



EFEKTIVITAS COUNTERWEIGHT DALAM MENGATASI REMBESAN DAN UPLIFT PADA BENDUNGAN SADAWARNA

EFFECTIVENESS OF COUNTERWEIGHT IN OVERCOMING SEEPAGE AND UPLIFT IN SADAWARNA DAM

Mario Antoni Simanjuntak¹, Sriyana², Kresno Wikan Sadono³

^{1,2,3}Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Diponegoro

Email: riobwss@gmail.com

Received: 19 Januari 2026 Revised: 11 Februari 2026 Accepted: 25 Februari 2026 Published: 26 Februari 2026

ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan pada Bendungan Sadawarna yang menunjukkan indikasi rembesan dan tekanan uplift pada tubuh bendungan, sehingga diperlukan tindakan mitigasi melalui pembangunan counterweight sebagai upaya perkuatan. Studi ini bertujuan untuk mengevaluasi efektivitas counterweight dalam menurunkan debit rembesan dan meningkatkan stabilitas bendungan. Metode analisis yang digunakan meliputi evaluasi rembesan berdasarkan metode ambang batas, Seepage index, serta pemodelan numerik menggunakan SLOPE/W untuk mengkaji respons hidraulik dan stabilitas lereng setelah pemasangan counterweight. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa debit rembesan pada kondisi Elevasi Muka Air Maksimum (+84,00 m) berada jauh di bawah batas yang dipersyaratkan, yaitu 0,0015 liter/menit/meter dibandingkan nilai ambang 0,28 liter/menit/meter. Berdasarkan metode Seepage Index, nilai rembesan sebelum pemasangan counterweight adalah 1,3482 (>1), yang mengindikasikan potensi rembesan berlebih, sedangkan setelah pemasangan nilai turun menjadi 0,3391 (<1), menunjukkan kondisi aman. Hasil pemodelan SLOPE/W menguatkan bahwa perkuatan counterweight memberikan peningkatan signifikan pada stabilitas tubuh bendungan. Secara keseluruhan, penelitian ini menyimpulkan bahwa pemasangan counterweight efektif dalam mengendalikan rembesan, mengurangi risiko uplift, dan meningkatkan tingkat keamanan Bendungan Sadawarna.

Kata kunci: Bendungan Sadawarna, Counterweight, Rembesan, Seepage Index, SLOPE/W

ABSTRACT

This study was conducted at the Sadawarna Dam, which exhibited indications of seepage and uplift pressure within the dam body, necessitating mitigation measures through the construction of a counterweight as a reinforcement effort. The objective of this study is to evaluate the effectiveness of the counterweight in reducing seepage discharge and improving overall dam stability. The analytical methods employed include seepage evaluation using the threshold method, the Seepage Index, and numerical modeling with SLOPE/W to assess the hydraulic response and slope stability after counterweight installation. The evaluation results show that the seepage discharge under Maximum Water Level Elevation (+84.00 m) is significantly below the allowable limit, namely 0.0015 liters/minute/meter compared with the threshold value of 0.28 liters/minute/meter. Based on the Seepage Index method, the seepage value prior to counterweight installation was 1.3482 (>1), indicating potential excessive seepage, whereas after installation the value decreased to 0.3391 (<1), indicating a safe condition. The SLOPE/W modeling results further confirm that the counterweight reinforcement provides a substantial improvement in dam body stability. Overall, this study concludes that the installation of a counterweight is effective in controlling seepage, reducing uplift risk, and enhancing the safety level of the Sadawarna Dam.

Keywords: Counterweight, Sadawarna Dam, Seepage, Seepage Index, SLOPE/W

PENDAHULUAN

Beberapa faktor yang menjadi penyebab utama kegagalan bendungan yaitu limpasan (*overtopping*), rembesan (*seepage*), longsor (*slope stability*), dan penyebab lain (gempa, likuifaksi, sabotase, dan lain-lain) (Abramson dkk., 2002). Kegagalan bendungan yang terjadi dikarenakan oleh rembesan merupakan paling tinggi dibandingkan faktor lain yaitu sebesar 43% (Putra dkk., 2022). Adapun sekitar 80% kejadian kegagalan bendungan di Indonesia diakibatkan karena rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan maupun fondasi akibat sifat permeabilitas dari material tanah penyusunnya (Anggraini dkk., 2024). Balai Keamanan Bendungan melakukan penelitian terhadap 122 bendungan urugan di Indonesia, dan menyimpulkan bahwa terdapat 20% kasus kerawanan bendungan urugan dengan rincian 59% bendungan dengan usia operasi diatas 25 tahun, dan sisanya 41% bendungan dengan usia operasi dibawah 25 tahun (Nurnawaty dkk., 2018). Berdasarkan data-data di atas dapat disimpulkan bahwa salah satu penyebab kegagalan bendungan tipe urugan adalah terjadinya rembesan yang memicu terjadinya *piping* sehingga kestabilan dan keamanan bendungan menjadi terganggu. Oleh karena itu, guna mencegah rembesan yang dinilai membahayakan terjadinya keruntuhan bendungan maka diperlukan pemantauan dan evaluasi bendungan yang biasanya dilakukan dengan menggunakan instrumen *piezometer* pada tubuh bendungan dan instrument *V-notch* pada kaki hilir bendungan (*toe drain*) (Huda dkk., 2019). Rembesan yang terjadi dipengaruhi oleh koefisien permeabilitas material (k), gradien hidrolis (i), dan ketinggian muka air waduk (Δh) (Putra dkk., 2022).

