

SKRIPSI

**ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN SALURAN TERBUKA
TERHADAP KEHILANGAN ENERGI DENGAN MENERAPKAN
MODEL REGRESI LINEAR BERGANDA**



PROGRAM STUDI TEKNIK PENGAIRAN

FAKULAS TEKNIK

UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR

2025

MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan untuk memenuhi syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik (ST) Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Judul Skripsi : ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN SALURAN TERBUKA TERHADAP KEHILANGAN ENERGI DENGAN MENERAPKAN MODEL REGRESI LINEAR BERGANDA

Nama : HAERIL ANWAR

Stambuk : 105 81 1105221

Makassar, 24 November 2025

Telah Diperiksa dan Disetujui
Oleh Dosen Pembimbing:

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Muhammad Syafa'at S Kuba, ST., MT., IPM

Mahmuddin, ST., MT., IPM

Mengetahui,

Ketua Prodi Teknik Pengairan



Ir. M. Agusalin, ST., MT.

NBM : 947 993





MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
FAKULTAS TEKNIK



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ
PENGESAHAN

Skripsi atas nama Haeril Anwar dengan nomor induk Mahasiswa 105811105221 dinyatakan diterima dan disahkan oleh Panitia Ujian Tugas Akhir/Skripsi sesuai dengan Surat Keputusan Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar Nomor : 0014/SK-Y/22202/091004/2025, sebagai salah satu syarat guna memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar pada hari Senin, 24 November 2025.

Panitia Ujian :

1. Pengawas Umum

Makassar,

3 Jumadil Akhir 1447.H
24 November 2025 M

a. Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar

Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, ST., MT., IPU

b. Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Eng. Muhammad Isren Ramli, S.T., M.T., ASEAN, Eng

2. Penguji

a. Ketua : Prof. Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT., PU-SDA

b. Sekretaris : Farida Gaffar, ST., MM

3. Anggota

1. Dr. Andi makbul Syamsuri, ST., MT., IPM

2. Dr. Fitriyah Arief Wangsa, S.T., M.T.

3. Kasmawan, ST., MT

Mengetahui

Pembimbing I

Pembimbing II

Ir. Muhammad Syafa'at S Kuba, ST., MT., IPM

Mahmuddin, ST., MT., IPM

Dekan

Ir. Muhammad Syafa'at S Kuba, ST., MT.
DEKAN BM : 975 288

Gedung Menara Iqra Lantai 3

Jl. Sultan Alauddin No. 259 Telp. (0411) 866 972 Fax (0411) 865 588 Makassar 90221

Web: www.umh.ac.id, e-mail: info@umh.ac.id



**ANALISIS PENGARUH KEMIRINGAN SALURAN TERBUKA
TERHADAP KEHILINGAN ENERGI DENGAN MENERAPKAN MODEL
REGRESI LINEAR BERGANDA
ANALYSIS OF THE EFFECT OF OPEN CHANNEL SLOPE ON ENERGY
LOSS BY APPLYING A MULTIPLE LINEAR REGRESSION MODEL**

Haeril Anwar 1¹, Muhammad Syafa'at S Kuba 2², Mahmuddin 3³.

¹Universitas Muhammadiyah Makassar. Indonesia/ Teknik Pengairan-Fakultas Teknik

Alamatkorespondensi :

email: syafaat_skuba@unismuh.ac.id

²Universitas Muhammadiyah Makassar. Indonesia/ Teknik Pengairan-Fakultas Teknik

Alamatkorespondensi :

email: mahmuddin@unismuh.ac.id

Abstrak

Saluran terbuka merupakan infrastruktur vital dalam sistem irigasi dan drainase, di mana kehilangan energi akibat gesekan dan perubahan elevasi menjadi faktor penting dalam perancangan dan efisiensi sistem. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kemiringan dasar saluran terhadap kehilangan energi dengan menerapkan model regresi linear berganda. Eksperimen dilakukan di Laboratorium Hidrolika Universitas Muhammadiyah Makassar dengan memvariasikan kemiringan saluran sebesar 5°, 6°, dan 7°. Data yang dikumpulkan meliputi debit aliran, tinggi muka air, kecepatan aliran (baik empiris menggunakan rumus Manning maupun hasil pengukuran laboratorium), dan kehilangan energi. Hasil analisis menunjukkan bahwa kehilangan energi tertinggi terjadi pada kemiringan 7° dengan nilai 0.207 m, sedangkan terendah pada kemiringan 5° dengan nilai 0.025 m. Model regresi linear berganda yang dihasilkan untuk data empiris pada kemiringan 5° adalah $Y = -0.096 + 0.147X_1 + 0.368X_2$, di mana X_1 adalah kecepatan aliran dan X_2 adalah tinggi muka air. Koefisien determinasi (R^2) yang mendekati 1 (0.9996) menunjukkan bahwa model ini sangat baik dalam menjelaskan variasi kehilangan energi. Pendekatan statistik ini terbukti efektif untuk memprediksi kehilangan energi berdasarkan variabel hidrolik, sehingga dapat menjadi acuan dalam perancangan saluran terbuka yang lebih efisien

Abstract

Open channels are vital infrastructure in irrigation and drainage systems, where energy loss due to friction and elevation changes is a critical factor in design and system efficiency. This study aims to analyze the effect of channel bed slope on energy loss by applying a multiple linear regression model. Experiments were conducted in the Hydraulics Laboratory of Universitas Muhammadiyah Makassar, varying the channel slope at 5°, 6°, and 7°. Collected data included flow discharge, water surface height, flow velocity (both empirical using Manning's formula and laboratory measurements), and energy loss. The analysis results showed that the highest energy loss occurred at a 7° slope with a value of 0.207 m, while the lowest was at a 5° slope with a value of 0.025 m. The multiple linear regression model generated for empirical data at a 5° slope is $Y = -0.096 + 0.147X_1 + 0.368X_2$, where X_1 is flow velocity and X_2 is water surface height. The coefficient of determination (R^2) close to 1 (0.9996) indicates that this model is very good at explaining the variation in energy loss. This statistical approach has proven effective in predicting energy loss based on hydraulic variables, thus serving as a reference for designing more efficient open channels.

KATA PENGANTAR



Segala Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini dengan judul “Analisis pengaruh kemiringan saluran terbuka terhadap kehilangan energi dengan menerapkan model regresi linear berganda” guna memenuhi sebagian persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik program studi Teknik Sipil Pengairan pada Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.

Penulis menyadari kelemahan serta keterbatasan yang ada sehingga dalam menyelesaikan tugas Akhir ini memperoleh bantuan dari berbagai pihak, dalam kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terimakasih kepada:

1. **Bapak Dr. Ir. H. Abd. Rakhim Nanda, S.T., M.T., IPM.** selaku Rektor Universitas Muhammadiyah Makassar.
2. **Bapak Ir. Muhammad Syafa’at S Kuba, ST., MT.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
3. **Bapak Ir. M. Agusalim, S.T., M.T.** selaku Ketua Prodi Teknik Pengairan serta **Bapak Sumardi S.T., M.T.** selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.

4. **Bapak Ir.Muhammad Syafa'at S Kuba, ST., MT.** selaku Dosen Pembimbing I dan **Bapak Mahmuddin, ST., MT., IPM.** selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan Skripsi ini.
5. Seluruh Bapak dan Ibu Dosen dan Staff Akademik Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar.
6. Terhusus penulis ucapkan terima kasih kepada Kedua orang tua kami tercinta, yang telah mencurahkan seluruh cinta, kasih sayang yang hingga kapanpun penulis takkan bisa membalasnya.

Penulis menyadari bahwa Skripsi ini masih banyak kekurangan baik isi maupun susunannya. Semoga seminar proposal ini dapat bermanfaat tidak hanya bagi penulis juga bagi para pembaca.

“Billahi Fii Sabill Haq Fastabiqul Khaerat”.

Makassar, Agustus 2025

Penulis

DAFTAR ISI

| | |
|---------------------------------------|-------------|
| KATA PENGANTAR..... | i |
| DAFTAR ISI..... | iii |
| DAFTAR TABEL | v |
| DAFTAR GAMBAR..... | vii |
| NOTASI..... | viii |
| BAB I PENDAHULUAN..... | 1 |
| A. Latar Belakang..... | 1 |
| B. Rumusan masalah..... | 2 |
| C. Tujuan penelitian..... | 2 |
| D. Manfaat penelitian..... | 2 |
| E. Batasan masalah | 3 |
| F. Sistematika penulisan..... | 4 |
| BAB I I TINJAUAN PUSTAKA | 5 |
| A. Tinjauan Umum..... | 5 |
| B. Landasan Teori | 7 |
| C. Jurnal Relevan | 10 |
| D. Kecepatan Aliran | 12 |
| E. Kehilangan Energi..... | 18 |
| F. Saluran Terbuka | 24 |

| | | |
|--|---------------------------------------|-----------|
| G. | Metode Regresi Linear Berganda | 32 |
| BAB III METODE PENELITIAN | | 38 |
| A. | Tempat Dan Waktu Penelitian..... | 38 |
| B. | Jenis Penelitian dan Sumber Data..... | 38 |
| C. | Alat Dan Bahan..... | 39 |
| D. | Desain Penelitian Ynag Diteliti | 40 |
| E. | Variabel Penelitian | 41 |
| F. | Metode Pengambilan Data..... | 43 |
| G. | Metode Analisis | 45 |
| H. | Prosedur Penelitian | 46 |
| I. | Bagan Alur Penelitian | 49 |
| BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN | | 50 |
| A. | Data Hasil | 50 |
| B. | AnalisiS Data..... | 53 |
| BAB V PENUTUP..... | | 79 |
| A. | Kesimpulan..... | 79 |
| B. | Saran..... | 79 |
| DAFTAR PUSTAKA..... | | 81 |

DAFTAR TABEL

| | |
|--|----|
| Tabel 1. Data pengamatan tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran 5 | 50 |
| Tabel 2. Data pengamatan tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran 6 | 51 |
| Tabel 3. Data pengamatan tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran 7 | 52 |
| Tabel 4. analisis hidrolis pada kemiringan saluran 5 | 54 |
| Tabel 5. analisis hidrolis pada kemiringan saluran 6 | 55 |
| Tabel 6. analisis hidrolis pada kemiringan saluran 7 | 55 |
| Tabel 7. Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 5 | 56 |
| Tabel 8. Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 6 | 57 |
| Tabel 9. Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 7 | 58 |
| Tabel 10. Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 5 | 59 |
| Tabel 11. Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 6 | 60 |
| Tabel 12. Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 7 | 61 |
| Tabel 13. Variabel X1, X2 dan Y | 65 |
| Tabel 14. Software Statistic | 66 |
| Tabel 15. Variabel X1, X2 dan Y Kehilangan energi empiris kemiringan saluran 5 | 67 |
| Tabel 16. ftware statistic Kehilangan energi empiris kemiringan saluran 5 | 68 |
| Tabel 17. Variabel X1, X2 dan Y Kehilngan energi laboratorium kemiringan saluran 5 | 69 |
| Tabel 18. Software statistic Kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 5 | 70 |
| Tabel 19. Variabel X1, X2 dan Y Kehilngan energi empiris kemiringan saluran 6 | 71 |
| Tabel 20. Software statistic kehilngan energi empiris kemiringan saluran 6 | 72 |
| Tabel 21. ariabel X1, X2 dan Y kehilngan energi laboratorium kemiringan saluran 6 | 73 |
| Tabel 22. Software statistic kehilngan energi laboratorium kemiringan saluran 6 | 74 |
| Tabel 23. Variabel X1, X2 dan Y kehilngan energi empiris kemiringan saluran 7 | 74 |
| Tabel 24. Software statistic kehilngan energi empiris kemiringan saluran 7 | 75 |

Tabel 25. variabel X1, X2 dan Y kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 7 ...76

Tabel 26. Software statistic kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 777



DAFTAR GAMBAR

| | |
|---|----|
| 1. <i>Parameter energi spesifik (Robert.J.K. 2002)</i> | 20 |
| 2. <i>Bentuk potongan melintang saluran terbuka. (Erizal, M, 2013)</i> | 28 |
| 3. <i>Penampang saluran persegi panjang. (Ven Te Chow, 1989)</i> | 29 |
| 4. <i>Sketsa gambar flume</i> | 39 |
| 5. <i>Flowchart</i> | 49 |
| 6. <i>Grafik tinggi muka air kemiringan saluran 5</i> | 51 |
| 7. <i>Grafik tinggi muka air kemiringan saluran 6</i> | 52 |
| 8. <i>Grafik tinggi muka air kemiringan saluran 7</i> | 53 |
| 9. <i>Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 5</i> | 60 |
| 10. <i>Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 6</i> | 61 |
| 11. <i>Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 7</i> | 62 |
| 12. <i>Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 5°, 6° dan 7°</i> | 62 |
| 13. <i>Sketsa Aliran Kehilangan Energi kemiringan saluran 5, 6 dan 7</i> | 62 |

NOTASI

V = kecepatan rata-rata (m/detik)

R = jari-jari hidrolik (m)

S = kemiringan garis energi (%), untuk aliran seragam= $S_f=S_w=S_0$

n = faktor perlawanan/ kekasaran

S_0 = kemiringan dasar saluran (%)

S_w = kemiringan permukaan air (%)

Q = Debit (m^3/s)

A = Luas penampang (m^2)

H = tinggi enegi

z = tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (cm)

α = koefisien energi, pada perhitungan selanjutnya $\alpha = 1$

E = energi spesifik (cm)

h = kedalaman aliran (cm)

g = percepatan gravitasi

S = kemiringan Dasar Saluran (m)

t_1 = elevasi di titik awal/bagian tinggi (m)

t_2 = elevasi di titik akhir/bagian rendah (m)

L = panjang saluran dari titik awal ke titik akhir (m)

P = Keliling basah (m)

R = Jari-jari hidrolik (m)

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Tinggi dan kedalaman air (m)

Y = variable tak bebas (nilai yang akan diprediksi)

a = Konstanta

b_1, b_2, \dots, b_n = Koefisien regresi

X_1, X_2, \dots, X_n = Variable bebas

r = Korelasi determinasi

r^2 = Koefisien korelasi ganda



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saluran yang mengalirkan air pada permukaan bebas disebut saluran terbuka. Saluran dibagi menjadi dua jenis yaitu saluran alami dan saluran buatan. Jalur air alami meliputi semua jalur air yang terjadi secara alami di Bumi, dari parit dan sungai kecil di pegunungan hingga sungai dan muara besar (Harianja & Gunawan, 2007). Karakteristik hidrolik saluran alami umumnya sangat tidak pasti. Dalam beberapa kasus, kita dapat berasumsi bahwa pendekatan tersebut konsisten dengan pengamatan sebenarnya.

Bentuk saluran sangat umum di saluran terbuka terutama pada jaringan irigasi dan drainase. Aliran melalui setiap saluran secara alami akan berubah karena perubahan mendadak pada gradien saluran. Bila gradien hadir, maka akan terjadi perubahan pada ketinggian air, laju aliran, dan energi. Sehubungan dengan permasalahan di atas, kami melakukan studi laboratorium pada satu jenis bangunan persegi panjang dengan tiga variasi kemiringan saluran. Dalam penelitian ini, digunakan alat uji dengan metode regresi linier berganda dengan kemiringan yang berbeda-beda, yang memungkinkan model untuk menentukan laju aliran dan kehilangan energi pada setiap pengujian. saya kemudian

menerbitkan temuan saya dalam sebuah makalah ilmiah. dengan judul
"Analisis Pengaruh Kemiringan Saluran Terbuka Terhadap Kehilangan Energi Dengan Menerapkan Model Regresi Linear Berganda"

B. Rumusan masalah

Berdarkan pada latar belakang, beberapa permasalahan yang dapat di rumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kemiringan dasar saluran terhadap kehilangan energi pada saluran terbuka?
2. Bagaimana Pengaruh persamaan regresi linear berganda terhadap kehilangan energi akibat kemiringan saluran?

C. Tujuan penelitian

Berdasarkan dari rumusan masalah maka tujuan dari penelitian ini adalah yaitu:

1. Menganalisis pengaruh kemiringan dasar saluran terhadap kehilangan energi pada saluran terbuka.
2. Menganalisis Pengaruh kehilangan energi akibat kemiringan dasar saluran dengan menggunakan persamaan regresi linear berganda.

D. Manfaat penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah:

- A. Hasil penelitian ini akan membantu memperkaya pemahaman dengan menggunakan konsep dan praktik yang berbeda setiap kali melakukan penelitian, baik di saluran terbuka maupun tertutup.
- B. Dengan melakukan uji eksperimen pada saluran terbuka pengaruh sudut kemiringan terhadap kehilangan energi dengan menggunakan regresi linier berganda, diharapkan variabel eksperimen dapat ditentukan sesuai dengan jenis dan pola aliran.
- C. Penelitian dilakukan untuk mengamati dan merekam fenomena model, termasuk penelitian literatur, perencanaan model dan simulasi pengumpulan data.

E. Batasan masalah

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Fokus penelitian ini adalah pada pengaruh sudut kemiringan terhadap kehilangan energi menggunakan metode regresi linier berganda di saluran terbuka.
2. Pengujian dilakukan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar dengan menggunakan metode regresi linier berganda untuk model aliran.

3. Kemiringan dasar saluran menggunakan kemiringan sudut 5° , 6° , dan 7°

F. Sistematika penulisan

bab I pendahuluan, Menguraikan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

Bab II Kajian Pustaka, Menjelaskan dasar teori yang terkait dengan permasalahan yang terlibat dalam melakukan penelitian meliputi kemiringan saluran, model aliran dan metode regresi linier berganda

bab III metode penelitian, Bab ini memetakan jalur penelitian dengan menjelaskan waktu dan lokasi penelitian, serta metode pengumpulan data yang digunakan. Lebih lanjut, bab ini juga menyajikan analisis data yang dilakukan di lapangan, sehingga memberikan gambaran yang jelas tentang hasil penelitian.

bab IV hasil penelitian dan pembahasan, Bab ini membahas hasil analisis hidrologi dan hidrolika, meliputi perhitungan curah hujan, debit rencana, serta perencanaan kapasitas saluran drainase yang sesuai.

bab V penutup, Bab ini menyajikan kesimpulan dan saran berdasarkan hasil analisis perhitungan penelitian ini..

