

EVALUASI DEBIT REMBESAN DARI DATA BACAAN V-NOTCH PADA BENDUNGAN BENEL

Rahman Hakim Ardiansyah^{1,*}, Ignatius Sriyana²)

¹)Balai Teknik Bendungan, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat
Jln. Sapta Taruna Raya, Komplek PU Pasar Jum'at, Jakarta Selatan 12310

²)Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Diponegoro
Jln. Prof. H.Soedarto, S.H. Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275

*Email : rahmanhakim.a@gmail.com

Abstract

The Benel Dam, one of the dams in Bali, is an already operational dam, so it necessary to monitor the behavior of the dam body to be able to find out as early as possible if an anomaly occurs, one of which is monitoring seepage discharge at the v-notch. The purpose of this study is to determine the fluctuation of seepage discharge and its correlation to the reservoir level, and to determine the safety of the seepage discharge that occurs. The evaluation of seepage discharge is carried out on reading data that is not influenced by rainfall, then compares it with the limits of the seepage acceptance criteria and seepage index. From the analysis results show the correlation between seepage discharge and reservoir level $r = 0.2296$ and after parsing the data, it is obtained for 2013, 2014, 2018 and 2019 data that the correlation level is moderate - very strong. The results of the parsing then selected data that is not affected by rainfall. The seepage discharge that occurs is still smaller than 0.14 liters/minute/meter, while the seepage index (QI) is greater than 1. In the seepage index analysis, it is necessary to use the seepage path length parameter that is appropriate or close to the actual condition.

Kata kunci : *The Benel Dam, seepage discharge, correlation, Seepage Acceptance Criteria; Seepage Index*

PENDAHULUAN

Rembesan pada bendungan merupakan semua pergerakan air dari waduk melalui tubuh bendungan, tumpuan maupun fondasi. Berdasarkan catatan kegagalan bendungan menunjukkan bahwa hampir setengah dari semua kegagalan bendungan urugan disebabkan adanya erosi internal. Erosi tersebut dipicu oleh rembesan didalam tubuh bendungan (USBR, 2014). Belajar dari pengalaman kegagalan, desain bendungan telah semakin dimodifikasi dengan pertimbangan untuk pengendalian rembesan yang

lebih baik (FEMA, 2015). Sesuai dengan Peraturan Menteri PUPR No.27 Tahun 2015 tentang Bendungan menjelaskan bendungan harus memenuhi tiga pilar konsepsi keamanan bendungan. Salah satu pilar tersebut menyatakan bahwa bendungan harus aman terhadap kegagalan rembesan. Rembesan yang terjadi pada bendungan urugan merupakan peristiwa yang tidak dapat dihindari, namun rembesan yang berlebihan akan berpotensi menimbulkan bahaya pada bendungan (Departemen Pekerjaan Umum, 2005).

Rembesan pada bendungan merupakan semua pergerakan air dari waduk melalui timbunan, tumpuan, dan pondasi, termasuk aliran dalam rekahan, retakan, *loose lift*, dan lainnya. Aliran rembesan yang melalui material berbutir halus, kondisi jenuh dan alirannya laminar berlaku Hukum Darcy. Berdasarkan Hukum Darcy aliran rembesan laminar pada suatu sampel dipengaruhi oleh luas penampang sampel dan perbedaan gradien hidraulik (USBR, 2014). Aliran rembesan yang keluar dari bagian hilirnya bendungan, sering diukur dengan ambang yang mempunyai bukaan limpahan seperti v-notch. Pemantauan laju rembesan dilakukan dengan mengukur jarak vertical dari mercu limpahan ke permukaan air dibagian hulu mercu. Pengukuran dilakukan selama umur layan bendungan untuk memantau kinerja jangka panjang (Najoan & Soetjiono, 2004).

Beberapa penelitian mengenai evaluasi debit rembesan pada tubuh bendungan telah banyak dilakukan. Imron et al., (2017) melakukan penelitian pada Bendungan Gongseng dengan model numerik SEEP/W yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan rembesan izinnya. Aprianto et al., (2015) melakukan penelitian pada Bendungan Lodan dengan menggunakan kriteria penerimaan rembesan berdasarkan tinggi bendungan. Huda et al., (2019) melakukan penelitian pada Bendungan Panohan dengan membandingkan antara hasil model numerik SEEP/W dan bacaan v-notch. Siswanto &

Suprpto, (2019) melakukan penelitian pada Bendungan Jatibarang dengan menggunakan kriteria penerimaan rembesan dan indeks rembesan pada bacaan rembesan kondisi terakhir saat penelitian.

Penelitian ini melakukan studi kasus di Bendungan Benel yang merupakan bendungan zonal dengan inti tegak. Pada bendungan yang sudah beroperasi terdapat kewajiban bagi pengelola untuk melakukan pemantauan dan evaluasi secara rutin terhadap debit rembesan, sehingga masalah yang muncul dapat sedini mungkin diketahui dan segera dilakukan tindakan pencegahan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan kondisi bacaan rembesan dari v-notch pada Bendungan Benel terhadap keamanan bendungan dengan menggunakan kriteria penerimaan rembesan dan indeks rembesan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara garis besar terdiri dari empat tahap, yaitu studi literatur, pengumpulan data, analisis dan pembahasan, dan perumusan kesimpulan serta saran.

