



Analisis Pengaruh Kemiringan Saluran Terbuka terhadap Kecepatan Aliran dan Kehilangan Energi menggunakan Regresi Linear Berganda

Fauziah Latif¹, Sumayyah An Nafi'ah^{2*}, Muh. Agussalim³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Pengairan, Universitas Muhammadiyah Makassar, Indonesia

*Email: sumayyah.annafiah114@gmail.com

Abstract: The slope of the channel bed affects the flow velocity and the amount of energy loss due to gravity. This study aims to analyze the effect of the channel bed slope on flow velocity and energy loss, and to develop an energy loss prediction model. The slope variations used were 1°, 2°, and 3°. The test results showed that a slope of 3° produced the highest flow velocity, namely 2.177 m/s, with an energy loss of 0.261, while a slope of 1° produced a flow velocity of 0.597 m/s and an energy loss of 0.028. The multiple linear regression model produced the equation $Y = -0.0133 + 0.016X_1 + 1.395X_2$, which indicates that flow velocity and water level have a positive effect on energy loss. This model can be used to estimate energy loss based on channel hydraulic parameters.

Keywords: Channel Slope, Flow Velocity, Energy Loss, Multiple Linear Regression

1. PENDAHULUAN

Aliran pada saluran terbuka memiliki permukaan bebas yang dipengaruhi tekanan atmosfer dan menunjukkan distribusi kecepatan yang tidak merata akibat gesekan dengan dasar dan dinding saluran (Chow, 1959). profil kecepatan aliran pada saluran terbuka dipengaruhi oleh kondisi batas dan karakteristik hidraulik aliran, sehingga kecepatan maksimum umumnya terjadi sedikit di bawah permukaan air (Zhang et al., 2021; Lee & Kim, 2020). Oleh sebab itu, analisis hidraulika saluran terbuka diperlukan untuk memahami mekanisme aliran baik pada saluran alami maupun buatan (Raju, 1999). Kajian mengenai aliran saluran terbuka juga penting karena karakteristiknya sangat dipengaruhi oleh bentuk geometri dan perilaku aliran gravitasi (Henderson, 1966).

Salah satu parameter utama yang mengendalikan karakteristik aliran adalah kemiringan dasar saluran, karena menentukan besar kecilnya gaya gravitasi yang mendorong aliran (Sturm, 2001). Peningkatan kemiringan meningkatkan energi potensial aliran dan mempercepat pergerakan air sehingga menghasilkan nilai kecepatan yang lebih besar (Subramanya, 2009). Fenomena ini juga dipertegas oleh penelitian hidraulik yang menunjukkan bahwa gradien energi meningkat seiring bertambahnya kemiringan saluran (Chanson, 2004). Penelitian laboratorium pada flume skala kecil juga menunjukkan bahwa variasi kemiringan yang relatif kecil dapat menghasilkan perubahan kecepatan aliran yang signifikan, terutama pada saluran dengan penampang persegi dan kondisi aliran subkritis hingga transisi (Wigati et al., 2021). Selain kemiringan,

karakteristik permukaan saluran turut memengaruhi gaya gesek dan pola aliran yang terbentuk (Putro *et al.*, 2022).

Perubahan kecepatan berpengaruh langsung terhadap kehilangan energi yang muncul akibat gesekan dan turbulensi sepanjang lintasan aliran (French, 1985). Kehilangan energi pada saluran terbuka dapat diidentifikasi dari perbedaan tinggi muka air antara hulu dan hilir, sehingga kedalaman aliran menjadi indikator penting dalam menilai rugi energi (Saleh *et al.*, 2019). Pada saluran yang lebih curam, peningkatan kecepatan menyebabkan rugi energi semakin besar karena meningkatnya turbulensi dan gradien energi (Khafifah *et al.*, 2023). Faktor kekasaran permukaan, bentuk penampang, dan variasi kedalaman turut memengaruhi perubahan gradien energi dan rugi energi secara keseluruhan (Yen, 2002). Hubungan variabel tersebut menunjukkan keterkaitan yang erat antara kemiringan saluran, kecepatan aliran, tinggi muka air, dan kehilangan energi (Walpole, 1995).

