

## **BAB I**

### **PENDAHULUAN**

#### **A. Latar Belakang**

Saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu saluran alam dan saluran buatan. Saluran alam meliputi semua saluran air yang terdapat secara alamiah di bumi, melalui dari anak selokan kecil di pegunungan, sungai kecil dan sungai besar sampai ke muara sungai. Sifat – sifat hidrolis saluran alam biasanya sangat tidak menentu. Dalam beberapa hal dapat dibuat anggapan pendekatan yang cukup sesuai dengan pengamatan sesungguhnya.

Pada saluran terbuka, sangat umum ditemukan bentuk saluran. Khususnya pada jaringan irigasi dan drainase. Aliran yang melewati setiap saluran tentunya akan mengalami perubahan disebabkan oleh kemiringan saluran yang berubah secara mendadak. Adanya kemiringan akan membuat tinggi muka air, kecepatan, debit dan energi akan berubah. Oleh karena permasalahan tersebut diatas, kami melakukan penelitian laboratorium yang memuat 1 macam bentuk bangunan yakni persegi panjang yang mengalami 3 perubahan kemiringan saluran dimana penelitian menggunakan alat uji dengan metode regresi linear berganda berbagai kemiringan agar pada setiap model uji dapat diketahui kecepatan aliran dan kehilangan energi yang terjadi. Kemudian penelitian laboratorium ini kami tuangkan kedalam sebuah karya tulis ilmiah dengan judul **"Penerapan regresi linear berganda pada perubahan kecepatan aliran dan kehilangan energi akibat kemiringan dasar saluran terbuka."**

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan pada latar belakang, beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

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

## **C. Tujuan Penelitian**

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

1. Menganalisis pengaruh kemiringan sudut terhadap kecepatan aliran dan kehilangan energi pada saluran terbuka.
2. Menganalisis persamaan regresi linear berganda terhadap kecepatan dan kehilangan energi akibat adanya variasi kemiringan dasar.

## **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian ini diharapkan mampu memberikan pemahaman dalam memperkaya wawasan dengan konsep dan praktik yang berbeda setiap melakukan penelitian baik pada saluran terbuka ataupun saluran tertutup.
2. Dengan melakukan pengujian eksperimental pada saluran terbuka dengan adanya pengaruh kemiringan sudut terhadap kecepatan aliran dan kehilangan

energi dengan metode regresi linear berganda diharapkan dapat mengetahui variabel pada uji coba pada jenis dan pola aliran.

3. Penelitian dilakukan untuk mengamati serta mencatat fenomena pada model yang meliputi studi literatur, perencanaan model dan simulasi pengambilan data

#### **E. Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini yaitu:

1. Penelitian mengutamakan pada pengaruh kemiringan sudut terhadap kecepatan aliran dan kehilangan energi dengan metode regresi linear berganda di saluran terbuka.
2. Metode regresi linear berganda pada pola aliran, pengujian ini dilakukan di laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Makassar.

#### **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.** Menguraikan mengenai landasan teori yang berhubungan dengan permasalahan dalam melakukan penelitian yang meliputi tentang kemiringan pada saluran, pola aliran, dan metode regresi linear berganda.

**BAB III METODE PENELITIAN.** Bab ini menjelaskan mengenai waktu dan lokasi penelitian baik itu sumber data maupun metode penelitian dan Analisa data yang diteliti di lapangan.

**BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN.** Dalam bab ini membahas tentang hasil perhitungan curah hujan, debit rencana, kapasitas saluran drainase dan perencanaan drainase yang mampu menampung debit rencana di sepanjang jalan Gatot Subroto Kecamatan Tallo Kota Makassar.

**BAB V PENUTUP.** Dalam bab ini bersisi tentang kesimpulan dari hasil analisis perhitungan dan saran – saran yang berhubungan dengan penelitian ini.



## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### A. Kecepatan Aliran

Saluran terbuka dipengaruhi oleh tekanan atmosfer pada permukaan air yang merata pada seluruh titik sepanjang saluran (Triatmojo, 1993: 103). Pada saluran terbuka, adanya permukaan bebas dan gesekan dinding sepanjang saluran terbuka menyebabkan distribusi kecepatan yang tidak seragam pada penampang saluran. Kecepatan pada dinding atau dasar saluran adalah nol, namun kecepatan maksimum terjadi bukan pada permukaan bebas melainkan pada kedalaman 0,05 sampai 0,25 jam di bawah permukaan bebas (Graff, 1998).

Ketika saluran membengkok atau gaya sentrifugal dihasilkan di sekitar kurva. Pada daerah kelengkungan saluran, garis-garis aliran sangat jelas dan tidak beraturan, namun adanya kecepatan sekunder juga menimbulkan aliran terjerat sepanjang aliran, yang disebut aliran heliks (helikoid). Hal ini menciptakan gradien lateral pada permukaan air (Rozovskii, 1984: 5). Pola aliran yang dihasilkan pada tikungan merupakan pola kompleks atau tiga dimensi, dan membentuk vektor kecepatan pada arah arus  $U_s$ , vektor kecepatan  $U_r$  pada arah radial, dan vektor kecepatan  $U_z$  pada arah vertikal. Kecepatan vertikal saluran lurus pada saluran terbuka dapat diabaikan karena nilainya kecil. Pola aliran pada tikungan tersebut membuat gaya-gaya yang bekerja pada aliran yaitu gaya sentrifugal dan gaya inersia menjadi lebih lengkap. Oleh karena itu, seperti saluran air terbuka dan lurus, gaya inersia yang bekerja padanya tidak dapat diabaikan.

Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan  $\rho$  (density) yang berbeda yaitu udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil dibanding kerapatan air. Persamaan dasar aliran pada saluran terbuka merupakan penyederhanaan Persamaan Reynold (French, 1987; Hicks, 1990) dan dapat pula dijabarkan dari hukum konservatif yaitu hukum konservatif massa dan hukum konservatif momentum. Asumsi untuk persamaan ini adalah (Kodoatie, 2005):

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

Perhitungan aliran di sungai sering memakai anggapan bahwa aliran dalam keadaan seragam (Chow, 1988), walaupun dalam prakteknya aliran sungai dan saluran alam aliran jarang terjadi seragam secara mutlak. Pendekatan umum yang

dilakukan merupakan penyelesaian yang relatif sederhana dan memuaskan untuk berbagai persoalan 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  $S_f = S_w = S_0 = S$ .

Untuk keperluan praktis, kecepatan konstan dapat ditafsirkan aliran memiliki kecepatan rata-rata yang konstan terhadap waktu dengan kata lain distribusi kecepatan di penampang saluran tidak berubah di bagian saluran yang lurus. Dalam perhitungan hidrolika, kecepatan rata-rata aliran seragam turbulen dalam saluran terbuka biasanya dinyatakan dengan rumus empiris aliran seragam (uniform flow formula).

Ada banyak rumus praktis mengenai aliran seragam yang telah dihasilkan dan telah dipublikasikan, misalnya Rumus Chezy, Rumus Bazin, Rumus Powel. 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 (%)

Nilai  $n$  selanjutnya dikenal dengan nama koefisien kekasaran Manning, dimana dipengaruhi:

1. Kekasaran permukaan
2. Tetumbuhan
3. Ketidak teraturan saluran
4. Trase saluran
5. Pengendapan dan penggerusan
6. Hambatan
7. Ukuran dan bentuk saluran
8. Taraf air dan debit.

Sebenarnya sangat sulit untuk menentukan faktor kekasaran atau perlawanan ( $n$ ), sebab tidak ada cara tertentu untuk pemilihan nilai  $n$ . Pada tingkat pengetahuan sekarang ini, memilih  $n$  sebenarnya berarti memperkirakan hambatan aliran pada saluran tertentu, yang benar-benar tidak dapat diperhitungkan. Untuk penentuan nilai  $n$  yang wajar diperlukan:

1. Memahami faktor-faktor yang mempengaruhi nilai  $n$ ;
2. Mencocokkan tabel dari nilai-nilai  $n$  untuk berbagai tipe saluran;
3. Memeriksa dan memahami sifat beberapa saluran yang koefisien kekasarannya telah diketahui
4. Menentukan  $n$  dengan cara analitis berdasarkan distribusi kecepatan teoritis pada penampang saluran dan data pengukuran kecepatan maupun pengukuran kekasaran.