Lokasi Bendungan Benel berada di Kabupaten Jembrana Provinsi Bali. Pelaksanaan konstruksi dimulai pada pertengahan tahun 2016 dan selesai tahun 2009. Data teknis Bendungan Benel. Tubuh bendungan mempunyai tinggi 36,77 m, panjang puncak 211 m, dasar pondasi berada pada elevasi +141 m, dan puncak bendungan berada pada elevasi +175,50 m. Zona inti mempunyai tinggi 33 m dan lebar dasar sebesar 24 m. Koefisien

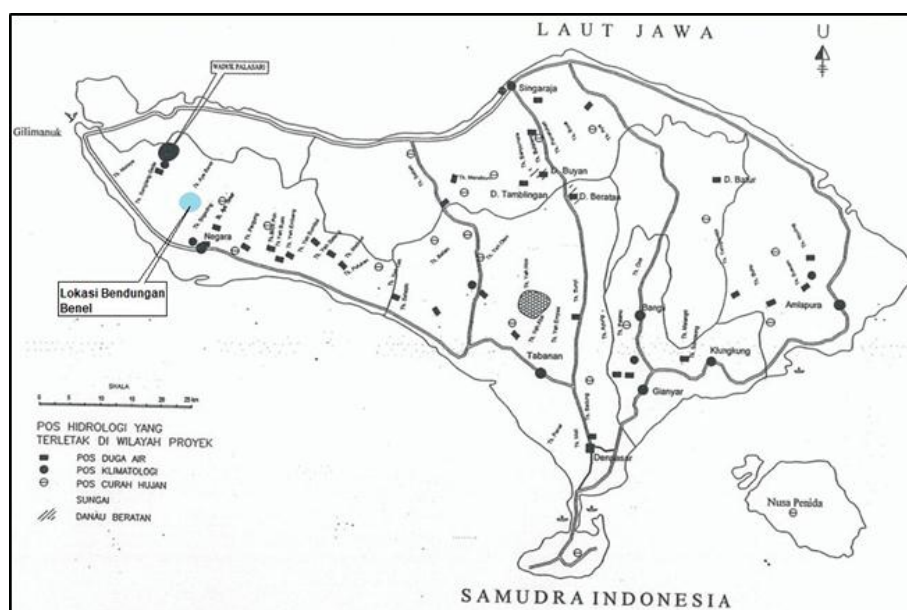
permeabilitas zona inti sebesar $4,26 \times 10^{-9}$ m/detik. Luas penampang basah setinggi elevasi muka air normal diperkirakan sebesar 4018,773 m². Muka air normal berada di elevasi +171,5 m dan muka air rendah +151 m. Waduk yang terbentuk akibat adanya bendungan mempunyai tampungan total sebesar 1,923 juta m³ dan genangan waduknya seluas 16,54 ha. Data bacaan dari pengukuran instrumentasi di lokasi Bendungan Benel yang digunakan dalam penelitian ini sebagai berikut:

a. Debit rembesan pada v-notch mulai tercatat pada tanggal 2 maret 2010 sampai dengan 31 Agustus 2020. Pembacaan dilakukan secara rutin antara 3 – 4 hari sekali pada tahun

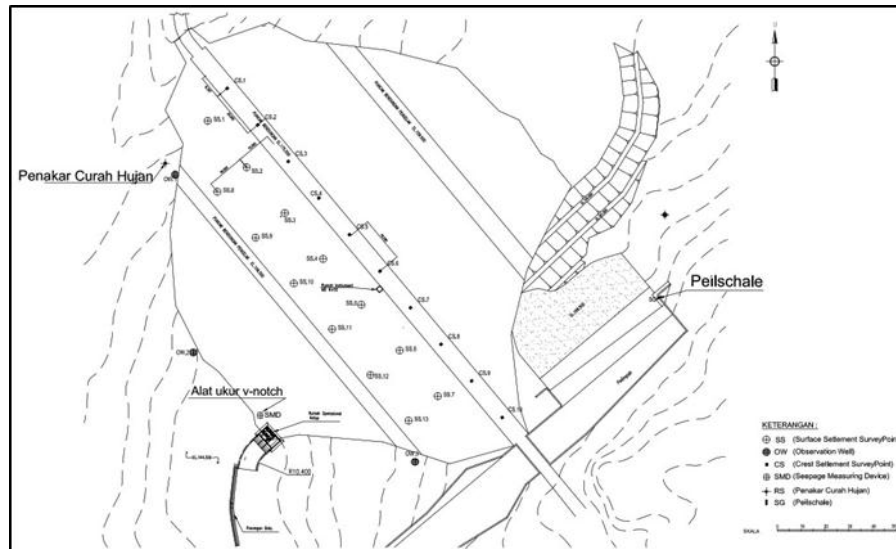
2010 sampai dengan tahun 2018, namun mulai tahun 2019 dilakukan setiap 7 hari sekali. Terdapat beberapa hari data debit rembesan kosong bahkan sampai dengan 1 bulan, misalnya bulan Oktober 2010.

b. Elevasi muka air waduk mulai dicatat pada tanggal 12 Oktober 2009. Pencatatan elevasi muka air waduk dilakukan setiap hari, namun pada bulan Desember 2011 dan mulai tahun 2020 dilakukan bacaan setiap seminggu sekali.

c. Curah hujan diambil setiap hari, namun terdapat banyak data kosong karena tidak dilakukan pencatatan. Curah hujan maksimum yang tercatat sebesar 257 mm.



