas yang diizinkan [5], meskipun angka keamanan dengan penerapan gempa yang diperoleh mengalami penurunan dibandingkan dengan angka keamanan tanpa penerapan gempa.

Angka keamanan terbesar pada kondisi tanpa gempa diperoleh sebesar 3,251 di bagian hulu dengan kondisi muka air banjir dan 2,657 di bagian hilir dengan kondisi kosong atau setelah konstruksi. Sedangkan dengan penerapan gempa diperoleh angka keamanan terbesar 2,262 di bagian hulu dengan kondisi kosong dengan perbandingan $y/H = 1$ dan 1,868 di bagian hilir untuk semua kondisi maupun perbandingan. Nilai angka keamanan dengan penerapan gempa berdasarkan periode ulang 50 tahun, hal tersebut dilakukan karena bendungan direncanakan beroperasi atau masa penggunaan 50 tahun.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa lereng tubuh Bendungan Leuwikeris tanpa penerapan gempa stabilitasnya aman di berbagai kondisi muka air dengan nilai angka keamanan rata > 3 untuk di bagian hulu bendungan dan > 2 untuk dibagian hilir bendungan. Angka keamanan tersebut berada di atas batas izin atau batas yang disyaratkan dalam SNI 8046: 2016 yang berkisar antara 1,2 – 1,5.

Sedangkan stabilitas lereng tubuh Bendungan Leuwikeris dengan penerapan gempa pada periode ulang 50 tahun dan kondisi gempa OBE untuk semua kondisi muka air dan perbandingan y/H juga berada pada kondisi aman. Meskipun secara keseluruhan kondisi angka keamanan yang diperoleh mengalami penurunan dibandingkan tanpa penerapan gempa tetapi rata-rata angka keamanan yang diperoleh > 1,5 dan sudah berada di atas batas yang disyaratkan dalam SNI 8064:2016 yang berada antara 1,1 – 1,2.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Arifuddin, A.A., Lukman, H. & Budiono. (2020). Perbandingan Metode Fellenius dan Metode Bishop Menggunakan Software Rocscience Slide dalam Analisis Stabilitas Lereng (Studi Kasus: Sumurkadu Desa Bendungan, Kecamatan Jonggol). *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Teknik Sipil*, 1(1), 1-10.
- [2] Dewa, G.W.R. (2014). *Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan Lolak Sulawesi Utara Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara. Skripsi*. Malang: Jurusan Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya.
- [3] Hayati, J., Hani, A.N., Putra, A.D. & Utami, E.T. (2021). Pengaruh Bentuk Inti Bangunan Bendungan Urugan terhadap Potensi Rembesan dan Stabilitas Gempa. *Journal or Infrastructure Planning and Design*, 1(1), 8-13.
- [4] Ikawanty, B.A. (2013). Desain Kontrol Pintu Bendungan Otomatis untuk Mencegah Banjir Menggunakan VHDL. *Jurnal ETEK*, 11(1), 1693-4024.
- [5] Imani, F.N.F., Aponno, G. & Suryadi, A. (2021). Analisis Stabilitas Tubug Bendungan pada Bendungan Semantok Kabupaten Nganjuk Provinsi Jawa Timur. *Jurnal Onlina Skripsi Manajemen Rekayasa Konstruksi*, 2(4), 22-27.
- [6] Mulyono, J. (2017). Konsepsi Keamanan Bendungan Dalam Pembangunan dan Pengelolaan Bendungan. *Jurnal Infrastruktur*, 3(1), 1-62.
- [7] Pramudawati, M.A.H., Tanjung, M.I. & Ghafara, R. (2020). Penilaian Risiko Keamanan Bendungan di Jawa Timur. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 11(2), 93-102.
- [8] Pratama, R.R.P., Suprijanto, H. & Asmaranto, R. (2021). Analisis Stabilitas Tubuh Bendungan Pada Bendungan Semantok, Nganjuk, Jawa Timur. *Jurnal Teknologi dan Rekasaya Sumber Daya Air*, 1(1), 89-102.
- [9] Rahayu, R. & Permana, S. (2021). Analisis Kestabilan Lereng Bendungan Akibat Fluktuasi Muka Air. *Jurnal Konstruksi*, 19(2), 298-309.
- [10] Restuti, N.A., Juwono, P.T. & Primantyo, H.A. (2016). Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Wonorejo Berdasarkan Peta Gempa 2004 dan Peta Gempa 2010. *Jurnal Teknik Pengairan*, 7(1), 73-82.
- [11] Tanjung, M.I., Sari, R.N. & Ghafara, R. (2017). Screening Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Urugan Akibat Gempa di Indonesia. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 8(1), 43-52.