

Tinjauan Geoteknik Keamanan Rembesan dan Pembebanan Gempa Pada Stabilitas Lereng (Studi: Bendungan Way Sekampung)

R. Abadirulian Ervantara¹, Ahmad Rifa'i², Iman Satyarno²

Mahasiswa Program Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah

Mada¹, Magister Teknik Pengelolaan Bencana Alam, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada²

Email: abadirulianervan88@mail.ugm.ac.id¹, ahmad.rifai@ugm.ac.id², imansatyarno@ugm.ac.id²

DOI: <http://dx.doi.org/10.31869/rtj.v5i2.3128>

Abstract : Way Sekampung Dam is built to optimize the utilization of the Way Sekampung watershed. It is classified as an embankment dam with upright core which is following with a high risk of failure. The research of dam slope stability become an effort to fulfill dam safety. This study is based on the effects of seepage and seismicity. The seepage review is focused on what is the safety of the dam against potential piping, while for seismicity it is carried out under earthquake loading which using a modified earthquake coefficient approach. Based on the calculation of the seepage modeling using SEEP/W at the flood water level (FWL) and normal water level (NWL) obtained a value of the calculated safety factor (SF_{cal}) of $\geq SF_{min} = 4$ and, it can be said to be safe against piping. Slope stability modeling with SLOPE/W at post construction, flood water level (FWL), normal water level (NWL), and low water level (LWL), under earthquake loading conditions, it is found that the calculated safety factor (SF_{cal}) varies in each loading condition. In the OBE loading conditions; the calculated safety factor value (SF_{cal}) is greater than SF_{min} , indicating that the slope stability at the Way Sekampung Dam is safe. The simulation with MDE loading conditions, show results of the dam slope stability modeling in several variation resulted in $SF_{cal} < SF_{min}$. This shows that the slope stability at the Way Sekampung Dam is not safe, have the potential to experience damage and collapse.

Keywords: embankment dam, slope stability, seepage, earthquake, SEEP/W and SLOPE/W

PENDAHULUAN

Bendungan Way Sekampung secara administrative terletak di Provinsi Lampung dibangun bertujuan sebagai optimalisasi inflow dari DAS Way Sekampung di hilir bendungan Bendungan Batutegei yang dimanfaatkan untuk mendukung dan memfasilitasi kebutuhan masyarakat terutama di bidang pertanian, dan penyediaan airbersih.

Lokasi Bendungan Way Sekampung pada sisi kanan bendungan terletak di Desa Pekon Bumi Ratu, Kecamatan Pagelaran, sedangkan sisi kiri bendungan terletak di Desa Banjarejo, Kecamatan Banyumas, Kabupaten Pringsewu, Provinsi Lampung. Secara geografis, bendunganinitemletakantara $104^{\circ}48' - 105^{\circ}08'$ Bujur Timur dan $5^{\circ}12' - 5^{\circ}33'$ Lintang Selatan. (BBWS Mesuji Sekampung,2016).



Gambar 1. Peta Lokasi Pembangunan Bendungan Way Sekampung (Tata Guna Patria,2019a)

Bendungan Way Sekampung merupakan bendungan urugan batu tipe zonal dengan inti bendungan tegak yang memerlukan peninjauan kondisi keamanan bendungan dalam upaya meminimalisir potensi kegagalan. Dalam proses pembangunan bendungan, banyak dilakukan tinjauan geoteknik dalam tahap perencanaan, perancangan, dan pelaksanaan. Hal tersebut dilakukan sebagai upaya agar syarat keamanan bendungan terpenuhi. Secara konstruksi, tubuh bendungan urugan dibentuk melalui pekerjaan geoteknik yakni pekerjaan timbunan yang kemudian membentuk keseluruhan tubuh bendungan termasuk lereng bendungan. Analisis keamanan bendungan secara terpisah dilakukan

secara geoteknik dalam rangka memenuhi persyaratan keamanan bendungan yang salah satunya adalah stabilitas lereng bendungan. Dalam penelitian ini, stabilitas lereng bendungan ditinjau dalam terpenuhinya nilai faktor keamanan terhadap keamanan terhadap rembesan dan ketahanan terhadap gempa.

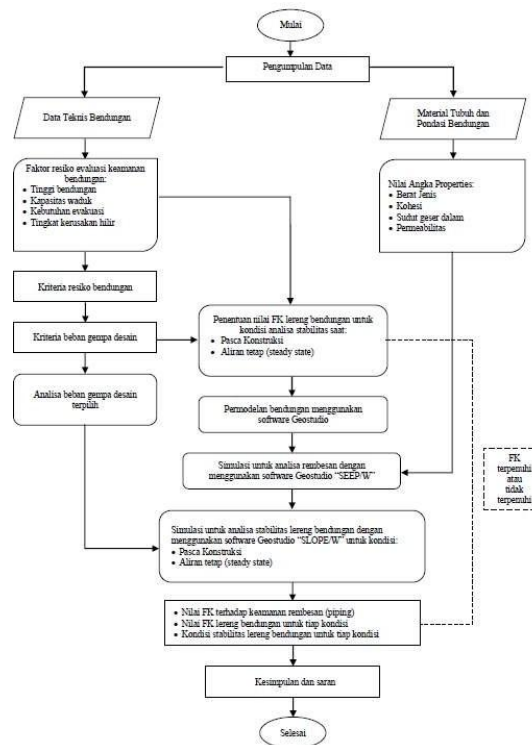
Terdapat beberapa tujuan dalam melakukan penelitian ini tujuan penelitian ini adalah mengetahui keamanan rembesan pada lereng bendungan melalui pendekatan kemanan terhadap potensi erosi buluh (*piping*) pada kondisi muka air banjir (MAB), air normal (MAN), dan mengetahui keamanan stabilitas lereng bendungan dengan pembebanan gempa pada kondisi selesai konstruksi dan variasi muka air pada kondisi muka air banjir (MAB), muka air normal (MAN) dan muka air rendah (MAR).

METODE PENELITIAN

Metode yang dilakukan untuk melakukan analisis keamanan rembesan dengan menggunakan bantuan perangkat lunak GeoStudio 2012 SEEP/W dan untuk melakukan analisis kestabilan lereng dengan bantuan perangkat lunak GeoStudio 2012 SLOPE/W dengan metode kesetimbangan batas pada irisan bidang gelincir cara *Morgenstein-Price*.

Perhitungan nilai faktor keamanan (FK) keamanan rembesan dilakukan pada kondisi muka air banjir (MAB) dan muka air normal (MAN). Perhitungan nilai faktor keamanan (FK) stabilitas lereng bendungan dengan pembebanan gempa terhadap muka air banjir (MAB), muka air normal (MAN) dan muka air rendah (MAR).

Secara rinci mengenai prosedur penelitian dapat dilihat pada tahapan yang dilakukan melalui diagram alir pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Alir Penelitian

Permodelan Bendungan

Bendungan akan dimodelkan secara dua dimensi dengan potongan melintang as bendungan, dengan beda tinggi paling besar antara puncak dan dasar bendungan. permodelan lapisan tanah pondasi bendungan menggunakan data sekunder yang diperoleh dari SNVT Bendungan Way Sekampung.