Untuk mengukur hubungan kuantitatif antarvariabel tersebut, regresi linier berganda digunakan karena mampu menjelaskan pengaruh simultan beberapa variabel bebas melalui model matematis (Spiegel, 2004). Metode ini tepat diterapkan pada data percobaan laboratorium yang memiliki variasi parameter aliran (Supranto, 2001). Selain itu, regresi linier berganda umum digunakan untuk memodelkan fenomena hidraulik karena memberikan pemahaman statistik mengenai kontribusi setiap variabel terhadap variabel respon (Yuliara, 2016). Penggunaan metode ini juga direkomendasikan dalam analisis data hidraulika modern karena mampu menghasilkan model prediktif dengan ketelitian yang lebih baik (Montgomery, 2012). Pendekatan regresi memungkinkan hubungan antara kecepatan aliran, tinggi muka air, dan kehilangan energi dianalisis secara sistematis dan terukur pada berbagai kondisi kemiringan saluran (Sturm, 2021).

Berdasarkan kerangka tersebut, penelitian ini mengkaji pengaruh kemiringan saluran 1° , 2° , dan 3° terhadap kecepatan aliran dan kehilangan energi, serta membangun model regresi linier berganda yang menggambarkan hubungan matematis antara kecepatan aliran, tinggi muka air, dan besar kehilangan energi sebagaimana tercermin dalam hasil pengukuran laboratorium.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini akan di laksanakan di laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universtas Muhammadiyah Makassar pada bulan Juli – Agustus 2023 dengan menggunakan metode kuantitatif karena data yang berupa angka sebagai alat untuk menganalisis hal-hal yang ingin diketahui. Penelitian metode kuantitatif merupakan proses pengumpulan data mentah yang akurat diperoleh dari suatu badan atau organisasi terkait.

Data yang digunakan berupa data primer dan data sekunder sebagai berikut;

1. Data primer berupa dimensi saluran yang didapatkan dengan cara pengukuran secara langsung pada flume.

2. Data sekunder berupa data tinggi muka air dan waktu tempuh bola pancing dengan kemiringan yang berbeda pada flume. Terkait dengan

Adapun tahap - tahap yang dapat dilakukan dalam penelitian ini dalam memandu penulis agar lebih terarah :

- a. Melakukan penelitian dengan mengatur kemiringan saluran pada flume dengan kemiringan saluran 1°, 2°, dan 3°.
- b. Pengambilan data pada flume berupa Panjang saluran, lebar saluran, tinggi muka air dan waktu tempuh bola pancing.
- c. Perhitungan parameter hidrolis saluran terbuka dilakukan berdasarkan teori aliran saluran terbuka (Chow, 1959), meliputi:

Menghitung luas penampang basah (A)

$$A = B \times h$$

Menghitung keliling basah (P)

$$P = B + 2h$$

Menghitung jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P}$$

Keterangan:

A = Luas penampang basah (m²)

P = Keliling basah (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Tinggi dan kedalaman air (m)

- d. Menghitung kehilangan energi dengan kemiringan saluran 1°, 2°, dan 3°. Energi spesifik aliran dihitung menggunakan persamaan energi aliran saluran terbuka (Chadwick et al., 2013; Chow, 1959):

$$E = h + \frac{V^2}{2g}$$

Keterangan:

E = Energi spesifik

V = kecepatan aliran

g = percepatan gravitasi

h = Tinggi muka air

- e. Model prediksi kehilangan energi disusun menggunakan regresi linier berganda (Montgomery et al., 2012):

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$$

Keterangan:

Y = variable tak bebas (nilai yang akan diprediksi)

a = Konstanta

b₁, b₂,..., b_n = Koefisien regresi

X₁, X₂,..., X_n = Variable bebas

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Analisis Hidrolis

Pada penelitian ini analisis hidrolis berupa luas penampang basah, keliling basah, jari-jari hidrolis dan kecepatan aliran pada saluran flume berbentuk persegi. Rumus yang digunakan untuk menentukan analisis hidrolis sebagai berikut:

