

KAJIAN PENGARUH VARIASI KEMIRINGAN *CHUTE* TERHADAP KECEPATAN DAN JENIS ALIRAN DI SALURAN TERBUKA

*Dinia Anggraheni¹, Dwi Astuti Wahyu Wulan Pratiwi², Arief El Hakam Tazka³, Ikbar Dliatul Haq⁴

^{1,2,3,4}Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta

^{*}Email: dinia.anggraheni@uii.ac.id

ABSTRACT

Studies related to flow in open channels are still very important to support understanding of flow behavior and also applications in civil engineering such as the construction of irrigation and drainage channels to increase efficiency and better design. Most of the designed flows in artificial open channels are non-uniform steady flows. The flow becomes non-uniform, one of which is because the flow passes through a channel whose geometry changes, including changes in width, height and slope angle of the channel. One of the structures in an artificial channel is a chute. Through this research, the effect of variations in chute slope on flow velocity and the type of flow that occurs downstream of the chute was studied. This research uses primary data with independent variables in the form of 4 variations in flow discharge or flow opening and 4 variations in slope. To analyze flow velocity, two measurement were used, using a current meter and float. Based on the analysis results, the greater the slope, the greater the flow velocity at the end of the chute and decreases further downstream. Flow velocity using a float produces a greater velocity because the float was on the surface of the flow, so it requires a correction number to become the average flow velocity. Because the influence of slope also had on velocity, the greater the slope, the greater the velocity, the more supercritical flow forms.

Keyword: Open Channel Flow, Chute, Velocity, Non-uniform Flow, Slope Channel

ABSTRAK

Kajian terkait aliran pada saluran terbuka masih sangat penting untuk menunjang pemahaman perilaku aliran dan juga aplikasi dalam teknik sipil seperti konstruksi saluran irigasi dan drainase untuk meningkatkan efisiensi dan desain yang lebih baik. Sebagian besar aliran yang didesain pada saluran terbuka buatan merupakan aliran tetap tidak seragam. Aliran menjadi tidak seragam salah satunya karena aliran melewati saluran yang geometrianya berubah-ubah, meliputi perubahan lebar, tinggi, dan sudut kemiringan saluran. Salah satu struktur pada saluran buatan adalah *chute* atau dikenal dengan selokan miring. Melalui penelitian ini dipelajari pengaruh variasi kemiringan *chute* terhadap kecepatan aliran dan jenis aliran yang terjadi di hilirnya. Penelitian ini menggunakan data primer dengan variabel bebas berupa 4 variasi debit aliran atau lebih tepatnya bukaan pintu dan 4 variasi kemiringan. Untuk menganalisis kecepatan aliran digunakan dua alat ukur yaitu menggunakan *current meter* dan pelampung. Berdasarkan hasil analisis, semakin besar kemiringan maka kecepatan aliran di hilir *chute* akan semakin besar dan semakin menurun ke hilir. Kecepatan aliran dengan menggunakan pelampung menghasilkan kecepatan yang semakin besar karena pelampung berada di permukaan aliran, sehingga membutuhkan angka koreksi untuk menjadi kecepatan rerata aliran. Karena kemiringan juga berpengaruh pada kecepatan, maka semakin besar kemiringan, semakin besar kecepatan, semakin besar potensi aliran superkritis yang terbentuk.

Kata kunci: Aliran Saluran Terbuka, *Chute*, Aliran Tidak Seragam, Kemiringan Saluran

1. PENDAHULUAN

Studi tentang saluran terbuka sangat banyak dilakukan untuk menggali pemahaman dan pengaruh beberapa variabel terhadap aliran itu sendiri. Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas[1]. Analisis aliran melalui saluran buka memperhitungkan banyak variabel yang sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun waktu, seperti: tampang lintang, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran, dan sebagainya[2].