Analisis Keamanan Rembesan

Analisa keamanan rembesan dilakukan untuk mengetahui keamanan tubuh bendungan terhadap bahaya erosi pada tubuh bendungan (*piping*). Air yang mengalir melewati lapisan tanah akan mendesak partikel tanah senilai dengan tekanan rembesan hidrodinamis yang bekerja mengikuti arah alirannya. Nilai tekanan rembesan akan merupakan fungsi dari gradient hidrolik. Tekanan rembesan yang terjadi dalam tanah mengakibatkan terangkutnya butir-butir tanah halus material penyusun bendungan. Jika proses pengangkutan material berlangsung secara terus menerus, maka akan menyebabkan terjadinya erosi pada tubuh bendungan (*piping*). Maka dari itu perlu dilakukan perhitungan faktor keamanan dalam upaya mengetahui keamanan bendungan dari potensi bahaya *piping* atau tidak (Saragih,2021)



Gambar 3. Exit seepage pada tubuh bendungan (U.S Army Corps of Engineering, 1993)

Pada Gambar 3., bagian hilir (downstream), terdapat area yang merupakan keluarnya rembesan (*exit seepage*), dimana gradien hidroliknya dapat juga disebut *exit gradient*. Sehingga, *exit gradient* (i_e) adalah nilai kehilangan energi per panjang pada area *exit seepage*, yang terletak di bagian *downstream* dari tubuh bendungan. *Exit gradient* pada bendungan diambil dengan mengambil suatu area dari flownet yang terletak pada keluaran rembesan (biasanya pada kaki bendungan bagian *downstream*). Jika nilai *exit gradient* terlalu besar, maka dapat berpotensi menyebabkan piping. Gradient dimana terjadi keadaan ini dinamakan *critical gradient* (i_{cr}) Sehingga, nilai i_e harus kurang dari nilai i_{cr} . (US Army Corps of Engineers, 1993).

$$i_{cr} = \frac{G_s - 1}{1 + e} \dots\dots\dots (1)$$

Keamanan bendungan terhadap *piping* dapat dihitung berdasarkan rumus empiris Harza dan Terzaghi dalam SNI 8065:2016 (Saragih, 2021):

$$FS = \frac{i_{cr}}{i_{exit}} \dots\dots\dots (2) \frac{G_s - 1}{1 + e}$$

$$i_{cr} = \dots\dots\dots (3)$$

- dimana:
- FK : Faktor Keamanan(FK)
 - i_{cr} : Gradienkeluarankritis
 - i_{exit} : Gradienkeluaran
 - γ : Berat isi efektif(t/m³)
 - γ_w : Berat isi air (t/m³)
 - γ_{sat} : Beratjenis
 - γ_{air} : Angkapor

Pada permodelan rembesan menggunakan metode elemen hingga Gradien keluar (i_{exit}) dalam tanah dihitung sebagai total head hidrolis (*headloss*) dibagi dengan jarak aliran antara dua lokasi *head* yang diukur, yang ditulis dalam persamaan (GEO-SLOPE International, Ltd., 2012b):

$$i_{exit} = \frac{dH}{dL} \dots\dots\dots (4)$$

Persamaan diferensial secara umum yang mengatur untuk rembesan dua dimensi dapat dinyatakan sebagai:

$$\dots\dots(5)$$

$$\dots\dots(6)$$

dimana,
 k_x dan k_y : koefisien permeabilitas (m/s) dalam arah (x,y)
 H : total *head* hidrolis (m)

Dalam hal bendungan yang tidak dilengkapi dengan filter pelindung, nilai angka keamanan FK >4, sedangkan yang dilengkapi dengan filter pelindung, nilai angka keamanan FK ≥ 2 (Badan Standardisasi Nasional, 2016b)

Analisa Kegempaan pada Bendungan Urugan

Dalam merencanakan struktur seismik, analisis beban gempa dibagi menjadi dua kategori, yaitu analisis seismik statis dan analisis seismik dinamis. (Chopra, 1995). Besarnya guncangan seismik yang digunakan dalam desain bendungan ditentukan dengan mempertimbangkan beban-beban yang ada selama operasi bendungan, yang dikenal sebagai gempa dasar desain operasional (OBE), dan kondisi pembebanan yang tidak biasa atau kondisi tanah yang ekstrim dikenal sebagai Gempa Desain Maksimum. (MDE). (Tanjung et al., 2018). Dalam proses pemilihan parameter untuk menentukan analisis seismik, pemilihan metode analisis seismik yang paling tepat dan parameter yang akan digunakan membutuhkan kompetensi dan pengalaman teknis yang memadai. (Kimpraswil, 2004). Analisis kegempaan ini dilakukan dalam beberapatahap.

1. Klasifikasi kelas bebanbendungan.
2. Kelas risikobendungan.
3. Kriteria bebanbendungan
4. Koefisien gempa terkoreksibendungan.

Analisis gempa untuk desain bendungan dan bangunan pengairan tahan gempa dapat dilakukan dengan cara menghitung percepatan puncak gempa di permukaan tanah yang dilakukan modifikasi dengan metode yang telah dikembangkan oleh negara Jepang yaitu metode “*Seismic Design Guideline For Fill Dam*” (Fata & Suhartanto, 2018):

$$PSA = FPG_A \times PBA \dots\dots\dots (7)$$

$$K_h = PSA/g \dots\dots\dots (8)$$

$$K = \alpha_1 \times K_h \dots\dots\dots (9)$$

$$K_o = \alpha_2 \times K_h \dots\dots\dots (10)$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = \frac{\partial \theta}{\partial t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0$$

dimana: _

PSA : Percepatan puncak gempa di permukaan tanah, yang berdasarkan klasifikasite.

FPGA : Faktor amplifikasi tanah

PBA : Percepatan puncak gempa di batuan dasar (mengacu pada peta Gempa Indonesia tahun2010)

Kh : koefisien gempa dasar yang tergantung pada periode ulang T;

α_1 : koreksi pengaruh daerah bebas (freefield) untuk bendungan tipeurugan = 0,7;namun, untuk bendungan beton dan pasangan batu = 1 ;

K : koefisien gempa terkoreksi untuk analisis stabilitas;

g : percepatan gravitasi(9,8m/det²)

Ko : koefisien gempa desain terkoreksi di permukaan tanah;

α_2 : koreksi pengaruh jenis struktur, untuk bendungan tipe urugan = 0,5;

Kh : koefisien gempa dasar yang tergantung periode ulang T.