- a. Menghitung luas penampang basah (A)

$$A = B \times h$$

$$\begin{aligned} A &= 0.08 \times 0.015 \\ &= 0.012 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- b. Menghitung keliling basah (P)

$$P = B + 2h$$

$$\begin{aligned} P &= 0.08 + 2 \times 0.012 \\ &= 0.110 \text{ m} \end{aligned}$$

- c. Menghitung jari-jari hidrolis (R)

$$R = \frac{A}{P}$$

$$\begin{aligned} R &= \frac{0.0122}{0.110} \\ &= 0.00109 \text{ m} \end{aligned}$$

- d. Menghitung kemiringan saluran (S)

$$\text{rad} = \text{derajat} \times \frac{\pi}{180}$$

$$\begin{aligned} \text{rad} &= 3^\circ \times \frac{3.14}{180} \\ &= 0.052 \end{aligned}$$

- e. Menghitung kecepatan aliran (V)

Kecepatan Manning

Dengan nilai koefisien Manning (n) pada tabel 1

$$V = \frac{1}{n} \times R^{2/3} \times S^{1/2}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{0.010} \times 0.00109 \times 0.052 \\ &= 0.717 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Kecepatan Laboratorium

$$V = \text{Jarak/waktu}$$

$$\begin{aligned} V &= \frac{3.65}{6.11} \\ &= 0,597 \text{ m/det} \end{aligned}$$

Tabel 1. Nilai koefisien manning

No.	Bahan	Nilai n
1	Besi tuang di lapis	0.014
2	Kaca	0.010
3	Saluran Beton	0.013
4	Bata dilapis mortar	0.015
5	Pasangan batu disemen	0.025
6	Saluran tanah bersih	0.022
7	Saluran tanah	0.030
8	Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0.040
9	Saluran pada galian batu padas	0.040

Sumber : "Hidrolika". Prof, Dr. Ir. Bambang Triatmojo, CES, DEA

Untuk analisis hidrolis pada kemiringan saluran 1°, 2°, dan 3° dapat dilihat pada tabel Analisa kemiringan saluran 3° mewakili kemiringan saluran yang lain karena sari ketiga kemiringan tersebut memiliki pengujian yang sama menentukan analisis hidrolis dapat dilihat pada **tabel 2.** berikut ini:

Tabel 2. Hasil analisis hidrolis pada kemiringan saluran 3°

Debit (m ³ /det)	Kemiringan Saluran	Koefisien Manning	Tinggi Muka Air				Waktu	Dimensi Saluran			Kecepatan Aliran	
			h ₀	h ₁	h ₂	h̄		A	P	R	VEmpiris	VLab
	S	n	(m)	(m)	(m)	(m)	(det)	(m ²)	(m)	(m)	(m/det)	(m/det)
Q1	0.052	0.010	0.018	0.014	0.012	0.015	5.10	0.0012	0.110	0.0109	1.122	0.716
	0.052	0.010	0.018	0.014	0.013	0.015	5.08	0.0012	0.110	0.0109	1.122	0.719
	0.052	0.010	0.018	0.015	0.013	0.015	5.09	0.0012	0.110	0.0109	1.122	0.717
Q2	0.052	0.010	0.020	0.015	0.014	0.016	4.46	0.0013	0.112	0.0114	1.157	0.818
	0.052	0.010	0.020	0.016	0.014	0.017	4.45	0.0014	0.114	0.0119	1.191	0.820
	0.052	0.010	0.020	0.016	0.014	0.017	4.43	0.0014	0.114	0.0119	1.191	0.824
Q3	0.052	0.010	0.023	0.018	0.015	0.019	4.21	0.0015	0.118	0.0129	1.253	0.867
	0.052	0.010	0.023	0.018	0.015	0.019	4.22	0.0015	0.118	0.0129	1.253	0.865
	0.052	0.010	0.024	0.019	0.015	0.019	4.22	0.0015	0.118	0.0129	1.253	0.865