Gambar 1. Peta lokasi Bendungan Benel



Gambar 2. Denah tata letak instrumentasi

HASIL DAN PEMBAHASAN

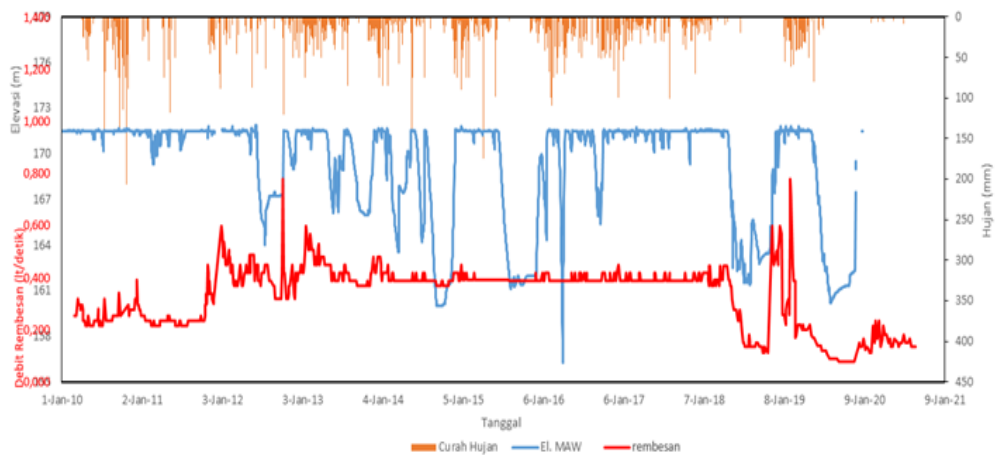
Interpretasi data bacaan

Analisis *trend* bacaan dapat digunakan untuk menilai keandalan instrumen, mengkorelasikan pembacaan dengan elevasi muka air waduk, mengidentifikasi anomali perilaku bendungan atau bacaan instrumen, menentukan *time-lag* instrumen, mengidentifikasi perubahan bertahap dalam kinerja bendungan, dan memprediksi kinerja di masa mendatang (FEMA, 2015). Analisis *trend* bacaan menggunakan data seri yang dimasukkan kedalam grafik dalam dua bentuk, yaitu (1) grafik riwayat waktu (*time-history*) dan (2) grafik korelasi data bacaan.

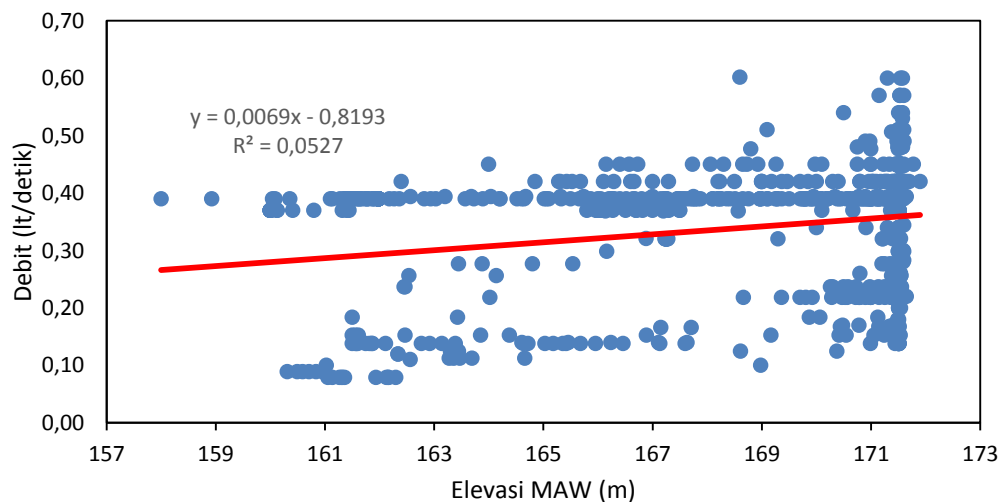
Trend bacaan yang cukup panjang sesuai Gambar 3, menunjukkan fluktuasi bacaan debit rembesan (merah) sebagian berkorelasi dengan fluktuasi muka air waduk (biru), demikian juga dengan curah

hujan (jingga). Pada grafik korelasi, elevasi muka air waduk diplot sebagai axis-x dan data bacaan debit rembesan diplot sebagai axis-y. Hubungan korelasi antara debit rembesan dan elevasi muka air waduk menunjukkan bahwa nilai R^2 sebesar 0,0527 dan r sebesar 0,2296 sebagaimana ditunjukkan dalam Gambar 4.