Salah satu bendungan eksisting di Indonesia yang rawan terhadap masalah rembesan adalah Bendungan Sadawarna. Bendungan ini terletak di Desa Sadawarna, Kecamatan Cibogo, Kabupaten Subang,

Provinsi Jawa Barat dimana dalam perkembangan terakhir terjadi adanya masalah rembesan. Berdasarkan Pemantauan perilaku bendungan dan waduk dari inspeksi visual dan pengamatan instrumentasi secara berkala setelah pengisian awal waduk (*impounding*), dimana sebagai acuan adalah Pedoman Inspeksi Bendungan (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2015). Pemantauan Instrumentasi pada bendungan digunakan untuk mengevaluasi perilaku bendungan setelah pembangunan yakni setelah pengisian awal waduk untuk mengetahui jaminan keamanan bendungan. Pemantauan berdasarkan kondisi lapangan dan inspeksi berupa pembacaan instrumen yang diambil adalah aliran rembesan yang muncul pada permukaan lereng hilir kaki bendungan, *piezometer* pondasi, *piezometer* timbunan apakah data tersebut menunjukkan anomali yang memungkinkan akan timbulnya resiko bahaya terhadap lereng hilir Bendungan (Federal Emergency Management Agency, 2012). Untuk mengendalikan rembesan pada Bendungan Sadawarna, diperlukan langkah penanganan yang mampu menambah kestabilan struktur agar aliran rembesan tidak menimbulkan tekanan berlebih (Arisanto, 2020). Rembesan yang terus berlangsung dapat memicu kenaikan tekanan pori maupun gaya angkat (*uplift*) pada pondasi bendungan, sehingga berpotensi mengurangi faktor keamanan. Oleh karena itu, digunakan *Counterweight* sebagai solusi teknis untuk menekan rembesan dengan menambah beban secara langsung di area kritis. Pemasangan *Counterweight* ini membantu menurunkan gradien rembesan, memperpendek jalur aliran air, sekaligus meningkatkan stabilitas terhadap gaya angkat sehingga keandalan bendungan tetap terjaga.

METODE

1. Data Teknis Bendungan

Berikut adalah data teknis dari Bendungan Sadawarna (Balai Besar

Wilayah Sungai Citarum, 2018, 2022; PT Indra Karya, 1988).

- a. Pengelola: Balai Besar Wilayah Sungai Citarum
- b. Konsultan Desain: PT Tata Guna Patria
- c. Kontraktor : PT Wijaya Karya JO – PT Barata
- d. Konsultan Supervisi : PT Bina Karya KSO PT Indra Karya – PT Indah Karya – PT Budhi Cakra Konsultan – Nadiputra Pratama Engineering Consultant
- e. Sungai : Cipunegara
- f. Luas DAS : 342 km²
- g. Tipe bendungan: urugan tanah tipe Zonal Inti Tegak
- h. Tinggi bendungan: 40 m
- i. Lebar puncak bendungan: 929 m
- j. Elevasi puncak bendungan: +85.00 MDPL
- k. Elevasi dasar sungai: +45.00 MDPL

2. Instrumentasi *Piezometer* dan *V-notch*

Instrumentasi *piezometer* dan *V-notch* diperlukan untuk menentukan besarnya rembesan pada bendungan karena keduanya memberikan data langsung mengenai tekanan air pori dan debit aliran yang keluar dari tubuh maupun fondasi bendungan (Huda dkk., 2019). *Piezometer* memantau perubahan tekanan air di dalam bendungan sehingga dapat mengidentifikasi potensi zona jenuh dan jalur rembesan. Sementara itu, *V-notch* mengukur volume rembesan yang muncul di saluran pemantauan secara akurat. Kombinasi kedua instrumen ini memungkinkan evaluasi yang lebih tepat terkait kondisi rembesan, potensi bahaya, serta efektivitas tindakan perbaikan atau perkuatan yang dilakukan (Ardiansyah dan Sriyana, 2021).

