

Pola Gerusan Lokal Akibat Sedimentasi pada Bendung Gerak Tipe Undersluice Pada Hilir Pintu Air

Local Scour Patterns Due to Sedimentation in Undersluice Type Motion Weirs Downstream of Sluice Gate

Heru Putra Darmawan¹, Nanang Saiful Rizal², Ilanka Cahya Dewi³

¹Mahasiswa Progam Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: herurio505@gmail.com

¹Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: nanangsaifulrizal@unmuhjember.ac.id

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: Ilankadewi@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Penggerusan pada saluran alami maupun buatan merupakan masalah yang sering terjadi. Fenomena gerusan disebabkan oleh aliran air yang biasanya terjadi pada dasar Sungai serta terjadi akibat adanya energi aliran dan perubahan akibat bangunan manusia. Gerusan dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu gerusan umum, gerusan terokalisir, dan gerusan lokal. Gerusan lokal dan terokalisir dapat terjadi dalam dua kondisi dimana gerusan tersebut terjadi akibat adanya gerusan air jernih (clear-water scour) dan gerusan air tak jernih (live-bed scour). Clear-water scour terjadi akibat material dasar pada hulu bangunan dalam keadaan diam sedangkan live-bed scour proses gerusan yang dikarenakan adanya angkutan sedimen dari material dasar. Pembendungan aliran sungai dapat menyebabkan perbedaan ketinggian elevasi antara hulu dan hilir bendung, sehingga mengakibatkan adanya terjunan dan perubahan energi yang besar ketika air lewat mercu bendung. Pada penelitian ini digunakan bendung tipe undersluice dengan tiga variasi kemiringan pintu air yaitu $R1 = 1/3$, $R2 = 1/2$ dan $R3 = 0$. melalui 24 kali percobaan dengan sedimen d40 dan d60 di Laboratorium Hidraulik. Aliran pola gerusan dan pendangkalan di hilir bendung tergantung pada debit aliran dan variasi kemiringan pintu air R semakin besar loncatan Hidraulik maka semakin besar nilai gerusan dan pendangkalan. Dari hasil penelitian ini didapatkan nilai kedalaman gerusan (Ds), panjang gerusan (Ls), tinggi pendangkalan (Dt) dan panjang pendangkalan (Lt) yang dipengaruhi oleh tinggi muka air (H) dan diameter butiran (D40 dan D60).

Kata Kunci: Gerusan, Pintu air, Undersluice, Diameter butiran

Abstract

Scouring in natural and artificial channels is a problem that often occurs. The scour phenomenon is caused by water flow which usually occurs at the bottom of rivers and occurs due to flow energy and changes due to human buildings. Scour can be divided into three types, namely general scour, localized scour and local scour. Local and localized scour can occur in two conditions, where the scour occurs due to clear-water scour and unclear water scour (live-bed scour). Clear-water scour occurs due to the base material upstream of the building being at rest. while live-bed scour is a scouring process caused by sediment transport from the bottom material. Damming of river flow can cause differences in elevation between upstream and downstream of the weir, resulting in plunges and large energy changes when the water passes through the weir. In this study, an undersluice type weir was used with three variations in the slope of the sluice gate, namely $R1 = 1/3$, $R2 = 1/2$ and $R3 = 0$. through 24 experiments with d40 and d60 sediments in the Hydraulic Laboratory. The flow pattern of scour and silting downstream of the weir depends on the flow discharge and variations in the slope of the sluice gate. R. The greater the hydraulic jump, the greater the value of scour and silting. From the results of this research, the values for scour depth (Ds), scour length (Ls), silting height (Dt) and silting length (Lt) are obtained which are influenced by water level height (H) and grain diameter (D40 and D60).

Keywords: Scour, Stilling Pool, Undersluice, Grain Diameter

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Bendung adalah bangunan yang melintang pada sungai yang berfungsi meninggikan elevasi muka air agar dapat dialirkan ke tempat yang diperlukan, misalnya untuk area irigasi. Menurut Kartasapoetra (1991), bendung merupakan bangunan air yang dibangun secara melintang pada sungai, sedemikian rupa agar permukaan air sungai disekitarnya naik sampai ketinggian tertentu, sehingga air sungai tadi dapat dialirkan melalui sadap ke seluruh saluran pembagi kemudian ke lahan-lahan Bendung terstruktur biasanya terbuat dari pasangan batu kali, beton atau bronjong. Mawardi dan Memet (2010) dalam sembaring, CE (2016) mengatakan bahwa fungsi utama dari bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambil (intake structure). Fungsi lainnya sebagai pengendalian aliran, geometri sungai, dan angkutan sedimen agar sungai dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal. Gerusan adalah fenomena alam yang disebabkan oleh aliran air yang biasanya terjadi pada dasar sungai. Gerusan terjadi akibat perubahan morfologi sungai dan perubahan akibat bangunan manusia (Breusers & Raudkivi 1991). Gerusan dapat dibedakan menjadi tiga tipe yaitu gerusan umum, gerusan terokalisir, dan gerusan lokal. Gerusan lokal dan terokalisir dapat terjadi dalam dua kondisi dimana gerusan tersebut terjadi akibat adanya gerusan air jernih (clear-water scour) dan gerusan air tak jernih (live-bed scour).

Clear-water scour terjadi akibat material dasar pada hulu bangunan dalam keadaan diam sedangkan live-bed scour proses gerusan yang dikarenakan adanya angkutan sedimen dari material dasar, hal ini mengakibatkan aliran pada saluran dasar bergerak yang menunjukkan bahwa peristiwa tersebut menyebabkan tergangganya gesar lebih besar dibanding tegangan dasar kritiknya.

A. Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini dapat diuraikan sebagai berikut :

1. Bagaimana pola gerusan akibat sedimentasi pada bendung gerak tipe undersluice pada hilir pintu air ?
2. Bagaimana pola gerusan akibat sedimentasi pada hilir pintu air?
3. Penelitian ini dilakukan di laboratorium Universitas Muhammadiyah Jember.

B. Batasan Masalah

Penelitian ini membatasi masalah yang akan dibahas dalam penelitian sebagai berikut :

1. Meninjau bendung undersluice
2. Bendung ini menggunakan variasi pintu
3. Penelitian ini menggunakan d40 dan d60

C. Tujuan

Adapun tujuan dalam studi pengaruh lendutan dengan beton ringan yang tetap terjaga optimasi beratnya, adalah:

1. Untuk mengetahui pola gerusan pada bendung tipe underslice.
2. Mengetahui pola gerusan di hilir pintu air bendung gerak dengan menggunakan variasi pintu.

D. Manfaat

Adapun manfaat yang dapat diharapkan dari penelitian ini sebagai berikut :

1. Penelitian diharapkan dapat menjadi acuan dalam setiap perencanaan.
2. Memberikan kemudahan bagi setiap instansi dalam memahami masalah terkait gerusan.
3. Memberi masukan terhadap pembaca terkait bendung gerak

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Bangunan Air

Bangunan air adalah bangunan yang digunakan untuk memanfaatkan dan mengalirkan air ke sungai maupun danau. Bentuk dan ukuran bangunan tergantung kebutuhan, kapasitas maksimum sungai, dana pembangunan dan sifat hidrolik sungai. Kebanyakan konstruksi bangunan air bersifat lebih masif dan tidak memerlukan segi keindahan dibanding dengan bangunan-bangunan gedung atau jembatan dan perencanaan bangunannya secara detail tidak terlalu halus.

B. Sedimentasi

Sedimentasi adalah proses pengendapan yang diakibatkan oleh erosi yang terbawa oleh aliran pada suatu tempat yang kecepatannya lambat atau terhenti. pengendapan dapat mempengaruhi debit air yang masuk ke saluran irigasi.

C. Ruang olak

Ruang olakan adalah kolam air yang terletak disebelah hilir bendung yang berfungsi sebagai peredam energy atau mengurangi kecepatan aliran masuk dengan adanya pengurangan tersebut diharapkan air yang mengalir meninggalkan ruang oalakan sudah tenang kembali ketika masuk ke sungai dibagian hilir mercu.

D. Gerusan

Proses gerusan loal dan gerusan terlokalisir dapat terjadi dalam dua kondisi, yaitu kondisi gerusan dengan air jernih (clear-water scour) dan suatu kondisi gerusan dengan air tidak jernih (live-bed scour). Untuk menghitung kedalaman gerusan digunakan metode Lacey, berikut metodenya :

$$R = 0,47 \left(\frac{Q}{f} \right)$$

Dimana :

R = kedalaman gerusan (m)

Q = debit outflow (m³/d)

F = faktor lumpur Lacey = 1,76 (Dm)^{0,5}

Dm = diameter rata-rata

B. Karakteristik saluran

Pengelompokan tipe aliran yang terjadi di aliran saluran terbuka didasarkan pada beberapa kriteria antara lain yaitu perubahan ketinggian aliran (h), tempat (s), serta waktu(t). Aliran saluran terbuka bisa digolongkan menjadi beberapa tipe serta diuraikan dengan berbagai cara, (Rangga Raju,1981)

F. Geometrik Saluran

Saluran terbuka dapat diklasifikasikan yaitu saluran alam (natural Channel) dan Saluran buatan (artificial Channel). Sedangkan pembagian terstruktur mengenai berdasarkan konsistensi bentuk penampang serta kemiringan dasar, yaitu:

1. Saluran Prismatic (prismatic channel), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang serta kemiringan dasarnya tetap.
2. Saluran non Prismatic (non prismatic channel), yaitu saluran yang bentuk penampang melintang serta kemiringan dasarnya berubah-ubah.