Di lapangan, saluran buatan bisa berupa kanal, talang, *chute*, bangunan terjun, gorong-gorong, dan terowongan. *Chute* adalah semacam selokan dengan kemiringan yang tajam[3]. Kondisi kemiringan yang sangat tajam menimbulkan kecepatan aliran yang tinggi di ujung saluran. Oleh karena itu, studi tentang saluran ini sangat sering dilakukan terutama mengenai bagaimana cara meredam energi karena energi yang dikeluarkan sangat besar terutama di ujung saluran. Kajian mengenai peredaman energi akibat adanya saluran peluncur, beberapa peneliti melakukan kajian tentang struktur saluran peluncur dalam hal ini termasuk bendung atau *spillway* karena dinilai memiliki karakter yang sama yaitu kemiringan yang tajam. Kajian karakteristik aliran pada bangunan pelimpah bendungan dikatakan bahwa kecepatan aliran paling besar adalah pada saat air melewati bangunan pelimpah [4]. Salah satu usaha untuk meredam energi adalah modifikasi saluran peluncur dengan membuat beberapa tangga dari lokasi dekat puncak hingga ke hilir peluncur[5]. Hal serupa juga dilakukan oleh Dilaga dkk. (2013) dengan menggunakan tangga pada penelitiannya, dan membuktikan bahwa bentuk bangunan peluncur sangat mempengaruhi tinggi muka air hilir dan menghasilkan tinggi muka air yang lebih rendah setelah melewati peluncur bertangga dengan nilai Froude juga lebih rendah[6]. Peredaman energi lainnya adalah dengan menempatkan

struktur berupa kolam olak di hilir saluran peluncur dalam hal ini adalah bendung. Pernah dilakukan kajian model fisik pengaruh perubahan jari-jari kolam olak pada peredam energi tipe yaitu: semakin besar jari-jari semakin menuruhkan kecepatan aliran, pada saat debit besar, loncatan air juga semakin besar[7]. Oleh karena itu, melalui penelitian ini dikaji pengaruh kemiringan *chute* terhadap kecepatan dan jenis aliran yang terjadi setelah aliran melalui *chute*. Namun, pada penelitian ini tidak sampai dikaji terkait solusi bangunan peredam energi dihilir *chute*.

2. METODE PENELITIAN

Persiapan Alat dan Bahan

Pada penelitian ini digunakan pengambilan data primer dengan menyiapkan alat dan bahan yang dibutuhkan. Pengujian dilakukan di Laboratorium Hidraulika Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Beberapa alat yang digunakan adalah sebagai berikut:

1. Flume dengan dimensi Panjang \times Lebar \times Tinggi = 1007 cm \times 97 cm \times 60 cm (Gambar 1).



Gambar 1. Flume

2. *Current meter* untuk menghitung kecepatan dengan kecepatan rendah yaitu 25 mm/detik (Gambar 2).



Gambar 2. *Current meter*

3. Bola pingpong sebagai material pelampung yang digunakan untuk alat pembanding perhitungan kecepatan aliran.
4. *Handphone* untuk digunakan sebagai penghitung waktu atau *stopwatch*.

Prosedur Penelitian

Tahapan penelitian dimulai dari persiapan bahan dan alat serta penyiapan variabel bebas. Kemudian, dilakukan pengukuran kecepatan, baik pengukuran kecepatan dari alat *current meter* dan juga pelampung. Setelah itu, dilakukan analisis pengaruh kemiringan *chute* terhadap kecepatan aliran, serta menyelidiki jenis aliran yang terjadi akibat kemiringan tersebut.

1. Penyiapan variabel bebas

Flume tersebut dapat diatur dengan beberapa kondisi untuk dinyatakan sebagai variabel bebas yaitu:

- a. Pengaturan debit melalui bukaan tuas 1 sampai 4. Bukaan 1 artinya ada satu putaran tuas ke arah berlawanan jarum jam dengan dua pipa yang terbuka, sedangkan bukaan 4 artinya ada empat putaran tuas ke arah berlawanan jarum jam dengan dua pipa terbuka (Gambar 3).



Gambar 3. Bukaan Pipa Pengaturan Debit

b. Pengaturan kemiringan hulu (*chute*), yaitu 0° , 10° , 15° , dan 20° . Flume memiliki kemiringan maksimum 20° , karena terbatas oleh posisi pipa yang ada di atas flume (Gambar 4).



Gambar 4. Flume Bagian Hulu

2. Pengukuran Kecepatan

Untuk mengetahui kecepatan aliran, dilakukan dua cara yaitu menggunakan alat ukur *currentmeter* dan pelampung. Material pelampung yang digunakan adalah bola pingpong. Bola pingpong mulai diletakkan untuk dihitung jarak tempuh dan waktu yang dibutuhkan dari titik awal hingga jarak yang ditentukan. Bola pingpong (Gambar 5 kanan) dan *current meter* (Gambar 5 kiri) diletakkan di tiga posisi yaitu tengah, kiri, dan kanan saluran.