Menurut FEMA (2015) dengan menguraikan data dari grafik *time-history* kemudian dilakukan koreksi terhadap *time-lag*, dapat meningkatkan korelasi. Menurut Sugiyono (2007), nilai korelasi diinterpretasikan menjadi empat tingkat hubungan yaitu sangat redah (0 – 0,199), rendah (0,2 – 0,399), sedang (0,4 – 0,599), kuat (0,6 – 0,799), dan sangat kuat (0,8 – 1,0). Data dari grafik *time-history* diuraikan menjadi korelasi debit rembesan dan muka air waduk pada masing-masing tahun sebagaimana disajikan pada Tabel 1.



Gambar 3. Bacaan debit rembesan, elevasi muka air waduk, dan curah hujan



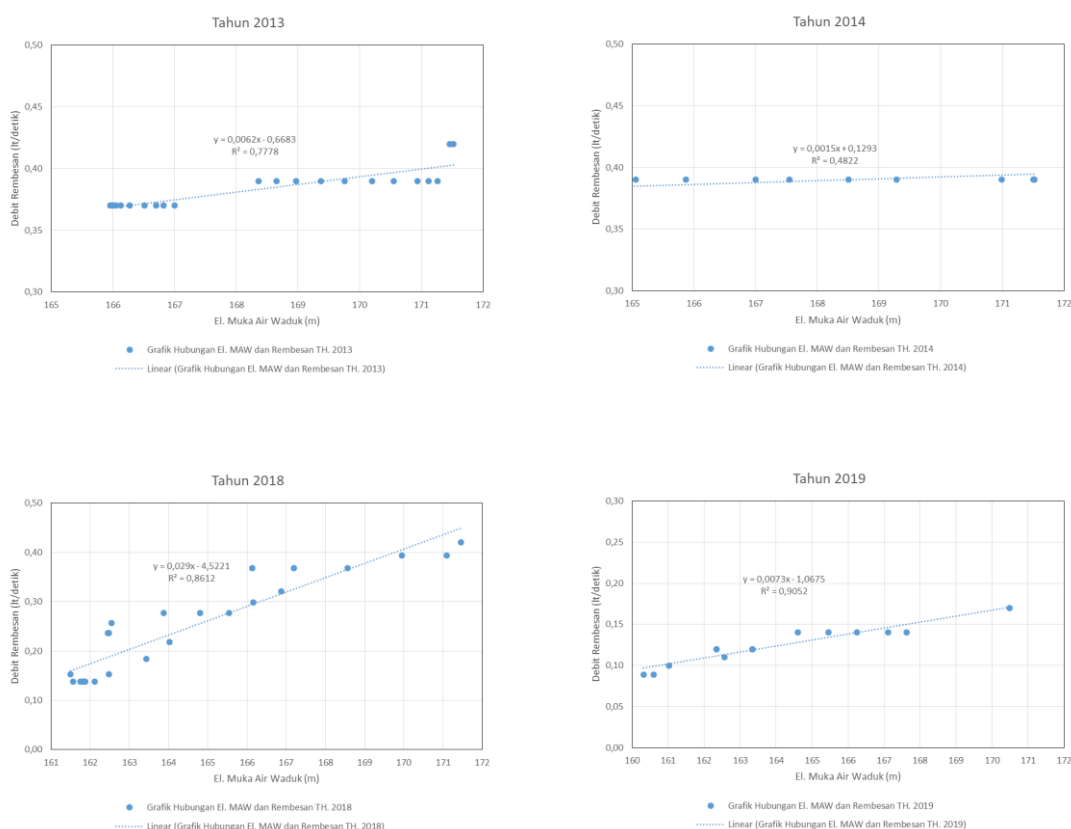
Gambar 4. Hubungan debit rembesan dan elevasi muka air waduk

Tabel 1. Rekapitulasi nilai koefisien korelasi hubungan debit rembesan dan muka air waduk pada masing-masing tahun

No.	Tahun	Nilai R ²	Koefisien korelasi	Tingkat hubungan
1.	2010	0,0754	0,2746	Rendah
2.	2011	0,0858	0,2929	Rendah
3.	2012	0,1065	0,3263	Rendah
4.	2013	0,4593	0,6777	Kuat
5.	2014	0,3831	0,6189	Kuat
6.	2015	0,1381	0,3716	Rendah
7.	2016	0,0149	0,1221	Sangat rendah
8.	2017	0,0247	0,1572	Sangat rendah
9.	2018	0,7839	0,8854	Sangat kuat
10.	2019	0,3297	0,5742	Sedang

Dari Tabel 1, data bacaan yang mempunyai tingkat hubungan sedang – sangat kuat dilakukan pemilihan data yang tidak berpengaruh dengan *time-lag*. Pembacaan data debit rembesan tidak dilakukan setiap hari sehingga analisis mengenai *time-lag* terhadap fluktuasi muka air waduk tidak dapat dilakukan, oleh karena itu, data yang dipilih adalah *trend* yang menunjukkan fluktuasi yang sama antara debit rembesan dan muka air waduk. Pengaruh dari luar yang dapat mempengaruhi debit rembesan adalah

curah hujan, sehingga dilakukan koreksi terhadap data curah hujan. Koreksi dilakukan dengan memilih data pada bulan-bulan kemarau atau tidak terdapat curah hujan harian yang rapat. Data *time-history* debit rembesan setelah diuraikan masing-masing tahun dan dikoreksi, korelasi yang menunjukkan kuat dan sangat kuat adalah tahun 2013, 2014, 2018 dan 2019. Nilai korelasi data bacaan debit rembesan setelah diuraikan dan dilakukan koreksi disajikan pada Gambar 5 dan Tabel 2.