Dalam analisis stabilitas ini koefisien gempa pada kedalaman Y dari puncak bendungan berbeda-beda. Untuk analisis stabilitas, peninjauan dilakukan pada Y = 0.25H; 0.50H; 0,75H dan H (H ialah tinggi bendungan) dengan menggunakan Kh pada periode ulang sesuai dengan yang dipersyaratkan. Koefisien gempa rata-rata K pada Y yang berbeda-beda dapat dihitung dengan persamaan-persamaan sebagai berikut (Imron et al., 2017)

Untuk $0 < Y/H \leq 0,4$

$$K_h = K_o \times \{2,5 - 1,85x (Y/H)\} \dots\dots\dots (11)$$

Untuk $0,4 < Y/H \leq 1,0$

momen gaya yang menahan (*resisting forces*). (Badan Standardisasi Nasional, 2016a).

Perhitungan kuat geser material sepanjang permukaan yang berpotensi mengalami keruntuhan dibutuhkan untuk melakukan analisis stabilitas lereng bendungan. Berdasarkan kriteria *Mohr-Coulomb* dengan $K_h = K_o \times \{ 2,0 - 0,60x (Y/H)\}$ (12)

dimana: _

Kh : koefisien gempa pada kedalaman Y (m) dari puncak bendungan

Ko : koefisien gempa desain terkoreksi di permukaan tanah;

Y : kedalaman dari puncak bendungan (m)

H : tinggi bendungan(m)

Setelah didapatkan nilai Kh (Koefisien Horizontal) pada Y/H dengan periode ulang (T). Kemudian Kv (Koefisien Vertikal) dapat dihitung dengan persamaan:

$$K_v = 0,6K_h \dots\dots\dots (13)$$

dimana :

Kv : Koefisien gempa vertikal Kh : Koefisien gempahorizontal

Gempa rencana maksimum (MDE) adalah gempa seismik terbesar di wilayah studi sedangkan Gempa operasional dasar (OBE) adalah batas getaran seismik di wilayah studi dengan probabilitas 50% kemungkinan gempa tidak melebihi 100 tahun. Analisis stabilitas dilakukan dengan metode keseimbangan batas dengan menggunakan koefisien gempa termodifikasi yang keluarannya berupa faktor keamanan. (Maretha et al., 2020)

Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Menurut

Hardiyatmo (2012) secara umum analisa kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode keseimbangan batas (*limit equilibrium methods*). Hal-hal yang paling berpengaruh dalam stabilitas lereng antara lain kuat geser tanah, geometri lereng, tekanan air pori atau gaya rembesan, dan kondisi pembebanan.

Stabilitas pada suatu lereng ditentukan oleh hubungan antara momen gaya yang melongsorkan (*driving forces*) yang akan membuat massa tanah/batuan bergerak ke bawah, dan yang menyebabkan massa tanah/batuan tetap berada di tempatnya adalah

konsep tegangan efektif, maka kuat geser “S” (pada saat runtuh) dirumuskan dalam Persamaan sebagai berikut (Departemen Pekerjaan Umum, 2012) :

$$s = c' + (\sigma - \sigma') \tan \phi' \dots\dots\dots (14)$$

dimana: _

σ = Kekuatangeser

σ' = Tegangan total pada bidanggeser

σ = Tegangantotal

σ' = Tegangan airpori

ϕ' = Sudut geser dalamefektif

Hasil analisis dinyatakan dalam Faktor Keamanan (FK), dalam persamaan (Departemen Pekerjaan Umum, 2012):

$$FK = \frac{\text{Kuat Geser (Shear Strength)}}{\text{Tegangan Geser (Shear Stress)}}$$

.....(15)

dimana: $\sigma = \frac{S}{r}$ atau $\sigma = \frac{S}{r}$ = Amandan

$\sigma < \sigma_c$ = Tidak Stabil

Bentuk bidang longsor dan lokasi yang akan ditinjau perlu dilakukan pada analisis stabilitas lereng. Pada bendungan urugan bertipe urugan homogen atau zonal, dengan pondasi dari material berbutir halus, lebih sering digunakan analisa stabilitas lereng dengan bentuk bidang longsor

lingkaran (*circular arc*). Lokasi bidang longsor yang dilakukan tinjauan berada pada lereng hulu (*upstream*) dan lereng hilir (*downsream*) pada bendungan urugan pada umumnya analisis dilakukan pada kondisi yang paling kritis yang mungkin terjadi. Rujukan standar nilai faktor keamanan (FK) yang digunakan adalah SNI 8064-2016 (Nanda & Hamdhan, 2016 dalam Maretha et al., 2020)

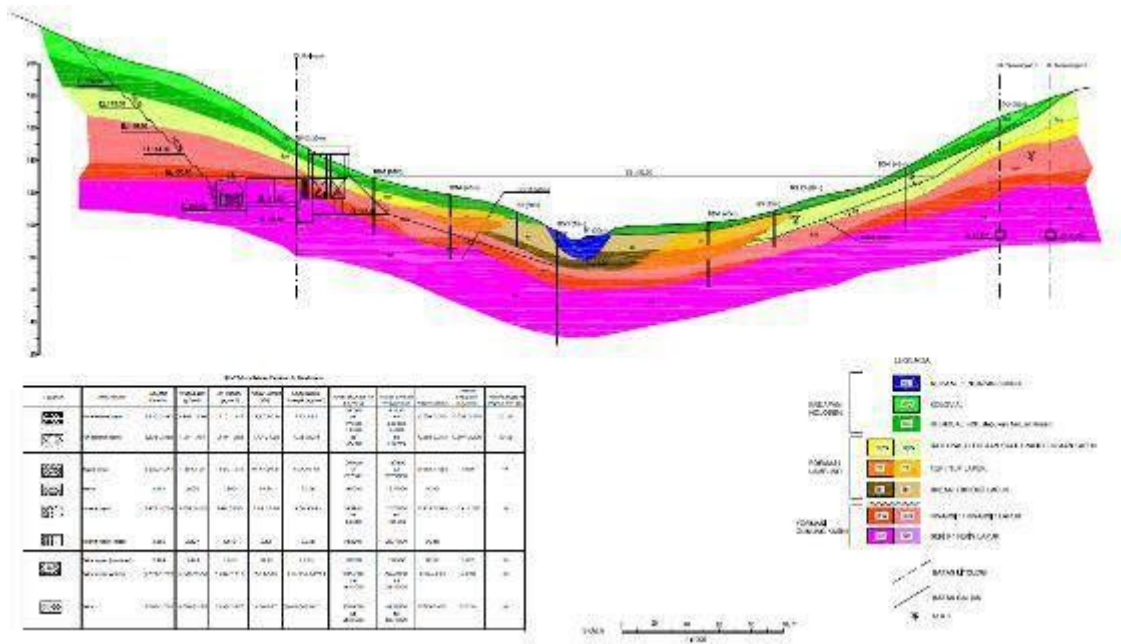
Tabel 1. Persyaratan FK minimum lereng bendungan tipe urugan berdasarkan (SNI 8064-2016)

No	Kondisi	FK Syarat	
		Beban Gempa OBE	Beban Gempa MDE
1	Pasca Konstruksi	1,2	1
2	Muka Air Banjir	1,2	1
3	Muka Air Normal	1,2	1
4	Muka Air Rendah	1,2	1

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berdasarkan Peta Geologi Bersistem Indonesia Lembar Kota Agung tahun 2010 pada Gambar 4., lokasi Bendungan Way Sekampung dan sekitarnya terdiri dari 3 (tiga) formasi batuan, dari urutan tua sampai ke muda adalah sebagai berikut:

1. Komplek Gunung Kasih (Pzg), terdiri dari sekis(s), kwarsit(k), batupualam(m). Batuan ini diperkirakan berumur Paleozoikum.
2. Formasi Gading (Tomg), tersusun dari batupasir, batu lanau dan batu lempung dengan sisipan batug amping dan lignit. Batuan ini berumur Pliosen Awal.
3. Formasi Lampung (Qtl), tersusun oleh tuf batuapung, batupasir tuf, setempat sisipan tuf. Batuan ini berumur Plesitosen.

