

Analisis Kedalaman Gerusan Lokal (*Local Scouring*) di Hilir Bangunan Pelimpah (*Stepped Modified Spillway*) dengan Model Fisik 2D

Wahyu Hadi Kuncoro¹⁾
Endro Prasetyo Wahono²⁾
Ahmad Zakaria³⁾
Dyah Indriana Kusumastuti⁴⁾

Abstract

Spillway is a hydraulic structure whose existence is very important because it is built to release excess water or flood discharge that cannot be accommodated in the dam. The hydraulics analysis of this study used a spillway design (Stepped modified Spillway) with a 2-D physical model and the sediment used was sand with a uniform diameter of 1.8 mm or passed sieve no. 16. This research was carried out 5 times for every 25 minutes of upstream water level observations.

In the Stepped spillway spillway the maximum scour (ds_{max}) occurs at an upstream height (H_0) of 3 cm of 0.125 m with an Lds of 0.09 m from the downstream of the spillway. Meanwhile, for the Stepped Modified Spillway spillway, the maximum scour (ds_{max}) occurs at an upstream height (H_0) 3 cm is 0.076 m with Lds of 0.221 m. This shows that the greater the flow rate, the greater the depth of scour that occurs. So it can be concluded that the Lacey method is the closest to the laboratory results. This is because a balance has been achieved. The deeper the local scour that occurs, the more volume of sediment carried downstream of the weir.

Keywords: Stepped and stepped modified spillway, local scour, sediment.

Abstrak

Bangunan pelimpah (*spillway*) merupakan struktur hidraulik yang keberadaannya sangat penting karena dibangun untuk melepaskan kelebihan (*Surplus*) air atau debit banjir yang tidak dapat ditampung di dalam bendungan. Analisis hidrolika penelitian ini menggunakan desain bangunan pelimpah (*Stepped modified Spillway*) dengan model fisik 2-D dan sedimen yang digunakan adalah pasir dengan diameter seragam yaitu 1,8 mm atau lolos ayakan no. 16. Penelitian ini dilakukan 5 kali pengamatan setiap ketinggian muka air di hulu selama 25 menit.

Pada bangunan pelimpah *Stepped spillway* gerusan maksimum (ds_{max}) terjadi pada ketinggian di hulu (H_0) 3 cm sebesar 0,125 m dengan Lds sebesar 0,09 m dari hilir pelimpah Sedangkan bangunan pelimpah *Stepped Modified Spillway* Gerusan maksimum (ds_{max}) terjadi pada ketinggian di hulu (H_0) 3 cm sebesar 0,076 m dengan Lds sebesar 0,221 m. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar debit aliran, maka semakin besar kedalaman gerusan yang terjadi. Maka dapat disimpulkan kalau metode *Lacey* yang paling mendekati hasil laboratorium. Hal ini dikarenakan adanya keseimbangan yang telah tercapai. Semakin dalam gerusan lokal yang terjadi maka semakin banyak volume sedimen yang terbawa dibagian hilir bendung.

Kata kunci : Pelimpah *stepped and stepped modified spillway*, gerusan lokal, sedimen.

¹⁾ Mahasiswa S1 pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.
Surel: wahyuhadikuncoro110@gmail.com

²⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Bojonegoro No 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Bojonegoro No 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Dosen pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Bojonegoro No 1. Gedung Meneng Bandar Lampung. 35145

1. PENDAHULUAN

Bangunan Pelimpah (*Spillway*) merupakan struktur hidraulik yang keberadaannya sangat penting karena dibangun untuk melepaskan kelebihan (*Surplus*) air atau debit banjir yang tidak dapat ditampung di dalam bendungan. Kapasitas *Spillway* yang tidak cukup dalam mengalihkan debit banjir dapat menyebabkan runtuhnya bendungan. Selain itu, apabila suatu aliran dengan kecepatan yang cukup tinggi kemudian mengalir dari mercu *spillway* menuju kembali ke sungai dapat menyebabkan terjadinya suatu gerusan dan endapan dimana cukup membahayakan sehingga dapat menyebabkan runtuhnya bendungan.