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Tinjauan Umum

Penelitian mengenai kehilangan energi dalam aliran saluran terbuka telah menjadi perhatian penting dalam bidang teknik hidrolika, terutama dalam perencanaan saluran irigasi, drainase, dan kanal. Kehilangan energi terjadi sebagai akibat dari gesekan antara aliran dengan permukaan saluran serta adanya perubahan kecepatan dan elevasi aliran. Salah satu faktor utama yang mempengaruhi besar kecilnya kehilangan energi adalah kemiringan dasar saluran.

Saluran terbuka merupakan sistem aliran fluida yang memiliki permukaan bebas dan banyak digunakan dalam sistem irigasi, drainase, serta pengendalian banjir. Salah satu karakteristik penting dalam saluran terbuka adalah kehilangan energi, yaitu penurunan energi total aliran akibat gesekan, turbulensi, perubahan geometri saluran, dan faktor hidraulik lainnya. Kehilangan energi ini berpengaruh langsung terhadap efisiensi aliran dan kinerja saluran dalam menyalurkan debit.

Kemiringan dasar saluran (slope) menjadi salah satu faktor utama yang memengaruhi kehilangan energi. Secara teoritis, peningkatan kemiringan saluran akan meningkatkan kecepatan aliran, sehingga memperbesar gaya gesek antara fluida dan dasar saluran. Hal ini

menyebabkan disipasi energi yang lebih besar sepanjang lintasan aliran. Namun, besarnya kehilangan energi tidak hanya ditentukan oleh kemiringan, tetapi juga dipengaruhi oleh variabel lain seperti debit aliran, kekasaran dasar, kedalaman aliran, dan karakteristik hidraulik saluran.

Untuk menganalisis pengaruh kemiringan saluran terhadap kehilangan energi secara kuantitatif dan simultan bersama variabel hidraulik lainnya, digunakan model regresi linear berganda. Metode ini memungkinkan peneliti untuk mengetahui hubungan matematis antara kehilangan energi sebagai variabel terikat (Y) dengan kemiringan saluran dan faktor-faktor hidraulik sebagai variabel bebas (X_1 , X_2 , dan seterusnya).

Penerapan regresi linear berganda dalam studi saluran terbuka memberikan gambaran yang lebih komprehensif mengenai dominansi faktor-faktor yang memengaruhi kehilangan energi. Dengan metode ini, dapat diketahui apakah kemiringan saluran memiliki pengaruh signifikan secara langsung atau justru lebih kecil dibandingkan faktor hidraulik lainnya. Selain itu, pendekatan ini juga membantu dalam perencanaan dan evaluasi desain saluran agar kehilangan energi dapat dikendalikan secara efisien.

Dengan demikian, kombinasi antara analisis hidraulik dan model regresi linear berganda menjadi pendekatan yang efektif untuk memahami hubungan kompleks antara kemiringan saluran terbuka dan

kehilangan energi, serta mendukung perumusan rekomendasi teknis yang lebih akurat dalam perencanaan sistem saluran.

Berdasarkan tinjauan literatur tersebut, dapat disimpulkan bahwa kemiringan dasar saluran merupakan faktor dominan yang memengaruhi kehilangan energi. Namun, variabel lain seperti kecepatan dan kedalaman aliran juga berperan penting. Oleh karena itu, pendekatan regresi linear berganda dianggap tepat untuk digunakan dalam penelitian ini karena mampu menggabungkan pengaruh beberapa variabel sekaligus terhadap kehilangan energi secara kuantitatif dan sistematis.

B. Landasan Teori

1. Pengaruh Kemiringan Dasar Saluran terhadap Kehilangan Energi pada Saluran Terbuka

2. Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah sistem aliran air di mana permukaan air bersentuhan langsung dengan atmosfer. Aliran dalam saluran terbuka dikendalikan oleh gravitasi dan dipengaruhi oleh bentuk penampang, kekasaran permukaan saluran, dan kemiringan dasar. Saluran jenis ini umum dijumpai dalam sistem irigasi, drainase, dan sungai alami.

3. Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran (slope) dilambangkan dengan S ,

dan merupakan rasio antara selisih tinggi muka air terhadap panjang saluran. Kemiringan ini berperan penting dalam menentukan kecepatan aliran. Kemiringan yang curam akan mempercepat aliran, namun juga meningkatkan gaya gesek antara aliran dan dinding saluran, yang pada akhirnya menyebabkan peningkatan kehilangan energi. $S = \frac{\Delta h}{L}$

4. Kehilangan Energi dalam Aliran Saluran Terbuka

Kehilangan energi pada aliran saluran terbuka adalah pengurangan energi mekanik yang terjadi akibat gaya gesekan dan turbulensi selama air mengalir. Kehilangan ini dapat dihitung melalui berbagai pendekatan, salah satunya dengan rumus Manning:

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

Dengan meningkatnya kemiringan dasar saluran (S), maka kecepatan aliran V akan meningkat, dan seiring dengan itu rugi energi (head loss) juga meningkat. Hubungan ini menjadi dasar analisis kuantitatif dalam penelitian ini.

1) Regresi Linear Berganda dalam Analisis Kehilangan Energi Akibat Kemiringan Dasar

1. Konsep Regresi Linear Berganda

Regresi linear berganda adalah metode statistik untuk menganalisis hubungan antara satu variabel dependen dengan dua

atau lebih variabel independen. Dalam penelitian ini, variabel dependen adalah kehilangan energi, sementara variabel independennya meliputi kemiringan dasar (S), kecepatan aliran (V), dan kedalaman aliran (y).

Model umum regresi linear berganda:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \varepsilon$$

Keterangan:

Y = kehilangan energi (head loss)

X1 = kemiringan saluran

X2 = kecepatan aliran

X3 = kedalaman air

β_0 = konstanta

$\beta_1, \beta_2, \beta_3$: koefisien regresi

ε : error atau sisa

2. Fungsi Regresi dalam Penelitian Hidrolika

Dalam analisis sistem hidrolika, regresi digunakan untuk membangun model empiris yang menggambarkan hubungan antar variabel. Model ini tidak hanya berguna untuk prediksi, tetapi juga untuk mengetahui seberapa besar pengaruh masing-masing variabel terhadap kehilangan energi. Dengan regresi linear berganda, dapat diketahui apakah kemiringan dasar memiliki pengaruh signifikan, baik secara langsung maupun dalam kombinasi dengan variabel

lainnya.

3. Uji Statistik dalam Regresi

Untuk mengevaluasi model regresi, digunakan berbagai uji statistik, antara lain:

1. Nilai koefisien determinasi R^2 , untuk mengukur seberapa besar variabel independen menjelaskan variabel dependen.
2. Uji t dan uji F, untuk menguji signifikansi pengaruh masing-masing variabel dan model secara keseluruhan.
3. Uji multikolinearitas, untuk memastikan tidak ada korelasi tinggi antar variabel independen.

C. Jurnal Relevan

Penelitian mengenai kehilangan energi pada saluran terbuka telah banyak dilakukan dengan berbagai pendekatan. Ahmad et al. (2020) meneliti pengaruh kemiringan saluran terhadap kehilangan energi dan menemukan bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran, maka kehilangan energi yang terjadi juga semakin besar. Temuan ini sejalan dengan hasil eksperimen laboratorium yang menunjukkan adanya peningkatan gesekan dan turbulensi pada aliran dengan kemiringan yang curam.

Putra dan Sari (2021) melakukan analisis kehilangan energi menggunakan metode empiris dan menemukan bahwa kedalaman aliran

dan kecepatan merupakan dua variabel yang sangat berpengaruh terhadap nilai rugi energi. Hal ini diperkuat oleh Wijaya (2019), yang menyatakan bahwa kemiringan dasar memengaruhi debit dan energi dalam saluran terbuka, di mana peningkatan kemiringan cenderung meningkatkan kehilangan energi akibat laju aliran yang lebih besar.

Nuraini et al. (2022) mengembangkan model regresi linear berganda untuk memprediksi kehilangan energi berdasarkan parameter-parameter hidrolis seperti kemiringan, kecepatan, dan kedalaman. Hasilnya menunjukkan bahwa model tersebut mampu menjelaskan hingga 85% variasi kehilangan energi, yang membuktikan efektivitas pendekatan regresi dalam studi hidrolis.

Studi lain oleh Subekti dan Lestari (2020) juga membuktikan bahwa metode regresi linear dapat digunakan untuk memodelkan perilaku aliran dalam saluran, khususnya dalam mengidentifikasi faktor-faktor dominan penyebab kehilangan energi. Yuliana (2021) menggunakan pendekatan teori Manning dan menunjukkan bahwa terdapat hubungan linier yang kuat antara kemiringan dasar saluran dan kecepatan aliran, yang kemudian berdampak pada besarnya kehilangan energi.

Handoko (2023) menyusun model matematis kehilangan energi berdasarkan variabel-variabel hidrolis seperti kecepatan, kedalaman, dan kemiringan. Model tersebut berhasil memprediksi kehilangan energi

dengan tingkat akurasi yang tinggi setelah divalidasi dengan data eksperimen.

Dari berbagai penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa kemiringan dasar saluran terbuka memiliki pengaruh yang signifikan terhadap kehilangan energi. Selain itu, pendekatan regresi linear berganda terbukti efektif dalam memodelkan dan menganalisis hubungan antara variabel-variabel hidrolis terhadap kehilangan energi. Hal ini menjadi dasar yang kuat bagi penelitian ini untuk menerapkan model regresi linear berganda dalam menganalisis pengaruh kemiringan saluran terhadap kehilangan energi pada saluran terbuka.

D. Kecepatan Aliran

Distribusi kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat berbeda dari titik ke titik semua saluran terbuka ke titik lain (tidak seragam) Ini dapat dijelaskan pada menggunakan konsep ketebalan cairan dan kekasaran selokan Hal ini menyebabkan perbedaan disebabkan oleh tegangan geser dinding saluran dan tanah Di Sungai, kecepatan maksimum di mana saluran terbuka biasanya terjadi pada kedalaman hingga 0,05-0,25 kali lipat di bawah permukaan bebas(Prismayuda et al., 2020).

Aliran saluran terbuka umumnya memiliki laju yang sangat berbeda-beda antara satu titik dengan titik lainnya. Kecepatan aliran

sungai memiliki tiga komponen arah, yaitu vertikal, horizontal, dan longitudinal. Namun, karena komponen vertikal dan horizontal biasanya relatif kecil, maka hanya kecepatan aliran ke arah aliran yang perlu dihitung (Rombebunga, 2022).

Aliran saluran terbuka adalah jenis aliran yang memiliki permukaan bebas, yaitu batas antara udara dan air yang memiliki kepadatan berbeda. Perbedaan kepadatan yang signifikan antara udara dan air memungkinkan permukaan bebas ini terbentuk (Kimi, 2021). Persamaan dasar sungai di saluran terbuka adalah penyederhanaan persamaan Reynold dan juga dapat dikembangkan dari undang-undang konservatif, yaitu massa konservatif dan metode ayunan konservatif. Asumsi untuk persamaan ini adalah (Kodoatie, 2005):

1. Tidak tunak / unsteady
2. Satu dimensi (percepatan vertikal dapat diabaikan)
3. Saluran terbuka
4. Tidak terpampatkan (ρ konstan)
5. Saluran prisma dan persegi panjang
6. Kemiringan dasar saluran sangat kecil
7. Saluran lurus
8. Tidak ada aliran lateral.

Dalam perhitungan sungai, sering kali diasumsikan bahwa aliran sungai seragam (Chow, 1988). Namun, pada kenyataannya, aliran

sungai dan saluran alami jarang sekali seragam. Oleh karena itu, pendekatan yang umum digunakan adalah mencari solusi yang relatif sederhana dan memadai untuk menyelesaikan berbagai masalah teknis.

Aliran seragam (uniform flow) dianggap memiliki ciri-ciri pokok:

1. Kedalaman, luas basah, kecepatan aliran, dan laju aliran setiap penampang saluran air lurus adalah konstan.
2. Garis energi, permukaan air, dan dasar saluran sejajar satu sama lain Kemiringannya sama, atau $S_f = S_w = S_0 = S$.

Dalam praktiknya, kecepatan aliran sungai dapat dianggap konstan untuk tujuan tertentu. Artinya, kecepatan rata-rata aliran sungai relatif stabil, dan distribusi kecepatan pada penampang saluran tidak berubah secara signifikan pada saluran lurus. Untuk menghitung tekanan hidrolik, laju aliran turbulensi rata-rata sering dinyatakan dalam bentuk persamaan empiris untuk aliran seragam.

Beberapa rumus praktis yang umum digunakan untuk menghitung aliran seragam antara lain Rumus Chezy, Rumus Bazin, Rumus Powell, dan Rumus Kecepatan Manning.

$$V = \frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2} \dots \dots \dots (1)$$

dimana:

V = kecepatan rata-rata (m/detik)

R = jari-jari hidrolis (m)

S = kemiringan garis energi (%), untuk aliran

seragam $S_f = S_w = S_0$

n = faktor perlawanan/ kekasaran

S_0 = kemiringan dasar saluran (%)

S_w = kemiringan permukaan air (%)

Koefisien kekasaran Manning (n) dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. Kekasaran permukaan saluran
2. Adanya vegetasi atau tetumbuhan
3. Ketidakrataan atau irregularitas saluran
4. Trase saluran
5. Pengendapan dan penggerusan
6. Hambatan-hambatan yang ada
7. Ukuran dan bentuk saluran
8. Taraf air dan debit aliran.

Menentukan faktor-faktor kekasaran atau resistensi aliran sangat sulit karena tidak ada metode yang pasti untuk memilih nilai yang tepat. Saat ini, pemilihan nilai koefisien kekasaran (n) masih bersifat perkiraan dan tidak dapat dihitung secara akurat. Oleh karena itu,

diperlukan kemampuan untuk menentukan nilai n yang masuk akal dan relevan dengan kondisi saluran:

1. Mengenal faktor-faktor yang mempengaruhi nilai n ;
2. Mencocokkan tabel dari nilai-nilai n untuk berbagai tipe saluran;
3. Mempelajari contoh saluran yang telah diketahui nilai koefisien kekasarannya
4. Menghitung nilai n secara analitis dengan menggunakan distribusi kecepatan teoritis dan data pengukuran kecepatan serta kekasaran.

Tabel 1 koefisien kekasaran manning

| Bahan | Koefisien Manning (n) |
|---|-----------------------|
| Besi tuang di lapis | 0.014 |
| Kaca | 0.010 |
| Saluran Beton | 0.013 |
| Bata dilapis mortar | 0.015 |
| Pasangan batu disemen | 0.025 |
| Saluran tanah bersih | 0.022 |
| Saluran tanah | 0.030 |
| Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput | 0.040 |
| Saluran pada galian batu padas | 0.040 |

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

Studi dengan menganalisis efek tren saluran atau mendasar pada kecepatan sungai dan aliran pada variasi ambang batas yang luas mengarah pada kesimpulan bahwa dasar kanal yang lebih besar atau kecuraman air meningkatkan kecepatan aliran air Masalah ini muncul dari pengukuran kedalaman air hilir

Debit aliran adalah volume air yang mengalir melalui penampang sungai atau saluran per satuan waktu, yang mempengaruhi nilai energi spesifik. Nilai debit dapat diperoleh menggunakan data tabel

$$Q = A \times V = \dots\dots\dots (2)$$

Keterangan :

Q = Debit (m^3 /s)

A = Luas penampang (m^2)

V = Kecepatan aliran (m/s)

Saluran terbuka memiliki parameter berikut yang menghitung dimensi aliran air yang mengalir dan dimensi saluran air transversal persegi panjang: pembentukan jenis saluran dibuat untuk mempengaruhi penghambatan aliran air dengan termel Sungai dibagi menjadi dua jenis Dengan kata lain, itu dipaksakan dan kebebasan Aliran vertebral dipengaruhi oleh parameter aliran air Aliran ke energi mekanik dapat digunakan dalam turbin vertebral.

Kecepatan sungai yang tinggi dikenal untuk mengukur ketinggian kadar cairan tulang belakang dan diameter atmosfer Diameter dan diameter level air ditentukan, Semakin besar kecepatan aliran, maka energi mekanis yang dihasilkan dari konversi aliran tidak akan meningkat secara proporsional dengan pengukuran diameter sungai dan

permukaan air Dalam konteks ini, energi mekanik yang dihasilkan disesuaikan dengan turbin yang digunakan Rotasi poros vertebral dipengaruhi oleh permukaan aliran air ke sudut turbin.

E. Kehilangan Energi

Kehilangan energi dalam sistem aliran fluida terjadi karena adanya hambatan atau gesekan yang menyebabkan penurunan energi total. Faktor-faktor yang mempengaruhi kehilangan energi antara lain kemiringan saluran, lereng, dan kekasaran permukaan. Selain itu, perubahan pada saluran, seperti penyempitan, juga dapat mempengaruhi kehilangan energi dengan mengubah kecepatan aliran dan pola pelepasan fluida (Mutiah et al., 2023).

Energi spesifik dalam aliran saluran terbuka adalah jumlah energi yang diukur dari dasar saluran. Namun, aliran air dalam saluran terbuka dapat menjadi tidak stabil karena berbagai faktor, salah satunya adalah perubahan bentuk saluran seperti penyempitan. Pemahaman tentang energi spesifik dapat digunakan untuk menganalisis dan mendesain saluran dengan penyempitan atau perubahan sudut tertentu.

Menurut Akhir et al. (2017), kehilangan energi (ΔE) dalam saluran terbuka adalah perbedaan antara energi sebelum dan sesudah penyempitan. Kehilangan energi ini dipengaruhi oleh faktor-faktor

seperti dimensi saluran, gradien, dan kekasaran permukaan, yang menyebabkan perubahan energi pada aliran air.

Tinggi muka air merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya energi dan nilai energi spesifik. Selain itu, tinggi muka air juga dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kemiringan dasar saluran, lebar saluran, dan debit air. Berdasarkan hukum kontinuitas, jika terdapat penyempitan pada saluran, maka tinggi muka air akan meningkat, yang pada akhirnya dapat meningkatkan nilai energi spesifik (Mutiah et al., 2023).