Penampang saluran biasanya sangat tidak beraturan, umumnya beraneka ragam dari ukuran seperti trapezium sampai parabola. Penampang vertikal saluran (vertical channel section) adalah penampang vertikal melalui titik terbawah atau terendah dari penampang. Oleh sebab itu pada saluran mendatar penampangnya selalu merupakan penampang vertical sedangkan penampang saluran (channel section) adalah tegak lurus terhadap arah aliran.

Rumus – rumus menghitung penampang saluran :

$$\text{Luas (A)} = b \times h$$

$$\text{Keliling basah (P)} = b + 2h$$

$$\text{Jari-jari Hidrolik (R)} = \frac{bh}{b + 2h}$$

dengan :

$$b = \text{lebar dasar saluran (m)}$$

$$h = \text{tinggi kedalaman air (m)}$$

G. Energi Spesifik

Persamaan besarnya energi spesifik sebagai berikut (Ven Te Chow,1959 dalam Robert,J.K.,2002) :

$$E = \text{energi spesifik (m)}$$

$$V = \text{kecepatan air (m/detik)}$$

$$h = \text{kedalaman air (m)}$$

$$Q = \text{debit (cm³/detik)}$$

G = percepatan grafitasi (cm/detik²)
 Z = tinggi suatu titik pada bidang refrensi (cm)

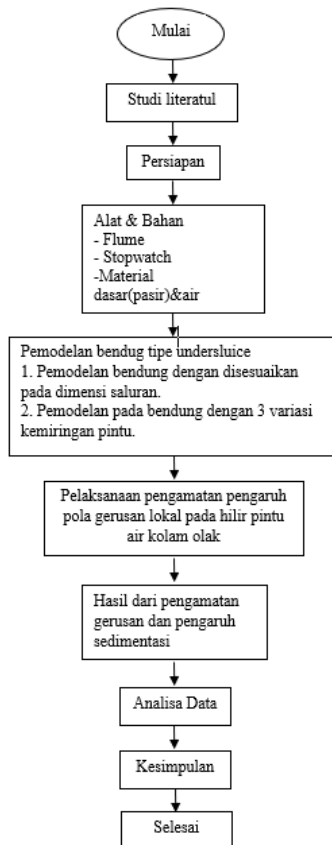
3. METEDOLOGI PENELITIAN

Metedeologi Penelitian ini dilakukan di lab Universitas Muhammdyah Jember



Gambar 1. Lokasi Penelitian
 Sumber : dokumentasi pribadi

A. Diagram Alir Penelitian



Gambar 2. Kerangka alur penelitian
 Sumber: Penulis, 2023

B. Penerapan Hasil Perhitungan

Tabel 1. perlakuan model uji fisik

Sedimen	Pintu air	kemiringan		Ls	Ds	Lt	Dt
		saringan ^ø					
D40	Type 1	1	30°	4	2	1	5,5
		2	45°	5	3,5	8,5	5,5
		3	60°	9	3,5	12	5,5
		4	75°	7	4	16	6
	Type 2	1	30°	6	3	7	5,3
		2	45°	10	3,5	15	5
		3	60°	10	5,5	20	6
		4	75°	12	6,5	28,4	8
	Type 3	1	30°	0,4	0,3	2	2
		2	45°	10	3	7,5	4
		3	60°	11	3,5	10	5
		4	75°	11	5	10,5	5

Sumber : Hasil perhitungan 2023

Tabel 2. Perlakuan model uji fisik

Sedimen	Pintu air	kemiringan		Ls	Ds	Lt	Dt
		saringan ^ø					
D50	Type 1	1	30°	6	2	5,5	3
		2	45°	6,2	2,3	10,6	3,9
		3	60°	12	3	10,7	4,7
		4	75°	12,3	3	14	5,4
	Type 2	1	30°	3,8	0,4	4,7	2,7
		2	45°	7	2,2	8,12	4,1
		3	60°	11	4,5	17	5
		4	75°	13	5	23	5,5
	Type 3	1	30°	1	0,3	3	3
		2	45°	4	1	6,5	3,5
		3	60°	8,5	2,5	13	4,7
		4	75°	11	5	14	5

Sumber : Hasil perhitungan 2023

C. Peralatan dan matrial

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini :

- Tangki Air
- Flume Test
- Stopwatch
- Pasir d40 dan d60
- Miniature bendug

D. Hipotesis

Bedasarkan tujuan penelitian, Rumusan masalah serta Tabel alur penelitian yang dijelaskan, Maka hipotesis yang didapatkan adalah :

1. Didapatkan kecepatan air untuk digunakan acuan dalam penelitian desain bendung tipe undersluice.
2. Adanya variasi debit yang didapatkan karena pengaruh pintu air
3. Didapatkan karakteristik gerusan sedimen yang diakibatkan aliran air melalui pintu air.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisa model penelitian

Sebelum dimulainya penelitian ini pertama yang diukur ialah Analisa hidrolis yaitu tinggi muka air (h), kecepatan di hulu mercu (V0), kecepatan awal loncat (V1), tinggi air setelah terjunan (Y1), tinggi air di ambang ujung (Y2) dan kecepatan aliran setelah loncatan (V2), tinggi loncatan dan Panjang loncatan. Uji model fisik ini dilakukan di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Jember.

Pengujian dilaksanakan dengan menggunakan model bendung gerak undersluice dengan 3 (tiga) model pintu air serta ukuran dimensi model disesuaikan ukuran flume laboratorium. Bendung dan pintu air memakai bahan dari kayu agar ekonomis dan muda dibentuk.

Dimensi mercu bendung gerak
 Lebar flume : 15 cm
 Panjang bendung : 15 cm
 Debit rencana (Q) : 0,002 liter/detik

B. Perencanaan Mercu

Mercu yang digunakan pada penelitian ini adalah mercu persegi dengan Panjang 15cm, lebar 6cm, tinggi 7cm. mercu ini sangat berbeda dengan mercu lainnya karena bentuknya karena permukaan yang rata dan terdapat pintu air, mercu ini tidak akan terjadi sub atmosfer pada permukaan mercu saat bendug mengalirkan air pada debit rencana. Perhitungan bendung dapat disesuaikan dengan data laboratorium. Berikut data-datanya :

- A. Lebar saluran (B) = 0,15 m
- B. Elevasi Pelimpah = 0,07 m
- C. Debit rencana (Q) = 0,0019 m³/detik

Koefisien koreksi diandaikan kurang lebih sama dengan factor koreksi untuk bentuk mercu tipe ogee, maka control debit (Q) adalah

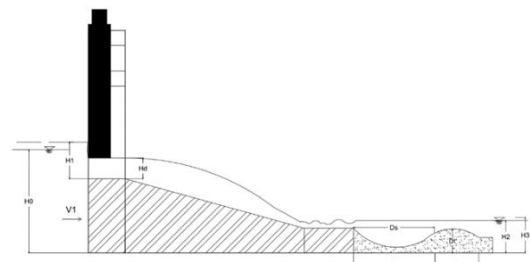
$$Q \text{ (rencana)} = Q \text{ (kontrol)}$$

$$0,0019 = C_d \times B \times H_e^{3/2}$$

$$0,0019 = 1,29 \times 0,15 \times 0,05^{3/2}$$

$$0,0019 = 0,0019 \text{ m}^3/\text{det}$$

Perencanaan dimensi bendung menggunakan mercu tipe persegi dengan ukuran lebar 15 cm, tinggi 10 cm. dengan 3 variasi kemiringan pintu gerak yaitu : tipe 1 (1 : 0), tipe 2 (2 : 1/2), tipe 3 (2: 1/3).



Gambar 3. Detail gambar bendung

Sumber : Autocad 2015

$$R1 = 0,5 \times H_d \text{ Jarak } R1 = 0,175 \times H_d = 0,025 \text{ m} = 0,0088 \text{ m}$$

$$R2 = 0,2 \times H_d \text{ Jarak } R2 = 0,282 \times H_d = 0,0100 \text{ m} = 0,0141 \text{ m}$$

$$X_{1,85} = 2,0 \times H_d^{0,85} \times Y = 2 \times 0,078 \times Y = 0,157 \times Y$$

$$Y = 6,380 \times X_{1,85}$$

Misal :

$$Y' = 6,380 \times 1,85 \times X_{0,85}$$

$$Y' = 11,804 \times X_{0,85}$$

Titik awal melalui gradien

Misal :

$$Y' = 1$$

$$1 = 11,8037 \times X_{0,85}$$

$$X_{0,85} = 0,0847$$

$$X = 0,0548$$

$$Y' = 6,380 \times 0,05481,85 = 0,0296$$

C. Pengolahan Data

A. Pengujian Aliran

Pengujian aliran dilakukan dengan cara mengalirkan air pada flume melalui pelimpa bendung gerak dengan 4 variasi debit melalui tandon yang dipompa menggunakan pompa air. Besaran debit ini dilakukan 4 kali pada pembukaan kran pada tandon yaitu 300, 450,

600, 750 yang meliputi 0,0006 m³/detik, 0,0007 m³/detik, 0,0020 m³/detik, 0,0038 m³/detik. Data awal didapatkan dengan Panjang flume 4,1 m, lebar flume 0,15 m dan tinggi flume 0,24 m. pengujian berikut ini dilakukan empat kali untuk mendapatkan nilai waktu rata-rata yang dilewati air pada flume tersebut.

