

Pengaruh Bentuk Inti Bendungan Urugan Terhadap Potensi Rembesan dan Stabilitas Gempa

Received 24th July 2021
Accepted 29th July 2021
Published 31st July 2021

Open Access

Julita Hayati^{*a}, Afif Nur Hani^a, Rahmat Kurniawan^a, Andius Dasa Putra^b, Erdina Tyagita Utami^a

^a Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Sumatera, Lampung

^b Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung, Lampung

*Koresponden E-mail: julita.hoyati@si.itera.ac.id

Abstract: Generally, Earth dam is designed to store the water as daily water supply and flood disaster prevention. Earth dam has large number of waters to retained so that stability of earth dam failure risk needs to be evaluated in order to avoid structural failure. Generally, earth dam failure risk caused due to seepage potential and earthquake. Therefore, in this research, analysis of failure due to seepage potential and earthquake induce instability is processed for three kind of core shapes in order to obtain effective and safe earth dam geometry. Preliminary analysis shows L core shape produces smallest seepage flow rate and rom piping analysis safety factor, vertical core shape will have highest value. In static condition, all of core shape are met the stability requirement. Slope stability of operation based earthquake (OBE), all of core shape also accomplish to over the minimum safety factor. Meanwhile in stability analysis of earth dam due to maximum design earthquake, all of core shape have safety factory below the requirement, however deformation of the crest using method proposed by Makdisi – Seed. The deformation of the crest is 42,741 cm and still fit to the criteria.

Keywords: earth dam, seepages, operation based earthquake, maximum design earthquake

Abstrak: Pada umumnya bendungan direncanakan untuk menampung air sebagai penyalur air baku dan pengendali banjir. Bendungan memiliki kapasitas yang besar dalam menampung air sehingga kestabilan bendungan terhadap bahaya perlu dievaluasi agar menghindari terjadi kegagalan struktur. Potensi bahaya bendungan umumnya disebabkan oleh rembesan dan gempa. Oleh karena itu pada penelitian ini, analisis terhadap potensi tersebut dilakukan untuk mengkaji bentuk yang efektif dan aman dari tiga variasi bentuk inti bendungan. Analisis rembesan yang dilakukan menunjukkan bahwa rembesan paling kecil terjadi pada bentuk inti bendungan siku dan analisis potensi erosi buluh menunjukkan bahwa bentuk inti bendungan tegak vertikal memberi angka keaman yang paling tinggi. Pada kondisi statik didapatkan bahwa lereng aman terhadap keruntuhan pada semua bentuk inti. Pada kondisi gempa operasi (OBE) juga didapatkan bahwa lereng aman terhadap keruntuhan pada semua bentuk inti namun pada kondisi beban gempa maksimum (MDE), faktor keamanan lereng lebih rendah dibanding faktor keamanan syarat sehingga dilakukan analisis alihan tetap dengan menggunakan metode dari Makdisi -Seed untuk mengetahui deformasi yang terjadi selama beban gempa maksimum terjadi. Hasil analisis menunjukkan deformasi yang terjadi sebesar 42,741 cm dan masih memenuhi syarat.

Kata Kunci: bendungan, rembesan, gempa operasi, gempa maksimum

Pendahuluan

Bendungan urugan tanah merupakan konstruksi yang digunakan untuk menahan dan menampung air yang terbuat dari timbunan tanah dan batuan. Terdapat dua kriteria stabilitas yang umumnya harus dipenuhi dalam perencanaan geometri bendungan urugan tanah yaitu potensi rembesan dan stabilitas lereng timbunan baik secara keseimbangan

statik maupun dinamik [1]. Beberapa peneliti yang telah menganalisis geometri bendungan yaitu, Dewa [2] menganalisis stabilitas tubuh bendungan Lolak dengan bentuk inti tegak terhadap tinggi muka air tampungan. Faktor keamanan stabilitas tubuh bendungan yang ditinjau untuk kondisi muka air normal, kosong, surut tiba-tiba dan muka air banjir masih cukup aman dari hasil penilitan yang dilakukan. Sarah [3] juga menganalisis bendungan Gongseng dengan tipe inti tegak, Analisis dilakukan untuk mengetahui

