

Analisis Pola Hidraulik Peredaman Energi Pada Kolam Olak Tipe *Vlughter* Di Hilir Pelimpah Bertangga dengan Model Fisik 2D

Mutia Sasra Olga Pandani¹⁾

Endro P. Wahono²⁾

Riki Chandra W³⁾

Mariyanto⁴⁾

Abstract

*A weir is a water structure that is built across a river or at a drain to raise the water level so that it can be flowed by gravity to where it is needed. In this analysis used data, among others: discharge, flow velocity, froude number, Reynolds number and energy attenuation. For the analysis using a ladder spillway combined with a stilling pond of the *Vlughter* type. Determination of the characteristics of water flow and energy reduction varied with 2 different test object conditions. The results showed that the stilling ponds Model A and Model B have the same flow characteristics at each discharge variation, where in Model A and Model B have a turbulent flow type with a Reynolds value (Re) > 1000 , based on the calculation of the Froude value (Fr) obtained the type super critical flow in the stilling pond with a value of $Fr > 1$ and sub critical flow at the end sill with a value of $Fr < 1$. Meanwhile, for the results of the percentage decrease in energy at the upstream water level (H_0) 2 cm for Model A that is 28.29% and for Model B it is 33.13%. This shows that Model B is able to reduce energy better than Model A. And the flow pattern that occurs is nappe flow until it becomes a skimming flow.*

Keywords: Weir, Debit, Stepped Spillway, Kolam Olak, Nappe flow.

Abstrak

Bendung adalah bangunan air yang dibangun melintang sungai atau pada sudetan untuk meninggikan taraf muka air sehingga dapat dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkannya. Dalam analisis ini digunakan data, antara lain : debit, kecepatan aliran, bilangan froude, bilangan reynold dan peredaman energi. Untuk analisis menggunakan pelimpah bertangga yang dikombinasikan dengan kolam olah tipe *Vlughter*. Penentuan karakteristik aliran air dan penurunan energi divariasikan dengan 2 kondisi benda uji yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolam olah Model A dan Model B memiliki karakteristik aliran yang sama pada setiap variasi debit, dimana pada Model A dan Model B memiliki tipe aliran turbulen dengan nilai Reynold (Re) > 1000 , berdasarkan perhitungan nilai Froude (Fr) diperoleh tipe aliran super kritis pada kolam olah dengan nilai $Fr > 1$ dan aliran sub kritis pada bagian end sill dengan nilai $Fr < 1$. Sedangkan, untuk hasil persentase penurunan energi pada ketinggian muka air hulu (H_0) 2 cm untuk Model A yaitu sebesar 28.29% dan untuk Model B sebesar 33.13%. Hal ini menunjukkan bahwa Model B mampu meredam energi lebih baik dibandingkan dengan Model A. Dan pola aliran yang terjadi merupakan aliran nappe hingga menjadi aliran skimming.

Kata kunci: Bendung, Debit, *Stepped Spillway*, Kolam Olah, Aliran *Nappe*.

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

²⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan. Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

³⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

⁴⁾ Staf pengajar pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Lampung. Jalan Prof. Sumantri Brojonegoro 1. Gedong Meneng Bandar Lampung. 35145.

1. PENDAHULUAN

Bendung adalah bangunan air (beserta kelengkapannya) yang dibangun melintang sungai atau pada sudetan untuk meninggikan taraf muka air sehingga dapat dialirkan secara gravitasi ke tempat yang membutuhkannya. Dalam merencanakan bendung banyak faktor yang harus diperhatikan antara lain kecepatan air (V), debit air (Q), tinggi sawah dan posisi bendungan terhadap alur sungai. Pembendungan aliran akan menyebabkan perbedaan elevasi muka air antara hulu dan hilir bendung cukup besar, sehingga mengakibatkan adanya terjunan dan terjadi perubahan energi yang cukup besar ketika air melewati mercu bendung. Akibatnya, aliran akan mengalami kejut-normal atau loncatan hidraulik yaitu suatu aliran yang mengalami perubahan dari aliran super kritis menjadi sub kritis. Terjadinya loncatan hidraulik akan menyebabkan adanya gerusan di hilir bendung sehingga dapat menurunkan kestabilan bendung. Untuk mengantisipasi hal tersebut terjadi maka dalam suatu perencanaan bendung perlu adanya peredam energi berupa kolam olak (Pangestu, 2018).

Secara garis besar terdapat beberapa model kolam olak yang dapat digunakan sebagai peredam energi dalam bendung, antara lain kolam olak tipe *Bucket*, *Schoklitch*, USBR dan *Vlughter*. Pemilihan kolam olak untuk menangani gerusan yang terjadi pada hilir bendung tergantung pada jenis aliran dan karakteristik sungai, namun dalam penelitian ini digunakan kolam olak tipe *vlughter* (Pangestu, 2018).