Guna mereduksi energi yang terdapat di dalam aliran tersebut, maka di ujung hilir *spillway* dibuat peredam energi untuk mencegah gerusan. Aliran air yang melimpas diatas ambang bangunan akan mengakibatkan suatu gerusan pada bagian hilir, karena terdapat energi yang cukup besar pada aliran yaitu terjadi suatu loncatan hidraulik dimana mengalami kejadian kejut-normal atau mengalami suatu loncatan hidraulik yaitu suatu aliran perubahan dimana perubahan karakteristik aliran superkritis menjadi sub kritis. Terjadinya loncatan hidrolis akan mempengaruhi kestabilan bendungan yang diakibatkan oleh adanya gerusan.

Aliran di saluran curam selain cepat juga memiliki energi yang cukup besar, sehingga untuk mendapatkan bangunan di bagian hilir yang aman, energi air ini harus diredam sehingga dibutuhkan alternatif bangunan yang dapat meredam energi sebelum mencapai peredam energi. Peredaman energi dapat dilakukan dengan membuat serangkaian anak tangga supaya kecepatan yang terjadi dapat diredam oleh efek anak tangga tersebut atau biasa disebut saluran peluncur bertangga. Dalam meredam energi air yang terjadi di hilir bangunan pelimpah tentu saja energi yang dilalui di saluran peluncur lurus dan saluran peluncur bertangga berbeda.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pelimpah (*Spillway*)

Menurut (Mawardi 2006), pelimpah (*Spillway*) adalah salah satu bagian utama bendungan yang berfungsi untuk melimpahkan debit air yang berlebih agar air yang dibendung tidak meluap. *Spillway* terdiri dari tiga komponen utama yaitu mercu bendung, saluran peluncur dan peredam energi.

2.2 Model Fisik Hidraulik

Menurut (De Vries M 1977), model fisik hidraulik adalah peniruan bangunan air yang telah direncanakan sebelum diwujudkan pada benda aslinya, atau suatu model miniatur skala tertentu, dengan memperhatikan prinsip kesebangunan dan hubungan antar skala parameter yang harus dipenuhi

2.3 Gerusan

Menurut (Hoffmans and Verheij, 1997 dalam Abdurrosyid dkk 2017), gerusan adalah fenomena alam yang terjadi akibat adanya penurunan dasar sungai yang disebabkan terjadinya erosi di bawah elevasi permukaan alami atau datum yang diasumsikan antara aliran dengan material dasar sungai.

2.4 Klasifikasi Aliran

Menurut (Chow 1985), aliran air dalam suatu saluran berdasarkan tekanan muka air dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran pipa (*pipe flow*). Kedua jenis aliran tersebut sama dalam banyak hal, namun berbeda dalam satu hal yang penting. Aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas (*free surface*) yang dipengaruhi oleh tekanan udara atau disebut juga tekanan atmosfer kecuali oleh tekanan hidrolik, sedangkan aliran pipa tidak demikian, karena air harus mengisi seluruh saluran.

2.5 Debit Aliran

Menurut (Finawan dan mardiyanto, 2011) Debit aliran merupakan satuan untuk mendekati nilai-nilai hidrologis proses yang terjadi di lapangan. Kemampuan pengukuran debit aliran sangat diperlukan untuk mengetahui potensi sumberdaya air di suatu wilayah DAS. Debit aliran dapat dijadikan sebuah alat untuk memonitor dan mengevaluasi neraca air suatu kawasan melalui pendekatan potensi sumber daya air permukaan yang ada.

$$Q = A \times V \quad (1)$$

2.6 Poses Penggerusan Lokal (*Local Scouring*)

Proses gerusan lokal dapat terjadi apabila dalam dua kondisi, yaitu suatu kondisi gerusan dengan air jernih (*clear-water scour*) dan suatu kondisi gerusan dengan air tidak jernih (*live-bed scour*). *Clearwater scour* terjadi apabila material dasar di hulu bangunan dalam keadaan diam atau tidak ada gerakan material dasar, secara teoritik dinyatakan bahwa tegangan geser dasar (τ_0) lebih kecil atau sama dengan tegangan geser dasar kritis (τ_c). Sedangkan *live-bed scour* yaitu suatu proses gerusan yang ditandai dengan adanya angkutan sedimen dari material dasar, hal tersebut terjadi ketika kondisi aliran pada saluran menyebabkan material dasar bergerak.