3. Analisis Rembesan dengan Metode Ambang Batas

Metode ambang batas diperlukan untuk menentukan besarnya rembesan pada bendungan karena metode ini menyediakan

batas nilai aman yang menjadi acuan dalam menilai apakah rembesan masih berada pada kondisi normal atau sudah menunjukkan gejala ketidakstabilan. Dengan adanya ambang batas, data rembesan dari *piezometer* atau *V-notch* dapat dibandingkan secara sistematis sehingga perubahan kecil sekalipun dapat terdeteksi lebih awal. Metode ini membantu operator mengenali tren peningkatan rembesan yang berpotensi membahayakan, memicu *piping*, atau menurunkan kestabilan tubuh bendungan (Lastiasih dkk., 2023). Dengan demikian, metode ambang batas berfungsi sebagai alat pemantauan dini untuk mendukung keputusan teknis dan tindakan mitigasi secara cepat dan tepat (Das, 2010).

4. Metode *Seepage Index*

Metode *Seepage Index* diperlukan untuk menentukan besarnya rembesan pada bendungan karena metode ini mampu menilai rembesan secara kuantitatif dengan mempertimbangkan hubungan antara debit rembesan dan tinggi muka air waduk (Setyawati dkk., 2018). Dengan membandingkan nilai indeks terhadap batas kriteria >1 , metode ini dapat mengidentifikasi apakah rembesan berada pada kondisi normal atau menunjukkan pola yang tidak wajar. *Seepage Index* juga sensitif terhadap perubahan kecil pada debit rembesan, sehingga mampu memberikan peringatan dini terhadap potensi masalah seperti *piping* atau ketidakstabilan internal (Fauzi dkk., 2023). Dengan demikian, metode ini menjadi alat penting dalam evaluasi keselamatan bendungan secara lebih akurat dan terukur.

5. *Modelling Counterweight*

Modelling Counterweight diperlukan untuk menentukan besarnya rembesan pada bendungan karena pemodelan ini memungkinkan evaluasi perubahan pola aliran air dan distribusi tekanan pori setelah struktur penahan tambahan dipasang.

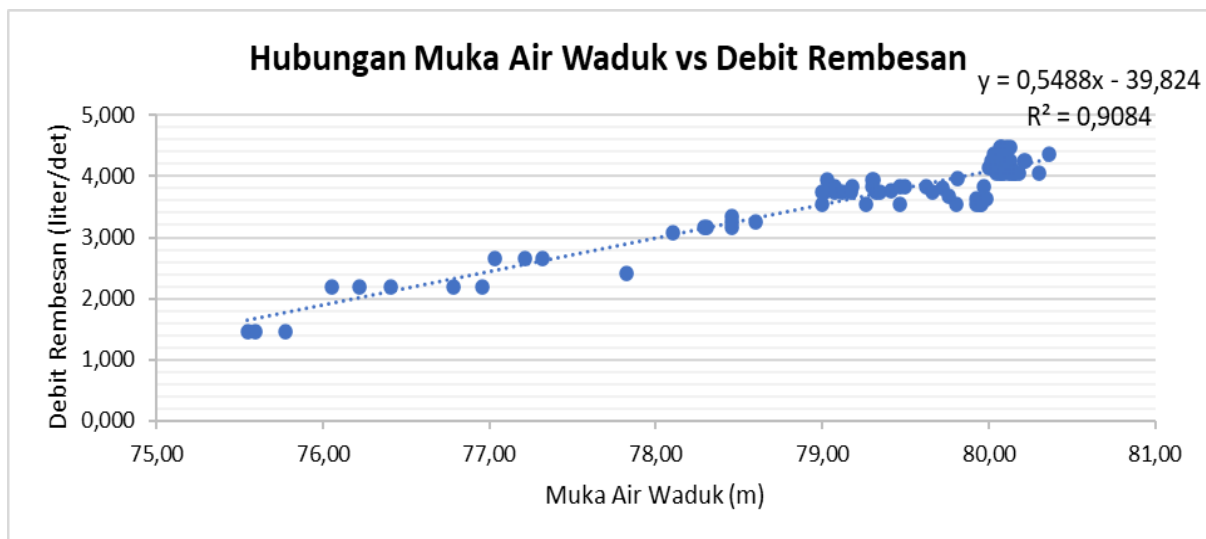
Efektivitas Counterweight Dalam (Simanjuntak/ hal. 186-195)