B. Pengambilan Data Pengujian

Pengambilan data pengujian menggunakan model uji fisik bendung gerak undersluice Dengan pintu air yang telah disesuaikan. Penelitian ini menggunakan empat tiga variasi pintu air dan empat variasi debit. Dalam proses pengambilan data ini dilakukan tiga mahasiswa agar mendapatkan nilai data yang tepat dan akurat. Waktu (t) = $\frac{t_1+t_2+t_3+t_4}{3}$



Gambar 4. Pengukuran Ketinggian air

Sumber : dokumentasi pribadi

$$\text{Waktu (t)} = \frac{9,73+8,71+6,16+4,86}{3} = 9,21 \text{ det}$$

Pengujian ini menggunakan gabus untuk media apungnya agar mudah digunakan, selanjutnya untuk hasil dari kecepatan aliran tersebut menggunakan persamaan berikut :

$$V = \text{Panjang flume (s)} / \text{waktu (t)} = 4,1 / 9,73 = 0,421 \text{ m/det}$$

Untuk menghitung besarnya debit yang diperlukan pada luas penampang menggunakan persamaan berikut :

$$A = \text{lebar flume (b)} \times \text{tinggi muka air (h)} = 0,15 \times 0,03 = 0,0045 \text{ m}^2$$

Setelah mendapatkan nilai kecepatan aliran dan luas penampang, selanjutnya menghitung besarnya (Q). untuk mendapatkan besaran debit yang digunakan.

$$Q = A \times V = 0,0045 \times 0,417$$

$$= 0,001 \text{ m}^3/\text{det}$$

Data hasil pengujian uji aliran sebagai berikut pada

Table 3. Perhitungan debit aliran

b	t	h	v	A	Q
(m)	(detik)	(m)	(m/detik)	(m ²)	(m ³ /detik)
0,15	9,73	0,01	0,421	0,002	0,0006
	8,21	0,01	0,499	0,002	0,0007
	6,16	0,02	0,666	0,003	0,0020
	4,86	0,03	0,844	0,005	0,0038

Sumber : Hasil Perhitungan 2023

C. Tinggi Muka Air

Ketinggian muka air dilakukan untuk menghitung beda tinggi energi untuk meredam energi terhadap kolam olak. Untuk menghitung tinggi muka air diatas (Hd) menggunakan persamaan berikut :

$$H_d = H_0 - P = 0,08 \text{ m} - 0,07 \text{ m} = 0,01 \text{ m}$$

Untuk mengetahui kecepatan aliran pada hulu dan hilir bendung menggunakan persamaan berikut :

$$V_1 = \frac{Q}{(H_0 \cdot B)} = \frac{0,006}{(0,08 \times 0,15)} = 0,0527 \text{ m/det}$$

Data hasil perhitungan tinggi air diatas mercu (Hd), kecepatan air hulu bendung (V1) dan kecepatan air hilir bendung (V2) dilampirkan pada table berikut :

Tabel 4. Hasil perhitungan H_d, V₁, V₂

Variasi kemiringan pintu air	Debit m ³ /det	H ₀ (m)	H ₃ (m)	H _d (m)	V ₁ (m/det)	V ₂ (m/det)
0	0,0006	0,08	0,065	0,010	0,0527	0,0648
	0,0007	0,1	0,065	0,030	0,0499	0,0768
	0,0020	0,13	0,073	0,060	0,1024	0,1824
	0,0038	0,14	0,08	0,070	0,1808	0,3164
1/2	0,0006	0,08	0,07	0,010	0,0527	0,0602
	0,0007	0,1	0,08	0,030	0,0499	0,0624
	0,0020	0,13	0,08	0,060	0,1024	0,1664
	0,0038	0,14	0,08	0,070	0,1808	0,3164

Variasi kemiringan pintu air	Debit m ³ /det	H ₀ (m)	H ₃ (m)	H _d (m)	V ₁ (m/det)	V ₂ (m/det)
1/3	0,0006	0,08	0,068	0,010	0,0527	0,0620
	0,0007	0,1	0,079	0,030	0,0499	0,0632
	0,0020	0,13	0,085	0,060	0,1024	0,1566
	0,0038	0,14	0,105	0,070	0,1808	0,2410

Sumber : Hasil Perhitungan 2023

D. Tinggi Energi Air

Tinggi kecepatan energi menyebabkan bertambah nilai kehilangan tinggi energi. Oleh karena itu antara kecepatan yang tinggi dan kehilangan tinggi energi harus tetap dijaga. Kehilangan tinggi energi terdiri dari kehilangan energi akibat gesekan dan kehilangan energi akibat terjunan.

Untuk menghitung tinggi energi air hulu (H₁) dan hilir (H₂) menggunakan berikut :

$$H_1 = H_0 + \frac{V_1^2}{2 \times g}$$

$$= 0,08 + \frac{0,053^2}{2 \times 9,81}$$

$$= 0,094 \text{ m}$$

$$H_2 = H_3 + \frac{V_2^2}{2 \times g}$$

$$= 0,065 + \frac{0,065^2}{2 \times 9,81}$$

$$= 0,065 \text{ m}$$

Data hasil perhitungan tinggi energi air pada hulu (H₁) dan hilir (H₂) disajikan pada tabel 4.3 sebagai berikut

E. Perhitungan Kecepatan dan Ketinggian Loncat Air

Loncatan air merupakan contoh aliran yang berubah cepat (rapidly varied flow). Dengan ini loncatan air pada hilir bendung dapat mengurangi energi aliran. Dalam perhitungan kecepatan awal loncatan air dapat menggunakan rumus sebagai berikut :

Tabel 5. Perhitungan H₁, H₂

Variasi kemiringan	Debit m ³ /det	V ₁ (m/det)	V ₂ (m/det)	H ₀ (m)	H ₃ (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)
0	0,0006	0,053	0,065	0,080	0,065	0,094	0,065
	0,0007	0,050	0,077	0,100	0,065	0,112	0,065
	0,0020	0,102	0,182	0,130	0,073	0,181	0,075
	0,0038	0,181	0,316	0,140	0,080	0,300	0,085
1/2	0,0006	0,053	0,060	0,080	0,070	0,094	0,070
	0,0007	0,050	0,062	0,100	0,080	0,112	0,080
	0,0020	0,102	0,166	0,130	0,080	0,181	0,081

Variasi kemiringan	Debit m ³ /det	V ₁ (m/det)	V ₂ (m/det)	H ₀ (m)	H ₃ (m)	H ₁ (m)	H ₂ (m)
1/3	0,0038	0,181	0,316	0,140	0,080	0,300	0,085
	0,0006	0,001	0,060	0,080	0,070	0,080	0,070
	0,0007	0,001	0,001	0,100	8,100	0,100	8,100
	0,0020	0,002	0,166	0,130	0,080	0,130	0,081
	0,0038	0,004	0,316	0,140	0,080	0,140	0,085

Sumber : Hasil perhitungan 2023

Dengan Z adalah tinggi jatuhnya air, tinggi pelimpah + tinggi muka air di atas mercu dikurangi tinggi muka air pada hilir, didapatkan perhitungan berikut :

$$Z = (P + H_d) - H_3$$

$$= (0,15 + 0,010) - 0,065$$

$$= 0,015 \text{ m}$$

Kemudian kecepatan aliran awal loncatan air :

$$V_u = \sqrt{2 \times g(0,5 \times H_1 + z)}$$

$$= \sqrt{2 \times 9,81(0,5 \times 0,94 + 0,015)}$$

$$= 1,101 \text{ m/det}$$

Setelah mengetahui kecepatan awal air, selanjutnya dihitung kedalaman air awal loncatan sebagai berikut :

$$Y_u = \frac{Q}{B \times V_u}$$

$$= \frac{0,0006}{0,15 \times 1,101}$$

$$= 0,004 \text{ m}$$

Dengan diketahuinya V_u, Y_u dapat dihitung bilangan Froude menggunakan persamaan berikut :

$$Fr = \frac{V_u}{\sqrt{g \times Y_u}}$$

$$= \frac{1,101}{\sqrt{9,81 \times 0,004}}$$

$$= 5,684$$

Dengan diketahui bilangan Froude 0,059 dan kedalaman awal loncatan air, maka kedalaman air pada atas ujung ambang didapatkan persamaan berikut :

$$\frac{Y_2}{Y_u} = \frac{1}{2} \cdot (\sqrt{1 + 8 \cdot Fr^2} - 1)$$

$$Y_2 = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot Fr^2} - 1) \cdot Y_u$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1 + 8 \cdot 0,122^2} - 1) \cdot 0,004$$

$$= 0,029 \text{ m}$$

Data perhitungan tinggi jatuh air (Z), kecepatan awal loncatan air (V_u), kedalaman awal loncatan air (Y_u), bilangan Froude (Fr) dan kedalaman air atas ambang ujung (Y₂) ditampilkan pada tabel sebagai berikut :

F. Perhitungan Froude

Bilangan Froude di hulu bendung didapatkan menggunakan persamaan berikut :
 Bilangan Froude hulu :

$$Fr_0 = \frac{V_1}{\sqrt{g \times H_0}} = \frac{0,053}{\sqrt{9,81 \times 0,08}} = 0,059$$

Bilangan Froude awal loncatan air :

$$Fr_1 = \frac{V_u}{\sqrt{g \times Y_u}} = \frac{1,101}{\sqrt{9,81 \times 0,004}} = 5,684$$

Bilangan Froude diambang ujung kolam olak :

Tabel 6. Hasil perhitungannya Z, V_u, Y_u, Fr, Y₂

Variasi kemiringan pintu	Debit m ³ /det	H ₁ (m)	H ₂ (m)	Z (m)	H ₁ (m)	V _u (m/det)	Y _u (m)	Fr	Y ₂ (m)
0	0,0006	0,010	0,065	0,015	0,094	1,101	0,004	5,684	0,029
	0,0007	0,030	0,065	0,035	0,112	1,337	0,004	6,985	0,035
	0,0020	0,063	0,073	0,057	0,181	1,702	0,008	6,147	0,064
	0,0038	0,070	0,080	0,060	0,300	2,031	0,012	5,807	0,096
1/2	0,0006	0,010	0,070	0,010	0,094	1,056	0,004	5,335	0,028
	0,0007	0,030	0,080	0,022	0,112	1,222	0,004	6,103	0,033
	0,0020	0,060	0,080	0,050	0,181	1,662	0,008	5,927	0,063
	0,0038	0,070	0,080	0,060	0,300	2,031	0,012	5,807	0,096
1/3	0,0006	0,010	0,068	0,012	0,080	1,010	0,004	4,993	0,027
	0,0007	0,030	0,079	0,021	0,100	1,180	0,004	5,793	0,033
	0,0020	0,060	0,085	0,045	0,130	1,469	0,009	4,928	0,059
	0,0038	0,070	0,105	0,035	0,140	1,436	0,018	3,452	0,078

