Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari Jambi e-ISSN: 2549-4236, p-ISSN: 1411-8939
Lembaga Penellitian dan Pengabdian kepada Masyarakat
Vol 24, No 1 (2024): Februari, 503-512
DOI: 10.33087/jiubj.v24i1.4232

Kajian Penyebab Rembesan pada Bendungan Situ Lembang di Kabupaten Bandung Barat

Deni Saepul Apip*, Bambang Soenarto
Universitas Tama Jagakarsa
*Correspondence: denis.apip@gmail.com

Abstrak. Bendungan adalah sebuah struktur konstruksi yang dibangun untuk menahan laju air dari sisi hulu ke hilir. Secara geografis Bendungan Situ Lembang terletak di Desa Kertawangi Kecamatan Cisarua Kabupaten Bandung Barat, Bendungan Situ Lembang memiliki panjang 350 m. Salah satu masalah pada bendungan adalah rembesan. Rembesan didefenisikan sebagai sifat bahan berpori yang memungkinkan cairan yang berupa air mengalir melewati rongga pori. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh variasi tinggi hidrostatis terhadap rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan. Material pembentuk tubuh bendungan adalah jenis tanah lempung organik. Alat instrumentasi yang ada di Bendungan Situ Lembang hampir semua sudah tidak berfungsi. Penelitian ini dengan menggunakan simulasi laboratorium untuk meninjau pola rembesan dan debit rembesan terhadap variasi tinggi hidrostatis. Debit rembesan (Qf) dihitung menggunakan 3 metode yaitu metode dupuit, metode schaffernak, dan metode cassagrande. Variasi tinggi hidrostatis yang ditinjau adalah H10, H15, dan H20.

Kata kunci : rembesan, tinggi hidrostatis, Bendungan Situ Lembang

Abstract. *A dam is a construction structure built to hold back the flow of water from upstream to downstream. Geographically, the Situ Lembang Dam is located in Kertawangi Village, Cisarua District, West Bandung Regency, the Situ Lembang Dam has a length of 350 m. One of the problems with dams is seepage. Seepage is defined as the property of a porous material that allows fluid in the form of water to flow through the pore cavity. The aim of this research is to determine the effect of variations in hydrostatic height on seepage that occurs in the dam body. The material forming the dam body is a type of organic clay. Almost all of the instrumentation equipment at 'Situ Lembang' no longer functions. This research uses laboratory simulations to review seepage patterns and seepage discharge against variations in hydrostatic height. Seepage discharge (Qf) is calculated using 3 methods, namely the Dupuit method, Schaffernak method, and Cassagrande method. The hydrostatic height variations reviewed are H10, H15, and H20.*

Keywords **:** *Seepage, Hydrostatic Height, Situ Lembang Dam*

PENDAHULUAN

Bendungan Situ Lembang merupakan bendungan dengan jenis kontruksi tipe bendungan urugan (Sosrodarsono, 1977). Bendungan Situ Lembang merupakan bendungan yang sudah tua, dimana Bendungan Situ Lembang di bangun pada masa pemerintahan Hindia Belanda, Bendungan Situ Lembang memiliki panjang sekitar 350 m dan tinggi top Bendung sekitar 12 m sementara tinggi muka Air Normal 10 m. Secara visual permasalahan yang terjadi pada Bendungan Situ Lembang adanya rembesan pada tubuh bendungan.berdasarkan kajian lapangan instrumentasi yang ada seperti vizometer yang ada di Bendungan Situ Lembang sudah tidak berfungsi akibat tidak adanya pemeliharan sehingga tidak bisa mengambil data rembesan melalui alat instrumentasi yang ada sehingga menggunakan uji laboraturium untuk mengkaji penyebab rembesan pada Bendungan Situ Lembang tersebut. Rembesan merupakan aliran air yang secara terus menerus mengalir dari sisi hulu menuju sisi hilir, aliran air ini merupakan aliran dari air sungai, danau atau waduk melalui material yang lolos air *(permeable*), baik melalui tubuh bendungan maupun pondasi. Menurut Hardiyatmo (2012), tanah yang berbutir halus mempunyai rembesan yang kecil dan daya rembes yang besar. Sedangkan tanah yang berbutir kasar memiliki rembesan yang besar dan daya rembes yang kecil. Tanah yang bersifat rembesan kecil dan daya rembes besar disebabkan ukuran pori-pori dan butiran-butiran tanah yang kecil, sedangkan tanah yang bersifat rembesan besar dan daya rembes kecil disebabkan ukuran pori-pori dan butiran tanah yang besar (Hardiyatmo, 2012)

Pada penjelasan ini koefisien permebilitas tanah (K) yaitu untuk mengetahui

besarnya rembesan yang terjadi pada tubuh bendungan. Permebilitas adalah cepat lambatnya air merembes ke dalam tanah, koefisien permebilitas tergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel dan struktur tanah. Hukum Darcy menjelaskan tentang kemampuan air mengalir pada rongga-rongga (pori) dalam tanah dan sifat-sifat yang memengaruhinya. Ada dua asumsi utama yang digunakan dalam penetapan hukum Darcy ini. Asumsi pertama menyatakan bahwa aliran fluida/cairan dalam tanah bersifat laminar. Sedangkan asumsi kedua menyatakan bahwa tanah berada dalam keadaan jenuh (Neogroho, 2008).