Dengan simulasi numerik, dapat dianalisis bagaimana *Counterweight* meningkatkan stabilitas tubuh bendungan, menurunkan gradien hidraulik, serta mengurangi potensi rembesan berlebih yang dapat memicu *piping* atau ketidakstabilan internal (Fell dkk., 2005). Pemodelan ini juga memberikan gambaran prediktif terhadap kinerja bendungan setelah perkuatan, sehingga keputusan teknis dapat dibuat berdasarkan data yang terukur dan akurat. Dengan demikian, *modelling Counterweight* menjadi langkah penting dalam memastikan bahwa upaya penanganan rembesan benar-benar efektif dan aman.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Hubungan Muka Air Waduk dengan Debit Rembesan

Nilai regresi sebesar 0,9084 menunjukkan hubungan yang sangat kuat antara muka air waduk dan debit rembesan pada *V-notch*, artinya semakin tinggi muka air, debit rembesan cenderung meningkat secara konsisten. Angka ini menandakan bahwa perubahan muka air waduk sangat mempengaruhi besarnya debit rembesan secara statistik dan hasil pengamatan bisa digunakan untuk prediksi dengan tingkat kepercayaan yang tinggi, Adapun grafiknya dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Hubungan Muka Air Waduk dan Debit Rembesan pada *V-notch*

2. Hasil Perhitungan Metode Ambang Batas

Dalam menganalisis rembesan pada bendungan, penggunaan metode ambang batas sangat diperlukan untuk menilai kondisi aman atau tidaknya debit rembesan yang terjadi. Metode ini membantu menentukan apakah nilai rembesan

melebihi batas kritis, sehingga memudahkan dalam pengambilan tindakan pencegahan dan menjaga keamanan bendungan dengan syarat minimal debit rembesan yang di izinkan sebesar 0,28 liter/menit/meter. Adapun hasil analisis metode ambang batas dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil Analisis Metode Ambang Batas

Elevasi MAW	Rembesan			Metode Ambang Batas (syarat <0.28 liter/menit/meter)
	liter/detik	liter/menit	liter/menit/meter	
Minimum 64.00	0,877	52,644	0.0009	Aman

Elevasi MAW		Rembesan			Metode Ambang Batas (syarat <0.28 liter/menit/meter)
		liter/detik	liter/menit	liter/menit/meter	
Normal	80.00	1,011	60,654	0.0011	Aman
Maksimum	84.00	1,350	80,970	0.0015	Aman

3. Hasil Perhitungan Seepage Index

Ada beberapa faktor yang menentukan debit rembesan diantaranya tinggi bendungan, panjang bendungan, kapasitas tampungan waduk, debit rata-rata tahunan, dan parameter permeabilitas. Besarnya rembesan kritis pada bendungan dapat menggunakan Indeks Rembesan (*Seepage Index*) dimana nilainya $Q_1 < 1$ (Novak dkk., 2007). Apabila nilai Indeks Rembesan kurang dari 1 artinya bendungan tersebut aman dari kebocoran. Adapun persamaan Indeks Rembesan dapat dilihat pada Persamaan (1).

$$Q_1 = \frac{q}{1000 A.i.k} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- Q₁ = Indeks Rembesan (*Seepage Index*)
- Q = Debit rembesan persatuan panjang bendungan (lt/detik/m)

- A = Luas penampang (m²)
- I = Koefisien *permeabilitas* inti bendungan (m/detik)
- K = Gradien hidraulik

Berdasarkan hasil analisis tekanan air pori di atas, dapat diketahui bahwa inti kedap air pada Bendungan Sadawarna bekerja sesuai dengan yang diharapkan dimana garis freatik tidak memotong bagian hilir tubuh bendungan. Dengan demikian, Bendungan Sadawarna masih aman terhadap rembesan. Berdasarkan data tekanan pori pada inti bendungan, selanjutnya dilakukan perhitungan gradien hidraulik untuk analisis Indeks Rembesan (*Seepage Index*). Hasil perhitungan gradien hidraulik dan *Seepage Index* sebelum pemasangan *Counterweight* dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Seepage Index* Sebelum Pemasangan *Counterweight*

No.	MAW (m)	Debit Rembesan V-notch (q) (L/dtk/m)	Luas Penampang (A) (m ²)	Koefisien Permeabilitas (k) (m/dtk)	Gradien Hidrolik (i)	<i>Seepage index</i> (Q _i)	Keterangan
1.	64	1.5547	17,670.00	0.00000001	6.99	1.258	Tidak Aman
2.	80	3.0072	22,320.00	0.00000001	10	1.3475	Tidak Aman
3.	84	5.3173	36,270.00	0.00000001	10.87	1.3482	Tidak Aman

Hasil perhitungan gradien hidraulik dan *Seepage Index* sebelum pemasangan

Counterweight dapat dilihat pada Tabel 3 sebagai berikut.