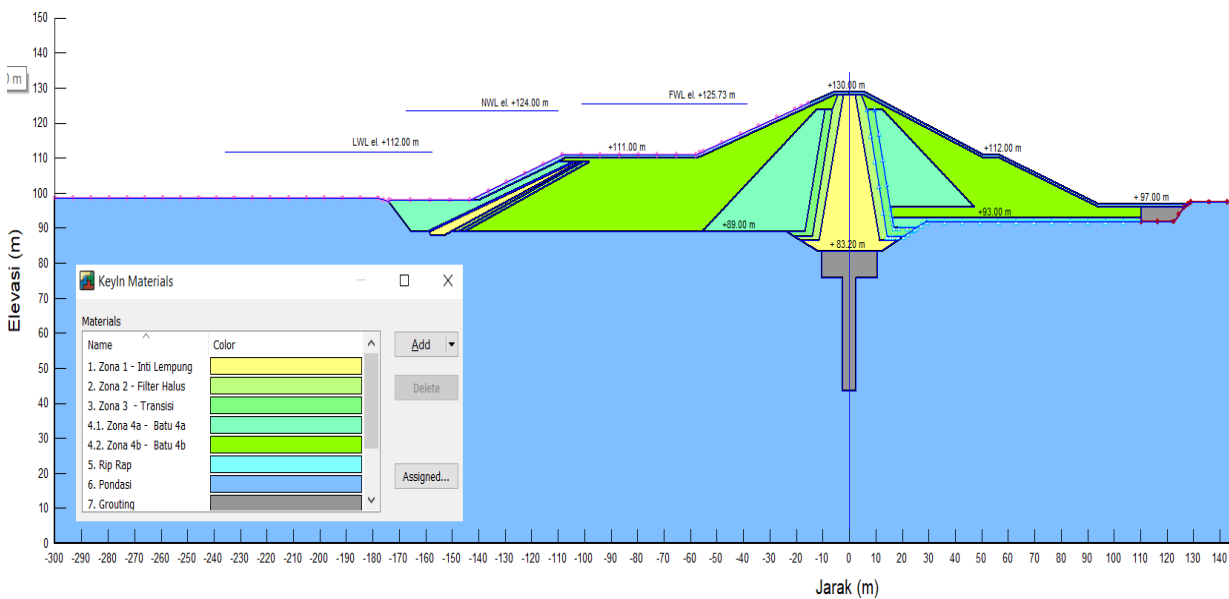


Gambar 5. Peta Geologi Teknik Tapak Bendungan Way Sekampung

Penampang Tipikal Bendungan

Bendungan Way Sekampung merupakan bendungan dengan desain tipe urgan zonal dengan inti tegak , yang terdiri dari material

penyusun berupa zona inti kedap air, zona filter halus, zona filter kasar, zona timbunan batu, dan zona rip-rap dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. Tipikal Zonasi Tubuh Bendungan Way Sekampung

Parameter Desain Bendungan

Dari hasil analisis perhitungan serta uji laboratorium yang telah dilaksanakan, hasil parameter desain yang telah terpasang di

lapangan secara aktual dapat digunakan dalam perhitungan stabilitas Bendungan Way Sekampung dapat dilihat pada tabel 2

Tabel 2. Parameter timbunan Bendungan Way Sekampung

No	Material	γ_{sat}	Kepadatan			Kuat Geser		Permeabilitas (K) (cm/detik)
			γ_{wet}	γ_{dry} (gr/cm ³)		C (kg/cm ²)	ϕ (°)	
Zona 1 - Inti Lempung								
1	U-U	1.775	1.687	1.261	0.19	15.410	3.4x10 ⁻⁶	
	C-U (Total)				0.32			16.482
	C-U (Effektif)				0.28			19.524
2	Zona 2 - Filter Halus	1.460	1.430	1.380	0.00	32.12	1.44 x10 ⁻³	
3	Zona 3 - Transisi	1.850	1.750	1.649	0.00	33.00	1.30 x10 ⁻²	
4	Zona 4.1 - Batu 4a	2.350	2.340	2.320	0.00	36.15	6.93 x10 ⁻³	
5	Zona 4.2 - Batu 4b	2.230	2.220	2.200	0.00	42.64	1.67 x10 ⁻¹	
6	Rip - Rap	2.400	2.300	2.235	0.00	39.00	Lulus Air	
7	Pondasi Sekis	2.480	2.420	2.320	0.17	30.00	5.00 x10 ⁻⁵	

Sumber: Tata Guna Patria, PT, KSO, 2019b

Analisa Keamanan Rembesan Pada Bendungan

Analisis rembesan Bendungan Way Sekampung dilakukan dengan metoda elemen hingga (finite element), dengan menggunakan perangkat lunak program SEEP/W. Analisa keamanan rembesan dilakukan untuk mengetahui keamanan tubuh bendungan terhadap bahaya piping dilakukan pada variasi kondisi muka air banjir (MAB) dan muka air normal (MAN)