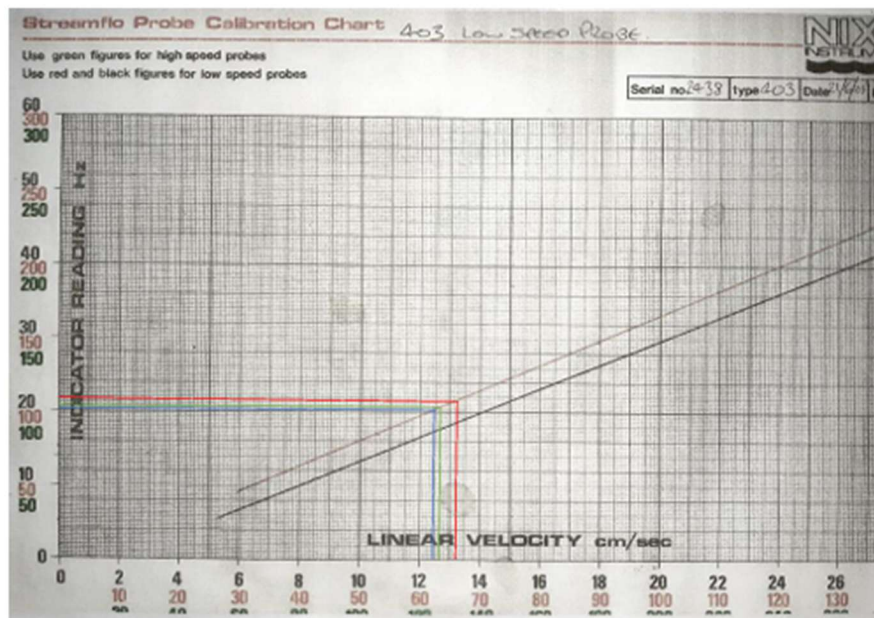
Gambar 5. Peletakkan Alat Ukur Kecepatan Menggunakan Bola Pingpong dan *Current meter*

Kecepatan aliran dengan pelampung dihitung menggunakan persamaan:

$$V = \frac{L}{t} \quad (1)$$

dengan, V = kecepatan aliran (m/s), L = jarak antara dua titik yang dilalui (m), t = waktu yang dibutuhkan untuk melalui L (s). Disimpulkan bahwa ketelitian hasil pengukuran pelampung permukaan terhadap *current meter* adalah sebesar 77% dimana terdapat pengaruh cuaca dan kehilangan air yang tidak diteliti [8].

Namun, pada *current meter* yang dipakai pada penelitian, kecepatan aliran didapat dengan mengonversi data kecepatan dari satuan Hz menjadi cm/s dengan bantuan tabel kalibrasi (*stream flow calibration chart*) yang dapat ditunjukkan pada Gambar 6, dengan mengambil contoh kecepatan aliran pada saat variasi kemiringan 0° dan bukaan 4, maka data yang diperoleh di *current meter* menunjukkan hasil 108 Hz pada posisi kiri saluran, 101 Hz pada bagian tengah saluran, dan 104 Hz pada bagian kanan saluran. Dengan menggunakan tabel konversi, maka kecepatan aliran didapat 66 cm/s pada bagian kiri saluran, 62 cm/s pada bagian tengah, dan 63.5 cm/s pada bagian kanan saluran.



Gambar 6. Chart Kalibrasi Kecepatan *Current meter*

4. Penentuan Jenis Aliran

Penentuan jenis aliran adalah dengan menggunakan angka Froude. Angka Froude adalah bilangan non dimensional akibat hubungan antara kecepatan dengan cepat rambat gelombang pada aliran air. Dalam studi karakteristik aliran pada flume, digunakan parameter angka Froude untuk menyatakan sifat aliran. Untuk menghitung angka Froude dapat digunakan rumus berikut[9].