Loncatan yang terjadi tidak sempurna dengan gelombang-gelombang berkecepatan tinggi yang terbentuk sampai jarak yang menimbulkan gerusan di hilir kolam olak akibat energi aliran yang tinggi. Untuk mereduksi energi aliran menyebabkan gerusan yang masih terjadi di hilir kolam olak tipe *vlughter* tersebut, maka kolam olak *vlughter* tersebut digabung dengan pelimpah bertangga. Indikator reduksi energi di hilir kolam olak ditunjukkan oleh kecepatan aliran di hilir kolam olak, semakin pelan kecepatan aliran di hilir kolam olak maka semakin kecil energi di hilir kolam olak. Dengan penerapan pelimpah bertangga ini, energi aliran akan sudah direduksi sebelum sampai di lantai kolam olak, sehingga energi aliran menjadi semakin berkurang.

2. DASAR TEORI

2.1 Bendung

Bendung merupakan bangunan melintang sungai yang dibangun untuk mengubah karakteristik aliran sungai guna untuk memenuhi kebutuhan irigasi. Fungsi utama dari bendung adalah untuk meninggikan elevasi muka air dari sungai yang dibendung sehingga air bisa disadap dan dialirkan ke saluran lewat bangunan pengambilan (*intake structure*). Fungsi lain adalah untuk mengendalikan aliran, angkutan sedimen, dan geometri sungai sehingga air dapat dimanfaatkan secara aman, efisien, dan optimal (Sembiring, 2016).

Pembendungan aliran akan menyebabkan perbedaan elevasi muka air antara hulu dan hilir bendung cukup besar, sehingga mengakibatkan adanya terjunan dan terjadi perubahan energi yang cukup besar ketika air melewati mercu

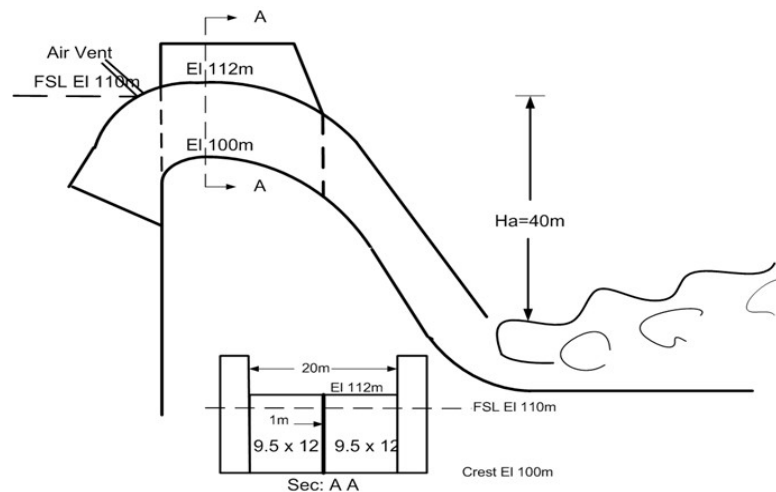
bendung. Akibatnya, aliran akan mengalami kejut-normal atau loncatan hidraulik yaitu suatu aliran yang mengalami perubahan dari aliran superkritis menjadi subkritis (Fitriana, 2014). Terjadinya loncatan hidraulik akan menyebabkan adanya gerusan di hilir bendung sehingga dapat menurunkan kestabilan bendung. Sehingga dalam perencanaan bendung terdapat peredam energi berupa kolam olak.

2.2 Bangunan Pelimpah (*Spillway*)

Spillway adalah sebuah struktur di dam (bendungan) yang sebenarnya adalah sebuah metode untuk mengendalikan pelepasan air untuk mengalir dari bendungan atau tanggul ke daerah hilir. Ada beberapa macam bentuk *spillway*, diantaranya adalah:

2.2.1 *Siphon Spillway* (Pelimpah Sifon)

Pelimpah sifon merupakan salah satu tipe dari bangunan pelimpah yang berbentuk sistem *conduit*/terowongan tertutup dalam bentuk U terbalik. Sifon dapat pula berupa saluran tertutup dan saluran terbuka. Kondisi ini dapat terjadi pada saat tinggi muka air hulu lebih rendah dari elevasi puncak inlet. Jika aliran diperbesar sehingga tinggi muka air hulu lebih tinggi dari elevasi puncak inlet, kecepatan di dalam sifon bertambah. Jika kondisi ini berlangsung terus dalam arti pada sisi hulu dan hilir sifon berada dalam kondisi tenggelam (*submerged flow*) pada kondisi tertentu aliran sifon merupakan aliran tertutup atau aliran dalam pipa. Secara umum pelimpah tipe sifon dibentuk dengan lima komponen yaitu lubang masuk (*inlet*), kaki bagian atas/depan (*upper leg*), tenggorokan (*throat*), kaki bagian bawah/ belakang (*lower lag*), dan lubang keluar (*outlet*). Penggunaan pelimpah sifon masih relatif sedikit, terutama di Indonesia.