$$R = 0,47 \times \left(\frac{Q}{V}\right)^{0,3333} \quad (2)$$

$$ds = 1,18 \times H^{0,235} \times q^{0,51} \quad (3)$$

$$ds = 1,90 \times H^{0,225} \times q^{0,54} \quad (4)$$

3. METODE PENELITIAN

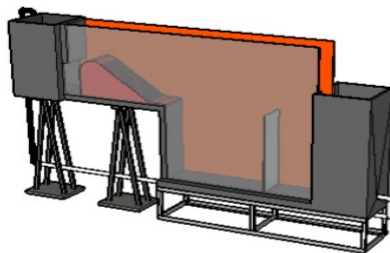
3.1 Lokasi Penelitian

Lokasi yang digunakan penulis untuk melakukan penelitian ada 2 laboratorium, yaitu :

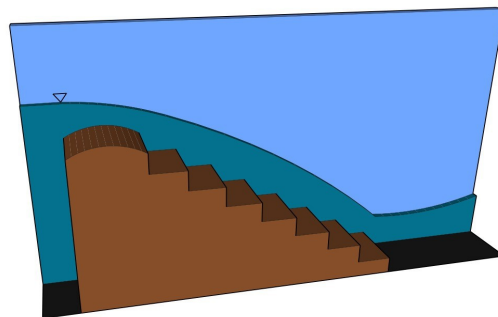
1. Laboratorium Mekanika Tanah, Sebagai tempat untuk menentukan pasir menggunakan ayakan yang akan digunakan sebagai bahan sedimen.
2. Laboratorium Hidrolika sebagai laboratorium utama karena hampir 90% kegiatan dilakukan di sini, yaitu penelitian mengenai karakteristik aliran, variasi tipe pelimpah dan karakteristik gerusan lokal yang terjadi.

3.2 Peralatan dan Bahan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan untuk membuat model fisik dan pengujian meliputi :



Gambar 1. Desain *open flume*



Gambar 2. Pelimpah betangga



Gambar 3. Satu set ayakan

3.3 Metode Analisis Data

Pada penelitian ini penulis menggunakan metode *Lacey, Wu, Veronese*. Analisis data dilakukan untuk menentukan tinggi dinding halang di hilir bendung pelimpah bertangga dan pelimpah bertangga yang akan di uji Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung.

3.4 Variabel

Adapun Variabel yang mendukung penelitian ini, antara lain :

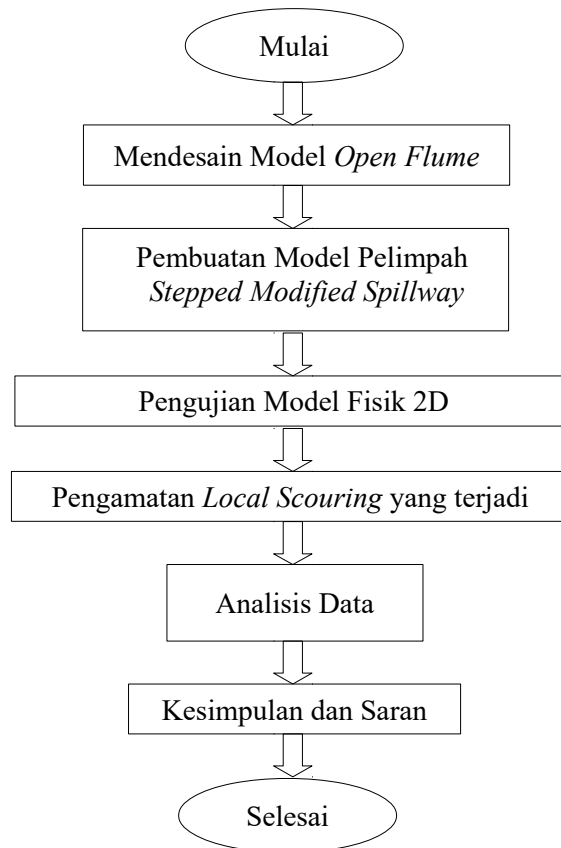
- > Variabel Terikat
 1. Tinggi muka air di hulu (h) mm
 2. Debit aliran (Q) m^3/dt
 3. Kecepatan aliran (v) m/dt
- > Variabel Bebas
 1. Kedalaman gerusan (h_s)
 2. Jarak gerusan (x_s)
 3. Ketinggian sedimen (d_s)
 4. Panjang gerusan (l_s)
- > Variabel Lain
 1. Percepatan Gravitasi (g) m/dt^2
 2. Rapat massa air (ρ)