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (2)$$

dengan

Fr = angka Froude, V = kecepatan aliran (m/s), g = percepatan gravitasi (m/s^2), dan D = kedalaman hidraulik (m). Jika kecepatan aliran sama dengan cepat rambat gelombang, kondisi aliran disebut kritis.

$$V = \sqrt{gD} \quad (3)$$

Jika angka Froude kurang dari satu atau, kecepatan aliran kurang dari cepat rambat gelombang, maka kondisi aliran adalah sub kritis.

$$V < \sqrt{gD} \quad (4)$$

Namun, jika angka Froude lebih dari satu atau kecepatan aliran lebih dari cepat rambat gelombang, kondisi aliran disebut kondisi super kritis.

$$V > \sqrt{gD} \quad (5)$$

5. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengukuran Kecepatan

Pengukuran kecepatan aliran dilakukan dengan dua alat, yaitu *current meter* dan pelampung (bola pingpong). Analisis data kecepatan yang dilakukan pada aliran flume dengan penggunaan *current meter* diawali dengan pencatatan angka (jumlah putaran) yang terbaca pada *counter digital*. Selanjutnya, angka tersebut disesuaikan dengan hasil dari pembacaan *streamflow probe calibration chart*, untuk mendapatkan nilai kecepatan dalam cm/s yang kemudian diubah kedalam satuan m/s. Penggunaan *current meter* diletakkan pada kiri, tengah dan kanan

aliran, sehingga akan terbaca kecepatan pada kiri, kanan, dan kanan yang selanjutnya dirata-rata untuk mendapatkan kecepatan rata-rata aliran.

Analisis data kecepatan menggunakan pelampung adalah dengan mengambil data waktu di setiap jarak yang berhasil dilalui oleh bola pingpong (pelampung). Dalam hal ini, jarak yang diambil adalah perdua meter, sehingga data kecepatan diperoleh dari perbandingan jarak per waktu. Dari 10 data pengambilan kemudian dirata-rata untuk bisa mendapatkan kecepatan aliran.

Berikut adalah hasil analisis kecepatan aliran dengan alat *current meter* dan pelampung (Tabel 1).

Tabel 1. Rekapitulasi Analisis Kecepatan Aliran (dalam m/s)

No	Kemiringan	Bukaan	Kecepatan dengan <i>Current meter</i>			Kecepatan Rata-Rata	Kecepatan dengan Pelampung			Kecepatan Rata-Rata
			Kiri	Tengah	Kanan		Kiri	Tengah	Kanan	
1	0	1	0,147	0,220	0,141	0,169	0,224	0,275	0,226	0,242
2	0	2	0,403	0,409	0,398	0,403	0,513	0,566	0,512	0,530
3	0	3	0,522	0,551	0,522	0,532	0,770	0,827	0,748	0,781
4	0	4	0,634	0,672	0,597	0,634	0,921	0,955	0,948	0,941
5	10	1	0,166	0,235	0,198	0,200	0,230	0,276	0,248	0,251
6	10	2	0,256	0,727	0,413	0,465	0,414	0,831	1,090	0,778
7	10	3	0,778	1,164	1,101	1,014	1,260	1,912	1,679	1,617
8	10	4	1,065	1,055	1,473	1,197	1,687	2,837	2,254	2,259
9	15	1	0,213	0,254	0,238	0,235	0,257	0,303	0,277	0,279
10	15	2	0,456	0,537	0,450	0,481	0,776	0,976	0,866	0,873
11	15	3	1,071	1,152	1,093	1,105	1,550	1,624	1,702	1,625
12	15	4	1,369	1,378	1,425	1,390	2,665	2,814	2,616	2,698
13	20	1	0,240	0,257	0,239	0,245	0,284	0,324	0,271	0,293
14	20	2	0,515	0,556	0,525	0,532	0,866	1,168	0,822	0,952
15	20	3	1,090	1,151	1,098	1,113	1,607	2,091	1,591	1,763
16	20	4	1,442	1,676	1,390	1,503	2,770	2,781	2,691	2,747

Penentuan Jenis Aliran

Sifat aliran yang akan dibahas adalah berdasar angka Froude yang dapat mendefinisikan aliran sub kritis, kritis, dan super kritis. Penentuan sifat aliran ini berguna untuk informasi desain. Hal tersebut tentu akan membantu pada penelitian-penelitian selanjutnya yang akan menggunakan flume untuk simulasi desain. Mengacu pada penentuan sifat aliran tersebut maka dibutuhkan analisis kecepatan dan kedalaman hidraulik sebagaimana pada persamaan 2, 3, 4, dan 5. Berikut adalah hasil analisis penentuan sifat aliran (Tabel 2).