Tabel 3. Hasil Perhitungan *Seepage Index* Sesudah Pemasangan *Counterweight*

No.	MAW (m)	Debit Rembesan V-notch (q) (L/dtk/m)	Luas Penampang (A) (m ²)	Koefisien Permeabilitas (k) (m/dtk)	Gradien Hidrolik (i)	<i>Seepage index</i> (Q _i)	Keterangan
1.	64	0,8774	17,670.00	0.00000001	6.99	0,6972	Aman
2.	80	1,0109	22,320.00	0.00000001	10	0,4465	Aman

Efektivitas Counterweight Dalam (Simanjuntak/ hal. 186-195)

3.	84	1,3495	36,270.00	0.00000001	10.87	0,3391	Aman
----	----	--------	-----------	------------	-------	--------	------

4. Parameter Tanah

Parameter tanah sangat penting dalam analisis kestabilan lereng bendungan karena sifat-sifat seperti kohesi, sudut geser dalam, berat jenis, dan permeabilitas menentukan seberapa kuat tanah menahan gaya-gaya yang dapat memicu longsor. Data parameter tanah yang akurat memastikan hasil analisis stabilitas lereng realistis dan

aman terhadap berbagai kondisi beban serta tekanan air yang terjadi pada bendungan. Hal ini menjadi kunci utama untuk mencegah kegagalan lereng dan menjaga keselamatan struktur bendungan selama masa operasinya (Knappett dan Craig, 2019). Adapun parameter tanah dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Parameter Tanah Bendungan Sadawarna

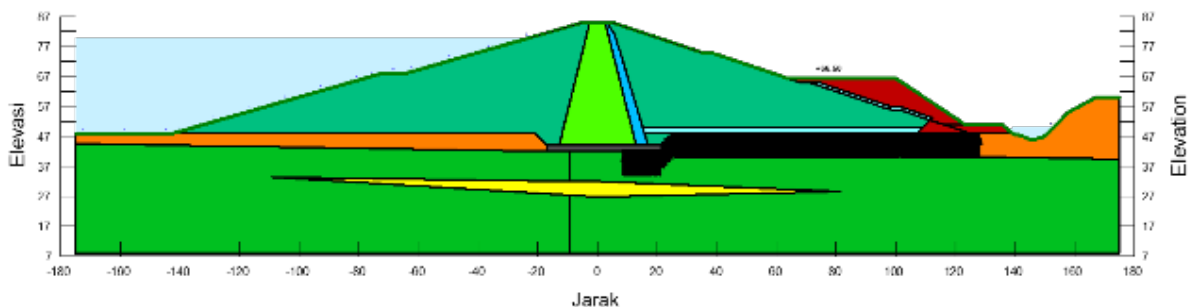
No.	Uraian	Zona	γ sat	γ wet	γ w	γ dry	Kadar Air (w)
			(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	(kN/m ³)	%
Urugan							
1.	Inti	1	17.000	19.000	2.000	17.273	0.100
2.	Filter halus (Pasir)	2	18.000	19.000	1.000	17.273	0.100
3.	Filter Kasar (Transisi)	3	20.000	20.000	0.000	18.182	0.100
4.	Urugan Random	4	17.500	18.000	0.500	16.364	0.100
5.	Rock toe	5	20.000	21.000	1.000	19.091	0.100
6.	Material Pondasi	Pondasi	29,000	29.000	0.000	26.364	0.100

5. Penanganan dengan Counterweight

Metode ini efektif untuk mengurangi tekanan *uplift*, menurunkan rembesan, dan meningkatkan stabilitas tubuh bendungan. *Counterweight* menambah beban eksternal di hilir bendungan sehingga memperbesar gaya penahan terhadap gaya angkat air dan tekanan rembesan. Dengan bertambahnya berat dan stabilitas, risiko terjadinya *piping*, erosi internal, dan ketidakstabilan lereng dapat diminimalkan. Oleh karena itu, *Counterweight* menjadi salah satu solusi yang cepat, aman, dan efisien untuk mengatasi permasalahan rembesan dan *uplift* pada bendungan.

6. Pemodelan SLOPE/W

SLOPE/W digunakan untuk menganalisis stabilitas lereng pada bendungan dan menentukan faktor keamanan (SF) terhadap risiko longsor secara akurat. Program ini penting karena mampu memodelkan berbagai kondisi tanah dan skenario beban yang kompleks sehingga hasilnya lebih andal dibanding perhitungan manual, serta jadi acuan utama dalam menjaga keselamatan struktur bendungan. Adapun pemodelan *SLOPE/W* dapat dilihat pada Gambar 2.