3.5 Pelaksanaan Penelitian Gerusan

1. Pelimpah bendung diletakkan pada flume dengan jarak 20 cm dari hulu, kemudian atur material pasir dalam keadaan rata.
2. Mengatur knop alat untuk mendapatkan debit dengan skala debit tertentu, dimulai dengan skala debit terkecil sehingga mencapai kedalaman aliran yang konstan.
3. Mengetahui perbandingan pola gerusan pada hilir bangunan pelimpah *Stepped and Stepped Modified Spillway* pada kondisi debit yang berbeda pada saat pengaliran setiap 25 menit.

4. Mengukur kedalaman maksimal gerusan dengan menggunakan mistar yang telah dikalibrasi dengan kecepatan aliran (m/dt) setiap 25 menit dalam satu kali pengaliran.
5. Setelah dilakukan pengukuran, pasir diratakan kembali untuk selanjutnya dilakukan simulasi pengaliran dengan variasi debit lainnya.

3.6 Diagram Alir Penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pengambilan Data dengan Saluran Terbuka

Dilakukan pengujian model pada saluran *Open Flume*. Data yang diperoleh dalam pengambilan data menggunakan saluran terbuka dengan model *Stepped Modified Spillway* adalah sebagai berikut :

Tabel 1. Hasil pengambilan data menggunakan saluran terbuka dengan model *Stepped Modified Spillway*

No.	H_0 (cm)	Waktu(dt)	Volume (cm ³)
1	1	4,45	1000
		4,50	
		4,58	
2	1,5	2,60	1000
		2,58	
		2,66	
3	2	1,65	1000
		1,58	
		1,67	
4	2,5	1,32	1000
		1,28	
		1,35	
5	3	0,90	1000
		0,93	
		0,97	

4.2 Debit Terukur pada Setiap Ketinggian Air

Ketebalan air pada bagian hulu mercu *spillway* diatur dengan peningkatan ketebalan 0,5 cm. ketebalan air pada bagian atas *crest* dan waktu pengisian tabung ukur pada tiap ketebalan air diukur. Sehingga besaran debit tiap ketebalan air dapat diketahui. Perlakuan ini ditetapkan baik pada penggunaan *Stepped Modified Spillway*. Berdasarkan hasil perhitungan, debit terukur (Q) pada ketebalan 2,00 cm adalah 613,4969 cm³/dt. Untuk selanjutnya besaran debit setiap ketebalan air yang melimpah pada *ogee spillway* ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil perhitungan debit ukur *stepped modified spillway*

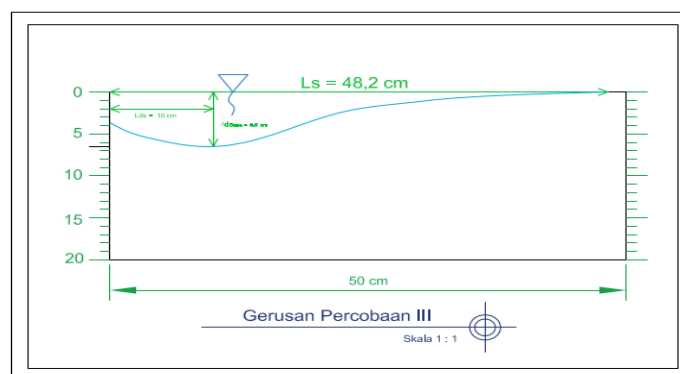
No	H_0 (cm)	H_7 (cm)	Volume (cm ³)	t (dt)	Q (cm ³ /dt)
1.	1	0,6	1000	4,51	221,73
2.	1,5	0,7	1000	2,61	383,14
3.	2	0,6	1000	1,63	613,50
4.	2,5	0,8	1000	1,32	757,57
5.	3	0,6	1000	0,93	1075,2