Gambar 5. Hubungan debit rembesan dan elevasi muka air waduk setelah diuraikan dan dikoreksi

Tabel 2. Hasil nilai korelasi setelah data diuraikan dan dikoreksi

No.	Tahun	Nilai R ²	Koefisien korelasi	Tingkat hubungan
1.	2013	0,7778	0,8819	Sangat kuat
2.	2014	0,4822	0,6944	Kuat
3.	2018	0,8612	0,9280	Sangat kuat
4.	2019	0,9052	0,9514	Sangat kuat

Evaluasi debit rembesan menggunakan indeks rembesan

Kerusakan secara bertahap atau kinerja yang tidak memadai dari zona kedap air berupa timbunan tanah dapat diindikasikan berupa terjadinya rembesan yang berlebih dan kemungkinan terjadi kekeruhan (Novak et al., 2007). Debit rembesan kondisi kritis dihitung menggunakan rumus indeks kinerja, yaitu indeks rembesan (QI) yang nilainya kurang dari 1. Gradien hidraulik menurut persamaan Bernoulli dapat dicari dengan perbandingan antara kehilangan energi dengan panjang aliran (Das et al., 1995). Indeks rembesan (QI) dan gradien hidraulik ditulis dalam persamaan sebagai berikut:

$$QI = \frac{q}{1000 A K i}$$

$$i = \frac{\Delta h}{L}$$

dimana :

q = aliran yang melalui inti atau bagian kedap air (liter/detik)

A = luas element (m²)

Δh= kehilangan energy (h_A – h_B) (m)

L = jarak antara titik A dan B, yaitu panjang aliran air dimana kehilangan tekanan terjadi (m)

Penentuan nilai gradien hidraulik sesuai dengan persamaan di atas perlu diketahui panjang lintasan rembesan. Dalam penelitian ini panjang lintasan rembesan diasumsikan berupa garis lurus dari elevasi muka air waduk yang berada di lereng inti bagian hulu menuju kaki inti bagian hilir. Dari perhitungan diperoleh persamaan untuk panjang lintasan masing-masing ketinggian elevasi muka air waduk adalah $y = 0,2879x - 40,591$. Hasil analisis indeks rembesan (QI) yang disajikan pada Tabel 3, menunjukkan bahwa perbandingan antara debit rembesan bacaan dan debit rembesan hitungan lebih besar dari satu. Debit rembesan hasil hitungan nilainya jauh lebih kecil daripada bacaan debit rembesan. Hal tersebut bisa disebabkan penggunaan asumsi praktis dalam penentuan panjang lintasan, yang tidak sesuai dengan kondisi sebenarnya. Menurut (Ardiansyah et al., 2014) lintasan rembesan sesuai dengan kondisi lapangan memenuhi teori Casagrande berupa lengkung parabola dan semakin tinggi muka air waduk semakin panjang pula lintasan rembesan. Meskipun hasil analisis berupa nilai $QI > 1$, namun kondisi rembesan di v-notch tidak ditemui kekeruhan maupun adanya material lumpur yang hanyut.

Tabel 3. Hasil analisis indeks rembesan (QI)