Berdasarkan hasil analisis hidrolis yang disajikan pada tabel 2 dapat dilihat hubungan antara tinggi muka air dan analisis hidrolis. Analisis hidrolis terbesar pada kemiringan saluran 3° yaitu A = 0.0015 m², P = 0.118 m, R = 0.0109 m, VEmpiris = 1.254 m/det dan VLab = 0.865 m/det

3.2. Kehilangan Energi

Kehilangan energi adalah selisih antara energi pra-konstriksi dan pasca-konstriksi. Kehilangan energi sangat dipengaruhi oleh dimensi saluran, kemiringan dan kekasaran. Rumus menentukan kehilangan energi sebagai berikut:

$$E = h + \frac{V^2}{2g}$$

$$E = 0.010 + \frac{0.528^2}{2 \times 9.81}$$

$$= 0.024$$

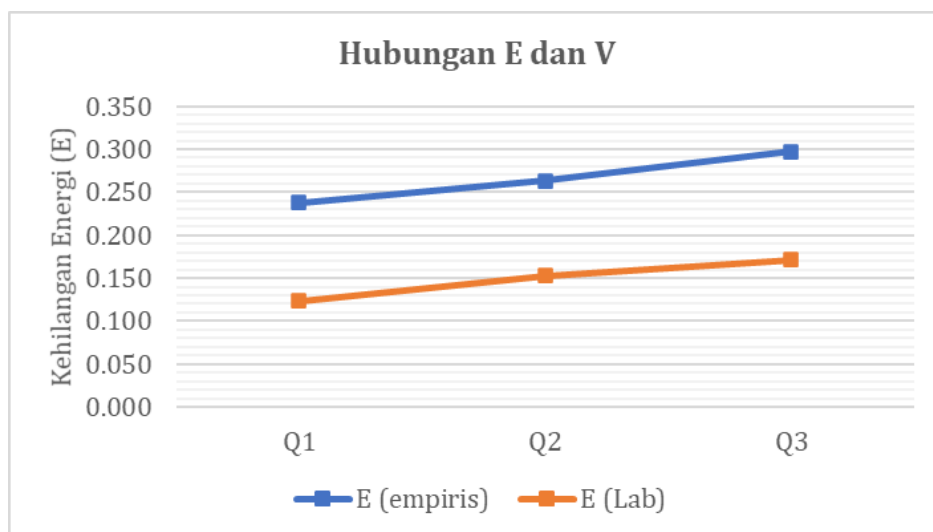
Untuk kehilangan energi pada kemiringan saluran 1°, 2°, dan 3° dapat dilihat pada tabel kehilangan energi kemiringan saluran 3° mewakili kemiringan saluran yang lain karena sari ketiga kemiringan tersebut memiliki pengujian yang sama menentukan kehilangan energi dapat dilihat pada **tabel 3**. berikut ini:

Tabel 3. Kehilangan Energi Kemiringan Saluran 3°

Debit (m ³ /det)	Kecepatan Aliran		Kecepatan Aliran	
	VEmpiris	VLab	EEmpiris	ELab
	(m/det)	(m/det)	-	-
Q1	1.122	0.716	0.079	0.041
	1.122	0.719	0.079	0.041
	1.122	0.717	0.079	0.041
Q2	1.157	0.818	0.084	0.050
	1.191	0.820	0.089	0.051
	1.191	0.824	0.089	0.052
Q3	1.253	0.867	0.099	0.057
	1.253	0.865	0.099	0.057
	1.253	0.865	0.099	0.057

Sumber : Hasil Analisa data

Berdasarkan hasil analisis kehilangan energi pada tabel 2 dapat dilihat bahwa kehilangan energi dipengaruhi oleh dimensi saluran dan kemiringan saluran. Kehilangan energi terbesar pada kemiringan saluran 3° yaitu $E = 0.099$ Grafik kehilangan energi pada kemiringan saluran 3° dapat dilihat pada **Gambar 1** Berikut ini.