Sumber : Hasil perhitungan 2023

$$Fr_2 = \frac{V_2}{\sqrt{g \times Y_2}} = \frac{0,065}{\sqrt{9,81 \times 0,029}} = 0,122$$

Tabel 7. Fr₀, Fr₁, Fr₂

Variasi kemiringan	Debit m ³ /det	V ₁ (m/det)	H ₀ (m)	Fr ₀	V _u (m/det)	Y _u (m)	Fr ₁	V ₂ (m/det)	Y ₂ (m)	Fr ₂
0	0,0006	0,053	0,08	0,059	1,101	0,004	5,684	0,065	0,029	0,122
	0,0007	0,050	0,10	0,050	1,337	0,004	6,985	0,077	0,035	0,131
	0,0020	0,102	0,13	0,091	1,702	0,008	6,147	0,182	0,064	0,230
	0,0038	0,181	0,14	0,154	2,031	0,012	5,807	0,316	0,096	0,252
1/2	0,0006	0,053	0,08	0,059	1,056	0,004	5,335	0,060	0,028	0,114
	0,0007	0,050	0,10	0,050	1,222	0,004	6,103	0,062	0,033	0,109
	0,0020	0,102	0,13	0,091	1,662	0,008	5,927	0,166	0,063	0,111
	0,0038	0,181	0,14	0,154	2,031	0,012	5,807	0,316	0,096	0,125
1/3	0,0006	0,053	0,08	0,059	1,010	0,004	4,993	0,060	0,027	0,119
	0,0007	0,050	0,10	0,050	1,180	0,004	5,793	0,063	0,033	0,112
	0,0020	0,102	0,13	0,091	1,469	0,009	4,928	0,157	0,059	0,120
	0,0038	0,181	0,14	0,154	1,436	0,018	3,452	0,241	0,078	0,126

Sumber : Hasil perhitungan 2023

D. Data Hasil Perhitungan

Setelah melakukan pengolahan perhitungan data laboratorium hasil olahan dimasukkan dalam bentuk grafik lalu dianalisa. Pembahasan hasil pengolahan data yang disajikan dengan lengkap sebagai berikut :

A. Analisa Pengaruh kemiringan variasi pintu air

Penelitian ini dilakukan dengan mengamati kecepatan aliran yaitu :

Kecepatan pada hulu bendung (V₁), kecepatan awal loncatan (V_u), dan kecepatan hilir pada hilir bendung (V₂). Kecepatan di hulu bendung merupakan kecepatan yang paling rendah, dikarenakan efek pembendungan, lalu kecepatan awal loncatan adalah kecepatan yang paling tinggi dikarenakan adanya penurunan pada air.

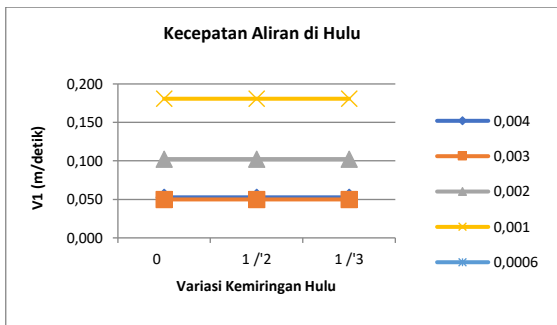
Berikut tabel yang disajikan pada

Tabel 8. Kecepatan aliran

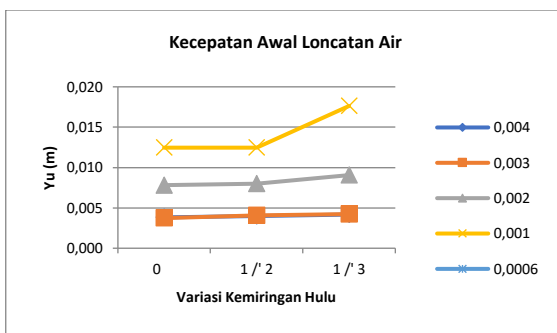
Variasi kemiringan pintu	Debit m ³ /det	V ₁ m/det	V _u m/det	V ₂ m/det
0	0,0006	0,053	1,101	0,065
	0,0007	0,050	1,337	0,077
	0,0020	0,102	1,702	0,182
	0,0038	0,181	2,031	0,316
1/2	0,0006	0,053	1,056	0,060
	0,0007	0,050	1,222	0,062
	0,0020	0,102	1,662	0,166
	0,0038	0,181	2,031	0,316

Variasi	Debit	V ₁	V _u	V ₂
kemiringan pintu	m ³ /det	m/det	m/det	m/det
1/3	0,0006	0,053	1,010	0,062
	0,0007	0,050	1,180	0,063
	0,0020	0,102	1,469	0,157
	0,0038	0,181	1,436	0,241

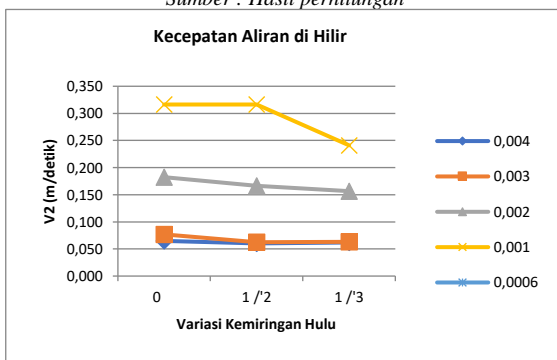
Sumber : Hasil perhitungan 2023



Gambar 5. Grafik aliran hulu
 Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 6. Grafik awal loncatan air
 Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 7. Grafik Kecepatan Hilir
 Sumber : Hasil perhitungan

Berdasarkan grafik yang diketahui diatas kecepatan aliran di hulu bendung (V1) dengan kemiringan pintu air (0) = 0,053 m/det, 0,050 m/det, 0,102 m/det, dan 0,181. Pada kemiringan

(1/2) = 0,053 m/det, 0,050 m/det, 0,102 m/det, dan 0,181 m/det. Dan kemiringan (1/3) = 0,053 m/det, 0,050 m/det, 0,102 m/det, dan 0,181 m/det. Dari grafik V1 diatas dapat disimpulkan bahwa bendung gerak dengan variasi pintu air yang saya buat didapatkan kecepatan aliran yang setabil.

Tetapi berbeda dengan kecepatan awal loncatan air data kecepatan alirannya semakin menurun. Pada kemiringan pintu air (1/3) dengan debit 0,0038. Terdapat kenaikan pada grafik yang disebabkan aliran air yang melewati ambang ujung kolam olak yang mengalami turbulensi serta sedikit menambah kecepatan aliran pada hilir bendung.

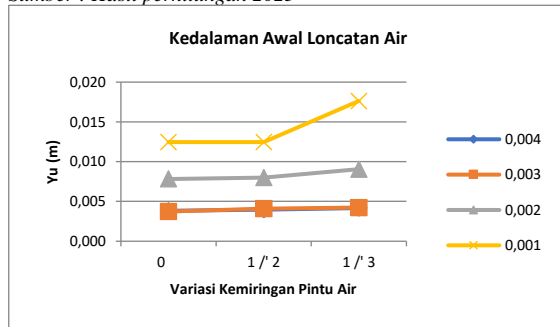
B. Analisis Pengaruh Variasi Kemiringan Pintu Terhadap Loncatan Air

Penelitian dilaksanakan dilaboratorium keairan untuk mengamati kedalaman awal loncatan air (YU) dan ketinggian loncatan air diatas ambang ujung (Y2). Berikut pemaparan tabel data ketinggian loncatan air

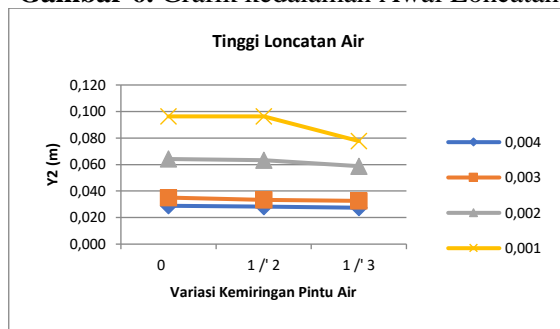
Tabel 9. Ketinggian loncatan air

Variasi kemiringan	Debit m ³ /det	Y _u (m)	Y ₂ (m)
1 / 0,6	0,004	0,012	0,105
	0,003	0,009	0,091
	0,002	0,006	0,074
	0,001	0,003	0,052
	0,006	0,002	0,040
1 / 0,4	0,004	0,012	0,106
	0,003	0,009	0,092
	0,002	0,006	0,074
	0,001	0,003	0,053
	0,006	0,002	0,041
1 / 0,3	0,004	0,011	0,107
	0,003	0,009	0,093
	0,002	0,006	0,075
	0,001	0,003	0,053
	0,006	0,002	0,041

Sumber : Hasil perhitungan 2023



Gambar 6. Grafik kedalaman Awal Loncatan



Gambar 7. Grafik tinggi loncatan

C. Analisa Saringan

Sebelum mencari atau menghitung kedalaman gerusan dapat diuraikan penjelasannya dengan mencari nilai diameter sedimen rata-rata butiran sedimen (d40 dan d60).