4.3 Pengamatan Pola Gerusan di Hilir Bendung

Berdasarkan pengamatan pada proses penggerusan di hilir bangunan pelimpah (*Stepped Modified Spillway*), Gerusan mulai terjadi pada hilir bendung dan melebar di sepanjang aliran sampai pada panjang tertentu. Gerusan pada hilir bangunan pelimpah (*Stepped Modified Spillway*) terus berlangsung hingga membentuk lubang gerusan (*scour hole*). Sebagaimana ditunjukkan pada gambar pola gerusan di hilir bangunan pelimpah (*Stepped Modified Spillway*) sebagai berikut :



Gambar 5. Gerusan lokal pada kondisi ketinggian air di hulu 2 cm



Gambar 5. Pola gerusan lokal pada kondisi ketinggian air di hulu 2 cm

4.4 Analisa Data Gerusan

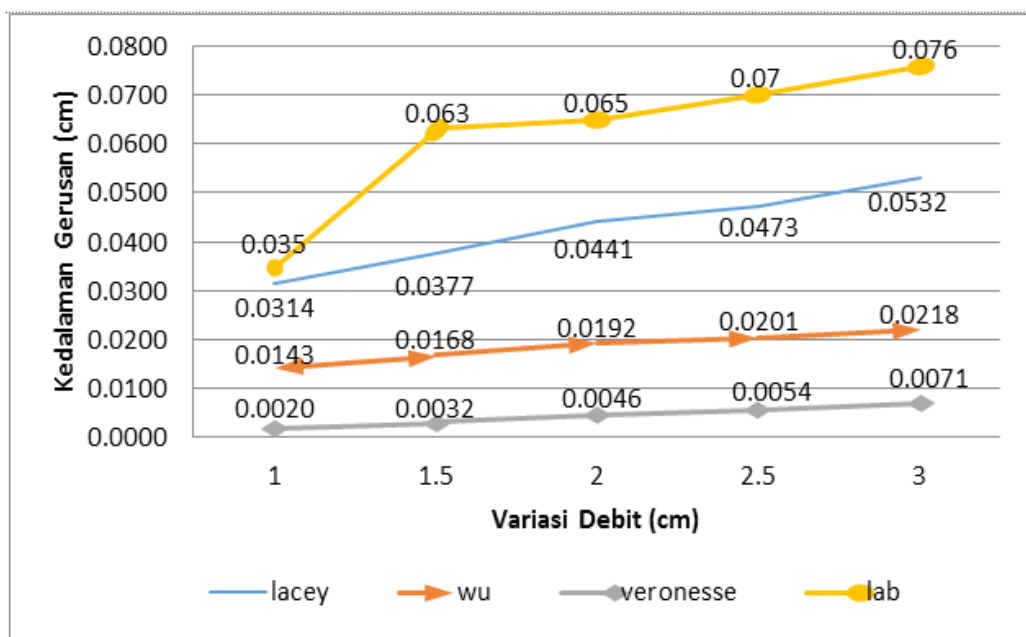
Dari data hasil uji pola gerusan di bangunan pelimpah (*Stepped Modified Spillway*) dan hasil bentuk gerusan yang terjadi kemudian dilakukan analisis data dengan menggunakan data hasil pengujian dan pengukuran secara langsung. Adapun metode yang digunakan dalam menghitung gerusan lokal, antara lain :

- Metode *Lacey*
- Metode *Wu*
- Metode *Veronese*

Berikut Tabel 3 adalah hasil perhitungan perbandingan nilai kedalaman gerusan hasil penelitian laboratorium dengan nilai kedalaman gerusan perhitungan menggunakan metode *Lacey*, *Wu*, dan *Veronese* pada pelimpah *Stepped modified spillway*.

Tabel 3. Hasil perbandingan kedalaman gerusan pada pelimpah *stepped modified spillway*

No.	Variasi Debit (m)	Debit (m^3/det)	Ls (m)	Lds (m)	Kedalaman Gerusan Penelitian Δds (m)	Lacey (m)	Wu (m)	Veronesse (m)
1.	0,010	$2,21 \times 10^{-4}$	0,07	0	0,035	0,0314	0,0143	0,0020
2.	0,015	$3,83 \times 10^{-4}$	0,167	0,069	0,063	0,0377	0,0168	0,0032
3.	0,020	$6,13 \times 10^{-4}$	0,482	0,10	0,065	0,0441	0,0192	0,0046
4.	0,025	$7,57 \times 10^{-4}$	0,483	0,182	0,07	0,0473	0,0201	0,0054
5.	0,030	$10,75 \times 10^{-4}$	0,50	0,221	0,076	0,0532	0,0218	0,0071