Gambar 1. Grafik kehilangan energi pada kemiringan saluran 3°

3.3. Regresi Linear Berganda

Pada penelitian ini variabel regresi linear berganda yang digunakan yaitu X1 adalah kecepatan aliran, X2 adalah tinggi muka air dan Y adalah kehilangan energi. Menentukan kontanta dan koefisien-koefisien dengan cara sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \sum X_1^2 &= 26.160 - \frac{(15.279)^2}{9} = 0.2196 \\ \sum X_2^2 &= 0,002 - \frac{(0.115)^2}{9} = 0.00004 \\ \sum Y^2 &= 0.241 - \frac{(1.450)^2}{9} = 0.0075 \\ \sum X_1X_2 &= 0.198 - \frac{(15.279)(0.115)}{9} = 0.003 \\ \sum X_1Y &= 2.502 - \frac{(15.279)(1.450)}{9} = 0.0404 \\ \sum X_2Y &= 0.019 - \frac{(0.115)(1.450)}{9} = 0.0006 \\ b_1 &= \frac{[(0.00004 \times 0.0404) - (0.0006 \times 0.003)]}{[(0.219 \times 0.00004) - (0.003)^2]} = \frac{8.8 \times 10^8}{5.3 \times 10^7} = 0.165 \\ b_2 &= \frac{[(0.219 \times 0.0006) - (0.0404 \times 0.003)]}{[(0.219 \times 0.00004) - (0.003)^2]} = \frac{7.4 \times 10^7}{5.3 \times 10^7} = 1.395 \\ a &= \frac{(1.450) - (0.198 \times 15.279) - (1.395 \times 0.115)}{9} = -0.137 \end{aligned}$$

Persamaan regresi linier berganda adalah $Y = -0.173 + 0.165X_1 + 1.395X_2$

Tabel 4. Varibel X1, X2 dan Y

X ₁	X ₂	Y	X ₁ ²	X ₂ ²	Y ²	X ₁ X ₂	X ₁ Y	X ₂ Y
1.949	0.015	0.209	3.799	0.000	0.044	0.029	0.407	0.003
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
2.010	0.016	0.222	4.042	0.000	0.049	0.032	0.447	0.004
2.069	0.017	0.235	4.280	0.000	0.055	0.035	0.487	0.004
2.069	0.017	0.235	4.280	0.000	0.055	0.035	0.487	0.004
2.515	0.019	0.342	6.323	0.000	0.117	0.048	0.859	0.006
2.515	0.019	0.342	6.323	0.000	0.117	0.048	0.859	0.006
2.515	0.019	0.342	6.323	0.000	0.117	0.048	0.859	0.006
19.308	0.152	2.300	42.095	0.003	0.623	0.330	5.089	0.040

Sumber : Hasil Analisa data

Berdasarkan Tabel 4 berdasarkan tabel analisis variabel X1, X2 dan Y pada kemiringan saluran 1°, 2°, dan 3° dapat dilihat bahwa koefisien yang di dihasilkan adalah positif yang menandakan bahwa hubungan variabel adalah searah.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kecepatan aliran dan kehilangan energi terbesar terjadi pada saluran dengan kemiringan 3°, yaitu pada titik Q3, dengan kecepatan aliran sebesar 2,177 m/det dan kehilangan energi

sebesar 0,261. Sebaliknya, kecepatan aliran dan kehilangan energi terendah terjadi pada saluran dengan kemiringan 1° , yaitu pada titik Q1, dengan kecepatan aliran sebesar 0,597 m/det dan kehilangan energi sebesar 0,028. Analisis menggunakan metode regresi linear berganda menghasilkan persamaan $Y = -0,0133 + 0,016X_1 + 1,395X_2$, di mana Y merupakan nilai kehilangan energi, X_1 adalah kecepatan aliran, dan X_2 adalah tinggi muka air. Berdasarkan persamaan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kehilangan energi dipengaruhi secara positif oleh kecepatan aliran dan tinggi muka air, dengan kontribusi masing-masing sebesar 0,486 dan 0,042 terhadap nilai kehilangan energi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan segenap rasa syukur, peneliti panjatkan puji dan terima kasih kepada Allah SWT atas limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga jurnal penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.