Apabila permebilitas ini sudah terjadi, maka akan terbentuklah lajur rembesan (jaringan aliran) antara bagian sisa hulu dan sisi hilir bangunan. Jika rembesan air yang terjadi terlalu besar, akan mengakibatkan terganggunya pengoperasian bendungan, rawan terjadi longsor atau runtuh, hal ini diakibatkan meluncurnya massa tanah timbunan yang timbul tekanan besar. Selain daripada itu akibat rembesan yang terlalu besar akan menimbulkan erosi butiran yang mengakibatkan turunnya tahanan aliran air dan naiknya gradien hidrolis. Bila kecepatan aliran membesar akibat dari pengurangan tahanan aliran yang berangsur-angsur turun, akan terjadi erosi butiran yang lebih besar lagi, sehingga membentuk pipa-pipa di dalam tanah yang dapat mengakibatkan keruntuhan pada tubuh bendungan (Husni, 2013)

Untuk itu, dalam pembuatan bendungan terutama tipe urugan diperlukan syarat teknis, pertama pemilihan jenis tanah timbunan yaitu tanah yang ukuran porinya lebih kecil agar supaya stabilitas pada tubuh bendungan tidak terlalu besar, dan kedua kepadatan tanah yaitu kepadatannya harus lebih maksimal agar di dalam rongga pori tidak mudah lolos air yang akan bisa menimbulkan piping (Siagian dan Suharta, 2012) Rembesan merupakan hal yang sangat sulit untuk dihindari dalam pembuatan bendungan baik itu bendungan urugan maupun bendungan beton. Dimana diketahui bahwa bendungan merupakan sebagai penampung air harus direncanakan dengan bahan pembentuk tubuh bendungan yang baik dan berdiri di atas pondasi yang stabil. Pondasi bendungan sebagai penopang tubuh bendungan yang harus memenuhi persyaratan tertentu. Persyaratan pondasi agar bendungan stabil salah satunya adalah stabil terhadap erosi akibat rembesan (Sukirman, 2014)

Pada penelitian ini melaksanakan uji simulasi dengan ukuran, skala yang ditetapkan dan sesuai dengan kapasitas alat di Laboratorium yang ada di sadawarna. Sebagaimana kita rencanakan dimensi ukuran model bendungan ini mempunyai ukuran lebar puncak yaitu 5 cm, tinggi 28 cm, serta lebar bawah 72 cm dan kemirinan 1:1,2 cm. Debit rembesan yang terjadi pada bendungan yang disimulasikan di laboratorium. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui dan mengkaji dengan membandingkan pola rembesan pada Bendungan Situ Lembang tipe urugan dengan tinggi hidrostatis yang bervariasi dan mengkaji besar debit rembesan pada Bendungan Situ Lembang dengan jenis bendungan tipe urugan dengan tinggi hidrostatis yang bervariasi.

METODE

Jenis penelitian yang digunakan adalah Investigasi lapangan secara langsung, uji laboratorium dan simulasi, hal tersebut dilakukan dikarenakan alat instrumen yang terpasang di Bendungan Situ Lembang sudah tidak berfungsi sehingga kesulitan untuk mengetahui berapa besar rembesan yang terjadi pada Bendungan Situ Lembang, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur dengan tujuan untuk menyelidiki ada tidaknya hubungan sebab akibat serta berapa besar hubungan sebab akibat pada jenis tanah yang dipakai pada bendungan situ lembang terhadap daya rembesan yang terjadi pada Bendungan Situ Lembang. Data dari lapangan/laboratorium diolah sebagai bahan analisa terhadap hasil studi ini, sesuai dengan tujuan dan sasaran penelitian. Data yang diolah adalah data yang relevan yang dapat mendukung dalam menganalisa hasil penelitian, yaitu perhitungan debit rembesan (Qf) dan perhitungan waktu rembesan (t) (Asianto. 2011). Penelitian dilaksanakan di lokasi Bendungan Situ Lembang Kecamatan Cisarua Kabupaten Bandung Barat dan Laborotorium Sadawarna Kabupaten Subang, dengan waktu pengujian selama sekitar 1 bulan, apabila diakumulasikan penelitian ini selama 6 bulan mulai dari Desember - Mei 2023.

HASIL

Data Hasil Pengaruh Tekanan Hidrostatis Terhadap Waktu Rembesan.