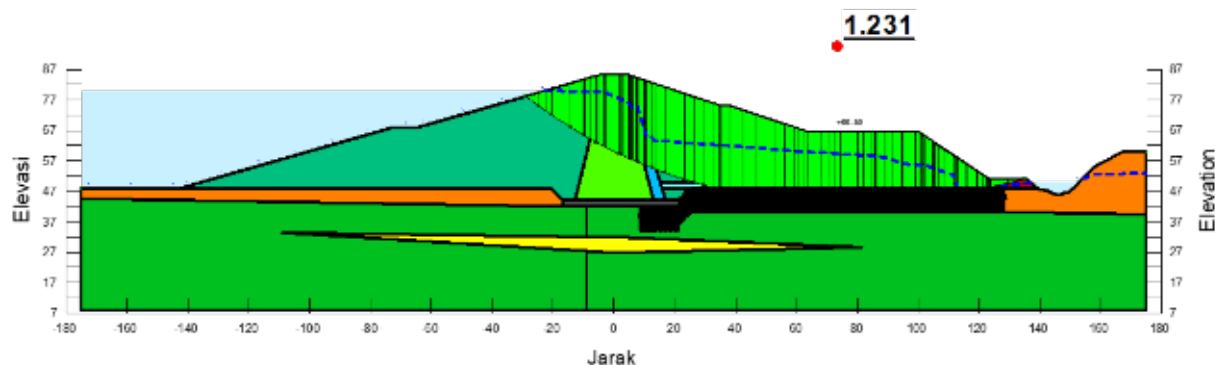


Efektivitas Counterweight Dalam (Simanjuntak/ hal. 186-195)

Gambar 2. Pemodelan *SLOPE/W*

Hasil *running* dari pemodelan yang dilakukan di program *SLOPE/W* dapat

dilihat pada Gambar 3 di bawah ini sebagai berikut.



Gambar 3. Hasil *Running SLOPE/W*

7. Perbandingan Rembesan Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Counterweight*

Berikut disajikan perbandingan rembesan sebelum dan sesudah pemasangan *Counterweight* pada Tabel 5 sebagai berikut.

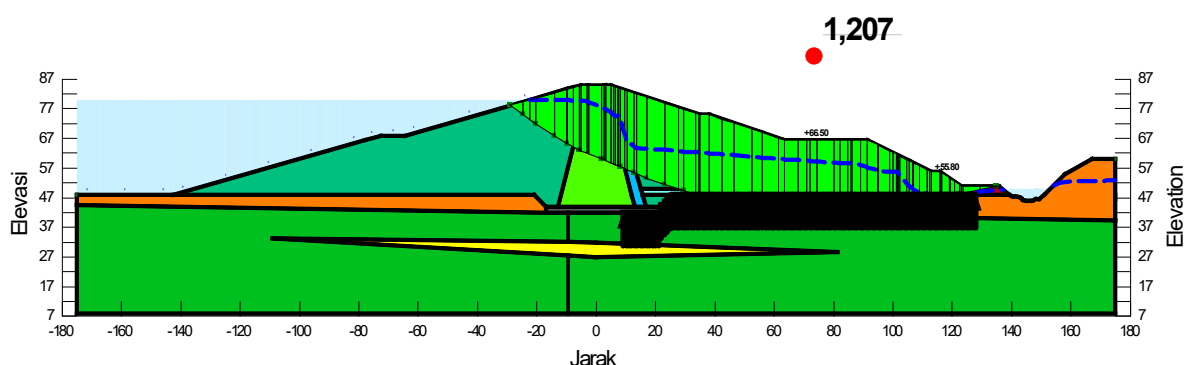
Tabel 5. Perbandingan Rembesan Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Counterweight*

No.	Kondisi <i>Seepage Index</i>	Sebelum <i>Counterweight</i>	Setelah <i>Counterweight</i>
1.	MAW 64 Minimum	1,2580 (Tidak Aman)	0,6972 (Aman)
2.	MAW 80 Normal	1,3475 (Tidak Aman)	0,4465 (Aman)
3.	MAW 84 Maksimal	1,3482 (Tidak Aman)	0,3391 (Aman)

8. Perbandingan *Safety Factor* (SF) Sebelum dan Sesudah Pemasangan *Counterweight*

Counterweight pada saat kondisi seismik (Gempa OBE) dapat dilihat pada Gambar 4 (BMKG, 2017).