$$\text{Gradien Hidrolis Kritis } I_{cr} = \frac{2}{1+2} - 1$$

$$I_{cr} = \frac{2.642 - 1}{1 + 0.566} = 1,048$$

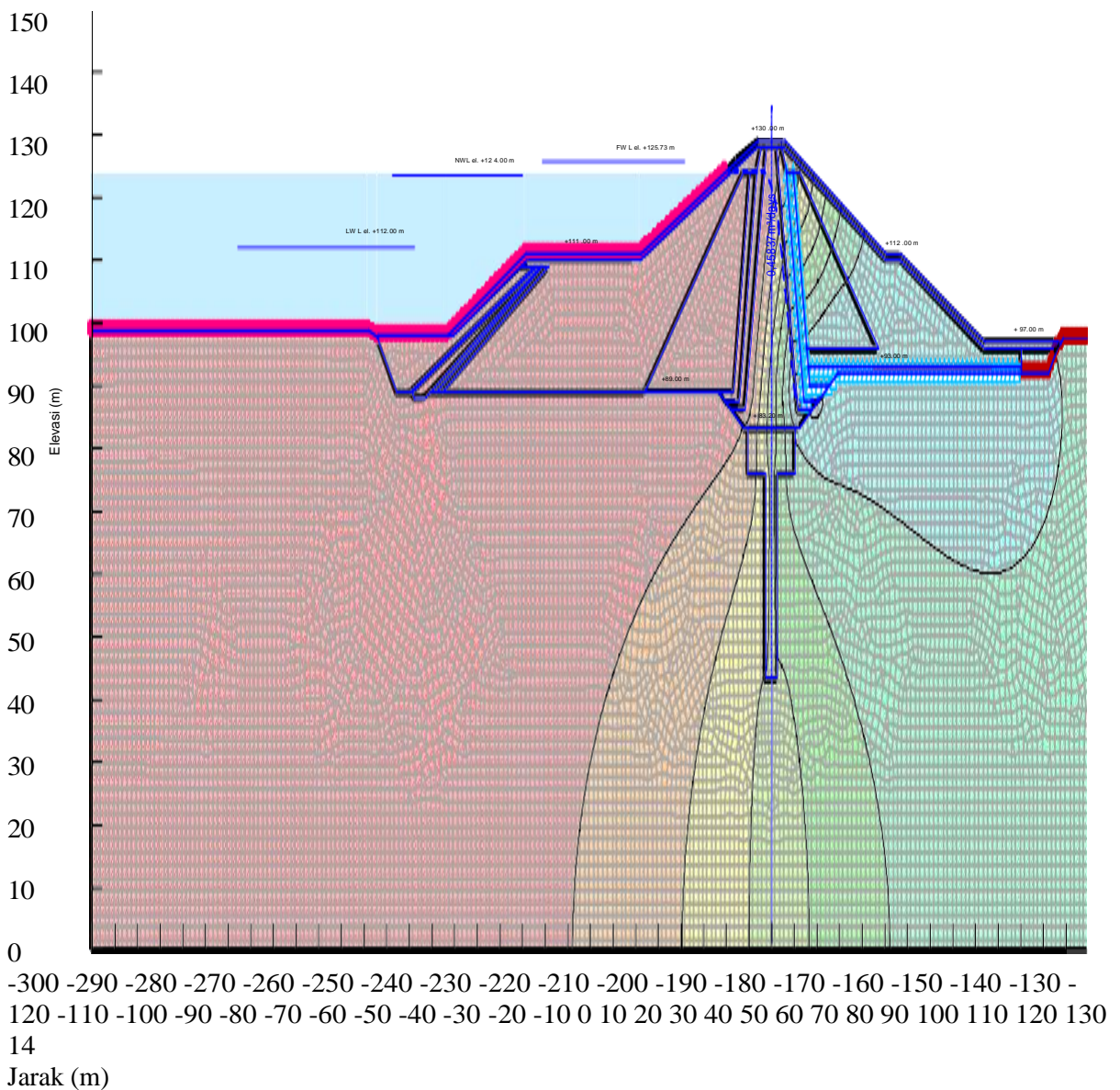
$$\text{Gradien Keluaran } I_{exit} = \frac{dH}{dL}$$

$$I_{exit} = XY \text{ Gradien}$$

Tabel 3. Faktor Keamanan terhadap *Piping* di Bendungan Way Sekampung Kondisi MAB

Nodal	XYGradie n	Icr	FSPipin g	FKijin	Terpenuhi
8555	0,234	1,048	4,479	4	ya
8557	0,253	1,048	4,142	4	ya
8560	0,258	1,048	4,062	4	ya
8561	0,249	1,048	4,209	4	ya
8562	0,24	1,048	4,367	4	ya
8564	0,242	1,048	4,331	4	ya
8565	0,246	1,048	4,260	4	ya
8566	0,23	1,048	4,557	4	ya
8567	0,244	1,048	4,295	4	ya
8571	0,225	1,048	4,658	4	ya

Sumber : Hasil perhitungan (2021)



Gambar 8. Seepage Bendungan Way Sekampung kondisi MAN

Tabel 4. Faktor Keamanan terhadap *Piping* di Bendungan Way Sekampung Kondisi MAN

Nodal	XYGradie	Icr	FKPipin	FKijin	Terpenuhi
	n		g		
8297	0,258	1,048	4,062	4	ya
8298	0,254	1,048	4,126	4	ya
8299	0,253	1,048	4,142	4	ya
8300	0,254	1,048	4,126	4	ya
8301	0,258	1,048	4,062	4	ya
8369	0,254	1,048	4,126	4	ya
8371	0,252	1,048	4,159	4	ya
8373	0,251	1,048	4,175	4	ya
8438	0,247	1,048	4,243	4	ya
8501	0,242	1,048	4,331	4	ya

Sumber : Hasil perhitungan (2021)

Dari hasil analisa dan permodelan keamanan rembesan yang telah dilakukan dengan kondisi muka air banjir (MAB) dan muka air normal (MAN) yang diperlihatkan pada Tabel 3, Tabel 4, Gambar 5, dan Gambar 6. Pada tiap variasi kondisi hasil simulasi permodelan rembesan menggunakan software SEEP/W, terhadap potensi *piping* pada Bendungan Way Sekampung, didapatkan bahwa $FK_{hitung} > FK_{ijin}$.

Hal ini menunjukkan bahwa tubuh bendungan dapat terpenuhi keamanan terhadap potensi *piping*.

Kelas Resiko dan Koefisien Gempa Termodifikasi

Penentuan kelas resiko dan perhitungan koefisien gempa dilakukan berdasarkan pada pedoman konstruksi untuk analisis stabilitas bendungan tipe urugan akibat beban gempa dari Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah tahun 2004, perhitungan kelas resiko bendungan dilakukan dengan menghitung total keseluruhan nilai faktor resiko dari empat faktor resiko yang menjadi parameter, kemudian hasil tersebut dimasukkan ke dalam tabel kelas resiko. Bendungan Way Sekampung dikategorikan dalam kelas resiko IV (extrem). Hasil klasifikasi kelas resiko kemudian dimasukkan kedalam tabel kriteria beban gempa, sehingga didapatkan kriteria beban gempa OBE perulangan pada $T = 100$ tahun dengan $FK_{min} \geq 1,20$ sesuai dengan kriteria yang berlaku dan gempa MDE perulangan $T = 10.000$ tahun dengan $FK \geq 1$. Nilai perhitungan koefisien gempa

OBE didapatkan nilai percepatan gempa dasar sebesar 0,150 ($T=100$ tahun), dan MDE sebesar 0,592 ($T=10.000$ tahun), dan faktor amplikasi gempa untuk gempa OBE dan MDE adalah 1, dikarenakan hasil analisa situs setempat merupakan situs batuan.