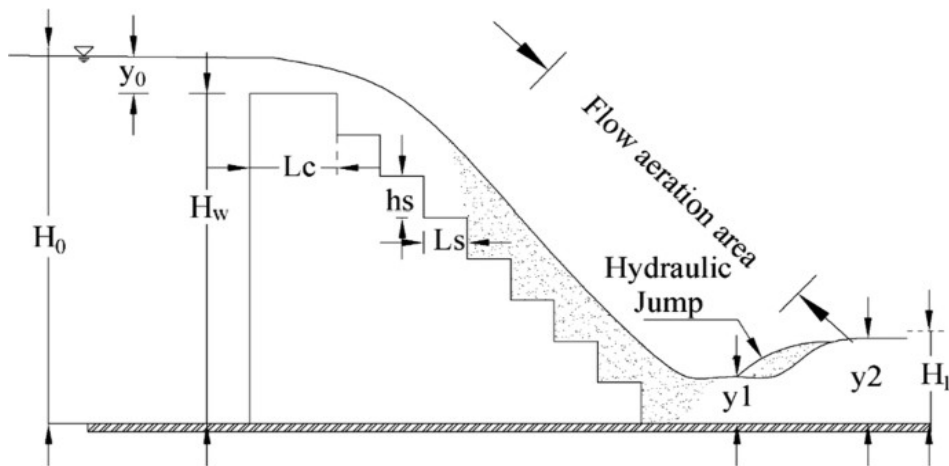


Gambar 1. *Siphon Spillway*

Sumber : (Bureau of Reclamation, 1987)

2.2.2 Stepped Spillway (Pelimpah Bertangga)

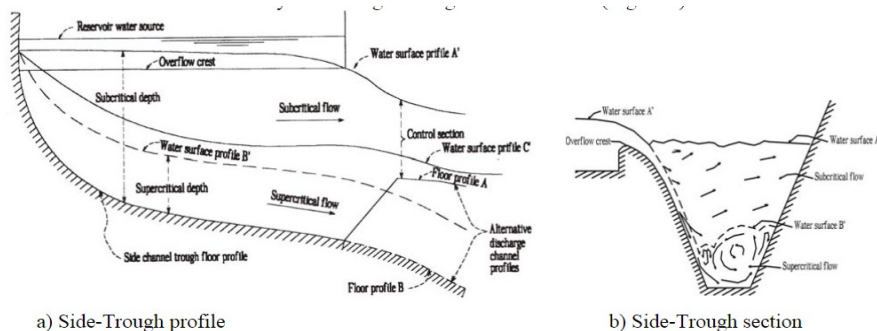
Stepped spillway telah digunakan selama lebih dari 3000 tahun. Baru-baru ini, bahan bangunan baru (misalnya RCC (*Roller-Compacted Concrete*), gabion) dan teknik desain (misalnya perlindungan tanggul *overtopping*) telah meningkatkan kegunaan *Stepped Spillway* dan *Chute Spillway*. Langkah-langkah tersebut untuk menghasilkan disipasi energi yang cukup selama meluncur dan mengurangi ukuran cekungan disipasi energi yang dibutuhkan hilir. Penelitian masih aktif pada topik dengan perkembangan baru pada sistem perlindungan luapan tanggul bendungan, *spillway* konvergen, dan desain bendungan kecil.



Gambar 2. *Stepped Spillway*
Sumber : (Parsaie and Haghiabi, 2019)

2.2.3 Side Channel Spillway

Side channel spillway digunakan terutama pada bendungan tanggul. *Spillway* ini terletak hanya di bagian hulu dan di sisi bendungan. Air mengalir melewati saluran samping. Kemudian mengalir turun meluncur dan bergabung dengan sungai hilir bendungan. Kadang-kadang terowongan yang digunakan dapat mengalihkan air ke tempat lain.



Gambar 3. *Side Channel Spillway*
Sumber : (Maradjieva and Kazakov, 2007)

2.2.4 Chute Spillway

Chute Spillway secara umum didesain untuk mentransfer arus air dari bendungan ke sungai yang berada di bawahnya. Pada umumnya demikian, hal ini dimaksudkan untuk melindungi bendungan dari kerusakan jika debit air terlalu banyak dan melindungi topografi. *Spillway* ini memiliki perangkat pengendali. Selain itu, spillways ini tidak menghilangkan energi seperti *stepped spillway*.