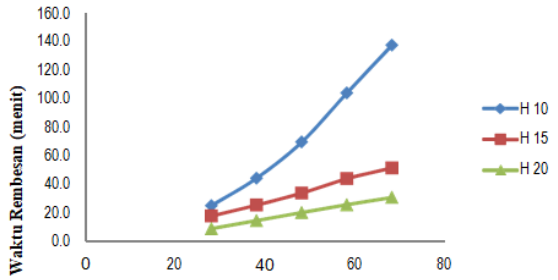
Air pada keadaan statis di dalam tanah, akan mengakibatkan tekanan hidrostatis yang arahnya keatas (uplift). Hasil rata-rata waktu rembesan terhadap bendungan dengan tekanan

hidrostatis yang bervariasi dan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1
Hasil rata-rata pengaruh tinggi hidrostatis yang bervariasi dengan waktu rembesan

No	Waktu Rembesan (menit)			Jarak Rembesan (cm)		
	H 10	H 15	H 20	H 10	H 15	H 20
1	25,30	17,49	9,23	28	28	28
2	19,2	7,32	6,00	38	38	38
3	25,2	8,35	6,00	48	48	48
4	34,2	10,08	5,47	58	58	58
5	33,44	7,49	5,06	68	68	68

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 1
Hubungan tekanan hidrostatis yang bervariasi dan waktu rembesan

Gambar 1 menunjukkan dimana untuk setiap pertambahan tinggi hidrostatis maka tekanan rembesan akan semakin meningkat. Dan semakin tinggi hidrostatis pada bendungan (h) maka waktu rembesan semakin pendek, begitu pula sebaliknya semakin rendah tinggi hidrostatis maka akan semakin panjang pula waktu rembesan yang akan terjadi. Gambar 1 dengan tinggi tekanan hidrostatis H10 waktu rembesan yang terjadi dari titik nol sampai ke selang 1, kecepatan rembesannya mencapai 25,30 menit dengan jarak 28 cm. Untuk selang 1 ke selang 2 terjadi peningkatan waktu yaitu 19,20 menit dengan jarak 38 cm, kemudian dari selang 2 ke selang 3 kecepatan rembesan 25,20 menit dengan jarak 48 cm, dari selang 3 ke selang 4 terjadi kecepatan rembesan 34,20 dengan jarak 58 cm. Dari selang 4 ke selang terakhir yaitu selang 5 kecepatan rembesannya 33,44 menit dengan jarak 68 cm.

Untuk tinggi tekanan hidrostatis H15 mengalami peningkatan kecepatan rembesan dibandingkan dengan H10. Sesuai data yang kami peroleh dari titik nol sampai ke selang 1 adalah 17,49 menit dengan jarak 28 cm. Dari selang 1 ke selang 2 mengalami peningkatan waktu yaitu 7,32 menit dengan jarak 38 cm, dari selang 2 ke selang 3 terjadi kecepatan rembesan 8,35 menit dengan jarak 48 cm, dari selang 3 ke selang 4 terjadi kecepatan rembesan 10,08 menit dengan jarak 58 cm, dari selang 4 ke selang terakhir yaitu selang 5 kecepatan rembesannya 7,49 menit dengan jarak 68 cm. Untuk tinggi tekanan hidrostatis H20 mengalami peningkatan kecepatan rembesan dibandingkan dengan H10 dan H 15. Sesuai data yang kami peroleh, dari titik nol sampai ke selang 1 adalah 9,23 menit dengan jarak 28 cm. dari selang 1 ke selang 2 terjadi peningkatan waktu yaitu 6,00 menit dengan jarak 38 cm, dari selang 2 ke selang 3 terjadi kecepatan rembesan 6,00 menit dengan jarak 48 cm, dari selang 3 ke selang 4 terjadi kecepatan rembesan 5,47 menit dengan jarak 58 cm, dari selang 4 ke selang terakhir yaitu selang 5 kecepatan rembesannya 5,06 menit dengan jarak 68 cm.

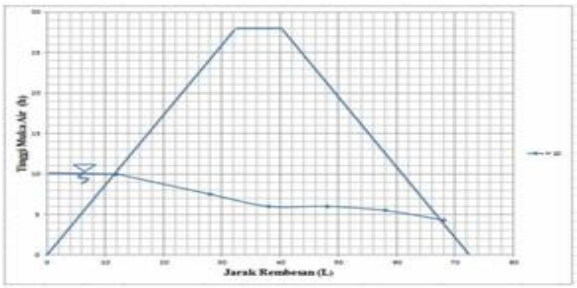
Data Antara Hubungan Tinggi Hidrostatis dan Tinggi Rembesan

Data tekanan hidrostatis dan tinggi garis rembesan diambil berdasarkan hasil pengukuran pada model bendungan dengan hidrostatis (H10).