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan persamaan (7),(8), (9) dan (10) diperoleh nilai PGA pada kondisi OBE 0,150g, dan kondisi MDE 0,592g, koefisien gempa terkoreksi di permukaan tanah (K_0) pada kondisi OBE dan MDE didapatkan nilai K_0 pada kondisi OBE 0,075, dan kondisi MDE 0,296. Perhitungan koefisien gempa pada penelitian ini dilakukan pada kedalaman Y/H 1 ; 0,75 ; 0,5 ; 0,25 menggunakan persamaan (11) dan (12) diperoleh nilai koefisien gempa horizontal (K_h) dan nilai koefisien gempa vertikal (K_v) dilakukan perhitungan menggunakan Persamaan (13) yang dihitung sebesar $0,6 \times K_h$ dapat dilihat pada tabel 5.

Tabel 5. Koefisien Gempa Horizontal dan Vertikal pada kondisi OBE dan MDE

No	Kala Ulang Gempa	PBA	PSA	Kh	K0	Y/H			
						1	0.75	0.5	0.25
1	OBE (100th)	0.15	0.150	0.15	0.075	0.1050	0.1163	0.1275	0.1528
				Kv		0,0700	0,0775	0,0850	0,1019
2	MDE (10000 th)	0.592	0.592	0.592	0.296	0.4144	0.4588	0.5032	0.6031
				Kv		0,2763	0,3059	0,3355	0,4021

Sumber : Hasil perhitungan (2021)

Analisis Stabilitas Lereng

Untuk menganalisis stabilitas lereng tubuh Bendungan Way Sekampung digunakan bantuan Software Geostudio 2012 dengan program SLOPE/W, pendekatan dengan metode kesetimbangan batas dengan irisan pada bidang luncur menggunakan metode Morgenstein-Price. Analisis dilakukan pada tiga kondisi, yaitu pada kondisi selesai konstruksi, variasi muka air yakni muka air banjir (MAB), muka air normal (MAN) dan muka air rendah (MAR). Data yang digunakan dalam analisis adalah parameter desain material yang telah dilakukan uji laboratorium meliputi nilai kohesi (c), sudut geser dalam (ϕ), dan berat isi dapat dilihat pada tabel 2. Selain data parameter desain material timbunan, data koefisien gempa digunakan untuk masing-masing kondisi dapat dilihat pada Tabel 5.

Kondisi Selesai Konstruksi

Pada kondisi selesai konstruksi, pada umumnya bendungan masih kering dan belum ada genangan air. Maka pada kondisi ini diasumsikan bahwa material timbunan bersifat kering sehingga berat jenis yang digunakan adalah berat jenis kering (γ_{dry}). Hasil

perhitungan FK kondisi ada gempa OBE pada tabel 6 dan gempa MDE setelah selesai konstruksi dapat dilihat pada tabel 7.

Kondisi Variasi Muka Air

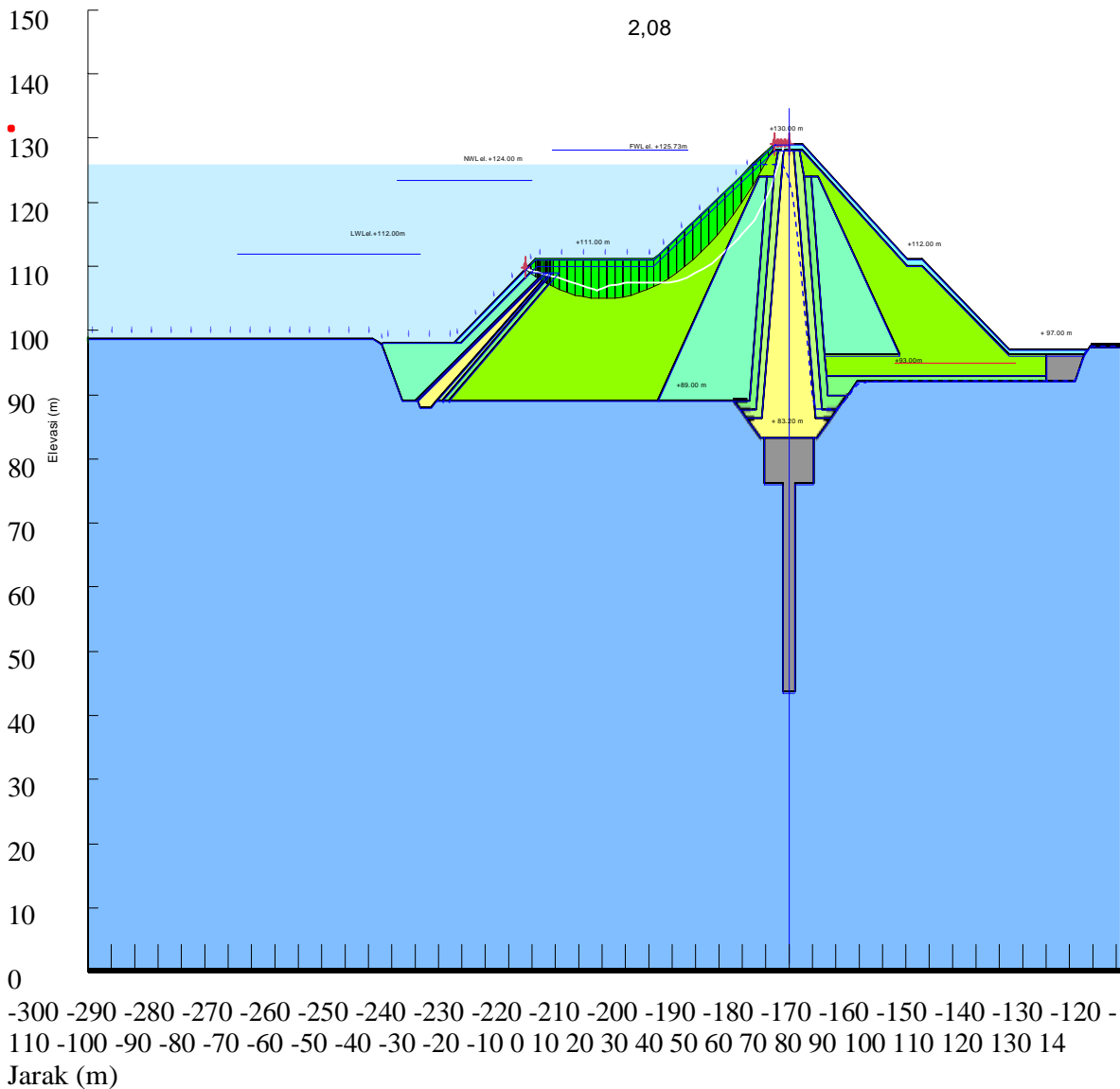
Pada kondisi variasi muka air, bendungan sudah memasuki tahap operasional dan digenangi air. Rencana elevasi untuk

masing masing kondisi muka air pada Bendungan Way Sekampung yakni muka air banjir (MAB) pada elevasi di +125,73mdpl, muka air normal (MAN) pada elevasi +124mdpl, muka air rendah (MAR) pada elevasi di +112mdpl. Dalam kondisi muka air banjir (MAB), diasumsikan material bersifat basah sehingga berat jenis yang digunakan yaitu berat jenis basah (γ_{wet}). Untuk kondisi muka air normal dan muka airrendah, diasumsikan material bersifat jenuh air sehingga berat jenis yang digunakan yaitu berat jenis jenuh (γ_{sat}). Hasil perhitungan faktor keamanan (FK) pada tiap-tiap kondisi muka untuk gempa OBE dan gempa MDE dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7. Untuk kondisi gempa OBE dan MDE dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7 serta permodelannya dapat dilihat pada Gambar 9 dan Gambar 10.