keamanan bendungan terhadap potensi rembesan, beban gempa dan juga stabilitas lereng. Hasil dari penelitian terhadap keamanan bendungan menunjukkan bahwa pada kondisi beban gempa, bendungan aman namun terhadap potensi rembesan, faktor keamanan tidak memenuhi kriteria. Untuk meningkatkan faktor keamanan terhadap erosi buluh (*piping*) perlu dilakukan *grouting* pada sisi bendungan dan juga dapat memperkecil debit rembesan yang akan terjadi. Banyak penelitian mengenai stabilitas tubuh bendung urugan hanya didasarkan bentuk inti tegak, sedangkan pengaruh bentuk inti lain belum banyak dikaji terhadap potensi rembesan dan stabilitas akibat gempa. Oleh karena itu penelitian ini dapat dijadikan referensi dalam pemilihan tipe inti bendung yang efektif dan aman terhadap kriteria perencanaan sesuai standar yang berlaku di Indonesia.

Bendungan daerah Sungai Tondano Kabupaten Minahasa Utara dan berada di Provinsi Sulawesi Utara adalah bendungan yang di analisis potensi bahaya akibat beban gempa dan rembesan. Secara umum bendungan memiliki kapasitas tampungan total $23,37 \times 10^6 \text{ m}^3$, tinggi bendungan 67 m, lebar puncak 11 m, elevasi puncak 106 meter di atas permukaan laut (mdpl), dan panjang bendungan 345 m. Data elevasi muka air tampungan yaitu muka air banjir 102,2 mdpl, muka air normal 100 mdpl, muka air surut atau terendah 87,1 mdpl. Pasau dan Tanauma [4] dalam penelitiannya menyebutkan bahwa Sesar Gorontalo, Sulu Thrust, Subduksi Sulawesi Utara, dan *Molluca sea collition* saat ini kondisi masih aktif. Berdasarkan analisis bahaya yang pernah dilakukan, percepatan maksimum (PGA) Sulawesi Utara berada pada rentang 0,05 - 0,6 g untuk periode ulang 475 tahun. Oleh karena itu, analisis stabilitas bendungan terhadap bahaya akibat rembesan dengan memperhatikan bahaya akibat beban gempa dilakukan sebagai upaya menghasilkan struktur bendungan yang aman dan menghindari terjadinya keruntuhan atau kegagalan struktur.

Metode

Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak *SLIDE v6.0*. Keamanan bendungan akan dianalisis terhadap beberapa bahaya yaitu rembesan dan gempa. Parameter tanah bendungan didapat dari pengujian laboratorium material timbunan yang meliputi material lempung sebagai timbunan inti bendungan, batu acak dan beberapa material lain.

Tabel 1 dan Tabel 2 merupakan rangkuman parameter material timbunan bendungan dan parameter tanah dasar yang berupa berat jenis kering (γ_d), berat jenis jenuh (γ_{sat}),

sudut geser total (ϕ), sudut geser efektif (ϕ'), kohesi total (c), kohesi efektif (c'), dan koefisien permeabilitas (k).

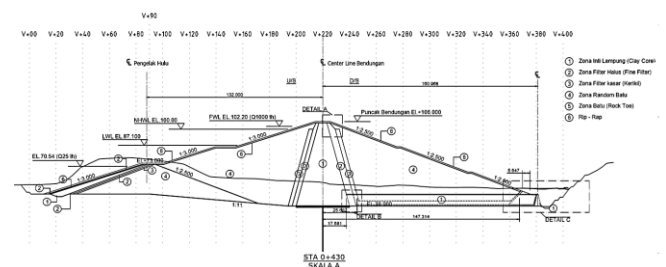
Tabel 1. Parameter Material Timbunan Bendungan

Material	Parameter						
	γ_d kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ϕ °	ϕ' °	c kN/m ²	c' kN/m ²	k cm/dt
Inti Lempung	13,2	17,8	14	17	31	29	10^{-6}
Filter Halus	11,8	12,6	-	29	-	0,5	5×10^{-2}
Filter Kasar	17	18,5	-	35	-	0,5	10^{-1}
Batu Acak	18,5	19,1	-	38,5	-	6,5	5×10^{-3}
Rip-Rap	19	20	-	40	-	0	10^{-1}
Batuan Pondasi	12,1	15,8	-	21,6	-	233,36	10^{-4}