Tanggal	Debit Rembesan (q) (lt/detik)	1000*A*k*i	QI	Kriteria Penerimaan QI < 1
Tahun 2013				
7/29/13	0,420	1,53E-02	2,74E+01	NotOK
8/2/13	0,420	1,53E-02	2,74E+01	NotOK
8/5/13	0,390	1,53E-02	2,55E+01	NotOK
8/9/13	0,390	1,53E-02	2,56E+01	NotOK
8/12/13	0,390	1,52E-02	2,56E+01	NotOK
8/16/13	0,390	1,52E-02	2,57E+01	NotOK
8/19/13	0,390	1,51E-02	2,58E+01	NotOK
8/23/13	0,390	1,50E-02	2,60E+01	NotOK
8/26/13	0,390	1,50E-02	2,61E+01	NotOK
8/30/13	0,390	1,49E-02	2,62E+01	NotOK
9/2/13	0,390	1,48E-02	2,63E+01	NotOK
9/6/13	0,390	1,48E-02	2,64E+01	NotOK
9/9/13	0,370	1,45E-02	2,56E+01	NotOK
9/13/13	0,370	1,44E-02	2,57E+01	NotOK
9/16/13	0,370	1,44E-02	2,57E+01	NotOK
9/20/13	0,370	1,43E-02	2,58E+01	NotOK
9/23/13	0,370	1,43E-02	2,59E+01	NotOK
10/7/13	0,370	1,42E-02	2,60E+01	NotOK
10/11/13	0,370	1,42E-02	2,60E+01	NotOK
10/14/13	0,370	1,42E-02	2,60E+01	NotOK
10/18/13	0,370	1,42E-02	2,60E+01	NotOK
10/21/13	0,370	1,42E-02	2,60E+01	NotOK
10/25/13	0,370	1,42E-02	2,61E+01	NotOK
Tahun 2014				
7/18/14	0,390	1,53E-02	2,55E+01	NotOK
7/21/14	0,390	1,53E-02	2,55E+01	NotOK
7/25/14	0,390	1,52E-02	2,56E+01	NotOK
8/1/14	0,390	1,49E-02	2,61E+01	NotOK
8/4/14	0,390	1,48E-02	2,64E+01	NotOK
8/8/14	0,390	1,46E-02	2,68E+01	NotOK
8/11/14	0,390	1,45E-02	2,70E+01	NotOK
8/15/14	0,390	1,42E-02	2,75E+01	NotOK
8/18/14	0,390	1,40E-02	2,79E+01	NotOK
8/22/14	0,390	1,36E-02	2,86E+01	NotOK
8/25/14	0,390	1,33E-02	2,93E+01	NotOK
8/29/14	0,390	1,29E-02	3,02E+01	NotOK
9/1/14	0,390	1,27E-02	3,07E+01	NotOK
9/5/14	0,390	1,24E-02	3,14E+01	NotOK
9/8/14	0,370	1,23E-02	3,02E+01	NotOK
9/12/14	0,370	1,23E-02	3,02E+01	NotOK
9/15/14	0,370	1,23E-02	3,02E+01	NotOK
9/19/14	0,370	1,23E-02	3,02E+01	NotOK
9/22/14	0,370	1,23E-02	3,02E+01	NotOK
9/26/14	0,370	1,23E-02	3,02E+01	NotOK
9/29/14	0,370	1,23E-02	3,02E+01	NotOK
Tahun 2018				
4/27/18	0,421	1,53E-02	2,75E+01	NotOK

Tanggal	Debit Rembesan (q) (lt/detik)	1000*A*k*i	QI	Kriteria Penerimaan QI < 1
4/30/18	0,394	1,53E-02	2,58E+01	NotOK
5/4/18	0,394	1,51E-02	2,62E+01	NotOK
5/7/18	0,369	1,48E-02	2,49E+01	NotOK
5/11/18	0,369	1,45E-02	2,54E+01	NotOK
5/14/18	0,369	1,42E-02	2,59E+01	NotOK
5/18/18	0,321	1,44E-02	2,22E+01	NotOK
5/21/18	0,298	1,42E-02	2,09E+01	NotOK
5/26/18	0,277	1,39E-02	1,99E+01	NotOK
5/28/18	0,277	1,41E-02	1,97E+01	NotOK
6/4/18	0,277	1,36E-02	2,03E+01	NotOK
6/8/18	0,256	1,32E-02	1,94E+01	NotOK
6/11/18	0,237	1,32E-02	1,80E+01	NotOK
6/18/18	0,237	1,32E-02	1,80E+01	NotOK
6/29/18	0,218	1,37E-02	1,60E+01	NotOK
7/2/18	0,184	1,35E-02	1,36E+01	NotOK
7/6/18	0,153	1,32E-02	1,16E+01	NotOK
7/9/18	0,153	1,28E-02	1,19E+01	NotOK
7/13/18	0,138	1,30E-02	1,07E+01	NotOK
7/16/18	0,138	1,29E-02	1,07E+01	NotOK
7/20/18	0,138	1,29E-02	1,08E+01	NotOK
7/23/18	0,138	1,29E-02	1,07E+01	NotOK
7/27/18	0,138	1,30E-02	1,07E+01	NotOK
7/30/18	0,138	1,31E-02	1,06E+01	NotOK
Tahun 2019				
5/27/19	0,170	1,52E-02	1,12E+01	NotOK
6/10/19	0,140	1,46E-02	9,59E+00	NotOK
6/17/19	0,140	1,45E-02	9,67E+00	NotOK
6/21/19	0,140	1,43E-02	9,81E+00	NotOK
6/24/19	0,140	1,41E-02	9,95E+00	NotOK
6/27/19	0,140	1,38E-02	1,01E+01	NotOK
7/1/19	0,120	1,35E-02	8,92E+00	NotOK
7/8/19	0,120	1,35E-02	8,91E+00	NotOK
7/15/19	0,120	1,31E-02	9,14E+00	NotOK
7/17/19	0,120	1,31E-02	9,14E+00	NotOK
7/22/19	0,110	1,32E-02	8,33E+00	NotOK
7/29/19	0,100	1,27E-02	7,90E+00	NotOK
8/5/19	0,089	1,25E-02	7,12E+00	NotOK
8/12/19	0,089	1,24E-02	7,19E+00	NotOK

Evaluasi debit rembesan menggunakan kriteria penerimaan

Dalam evaluasi debit rembesan dilakukan juga dengan kriteria tentang tingkat rembesan melalui tubuh bendungan yang dapat diterima sebagaimana dalam Tabel 4.