Tabel 6. FK Stabilitas Lereng Bendungan Way Sekampung beban Gempa OBE

Kondisi	FK Ijin	FK OBE				
		Y/H = 1	Y/H = 0.75	Y/H = 0.50	Y/H = 0.25	
		0,105	0,116	0,128	0,153	
Setelah Konstruksi	Hulu	1,20	2,98	2,90	2,79	1,85
	Hilir	1,20	1,87	1,86	1,74	1,83
M A B el. + 125.73 mdpl	Hulu	1,20	2,23	2,14	2,08	1,70
	Hilir	1,20	1,86	1,88	1,78	1,83
M A N el. + 124.00 mdpl	Hulu	1,20	2,22	2,13	2,07	1,62
	Hilir	1,20	1,87	1,88	1,78	1,94
M A R el. + 112.00 mdpl	Hulu	1,20	2,17	2,07	2,04	1,85
	Hilir	1,20	1,87	1,86	1,71	1,75

Sumber : Hasil perhitungan (2021)



Gambar 9. FK hulu gempa OBE modifikasi $Y/H=0,5$,pada aliran tetap, kondisi muka air banjir

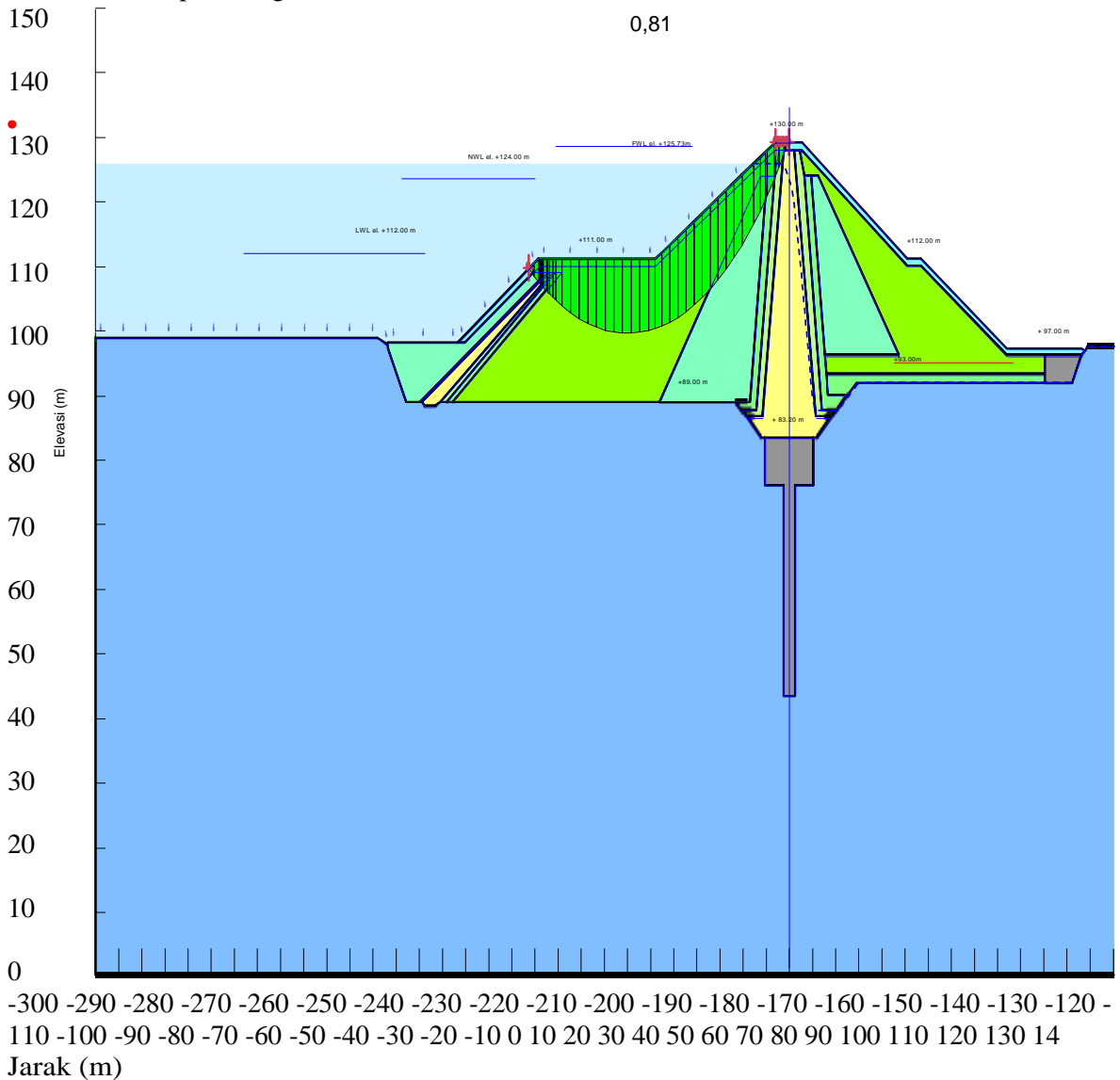
Dari hasil analisa dan permodelan yang telah dilakukan dengan kondisi pembebanan gempa OBE yang diperlihatkan pada Tabel 6 dan Gambar 9. Pada tiap variasi kondisi pada lokasi analisa stabilitas lereng di hulu dan hilir bendungan, untuk tiap variasi koefisien gempa pada kedalaman dari puncak bendungan (Y/H),

diketahui bahwa hasil simulasi permodelan stabilitas lereng bendungan mendapatkan $FK_{hitung} > FK_{ijin}$. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi lereng bendungan saat terjadi gempa OBE dengan persyaratan tanpa kerusakan, dapat terpenuhi keamanannya.