Dalam mencari nilai diameter rata-rata (d40 dan d60) dapat dilakukan dengan pengujian analisis saringan yang dilakukan di laboratorium.

E. Data Gerusan dan Pendangkalan

Hasil dari pengamatan dilaboratorium terjadi gerusan Ketika awal loncatan air dari ujung bendung memanjang kearah hilir bendung. Jadi semakin besar tinggi air yang dialirkan maka akan semakin Panjang dan dalam pula gerusan yang terjadi. Dapat disajikan pada gambar 4.16 sebagai berikut :



Gambar 8. Data hasil gerusan

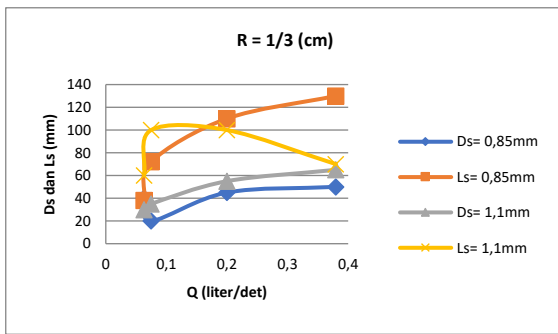
A. Gerusan

Setelah melakukan pengolahan perhitungan data gerusan, hasil olahan dimasukkan dalam bentuk data tabel dan grafik. dalam Pembahasan ini dihasilkan pengolahan data yang berbentuk table serta grafik. Untuk lebih penjelasannya dapat dilihat dalam tabel 4.10 sebagai berikut :

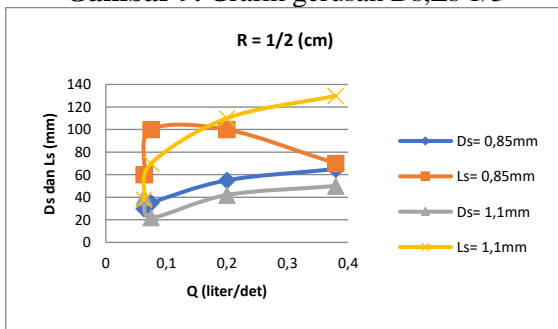
Tabel 10. Gerusan Ds,Ls

Variasi Jari - Jari	Pembukaan Kran	Persen Lolos Ayakan	Ukuran Butiran	Q	Ds	Ls	
		%	mm	(liter/det)	(mm)	(mm)	
1/3	30°	d40	0,85	0,06	40	38	
			0,85	0,07	20	72	
			0,85	0,20	45,0	110	
			0,85	0,38	50	130	
	45°		d60	1,1	0,06	30	60
				1,1	0,07	35	100
				1,1	0,20	55	100
				1,1	0,38	65	70
1/2	30°	d40		0,85	0,06	30	60
				0,85	0,07	35	100
				0,85	0,20	55	100
				0,85	0,38	65	70
	45°		d60	1,1	0,06	40	38
				1,1	0,07	22	70
				1,1	0,20	42	110
				1,1	0,38	50	130
0	30°	d40		0,85	0,06	20	30
				0,85	0,07	15	50
				0,85	0,20	35	90
				0,85	0,38	40	70
	45°		d60	1,1	0,06	20	60
				1,1	0,07	25	65
				1,1	0,20	30	120
				1,1	0,38	30	123

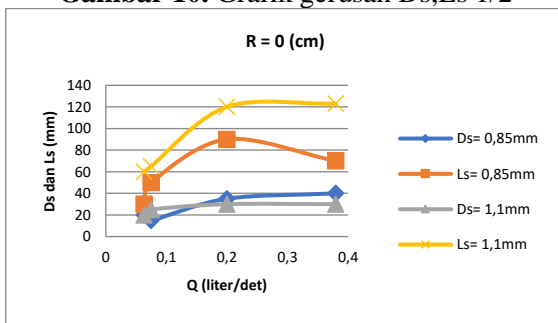
Sumber : Hasil Perhitungan 2023



Gambar 9. Grafik gerusan Ds,Ls 1/3



Gambar 10. Grafik gerusan Ds,Ls 1/2



Gambar 11. Grafik Gerusan Ds,Ls 0

Berdasarkan gambar grafik diatas diketahui nilai gerusan Ds,Ls berdasarkan kemiringan pintu air yaitu variasi kemiringan pintu 1/3 dengan debit 0,06 m³/det dengan butiran 0,85 mm dengan Ds= 40 mm, Ls= 38 mm, variasi kemiringan pintu 1/2 dengan debit 0,06m³/det dengan butiran 0,85 mm dan Ds= 30 mm, Ls= 60 mm, variasi kemiringan pintu 0 debit 0,06 m³/det dengan butiran 0,85 dan Ds= 20 mm, Ls= 30 mm. Dari grafik diatas dapat disimpulkan gerusan yang terjadi pada variasi pintu 1/2 karena pengaruh dari kemiringan pintu air.

B. Pendangkalan

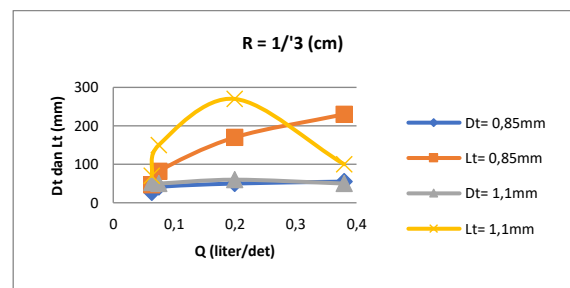
Setelah mengolah data pendangkalan hasil olahan dimasukkan kedalam grafik untuk kemudian dianalisa. Berikut hasil pengolahan

data pendangkalan secara lengkap tersaji pada tabel 4.11 sebagai berikut :

Tabel 11. Pendangkalan Dt,Lt

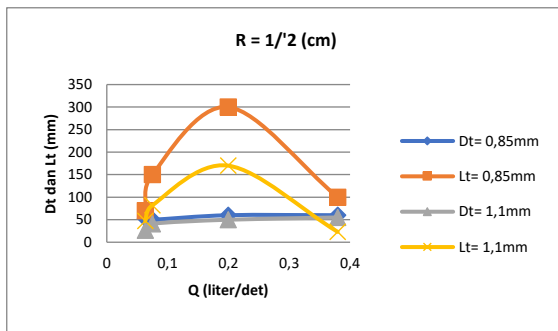
Variasi pintu air	Pembukaan Kran	Persen Lolos Ayakan	Ukuran Butiran	Q	Dt	Lt	
		%	mm	(liter/det)	(mm)	(mm)	
1/3	30°	d40	0,85	0,06	27	47	
			0,85	0,07	41	82	
			0,85	0,20	50	170	
			0,85	0,38	55	230	
	45°		d60	1,1	0,06	53	70
				1,1	0,07	50	150
				1,1	0,20	60	270
				1,1	0,38	50	100
1/2	30°	d40	0,85	0,06	53	70	
			0,85	0,07	50	150	
			0,85	0,20	60	300	
			0,85	0,38	60	100	
	45°		d60	1,1	0,06	27	47
				1,1	0,07	41	82
				1,1	0,20	50	170
				1,1	0,38	55	23
0	30°	d40	0,85	0,06	21	30	
			0,85	0,07	55	85	
			0,85	0,20	55	120	
			0,85	0,38	60	160	
	45°		d60	1,1	0,06	30	55
				1,1	0,07	39	106
				1,1	0,20	47	107
				1,1	0,38	54	140

Sumber : Hasil perhitungan 2023

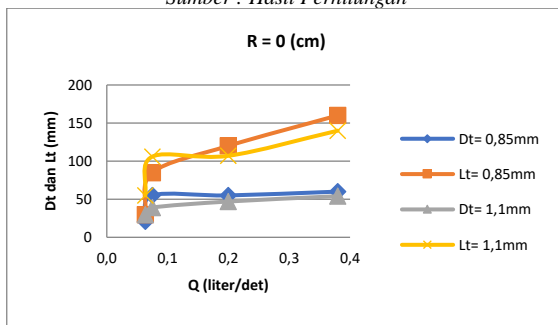


Gambar 11. Grafik Pendangkalan Dt,Lt 1/3

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 12. Grafik Pendangkalan Dt, Lt 1/2
 Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 13. Grafik Pendangkalan Dt, Lt 0
 Sumber : Hasil perhitungan

Dapat diketahui grafik diatas pendangkalan terjadi pada bendung berdasar variasi kemiringan pintu 1/3 dengan debit 0,06 m³/det, ukuran butiran 0,85 dan Dt= 27 mm, Lt= 47 mm, variasi kemiringan pintu 1/2 dengan debit 0,06 m³/det, ukuran butiran 0,85 dan Dt= 53, Lt= 70 mm, variasi kemiringan pintu 0 dengan debit 0,06 m³/det, ukuran butiran 0,85 dan Dt= 21 mm, Lt= 30 mm. Dari kesimpulan diatas variasi kemiringan pintu 1/2 lebih besar nilai pendangkalan dikarenakan ukuran kelandaian pada pintu air tersebut sangat mempengaruhi kelajuan aliran air.