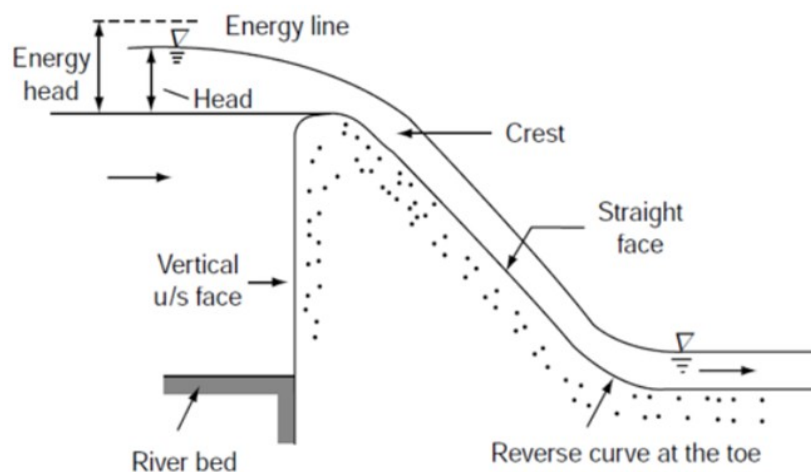


Gambar 4. *Chute Spillway*

Sumber : (Bureau of Reclamation, 1987)

2.2.5 Ogee Spillway (Pelimpah Muka Air Bebas)

Ogee Spillway sangat banyak dipergunakan untuk pembuangan air banjir. Bentuk mercu *ogee spillway* juga digunakan untuk bendung maupun alat ukur debit. *Ogee spillway* melimpahkan air dengan debit yang merupakan fungsi dari tinggi air dari mercu dan lebar bendung.



Gambar 5. *Ogee Spillway*

Sumber : (Bureau of Reclamation, 1987)

2.3 Bangunan Kolam Olak (*Stilling Basin*)

Bangunan peredam energi bendung adalah struktur dari bangunan di hilir tubuh bendung yang terdiri dari berbagai tipe, bentuk dan kanan kirinya dibatasi oleh tembok pangkal bendung dilanjutkan dengan tembok sayap hilir dengan bentuk tertentu yang biasa disebut sebagai kolam olak. Kolam olak memiliki fungsi sebagai peredam energi dari air yang melimpas melalui saluran peluncur agar bendung tidak terkikis sehingga konstruksinya tetap kokoh. Oleh karena itu dilakukan alternatif percobaan terhadap pencegahan besarnya energi di kolam olak agar tidak terjadi penggerusan. Peredaman energi ini dapat dilakukan dengan memecah energi secara bertahap sebelum mencapai kolam olak, yaitu menggunakan pelimpah beranak tangga.

2.4 Macam-macam Kolam Olak (*Stilling Basin*)

Kolam olak adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk meredam energi yang timbul di dalam tipe air superkritis yang melewati pelimpah. Beberapa jenis kolam olak adalah sebagai berikut (Dirjen Pengairan PU, 1986) :

- a. Jenis *Vlughter*
- b. Jenis *Shocklitsch*
- c. Jenis *USBR*
- d. Jenis *Bucket (Solid Bucket, Sky Jump)*

2.5 Model Fisik Hidraulika

Model fisik biasanya dipakai untuk mensimulasi perilaku hidraulik pada prototip bangunan air (bendung, pelimpah bendungan/embung, pelindung sungai tak langsung / krib, penangkap sedimen dan lain-lain) yang direncanakan dengan skala lebih kecil. Model Fisik pelimpah yang akan digunakan pada penelitian ini adalah *Stapped Spillway* dengan kolam olak tipe *Vlughter*. Perlu diadakan pengamatan untuk mengetahui peredaman energi pada saluran pelimpah dengan membuat suatu bentuk alat peraga yang sama dengan yang ada di lapangan dan disesuaikan dengan permasalahan yang akan di teliti.

2.6 Aliran pada Saluran Terbuka

Saluran terbuka merupakan saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam) variabel aliran sangat tidak teratur terhadap ruang dan waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan debit aliran dan sebagainya. Aliran melalui saluran terbuka dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) dan super kritis (meluncur). Diantara kedua tipe tersebut adalah aliran kritis. Aliran disebut sub kritis apabila suatu gangguan yang terjadi di suatu titik pada aliran dapat menjalar ke arah hulu. Aliran sub kritis dipengaruhi oleh kondisi hilir, dengan kata lain keadaan di hilir akan mempengaruhi aliran di sebelah hulu. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran adalah super kritis (Triatmodjo, 1993).

2.7 Debit Aliran

Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam satuan volume per satuan waktu. Satuan debit yang digunakan adalah meter kubik per detik (m^3/det). Dalam praktek, sering variasi kecepatan pada tampang melintang diabaikan, dan kecepatan aliran dianggap seragam di setiap titik pada tampang melintang yang besarnya sama dengan kecepatan rerata v , sehingga debit aliran sebagai berikut (Buchanan and Somers, 1969) :

$$Q = A \cdot v \quad (1)$$

Debit aliran sirkulasi pada *flume* juga di ukur secara manual dengan cara menakar volume aliran pada interval waktu tertentu. Alat ukur yang digunakan menyatu dengan bak penampung air. Debit aliran diukur dengan cara menghitung waktu yang dibutuhkan t (sekon) untuk menampung volume air v (cm^3), sehingga debit aliran ditulis sebagai :

$$Q = \frac{V}{t} \quad (2)$$

2.8 Karakteristik Aliran

Menurut (Chow, 1959) dalam buku *Open Channel Hydraulics* dalam (Mulyandari, 2010) dijelaskan bahwa akibat gaya tarik bumi terhadap aliran dinyatakan dengan rasio inersia dengan gaya tarik bumi (g). Rasio ini diterapkan sebagai bilangan *Froude* (Fr). Bilangan *Froude* untuk saluran terbuka dinyatakan sebagai berikut :