Tabel 2
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian pertama Bendungan H 10

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
12	10.0
28	8.0
38	7.0
48	7.5
58	5.0
68	4.0

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 2
Hubungan tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian pertama

Tabel 6
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian kedua Bendungan H 10

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
12	10.0
28	6.0
38	6.0
48	5.0
58	5.0
68	3.3

Sumber: data olahan



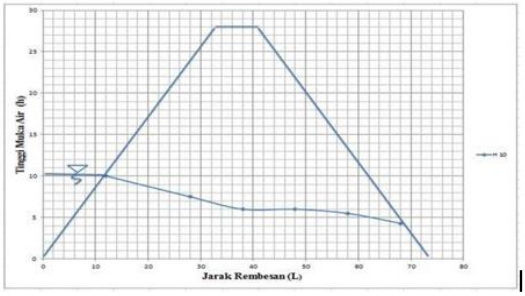
Sumber: data olahan

Gambar 3
Hubungan tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian kedua

Tabel 7
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian ketiga Bendungan H 10

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
12	10
28	7.5
38	6
48	6
58	5.5
68	4.3

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

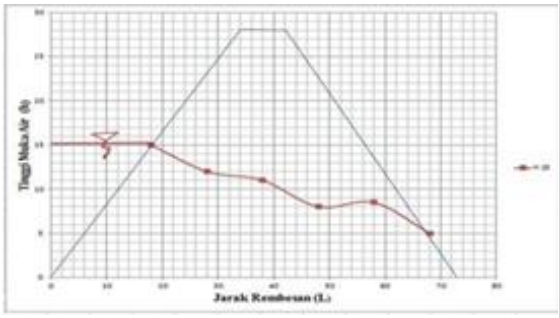
Gambar 4
Hubungan tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian ketiga

Data tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan diambil berdasarkan hasil pengukuran pada model bendungan dengan hidrostatis (H15).

Tabel 8
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian Pertama Bendungan H 15

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
18	15.0
28	12.0
38	11.0
48	8.0
58	8.5
68	5.0

Sumber: data olahan



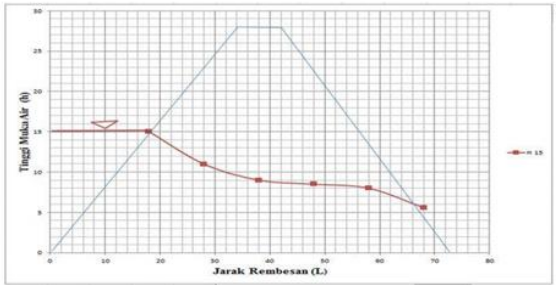
Sumber: data olahan

Gambar 5
Hubungan tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian pertama

Tabel 9
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian kedua Bendungan H 15

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
18	15.0
28	11.0
38	9.0
48	8.5
58	8.0
68	5.6

Sumber: data olahan



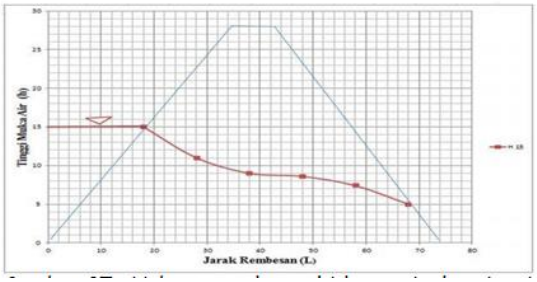
Sumber: data olahan

Gambar 6
Hubungan tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian kedua

Tabel 10
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian ketiga Bendungan H 15

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
18	15.0
28	11.0
38	9.0
48	8.6
58	7.4
68	6.2

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

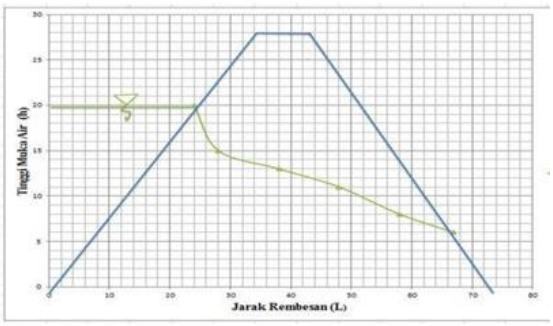
Gambar 7
Hubungan tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian ketiga

Data tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan diambil berdasarkan hasil pengukuran pada model bendungan dengan hidrostatis (H20).

Tabel 11
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian pertama Bendungan H 20

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
24	20.0
28	15.0
38	13.0
48	11.0
58	8.0
68	7.5

Sumber: data olahan



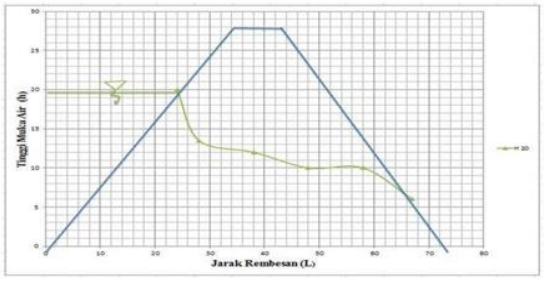
Sumber: data olahan

Gambar 8
Hubungan tinggi hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian pertama