Tabel 2. Hasil Analisis Sifat Aliran

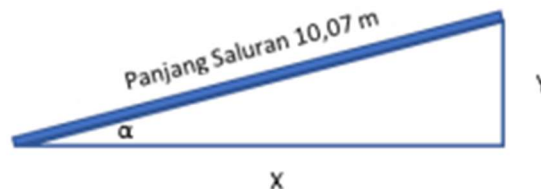
No	Kemiringan	Bukaan	Kecepatan rata-rata (m/s)		Kedalaman Hidraulik (D) dalam m	Kecepatan rambat gelombang (m/s)	Fr (Angka Froude)		Sifat Aliran	
			dengan <i>current meter</i>	dengan pelampung			dengan <i>current meter</i>	dengan pelampung	dengan <i>current meter</i>	dengan pelampung
1	0	1	0,169	0,242	0,014	0,375	0,452	0,645	sub kritis	sub kritis
2	0	2	0,403	0,530	0,026	0,503	0,801	1,054	sub kritis	super kritis
3	0	3	0,532	0,781	0,041	0,636	0,836	1,229	sub kritis	super kritis
4	0	4	0,634	0,941	0,054	0,729	0,870	1,291	sub kritis	super kritis
5	10	1	0,200	0,251	0,015	0,383	0,521	0,656	sub kritis	sub kritis
6	10	2	0,465	0,778	0,025	0,492	0,945	1,582	sub kritis	super kritis
7	10	3	1,014	1,617	0,027	0,511	1,983	3,162	super kritis	super kritis
8	10	4	1,197	2,259	0,025	0,496	2,412	4,552	super kritis	super kritis
9	15	1	0,235	0,279	0,013	0,363	0,647	0,767	sub kritis	sub kritis
10	15	2	0,481	0,873	0,022	0,462	1,041	1,888	super kritis	super kritis
11	15	3	1,105	1,625	0,025	0,491	2,251	3,311	super kritis	super kritis
12	15	4	1,390	2,698	0,026	0,501	2,777	5,389	super kritis	super kritis
13	20	1	0,245	0,293	0,014	0,365	0,672	0,803	sub kritis	sub kritis
14	20	2	0,532	0,952	0,018	0,416	1,277	2,286	super kritis	super kritis
15	20	3	1,113	1,763	0,022	0,463	2,401	3,805	super kritis	super kritis
16	20	4	1,503	2,747	0,023	0,477	3,148	5,756	super kritis	super kritis

Pembahasan

Beberapa yang dibahas adalah pengaruh kemiringan terhadap kecepatan, jenis aliran yang terjadi setelah melewati *chute*, serta keterbatasan penelitian di laboratorium.

1. Pengaruh Kemiringan *Chute* terhadap Perbedaan Kecepatan

Kemiringan saluran yang digunakan dalam penelitian ini adalah kemiringan flume di bagian hulu saja. Namun, karena nilai derajat tidak lazim digunakan, untuk menggambarkan kemiringan digunakan kemiringan atau perbandingan jarak vertikal (Y) dan horizontal (X), sehingga didapatkan variasi kemiringan sebagai berikut (Gambar 6).