Tabel perbandingan *Safety Factor* (SF) sebelum dan sesudah dipasang

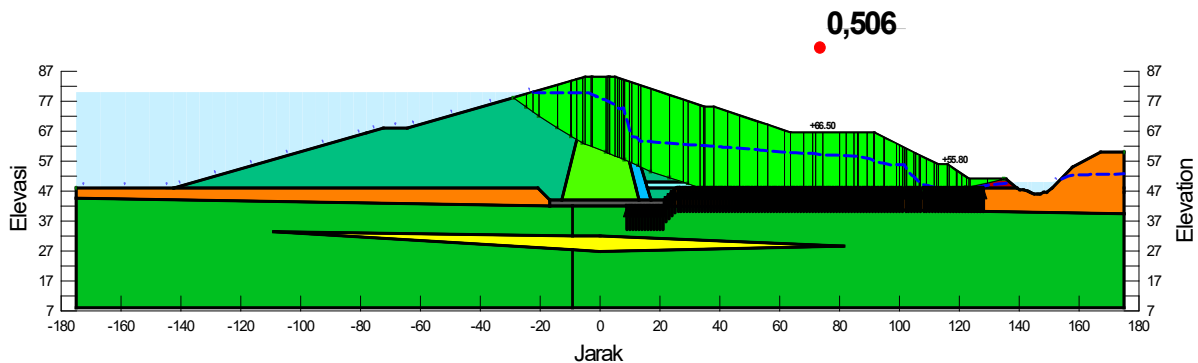


Gambar 4. *Safety Factor* Akibat Gempa OBE

Efektivitas Counterweight Dalam (Simanjuntak/ hal. 186-195)

Tabel perbandingan *Safety Factor* (SF) sebelum dan sesudah dipasang *Counterweight* pada saat kondisi seismik

(Gempa MDE) dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. *Safety Factor* Akibat Gempa MDE

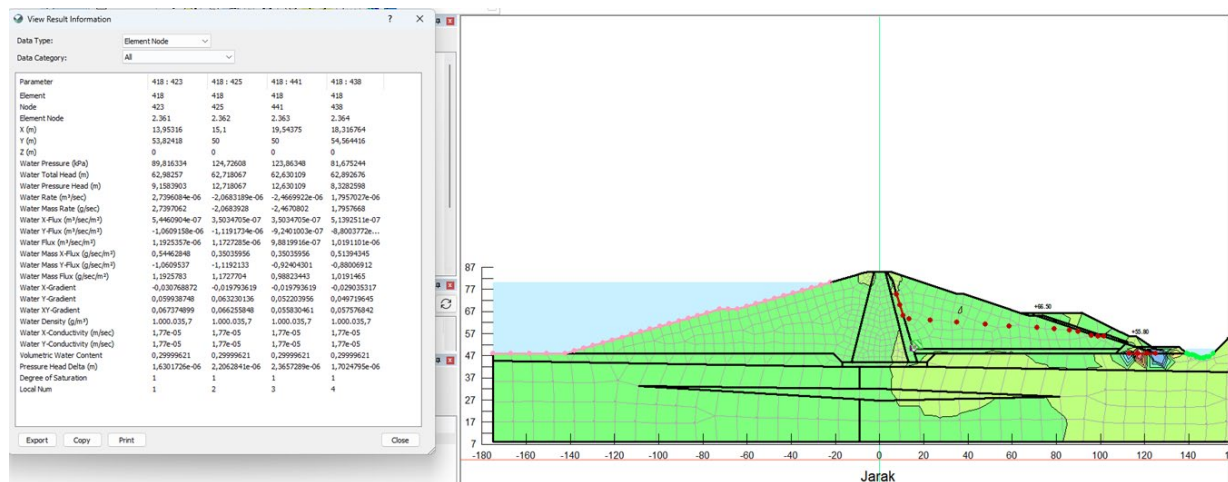
9. Analisis Piping

Dari gambar 6 dapat dilihat kecepatan *exit* dari program, terlihat besarnya maksimum hasil analisis *seepage* adalah sebesar 1.19 m³/sec. Dengan hasil tersebut, maka besarnya faktor keamanan berdasarkan persamaan Justin dan SNI akibat *seepage* ini sebagai berikut (Badan Standarisasi Nasional, 2016).

$$V_c = 3.374$$

$$\text{Sehingga } F_k V = \frac{V_c}{V_e} = \frac{3.374}{1.19} = 2.8 > 2.$$

Dari hasil hitungan diatas nilai faktor keamanan terhadap erosi buluh masih cukup aman. Potensi garis freatik akibat rembesan pada Bendungan Sadawarna ditunjukkan pada Gambar 6 di bawah ini



Gambar 6. Potensi Garis Freatik Akibat Rembesan pada Bendungan Sadawarna

SIMPULAN

Hasil evaluasi besar debit rembesan yang terjadi pada tubuh Bendungan Sadawarna setelah dipasang *Counterweight* sebagai berikut.