F. Analisis Gerusan dan Pendangkalan Persamaan (WU)

a.) Gerusan

Nilai data gerusan dianalisis untuk mendapatkan hasil nilai yang sesuai dengan yang dibutuhkan untuk penelitian. Penguraian analisis disajikan dalam satu sampel perhitungan dengan menggunakan persamaan Wu. sebagai berikut :

$$D_s = 1,18 \cdot H^{0,235} q^{0,51} D_s = 1,18 \cdot H^{0,235} q^{0,51}$$

Maka dapat dihitung kedalaman gerusan dengan persamaan Wu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} D_s &= 1,18 \cdot H^{0,235} q^{0,51} \\ &= 1,18 \cdot 3,2^{0,235} 0,06^{0,51} \\ &= 1,75 \text{ cm} \end{aligned}$$

Tabel 12. Analisa Gerusan (WU)

Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan	Q	Ds Wu	Ds lab	Error Relatif
	%	(liter/det)	(cm)	(cm)	(%)
1/3	d40	0,06	1,75	0,4	336,96%
		0,07	1,76	2,2	19,83%
		0,20	2,97	4,5	34,10%
		0,38	3,46	5	30,73%
	d60	0,06	1,72	3	42,62%
		0,07	1,73	3,5	50,67%
1/2	d40	0,06	1,72	3	42,62%
		0,07	1,75	3,5	50,13%
		0,20	3,10	5,5	43,72%
		0,38	4,51	6,5	30,58%
	d60	0,06	1,75	0,4	336,96%
		0,07	1,76	2,2	19,83%
0	d40	0,06	1,79	0,2	792,53%
		0,07	1,97	1,5	31,48%
		0,20	3,25	3,5	7,10%
		0,38	4,51	4	12,81%
	d60	0,06	1,72	6	71,31%
		0,07	1,83	6,5	71,82%
		0,20	2,97	1,2	147,12%
		0,38	4,19	12,3	65,93%

Sumber : Hasil perhitungan 2023

Dari penjelasan tabel diatas diketahui nilai eror relatif yang didapat dari beberapa variasi pintu air 1/3 memiliki nilai eror relatif sebesar 336,96%, variasi piuntu air 1/2 memiliki nilai eror raltif 42,62, dan variasi pintu 0 memiliki nilai relatife eror 31,48%. Sehingga dapat dikatakan bahwa hasil percobaan dan perhitungan pada persamaan Wu dapat digunakan untuk memprediksi kedalaman gerusan pada material penelitian.

b.) Pendangkalan

Nilai data gerusan dianalisis untuk mendapatkan hasil nilai yang sesuai dengan yang dibutuhkan untuk penelitian. Penguraian analisis disajikan dalam satu sampel perhitungan dengan menggunakan persamaan Wu. sebagai berikut :

$$D_s = 1,18 \cdot H^{0,235} q^{0,51}$$

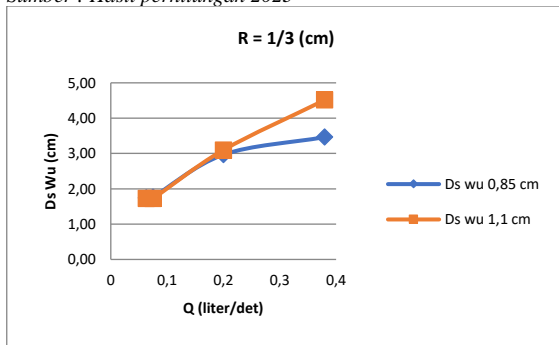
Maka dapat dihitung kedalaman gerusan dengan persamaan Wu sebagai berikut :

$$\begin{aligned} D_t &= 1,18 \cdot H^{0,235} q^{0,51} \\ &= 1,18 \cdot 1,2^{0,235} 0,06^{0,51} \\ &= 1,39 \text{ cm} \end{aligned}$$

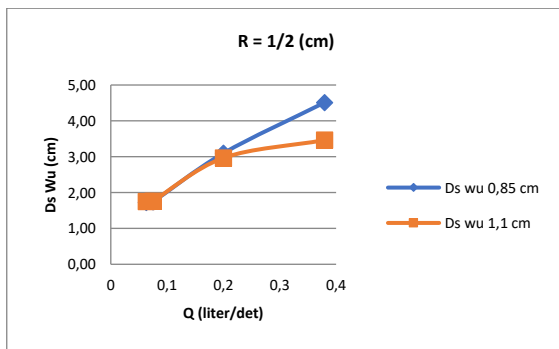
Tabel 13. Pendangkalan (WU)

Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan	Q	q	H ₀	H _s	H	Dt wu	dt lab
		(liter/det)	(cm ² /det)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
1/3	d40	0,06	1,3	8	6,8	1,2	1,39	2,7
		0,07	1,5	10	7,9	2,1	1,73	4,1
		0,20	4,0	13	8,5	4,5	3,40	5
		0,38	7,6	14	10,5	3,5	4,45	5,5
	d60	0,06	1,3	8	7	1	1,33	5,3
		0,07	1,5	10	8,1	1,9	1,69	5
		0,20	4,0	13	8	5	3,49	6
		0,38	7,6	14	8	6	5,06	5
1/2	d40	0,06	1,3	8	7	1	1,33	5,3
		0,07	1,5	10	8	2	1,71	5
		0,20	4,0	13	8	5	3,49	6
		0,38	7,6	14	8	6	5,06	5
	d60	0,06	1,3	8	6,8	1,2	1,39	2,7
		0,07	1,5	10	7,9	2,1	1,73	4,1
		0,20	4,0	13	8,5	4,5	3,40	5
		0,38	7,6	14	10,5	3,5	4,45	5,5
0	d40	0,06	1,3	8	6,5	1,5	1,46	2,1
		0,07	1,5	10	6,5	3,5	1,95	5,5
		0,20	4,0	13	7,3	5,7	3,60	5,5
		0,38	7,6	14	8	6	5,06	6
	d60	0,06	1,3	8	7	1	1,33	3
		0,07	1,5	10	7,5	2,5	1,80	3,9
		0,20	4,0	13	8,5	4,5	3,40	4,7
		0,38	7,6	14	9	5	4,84	5,4

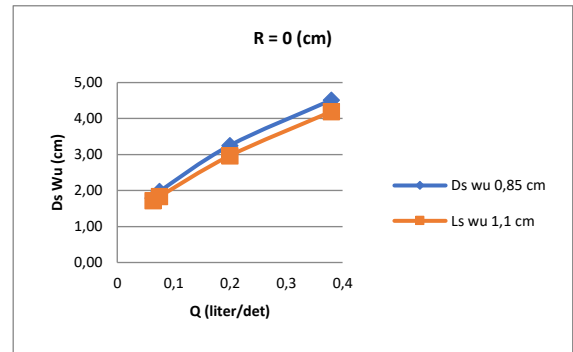
Sumber : Hasil perhitungan 2023



Gambar 14. Grafik pendangkalan Wu 1/3
 Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 15. Grafik pendangkalan Wu 1/2
 Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 16. Grafik Pendangkalan Wu 0
 Sumber : Hasil perhitungan

Dapat diketahui grafik diatas pendangkalan terjadi pada bendung berdasar variasi kemiringan pintu 1/3 dengan debit 0,06 m³/det, ukuran butiran 0,85 dan Dt Wu= 1,39 mm, variasi kemiringan pintu 1/2 dengan debit 0,06 m³/det, ukuran butiran 0,85 dan Dt Wu= 5,06 mm, variasi kemiringan pintu 0 dengan debit 0,06 m³/det, ukuran butiran 0,85 dan Dt wu = 1,46 mm. Dari kesimpulan diatas variasi kemiringan pintu 1/2 lebih besar nilai pendangkalan dikarenakan ukuran kelandaian pada pintu air tersebut sangat mempengaruhi kelajuan aliran air.

Tabel 14. Nilai eror relatif Wu

Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan	Q	Dt wu	Dt lab	Error Relatif
	%	(liter/det)	(cm)	(cm)	(%)
1/3	d40	0,06	1,39	2,7	48,59%
		0,07	1,73	4,1	57,89%
		0,20	3,40	5	31,91%
		0,38	4,45	5,5	19,02%
	d60	0,06	1,33	5,3	74,91%
		0,07	1,69	5	66,27%
		0,20	3,49	6	41,83%
		0,38	5,06	5	1,11%
1/2	d40	0,06	1,33	5,3	74,91%
		0,07	1,71	5	65,87%
		0,20	3,49	6	41,83%
		0,38	5,06	5	1,11%
	d60	0,06	1,39	2,7	48,59%
		0,07	1,73	4,1	57,89%
		0,20	3,40	5	31,91%
		0,38	4,45	5,5	19,02%
0	d40	0,06	1,46	2,1	30,34%
		0,07	1,95	5,5	64,61%
		0,20	3,60	5,5	34,56%
		0,38	5,06	6	15,75%
	d60	0,06	1,33	3	55,67%
		0,07	1,80	3,9	53,88%
		0,20	3,40	4,7	27,56%
		0,38	4,84	5,4	10,31%

Sumber : Hasil Perhitungan 2023

Dari pengamatan pada perhitungan diatas hasil persamaan Wu nilai eror relatif pada variasi pintu 1/3 = mendapat nilai 48,59 % pada debit 0,06.

Maka berdasarkan hasil kedalaman gerusan (Ds) dan tinggi pendangkalan (Dt) pada tabel 4.13 dan tabel 4.14 terdapat nilai yang tidak sesuai atau kesalahan dari pengujian di laboratorium dan pengujian teoritis. Kesalahan ini disebabkan karena faktor nilai pada ketinggian bendung (H0) dan hilir bendung (H3) memiliki nilai yang besar sehingga teoritis berpengaruh pada persamaan metode Wu, maka lebih efisien menggunakan rumus ini karena nilai eror relatif kecil dari perhitungan gerusan.