Debit rembesan pada Bendungan Benel sesuai dengan Tabel 4, mempunyai kriteria penerimaan debit rembesan adalah kurang dari 200 liter/day/meter (0,14 liter/menit/meter). Rekapitulasi hasil analisis yang disajikan pada Tabel 5, menunjukkan bahwa dari debit rembesan yang

pernah terjadi masih lebih kecil dari kriteria penerimaan, namun terdapat beberapa data yang hampir mendekati kriteria tersebut dengan selisih 0,02 liter/menit/meter yaitu data bacaan pada tahun 2013 dan 2014. Bacaan pada tahun 2018 dan 2019 selisih data

bacaan dengan kriteri penerimaan cukup jauh dikarenakan data yang digunakan pada bulan-bulan kemarau. Menurut Nurnawaty et al., (2018) semakin muka air waduk rendah yang terjadi saat bulan kemarau maka debit rembesan semakin kecil.

Tabel 4. Tipikal kehilangan rembesan untuk bendungan urugan (Look (2007))

Dam height (m)	Seepage, litres/day/metre, (Litres/minute/metre)	
	O.K	Not O.K.
< 5	< 25 (0.02)	> 50 (0.03)
5 – 10	< 50 (0.03)	> 100 (0.07)
10 – 20	< 100 (0.07)	> 200 (0.14)
20 – 40	< 200 (0.14)	> 400 (0.28)
> 40	< 400 (0.28)	> 800 (0.56)

Tabel 5. Hasil analisis kriteria penerimaan debit rembesan

Tanggal	Debit Rembesan			Kriteria Penerimaan
	(liter/detik)	(liter/hari/meter)	(liter/menit/meter)	
Tahun 2013				
7/29/13	0,420	171,98	0,12	OK
8/2/13	0,420	171,98	0,12	OK
8/5/13	0,390	159,70	0,11	OK
8/9/13	0,390	159,70	0,11	OK
8/12/13	0,390	159,70	0,11	OK
8/16/13	0,390	159,70	0,11	OK
8/19/13	0,390	159,70	0,11	OK
8/23/13	0,390	159,70	0,11	OK
8/26/13	0,390	159,70	0,11	OK
8/30/13	0,390	159,70	0,11	OK
9/2/13	0,390	159,70	0,11	OK
9/6/13	0,390	159,70	0,11	OK
9/9/13	0,370	151,51	0,11	OK
9/13/13	0,370	151,51	0,11	OK
9/16/13	0,370	151,51	0,11	OK
9/20/13	0,370	151,51	0,11	OK
9/23/13	0,370	151,51	0,11	OK
10/7/13	0,370	151,51	0,11	OK
10/11/13	0,370	151,51	0,11	OK
10/14/13	0,370	151,51	0,11	OK
10/18/13	0,370	151,51	0,11	OK
10/21/13	0,370	151,51	0,11	OK
10/25/13	0,370	151,51	0,11	OK
Tahun 2014				
7/18/14	0,390	159,70	0,11	OK
7/21/14	0,390	159,70	0,11	OK

Tanggal	Debit Rembesan			Kriteria Penerimaan
	(liter/detik)	(liter/hari/meter)	(liter/menit/ meter)	
7/25/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/1/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/4/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/8/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/11/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/15/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/18/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/22/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/25/14	0,390	159,70	0,11	OK
8/29/14	0,390	159,70	0,11	OK
9/1/14	0,390	159,70	0,11	OK
9/5/14	0,390	159,70	0,11	OK
9/8/14	0,370	151,51	0,11	OK
9/12/14	0,370	151,51	0,11	OK
9/15/14	0,370	151,51	0,11	OK
9/19/14	0,370	151,51	0,11	OK
9/22/14	0,370	151,51	0,11	OK
9/26/14	0,370	151,51	0,11	OK
9/29/14	0,370	151,51	0,11	OK
Tahun 2018				
4/27/18	0,421	172,20	0,12	OK
4/30/18	0,394	161,37	0,11	OK
5/4/18	0,394	161,37	0,11	OK
5/7/18	0,369	150,96	0,10	OK
5/11/18	0,369	150,96	0,10	OK
5/14/18	0,369	150,96	0,10	OK
5/18/18	0,321	131,38	0,09	OK
5/21/18	0,298	122,20	0,08	OK
5/26/18	0,277	113,41	0,08	OK
5/28/18	0,277	113,41	0,08	OK
6/4/18	0,277	113,41	0,08	OK
6/8/18	0,256	105,01	0,07	OK
6/11/18	0,237	97,00	0,07	OK
6/18/18	0,237	97,00	0,07	OK
6/29/18	0,218	89,36	0,06	OK
7/2/18	0,184	75,21	0,05	OK
7/6/18	0,153	62,49	0,04	OK
7/9/18	0,153	62,49	0,04	OK
7/13/18	0,138	56,65	0,04	OK
7/16/18	0,138	56,65	0,04	OK
7/20/18	0,138	56,65	0,04	OK
7/23/18	0,138	56,65	0,04	OK
7/27/18	0,138	56,65	0,04	OK
7/30/18	0,138	56,65	0,04	OK
Tahun 2019				
5/27/19	0,170	69,61	0,05	OK
6/10/19	0,140	57,33	0,04	OK
6/17/19	0,140	57,33	0,04	OK