Kepada kedua orang tua peneliti tercinta, yang telah menjadi cahaya dalam setiap langkah kehidupan peneliti. Terima kasih atas cinta tanpa syarat, doa yang tak pernah putus, dan pengorbanan yang tak terhingga. Ketulusan kalian adalah sumber kekuatan peneliti dalam menghadapi setiap tantangan. Maafkan segala kekurangan dan kesalahan yang telah peneliti perbuat. Semoga pencapaian ini dapat menjadi persembahan kecil atas segala yang telah kalian berikan.

Kepada Ibunda Fauzia Latif dan Ayahanda Amrullah Mansida selaku pembimbing, yang telah dengan sabar membimbing dan memberikan arahan selama proses penelitian ini. Terima kasih atas kesabaran, ketelatenan, dan ilmu yang telah Bapak/Ibu berikan. Bimbingan dan dukungan Bapak/Ibu sangat berarti bagi peneliti dalam menyelesaikan penelitian ini.

Terima kasih kepada Koordinat 2019 yang telah memberikan semangat dan dukungan moral selama proses penelitian ini. Kebersamaan dan bantuan kalian sangat berarti bagi peneliti.

Akhir kata, peneliti menyadari bahwa jurnal ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, peneliti mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi perbaikan di masa yang akan datang.

REFERENSI

- Chadwick, A., Morfett, J., & Borthwick, M. (2013). *Hydraulics in Civil and Environmental Engineering*. CRC Press.
- Chanson, H. (2004). *The Hydraulics of Open Channel Flow: An Introduction*. Oxford: Butterworth-Heinemann.
- Chow, V. T. (1959). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.

- French, R. H. (1985). *Open-Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.
- Henderson, F. M. (1966). *Open Channel Flow*. New York: Macmillan.
- Khafifah, A. N., Mustari, W., Kasmawati, & Gaffar, F. (2023). Analisis Hidrolika Sungai Tallo Menggunakan HEC-RAS. *Jurnal Karajata Engineering*, 3(2), 67–75.
- Lee, J., & Kim, S. (2020). *Experimental investigation of free-surface flow in open channels*. Water Science and Engineering.
- Montgomery, D. C. (2012). *Introduction to Linear Regression Analysis* (5th ed.). Hoboken: Wiley.
- Putro, T. S., et al. (2022). *Effect of channel slope and roughness on flow velocity in laboratory flumes*. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.
- Raju, K. S. (1999). *Flow Through Open Channels*. Hyderabad: BS Publications.
- Saleh, S. S., Musa, R., & As'ad, H. (2019). Kajian Karakteristik Aliran pada Bangunan Pelimpah. *Jurnal Teknik Hidro*, 12(2), 101–110.
- Spiegel, M. R. (2004). *Statistika* (Edisi Bahasa Indonesia). Jakarta: Erlangga.
- Sturm, T. W. (2001). *Open Channel Hydraulics*. New York: McGraw-Hill.
- Sturm, T. W. (2021). *Open Channel Hydraulics* (Revised Edition). New York: McGraw-Hill.
- Subramanya, K. (2009). *Flow in Open Channels* (3rd ed.). New Delhi: McGraw-Hill.
- Supranto, J. (2001). *Statistika: Teori dan Aplikasi*. Jakarta: Erlangga.
- Walpole, R. E. (1995). *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuwan*. Bandung: ITB Press.
- Wigati, R., et al. (2021). *Hydraulic behavior of open channel flow under varying bed slopes*. *Civil Engineering Journal*.
- Yen, B. C. (2002). Hydraulic Resistance in Open Channels and Pipes. *Journal of Hydraulic Engineering*, 128(1), 20–39.
- Yuliara, I. M. (2016). *Regresi Linier Berganda: Konsep dan Aplikasi*. Denpasar: Udayana University Press.
- Zhang, Y., Liu, X., & Chen, Q. (2021). *Velocity distribution and energy characteristics in open channel flow*. *Journal of Hydraulic Engineering*.