Tabel 12
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian Kedua Bendungan H20

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
24	20.0
28	13.5
38	12.0
48	10.0
58	10.0
68	6.7

Sumber: data olahan



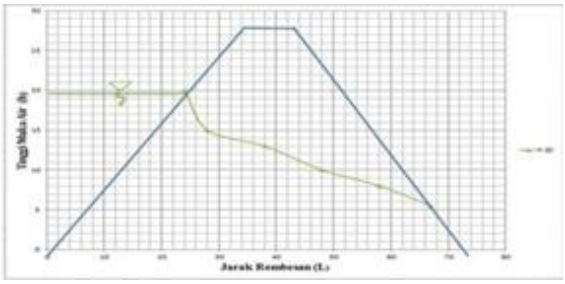
Sumber: data olahan

Gambar 9
Hubungan tinggi hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian kedua

Tabel 13
Tinggi hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian ketiga Bendungan H 20

Jarak Rembesan (X)	Tinggi Rembesan (Y)
24	20.0
28	15.0
38	13.0
48	10.0
58	8.0
68	6.0

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

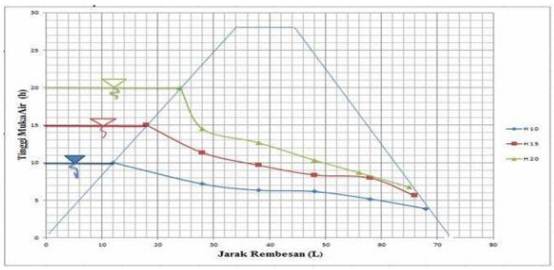
Gambar 10
Hubungan tinggi hidrostatis dan tinggi rembesan pada pengujian ketiga

Hasil rata-rata tinggi rembesan dengan tinggi hidrostatis yang bervariasi terhadap bendungan

Tabel 14
Tekanan hidrostatis dan tinggi rembesan

Bendungan H10		Bendungan H15		Bendungan H 20	
Tinggi cm	**Jarak cm**	**Tinggi cm**	**Jarak cm**	**Tinggi cm**	**Jarak cm**
10.0	12	15.0	12	20.0	12
7.0	28	11.0	28	14.0	28
6.0	37	10.0	37	13.0	37
6.0	48	8.4	48	10.0	48
5.0	58	8.0	58	8.7	58
3.3	68	5.6	68	6.7	68

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 11
Hubungan tekanan hidrostatis dan tinggi garis rembesan

Gambar 11 menjelaskan hubungan tinggi hidrostatis dan tinggi garis rembesan dengan tiga variasi tinggi tekanan hidrostatis pada bendungan. Dari ketiga tinggi hidrostatis maka dapat disimpulkan semakin tinggi tekanan hidrostatis (h) bendungan maka semakin tinggi pula garis rembesan, itu disebabkan karena adanya tekanan hidrostatis. Semakin kecil tekanan hidrostatis bendungan maka semakin pendek pula garis rembesan (Aryani dan Soehoed, 2012)

Perhitungan Debit Rembesan Dengan Metode Dupuit

Perhitungan debit rembesan untuk bendungan dengan tinggi hidrostatis H10.
k = 0,0204 cm3/det h1 = 10 cm
h2 = 3,3 cm
L = 72 cm
q = $\frac{k(h1^2-h2^2)}{2L}$ = $\frac{0{,}0204(10^2-3{,}3^2)}{2\ x\ 72}$ = $\frac{1{,}8178}{144}$ = 0,0126 cm/det = 0,4543 ml/jam

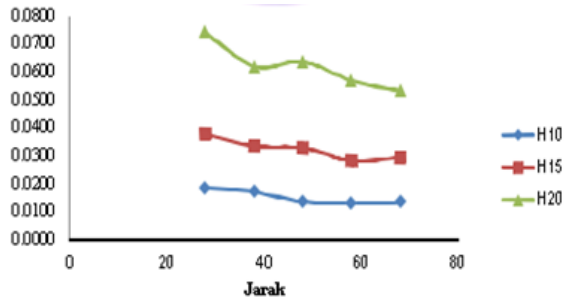
Perhitungan debit rembesan untuk bendungan dengan dengan tinggi hidrostatis H15.
k = 0,0204 cm3/det h1 = 15 cm
h2 = 5,6 cm
L = 72 cm
q = $\frac{k(h1^2-h2^2)}{2L}$ = $\frac{0{,}0204(15^2-5{,}6^2)}{2\ x\ 72}$ = $\frac{3{,}9706}{144}$ = 0,0275 cm/det = 0,99 ml/jam

Perhitungan debit rembesan untuk bendungan dengan dengan tinggi hidrostatis H20.
k = 0,0204 cm3/det h1 = 20 cm
h2 = 6,7 cm
q = $\frac{k(h1^2-h2^2)}{2L}$ = $\frac{0{,}0204(20^2-6{,}7^2)}{2\ x\ 72}$ = $\frac{7{,}2442}{144}$ = 0,0503 cm/det = 1,8108 ml/jam