Energi spesifik diukur dari dasar saluran dan dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk energi potensial dan kinetik. Faktor-faktor seperti debit air, lebar saluran, dan kemiringan saluran mempengaruhi laju aliran. Perubahan bentuk saluran dapat meningkatkan kecepatan aliran dan nilai energi spesifik, yang dapat dihitung menggunakan rumus yang telah diformulasikan (Robert J Kodoatie, 2002).

$$E = \frac{v^2}{2g} + h \dots\dots\dots (3)$$

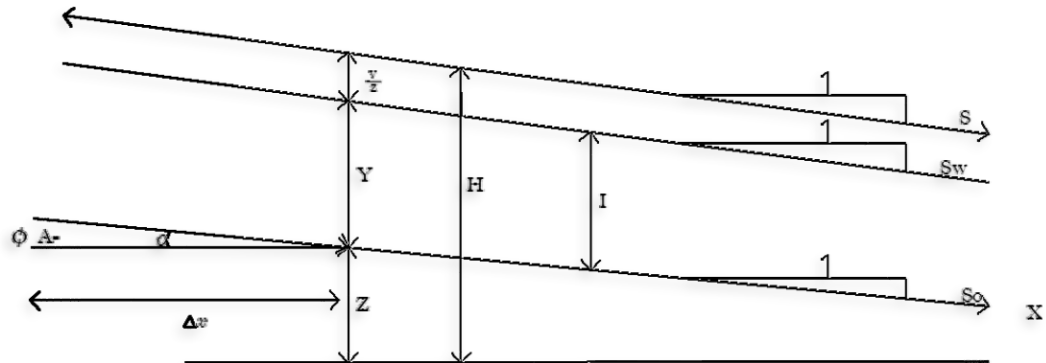
Keterangan :

E = Energi spesifik

V = kecepatan aliran

g = percepatan gravitasi

ah = Tinggi muka air



Gambar 1. Parameter energi spesifik (Robert.J.K. 2002)

Dasar saluran dianggap memiliki kemiringan yang rendah atau hampir datar. Dalam perhitungan energi spesifik, digunakan variabel h untuk kedalaman aliran dan α sebagai faktor koreksi energi. Energi spesifik pada suatu penampang dihitung berdasarkan energi total pada penampang tersebut, dengan menggunakan dasar saluran sebagai titik referensi (Harianja & Gunawan, 2007). Persamaan energi umum adalah :

$$H = z + h \cos \alpha + \frac{Q^2}{2g} \dots \dots \dots (4)$$

Sehingga persamaan energi untuk saluran datar ($\theta = 0$) adalah :

$$E = \frac{V^2}{2g} + h \dots \dots \dots (5)$$

Behubung $Q = V \times A$, maka rumus energi spesifik menjadi :

$$E = \frac{Q^2}{2g} + h \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

H = tinggi energi

z = tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (cm)

α = koefisien energi, pada perhitungan selanjutnya $\alpha = 1$

E = energi spesifik (cm)

h = kedalaman aliran (cm)

v = kecepatan aliran rata-rata (cm/detik)

A = luas penampang (cm²)

g = percepatan gravitasi

Q = debit (cm³/det)

A. Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran mempengaruhi kecepatan aliran karena adanya pengaruh gravitasi, yang dapat meningkatkan atau menurunkan kecepatan. Kecepatan aliran juga menunjukkan besar kecilnya energi yang dimiliki oleh aliran. Kehilangan energi dapat menyebabkan terjadinya proses transportasi sedimen.

Untuk mencari kemiringan dasar saluran dengan menggunakan persamaan :

- a. Stream capacity : jumlah beban maksimum yang mampu di angkut oleh aliran sungai.

b. Stream competence : ukuran maksimum beban yang mampu di angkut oleh aliran sungai. Sungai mengangkut material hasil erosinya secara umum melalui

$$S = \frac{t^1 + t_2}{L} \times 100\% \dots\dots\dots (7)$$

Dimana :

S = kemiringan Dasar Saluran (m)

t₁ = elevasi di titik awal/bagian tinggi (m)

t₂ = elevasi di titik akhir/bagian rendah (m)

L = panjang saluran dari titik awal ke titik akhir (m)

sungai adalah aliran air yang mengalir secara alami di permukaan bumi, biasanya berasal dari sumber seperti mata air, danau, atau lelehan es, lalu mengalir menuju tempat yang lebih rendah seperti laut, danau, atau sungai lain(Wigati & Prihatini, 2012). Air sungai dapat dimanfaatkan secara langsung atau dengan menggunakan bangunan seperti bendung dan bendungan, sehingga memungkinkan pengelolaan air sungai yang lebih efektif.

Penggunaan air sungai saja tidak cukup untuk memenuhi kebutuhan air yang terus meningkat akibat pertumbuhan populasi dan aktivitas manusia. Oleh karena itu, pembangunan infrastruktur tertentu

diperlukan untuk mengelola sumber daya air secara lebih efektif. Sistem teknik hidrolik memungkinkan pengelolaan air sungai yang lebih baik dan terstruktur.

Untuk menganalisis saluran sebagai pemasok bahan, perlu dipenuhi kapasitas transportasi spesifik yang terkait dengan karakteristik saluran. Laju aliran dalam saluran drainase sangat bervariasi, sehingga penting untuk memantau beban sedimen selama banjir. Debit aliran dalam saluran dapat diukur dengan beberapa metode, seperti ambang tajam, pintu sorong, dan lain-lain. Kapasitas transportasi dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dapat menyebabkan ketidakstabilan aliran air, termasuk kemiringan saluran dan drainase.

Hidrolika adalah cabang ilmu yang mempelajari Teknik yang perilaku fluida baik dalam keadaan diam maupun bergerak (Suhardono et al., 2021). Saluran dapat dibedakan menjadi saluran terbuka dan saluran tertutup. Kecepatan aliran pada saluran terbuka dipengaruhi oleh kekasaran lereng dan ukuran saluran, serta ditentukan oleh koefisien kekasaran yang bergantung pada jenis bahan dasar saluran.

Menentukan koefisien kekasaran sangat penting untuk menentukan distribusi aliran yang direncanakan dari badan air. Ada juga perbedaan dalam nilai koefisien C , terutama di bawah pengaruh kekasaran fundamental saluran dan perbedaan antara berbagai saluran, .

Aliran air jernih di saluran atau sungai dengan dasar kerikil akan mengangkut sedimen hingga mencapai kondisi stabil. Sedimen yang terangkut akan terhalang oleh permukaan kasar, sehingga sebagian sedimen akan tertahan di antara rongga butir. Butiran besar membentuk lapisan pelindung yang melindungi sedimen halus di bawahnya.

Armour layer memiliki struktur dengan ukuran partikel seragam, tetapi dengan perbedaan ukuran butiran antar komponen. Pembentukannya dipengaruhi oleh tegangan geser dasar yang tercermin dalam distribusi ukuran butir. Lapisan armour memiliki ukuran butir lebih besar daripada substrat di bawahnya, sehingga memperlambat pergerakan sedimen dan memungkinkan pertukaran butir antar fraksi, terutama saat aliran rendah.

Pembentukan armour layer disebabkan oleh perbedaan tegangan geser antara fraksi pasir dan kerikil, yang mempengaruhi hubungan antara beban tempat tidur, armour layer, dan substrat. Ketika transportasi sedimen terjadi, butiran pasir dapat mengisi rongga kerikil. Penelitian eksperimental dengan debit besar menunjukkan bahwa armour layer terbentuk dari campuran kerikil dan pasir yang terstruktur.

F. Saluran Terbuka

Dalam hidrologi, saluran dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup. Perbedaan utama antara

keduanya adalah adanya permukaan bebas pada saluran terbuka, sedangkan saluran tertutup tidak memiliki permukaan bebas karena seluruh penampang terisi cairan. Saluran terbuka umumnya memiliki permukaan yang terhubung langsung dengan atmosfer, sehingga sifat cairan di dalamnya lebih kompleks. Namun, saluran terbuka lebih umum digunakan dalam kehidupan sehari-hari, baik dalam bentuk saluran air rumah maupun saluran sungai (Harianja & Gunawan, 2007).

Mekanisme aliran saluran pembuangan terbuka lebih sulit daripada mekanika saluran pembuangan tertutup. Dalam aliran selokan tertutup, tidak ada permukaan bebas. Oleh karena itu, tekanan atmosfer tidak memiliki efek langsung. Efeknya hanya tekanan hidrolik yang lebih besar dari tekanan atmosfer. Buka saluran menggunakan model prototipe sebagai berbagai penyempitan sudut dan buka perangkat pengukuran Thompson V-Notch-Debit sebagai dukungan untuk penelitian ini.

Saluran terbuka adalah saluran di mana air mengalir dengan muka air bebas (free surface), (Harseno & Jonas, 2007). Inspeksi perilaku aliran dikenal sebagai mekanika fluida (mekanika fluida). Ini mempengaruhi sifat-sifat cairan dan efeknya pada sungai, dan pola gaya yang terjadi antara cairan dan penghalang (dinding). Secara umum dikenal karena tindakannya terhadap sungai untuk memenuhi kebutuhan manusia, menyebabkan terjadinya perubahan alur aliran dalam arah horizontal maupun vertikal.

menggambarkan saluran terbuka, yang merupakan saluran yang mengalirkan air pada permukaan bebas Saluran terbuka cukup besar untuk berkisar dari arus di atas lantai di mana ada kedalaman konstan di saluran prisma ke arus di atas sungai ke sungai, dan dapat terjadi dengan berbagai cara Masalah yang terkait dengan sungai saluran terbuka ditemukan di banyak aliran sungai, saluran irigasi, aliran drainase, dan saluran lain dari kondisi formal dan geometris Kami mengklasifikasikan saluran terbuka ke dalam dua kategori Yaitu, sebagai saluran buatan (buatan) dan saluran alami (tentu saja), tergantung pada apakah persimpangan orang dihasilkan, atau sebaliknya

Sungai dan muara adalah contoh saluran alami, sedangkan saluran pembuangan air dan irigasi adalah contoh saluran buatan(Harseno & Jonas, 2007). Saluran terbuka dapat dibedakan menjadi dua kategori, yaitu saluran alami dan saluran buatan. Saluran alami adalah saluran yang terbentuk secara alami, seperti sungai kecil dan besar, sedangkan saluran buatan adalah saluran yang dirancang dan dibangun oleh manusia untuk memenuhi kebutuhan tertentu dengan menerapkan prinsip hidrolika.

Saluran alamiah (natural channel) Saluran yang terbentuk secara alami tanpa disentuh oleh manusia. Contohnya : Sungai dan muara.

Saluran buatan (artificial channel) Yaitu saluran yang di buat oleh manusia atau ada campur tangan. Contoh : saluran drainase tepi jalan, dan saluran irigasi untuk mencegah terjadinya banjir.

Aliran pada saluran terbuka berbeda dengan aliran air pada saluran tertutup, pada saluran terbuka lebih rentan terhadap pengaruh lingkungan, seperti cuaca dan sedimentasi.

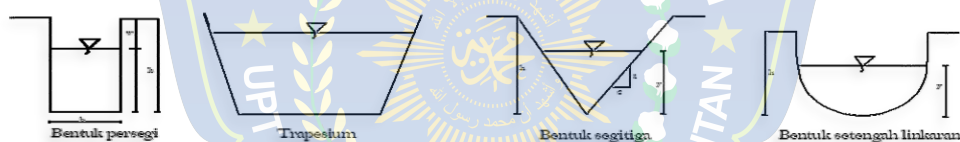
A. Geometri Saluran

Penampang saluran alam umumnya memiliki bentuk yang tidak beraturan, mulai dari parabola hingga trapesium. Penampang saluran didefinisikan sebagai potongan yang tegak lurus terhadap aliran, sedangkan penampang vertical melalui titik terendah dari saluran (Harianja & Gunawan, 2007). Pemeriksaan penampang saluran bertujuan untuk menentukan bentuk saluran yang sesuai.

Beberapa bentuk-bentuk saluran terbuka pada muka tanah umumnya ada beberapa macam antara lain:

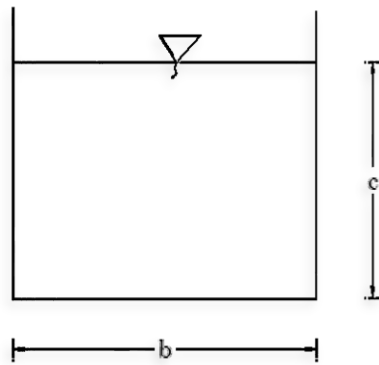
- a. Bentuk saluran persegi Fungsi dari bentuk saluran tersebut adalah dapat digunakan dalam sistem drainase perkotaan dan industri karena sangat mudah dibangun serta memiliki kapasitas aliran yang besar.

- b. Bentuk saluran trapesium Yaitu berfungsi untuk digunakan dalam sistem drainase dan irigasi karna memiliki volume yang besar serta kestabilan yang sangat baik.
- c. Saluran segitiga dirancang untuk menampung dan menyalurkan air ke drainase kecil dengan kecepatan tinggi.
- d. Saluran setengah lingkaran berfungsi untuk menyalurkan air hujan dengan debit kecil
- e. bentuk saluran tidak beraturan dapat ditemukan dalam system alami seperti Sungai dan memiliki desain yang unik .



Gambar 2. Bentuk-bentuk potongan melintang saluran terbuka. (Erizal, M, 2013)

Penampang saluran (channel setion) merupakan bagian berpotongan tegak lurus terhadap arah aliran (Chow 1989) Bagian penampang ini adalah cek untuk menentukan geometri saluran Bagian lintas saluran alami sangat tidak teratur dan biasanya berkisar dari bentuk seperti cangkang satelit hingga perangkat Antara bagian lintas saluran, mereka biasanya didasarkan pada bentuk geometris umum Seperti dalam penelitian ini, penerimaan penampang saluran persegi panjang pada Gambar 3 di bawah ini dapat dilihat.



Gambar 3. Penampang saluran persegi panjang. (Ven Te Chow, 1989).

$$A = B \times h \dots\dots\dots (8)$$

$$P = B + 2h \dots\dots\dots (9)$$

$$R = \frac{A}{P} \dots\dots\dots (10)$$

Keterangan :

A = Luas penampang basah (m^2)

P = Keliling basah (m)

R = Jari-jari hidrolik (m)

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Tinggi dan kedalaman air (m)

1. Klasifikasi Aliran

a. Jenis Aliran

Dalam buku teks hidrolik oleh (Erizal, M Agr, 2013), aliran permukaan bebas dapat dibagi menjadi berbagai jenis tergantung pada kriteria yang digunakan Berdasarkan perubahan kedalaman atau kecepatan setelah fungsi waktu, aliran dibagi menjadi arus permanen (stabil) dan dapat dibagi menjadi aliran yang seragam (bahkan) dan non-permanen (tidak stabil) karena fungsi spasial.

1) Aliran Permanen dan Tidak Permanen

Sungai dapat dibedakan menjadi dua jenis, yaitu aliran permanen yang memiliki kecepatan konstan, dan aliran tidak permanen yang memiliki kecepatan yang berubah-ubah(Herdian et al., 2024).

Dalam beberapa kasus, analisis dapat disederhanakan dengan mengubah arus tidak permanen menjadi arus permanen dengan menggunakan koordinat referensi yang bergerak. Hal ini memungkinkan visualisasi yang lebih sederhana dan penulisan persamaan yang lebih mudah. Namun, penyederhanaan ini hanya berlaku jika bentuk gelombang tidak berubah selama perambatannya.

Pengamat yang bergerak bersama gelombang kejut dapat menganggap aliran sebagai permanen, karena gelombang kejut tampak stabil. Namun, jika bentuk gelombang berubah selama perambatannya, seperti gelombang banjir di sungai alami, maka tidak mungkin untuk menganggapnya sebagai aliran permanen.

2) Aliran Seragam dan Tidak Seragam

Aliran sungai dapat dikategorikan sebagai aliran seragam jika kecepatannya tetap sepanjang saluran. Jika kecepatannya berubah, maka disebut aliran tidak seragam. Aliran tidak seragam dapat dibedakan menjadi aliran yang berubah secara bertahap).

Aliran seragam dianggap memiliki ciri-ciri pokok sebagai berikut :

- a) Kecepatan aliran konstan: kecepatan aliran tetap sama sepanjang saluran.
- b) Kedalaman konstan: kedalaman air tetap konstan sepanjang saluran.

Arus seragam dianggap arus permanen (sungai konstan) Jika kedalaman sungai tidak berubah atau tidak dianggap konstan selama interval waktu tertentu.

Sungai Saluran Terbuka harus permanen Ketika air mengalir melalui saluran terbuka, air mengalami ketahanan terhadap air hilir Rintangan ini biasanya bertentangan dengan komponen gravitasi yang bekerja di air ke arah gerakan Ketika resistensi ini dikompensasi oleh gravitasi, ada aliran yang rata Jumlah resistensi ketika faktor -faktor lain di saluran dianggap invarian tergantung pada kecepatan sungai Saat air perlahan memasuki saluran.

Kecepatan rata-rata aliran seragam dalam saluran terbuka dapat dihitung menggunakan formula aliran seragam. Aliran seragam tercapai ketika kecepatan dan resistensi seimbang. Zona transisi diperlukan untuk membentuk aliran seragam, di mana kecepatan dan variasi terjadi. Jika saluran terlalu pendek, aliran tidak dapat menjadi seragam.

Di saluran hilir, sungai tidak lagi berubah, karena resistensi dapat terjadi kurang dari gravitasi. Untuk menjelaskan hal ini, ditunjukkan bahwa saluran panjang dengan tiga gradien berbeda: subkritis, kritis, dan berlebihan.

Di zona transisi, permukaan air sungai terlihat bergelombang. Pada lereng kritis, permukaan air tidak stabil dan gelombang dapat terjadi. Namun, pada kemiringan tertentu, aliran dapat menjadi stabil dan seragam di bagian hilir. Kedalaman sungai yang seragam disebut sebagai kedalaman normal..

G. Metode Regresi Linear Berganda

Model regresi linier berganda adalah persamaan yang menunjukkan hubungan antara dua atau lebih variabel independen (X_1 , X_2 , X_n) dan variabel non-bebas (Y). Tujuan analisis regresi linier berganda adalah untuk memprediksi nilai variabel non-bebas (Y) jika nilai variabel/prediktor bebas (X_1 , X_2 , X_n) diketahui. Selain itu, kita perlu menemukan orientasi hubungan antara variabel yang tidak bebas

dan bebas(Kurniawan, 2008). Persamaan regresi linier berganda dapat ditentukan dengan dua metode, yaitu metode matematika dan metode pengolahan data menggunakan software statistik.