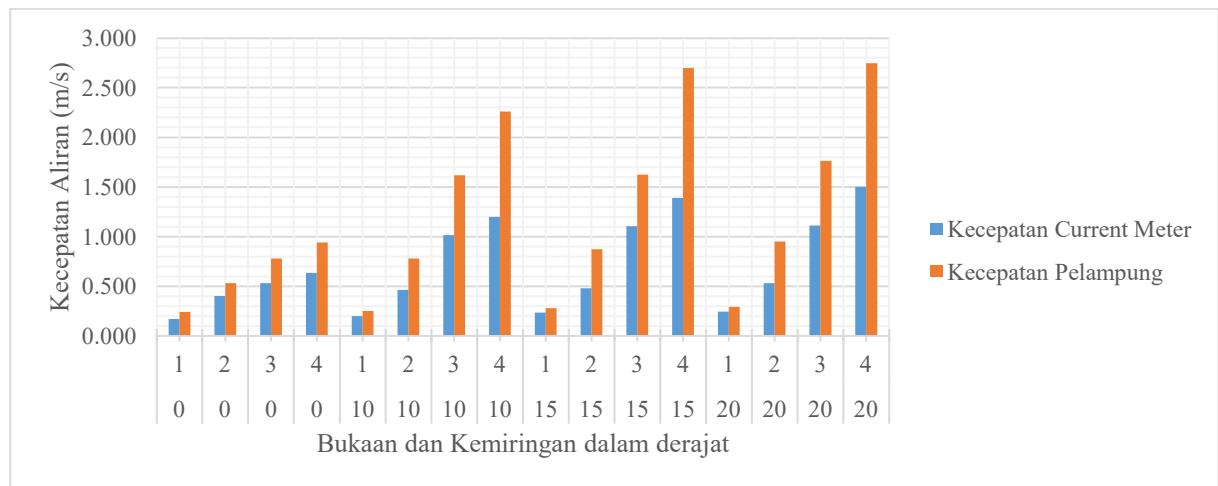
Gambar 6. Penentuan Kemiringan Saluran

Kemudian, perhitungan kemiringan saluran dihitung pada variabel kemiringan dalam sudut (Tabel 3).

Tabel 3. Variasi Kemiringan pada Flume Bagian Hulu.

Sudut ($^{\circ}$)	Y (m)	X (m)	Kemiringan
0	0	10,07	0
10	1,75	9,92	0,18
15	2,61	9,73	0,27
20	3,44	9,46	0,36

Setelah dianalisis, kemiringan *chute* akan memberikan pengaruh pada kecepatan aliran yang semakin tinggi. Semakin tinggi kemiringan, maka akan semakin tinggi kecepatan aliran yang dihasilkan berlaku untuk seluruh variasi bukaan atau debit yang diberikan. Pada bukaan 1, kecepatan aliran adalah paling kecil meningkat seiring tambahan bukaan. Walaupun perbedaan kemiringan pada sudut 15° dan 20° tidak memperlihatkan perbedaan hasil yang signifikan baik pada bukaan 1 sampai 4. Hal tersebut ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Grafik Perbedaan Kecepatan Aliran pada Variasi Kemiringan *Chute*

Selain itu, perhitungan kecepatan dengan pelampung memberikan hasil yang secara merata lebih tinggi dibandingkan kecepatan dengan *current meter*. Hal tersebut terjadi karena perhitungan kecepatan dengan pelampung dilakukan di permukaan air yang cenderung akan menghasilkan kecepatan maksimum. Oleh karena itu, perhitungan kecepatan dengan pelampung harus memiliki angka koreksi untuk menunjukkan kecepatan rata-ratanya. Hasil angka koreksi untuk kecepatan rata-rata aliran dengan pelampung adalah sebagai berikut (Tabel 4). Angka koreksi rata-rata adalah 0,658.

Tabel 4. Angka Koreksi untuk Kecepatan Rata-Rata dengan Pelampung

No	Kemiringan	Bukaan	Kecepatan Rata-Rata (m/s)		Koreksi Kecepatan
			<i>Current meter</i>	Pelampung	Pelampung
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(4)/(5)
1	0	1	0,169	0,242	0,700
2	0	2	0,403	0,530	0,760
3	0	3	0,532	0,781	0,680
4	0	4	0,634	0,941	0,674
5	10	1	0,200	0,251	0,794
6	10	2	0,465	0,778	0,597
7	10	3	1,014	1,617	0,627
8	10	4	1,197	2,259	0,530
9	15	1	0,235	0,279	0,843
10	15	2	0,481	0,873	0,551
11	15	3	1,105	1,625	0,680
12	15	4	1,390	2,698	0,515
13	20	1	0,245	0,293	0,837
14	20	2	0,532	0,952	0,559
15	20	3	1,113	1,763	0,632
16	20	4	1,503	2,747	0,547
Nilai Koreksi Rata-Rata					0,658

2. Jenis Aliran pada *Chute*

Berdasar hasil analisis sifat aliran yang tersaji pada Tabel 2, dapat disimpulkan bahwa kondisi sifat aliran super kritis dapat terjadi mulai pada debit aliran dengan variasi kemiringan hulu 10° pada variasi bukaan tuas 3. Semakin besar bukaan dan kemiringan hulu saluran, kecenderungan sifat aliran adalah superkritis. Hal tersebut menunjukkan bahwa pentingnya bangunan peredam energi yang diperlukan di hilir *chute* apalagi dengan kemiringan dan debit yang tinggi. Meskipun demikian, pada variasi debit yang rendah, masih memungkinkan terjadinya aliran subkritis pada daerah hilir *chute* sehingga tidak terjadi gerusan di daerah sekitarnya.