Tabel 2. Parameter Material Dasar

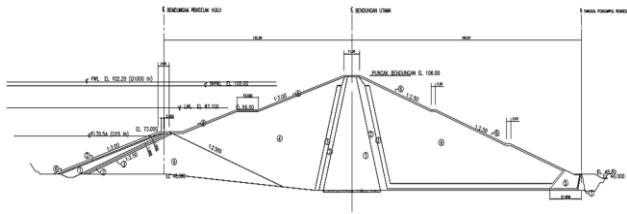
Material	Parameter						
	γ_d kN/m ³	γ_{sat} kN/m ³	ϕ °	ϕ' °	c kN/m ²	c' kN/m ²	k cm/dt
Lapisan Sedimen	12,1	15,8	-	21,6	-	233,36	10^{-4}
Lapisan Pasir	14,8	18,8	-	21	-	270	10^{-4}
Lempung	13,2	17,2	-	12	-	20	10^{-6}
Batu Pasir	13,3	17,3	-	26	-	430	10^{-6}
Tufa Lapili	15,5	19,5	-	23	-	550	10^{-6}
Tufa berpasir	15,9	19,9	-	27	-	300	10^{-6}

Pada penelitian ini, bentuk inti bendungan yang digunakan dalam analisis yaitu inti siku, inti tegak, dan inti miring. Untuk menganalisis rembesan dan stabilitas lereng, muka air divariasikan sesuai kondisi saat normal, banjir, dan rendah. Kapasitas rembesan dibatasi kurang dari 1% debit rata-rata sungai.

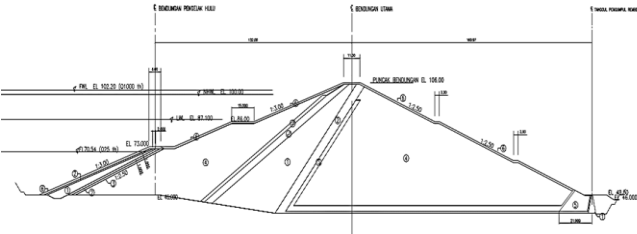


Gambar 1. Bentuk Inti Bendungan Siku

Metode perhitungan faktor keamanan (FS) stabilitas lereng bendungan didasarkan pada prinsip kesetimbangan batas metode Morgenstern-Price. Hasil dari kesetimbangan setiap gaya-gaya normal dan momen yang bekerja pada tiap irisan dari bidang kelongsoran lereng yang dianalisis merupakan proses analisis yang digunakan pada metode ini [5,6].



Gambar 2. Bentuk Inti Bendungan Tegak



Gambar 3. Bentuk Inti Bendungan Miring

Stabilitas akibat gempa dilakukan dengan metode *Pseudo-Static* yang mana terdapat beban horizontal didasarkan pada percepatan gempa [7]. Faktor keamanan yang dihasilkan harus lebih besar atau sama dengan faktor keamanan izin. Dalam analisis digunakan kriteria gempa dasar operasi (OBE) dan gempa desain maksimum (MDE) dengan periode ulang masing-masing yaitu 100-200 tahun dan 10.000 tahun.

Hasil dan Diskusi

Analisis Rembesan Melalui Tubuh Bendungan

Analisis rembesan dilakukan pada ketiga bentuk inti untuk mengetahui besar debit rembesan yang dihasilkan dari masing-masing bentuk inti. Hasil analisis menunjukkan besar debit rembesan tidak melebihi debit yang disyaratkan yaitu 1% dari debit tahunan rata-rata aliran sungai yang mengisi bendungan [8], sehingga bendungan aman terhadap potensi rembesan yang berlebih. Dari ketiga bentuk inti, bentuk inti siku menghasilkan debit paling rendah yaitu sebesar 0,00295 m³/s terdapat pada Gambar 4 dan Tabel 3.