1. Persamaan regresi linier berganda secara matematik :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n \dots \dots \dots (11)$$

Keterangan :

Y = variable tak bebas (nilai yang akan diprediksi)

a = Konstanta

b_1, b_2, \dots, b_n = Koefisien regresi

X_1, X_2, \dots, X_n = Variable bebas

Bila terdapat 2 variable bebas, yaitu X_1 dan X_2 , maka bentuk persamaan regresinya adalah :

$$Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 \dots \dots \dots (12)$$

Keadaan-keadaan bila nilai koefisien-koefisien regresi b_1 dan b_2 adalah :

- a. Bernilai 0, maka tidak ada pengaruh x_1 dan x_2 terhadap y
- b. Bernilai negatif, maka terjadi hubungan yang berbalik arah antara variabel bebas x_1 dan x_2 dengan variabel tak bebas

c. Bernilai positif, maka terjadi hubungan yang searah antara variabel bebas X_1 dan X_2 dengan variabel tak bebas Y

Konstanta a dan koefisien-koefisien regresi b_1 dan b_2 dapat dihitung menggunakan rumus :

$$a = \frac{(\sum Y) - (b_1 \sum x_1) - (b_2 \sum x_2)}{n} \dots\dots\dots (13)$$

$$b_1 = \frac{[(\sum x_2^2 \sum x_1 y) - (\sum x_2 y \sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2 \sum x_2^2) - (\sum x_1 \sum x_2)^2]} \dots\dots\dots (14)$$

$$b_2 = \frac{[(\sum x_1^2 \sum x_1 y) - (\sum x_1 y \sum x_1 x_2)]}{[(\sum x_1^2 \sum x_2^2) - (\sum x_1 \sum x_2)^2]} \dots\dots\dots (15)$$

Dimana :

$$\sum x_1^2 = \sum x_1^2 - \frac{(\sum x_1)^2}{n} \dots\dots\dots (16)$$

$$\sum x_2^2 = \sum x_2^2 - \frac{(\sum x_2)^2}{n} \dots\dots\dots (17)$$

$$\sum y^2 = \sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n} \dots\dots\dots (18)$$

$$\sum x_1 x_2 = \sum x_1 x_2 - \frac{(\sum x_1 x_2)}{n} \dots\dots\dots (19)$$

$$\sum x_1 y = \sum x_1 y - \frac{(\sum x_1)(\sum y)}{n} \dots\dots\dots (20)$$

$$\sum x_2 y = \sum x_2 y - \frac{(\sum x_2)(\sum y)}{n} \dots\dots\dots (21)$$

Metode alternatif, yaitu metode matriks (metode kuadrat terkecil) a , b_1 dan b_2 dapat ditentukan dengan menyusun suatu persamaan :

$$an + b_1 \sum x_1 - b_2 \sum x_2 = \sum y \dots\dots\dots (22)$$

$$a \sum x_1 + b_1 \sum x_1^2 + b_2 \sum x_1 x_2 = \sum x_1 y \dots\dots\dots (23)$$

$$a \sum x_1 + b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2 = \sum x_2 y \dots\dots\dots (24)$$

a. Koefisien Determinasi (r^2)

Koefisien determinasi digunakan untuk mengetahui proporsi pengaruh variabel independen X_1 dan X_2 terhadap variabel dependen Y . Besarnya r^2 dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$r^2 = \frac{b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2^2}{\sum y} \dots\dots\dots (25)$$

Jika $r^2 = 0$, maka variasi variable-variabel bebas X_1 dan X_2 tidak sedikitpun dapat menjelaskan variasi variable tak bebas Y dalam model persamaan regresi

Jika $r^2 = 1$, maka variasi variable-variabel bebas X_1 dan X_2 dapat menjelaskandengan sempurna variabel tak bebas Y dalam model persamaan regresi

5. Koefisien Korelasi Ganda (r)

Koefisien korelasi ganda digunakan untuk mengetahui seberapa besar korelasi yang terjadi antara variable-variabel X_1, X_2, \dots, X_n secara serentak/ simultan dengan variabel Y .

Besarnya nilai koefisien korelasi ganda dapat dihitung dengan rumus :

$$r^2 = \frac{b_1 \sum x_1 x_2 + b_2 \sum x_2}{\sum y} \quad (26)$$

Nilai r : $-1 \leq r \leq +1$. Semakin mendekati nilai $+1$ atau -1 , maka semakin kuat hubungan yang terjadi dan sebaliknya jika r mendekati 0 maka semakin lemah hubungan yang terjadi

6. Korelasi Parsial

Korelasi parsial adalah korelasi yang menggambarkan korelasi antara satu variabel dengan variabel lainnya, dengan menjaga agar variabel lain tetap konstan. Ada tiga jenis korelasi parsial, yaitu :

Korelasi antara X_1 dan X_2 (Y dianggap konstan) ($r_{12.Y}$)

$$r_{12.Y} = \frac{r_{12} - (r_{Y1}r_{Y2})}{\sqrt{(1-r^2)(1-r^2)}} \quad (27)$$

Korelasi antara Y dengan X_1 yang mana X_2 dianggap konstan ($r_{Y1.2}$)

$$r_{Y1.2} = \frac{r_{Y1} - (r_{Y1}r_{Y2})}{\sqrt{(1-r^2)(1-r^2)}} \quad (28)$$

Korelasi antara Y dengan X_2 yang mana X_1 dianggap konstan ($r_{Y2.1}$)

$$r_{Y2.1} = \frac{r_{Y2} - (r_{Y1}r_{Y2})}{\sqrt{(1-r^2)(1-r^2)}} \quad (29)$$

Kesalahan Baku Estimasi (*Standart Error Estimate*)

Standar kesalahan estimasi digunakan untuk mengevaluasi kesesuaian persamaan regresi dalam memprediksi variabel respons Y . Jika standar

kesalahan besar, maka persamaan regresi tidak akurat untuk estimasi karena perbedaan besar antara nilai prediksi dan nilai aktual Y:

$$S_e(S_{yx}) = \frac{\sqrt{\sum Y^2 - (a \sum Y) - (b_1 \sum X_1 Y) - (b_2 \sum X_2 Y)}}{n-3} \dots\dots\dots (30)$$

2. Persamaan regresi linier berganda pengolahan data software statistic.

Tujuan uji hipotesis adalah untuk menentukan validitas suatu hipotesis dengan memutuskan apakah hipotesis tersebut diterima atau ditolak. Hipotesis adalah pernyataan yang mungkin benar atau salah tentang populasi. Dalam pengujian hipotesis, kita merumuskan hipotesis nol (H0) dan hipotesis alternatif (H1), kemudian menentukan apakah H0 dapat ditolak berdasarkan sampel acak.

Setelah koefisien penentuan (R²) telah ditentukan, langkah selanjutnya adalah menguji hipotesis yang diusulkan (mis, Studi) Ini bisa dilakukan dengan uji-t Tes t tes; uji tes-Z atau uji chi-square Tes ini bertujuan untuk menentukan variabel independen/prediktor/independen (x) memiliki dampak yang signifikan pada variabel dependen/dependen/dependen (Y) Yang penting, itu berarti bahwa efek yang ditunjukkan berlaku untuk seluruh populasi

BAB III

METODE PENELITIAN

A. Tempat Dan Waktu Penelitian

1. Tempat Penelitian

Laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar

2. Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, penelitian dilakukan pada tanggal 12 juli dengan melakukan pelaksanaan penelitian dan pengolahan data..

B. Jenis Penelitian dan Sumber Data

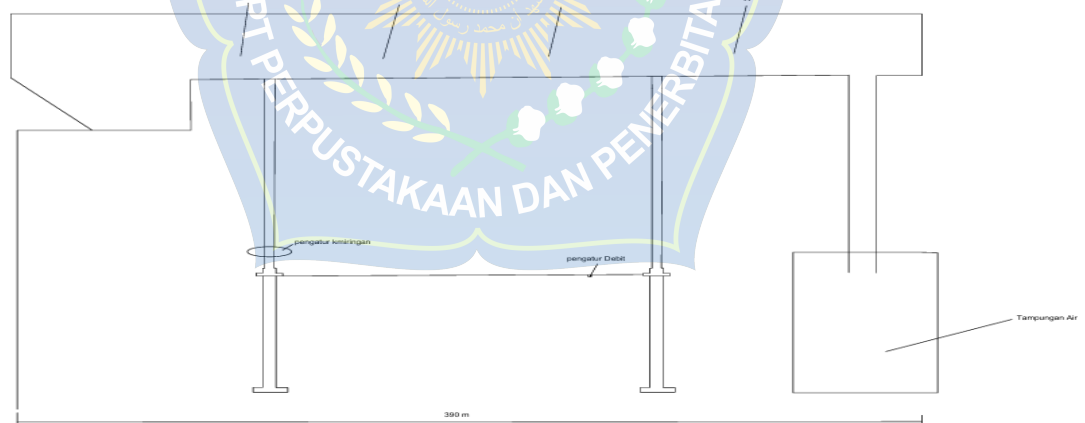
1. Jenis Penelitian

Jenis penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah penelitian kuantitatif eksperimental, yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh kemiringan dasar saluran terhadap kehilangan energi pada saluran terbuka dengan menggunakan pendekatan statistik. Penelitian ini dilakukan melalui serangkaian percobaan di Laboratorium Hidrolika Unismuh Makassar, di mana variabel bebas seperti kemiringan saluran, kecepatan aliran, dan kedalaman aliran

dimanipulasi untuk mengamati dampaknya terhadap variabel terikat, yaitu kehilangan energi. Hasil pengukuran dari percobaan tersebut dianalisis menggunakan model regresi linear berganda untuk mengetahui hubungan dan tingkat pengaruh antarvariabel secara kuantitatif. Pendekatan ini dipilih karena mampu menguji hipotesis secara sistematis dan menghasilkan data numerik yang dapat dianalisis secara objektif.

2. Sumber Data

Pada penelitian ini menggunakan saluran flume yang yang di variasikan dengan 3 bentuk kemiringan dasar yaitu kemiringan dasar 5° , kemiringan dasar 6° dan kemiringan dasar 7°



Gambar 4.Sketsa gambar flume

C. Alat Dan Bahan

1. Alat

- Flume, digunakan sebagai tempat aliran
- Pompa air, digunakan untuk mendorong aliran.

- c. Penggaris, di gunakan untuk mengukur ketinggian aliran.
- d. stopwatch, di gunakan untuk menghitung waktu aliran.
- e. Kamera berfungsi untuk pengambilan dokumentasi penelitian.
- f. Tabel data untuk mencatat hasil pengukuran
- g. Bak air

2. Bahan

- a. Air

D. Desain Penelitian Yang Diteliti

Desain penelitian yang digunakan dalam studi ini adalah desain eksperimen laboratorium dengan pendekatan kuantitatif, yang bertujuan untuk menguji dan menganalisis pengaruh kemiringan dasar saluran terhadap kehilangan energi pada saluran terbuka. Penelitian ini menggunakan metode eksperimen variatif, di mana beberapa kondisi kemiringan dasar saluran divariasikan secara sistematis sambil mengamati perubahan pada variabel terikat, yaitu kehilangan energi.

Dalam eksperimen ini, variabel bebas yang dimanipulasi adalah kemiringan saluran (S), sementara variabel kontrol seperti debit, bentuk penampang saluran, dan jenis material saluran dijaga tetap agar pengaruhnya tidak memengaruhi hasil. Variabel terikat adalah kehilangan energi (H) yang diukur berdasarkan perbedaan tinggi muka air pada dua titik sepanjang saluran.

Desain ini mengikuti tahapan eksperimen sebagai berikut:

1. Menentukan variasi kemiringan saluran (misalnya 0,5%, 1%, 1,5%, dst).
2. Mengalirkan air dengan debit tetap untuk setiap kemiringan.
3. Mengukur kecepatan aliran, kedalaman aliran, dan kehilangan energi.
4. Mengumpulkan data dan mengolahnya dengan metode regresi linear berganda untuk melihat pengaruh masing-masing variabel bebas terhadap kehilangan energi.

Desain penelitian ini dipilih karena memungkinkan dilakukannya kontrol terhadap kondisi percobaan, sehingga hubungan kausal antara kemiringan dan kehilangan energi dapat dianalisis secara lebih valid dan objektif.

E. Variabel Penelitian

1. Variabel Terikat (Y)
 - a. Nama: Kehilangan Energi
 - b. Simbol = H
 - c. Satuan = meter (m)
 - d. Keterangan: Merupakan energi yang hilang dalam aliran akibat gesekan dan perubahan elevasi sepanjang saluran.

Dihitung berdasarkan perbedaan tinggi muka air antara dua titik sepanjang saluran..

2. Variabel Bebas (X)

a. Kemiringan Dasar Saluran

1. Simbol = S
2. Satuan = desimal atau %
3. Keterangan = Kemiringan saluran yang ditentukan dari rasio perubahan elevasi terhadap panjang saluran. Dimanipulasi dalam eksperimen sebagai variabel utama.

b. Kecepatan Aliran

1. Simbol = V
2. Satuan = m/s
3. Keterangan = Kecepatan aliran rata-rata yang diukur pada setiap variasi kemiringan. Berpengaruh terhadap energi kinetik dan rugi energi.

c. Kedalaman Air

1. Simbol = γ
2. Satuan = meter (m)
3. Keterangan: Kedalaman air dari dasar saluran ke permukaan bebas. Mempengaruhi luas penampang basah dan karakteristik hidrolis aliran.

3. Rumus Hubungan Antar Variabel

Model regresi linear berganda yang merepresentasikan hubungan antarvariabel dalam penelitian ini adalah:

$$H = f(S, V, y)$$

Atau secara statistik dapat dirumuskan sebagai:

$$H = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 V + \beta_3 y + \varepsilon$$

Keterangan:

- a. H = Kehilangan energi (variabel terikat)
- b. S = Kemiringan dasar saluran
- c. V = Kecepatan aliran
- d. y = Kedalaman aliran
- e. β_0 = Konstanta
- f. $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Koefisien regresi masing-masing variable
- g. ε = Error/residual model

F. Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan secara langsung melalui eksperimen di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar. Data dikumpulkan dengan cara melakukan serangkaian percobaan pada saluran terbuka dengan variasi kemiringan dasar tertentu. Setiap percobaan dilakukan dengan langkah-langkah sistematis untuk memperoleh data kuantitatif yang dapat dianalisis secara statistik.

Langkah-langkah pengambilan data dilakukan sebagai berikut:

- A. Menentukan variasi kemiringan saluran, misalnya: 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%.
- B. Menyalakan pompa air dan mengalirkan air pada setiap variasi kemiringan dengan debit tetap.
- C. Mengukur kecepatan aliran (V) menggunakan alat bantu seperti pelampung dan stopwatch, dengan menghitung waktu tempuh aliran pada jarak tertentu.
- D. Mengukur kedalaman aliran (y) menggunakan mistar ukur yang diletakkan tegak lurus pada titik-titik pengamatan.
- E. Mengukur kehilangan energi (H) berdasarkan selisih tinggi muka air antara dua titik sepanjang saluran menggunakan water level atau penggaris vertikal.

Semua data yang dikumpulkan dicatat secara sistematis dan berulang untuk setiap variasi kemiringan saluran, sehingga diperoleh hasil yang konsisten dan valid. Setelah seluruh data terkumpul, dilakukan analisis regresi linear berganda untuk mengetahui hubungan dan pengaruh masing-masing variabel terhadap kehilangan energi.

G. Metode Analisis

Analisis data dalam penelitian ini dilakukan secara kuantitatif dengan menggunakan pendekatan regresi linear berganda. Tujuan dari analisis ini adalah untuk mengetahui besarnya pengaruh kemiringan dasar saluran serta variabel lainnya seperti kecepatan aliran dan kedalaman aliran terhadap kehilangan energi pada saluran terbuka.

Langkah-langkah analisis data dilakukan sebagai berikut:

1. Mengelompokkan dan merapikan data hasil pengukuran, termasuk nilai kemiringan saluran (S), kecepatan aliran (V), kedalaman aliran (y).
2. Melakukan uji prasyarat regresi, yang meliputi:
 - a. Uji normalitas data (untuk memastikan sebaran data berdistribusi normal)
 - b. Uji multikolinearitas (untuk melihat apakah antar variabel independen saling berkorelasi tinggi)
 - c. Uji heteroskedastisitas (untuk melihat kestabilan varians residual)
3. Menerapkan model regresi linear berganda dengan persamaan sebagai berikut:

$$H = \beta_0 + \beta_1 S + \beta_2 V + \beta_3 y + \varepsilon$$

Keterangan:

- a. H = Kehilangan energi (variabel terikat)

- b. S = Kemiringan dasar saluran
- c. V = Kecepatan aliran
- d. Y = Kedalaman aliran
- e. β_0 = Konstanta
- f. $\beta_1, \beta_2, \beta_3$ = Koefisien regresi
- g. ε = Galat/error

4. Menginterpretasikan hasil analisis regresi, terutama melihat:

- a. Nilai koefisien regresi masing-masing variabel untuk mengetahui arah dan besar pengaruh.
- b. Nilai signifikansi (p-value) untuk menguji pengaruh signifikan atau tidaknya
- c. Koefisien determinasi (R^2) untuk mengetahui seberapa besar variabel independen menjelaskan variasi pada kehilangan energi

Seluruh proses analisis dilakukan menggunakan software pengolah data statistik seperti SPSS, Microsoft Excel, atau Python. Hasil akhir dari analisis ini diharapkan dapat memberikan gambaran kuantitatif mengenai hubungan antara kemiringan dasar saluran dan kehilangan energi dalam aliran saluran terbuka.

H. Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini dilakukan secara sistematis dalam beberapa tahapan untuk memperoleh data yang valid dan mendukung

tujuan analisis. Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Makassar, dengan menggunakan media saluran terbuka sebagai objek percobaan. Adapun tahapan prosedur penelitian adalah sebagai berikut:

1. Persiapan Alat dan Bahan

Menyiapkan seluruh alat dan perlengkapan yang dibutuhkan, seperti saluran uji, pompa air, water tank, penggaris skala, stopwatch, flowmeter, dan alat pencatat data. Pembersihan saluran dan pengecekan fungsi alat dilakukan untuk memastikan eksperimen berjalan lancar.

2. Penentuan Variasi Kemiringan Dasar Saluran

Saluran disetel pada beberapa tingkat kemiringan dasar, misalnya 0,5%, 1%, 1,5%, 2%, dan 2,5%. Setiap variasi ini digunakan untuk melihat pengaruhnya terhadap kehilangan energi.

3. Pengaturan Debit dan Pengaliran Air

Pompa diaktifkan untuk mengalirkan air dengan debit yang dikontrol agar tetap konstan. Debit dijaga tetap agar perbandingan antar percobaan hanya dipengaruhi oleh perubahan kemiringan, bukan volume aliran.