3. Keterbatasan Penelitian

Beberapa hal yang kemudian menjadi keterbatasan dalam penelitian aliran di flume Laboratorium Hidrolika Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia adalah sebagai berikut ini.

- Kemiringan hulu maksimum yang bisa diatur adalah maksimal 20° atau 0,36 atau 1:2,78. Hal tersebut karena terdapat pipa yang membatasi kemiringan flume juga permasalahan pengaturan kemiringan yang cukup berat dan harus seimbang di bagian kanan dan kiri.
- Nilai debit maksimum yang dapat digunakan dalam penelitian adalah sekitar 0,039 m³/s, dengan bukaan tuas 4 putaran, karena jika lebih dari itu aliran yang terjadi terlalu deras dan pengisian kolam penampungan terlalu cepat.

6. KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah bahwa semakin besar kemiringan suatu saluran *chute* maka akan menghasilkan kecepatan yang tinggi juga di hilirnya dan mengakibatkan jenis saluran superkritis, dimana aliran tersebut dapat memberikan potensi gerusan di sekitar hilir *chute*. Oleh karena itu, disarankan pada hilir *chute* dibangun struktur peredam energi. Selain itu, kesimpulan tambahan adalah untuk memperoleh kecepatan aliran rata-rata pada saluran terbuka dengan alat pelampung membutuhkan angka koreksi 0,658.

7. SARAN

Melihat keterbatasan penelitian, *flume* pada laboratorium sebaiknya dapat diperhatikan lagi untuk variasi kemiringan yang lebih tinggi, mengingat kemiringan *chute* di lapangan bisa lebih dari 20° . Penelitian dapat dilanjutkan dengan menambahkan parameter lain, seperti pengaruh bangunan peredaman energi terhadap kecepatan aliran.

8. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia atas bantuan hibah penelitian yang pernah diterima pada tahun 2022.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Harseno and S. J. V.L, “Studi Eksperimental Aliran Berubah Beraturan pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis,” *Majalah Ilmiah UKRIM*, 2007.
- [2] B. Triatmodjo, *Hidraulika II*. Yogyakarta: Beta Offset, 2013.
- [3] A. Suroso, *Bahan Ajar Mekanika Fluida dan Hidrolika*. Jakarta: Pusat Pengembangan Bahan Ajar-Universitas Mercu Buana, 2020.
- [4] S. S. Saleh, R. Musa, and H. As’ad, “Kajian Karakteristik Aliran terhadap Bangunan Pelimpah pada Saluran Terbuka,” *Jurnal Teknik Hidro*, vol. 12, pp. 40–52, Aug. 2019.
- [5] D. S. Krisnayanti, V. Dermawan, M. Solichin, Suhardjono, and D. N. Khaerudin, “Stepped Weir as an Alternative Design of Irrigation Structure,” *Jurnal Irigasi*, vol. 11, pp. 91–102, Oct. 2016.
- [6] S. Dilaga, Y. Hardiansyah, F. Hamdi, and A. B. Tongeng, “Analisis Distribusi Debit Aliran pada Pelimpah dengan Variasi Model Bangunan Peluncur,” vol. 1, no. 1, 2023, doi: 10.59810/localengineering.
- [7] M. R. Firdaus, N. S. Rizal, and A. S. Manggala, “Kajian Model Fisik Pengaruh Perubagan Jari-Jari Kolam Olak Pada Peredam Energi Tipe Bucket,” *Jurnal Smart Teknologi*, vol. 3, pp. 480–491, Jul. 2022.
- [8] H. Tangkudung, “Pengukuran Kecepatan Aliran dengan Menggunakan Pelampung dan *Current meter*,” *Jurnal TEKNIK-SIPIL*, vol. 09, no. 55, Apr. 2011.
- [9] G. Y. D. Astuti and F. Hariati, “Studi Karakteristik Aliran pada Flume Saluran Terbuka di Laboratorium Teknik Sipil UIKA,” *ASTONJADRO*, vol. 5, Jan. 2016.