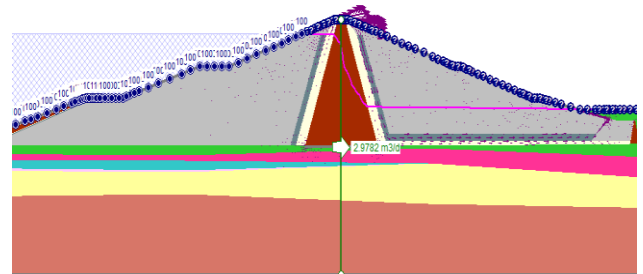
Analisis Terhadap Erosi Buluh (*Piping*)

Pada analisis ini juga dilakukan perhitungan terhadap potensi erosi buluh (*piping*) pada ketiga inti bendungan untuk mencegah terjadinya keruntuhan karena pengaruh gradien hidraulik keluaran yang berlebih. Faktor keamanan (FS) didapatkan dari hasil bagi gradien hidraulik kritis (*i_{cr}*) dan gradien hidraulik keluaran (*i_{exit}*). Ketiga inti bendungan menunjukkan hasil yang aman terhadap bahaya erosi buluh dengan FS minimum 2 untuk bendungan yang dilengkapi

filter pelindung sesuai dengan yang tercantum pada pedoman yang berlaku [9].

Tabel 3. Keamanan terhadap Debit Rembesan

Bentuk Inti	Debit rembesan (m ³ /s/m)	Lebar Bendungan (m)	Debit rembesan (m ³ /s)	Debit syarat (m ³ /s)	Keterangan
Siku	8,542x10 ⁻⁶	345	0,00295	0,09	Aman
Tegak	3,447x10 ⁻⁵	345	0,01189	0,09	Aman
Miring	7,889x10 ⁻⁵	345	0,02722	0,09	Aman



Gambar 4. Debit Rembesan yang terjadi pada bentuk inti siku

Tabel 4. Faktor Keamanan Bendungan terhadap Erosi Buluh (*Piping*)

Bentuk Inti	<i>i_{cr}</i>	<i>i_{exit}</i>	FS	Keterangan
Siku	0,810	0,4	2,026	Aman
Tegak	0,810	0,25	3,242	Aman
Miring	0,810	0,32	2,533	Aman

Analisis Stabilitas Lereng Kondisi Statik (Tanpa Pengaruh Beban Gempa)

Pada kondisi statik, stabilitas lereng bendungan dihitung berdasarkan prinsip *Morgenstern-Price* Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk kondisi muka air yaitu normal, surut tiba-tiba dan banjir serta kondisi setelah konstruksi. Tabel 5 menunjukkan faktor keamanan lereng bendungan pada sisi hulu dan hilir untuk kondisi statik.

Tabel 5. Faktor Keamanan Bendungan Kondisi Statik

Bentuk Inti	Kondisi	FS izin	Morgenstern-Price	
			Hulu	Hilir
Siku	Setelah Konstruksi	1,3	2,598	1,911
	Muka Air Normal	1,5	2,736	1,636
	Muka Air Banjir	1,3	2,767	1,375
	Surut Mendadak	1,2	2,399	-
Tegak	Setelah Konstruksi	1,3	2,604	2,810
	Muka Air Normal	1,5	2,612	2,513
	Muka Air Banjir	1,3	2,612	2,506
	Surut Mendadak	1,2	2,418	-
Miring	Setelah Konstruksi	1,3	3,035	2,863
	Muka Air Normal	1,5	2,484	2,568
	Muka Air Banjir	1,3	2,479	2,557
	Surut Mendadak	1,2	1,938	-

Dari hasil analisis pada kondisi statik didapatkan bahwa faktor keamanan (FS) lereng bendungan masih memenuhi

kriteria. Pada sisi hulu, kondisi surut mendadak menghasilkan faktor keamanan terendah untuk bentuk inti miring. Namun pada sisi hilir, kondisi muka air banjir yang menghasilkan faktor keamanan terendah untuk bentuk inti siku.

Analisis Stabilitas Lereng dengan Pengaruh Gempa

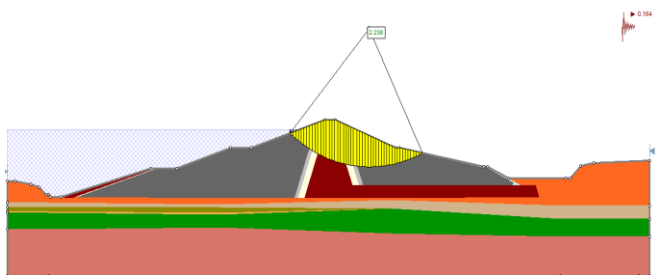
Berdasarkan perhitungan kelas resiko bendungan maka analisis stabilitas terhadap pengaruh gempa harus ditinjau pada kondisi gempa dasar operasi (OBE) dan kondisi gempa desain maksimum (MDE). Analisis stabilitas lereng kondisi gempa dihitung dengan besar percepatan sebagai berikut.