Tabel 15
Hasil perhitungan debit rembesan metode Dupuit

Jumlah Tumbukan	K ml/detik	H1 cm	H2 cm	L cm	Ml/Jam	Cm^3/det	Rata-rata
25	0.0204	10	7.0	28	0.6688	0.0186	
25	0.0204	10	6.0	38	0.6184	0.0172	
25	0.0204	10	6.0	48	0.4896	0.0136	0.0151
25	0.0204	10	5.0	58	0.4748	0.0132	
25	0.0204	10	3.3	68	0.4543	0.0126	
25	0.0204	15	11.0	28	1.3639	0.0379	
25	0.0204	15	10.0	38	1.2079	0.0336	
25	0.0204	15	8.0	48	1.1815	0.0328	0.0323
25	0.0204	15	8.0	58	1.0193	0.0283	
25	0.0204	15	5.4	68	0.9900	0.0275	
25	0.0204	20	14.0	28	2.6753	0.0743	
25	0.0204	20	13.0	38	2.2322	0.0620	
25	0.0204	20	10.0	48	2.2950	0.0638	0.0620
25	0.0204	20	9.0	58	2.0532	0.0570	
25	0.0204	20	6.7	68	1.8108	0.0533	

Sumber: data olahan



Gambar 12
Hubungan Antara Jarak Rembesan dan Debit Rembesan dengan Tinggi Hidrostatis yang Bervariasi Pada Metode Dupuit

Gambar 12 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan hidrostatis maka akan semakin besar debit rembesan. Untuk tekanan hidrostatis H10 debit rembesannya sebesar 0,0151 ml/jam, tekanan hidrostatis H15 debit rembesannya sebesar 0,0323 ml/jam, dan tekanan hidrostatis H20 debit rembesannya sebesar 0,0620 ml/jam

Perhitungan Debit Rembesan dengan Metode Schaffernak

Perhitungan debit rembesan untuk tinggi hidrostatis H10 cm

$a = \frac{d}{coc\alpha} - (\frac{\sqrt{d^2}}{cos^2\, a} - \frac{\sqrt{H^2}}{sin^2\, a})$

$a = \frac{52,4}{cos\ 40^0} - (\frac{\sqrt{52,4^2}}{cos^2(40^0)} - \frac{\sqrt{7^2}}{sin^2(40^0)}) = \frac{52,4}{0,766} - (\frac{\sqrt{2745,76}}{0,586} - \frac{\sqrt{49}}{0,413}) = 68,4073 - \sqrt{2745,76 - 118,6440} = 0,832$ cm

$q = ka.Sin\alpha.tan\alpha = 0,0204 \times 0,832 \times \sin 40 \times \tan 40 = 0,0092\ cm^3/det = 0,3312$ ml/jam

Perhitungan debit rembesan dengan tinggi hidrostatis H15

$a = \frac{d}{coc\alpha} - (\frac{\sqrt{d^2}}{cos^2\, a} - \frac{\sqrt{H^2}}{sin^2\, a})$

$a = \frac{52,4}{cos\ 40^0} - (\frac{\sqrt{52,4^2}}{cos^2(40^0)} - \frac{\sqrt{11^2}}{sin^2(40^0)}) = \frac{52,4}{0,766} - (\frac{\sqrt{2745,76}}{0,586} - \frac{\sqrt{121}}{0,413}) = 68,4073 - \sqrt{2745,76 - 292,978} = 2,1306$ cm

$q = ka.Sin\alpha.tan\alpha = 0,0204\ x2,1306 \times \sin 40 \times \tan 40 = 0,0234\ cm^3/det = 0,8424$ ml/jam

Perhitungan debit rembesan dengan tinggi hidrostatis H20

$a = \frac{d}{coc\alpha} - (\frac{\sqrt{d^2}}{cos^2\, a} - \frac{\sqrt{H^2}}{sin^2\, a})$

a = $\frac{52,4}{\cos 40^0}$ -($\frac{\sqrt{52,4^2}}{\cos^2(40^0)}$ - $\frac{\sqrt{714^2}}{\sin^2(40^0)}$) = $\frac{52,4}{0,766}$ -($\frac{\sqrt{2745,76}}{0,586}$ - $\frac{\sqrt{196}}{0,413}$) = 68,4073 - $\sqrt{2745,76 - 474,5762}$ = 3,515 cm

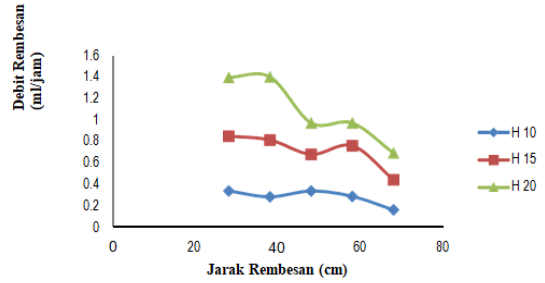
q = ka.Sinα.tanα = 0,0204 x 3,515 x sin 40 x tan 40 = 0,0356 cm^3/det = 1,3896 ml/jam