Tabel 7. FK Stabilitas Lereng Bendungan Way Sekampung beban Gempa MDE

Kondisi	FKIjin	FKMDE				
		Y/H = 1	Y/H = 0.75	Y/H = 0.50	Y/H = 0.25	
		0,414	0,459	0,503	0,603	
Setelah Konstruksi	Hulu	1,00	1,28	1,21	1,30	1,25
	Hilir	1,00	0,96	0,98	1,19	1,16
M A B el. + 125.73 m	Hulu	1,00	0,86	0,80	0,81	0,75
	Hilir	1,00	1,12	0,98	1,19	1,16
M A N el. + 124.00 m	Hulu	1,00	0,91	0,80	0,76	0,77
	Hilir	1,00	1,13	0,98	1,19	1,16
M A R el. + 112.00m	Hulu	1,00	0,92	0,86	0,91	1,07
	Hilir	1,00	1,03	0,96	1,19	1,16

Sumber : Hasil perhitungan (2021)



Gambar 10. FK hulu gempa OBE modifikasi Y/H=0,5 ,pada aliran tetap, kondisi muka air banjir

Analisa dan permodelan yang telah dilakukan dengan kondisi pembebanan gempa MDE dengan persyaratan kerusakan tanpa keruntuhan, yang diperlihatkan pada Tabel 7 dan Gambar 10, pada tiap variasi kondisi pada lokasi analisa stabilitas lereng di hulu dan hilir bendungan, untuk tiap variasi koefisien gempa termodifikasi pada estimasi kedalaman bidang gelincir dari puncak bendungan (Y/H), menunjukkan hasil simulasi permodelan stabilitas lereng bendungan mendapatkan beberapa kondisi dimana $FK_{hitung} < FK_{ijin}$. Hal ini menunjukkan bahwa lereng bendungan berpotensi mengalami kerusakan dan keruntuhan.

Secara tinjauan keseluruhan nilai faktor keamanan (FK) pada bagian hulu dan hilir, dengan beban gempa OBE maupun MDE. Pada bagian hilir untuk kondisi tanpa beban gempa maupun dengan beban gempa OBE dan MDE memiliki nilai faktor keamanan (FK) yang relatif lebih kecil dibandingkan bagian hulu. Hal ini dikarenakan pada bagian hilir bendungan memiliki tekanan yang tinggi pada saat volume muka air bendungan bertambah. Hal ini juga disebabkan oleh material tubuh bendungan yang jenuh air sehingga berat jenisnya semakin bertambah, sehingga kestabilan lereng bagian hilir semakin berkurang.

Berdasarkan hasil analisis kestabilan lereng yang sudah dilakukan nilai faktor keamanan (FK) hasil perhitungan pada kondisi tanpa gempa dan dengan kondisi gempa OBE nilai FK telah memenuhi syarat, namun pada kondisi Gempa MDE tidak memenuhi FK minimum standar regulasi, sehingga perlu dilakukan penelitian selanjutnya dengan metode yanglainnya.

PENUTUP

Berikut kesimpulan dari hasil analisis pengaruh rembesan dan kegempaan terhadap stabilitas lereng bendungan pada studi kasus Bendungan Way Sekampung adalah sebagai berikut:

1. Hasil dari analisis SEEP/W pada kondisi muka air banjir (MAB + 125.73 mdpl) dan kondisi muka air normal (MAN + 124.00 m) didapat nilai FK_{hitung} lebih besar dari $FK_{ijin} \geq 4$ terhadap *piping* Dengan demikian, Bendungan Way

Sekampung dikatakan aman terhadap *piping*

2. Pada kondisi pembebanan gempa OBE pada ragam variasi kondisi pada lokasi hulu dan hilir bendungan, untuk tiap variasi koefisien gempa pada kedalaman dari puncak bendungan (Y/H), didapatkan Nilai $FK_{hitung} > FK_{ijin}$ yang menunjukkan bahwa kondisi stabilitas lereng pada Bendungan Way Sekampung, aman.
3. Pada kondisi pembebanan gempa MDE pada ragam variasi kondisi pada lokasi hulu dan hilir bendungan, untuk tiap variasi koefisien gempa pada kedalaman dari puncak bendungan (Y/H), didapatkan hasil simulasi permodelan stabilitas lereng bendungan pada beberapa kondisi dihasilkan $FK_{hitung} < FK_{ijin}$. Hal ini menunjukkan bahwa lereng bendungan berpotensi mengalami kerusakan dan keruntuhan didapatkan. Nilai $FK_{hitung} < FK_{ijin}$ yang menunjukkan bahwa kondisi stabilitas lereng pada Bendungan Way Sekampung, tidak aman.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis mengucapkan terimakasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penulisan hasil penelitian ini yakni dari Balai Wilayah Sungai (BBWS) Mesuji - Sekampung

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, T.C., Gunawan, W, Santosa, S., dan Sidarto. 2010. *Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera*, Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi. Indonesia.
- Badan Standardisasi Nasional, 2016a. *SNI 8064-2016 tentang Metode Analisis Stabilitas Lereng Statik Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: BSN.
- Badan Standardisasi Nasional, 2016b. *SNI 8065-2016 tentang Metode Analisis Dan Cara Pengendalian Rembesan Air Untuk Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta: BSN.
- BBWS Mesuji Sekampung, 2015. *Laporan Geologi Pekerjaan Penyempurnaan Desain Regulating Dam Way Sekampung*. Bandar Lampung:

- Direktorat Jenderal Sumber Daya Air, Kementerian Pekerjaan Umum.
- Chopra, A. K., 1995. *Theory and Applications to Earthquake Engineering*. New Jersey: Prentice - Hall.
- Departemen Pemukiman Dan Prasarana Wilayah., 2004. *Analisis Stabilitas Bendungan Tipe Urugan Akibat Beban Gempa*. Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2012. *Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran*. Jakarta
- Fata, Y. A., & Suhartanto, E., 2018. *Analisis Stabilitas Lereng Bendungan Sutami Berdasarkan Peta Gempa 2017*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Pengairan, 1.
- GEO-SLOPE International, Ltd., 2012b. *Seepage Modeling with SEEP/W*. Calgary: GEO-SLOPE International Ltd.
- Hardiyatmo, H. C., 2012. *Longsor dan Erosi (Kejadian dan Penanganan)*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- Imron, A., Sarah, D., Hardiyati, S., & Sadono, K. W., 2017. *Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng Terhadap Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, Dan Beban Gempa*. Jurnal Karya Teknik Sipil, 6, 83–90.
- Maretha, L., Darsono, S., Sadono, K. W., 2020. *Analisis Stabilitas Dan Keamanan Bendungan Ciawi (dry dam) Di Provinsi Jawa Barat*. Rang Teknik Journal Vol. 3 No.2 Juni 2020:UMSB.
- Saragih, F.V., 2021. *Analisis Geoteknik Terhadap Kestabilan Tubuh Bendungan Akibat Rembesan Pada Lokasi Bendungan Lau Simeme Dengan Program Plaxis V.8.6*. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Tanjung, M. I., Sari, R. N., & Ghafara, R., 2018. *Screening analysis stabilitas lereng bendungan urugan akibat gempa di Indonesia*. Jurnal Teknik Hidraulik, 8(1), 43–56.
- Tata Guna Patria, PT, KSO, 2019a. *Analisis Resiko Kebencanaan Geologi Dan Kestabilan Lereng Pada Lereng Spillway*. Bandar Lampung.
- Tata Guna Patria, PT, KSO, 2019b. *Analisa Keamanan Bendungan*. Bandar Lampung.
- U.S Army Corps of Engineering. ,1993. *Seepage Analysis And Control for Dams. Em-1110-2-1901*. Washington DC.