- a. Aliran Subkritis ($Fr < 1,0$)
- b. Aliran Kritis ($Fr = 1,0$)
- c. Aliran Superkritis ($Fr > 1,0$)

2.9 Mercu Spillway

Mercu *spillway* adalah bagian teratas *spillway* dimana aliran dari hulu dapat melimpah ke hilir. Letak mercu *spillway* bersama tubuh *spillway* diusahakan tegak lurus arah aliran masuk *spillway* agar aliran yang menuju *spillway* terbagi rata. Bentuk puncak pelimpah dibagi menjadi:

- a. Pelimpah ambang tipis
- b. Pelimpah ambang lebar

2.10 Pelimpah Bertangga

Pelimpah bertangga adalah pelimpah yang bagian saluran curamnya dibangun serangkaian anak tangga dengan ukuran tertentu. Pelimpah bertangga mampu meredam energi air, hal ini disebabkan oleh efek anak tangga yang mampu meredam kecepatan (Nuraini, 2012). Keuntungan *Stepped Spillway* antara lain:

- a. Dapat mengurangi energi pada hilir bendung.
- b. Dapat digunakan pada daerah yang mempunyai kemiringan curam.

2.11 Pola Aliran pada Pelimpah Bertangga (*Stepped Spillway*)

Chanson (1994) dalam (Nuraini, 2012) menyatakan bahwa pada aliran pada pelimpah bertangga dibagi menjadi dua jenis aliran yaitu aliran *nappe* dan aliran *skimming*. Peredaman energi aliran *nappe* terjadi karena pemisahan luapan aliran dalam udara yang jatuh dari anak tangga yang posisinya lebih tinggi ke anak tangga di bawahnya dengan debit aliran yang relatif kecil dan kemiringan punggung yang relatif datar. Sedangkan peredaman energi aliran *skimming* terjadi karena geseran fluida. Karena adanya geseran, fluida berputar berulang-ulang yang terjebak diantara anak-anak tangga dengan aliran utama yang melimpas di punggung pelimpah bertangga. Karakteristik bentuk dan permukaan pelimpah bertangga mempengaruhi kualitas perubahan aliran. Dalam aliran *nappe*, air mengalami jatuh bebas. Di setiap anak tangga, air mengalami penurunan bebas sebelum mencapai anak tangga selanjutnya. Aliran *nappe* dibagi menjadi tiga jenis:

- a. Aliran *nappe* dengan loncatan hidrolis penih untuk aliran rendah dan kedalaman kecil
- b. Aliran *nappe* dengan loncatan hidrolis sebagian.
- c. Aliran *nappe* tanpa loncatan hidrolis.

Aliran *skimming* mempunyai ciri dengan adanya peredaman menyeluruh dari anak tangga yang membentuk *spillway*. Aliran *skimming* pada *spillway* dibagi menjadi 3 bagian:

- a. Bagian pertama terdiri dari beberapa anak tangga pada awal *spillway*.
- b. Pada bagian kedua terjadi karena adanya titik injeksi udara pada aliran.
- c. Bagian ketiga dibentuk oleh anak tangga yang tersisa dari *spillway*.

Chanson (1994) telah menyelidiki aliran pada pelimpah bertangga. Aliran *nappe* terbentuk pada saat terjadi debit yang kecil. Pada debit yang besar, aliran menjadi aliran *skimming*. Mengabaikan efek terbawanya udara, detail penyelidikan yang dilakukan oleh Chanson (1994) untuk analisis data antara lain:

- a. Bilangan *Forude*
- b. Tarikan permukaan tidak mempunyai efek terhadap kemiringan anak tangga.
- c. Bilangan *Reynolds*

2.12 Energi pada Kolam Olak

Aliran air pada pelimpah konvensional menghasilkan aliran superkritis dengan energi tinggi dan daya gerus sangat kuat, sehingga dapat menyebabkan kerusakan alur sungai di bagian hilirnya. Dalam upaya menurunkan energi yang lepas dari pelimpah, dilakukan penelitian untuk mengetahui jenis pelimpah yang dapat menghasilkan energi kecil (Nuraini, 2012). Guna mengurangi energi yang terjadi dalam aliran tersebut dilakukan berbagai upaya antara lain dengan membuat tangga di hilir pelimpah untuk memperkecil energi yang dihasilkan (Nuraini, 2012).