Table 6. Nilai Percepatan Kondisi Gempa

Periode ulang (tahun)	K _s pada y/H			
	0,25	0,50	0,75	1,0
100 (OBE)	0,197	0,164	0,150	0,135
10.000 (MDE)	0,619	0,517	0,471	0,426

Berdasarkan pedoman analisis dinamik bendungan urugan tahun 2008 [10], konstanta percepatan gempa horizontal (K_s) akan berbeda pada variasi jarak kedalaman bidang longsor asumsi terhadap tinggi total bendungan (y/H) sehingga perlu dianalisis pada empat lokasi y/H, seperti yang terdapat pada Tabel 7.

Hasil analisis stabilitas lereng ditunjukkan pada Gambar 5 dan Tabel 7. Pada bentuk inti siku, kondisi muka air banjir menghasilkan FS terkecil yaitu 1,734 dengan y/H = 1,0 disisi hilir sedangkan pada kondisi muka air normal dihasilkan FS terkecil untuk kedua bentuk inti yaitu miring dan tegak. Namun faktor keamanan yang dihasilkan masih memenuhi kriteria yaitu kurang dari 1,2. Oleh karena itu dapat disimpulkan bahwa ketiga bentuk inti bendungan memiliki kestabilan lereng sisi hulu dan hilir pada kondisi beban gempa OBE.



Gambar 5. Stabilitas Lereng dengan Pengaruh Gempa OBE pada Bagian Hilir

Table 7. Faktor Keamanan Bendungan Kondisi Gempa OBE

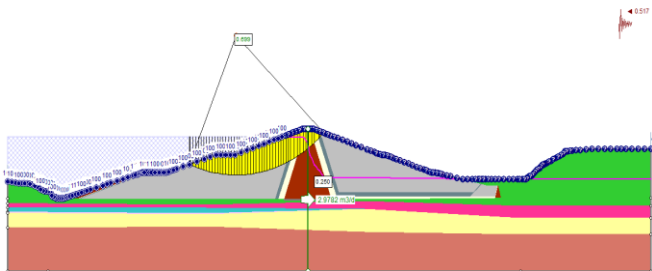
Bentuk Inti	Kondisi	y/H	FS izin	Morgenstern-Price	
				Hulu	Hilir
Siku	Setelah Konstruksi	0,25	1,2	3,549	2,535
		0,5		4,100	2,531
		0,75		4,23	4,051
		1,0		5,369	3,488
	Muka Air Normal	0,25	1,2	2,924	2,389
		0,5		3,885	2,271
		0,75		3,874	2,258
		1,0		5,430	1,820
	Muka Air Banjir	0,25	1,2	2,979	2,251
		0,5		4,345	2,192
		0,75		4,282	2,137
		1,0		6,071	1,734
Tegak	Setelah Konstruksi	0,25	1,2	1,971	1,993
		0,5		2,334	2,438
		0,75		2,526	2,162
		1,0		2,667	2,421
	Muka Air Normal	0,25	1,2	1,485	1,993
		0,5		1,703	2,209
		0,75		1,918	1,945
		1,0		2,325	1,779
	Muka Air Banjir	0,25	1,2	1,504	1,961
		0,5		1,761	2,138
		0,75		1,979	1,906
		1,0		2,378	1,738
Miring	Setelah Konstruksi	0,25	1,2	1,71	2,117
		0,5		1,789	1,905
		0,75		2,035	2,192
		1,0		2,183	2,436
	Muka Air Normal	0,25	1,2	1,518	2,117
		0,5		1,612	1,905
		0,75		1,774	1,754
		1,0		1,792	1,892
	Muka Air Banjir	0,25	1,2	1,682	2,161
		0,5		1,845	1,924
		0,75		1,939	1,749
		1,0		1,890	1,883

Hasil analisis stabilitas beban gempa MDE ditunjukkan pada Tabel 8 dan Gambar 6. Pada analisis stabilitas lereng bendungan kondisi beban gempa MDE didapatkan bahwa faktor keamanan (FS) belum memenuhi kriteria, sehingga perlu dilakukan perhitungan alihan tetapnya untuk mengestimasi deformasi yang terjadi.