4. Pengukuran Parameter Aliran

Untuk setiap kemiringan:

- a. Kedalaman aliran (y) diukur dengan mistar pada titik-titik pengamatan tertentu
- b. Kecepatan aliran (V) diukur dengan metode pelampung atau flowmeter.
- c. Kehilangan energi (H) dihitung berdasarkan perbedaan tinggi muka air (elevasi) antara dua titik sepanjang saluran.

5. Pencatatan Data

Semua hasil pengukuran dicatat secara sistematis dalam tabel pengamatan. Pengukuran dilakukan berulang minimal 3 kali untuk setiap variasi kemiringan guna meningkatkan keakuratan data.

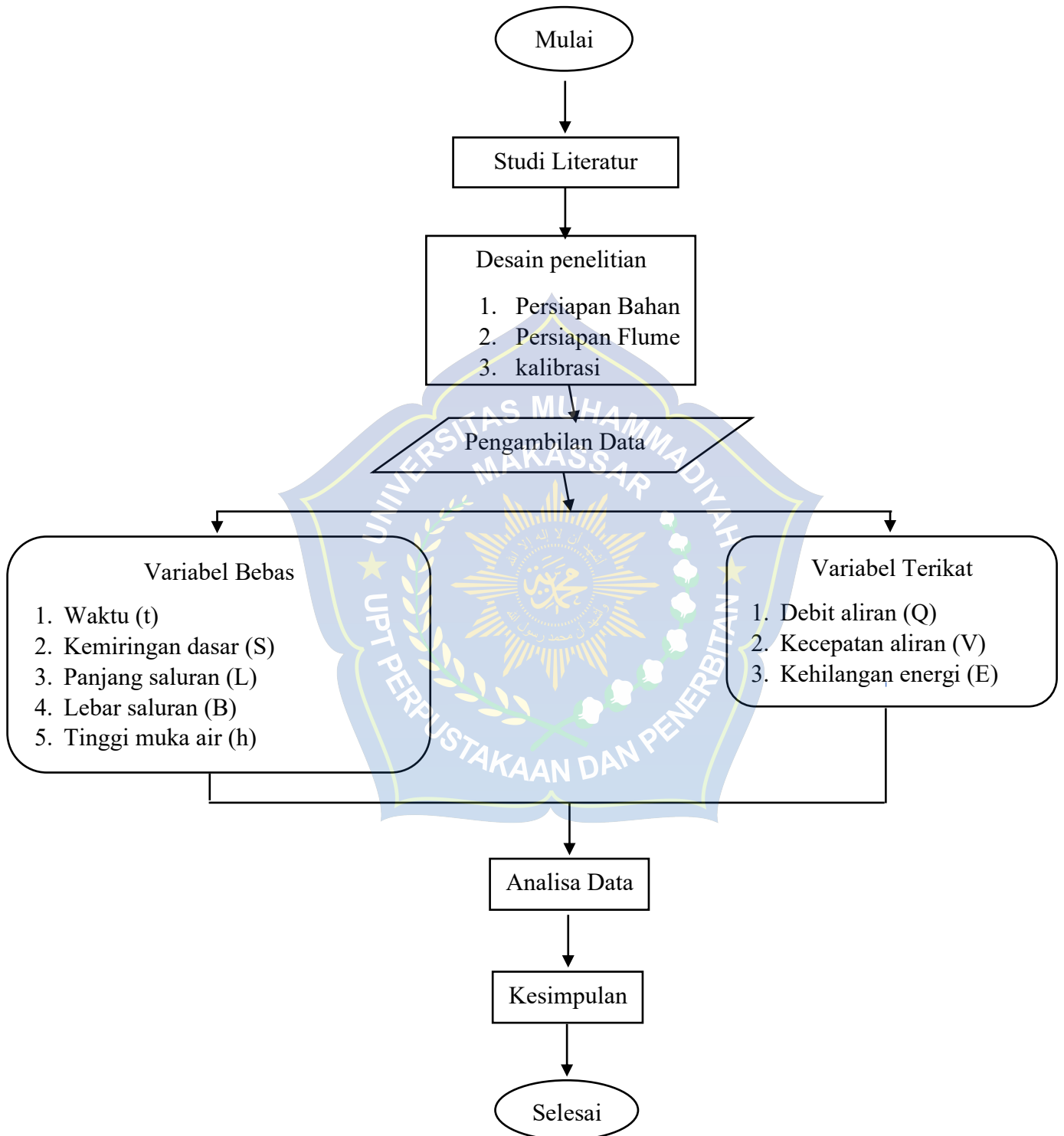
6. Pengolahan dan Analisis Data

Data yang terkumpul dianalisis menggunakan metode regresi linear berganda untuk melihat seberapa besar pengaruh kemiringan dasar saluran (S), kecepatan aliran (V), dan kedalaman aliran (y) terhadap kehilangan energi (H).

7. Interpretasi Hasil dan Penarikan Kesimpulan

Hasil analisis regresi digunakan untuk menjawab tujuan penelitian dan menarik kesimpulan apakah kemiringan dasar saluran memberikan pengaruh signifikan terhadap kehilangan energi..

1. Bagan Alur Penelitian



Gambar 5. Flowchart

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Hasil

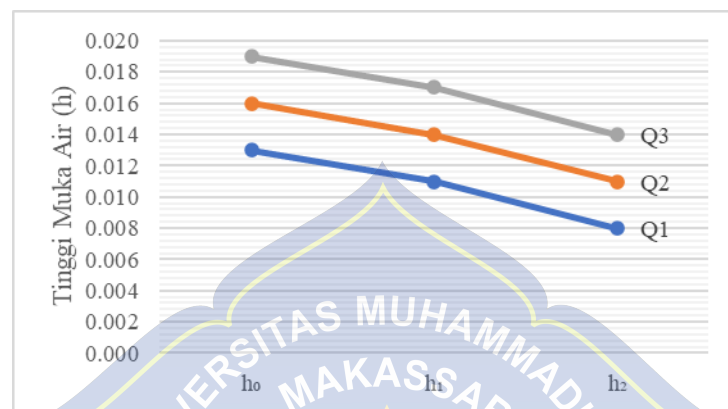
Proses pencarian data yaitu berupa data hasil penelitian di Laboratorium. Data tersebut diantaranya adalah tinggi muka air, lebar saluran, Panjang saluran yang di sesuaikan dengan kondisi saluran yang ada. Penelitian dilakukan terhadap saluran terbuka yang pada bagian tertentu terdapat kemiringan yang berbeda dengan saluran terbuka yang berbentuk persegi. Di tengah saluran bentuk persegi juga ditempatkan pintu air. Kemiringan saluran dibuat dengan kemiringan saluran 5° , kemiringan saluran 6° dan kemiringan saluran 7° .

Untuk mengetahui besarnya kecepatan aliran dan kehilangan energi, terlebih dahulu perlu diketahui nilai tinggi muka, waktu, Panjang saluran air pada setiap 3 variasi kemiringan dasar saluran yang diperoleh dari hasil penelitian dapat dilihat pada table 1, 2, dan 3 berikut ini:

Tabel 1. Data pengamatan tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran 5°

| Debit (m^3/det) | Tinggi muka air | | | | Waktu (t) (det) | Panjang Saluran (L) (m) | Lebar Saluran (B) (m) |
|--------------------------------------|-----------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | h_0 (m) | h_1 (m) | h_2 (m) | \bar{h} (m) | | | |
| Q1 | 0.013 | 0.011 | 0.008 | 0.010 | 7.10 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.012 | 0.011 | 0.011 | 0.010 | 7.15 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.013 | 0.010 | 0.009 | 0.010 | 7.16 | 3.90 | 0.072 |
| Q2 | 0.016 | 0.014 | 0.011 | 0.015 | 6.51 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.017 | 0.015 | 0.010 | 0.015 | 6.51 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.016 | 0.015 | 0.011 | 0.015 | 6.53 | 3.90 | 0.072 |
| Q3 | 0.019 | 0.017 | 0.014 | 0.016 | 6.36 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.019 | 0.017 | 0.013 | 0.016 | 6.21 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.019 | 0.017 | 0.014 | 0.017 | 6.30 | 3.90 | 0.072 |

Berdasarkan tabel 1 menunjukkan bahwa tinggi muka air terbesar pada Q_3 yaitu $h_0 = 0.019$ m dan terendah pada Q_1 yaitu h_2 0.008 m sedangkan waktu tempuh bola pimpong dengan panjang saluran $L = 3.90$ m terbesar pada Q_1 yaitu $t = 7.16$ det dan terendah pada Q_3 yaitu $t = 6.21$ det.



Gambar 6. Grafik tinggi muka air kemiringan saluran 5°

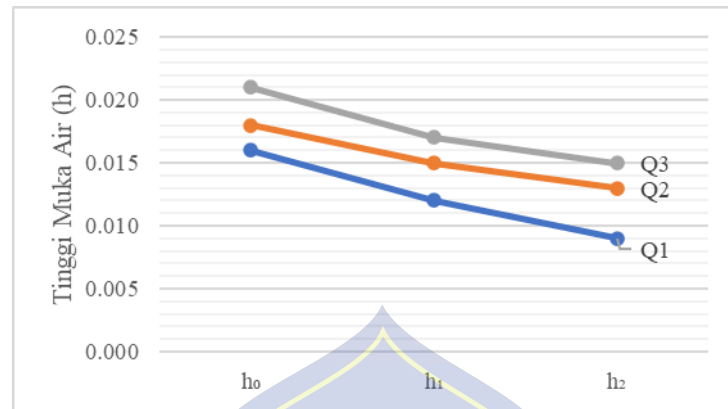
Berdasarkan gambar 6 menunjukkan bahwa hubungan antara debit aliran dengan tinggi muka air adalah berbanding lurus, semakin besar debit aliran maka semakin besar tinggi muka air yang dihasilkan.

Tabel 2. Data pengamatan tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran 6°

| Debit (m^3/det) | Tinggi muka air | | | | Waktu (t) (det) | Panjang Saluran (L) (m) | Lebar Saluran (B) (m) |
|------------------------|-----------------|--------------|--------------|------------------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | h_0 (m) | h_1 (m) | h_2 (m) | \bar{h} (m) | | | |
| Q1 | 0.016 | 0.012 | 0.009 | 0.013 | 6.60 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.016 | 0.013 | 0.009 | 0.013 | 6.58 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.016 | 0.013 | 0.009 | 0.013 | 6.55 | 3.90 | 0.072 |
| Q2 | 0.018 | 0.015 | 0.013 | 0.015 | 6.51 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.019 | 0.016 | 0.014 | 0.016 | 6.45 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.020 | 0.017 | 0.01 | 0.016 | 6.41 | 3.90 | 0.072 |
| Q3 | 0.021 | 0.017 | 0.015 | 0.018 | 6.25 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.021 | 0.017 | 0.015 | 0.018 | 6.18 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.022 | 0.018 | 0.016 | 0.019 | 6.10 | 3.90 | 0.072 |

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan bahwa tinggi muka air terbesar pada Q_3 yaitu $h_0 = 0.022$ m dan terendah pada Q_1 yaitu h_2 0.009 m sedangkan waktu tempuh

bola pimpong dengan panjang saluran $L = 3.90$ m terbesar pada Q1 yaitu $t = 6.60$ det dan terendah pada Q₃ yaitu $t = 6.10$ det.



Gambar 7. Grafik tinggi muka air kemiringan saluran 6°

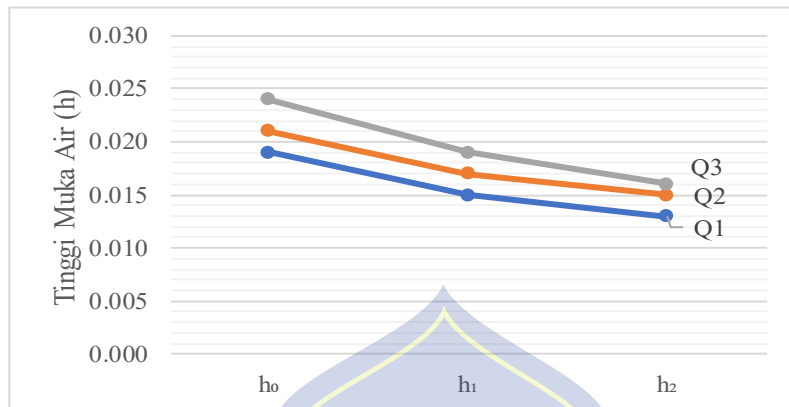
Berdasarkan gambar 7 menunjukkan bahwa hubungan antara debit aliran dengan tinggi muka air adalah berbanding lurus, semakin besar debit aliran maka semakin besar tinggi muka air yang dihasilkan.

Tabel 3. Data pengamatan tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran 7°

| Debit (m ³ /det) | Tinggi muka air (h) | | | | Waktu (t) (det) | Panjang Saluran (L) (m) | Lebar Saluran (B) (m) |
|--------------------------------|---------------------|----------------|----------------|-------|-----------------------|-------------------------------|-----------------------------|
| | h ₀ | h ₁ | h ₂ | h̄ | | | |
| | (m) | (m) | (m) | (m) | | | |
| Q1 | 0.019 | 0.015 | 0.013 | 0.016 | 6.20 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.019 | 0.015 | 0.014 | 0.016 | 6.18 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.019 | 0.016 | 0.014 | 0.016 | 6.19 | 3.90 | 0.072 |
| Q2 | 0.021 | 0.016 | 0.015 | 0.017 | 5.56 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.021 | 0.017 | 0.015 | 0.018 | 5.54 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.021 | 0.017 | 0.015 | 0.018 | 5.51 | 3.90 | 0.072 |
| Q3 | 0.024 | 0.019 | 0.016 | 0.020 | 5.31 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.024 | 0.019 | 0.016 | 0.020 | 5.29 | 3.90 | 0.072 |
| | 0.025 | 0.020 | 0.016 | 0.020 | 5.27 | 3.90 | 0.072 |

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa tinggi muka air terbesar pada Q₃ yaitu $h_0 = 0.025$ m dan terendah pada Q₁ yaitu h_2 0.013 m sedangkan waktu tempuh

bola pimpong dengan panjang saluran $L = 3.90$ m terbesar pada Q_1 yaitu $t = 6.20$ det dan terendah pada Q_3 yaitu $t = 5.27$ det.



Gambar 8. Grafik tinggi muka air kemiringan saluran 7°

Berdasarkan gambar 8 menunjukkan bahwa hubungan antara debit aliran dengan tinggi muka air adalah berbanding lurus, semakin besar debit aliran maka semakin besar tinggi muka air yang dihasilkan.

B. Analisis Data

1. Analisis Hidrolis

Terkait dengan data yang diketahui pada tabel 2, 3, dan 4 saluran yang berbentuk persegi panjang sehingga dapat menentukan nilai dari luas penampang basah sesuai persamaan 8 pada bab II, $A = 3.90 \times 0.010 = 0.0390$ m², keliling basah sesuai persamaan 9 pada bab II, $P = 3.90 + 2 \times 0.010 = 3.92$ m, dan jari-jari hidrolis sesuai persamaan 10 pada bab II, $R = \frac{A}{P} = \frac{0.0390}{3.920} = 0.010$ m. Untuk nilai luas penampang basah, keliling basah, dan jari-jari

hidrolis saluran setiap kemiringan saluran 5° , kemiringan saluran 6° dan kemiringan saluran 7° dapat dilihat pada tabel 5, 6, dan 7 berikut ini:

Tabel 4. analisis hidrolis pada kemiringan saluran 5°

| Debit (m³/det) | Lebar Saluran (B) (m) | Luas Penampang (A) (B*h) | Keliling Basah (P) (B+2*h) | Jari-Jari Hidrolis (R) (A/P) |
|-------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Q1 | 0.072 | 0.0007 | 0.092 | 0.008 |
| | 0.072 | 0.0007 | 0.092 | 0.008 |
| | 0.072 | 0.0007 | 0.092 | 0.008 |
| Q2 | 0.072 | 0.0011 | 0.102 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0011 | 0.102 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0011 | 0.102 | 0.011 |
| Q3 | 0.072 | 0.0012 | 0.104 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0012 | 0.104 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0012 | 0.106 | 0.012 |

$$\begin{aligned}
 A &= (B * h) \\
 &= 0.072 \times 0.010 \\
 &= 0.0007 \\
 P &= 0.072 + 2 \times 0.0007 \\
 &= 0.092 \\
 R &= 0.0007 / 0.092 \\
 &= 0.008
 \end{aligned}$$

Tabel berikutnya mempunyai rumus perhitungan yang sama.

Berdasarkan tabel 4 menunjukkan bahwa luas penampang basah, keliling basah dan jari-jari hidrolis terbesar pada Q₃ yaitu A = 0.0012 m², P = 0.106 m dan R = 0.012 m sedangkan terendah pada Q₁ yaitu A = 0.0007 m², P = 0.106 m dan R = 0.008 m. Dalam hal ini analisis hidrolis dipengaruhi oleh

debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar analisis hidrolis yang dihasilkan.

Tabel 5. analisis hidrolis pada kemiringan saluran 6°

| Debit (m ³ /det) | Lebar Saluran (B) (m) | Luas Penampang (A) (B*h) | Keliling Basah (P) (B+2*h) | Jari-Jari Hidrolis (R) (A/P) |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Q1 | 0.072 | 0.0009 | 0.098 | 0.010 |
| | 0.072 | 0.0009 | 0.098 | 0.010 |
| | 0.072 | 0.0009 | 0.098 | 0.010 |
| Q2 | 0.072 | 0.0011 | 0.102 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0012 | 0.104 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0012 | 0.104 | 0.011 |
| Q3 | 0.072 | 0.0013 | 0.108 | 0.012 |
| | 0.072 | 0.0013 | 0.108 | 0.012 |
| | 0.072 | 0.0014 | 0.110 | 0.012 |

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan bahwa luas penampang basah, keliling basah dan jari-jari hidrolis terbesar pada Q₃ yaitu A = 0.0014 m², P = 0.110 m dan R = 0.012 m sedangkan terendah pada Q₁ yaitu A = 0.0009 m², P = 0.098 m dan R = 0.010 m. Dalam hal ini analisis hidrolis dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar analisis hidrolis yang dihasilkan.