Gambar 6. Grafik perbandingan nilai kedalaman gerusan pada pelimpah *stepped modified spillway*

Tabel 4. Perbandingan kedalaman gerusan stepped and *stepped modified spillway*

No.	Variasi Debit (m)	Kedalaman Gerusan <i>Stepped Spillway</i> Δds (m)	Kedalaman Gerusan <i>Stepped modified Spillway</i> Δds (m)	Perbandingan (%)
1	0,01	0,072	0,035	51,39
2	0,015	0,084	0,063	29,17
3.	0,020	0,087	0,065	30,55
4.	0,025	0,097	0,07	37,5
5.	0,030	0,125	0,076	68,05

4.5 Perhitungan Volume Gerusan

Berdasarkan dari hasil penelitan diatas terlihat perbedaan nilai kedalaman gerusan. Hasil perhitungan menunjukan *Stepped Modified Spilway* lebih baik dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yaitu *Stepped Spillway*.

Tabel 5. Perbandingan volume gerusan stepped and *stepped modified spillway*

No.	Volume <i>Stepped Spillway</i> (cm ³)	Volume <i>Stepped Modified Spillway</i> (cm ³)	Perbandingan (%)
1	1645,218	154,77	90,59
2	1926,835	143,36	92,56
3	2233,471	1352,98	39,42
4	2721,257	1744,38	35,90
5	3232,914	2327,896	27,99

Dari hasil perhitungan volume gerusan dapat disimpulkan bahwa volume gerusan yang terjadi pada *Stepped Modified Spillway* lebih baik dari pada volume gerusan tipe *Stepped Modified* yang dilakukan peneliti sebelumnya.

5. KESIMPULAN

Hasil yang didapat dari penelitian gerusan lokal di hilir bangunan pelimpah (*Stepped* dan *Stepped Modified Spillway*), maka dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Pada bangunan pelimpah tipe *Stepped*, seiring bertambahnya debit aliran pada saluran geruasn yang terjadi akan semakin besar pada hilir pelimpah. Nilai gerusan maksimum (ds) terjadi pada ketinggian di hulu (H_0) 3 cm sebesar 0,125 m dengan L_{ds} sebesar 0,009 m dari hilir pelimpah.
2. Pada bangunan pelimpah *Stepped modified spillway*, seiring bertambahnya debit aliran pada saluran gerusan yang terjadi akan semakin besar pada hilir pelimpah. Nilai gerusan maksimum (ds) terjadi pada ketinggian di hulu (H_0) 3 cm sebesar 0,221 dari hilir pelimpah.

3. Pada bangunan pelimpah *Stepped modified spillway*, seiring bertambahnya debit aliran pada saluran gerusan yang terjadi akan semakin besar pada hilir pelimpah. Nilai gerusan maksimum (ds) terjadi pada ketinggian di hulu (H_0) 3 cm sebesar 0,221 dari hilir pelimpah. Maka dapat disimpulkan bahwa metode *Lacey* yang paling mendekati hasil laboratorium. Hal ini dikarenakan adanya keseimbangan yang telah tercapai. Semakin dalam gerusan lokal yang terjadi maka semakin banyak volume sedimen yang terbawa dibagian hilir pelimpah.

DAFTAR PUSTAKA

- Chow, 1985, 1985. Ukur Berbentuk Setengah Lingkaran. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2 (3), 578–582.
- De Vries M, 1977, 1977. Analisa Uji Model Fisik Pelimpah Bendungan Sukahurip Di Kabupaten Pangandaran Jawa Barat. *Jurnal Teknik Pengairan*, 6 (1), 14–21.
- Finawan dan mardiyanto, 2011, 2011. Pengukuran Debit Air Berbasis Mikrokontroler At89S51. *Jurnal Litek*, 8, 28–31.
- Hoffmans and Verheij, 1997 dalam Abdurrosyid dkk, 2007, 2017. DENGAN SEMICIRCULAR PADA SALURAN LURUS.
- Mawardi, 2006, 2006. *Hidrologi Terapan*. Beta Office.