C.) Panjang Gerusan (Ls)

Nilai data gerusan dianalisis untuk mendapatkan hasil nilai yang sesuai dengan yang dibutuhkan untuk penelitian. Penguraian analisis disajikan dalam satu sampel perhitungan dengan menggunakan Panjang gerusan (Ls). Dari hasil uji fisik pada laboratorium menggunakan persamaan Graf (1998) sebagai berikut :

$$Ls = 3 \times (h_3 + ds)$$

$$Ds = 4 \text{ cm}$$

$$Ls = 3 \times (6,8 + 4)$$

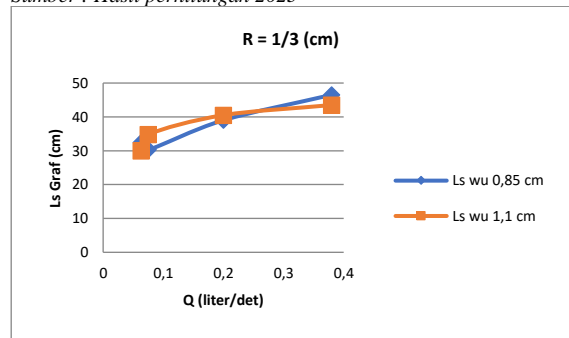
$$Ls = 32,4 \text{ cm}$$

Tabel 15. Panjang gerusan Graf

Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan	Q (liter/det)	H ₃ (cm)	Ds lab (cm)	Ls persamaan Graf (cm)
	%				
1/3	d40	0,06	6,8	4	32,4
		0,07	7,9	2,2	30,3
		0,20	8,5	4,5	39
		0,38	10,5	5	46,5
	d60	0,06	7	3	30
		0,07	8,1	3,5	34,8
		0,20	8	5,5	40,5
		0,38	8	6,5	43,5
1/2	d40	0,06	7	3	30
		0,07	8	3,5	34,5
		0,20	8	5,5	40,5
		0,38	8	6,5	43,5
	d60	0,06	6,8	4	32,4
		0,07	7,9	2,2	30,3
		0,20	8,5	4,2	38,1
		0,38	10,5	5	46,5
0	d40	0,06	6,5	2	25,5
		0,07	6,5	1,5	24

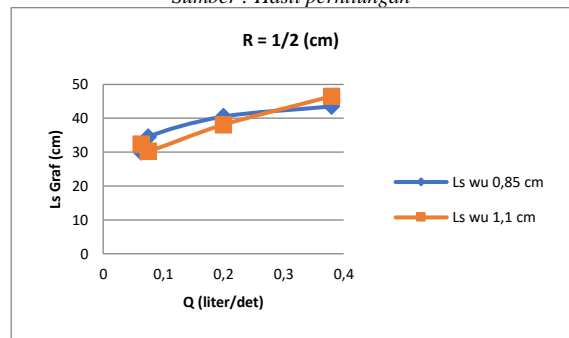
Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan	Q (liter/det)	H ₃ (cm)	Ds lab (cm)	Ls persamaan Graf (cm)
	%				
		0,20	7,3	3,5	32,4
		0,38	8	4	36
	d60	0,06	7	2	27
		0,07	7,5	2,5	30
		0,20	8,5	3	34,5
		0,38	9	3	36

Sumber : Hasil perhitungan 2023



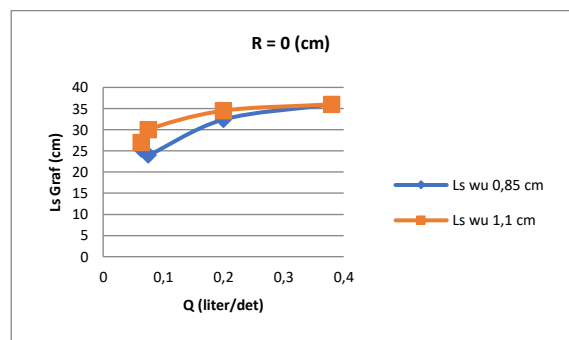
Gambar 17. Grafik Panjang gerusan Graf

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 18. Grafik Panjang Gerusan Graf

Sumber : Hasil perhitungan



Gambar 19. Grafik Panjang Gerusan Wu

Sumber : Hasil perhitungan

Hasil dari pengamatan ini suda sesuai dengan persamaan metode Graf (1998). Untuk kecepatan aliran 0,006 liter/det terhadap

kedalaman gerusan R1 1/3 = 32,4 cm, R2 1/2 = 30 cm, R3 0 = 25,5 cm. dari gambar diatas R1 mempunyai nilai yang besar kemudian R2 dan R3 relatif mempunyai nilai relatif rendah.

Tabel 16. Nilai eror relative persamaan wu

Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan %	Q	Ls persamaan Graf	Ls lab	Error Relatif
		(liter/det)	(cm)	(cm)	(%)
1/3	d40	0,06	32,4	12,0	0,63
		0,07	30,3	11,0	0,64
		0,20	39	9,0	0,77
		0,38	46,5	5,0	0,89
	d60	0,06	30	13,0	0,57
		0,07	34,8	11,5	0,67
		0,20	40,5	10,5	0,74
		0,38	43,5	9,1	0,79
1/2	d40	0,06	30	15,0	0,50
		0,07	34,5	12,0	0,65
		0,20	40,5	10,0	0,75
		0,38	43,5	8,0	0,82
	d60	0,06	32,4	17,0	0,48
		0,07	30,3	15,0	0,50
		0,20	38,1	11,0	0,71
		0,38	46,5	9,2	0,80
0	d40	0,06	25,5	18,0	0,29
		0,07	24	13,0	0,46
		0,20	32,4	11,0	0,66
		0,38	36	9,0	0,75
	d60	0,06	27	19,5	0,28
		0,07	30	16,5	0,45
		0,20	34,5	13,0	0,62
		0,38	36	9,5	0,74

Sumber : Hasil perhitungan 2023

Pada tabel diatas didapatkan hasil nilai eror relatif dari hasil pengujian uji fisik dilaboratorium dengan hasil persamaan Graf (1998) pada debit 0,06 liter/det adalah 0,63%.

d.) Panjang Pendangkalan (Lt)

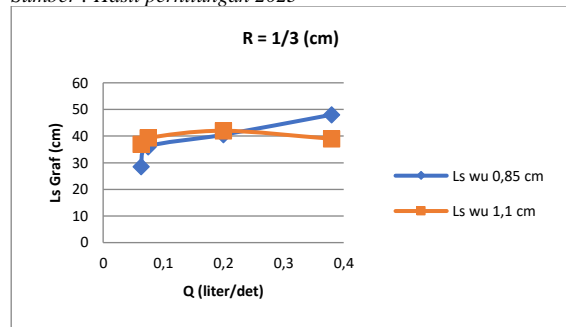
Nilai data gerusan dianalisis untuk mendapatkan hasil nilai yang sesuai dengan yang dibutuhkan untuk penelitian. Penguraian analisis disajikan dalam satu sampel perhitungan dengan menggunakan Panjang pendangkalan (Ls). Dari hasil uji fisik pada laboratorium menggunakan persamaan Graf (1998) sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Lt &= 3 \times (H3 + Dt) \\
 &= 3 \times (6,8 + 2,7) \\
 &= 3 \times 9,5 \\
 &= 28,5 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

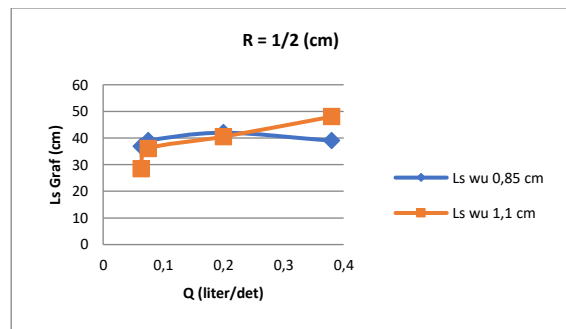
Tabel 17. Hasil Data Perhitungan Panjang

Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan	Q	h ₃	Dt lab	Lt persamaan Graf
	%	(liter/det)	(cm)	(cm)	(cm)
1/3	d40	0,06	6,8	2,7	28,5
		0,07	7,9	4,1	36
		0,20	8,5	5	40,5
		0,38	10,5	5,5	48
	d60	0,06	7	5,3	36,9
		0,07	8,1	5	39,3
		0,20	8	6	42
		0,38	8	5	39
1/2	d40	0,06	7	5,3	36,9
		0,07	8	5	39
		0,20	8	6	42
		0,38	8	5	39
	d60	0,06	6,8	2,7	28,5
		0,07	7,9	4,1	36
		0,20	8,5	5	40,5
		0,38	10,5	5,5	48
0	d40	0,06	6,5	2,1	25,8
		0,07	6,5	5,5	36
		0,20	7,3	5,5	38,4
		0,38	8	6	42
	d60	0,06	7	3	30
		0,07	7,5	3,9	34,2
		0,20	8,5	4,7	39,6
		0,38	9	5,4	43,2

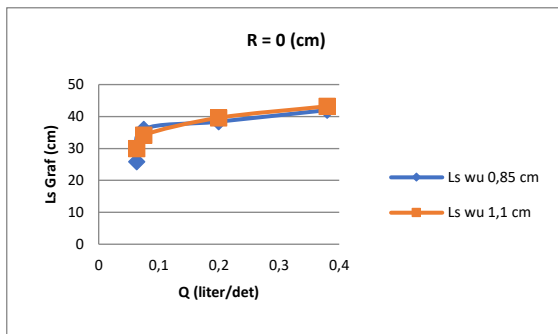
Sumber : Hasil perhitungan 2023



Gambar 20. Grafik Panjang Pendangkalan 1/3
 Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 21. Grafik Panjang Pendangkalan 1/2
 Sumber : Hasil Perhitungan



Gambar 22. Grafik Panjang pendangkalan 0
 Sumber : Hasil perhitungan

Nilai hasil pengamatan diatas suda sesuai dengan perhitungan persamaan metode Graf (1998). Dapat diketahui pada gambar 4.29, 4.30, 4.31 nilai kecepatan aliran akan semakin beragam karena pemodelan jari – jari pintu air. Untuk d40 dengan kecepatan aliran 0,06 liter/det terhadap gerusan R 1/3 = 28,5 cm, R 1/2 = 36,9 cm, R 0 = 36 cm. Dari gambar diatas menunjukkan jari – jari pintu air R 1/2 mempunyai nilai yang relatif besar kemudian R 1/3 dan R 0 relatif mempunyai nilai yang rendah.