Tabel 6. analisis hidrolis pada kemiringan saluran 7°

| Debit (m ³ /det) | Lebar Saluran (B) (m) | Luas Penampang (A) (B*h) | Keliling Basah (P) (B+2*h) | Jari-Jari Hidrolis (R) (A/P) |
|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| Q1 | 0.072 | 0.0012 | 0.104 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0012 | 0.104 | 0.011 |
| | 0.072 | 0.0012 | 0.104 | 0.011 |
| Q2 | 0.072 | 0.0012 | 0.106 | 0.012 |
| | 0.072 | 0.0013 | 0.108 | 0.012 |
| | 0.072 | 0.0013 | 0.108 | 0.012 |
| Q3 | 0.072 | 0.0014 | 0.112 | 0.013 |
| | 0.072 | 0.0014 | 0.112 | 0.013 |
| | 0.072 | 0.0014 | 0.112 | 0.013 |

Berdasarkan tabel 6 menunjukkan bahwa luas penampang basah, keliling basah dan jari-jari hidrolis terbesar pada Q₃ yaitu A = 0.0014 m², P = 0.112 m dan R = 0.013 m sedangkan terendah pada Q₁ yaitu A = 0.0012 m², P = 0.112 m dan R = 0.011 m. Dalam hal ini analisis hidrolis dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar analisis hidrolis yang dihasilkan.

2. Analisis Kecepatan Aliran

Ada banyak rumus praktis mengenai aliran seragam yang telah dihasilkan dan telah dipublikasikan, Rumus kecepatan manning dan kecepatan dengan menggunakan $V = \frac{\text{jarak}}{\text{waktu}}$ pada waktu tempuh bola pimpong. Menentukan kecepatan sesuai persamaan 1 pada bab II, $V = \frac{1}{0.010} \times 0.010 \times 0.017 = 0.603$ m/det sebagai V₁. dan Persamaan 2 Pada bab II, $V = \frac{3.90}{7.10} = 0.597$. Koefisien kekasaran Manning saluran yang berbentuk persegi panjang terbuat dari kaca adalah n = 0.010. Untuk kecepatan aliran dengan kemiringan saluran berbeda dapat dilihat pada tabel 8, 9, dan 10 berikut ini:

Tabel 7. Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 5°

| Debit (m ³ /det) | Jari-Jari Hidrolis (R) (m) | Kemiringan Saluran (S) | Panjang Saluran (L) (m) | Waktu (t) (det) | Kecepatan Aliran V _{Empiris} ($\frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$) | Kecepatan Aliran V _{Lab} (L/t) |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|---|
| Q1 | 0.008 | 0.087 | 3.90 | 7.10 | 1.163 | 0.549 |
| | 0.008 | 0.087 | 3.90 | 7.15 | 1.163 | 0.545 |
| | 0.008 | 0.087 | 3.90 | 7.16 | 1.163 | 0.545 |
| Q2 | 0.011 | 0.087 | 3.90 | 6.51 | 1.422 | 0.599 |
| | 0.011 | 0.087 | 3.90 | 6.51 | 1.422 | 0.599 |
| | 0.011 | 0.087 | 3.90 | 6.53 | 1.422 | 0.597 |
| Q3 | 0.011 | 0.087 | 3.90 | 6.36 | 1.466 | 0.613 |
| | 0.011 | 0.087 | 3.90 | 6.21 | 1.466 | 0.628 |
| | 0.012 | 0.087 | 3.90 | 6.30 | 1.507 | 0.619 |

$$\begin{aligned}
 V_E &= (1/n * R^{2/3} * S^{1/2}) \\
 &= (1/0.01 * 0.008^{2/3} * 0.087^{1/2}) \\
 &= 1.163 \\
 V_{lab} &= (L/t) \\
 &= 3.90 / 7.10 \\
 &= 0.549
 \end{aligned}$$

Tabel berikutnya mempunyai rumus perhitungan yang sama.

Berdasarkan tabel 7 menunjukkan bahwa kecepatan aliran terbesar pada Q₃ yaitu V_{Empiris} = 1.507 m/det sedangkan terkecil pada Q₁ yaitu V_{Lab} = 0.549 m/det. Dalam hal ini kecepatan aliran dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar kecepatan aliran yang dihasilkan.

Tabel 8. Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 6°

| Debit (m ³ /det) | Jari-Jari Hidrolis (R) (m) | Kemiringan Saluran (S) | Panjang Saluran (L) (m) | Waktu (t) (det) | Kecepatan Aliran V _{Empiris} (1/n * R ^{2/3} * S ^{1/2}) | Kecepatan Aliran V _{Lab} (L/t) |
|--------------------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|--|---|
| Q1 | 0.010 | 0.104 | 3.90 | 6.60 | 1.452 | 0.591 |
| | 0.010 | 0.104 | 3.90 | 6.58 | 1.452 | 0.593 |
| | 0.010 | 0.104 | 3.90 | 6.55 | 1.452 | 0.595 |
| Q2 | 0.011 | 0.104 | 3.90 | 6.51 | 1.602 | 0.599 |
| | 0.011 | 0.104 | 3.90 | 6.45 | 1.602 | 0.605 |
| | 0.011 | 0.104 | 3.90 | 6.41 | 1.602 | 0.608 |
| Q3 | 0.012 | 0.104 | 3.90 | 6.25 | 1.690 | 0.624 |
| | 0.012 | 0.104 | 3.90 | 6.18 | 1.690 | 0.631 |
| | 0.012 | 0.104 | 3.90 | 6.10 | 1.690 | 0.639 |

Berdasarkan tabel 8 menunjukkan bahwa kecepatan aliran terbesar pada Q₃ yaitu V_{Empiris} = 1.690 m/det sedangkan terkecil pada Q₁ yaitu V_{Lab} = 0.591 m/det.

Dalam hal ini kecepatan aliran dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar kecepatan aliran yang dihasilkan.

Tabel 9. Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 7°

| Debit (m³/det) | Jari-Jari Hidrolis (R) (m) | Kemiringan Saluran (S) | Panjang Saluran (L) (m) | Waktu (t) (det) | Kecepatan Aliran V _{Empiris} ($1/n \cdot R^{2/3} \cdot S$) | Kecepatan Aliran V _{Lab} (L/t) |
|-------------------|----------------------------------|---------------------------|-------------------------------|-----------------------|---|---|
| Q1 | 0.011 | 0.122 | 3.90 | 6.20 | 1.737 | 0.629 |
| | 0.011 | 0.122 | 3.90 | 6.18 | 1.736 | 0.631 |
| | 0.011 | 0.122 | 3.90 | 6.19 | 1.736 | 0.630 |
| Q2 | 0.012 | 0.122 | 3.90 | 5.56 | 1.831 | 0.701 |
| | 0.012 | 0.122 | 3.90 | 5.54 | 1.831 | 0.704 |
| | 0.012 | 0.122 | 3.90 | 5.51 | 1.831 | 0.708 |
| Q3 | 0.013 | 0.122 | 3.90 | 5.31 | 1.917 | 0.734 |
| | 0.013 | 0.122 | 3.90 | 5.29 | 1.917 | 0.737 |
| | 0.013 | 0.122 | 3.90 | 5.27 | 1.917 | 0.740 |

Berdasarkan tabel 9 menunjukkan bahwa kecepatan aliran terbesar pada Q₃ yaitu V_{Empiris} = 1.737 m/det sedangkan terkecil pada Q₁ yaitu V_{Lab} = 0.629 m/det. Dalam hal ini kecepatan aliran dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar kecepatan aliran yang dihasilkan.

3. Analisis Kehilangan Energi

Kehilangan energi adalah perbedaan energi setiap kemiringan yang berbeda dengan menggunakan rumus pada persamaan 3 pada bab II, $E = \frac{0.603^2}{2 \times 9.81} + 0.010 = 0.029$. Apabila nilai energi spesifik mengalami perbedaan secara signifikan maka nilai kehilangan energi akan besar. Namun apabila perbedaan nilai energi spesifik tidak begitu signifikan, maka nilai kehilangan energi akan kecil. Untuk melihat kehilangan energi pada kemiringan saluran 5°, kemiringan saluran 6° dan kemiringan saluran 7° sebagai berikut ini:

Tabel 10. Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 5°

| Debit (m³/det) | Kecepatan Aliran V _{Empiris} (1/n * R ^{2/3} * S ^{1/2}) | Kecepatan Aliran V _{lab} (L/t) | Kehilangan Energi E _{Empiris} ((V ₁ ² /2.g) + h) | Kehilangan Energi E _{Lab} ((V ₂ ² /2.g) + h) |
|-------------------|--|---|---|---|
| Q1 | 1.163 | 0.549 | 0.079 | 0.025 |
| | 1.163 | 0.545 | 0.079 | 0.025 |
| | 1.163 | 0.545 | 0.079 | 0.025 |
| Q2 | 1.422 | 0.599 | 0.118 | 0.033 |
| | 1.422 | 0.599 | 0.118 | 0.033 |
| | 1.422 | 0.597 | 0.118 | 0.033 |
| Q3 | 1.466 | 0.613 | 0.126 | 0.035 |
| | 1.466 | 0.628 | 0.126 | 0.036 |
| | 1.507 | 0.619 | 0.133 | 0.037 |

$$E_{\text{Empiris}} = (V_1^2/2.g) + h$$

$$= \frac{1.163^2}{2 \times 9.8} + 0.010$$

$$= 0.079$$

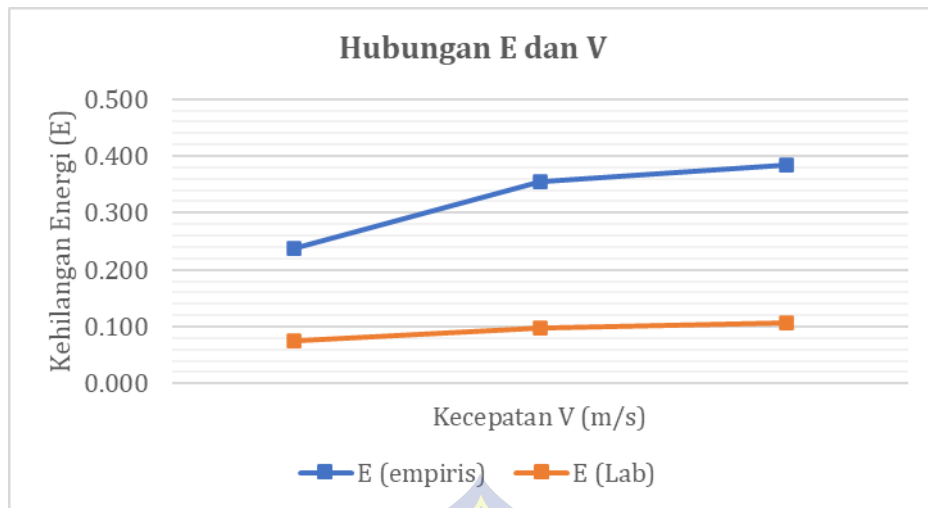
$$E_{\text{Lab}} = (V_2^2/2.g) + h$$

$$= \frac{0.0549^2}{2 \times 9.8} + 0.010$$

$$= 0.025$$

Tabel berikutnya mempunyai rumus perhitungan yang sama.

Berdasarkan Tabel 10 menunjukkan bahwa kehilangan energi terbesar pada Q₃ yaitu E_{Empiris} = 0.133 sedangkan yang terendah pada kecepatan empiris Q₁ yaitu E_{Lab} = 0.025. Untuk melihat fruktasi secara jelas dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :



Gambar 9. Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 5°

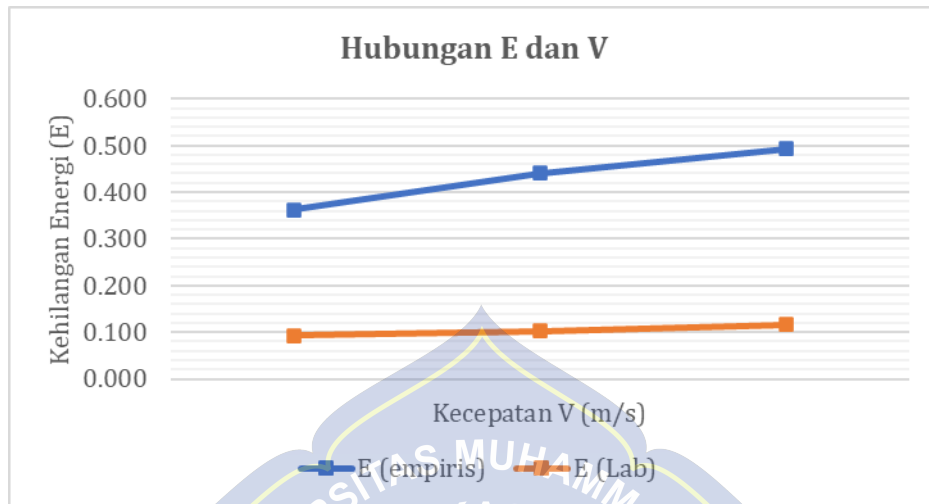
Berdasarkan gambar 9 menunjukkan bahwa kehilangan energi mengalami fruktasi semakin besar dengan adanya pengaruh kecepatan aliran. Dalam hal ini semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar kehilangan energi yang dihasilkan.

Tabel 11. Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 6°

| Debit (m³/det) | Kecepatan Aliran VEmpiris ($1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$) | Kecepatan Aliran VLab (L/t) | Kehilangan Energi EEmpiris ($(V_1^2/2 \cdot g) + h$) | Kehilangan Energi ELab ($(V_2^2/2 \cdot g) + h$) |
|-------------------|---|-----------------------------------|--|--|
| Q1 | 1.452 | 0.591 | 0.121 | 0.031 |
| | 1.452 | 0.593 | 0.121 | 0.031 |
| | 1.452 | 0.595 | 0.121 | 0.031 |
| Q2 | 1.602 | 0.599 | 0.146 | 0.033 |
| | 1.602 | 0.605 | 0.147 | 0.035 |
| | 1.602 | 0.608 | 0.147 | 0.035 |
| Q3 | 1.690 | 0.624 | 0.164 | 0.038 |
| | 1.690 | 0.631 | 0.164 | 0.038 |
| | 1.690 | 0.639 | 0.165 | 0.040 |

Berdasarkan Tabel 11 menunjukkan bahwa kehilangan energi terbesar pada Q₃ yaitu E_{Empiris} = 0.165 sedangkan yang terendah pada kecepatan empiris Q₁ yaitu

$E_{Lab} = 0.031$ Untuk melihat fruktasi secara jelas dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :



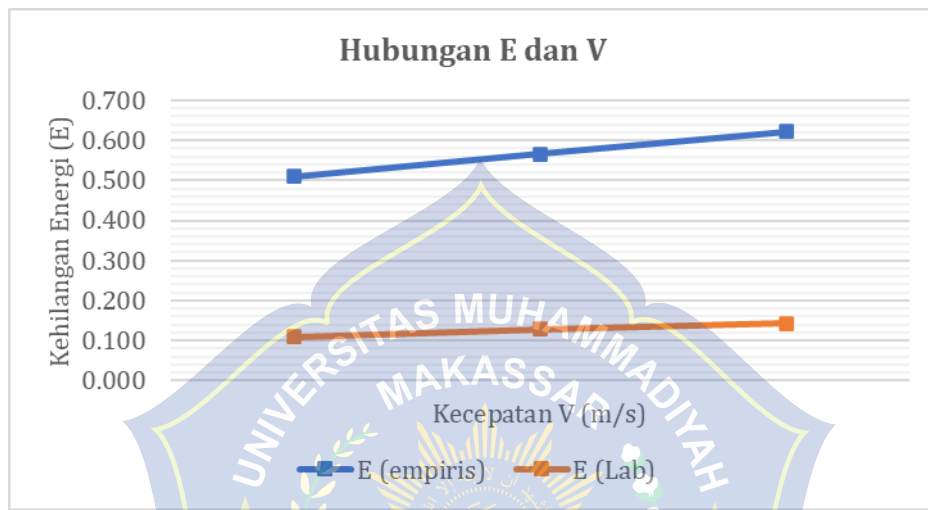
Gambar 10. Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 6°

Berdasarkan gambar 10 menunjukkan bahwa kehilangan energi mengalami fruktasi semakin besar dengan adanya pengaruh kecepatan aliran. Dalam hal ini semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar kehilangan energi yang dihasilkan.

Tabel 12. Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 7°

| Debit (m³/det) | Kecepatan Aliran VEmpiris ($1/n \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$) | Kecepatan Aliran VLab (L/t) | Kehilangan Energi EEmpiris ($(V_1^2/2 \cdot g) + h$) | Kehilangan Energi ELab ($(V_2^2/2 \cdot g) + h$) |
|-------------------|---|-----------------------------------|--|--|
| Q1 | 1.737 | 0.629 | 0.170 | 0.036 |
| | 1.736 | 0.631 | 0.170 | 0.036 |
| | 1.736 | 0.630 | 0.170 | 0.036 |
| Q2 | 1.831 | 0.701 | 0.188 | 0.042 |
| | 1.831 | 0.704 | 0.189 | 0.043 |
| | 1.831 | 0.708 | 0.189 | 0.044 |
| Q3 | 1.917 | 0.734 | 0.207 | 0.048 |
| | 1.917 | 0.737 | 0.207 | 0.048 |
| | 1.917 | 0.740 | 0.207 | 0.048 |

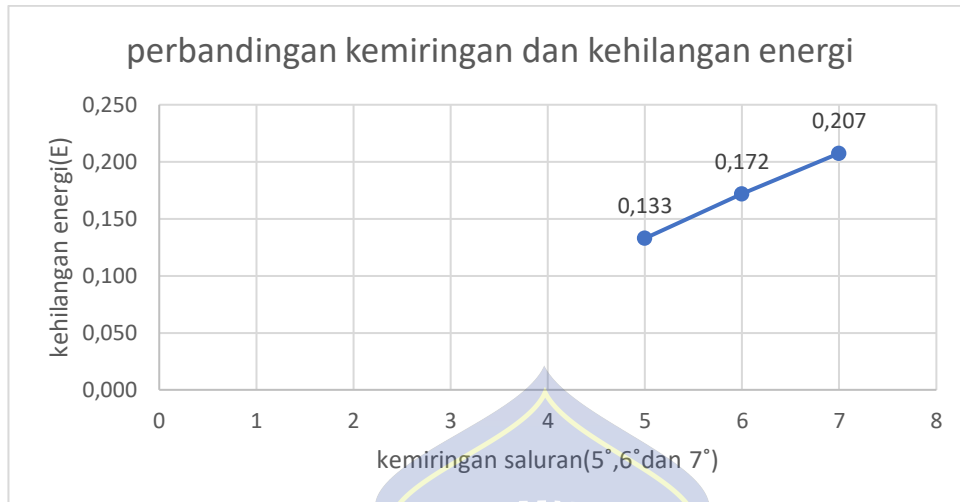
Berdasarkan Tabel 12 menunjukkan bahwa kehilangan energi terbesar pada Q_3 yaitu $E_{\text{Empiris}} = 0.207$ sedangkan yang terendah pada kecepatan empiris Q_1 yaitu $E_{\text{Lab}} = 0.036$. Untuk melihat fruktasi secara jelas dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :



Gambar 11. Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 7°

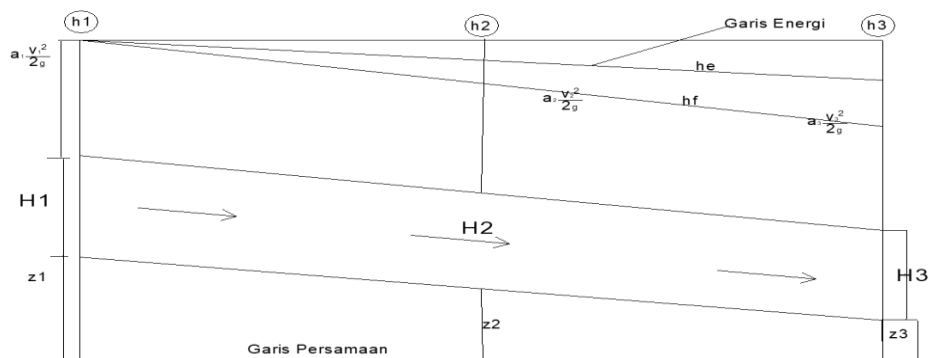
Berdasarkan gambar 11 menunjukkan bahwa kehilangan energi mengalami fruktasi semakin besar dengan adanya pengaruh kecepatan aliran. Dalam hal ini semakin besar kecepatan aliran maka semakin besar kehilangan energi yang dihasilkan.