Perhitungan energi pada kolam olak dapat dihitung dengan rumus:

$$E = H + V^2/2g \quad (3)$$

2.13 Peredaman Energi

Perhitungan penurunan energi dalam percobaan ini menggunakan rumus:

$$P_e = E_c - E_{es} \quad (4)$$

$$P_l = \frac{P_e}{E_c} \times 100 \quad (5)$$

3. METODE PENELITIAN



Gambar 6. Lokasi Penelitian

Sumber : *Google Earth*

Lokasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Lampung sebagai laboratorium utama karena seluruh kegiatan penelitian dilakukan di sini, yaitu penelitian mengenai karakteristik aliran dan peredaman energi yang terjadi. Perencanaan waktu penelitian sangat diperlukan untuk membuat penelitian menjadi lebih efektif, adapun waktu penelitian ini dilakukan selama kurang lebih 3 bulan. Disini peneliti menggunakan 2 sampel yang berbeda dengan metode pelimpah bertangga yang dikombinasikan dengan kolam olak.

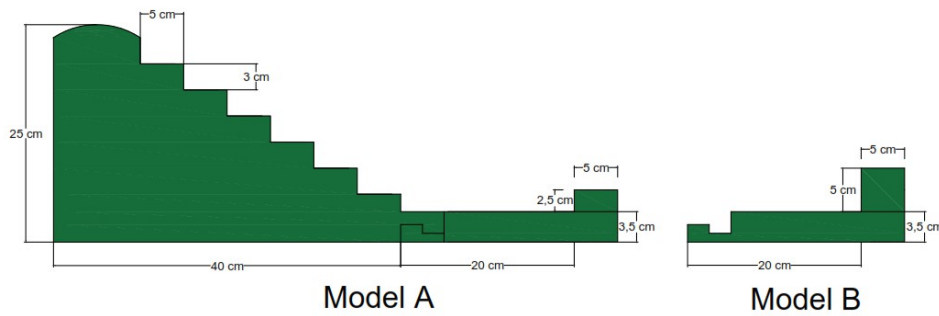
Pengumpulan Data

Data primer pada penelitian ini yaitu data properties terkait dengan hasil uji laboratorium yang telah dilakukan sebelumnya. Data yang telah diperoleh dari pengamatan percobaan penggunaan penggunaan pelimpah bertangga yang dikombinasikan dengan kolam olak tipe *Vlughter* selanjutnya akan dianalisis atau dilakukan perhitungan agar mendapatkan hasil yang dibutuhkan untuk memenuhi tujuan dari penelitian ini.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Proses Pembuatan Model

Penelitian ini bersifat eksperimen, sehingga memerlukan model dalam pelaksanaannya. Pada penelitian ini digunakan pelimpah (*spillway*) yang didesain dengan ukuran dan kapasitas yang sudah di skalatisasi. Model bendung yang direncanakan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Rencana Model Bendung

4.2 Data Penelitian

Berikut adalah data hasil penelitian yang didapat dari pengamatan di laboratorium.

Tabel 1. Data Hasil Pengukuran pada Model A

No	H0 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	H5 (cm)	Lj (cm)	V (cm ³)	t (s)
1	1	0,6	0,6	0,8	3,2	1,7	5	1000	3,30
									3,33
									3,47
2	1,5	0,8	1,6	1,1	4,4	2,3	8,4	1000	1,82
									1,80
									1,87
3	2	1,5	1,3	1,2	5	2,8	13	1000	1,05
									0,96
									0,95
4	2,5	1,8	1,1	1,8	6,1	3,4	18,6	1000	0,73
									0,82
									0,76
5	3	2,3	1,8	2,2	6,2	3,2	19,8	1000	0,61
									0,59
									0,62

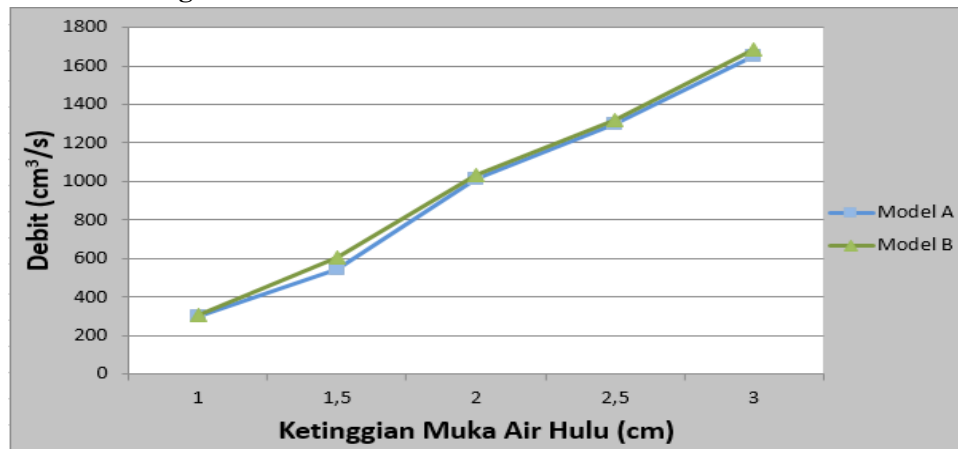
Tabel 2. Data Hasil Pengukuran pada Model B