Table 8. Faktor Keamanan Bendungan Gempa MDE

Bentuk Inti	Kondisi	y/H	FS izin	Morgenstern-Price	
				Hulu	Hilir
Siku	Muka Air Normal	0,25	1,0	0,802	0,901
		0,50		0,870	0,998
		0,75		0,827	0,962
		1,0		0,972	0,805
	Muka Air Banjir	0,25	1,0	1,06	1,071
		0,50		1,178	1,172
		0,75		1,291	0,918

Bentuk Inti	Kondisi	y/H	FS izin	Morgenstern-Price	
				Hulu	Hilir
Tegak	Muka Air Normal	1,0	1,0	1,436	0,782
		0,25		0,678	0,93
		0,50		0,785	1,098
		0,75		0,81	1,014
	Muka Air Banjir	1,0		0,988	0,936
		0,25		0,654	0,908
		0,50		0,799	1,083
		0,75		0,815	1,001
Miring	Muka Air Normal	1,0	1,0	0,996	0,923
		0,25		0,767	0,986
		0,50		0,727	0,947
		0,75		0,729	0,974
	Muka Air Banjir	1,0		0,63	0,975
		0,25		0,779	0,975
		0,50		0,746	0,935
		0,75		0,753	0,974
		1,0		0,654	0,987



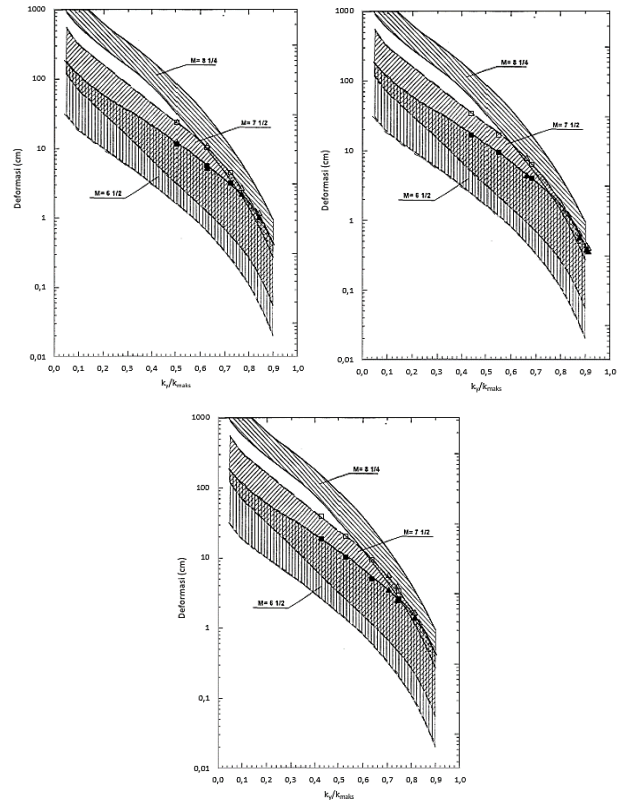
Gambar 6. Stabilitas Lereng dengan Pengaruh Gempa MDE pada Bagian Hulu

Deformasi Puncak dengan Metode Alihan Tetap Makdisi-Seed

Perhitungan alihan tetap ini dilakukan karena faktor keamanan kondisi gempa MDE lebih kecil dari 1. Besaran *magnitude* dalam analisis ini yaitu 6,5 dan 7,5 berdasarkan Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia tahun 2017 untuk sesar terdekat [11]. Perhitungan ini untuk kondisi aliran *steady state* disaat kondisi muka air normal.

Metode Makdisi-Seed membutuhkan konstanta k_{maks} yang didapatkan dari analisis spektrum percepatan gempa dan grafik hubungan deformasi terhadap k_y/k_{maks} , nilai k_y didapatkan dari koefisien gempa horizontal saat faktor keamanan (FS) sama dengan 1 (satu). Deformasi yang terjadi akibat gempa MDE digambarkan dengan titik kotak pada Gambar 7. Deformasi terbesar yang dihasilkan dari perhitungan alihan tetap adalah 42,741 cm saat *magnitude* momen sebesar 7,5. Nilai deformasi terbesar yang terjadi tidak melebihi deformasi yang disyaratkan yaitu 300 cm (< setengah tinggi jagaan). Hal ini menunjukkan bahwa jika

terjadi gempa MDE maka bendungan hanya akan mengalami kerusakan tanpa terjadi keruntuhan.