4 . Analisis grafik perbandingan kemiringan 5°,6° dan 7° terhadap kehilangan energi°



Gambar 12. Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 5°,6° dan 7°

Terjadi peningkatan kehilangan energi yang jelas seiring bertambahnya kemiringan saluran. Pada kemiringan 5°, kehilangan energi tercatat sebesar **0,133**. Ketika kemiringan dinaikkan menjadi 6°, kehilangan energi meningkat menjadi **0,172**, atau bertambah sekitar **0,039**. Selanjutnya pada kemiringan 7°, kehilangan energi kembali naik menjadi **0,207**, dengan kenaikan sekitar **0,035** dari kondisi 6°



Gambar 13 . Sketsa Aliran Kehilangan Energi kemiringan saluran 5°, 6° dan 7°

Dari hasil tabel menunjukkan nilai kehilangan energi dengan dua kecepatan yang berbeda menghasilkan korelasi yang searah. Grafik yang disajikan pada gambar 14, 15 dan 16 nampak bahwa kehilangan energi menunjukkan kenaikan setiap tinggi muka air yang berbeda akibat adanya pengaruh debit dan kecepatan aliran.

5. Regresi Linear Berganda

Terdapat data-data fakta maupun data yang dihasilkan melalui penelitian sehingga akan menghasilkan persamaan regresi linear berganda pada setiap kemiringan saluran 5°, 6° dan 7°. Model regresi linier berganda merupakan suatu persamaan yang menggambarkan hubungan antara dua atau lebih variabel bebas/Debit aliran (X_1) dan Kecepatan aliran (X_2) dan satu variabel tak bebas/ Kehilangan Energi (Y). Tujuan dari analisis regresi linier berganda adalah untuk memprediksi nilai variabel tak bebas/ response (Y) jika nilai variabel-variabel bebas/ predictor (X_1, X_2, \dots, X_n) diketahui. Disamping itu juga untuk mengetahui arah hubungan antara variabel tak bebas dengan variabel-variabel bebas.

1. Persamaan regresi linier berganda secara menghitung matematik

Metode regresi linear berganda $Y = a + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_nX_n$ pada persamaan 7 secara matematik/manual menentukan konstanta a dan koefisien-koefisien b menggunakan *Sigma* variabel X dan Y sesuai persamaan 16, 17, 18, 19, 20 dan 21 Pada bab II.

Tabel 13. Variabel 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 |
|----------------|----------------|-------|-----------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------------|------------------|------------------|
| 1.163 | 0.011 | 0.079 | 1.352 | 0.000 | 0.006 | 0.013 | 0.092 | 0.001 |
| 1.163 | 0.011 | 0.079 | 1.352 | 0.000 | 0.006 | 0.013 | 0.092 | 0.001 |
| 1.163 | 0.010 | 0.079 | 1.352 | 0.000 | 0.006 | 0.012 | 0.092 | 0.001 |
| 1.422 | 0.014 | 0.118 | 2.023 | 0.000 | 0.014 | 0.020 | 0.168 | 0.002 |
| 1.422 | 0.015 | 0.118 | 2.023 | 0.000 | 0.014 | 0.021 | 0.168 | 0.002 |
| 1.422 | 0.015 | 0.118 | 2.023 | 0.000 | 0.014 | 0.021 | 0.168 | 0.002 |
| 1.466 | 0.017 | 0.126 | 2.148 | 0.000 | 0.016 | 0.025 | 0.184 | 0.002 |
| 1.466 | 0.017 | 0.126 | 2.148 | 0.000 | 0.016 | 0.025 | 0.184 | 0.002 |
| 1.507 | 0.017 | 0.133 | 2.271 | 0.000 | 0.018 | 0.026 | 0.200 | 0.002 |
| 12.193 | 0.127 | 0.976 | 16.691 | 0.002 | 0.110 | 0.175 | 1.348 | 0.014 |

$$\sum x_1^2 = 16.691 - \frac{(12.193)^2}{9} = 0.1721$$

$$\sum x_2^2 = 0,002 - \frac{(0.127)^2}{9} = 6.288$$

$$\sum y^2 = 0.110 - \frac{(0.976)^2}{9} = 0.0041$$

$$\sum x_1x_2 = 0.175 - \frac{(12.193)(0.127)}{9} = 0.0032$$

$$\sum x_1y = 1.348 - \frac{(12.193)(0.976)}{9} = 0.0265$$

$$\sum x_2y = 0.014 - \frac{(0.127)(0.976)}{9} = 0.0005$$

$$b_1 = \frac{[(6.288 \times 0.0265) - (0.0005 \times 0.0032)]}{[(0.1721 \times 0.00004) - (0.0032)^2]} = \frac{1.067}{7.255} = 0.147$$

$$b_2 = \frac{[(0.172 \times 0.0005) - (0.0265 \times 0.0032)]}{[(0.172 \times 6.288) - (0.0032)^2]} = \frac{2.674}{7.255} = 0.368$$

$$a = \frac{(0.976) - (0.127 \times 12.193) - (0.368 \times 0.147)}{9} = -0.096$$

Persamaan regresi linier berganda adalah $Y = -0.096 + 0.147X_1 + 0.368X_2$

2. Persamaan regresi berganda dari hasil pengolahan data software statis

Tabel 14. Software Statistic

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.999801885 |
| R Square | 0.999603809 |
| Adjusted R Square | 0.999471746 |
| Standard Error | 0.000518825 |
| Observations | 9 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Regression | 2 | 0.004074902 | 0.002037451 | 7569.111088 | 6.21889E-11 |
| Residual | 6 | 1.61508E-06 | 2.6918E-07 | | |
| Total | 8 | 0.004076517 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Kehilangan energi | -0.096031621 | 0.003238985 | -29.64867963 | 9.76149E-08 | -0.103957132 | -0.088106111 | -0.103957132 | -0.088106111 |
| kecepatan | 0.147055247 | 0.004830227 | 30.44478817 | 8.33431E-08 | 0.135236107 | 0.158874388 | 0.135236107 | 0.158874388 |
| tinggi muka air | 0.368639392 | 0.252684166 | 1.458893914 | 0.194876537 | -0.249656489 | 0.986935273 | -0.249656489 | 0.986935273 |

Persamaan regresi linear berganda : $Y = -0.096 + 0.147X_1 + 0.368X_2$

Terkait dengan kedua metode menentukan nilai konstanta a dan koefisien-koefisien b pada penerapan regresi linear berganda dimana X_1 adalah kecepatan aliran, X_2 adalah tinggi muka air dan Y adalah Kehilangan energi sehingga regresi linear berganda untuk kemiringan saluran 5° , 6° dan 7° sesuai dengan Kehilangan energi empiris dan Kehilangan energi laboratorium yang berbeda disajikan pada tabel 10, 11, dan 12 dengan satuan (m/det) setiap 3 tinggi muka air dapat dilihat pada tabel berikut ini

Tabel 15. Variabel X_1 , X_2 dan Y Kehilangan energi empiris kemiringan saluran 5°

| X_1 | X_2 | Y | X_1^2 | X_2^2 | Y^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2Y |
|--------|-------|-------|---------|---------|-------|----------|--------|--------|
| 1.163 | 0.011 | 0.079 | 1.352 | 0.000 | 0.006 | 0.013 | 0.092 | 0.001 |
| 1.163 | 0.011 | 0.079 | 1.352 | 0.000 | 0.006 | 0.013 | 0.092 | 0.001 |
| 1.163 | 0.010 | 0.079 | 1.352 | 0.000 | 0.006 | 0.012 | 0.092 | 0.001 |
| 1.422 | 0.014 | 0.118 | 2.023 | 0.000 | 0.014 | 0.020 | 0.168 | 0.002 |
| 1.422 | 0.015 | 0.118 | 2.023 | 0.000 | 0.014 | 0.021 | 0.168 | 0.002 |
| 1.422 | 0.015 | 0.118 | 2.023 | 0.000 | 0.014 | 0.021 | 0.168 | 0.002 |
| 1.466 | 0.017 | 0.126 | 2.148 | 0.000 | 0.016 | 0.025 | 0.184 | 0.002 |
| 1.466 | 0.017 | 0.126 | 2.148 | 0.000 | 0.016 | 0.025 | 0.184 | 0.002 |
| 1.507 | 0.017 | 0.133 | 2.271 | 0.000 | 0.018 | 0.026 | 0.200 | 0.002 |
| 12.193 | 0.127 | 0.976 | 16.691 | 0.002 | 0.110 | 0.175 | 1.348 | 0.014 |

Tabel 16. ftware statistic Kehilangan energi empiris kemiringan saluran 5°

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.999801885 |
| R Square | 0.999603809 |
| Adjusted R Square | 0.999471746 |
| Standard Error | 0.000518825 |
| Observations | 9 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Regression | 2 | 0.004074902 | 0.002037451 | 7569.111088 | 6.21889E-11 |
| Residual | 6 | 1.61508E-06 | 2.6918E-07 | | |
| Total | 8 | 0.004076517 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Kehilangan energi | -0.096031621 | 0.003238985 | -29.64867963 | 9.76149E-08 | -0.103957132 | -0.088106111 | -0.103957132 | -0.088106111 |
| kecepatan | 0.147055247 | 0.004830227 | 30.44478817 | 8.33431E-08 | 0.135236107 | 0.158874388 | 0.135236107 | 0.158874388 |
| tinggi muka air | 0.368639392 | 0.252684166 | 1.458893914 | 0.194876537 | -0.249656489 | 0.986935273 | -0.249656489 | 0.986935273 |

Berdasarkan tabel 15 dan 16 dimana X_1 adalah kecepatan aliran, X_2 adalah tinggi muka air dan Y adalah kehilangan energi dengan menggunakan metode persamaan linear berganda secara menghitung manual matematik dan *software statistic* adalah $Y = -0.096 + 0.147X_1 + 0.368X_2$ sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah -0.096 kecepatan aliran 0.147 dan tinggi muka air 0.368.

Tabel 17. Variabel X_1 , X_2 dan Y Kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 5°

| X_1 | X_2 | Y | X_1^2 | X_2^2 | Y^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2Y |
|-------|-------|-------|---------|---------|-------|----------|--------|--------|
| 0.549 | 0.010 | 0.025 | 0.302 | 0.000 | 0.001 | 0.005 | 0.014 | 0.000 |
| 0.545 | 0.010 | 0.025 | 0.298 | 0.000 | 0.001 | 0.005 | 0.014 | 0.000 |
| 0.545 | 0.010 | 0.025 | 0.297 | 0.000 | 0.001 | 0.005 | 0.014 | 0.000 |
| 0.599 | 0.015 | 0.033 | 0.359 | 0.000 | 0.001 | 0.009 | 0.020 | 0.000 |
| 0.599 | 0.015 | 0.033 | 0.359 | 0.000 | 0.001 | 0.009 | 0.020 | 0.000 |
| 0.597 | 0.015 | 0.033 | 0.357 | 0.000 | 0.001 | 0.009 | 0.020 | 0.000 |
| 0.613 | 0.016 | 0.035 | 0.376 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.022 | 0.001 |
| 0.628 | 0.016 | 0.036 | 0.394 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.023 | 0.001 |
| 0.619 | 0.017 | 0.037 | 0.383 | 0.000 | 0.001 | 0.011 | 0.023 | 0.001 |
| 5.295 | 0.124 | 0.283 | 3.124 | 0.002 | 0.009 | 0.074 | 0.168 | 0.004 |

Tabel 18. Software statistic Kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 5°

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.999988848 |
| R Square | 0.999977697 |
| Adjusted R Square | 0.999970262 |
| Standard Error | 2.64095E-05 |
| Observations | 9 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Regression | 2 | 0.000187625 | 9.38126E-05 | 134505.7515 | 1.10946E-14 |
| Residual | 6 | 4.18477E-09 | 6.97462E-10 | | |
| Total | 8 | 0.000187629 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Kehilangan energi | -0.01881718 | 0.000663397 | -28.36489162 | 1.271E-07 | -0.020440453 | -0.017193906 | -0.020440453 | -0.017193906 |
| kecepatan | 0.063088219 | 0.001522962 | 41.42467554 | 1.32364E-08 | 0.059361664 | 0.066814773 | 0.059361664 | 0.066814773 |
| tinggi muka air | 0.957151616 | 0.017297256 | 55.33545849 | 2.33911E-09 | 0.914826755 | 0.999476478 | 0.914826755 | 0.999476478 |

Berdasarkan tabel 17 dan 18 dimana X_1 adalah kecepatan aliran, X_2 adalah tinggi muka air dan Y adalah kehilangan energi dengan menggunakan metode persamaan linear berganda secara menghitung manual matematik dan *software statistic* adalah $Y = -0.018 + 0.063X_1 + 0.957X_2$ sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah -0.018 , kecepatan aliran 0.063 Dan tinggi muka air 0.957.

Tabel 19. Variabel X_1 , X_2 dan Y Kehilangan energi empiris kemiringan saluran 6°

| X_1 | X_2 | Y | X_1^2 | X_2^2 | Y^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2Y |
|--------|-------|-------|---------|---------|-------|----------|--------|--------|
| 1.452 | 0.013 | 0.121 | 2.107 | 0.000 | 0.015 | 0.019 | 0.175 | 0.002 |
| 1.452 | 0.013 | 0.121 | 2.107 | 0.000 | 0.015 | 0.019 | 0.175 | 0.002 |
| 1.452 | 0.013 | 0.121 | 2.107 | 0.000 | 0.015 | 0.019 | 0.175 | 0.002 |
| 1.555 | 0.015 | 0.138 | 2.418 | 0.000 | 0.019 | 0.023 | 0.215 | 0.002 |
| 1.602 | 0.016 | 0.147 | 2.568 | 0.000 | 0.022 | 0.026 | 0.236 | 0.002 |
| 1.602 | 0.016 | 0.147 | 2.568 | 0.000 | 0.022 | 0.026 | 0.236 | 0.002 |
| 1.690 | 0.018 | 0.164 | 2.857 | 0.000 | 0.027 | 0.030 | 0.277 | 0.003 |
| 1.690 | 0.018 | 0.164 | 2.857 | 0.000 | 0.027 | 0.030 | 0.277 | 0.003 |
| 1.731 | 0.019 | 0.172 | 2.997 | 0.000 | 0.030 | 0.033 | 0.298 | 0.003 |
| 14.227 | 0.141 | 1.293 | 22.587 | 0.002 | 0.189 | 0.225 | 2.062 | 0.021 |

Tabel 20. Software statistic kehilangan energi empiris kemiringan saluran 6°

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.999999848 |
| R Square | 0.999999695 |
| Adjusted R Square | 0.999999594 |
| Standard Error | 1.28705E-05 |
| Observations | 9 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Regression | 2 | 0.003262206 | 0.001631103 | 9846631.812 | 2.82814E-20 |
| Residual | 6 | 9.93905E-10 | 1.65651E-10 | | |
| Total | 8 | 0.003262207 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Kehilangan energi | -0.052176768 | 0.000797027 | -65.46428007 | 8.54442E-10 | -0.054127022 | -0.050226514 | -0.054127022 | -0.050226514 |
| kecepatan | 0.072505972 | 0.000946469 | 76.60679369 | 3.3307E-10 | 0.070190045 | 0.074821898 | 0.070190045 | 0.074821898 |
| tinggi muka air | 1.187803163 | 0.044704398 | 116.0468184 | 2.76056E-11 | 5.078415442 | 5.297190885 | 5.078415442 | 5.297190885 |

Berdasarkan tabel 19 dan 20 dimana X_1 adalah kecepatan aliran, X_2 adalah tinggi muka air dan Y adalah kehilangan energi dengan menggunakan metode persamaan linear berganda secara menghitung manual matematik dan *software statistic* adalah $Y = -0.052 + 0.072X_1 + 1.187X_2$ sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah -0.052 , kecepatan aliran 0.072 Dan tinggi muka air 1.187.