Tanggal	Debit Rembesan			Kriteria Penerimaan
	(liter/detik)	(liter/hari/meter)	(liter/menit/meter)	
6/21/19	0,140	57,33	0,04	OK
6/24/19	0,140	57,33	0,04	OK
6/27/19	0,140	57,33	0,04	OK
7/1/19	0,120	49,14	0,03	OK
7/8/19	0,120	49,14	0,03	OK
7/15/19	0,120	49,14	0,03	OK
7/17/19	0,120	49,14	0,03	OK
7/22/19	0,110	45,04	0,03	OK
7/29/19	0,100	40,95	0,03	OK
8/5/19	0,089	36,44	0,03	OK
8/12/19	0,089	36,44	0,03	OK

SIMPULAN

Hasil analisis data bacaan menunjukkan hubungan korelasi antara debit rembesan dengan muka air waduk secara keseluruhan mulai tahun 2010 hingga 2020 mempunyai nilai $r = 0,2296$ atau tingkat hubungannya rendah. Berbeda dengan analisis data bacaan yang dilakukan pada masing-masing tahun yang diperoleh nilai hubungan korelasi bervariasi, hanya data bacaan tahun 2013, 2014, 2018 dan 2019 yang memperoleh tingkat hubungan sedang – sangat kuat. Data bacaan yang dilakukan evaluasi dari keempat tahun tersebut dilakukan pemilahan yang bacaan debit rembesan tidak dipengaruhi oleh hujan dan mempunyai fluktuasi sama antara debit rembesan dan muka air waduk. Hasil evaluasi terhadap debit rembesan yang terjadi pada Bendungan Benel masih menunjukkan lebih kecil dari kriteria penerimaan debit rembesan sebesar 0,14 liter/menit/meter, sedangkan untuk indeks rembesan (QI) diperoleh lebih besar dari satu. Kondisi yang diperoleh untuk indeks rembesan dapat disebabkan oleh penentuan panjang

lintasan rembesan yang digunakan dalam penelitian ini dengan asumsi dalam bentuk praktis, sehingga panjang lintasan rembesan belum sesuai dengan kondisi lapangan yang mengakibatkan nilai debit secara empiris belum sesuai dengan kondisi rembesan yang sebenarnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada BWS Bali Penida yang telah menyediakan data Bendungan Benel yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Aprianto, D.S., Maulana, R.E., Atmanto, I.D., Pardoyo, B., 2015, Analisa Instrumentasi Geoteknik untuk Evaluasi Keamanan Bendungan Urugan Tanah di Lodan Kabupaten Rembang. *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 4(4), 561–567.
- Ardiansyah, R.H., Sobriyah, Wahyudi, A.H., 2014, Pengaruh Fluktuasi Muka Air Waduk Terhadap Debit Rembesan Menggunakan

- Model Seep/W (Studi Kasus di Bendungan Benel, Kabupaten Jembrana, Bali). *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 2(3), 471–476.
- Das, B.M., Endah, N., Mochtar, I.B., 1995, *Mekanika Tanah Jilid 1 (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*. Erlangga, Jakarta.
- Departemen Pekerjaan Umum, 2005, *Pedoman Pengendalian Rembesan pada Bendungan Urugan*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- FEMA, 2015, *Evaluation and Monitoring of Seepage and Internal Erosion*. US Department of Homeland Security, Washington.
- Huda, A.L., Wardani, S.P.R., Suharyanto, S., 2019, Evaluasi Tekanan Air Pori dan Rembesan Pada Bendungan Panohan. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Dan Teknik Kimia*, 4(2), 26. <https://doi.org/10.33366/rekabuana.v4i2.1372>
- 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(2), 83–90.
- Look, B., 2007, *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. Taylor & Francis, London.
- Najoan, T.F., Soetjiono, C., 2004, *Instrumentasi Tubuh Bendungan Tipe Urugan dan Tanggul*. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, Jakarta.
- Novak, P., Moffat, I., Nalluri, C., Narayan, R., 2007, *Hydraulic Structures*. Taylor & Francis, New York.
- Nurnawaty, Suhardiman, Ihwan, 2018, Analisis Rembesan pada Bendungan Tipe Urugan (uji Simulasi Lab). *Jurnal Teknik Hidro*, 11(1), 12–22.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.27/PRT/M/2015 tentang Bendungan.
- Siswanto, Suprpto, 2019, Evaluation of Seepage Discharge on Jatibarang Dam Based on Instrumentation Data Monitoring. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 8(8), 799–806.
- Sugiyono, 2007, *Statistik Untuk Penelitian*. Alfabeta, Bandung.
- USB, 2014, *Design Standards No. 13 Embankment Dams : Chapter 8 Seepage*. U.S. Departement of the Interior Bureau of Reclamation, Washington.