Tabel 16
Hasil Perhitungan Debit Rembesan Metode Schaffernak

Tinggi Muka Air	D disetiap	L (cm)	H (selang)	Q ML/Jam	Q cm/dtk	Rata-rata Ml/Jam
	52.4	28	7.0	0.3312	0.0092	
	45.4	38	6.0	0.2772	0.0077	
10	38,4	48	6.0	0.3312	0.0092	0.2750
	31.4	58	5.0	0.2808	0.0078	
	24.4	68	3.3	0.1548	0.0043	
	52.4	28	11.0	0.8424	0.0234	
	45.4	38	10.0	0.8064	0.0224	
15	38.4	48	8.4	0.6732	0.0187	0.7020
	31.4	58	8.0	0.7524	0.0209	
	24.4	68	5.4	0.4356	0.0121	
	52.4	28	14.0	1.3896	0.0386	
	45.4	38	13.0	1.3932	0.0387	
20	38.4	48	10.0	0.9648	0.0268	1.0793
	31.4	58	9.0	0.9648	0.0268	
	24.4	68	6.7	0.6840	0.0190	

Sumber: data olahan

Gambar 13 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan hidrostatis maka akan semakin besar debit rembesan. Untuk tekanan hidrostatis H10 debit rembesannya sebesar 0,2750 ml/jam, tekanan hidrostatis H15 debit rembesannya sebesar 0,7020 ml/jam, dan tekanan hidrostatis H20 debit rembesannya sebesar 1,0793 ml/jam.



Sumber: data olahan

Gambar 13
Hubungan antara jarak rembesan dan debit rembesan dengan tinggi hidrostatis yang bervariasi pada Metode Schaffernak

Perhitungan Debit Rembesan dengan Metode L. Cassagrande

Casagrande (1937) mengusulkan cara untuk menghitung rembesan lewat tubuh bendungan yang didasarkan pada pengujian model. Besarnya debit rembesan dapat ditentukan dengan persamaan 5.

Perhitungan debit rembesan dengan tinggi hidrostatis H10
K = 0,0204 cm/det = 0,7344cm/jam H= 7 cm
AD = 28 cm
0,3 (AD)= 8,4 cm
d = 52,4 cm
α = $tan^{-1}(1/3)= 40^0$
α = $\sqrt{(d^2 + H^2}$)- $\sqrt{(d^2 - H^2 ctg^2 \alpha)}$ = $\sqrt{(52,4^2 + 7^2}$)- $\sqrt{(52,4^2 - 7^2 ctg^2 40^0)}$
α = $\sqrt{(2794,76}$ - $\sqrt{(2745,76) - (49(\frac{1}{tg}) 40^0)^2}$) = 51,734 - 51,733 = 1,132 cm
q = ka.$sin^2\alpha$ = 0,0204 x 1,132 x $sin^2 40^0$= 0,0095cm^3/det = 0,342 ml/jam

Perhitungan debit rembesan dengan tinggi hidrostatis H15 rumus :

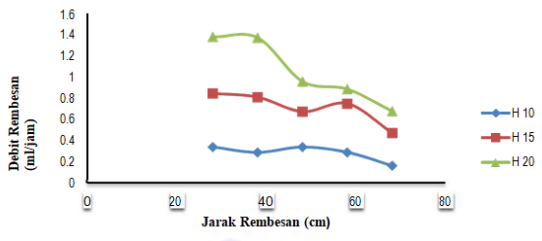
K = 0,0204 cm/det = 0,7344 cm/jam
H = 11 cm
AD = 28 cm
0,3(AD) = 8,4 cm
d = 52,4 cm
α = $tan^{-1}(1/3) = 40^0$
α = $\sqrt{(d^2+H^2)}$ - $\sqrt{(d^2-H^2 ctg^2\alpha)}$ = $\sqrt{(52{,}4^2+11^2)}$ - $\sqrt{(52{,}4^2-11^2 ctg^2 40^0)}$
α = $\sqrt{(2866{,}76}$ - $\sqrt{(2745{,}76)-(121(\frac{1}{tg})\,40^0)^2}$ = 53,542 - 50,738 = 2,804 cm
q = ka.$sin^2\alpha$ = 0,0204 x 2,804 x $sin^2 40^0$ = 0,0095cm^3/det = 0,342 ml/jam