Tabel 18 Hasil nilai eror relatife pendangkalan

Variasi Jari - Jari	Persen Lolos Ayakan %	Q	Ls persamaan Graf	Ls lab	Error Relatif
		(liter/det)	(cm)	(cm)	(%)
1/3	d40	0,06	32,4	12,0	0,63
		0,07	30,3	11,0	0,64
		0,20	39	9,0	0,77
		0,38	46,5	5,0	0,89
	d60	0,06	30	13,0	0,57
		0,07	34,8	11,5	0,67
		0,20	40,5	10,5	0,74
		0,38	43,5	9,1	0,79
1/2	d40	0,06	30	15,0	0,50
		0,07	34,5	12,0	0,65
		0,20	40,5	10,0	0,75
		0,38	43,5	8,0	0,82
	d60	0,06	32,4	17,0	0,48
		0,07	30,3	15,0	0,50
		0,20	38,1	11,0	0,71
		0,38	46,5	9,2	0,80
0	d40	0,06	25,5	18,0	0,29
		0,07	24	13,0	0,46
		0,20	32,4	11,0	0,66
		0,38	36	9,0	0,75
	d60	0,06	27	19,5	0,28
		0,07	30	16,5	0,45
		0,20	34,5	13,0	0,62
		0,38	36	9,5	0,74

Sumber : Hasil perhitungan 2023

Dari hasil yang didapat nilai eror relatif dari hasil model uji fisik di laboratorium dengan hasil metode persamaan Graf (1998).

pada variasi jari -jari 1/3 Persen lolos ayakan d40 Qdebit 0,06 liter/dt,LT Persamaan Graf = 28, 5,Lt Lab = 4,7 dan Error Relatif nya adalah

84 %. Didapatkan d60 Qdebit 0,06 liter/dt,LT Persamaan Graf = 36,9,Lt Lab = 7,0 dan Error Relatif nya adalah 81 %.

pada variasi jari -jari 1/2 Persen lolos ayakan d40 Qdebit 0,06 liter/dt,LT Persamaan Graf = 36,9, Lt Lab = 7,0 dan Error Relatif nya adalah 81 %. Didapatkan d60 Qdebit 0,06 liter/dt,LT Persamaan Graf = 28,5 Lt Lab = 4,7 dan Error Relatif nya adalah 84 %.

pada variasi jari -jari 0 Persen lolos ayakan d40 Qdebit 0,06 liter/dt,LT Persamaan Graf = 25,8 Lt Lab = 3,0 dan Error Relatif nya adalah 88 % . Didapatkan d60 Qdebit 0,06 liter/dt,LT Persamaan Graf = 30 Lt Lab = 5,5 dan Error Relatif nya adalah 82 %.

pengujiannya tidak menggunakan distribusi tertentu (Soewarno,1995).

5. PENUTUP

A. KESIMPULAN

Dari Hasil Perhitungan dan Analisa didapatkan Kesimpulan sebagai berikut :

1. Pengaruh variasi R jari – jari pintu air terhadap kedalaman gerusan dan panjang gerusan (Ls) yang terjadi pada hilir bendung dengan tipe bendung gerak mengalami perubahan besar terhadap aliran air serta kedalaman gerusan yang terjadi dihilir bedung. Nilai kedalaman gerusan (Ds) dan Panjang gerusan (Ls) pada sedimen D40 dan D60 terhadap debit (Q) 0,06 liter/det yang memiliki nilai paling besar yaitu R 1/3 atau 60o, R 1/2 atau 90o dan nilai terendah R0 atau 0o. Dari hasil penelitian diketahui R 1/3 adalah yang paling efektif dalam reduksi gerusan karena nilai gerusan yang dimiliki paling rendah dari setiap variasi R jari – jari pintu air.

2. Pola gerusan pada penelitian ini memiliki pengaruh penting pada pendangkalan sedimen, setelah melakukan validasi data menggunakan hasil uji laboratorium dan persamaan teoritis metode Wu didapatkan haasil sebagai berikut :

- A. Pola kedalaman gerusan (Ds) pada sedimen D40 R1/3 dengan debit 0,06 liter/det untuk persamaan gerusan lokal (Ds) memiliki nilai Ls persamaan graf 32,4 cm, sedimen D60 dengan debit 0,06 liter/det untuk persamaan gerusan lokal (Ds) memiliki nilai Ls persamaan graf 30 cm.
- B. Pola kedalaman gerusan (Ds) pada sedimen D40 R1/2 dengan debit 0,06 liter/det untuk

persamaan gerusan lokal (Ds) memiliki nilai Ls persamaan graf 30 cm, sedimen D60 dengan debit 0,06 liter/det untuk persamaan gerusan lokal (Ds) memiliki nilai Ls persamaan graf 32,4 cm.

- C. Pola kedalaman gerusan (Ds) pada sedimen D40 R0 dengan debit 0,06 liter/det untuk persamaan gerusan lokal (Ds) memiliki nilai Ls persamaan graf 25,5 cm, sedimen D60 dengan debit 0,06 liter/det untuk persamaan gerusan lokal (Ds) memiliki nilai Ls persamaan graf 27 cm.

B. Saran

Berdasarkan tugas akhir “POLA GERUSAN LOKAL AKIBAT SEDIMENTASI PADA BENDUNG GERAK TIPE UNDESLUICE PADA HILIR PINTU AIR” untuk penelitian selanjutnya disarankan beberapa hal sebagai berikut :

1. Penelitian selanjutnya diharapkan mencoba mengkombinasi dengan variasi debit diperbanyak serta divariasikan pintu air sehingga akan terlihat jelas perbedaan hasil perhitungan.
2. Kapasitas tank di laboratorium diperbesar sehingga saat melakukan pengujian kapasitas dalam tank tidak cepat habis, maka data yang diperoleh dari pengujian lebih cepat.
3. Penelitian selanjutnya direkomendasikan menggunakan pasir butiran D70 dengan mengkombinasikan material kerikil yang di uji di laboratorium sehingga terlihat lebih jelas perbedaan hasil perhitungan.

C. Daftar Pustaka

Harianja, J. A., & Gunawan, S. (2007). Tinjauan energi spesifik akibat penyempitan pada saluran terbuka. Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik UKRIM Yogyakarta. Majalah Ilmiah UKRIM Edisi, 1, 30-46.

Safanpo, Apolo, Suripin Suripin, and Iwan K. Hadihardaja. SISTEM PEMBILAS SEDIMEN (SEDIMENT FLUSHING) YANG EFEKTIF PADA BENDUNG GERAK DI KANAL BANJIR. Diss. Doctor Program in Civil Engineering, 2016.

Ikhsan, J., & Hidayat, W. (2006). Pengaruh bentuk pilar jembatan terhadap potensi gerusan lokal. *Semesta Teknika*, 9(2), 124-132.

Sudirman, Sudirman, et al. Sistem Irigasi dan Bangunan Air. Yayasan Kita Menulis, 2021.

MULYANTI, Heri. "Analisis Optimalisasi Pemanfaatan Bendung Gerak Di Bojonegoro “Studi Kasus Di Area Hulu Bendung Gerak Kabupaten Bojonegoro”." *De'Teksi-Jurnal Teknik Sipil Unigoro* 3.1 (2018): 58-72.

Mangore, Vicky Richard, et al. "Perencanaan bendung untuk daerah irigasi sulu." *Jurnal Sipil Statik* 1.7 (2013).

ABDURROSYID, Jaji. Kajian pengendalian gerusan di sekitar abutmen jembatan pada kondisi adanya angkutan sedimen. 2004. PhD Thesis. Universitas Gadjah Mada.

Saputra, Darma Tinto, Dian Noorvy Khaerudin, and Kiki Frida Sulistyani. "Kajian Pemilihan Jenis Kolam Olak Dari Segi Fisik Bendung Pada Bendung Di Dusun Darok." *Prosiding SENTIKUIN (Seminar Nasional Teknologi Industri, Lingkungan dan Infrastruktur)*. Vol. 2. 2019.

Nanang Saiful Rizal, 2023. Penentu Faktor Koreksi Panjang Loncatan Hidrolik Pada Kolam Peredam Energi Tipe Bucket.

Nanang Saiful Rizal, 2022. Physical Model And Validation Of Local Scour Pattern Downstream Of Trapezoidal Threshold.

Nanang Saiful Rizal, 2023. Pemodelan Hidrolik Aliran Pada Bendung Dengan Mercu Tipe Ogee.

Nanang Saiful Rizal, 2022. Kajian Model Fisik Perbandingan Perilaku Aliran Pada Bendung Dengan Kolam Olak Tipe USBR II, III, IV.

Nanang Saiful Rizal, 2023. Kajian Uji Fisik Bendung Tipe Bulat Yang Divalidasi Oleh Aplikasi HEC-RAS.

Ahmad, H. H., Yanuar, S. F., & Hamduwibawa, R. B. (2022). Studi Pengaruh Jenis Semen Pada Campuran Beton 1: 2: 3. *Jurnal Rekayasa Infrastruktur Hexagon*, 7(2), 74-77.

Salim, N., Rizal, N. S., & Vihantara, R. (2018). Komposisi efektif batok kelapa sebagai karbon aktif untuk meningkatkan kualitas airtanah di kawasan perkotaan. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 24(1), 87-95.

Priyono, P., & Rizal, N. S. (2013). Kajian potensi air tanah dengan metode geolistrik sebagai antisipasi kelangkaan air bersih wilayah perkotaan. *Jurnal Elevasi*, 4(18), 35-42.