Tabel 21. ariabel X_1 , X_2 dan Y kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 6°

| X_1 | X_2 | Y | X_1^2 | X_2^2 | Y^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2Y |
|-------|-------|-------|---------|---------|-------|----------|--------|--------|
| 0.591 | 0.013 | 0.031 | 0.349 | 0.000 | 0.001 | 0.008 | 0.018 | 0.000 |
| 0.593 | 0.013 | 0.031 | 0.351 | 0.000 | 0.001 | 0.008 | 0.018 | 0.000 |
| 0.592 | 0.013 | 0.031 | 0.350 | 0.000 | 0.001 | 0.008 | 0.018 | 0.000 |
| 0.618 | 0.015 | 0.034 | 0.382 | 0.000 | 0.001 | 0.009 | 0.021 | 0.001 |
| 0.619 | 0.016 | 0.036 | 0.383 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.022 | 0.001 |
| 0.618 | 0.016 | 0.035 | 0.382 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.022 | 0.001 |
| 0.639 | 0.018 | 0.039 | 0.409 | 0.000 | 0.002 | 0.012 | 0.025 | 0.001 |
| 0.574 | 0.018 | 0.035 | 0.329 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.020 | 0.001 |
| 0.639 | 0.019 | 0.040 | 0.409 | 0.000 | 0.002 | 0.012 | 0.025 | 0.001 |
| 5.483 | 0.141 | 0.312 | 3.344 | 0.002 | 0.011 | 0.086 | 0.190 | 0.005 |

Tabel 22. Software statistic kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 6°

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.999993346 |
| R Square | 0.999986692 |
| Adjusted R Square | 0.999982255 |
| Standard Error | 1.40679E-05 |
| Observations | 9 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Regression | 2 | 8.92231E-05 | 4.46116E-05 | 225417.7027 | 2.35712E-15 |
| Residual | 6 | 1.18744E-09 | 1.97906E-10 | | |
| Total | 8 | 8.92243E-05 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Kehilangan energi | -0.018720887 | 0.00013804 | -135.6189019 | 1.08395E-11 | -0.01905866 | -0.018383115 | -0.01905866 | -0.018383115 |
| kecepatan | 0.061607815 | 0.000253428 | 243.0980042 | 3.26964E-13 | 0.060987699 | 0.062227931 | 0.060987699 | 0.062227931 |
| tinggi muka air | 1.009475458 | 0.002491629 | 405.146848 | 1.52612E-14 | 1.003378663 | 1.015572254 | 1.003378663 | 1.015572254 |

Berdasarkan tabel 21 dan 22 dimana X_1 adalah kecepatan aliran, X_2 adalah tinggi muka air dan Y adalah kehilangan energi dengan menggunakan metode persamaan linear berganda secara menghitung manual matematik dan *software statistic* adalah $Y = -0.018 + 0.061X_1 + 1.009X_2$ sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah -0.018 kecepatan aliran 0.061 Dan tinggi muka air 1.009.

Tabel 23. Variabel X_1 , X_2 dan Y kehilangan energi empiris kemiringan saluran 7°

| X_1 | X_2 | Y | X_1^2 | X_2^2 | Y^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2Y |
|--------|-------|-------|---------|---------|-------|----------|--------|--------|
| 1.737 | 0.016 | 0.170 | 3.017 | 0.000 | 0.029 | 0.028 | 0.295 | 0.003 |
| 1.736 | 0.016 | 0.170 | 3.012 | 0.000 | 0.029 | 0.028 | 0.295 | 0.003 |
| 1.736 | 0.016 | 0.170 | 3.012 | 0.000 | 0.029 | 0.028 | 0.295 | 0.003 |
| 1.784 | 0.017 | 0.179 | 3.184 | 0.000 | 0.032 | 0.030 | 0.320 | 0.003 |
| 1.831 | 0.018 | 0.189 | 3.352 | 0.000 | 0.036 | 0.033 | 0.346 | 0.003 |
| 1.831 | 0.018 | 0.189 | 3.352 | 0.000 | 0.036 | 0.033 | 0.346 | 0.003 |
| 1.917 | 0.020 | 0.207 | 3.675 | 0.000 | 0.043 | 0.038 | 0.398 | 0.004 |
| 1.917 | 0.020 | 0.207 | 3.675 | 0.000 | 0.043 | 0.038 | 0.398 | 0.004 |
| 1.917 | 0.020 | 0.207 | 3.675 | 0.000 | 0.043 | 0.038 | 0.398 | 0.004 |
| 16.405 | 0.161 | 1.689 | 29.954 | 0.003 | 0.319 | 0.295 | 3.090 | 0.030 |

Tabel 24. Software statistic kehilangan energi empiris kemiringan saluran 7°

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.999997534 |
| R Square | 0.999995069 |
| Adjusted R Square | 0.999993425 |
| Standard Error | 4.26079E-05 |
| Observations | 9 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Regression | 2 | 0.002208934 | 0.001104467 | 608377.6999 | 1.19905E-16 |
| Residual | 6 | 1.08926E-08 | 1.81543E-09 | | |
| Total | 8 | 0.002208945 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Kehilangan energi | -0.073015707 | 0.007660526 | -9.531422472 | 7.61007E-05 | -0.091760338 | -0.054271076 | -0.091760338 | -0.054271076 |
| kecepatan | 0.090797322 | 0.007543017 | 12.03726891 | 1.9946E-05 | 0.072340225 | 0.109254419 | 0.072340225 | 0.109254419 |
| tinggi muka air | 1.322105518 | 0.340562403 | 15.62740182 | 4.34815E-06 | 4.488779338 | 6.155431699 | 4.488779338 | 6.155431699 |

Berdasarkan tabel 23 dan 24 dimana X_1 adalah kecepatan aliran, X_2 adalah tinggi muka air dan Y adalah kehilangan energi dengan menggunakan metode persamaan linear berganda secara menghitung manual matematik dan *software statistic* adalah $Y = -0.073 + 0.090X_1 + 1.322X_2$ sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah -0.073 kecepatan aliran 0.090 Dan tinggi muka air 1.322.

Tabel 25. variabel X_1 , X_2 dan Y kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 7°

| X_1 | X_2 | Y | X_1^2 | X_2^2 | Y^2 | X_1X_2 | X_1Y | X_2Y |
|-------|-------|-------|---------|---------|-------|----------|--------|--------|
| 0.629 | 0.016 | 0.036 | 0.396 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.023 | 0.001 |
| 0.631 | 0.016 | 0.036 | 0.398 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.023 | 0.001 |
| 0.630 | 0.016 | 0.036 | 0.397 | 0.000 | 0.001 | 0.010 | 0.023 | 0.001 |
| 0.701 | 0.017 | 0.042 | 0.492 | 0.000 | 0.002 | 0.012 | 0.030 | 0.001 |
| 0.704 | 0.018 | 0.043 | 0.496 | 0.000 | 0.002 | 0.013 | 0.030 | 0.001 |
| 0.708 | 0.018 | 0.044 | 0.501 | 0.000 | 0.002 | 0.013 | 0.031 | 0.001 |
| 0.734 | 0.020 | 0.048 | 0.539 | 0.000 | 0.002 | 0.015 | 0.035 | 0.001 |
| 0.733 | 0.020 | 0.047 | 0.537 | 0.000 | 0.002 | 0.015 | 0.035 | 0.001 |
| 0.733 | 0.020 | 0.047 | 0.537 | 0.000 | 0.002 | 0.015 | 0.035 | 0.001 |
| 6.204 | 0.161 | 0.380 | 4.294 | 0.003 | 0.016 | 0.112 | 0.264 | 0.007 |

Tabel 26. Software statistic kehilangan energi laboratorium kemiringan saluran 7°

SUMMARY OUTPUT

| <i>Regression Statistics</i> | |
|------------------------------|-------------|
| Multiple R | 0.999992796 |
| R Square | 0.999985592 |
| Adjusted R Square | 0.999980789 |
| Standard Error | 2.14686E-05 |
| Observations | 9 |

ANOVA

| | <i>df</i> | <i>SS</i> | <i>MS</i> | <i>F</i> | <i>Significance F</i> |
|------------|-----------|-------------|-------------|-------------|-----------------------|
| Regression | 2 | 0.000191927 | 9.59635E-05 | 208207.6986 | 2.99126E-15 |
| Residual | 6 | 2.76542E-09 | 4.60903E-10 | | |
| Total | 8 | 0.00019193 | | | |

| | <i>Coefficients</i> | <i>Standard Error</i> | <i>t Stat</i> | <i>P-value</i> | <i>Lower 95%</i> | <i>Upper 95%</i> | <i>Lower 95.0%</i> | <i>Upper 95.0%</i> |
|-------------------|---------------------|-----------------------|---------------|----------------|------------------|------------------|--------------------|--------------------|
| Kehilangan energi | -0.022891036 | 0.000138359 | -165.4471112 | 3.28926E-12 | -0.023229587 | -0.022552485 | -0.023229587 | -0.022552485 |
| kecepatan | 0.066459258 | 0.000455835 | 145.7968122 | 7.02253E-12 | 0.065343871 | 0.067574646 | 0.065343871 | 0.067574646 |
| tinggi muka air | 1.079343101 | 0.011952563 | 90.30222879 | 1.24244E-10 | 1.050096233 | 1.10858997 | 1.050096233 | 1.10858997 |

Berdasarkan tabel 25 dan 26 dimana X_1 adalah kecepatan aliran, X_2 adalah tinggi muka air dan Y adalah kehilangan energi dengan menggunakan metode persamaan linear berganda secara menghitung manual matematik dan *software statistic* adalah $Y = -0.022 + 0.066X_1 + 1.079X_2$ sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah -0.022 , kecepatan aliran 0.066 Dan tinggi muka air dikurang 1.079



BAB V

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, maka dapat diambil kesimpulan bahwa :

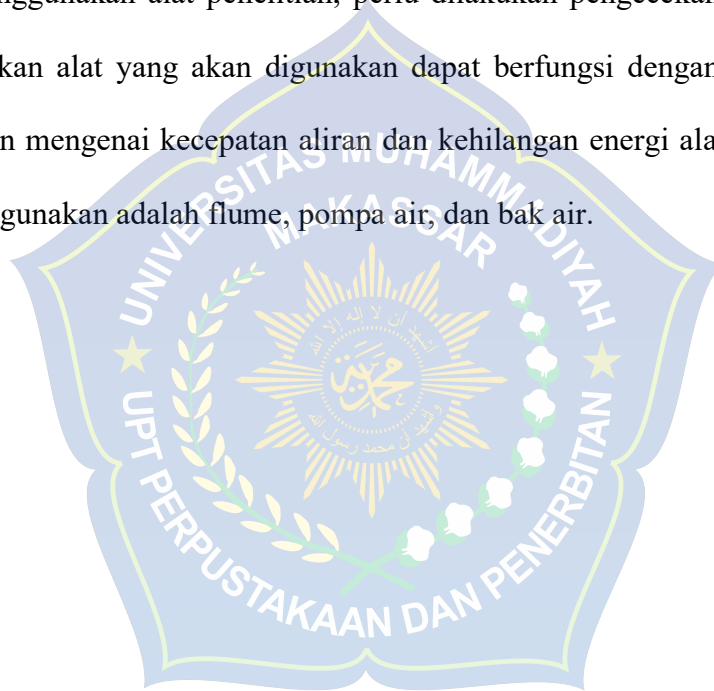
1. Hasil penelitian menunjukkan kehilangan energi meningkat seiring bertambahnya kemiringan saluran, Dimana nilai tertinggi terjadi pada kemiringan 7° yaitu Q_3 yaitu $E = 0.207$ m. dan terendah pada kemiringan saluran 5° Q_1 yaitu $E = 0.025$ m.
2. Berdasarkan regresi linear berganda pada kemiringan 5° , diperoleh persamaan $Y = -0,096 + 0,147X_1 + 0,368X_2$ yang menunjukkan bahwa kemiringan saluran (X_1) dan variabel hidraulik (X_2) berpengaruh positif terhadap kehilangan energi. Namun, pengaruh X_2 lebih dominan dibandingkan X_1 . Nilai konstanta $-0,096$ menandakan bahwa kehilangan energi mendekati nol saat kedua variabel bernilai nol, sehingga kehilangan energi terutama disebabkan oleh perubahan kemiringan saluran dan faktor hidraulik.

B. Saran

1. Perlunya diadakan penelitian kembali mengenai kecepatan dan kehilangan energi dengan variasi kemiringan saluran. Juga perlu dilakukan penelitian

mengenai kecepatan dan kehilangan energi bahkan pada saluran tertutup dengan metode persamaan regresi linear berganda.

2. Pengambilan data yang harus dilakukan secara akurat. Selain karena faktor alat yang digunakan, pengambilan data secara berulang-ulang juga dapat meningkatkan keakuratan data penelitian. Terlebih pada data yang sangat dibutuhkan seperti tinggi muka air (h) dan kecepatan (v).
3. Saat menggunakan alat penelitian, perlu dilakukan pengecekan ulang untuk memastikan alat yang akan digunakan dapat berfungsi dengan baik. Untuk penelitian mengenai kecepatan aliran dan kehilangan energi alat yang paling utama digunakan adalah flume, pompa air, dan bak air.



DAFTAR PUSTAKA

- Harianja, J. A., & Gunawan, S. (2007). *Tinjauan Energi Spesifik Akibat Penyempitan Pada Saluran Terbuka. Majalah Ilmiah UKRIM Edisi 1/th XII*. 30–46.
- Harseno, E., & Jonas, S. V. . (2007). Studi Eksperimental Aliran Berubah Beraturan Pada Saluran Terbuka Bentuk Prismatis. *Majalah Ilmiah UKRIm*, 2(12), 1–26.
- Herdian, R., Siddiq, B. A., Suryaman, N. N., & Ardiansyah, N. P. (2024). Analisis Jenis Aliran pada Saluran Terbuka dengan Hambatan. *Jurnal Komposit: Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik Sipil*, 8(2), 213–219.
<https://doi.org/10.32832/komposit.v8i2.15499>
- Kimi, S. (2021). Pengaruh Jenis Dan Kemiringan Dasar Saluran Terhadap Nilai Koefisien C Dengan Persamaan Manning Berdasarkan Hasil Uji Laboratorium. *Jurnal Penelitian Dan Kajian Teknik Sipil*, 4(1), 1–4.
- Kurniawan, D. (2008). Regresi Linier. *Statistic*, 1–6.
- Mutiah, A. ulfa, Ramdhani, N. N., Maricarc, F., & Hamdi, F. (2023). Analisis kehilangan energi pada berbagai bentuk bangunan peralihan. *REKAYASA: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Lampung*, 27(1), 1–5. <https://doi.org/10.23960/rekrjits.v27i1.78>
- Prismayuda, O. B., Purnama, A., & Najimuddin, D. (2020). Analisis Distribusi Kecepatan Pada Saluran Terbuka (Study Kasus : Sungai Pelat, Desa Pelat). *Jurnal SainTekA*, 1(1), 1–10.
- Rombebunga, Y. (2022). Pengaruh Kemiringan Struktur Plat Segitiga Terhadap Kecepatan Gesek Dasar pada Saluran Terbuka. *Jurnal Penelitian Enjiniring*, 25(1), 37–47.
<https://doi.org/10.25042/jpe.052021.05>
- Suhardono, A., Setiono, J., & Safitri, M. S. (2021). Pengaruh Ambang Bertalud pada Bak Kontrol di Saluran Terbuka terhadap Kondisi Aliran. *PROKONS: Jurusan Teknik Sipil*, 15(2), 12–17.
- Wigati, R., & Prihatini, K. T. (2012). Terhadap Distribusi Kecepatan Dan Debit Aliran Pada Variasi Ambang Lebar. *Jurnal Fondasi*, 1(1), 1–12.

Restu Wigati. (2012). *Analisis Pengaruh Kemiringan Dasar Saluran Terhadap Distribusi Kecepatan Dan Debit Aliran*. Jurnal Fondasi, Volume 1 nomor , 2012.

Spiegel. Murray. R. 2004. *Statistika*. Jakarta : Erlangga

Supranto. J. 2001. *Statistika Teori dan Aplikasi Edisi Keenam Jilid2*. Jakarta : Erlangga

Saleh, S. S., Musa, R., & As'ad, H. (2019). *Kajian Karakteristik Aliran terhadap Bangunan Pelimpah pada Saluran Terbuka*. Teknik Hidro, 12(2), 40-52. <https://doi.org/10.26618/th.v12i2.2811>

Walpole. Ronald.E. 1995. *Ilmu Peluang dan Statistika untuk Insinyur dan Ilmuawan*. Bandung : ITB

Yuliara, I Made. 2016. *Regresi Linier Berganda*. Universitas Udayana.



LAMPIRAN DOKUMENTASI PENELITIAN



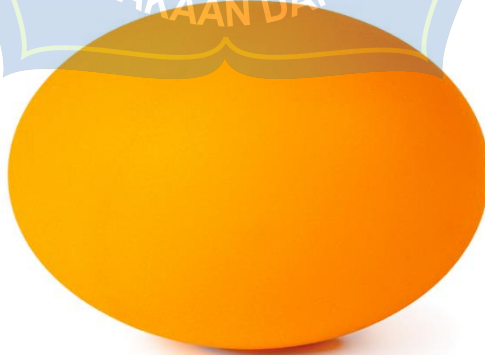
Gambar 1 Mengukur lebar Saluran flume



Gambar 2 Mengukur Tinggi Muka air



Gambar 3 Menjatuhkan bola pimpong untuk mengetahui kecepatan aliran



Gambar 4 bola pimpon



Gambar 4 Penggaris



Gambar 5 Meter

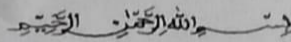


Gambar 5 Busur



MAJELIS PENDIDIKAN TINGGI PIMPINAN PUSAT MUHAMMADIYAH
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH MAKASSAR
UPT PERPUSTAKAAN DAN PENERBITAN

Alamat Kantor: Jl. Sultan Alauddin NO.259 Makassar 90221 Tlp. (0411) 866972,881593, Fax.(0411) 865588



SURAT KETERANGAN BEBAS PLAGIAT

UPT Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar,
Menerangkan bahwa mahasiswa yang tersebut namanya di bawah ini:

Nama : Haeril Anwar

Nim : 105811105221

Program Studi : Teknik Sipil Pengairan

Dengan nilai:

| No | Bab | Nilai | Ambang Batas |
|----|-------|-------|--------------|
| 1 | Bab 1 | 5% | 10 % |
| 2 | Bab 2 | 22% | 25 % |
| 3 | Bab 3 | 2% | 15 % |
| 4 | Bab 4 | 7% | 10 % |
| 5 | Bab 5 | 4% | 5 % |

Dinyatakan telah lulus cek plagiat yang diadakan oleh UPT- Perpustakaan dan Penerbitan Universitas Muhammadiyah Makassar Menggunakan Aplikasi Turnitin.

Demikian surat keterangan ini diberikan kepada yang bersangkutan untuk dipergunakan seperlunya.

Makassar, 04 September 2025

Mengetahui,

Kepala UPT-Perpustakaan dan Penerbitan,

Nursinah S.Purni, M.P.
NBM. 964591