No	H0 (cm)	H1 (cm)	H2 (cm)	H3 (cm)	H4 (cm)	H5 (cm)	Lj (cm)	V (cm ³)	t (s)
1	1	0,6	0,6	0,8	3,2	1,7	5	1000	3,30
									3,33
									3,47
2	1,5	0,8	1,6	1,1	4,4	2,3	8,4	1000	1,82
									1,80
									1,87
3	2	1,5	1,3	1,2	5	2,8	13	1000	1,05
									0,96
									0,95
4	2,5	1,8	1,1	1,8	6,1	3,4	18,6	1000	0,73
									0,82
									0,76
5	3	2,3	1,8	2,2	6,2	3,2	19,8	1000	0,61
									0,59
									0,62

4.3 Analisis Data Penelitian

Data yang didapatkan kemudian dianalisis untuk mendapatkan hasil sesuai dengan yang dibutuhkan dalam penelitian. Penguraian analisis data akan disajikan satu sampel perhitungan saja dan perhitungan yang sama akan direkap dalam sebuah tabel. Beberapa sampel perhitungan yang akan diuraikan adalah perhitungan debit (Q), perhitungan kecepatan aliran (v) bilangan *Reynold* (Re), bilangan *Froude* (Fr), dan penurunan energi (Pe).

4.3.1 Perhitungan Debit Aliran



Gambar 8. Perbandingan Ketinggian Muka Air Hulu dengan Debit Terukur pada Model A dan Model B

Dari Gambar 8 perbandingan debit antara Model A dan Model B dapat disimpulkan bahwa Model B mampu meningkatkan debit aliran dengan kondisi ketinggian di hulu yang sama dibandingkan dengan Model A. Hal ini dikarenakan ketinggian ambang peredam energi atau sering disebut sebagai *end sill* pada Model B lebih tinggi dibandingkan Model A sehingga volume air yang tertahan menjadi lebih besar. Namun, tetap diperlukan pengukuran debit yang lebih efektif saat pengambilan data.

4.3.2 Perhitungan Kecepatan Aliran

Kecepatan aliran dihitung berdasarkan debit yang didapatkan sebelumnya, suatu saluran merupakan fungsi dari debit (Q), luas penampang basah (A) dan kecepatan (v), persamaan tersebut sesuai dengan persamaan 2.4 yang sudah dibahas pada bab sebelumnya.

4.3.3 Perhitungan Bilangan Reynold

Perhitungan bilangan Reynold (Re) hanya dilakukan pada bagian hilir karena dibagian hilir merupakan bagian yang diamati peredaman energinya. Pada percobaan ini menggunakan air keran dan suhu air dianggap 20°C . Persamaan untuk mencari bilangan Reynold dapat dilihat pada persamaan 2.6.

4.3.3 Perhitungan Bilangan Froude

Perhitungan bilangan Froude (Fr) dilakukan pada bagian kolam olak dan pada bagian *end sill*. Hasil perhitungan bilangan Froude sangat dipengaruhi oleh nilai kecepatan aliran (v) serta kedalaman aliran (H). Persamaan perhitungan bilangan Froude dapat dilihat dalam Persamaan 2.3.

4.3.4 Perhitungan Energi

Energi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Energi Spesifik dipengaruhi oleh kedalaman aliran (H), kecepatan (v) dan gaya gravitasi (g).

4.4 Pola Aliran yang Melewati *Stepped Spillway*

Kondisi aliran pada *Stepped Spillway* diklasifikasikan menjadi aliran *nappe*, aliran transisi, dan aliran *skimming*. Maka, dilakukan analisis bentuk pola aliran disetiap variasi ketinggian muka air hulu (H_0) :

- a. Ketinggian Muka Air Hulu (H_0) 1 cm
- b. Ketinggian Muka Air Hulu (H_0) 1.5 cm
- c. Ketinggian Muka Air Hulu (H_0) 2 cm
- d. Ketinggian Muka Air Hulu (H_0) 2.5 cm
- e. Ketinggian Muka Air Hulu (H_0) 3 cm

4.5 Perbandingan Kelebihan dan Kekurangan pada Model A dan Model B

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan beberapa kelebihan dan kekurangan dari dua tipe kolam olak yang digunakan, antara lain sebagai berikut :

1. Dari hasil analisis yang telah dilakukan Model B mampu meningkatkan debit aliran dengan kondisi ketinggian di hulu yang sama dibandingkan Model A.
2. Dari hasil persentase penurunan energi pada ketinggian muka air hulu (H_0) 2 cm untuk Model A yaitu sebesar 28.29% dan untuk Model B sebesar 33.13%. Hal ini menunjukkan bahwa Model B mampu meredam energi lebih baik dibandingkan dengan Model A dengan debit aliran yang lebih besar.
3. Dapat dilihat dari pusaran air yang terjadi akibat adanya kolam olakan. Pusaran air yang terjadi pada Model B relatif lebih tenang dibandingkan Model A.
4. Pada Model B ketahanan terhadap momentum air lebih lemah dari pada Model A, dikarenakan pada Model B ketinggian ambang peredam energi (*end sill*) lebih tinggi dibanding Model A.