Dengan metode ambang batas, besar rembesan yang terjadi pada tubuh

Bendungan Sadawarna tidak melebihi batas yang disyaratkan, terutama pada saat elevasi muka air maksimum (+84,00 m) sebesar 0,0015 < 0,28 liter/menit/meter.

Dengan metode *Seepage Index*, kriteria rembesan yang terjadi saat elevasi muka air maksimum (+84,00 m) pada Tubuh Bendungan Sadawarna sebelum dipasang

Counterweight 1,3482 > 1 dan setelah dipasang Counterweight 0,3391 < 1.

Dengan demikian, maka Debit rembesan yang terjadi pada Bendungan Sadawarna setelah dipasang Counterweight dalam kondisi yang aman.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson, L. W., Lee, T. S., Sharma, S., dan Boyce, G. M. (2002). *Slope Stability and Stabilization Methods Second Edition*. New Jersey: John Wiley dan Sons, Inc.
- Anggraini, N., Kusumastuti, D. I., dan Wahono, E. P. (2024). Penanganan Rembesan dan Perkuatan Tanah Menggunakan Metode Insitu Test (Pressure Meter Test) Studi Kasus: Proyek Bendungan Margatig. *Rekayasa: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 28(3), 24–27.
- Ardiansyah, R. H., dan Sriyana, I. (2021). Evaluasi Debit Rembesan dari Data Bacaan V-notch pada Bendungan Benel. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 26(2), 209–221.
- Arisanto, P. (2020). Perbaikan Rembesan dengan Dinding Halang pada Tubuh Bendungan (Studi Kasus: Bendungan Penjalin). *Jurnal CIVILLA*, 5(1), 384–393.
- BMKG. (2017). *Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017*. Jakarta
- Badan Standarisasi Nasional. (2016). *SNI 8065:2016 tentang Metode Analisis dan Cara Pengendalian Rembesan Air untuk Bendungan Tipe Urugan*. Jakarta
- Balai Besar Wilayah Sungai Citarum. (2018). *Laporan Review Desain Sertifikasi Bendungan Sadawarna*. Bandung.
- Balai Besar Wilayah Sungai Citarum. (2022). *Laporan Akhir Pelaksanaan Konstruksi Bendungan Sadawarna*. Bandung.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Geotechnical Engineering Seventh Edition*. New Jersey: Cengage Boston.
- Fauzi, D. A., Marsudi, S., dan Cahya, E. N. (2023). Analisa Rembesan Terhadap Terjadinya Piping pada Bendungan Cijurey Kabupaten Bogor Provinsi Jawa Barat. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Sumber Daya Air*, 3(2), 151–164.
- Federal Emergency Management Agency. (2012). *Summary of Existing Guidelines for Hydrologic Safety of Dams*. Pennsylvania: FEMA.
- Fell, R., MacGregor, P., Stapledon, D., dan Bell, G. (2005). *Geotechnical Engineering of Dams*. London: CRC Press.
- Huda, A. L., Wardani, S. P. R., dan Suharyanto. (2019). Evaluasi Tekanan Air Pori dan Rembesan pada Bendungan Panohan. *Reka Buana: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(2), 102–111.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2015). *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 27/PRT/M/2015 tentang Bendungan*. Jakarta.
- Knappett, J., dan Craig, R. F. (2019). *Craig's Soil Mechanics*. London: CRC Press.
- Lastiasih, Y., Widodo, A. S. A., dan Endah, N. (2023). Alternatif Perencanaan Inti Tubuh Bendungan Semantok

Efektivitas Counterweight Dalam (Simanjuntak/ hal. 186-195)

- Menggunakan Geomembran. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 14(2), 105–118.
- Novak, P., Moffat, A. I. B., Nalluri, C., dan Narayanan, R. (2007). *Hydraulic Structures Fourth Edition*. London: Taylor & Francis.
- Nurnawaty, Suhardiman, dan Ihwan. (2018). Analisis Rembesan pada Bendungan Tipe Urugan (Uji Simulasi Lab). *TEKNIK HIDRO*, 11(1), 12–22.
- PT Indra Karya. (1988). *Sadawarna Multipurpose Dam Project, Jeneberang River Basin Development Project South Sulawesi, CTI Engineering Co. LTD in ass. with PT. Indra Karya and PT. Exsa International*. Jakarta.
- Putra, R. A. M., Putra, A. D., dan Wahono, E. P. (2022). Analisis Rembesan terhadap Bahaya Piping pada Bendungan Way Sekampung. *Jurnal Aplikasi Teknik Sipil*, 20(4), 439–448.
- Setyawati, H., Najib, N., dan Hidayatillah, A. S. (2018). Analisis Rembesan Pada Perencanaan Pembangunan Bendungan Logung, Kabupaten Kudus, Jawa Tengah. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 1(3), 99–106.