Gambar 7. Deformasi yang terjadi Akibat Beban Gempa MDE pada Setiap Bentuk Inti

Kesimpulan

Setelah dilakukan analisis bahaya rembesan dan beban gempa terhadap stabilitas lereng bendungan maka kesimpulan yang didapatkan sebagai berikut:

1. Debit rembesan pada ketiga inti bendungan tidak lebih besar dari 0,09 m³/s (1% dari debit tahunan rata-rata aliran sungai yang mengisi bendungan). Debit rembesan terkecil yaitu sebesar 0,00295 m³/s terjadi pada bentuk inti asli bendungan.
2. Hasil analisis keamanan bendungan terhadap erosi buluh pada ketiga bentuk inti bendungan menunjukkan bendungan aman terhadap erosi buluh (*piping*). Faktor keamanan sebesar 3,242 pada bentuk inti bendungan tegak vertikal lebih besar dari FS ijin 2 (bendungan yang dilengkapi filter).

3. Secara stabilitas lereng, bendungan aman pada kondisi statik dan kondisi gempa OBE terhadap bahaya keruntuhan. Faktor keamanan yang dihasilkan tidak melebihi syarat faktor keamanan yang ditentukan. Namun pada kondisi gempa MDE hasil analisis menunjukkan faktor keamanan kurang dari 1,0 sehingga perlu dilakukan perhitungan untuk mengetahui besar deformasi yang terjadi akibat beban gempa MDE menggunakan metode Makdisi – Seed.
4. Besar deformasi maksimum dari perhitungan alihan tetap adalah 42,741 cm pada bagian hulu dengan *magnitude* momen sebesar 7,5. Deformasi yang terjadi selama beban gempa maksimum masih memenuhi kriteria sehingga apabila terjadi gempa desain maksimum, maka bendungan tidak akan mengalami keruntuhan namun hanya akan mengalami kerusakan.

- [10] Direktorat Jenderal Sumber Daya Air. *Analisis Dinamik Bendungan Urugan*, 2008.
- [11] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia*, 2017.

Konflik Kepentingan

Tidak terdapat konflik kepentingan dalam tulisan ini.

Ucapan Terima Kasih

Ucapan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah mendukung dalam kegiatan dan penyusunan tulisan ini.

Referensi

- [1] R. Fell, R., et all. *Geotechnical Engineering of Dams*. CRC Press, 2015.
- [2] G. Dewa. *Analisa Stabilitas Tubuh Bendungan Lolak Kabupaten Bolaang Mongondow Sulawesi Utara*. Skripsi. Fakultas Teknik. Teknik Pengairan. Universitas Brawijaya, 2014.
- [3] D. Sarah, A. Imron, S. Hardiyati, & K. W. Sadono. *Analisa Geoteknik Bendungan Gongseng Terhadap Keamanan Rembesan, Stabilitas Lereng, Dan Beban Gempa*. Jurnal Karya Teknik Sipil 6.2, hal. 83-90, 2017.
- [4] G. Pasau, A. Tanauma. *Pemodelan Sumber Gempa Di Wilayah Sulawesi Utara Sebagai Upaya Mitigasi Bencana Gempa Bumi*. Jurnal Ilmiah Sains, FMIPA Universitas Sam Ratulangi, Manado, Indonesia, 2011.
- [5] Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. M. *Slope Stability and Stabilization Methods*. New York, John Wiley & Sons, Inc., 2002.
- [6] S. Syuhada, Z. Zakaria, R. Kurniawan, and E. Utami, "ANALISIS MODEL ELEMEN HINGGA PERKUATAN LERENG MENGGUNAKAN SOIL NAILING (STUDI KASUS: LERENG DAERAH LAHAT, SUMATERA SELATAN)", *FROPIL*, vol. 8, no. 1, pp. 36-45, Jun. 2020.
- [7] M. Xiao, D. Barreto. *Geotechnical Engineering Design*. West Sussex, John Wiley & Sons, Inc., 2015.
- [8] Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. *Pedoman Kriteria Umum Desain Bendungan*, 2003.
- [9] Direktorat Sungai Danau dan Bendungan. *Pedoman Pengendalian Rembesan Pada Bendungan Urugan*, 2005.