4.6 Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Tabel 3. Perbandingan Data Hasil Persentase Peredaman Energi

No	H0	<i>Stepped Spillway</i> Pr (%)	Model A Pr (%)	Model B Pr (%)
1	1,0	2,82	-23,49	8,38
2	1,5	1,15	-9,75	31,89
3	2,0	0	28,29	33,13
4	2,5	0,38	6,95	3,19
5	3,0	0	10,05	1,25

Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan, hasil persentase penurunan energi pada benda uji Model B (*Stepped Spillway* dengan kolam olak) yaitu sebesar 33.13% dan untuk penelitian sebelumnya (Aditya, 2021) menggunakan *Stepped Spillway* sebesar 2.817% Hal ini menunjukkan bahwa benda uji Model B (*Stepped Spillway* dengan kolam olak) mampu meredam energi lebih baik dibandingkan dengan tipe *Stepped Spillway*.

5. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa kolam olak Model A dan Model B memiliki karakteristik aliran yang sama pada setiap variasi debit, dimana pada Model A dan Model B memiliki tipe aliran turbulen dengan nilai *Reynold* (Re) > 1000 , berdasarkan perhitungan nilai *Froude* (Fr) diperoleh tipe aliran super kritis pada kolam olak dengan nilai $Fr > 1$ dan aliran sub kritis pada bagian *end sill* dengan nilai $Fr < 1$. Sedangkan, untuk hasil persentase penurunan energi pada ketinggian muka air hulu (H_0) 2 cm untuk Model A yaitu sebesar 28.29% dan untuk Model B sebesar 33.13%. Hal ini menunjukkan bahwa Model B mampu meredam energi lebih baik dibandingkan dengan Model A. Dan pola aliran yang terjadi merupakan aliran *nappe* hingga menjadi aliran *skimming*.

DAFTAR PUSTAKA

- Aditya, R.F., 2021. Analisis Perbandingan Pola Aliran pada Bangunan Pelimpah (Ogee and Stepped Spillway), 1 (1), 105–112. Lampung. Universitas Lampung.
- Buchanan, T.J. and Somers, W.P., 1969. Discharge measurements at gaging stations. *Techniques of Water-Resources Investigations of the United States Geological Survey. Book 3 - Applications of Hydraulics*, 171.
- Chow, V. Te., 1959. Open Channel Hydraulics. Illinois. University of Illinois.
- Dirjen Pengairan PU., 2013. Sistem Perencanaan Irigasi. Kriteria Perencanaan Bagian Bangunan Utama (*Head Work*) KP-02. Jakarta.
- Fitriana, N., 2014. Analisis Gerusan di Hilir Bendung Tipe Vlughter (Uji Model Laboratorium). *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*, 2 (3), 389–396. Palembang. Universitas Sriwijaya.
- Maradjieva, M. and Kazakov, B, 2007. Hydraulic Research on Side-Channel Spillways Based on Physical Modeling and Optimization. Bulgaria. University of Architecture, Civil Engineering and Geodesy.
- Mulyandari, R., 2010. Kajian Gerusan Lokal pada Ambang Dasar Akibat Variasi Q (Debit), I (Kemiringan) dan T (Waktu), 9, 0–6. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Nuraini, S.M., 2012. Menurunkan Energi Air dari Spillway dengan Stepped Chutes. Surakarta. Universitas Sebelas Maret.
- Pangestu, A.D., 2018. Studi Gerusan di Hilir Bendung Kolam Olak Tipe Vlughter dengan Perlindungan Groundsill. *Jurnal Ekonomi Volume 18, Nomor 1 Maret 201*, 2 (1), 41–49. Yogyakarta. Universitas Islam Indonesia.
- Parsaie, A. and Haghiabi, A.H., 2019. Evaluation of energy dissipation on stepped spillway using evolutionary computing. *Applied Water Science*, 9 (6), 1–7. Ahvaz. University of Ahvaz.
- Reclamation, Bureau of., 1987. Design of Small Dams, 3rd Edition (A Water Resources Technical Publication). *The Handbook of Plant Genome Mapping: Genetic and Physical Mapping*, 109–129. Washington : Government Printing Office.
- Sembiring, C.E., 2016. Analisis Debit Air Irigasi (Suplai Dan Kebutuhan) Di Sekampung Sistem. *Jurnal Rekayasa*, 20 (1), 1–73. Lampung. Universitas Lampung.
- Triatmodjo, B., 1993. Hidraulika II. Cetakan-10, 103-104. Beta Offset. Yogyakarta.