Perhitungan debit rembesan dengan tinggi hidrostatis H20 rumus :
K = 0,0204 cm/det = 0,7344 m/jam
H = 14 cm
AD = 28 cm 0,3(AD) = 8,4 cm
d = 52,4 cm
α = $tan^{-1}(1/3) = 40^0$
α = $\sqrt{(d^2+H^2)}$ - $\sqrt{(d^2-H^2 ctg^2\alpha)}$ = $\sqrt{(52{,}4^2+14^2)}$ - $\sqrt{(52{,}4^2-14^2 ctg^2 40^0)}$
α = $\sqrt{(2941{,}76}$ - $\sqrt{(2745{,}76)-(196(\frac{1}{tg})\,40^0)^2}$ = 54,237 - 49,681 = 4,556cm
q = ka.$sin^2\alpha$ = 0,0204 x 4,556 x $sin^2 40^0$ = 0,0384cm^3/det = 1,382 ml/jam

Tabel 17
Hasil Perhitungan Debit Rembesan Metode Cassagrande

Tinggi Muka Air	D disetiap	L (cm)	H (selang)	Q ML/Jam	Q cm/dtk	Rata-rata Ml/Jam
	52.4	28	7.0	0.0095	0.3420	
	45.4	38	6.0	0.0081	0.2916	
10	38,4	48	6.0	0.0095	0.3420	0.2865
	31.4	58	5.0	0.0081	0.2916	
	24.4	68	3.3	0.0046	0.1656	
	52.4	28	11.0	0.0236	0.8496	
	45.4	38	10.0	0.0226	0.8136	
15	38.4	48	8.4	0.0188	0.6768	0.7135
	31.4	58	8.0	0.0209	0.7524	
	24.4	68	5.4	0.0132	0.4752	
	52.4	28	14.0	0.0384	1.3824	
	45.4	38	13.0	0.0382	1.3752	
20	38.4	48	10.0	0.0267	0.9612	1.0576
	31.4	58	9.0	0.0247	0.8892	
	24.4	68	6.7	0.0189	0.6804	

Sumber: data olahan



Sumber: data olahan

Gambar 14
Hubungan antara jarak rembesan dan debit rembesan dengan tinggi hidrostatis yang bervariasi pada Metode Cassagrande

Gambar 14 dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi tekanan hidrostatis maka akan semakin besar debit rembesan. Untuk tekanan hidrostatis H10 debit rembesannya sebesar 0,2865 ml/jam, tekanan hidrostatis H15 debit rembesannya sebesar 0,7135 ml/jam, dan tekanan hidrostatis H20 debit rembesannya sebesar 1,0576 ml/jam.

SIMPULAN

Hasil penelitian ini dapat disimpulkan bahwa pola rembesan yang terjadi pada setiap variasi hidrostatis itu berbeda-beda, Itu disebabkan karena tekanan hidrostatis yang mempengaruhi kecepatan rembesan. Semakin

tinggi tekanan hidrostatis pada bendungan maka akan semakin pendek waktu yang dibutuhkan untuk merembes, dan semakin tinggi tekanan hidrostatis maka semakin tinggi garis rembesan pada bendungan, sehingga potensial terjadinya boiling. Sedangkan hasil perhitungan debit rembesan dengan tiga metode yaitu, metode Dupuit, Schaffernak dan Cassagrande, dengan tekanan hidrostatis yang bervariasi menghasilkan debit rembesan yang berbeda-beda. Terlihat dengan adanya fenomena yang mana dengan hasil pengamatan bahwa semakin tinggi tekanan hidrostatis maka akan semakin besar debit rembesan yang terjadi. Namun diantara ketiga metode tersebut terdapat perbedaan yaitu, dengan tiga variasi tinggi hidrostatis. Pada metode Cassagrande memperlihatkan debit yang tertinggi untuk H10 dan H15. Sedangkan pada tinggi hidrostatis H20 Metode Schaffernak memperlihatkan debit yang tertinggi.

DAFTAR PUSTAKA

Asianto. 2011. *Metode Konstruksi Bendungan*, Penerbit Universitas Indonesia UI Press,Jakarta.

Aryani dan Soehoed Y.D.M, 2012, Tinjauan Tinggi Tekanan Air dan Rembesan pada Bendungan Menggunakan Alat Peraga Bendung Tanpa Turap. *Majalah Ilmiah UKRIM,* Edisi 1/Th XVII/2012. Jurusan Teknik Sipil Universitas Keristen Immanuel Yogyakarta.

Hardiyatmo, Hary C. 2012. *Mekanika Tanah 1*, Penerbit Gadjah Mada University Press,Yogyakarta

Husni Sabar, 2013, *Waduk dan Tenaga Air*, Penerbit ITB Institut Teknologi Bandung

Neogroho Djarwanti, 2008. *Komparasi Koefisien Permebilitas (k) Pada Tanah Kohesif*, FT UNS

Prasetyo Siagian dan N. Suharta, 2012, *Permebilitas Tanah, Artikel*

Sukirman, 2014. Analisis Rembesan Pada Bendung Tipe Urugan Melalui Uji Hidrolik, *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2(2), Laboratorium Hidro Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

Sosrodarsono, Suyono. 1977. *Bendungan type Urugan*. PT Pradnya Paramita. Jakara