*Tabel 1 koefisien kekasaran manning*

<b>Bahan</b>	<b>Koefisien Manning (n)</b>
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*

Penelitian dengan menganalisis pengaruh kemiringan dasar saluran atau sudut kemiringan saluran terhadap distribusi kecepatan dan debit aliran pada variasi ambang lebar menghasilkan kesimpulan bahwa semakin besar kemiringan dasar saluran atau semakin curam jatuhnya air maka semakin besar kecepatan aliran pada hilir saluran air. Perihal tersebut diperoleh dari pengukuran kedalaman aliran air pada hilir saluran

Debit aliran adalah jumlah air yang mengalir dalam saluran volume per waktu. Selain tinggi muka air salah satu faktor besar dari nilai energi spesifik adalah nilai debit. Berikut adalah data tabel yang digunakan untuk mendapat nilai debit. Nilai debit tersebut diperoleh dengan menggunakan

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

Keterangan :

$Q$  = Debit ( $m^3 /s$ )

$A$  = Luas penampang ( $m^2$  )

$V$  = Kecepatan aliran ( $m/s$ )

Dalam saluran terbuka terdapat parameter untuk menghitung dimensi aliran air yang mengalir, berikut parameter untuk menghitung dimensi pada saluran air berpenampang persegi Panjang. Tipe-tipe saluran pembentuk tersebut dibuat dengan tujuan untuk mengurangi efek penghambatan aliran air akibat turbelensi. Aliran dibagi menjadi dua jenis yaitu paksa dan bebas. Kecepatan aliran vortex dipengaruhi oleh parameter aliran air. Aliran dapat dimanfaatkan menjadi energi mekanik melalui turbin vortex.

Kecepatan aliran yang tinggi diketahui dengan mengukur ketinggian muka air aliran vortex dan diameter pusaran. Dimana semakin tinggi muka air aliran dan semakin kecil diameter menandakan semakin besar kecepatan vortex. Energi mekanik hasil konversi dari aliran memiliki hasil yang tidak sebanding dari pengukuran diameter dan tinggi muka air aliran. Perihal itu karena energi mekanik

yang dihasilkan menyesuaikan dengan turbin yang digunakan. Putaran poros turbin vortex dipengaruhi oleh luasan hantaman aliran air terhadap sudut turbin.

## **B. Kehilangan Energi**

Kehilangan energi merupakan gaya yang dihasilkan sebab akibat adanya pergerakan berupa zat padat zat cair yang berasal dari perubahan dan pergerakan. Kehilangan energi dipengaruhi oleh dimensi saluran, kemiringan dan kekasaran. Akibat dari terjadinya penyempitan itu sendiri menimbulkan pengaruh pada kehilangan energi terhadap kecepatan aliran, debit dan lain-lainnya.

Energi yang spesifik adalah tinggi tenaga dari sembarang tampang diukur dari dasar saluran. Begitu banyak factor yang dapat menimbulkan ketidakstabilan aliran air pada saluran terbuka salah satunya adalah penyempitan kontur tanah. Energi pada saluran terbuka dapat menggunakan saluran prototype sebagai penyempitan sudut yang bervariasi.

Jurnal (Akhir et al., 2017) menyatakan bahwa kehilangan energi ( $\Delta E$ ) adalah selisih antara energi pra-konstriksi dan pasca-konstriksi, atau besarnya kehilangan energi atau berkurangnya aliran air di dalam saluran. Kehilangan energi sangat dipengaruhi oleh dimensi saluran, kemiringan, dan kekasaran, dan aliran air mengalami perubahan energi (kerugian) karena faktor-faktor tersebut.

Tinggi muka air adalah salah satu peranan yang mempengaruhi besardari energi. Merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi besarnya nilai energi.

Tinggi rendahnya muka air dipengaruhi oleh beberapa faktor antarlain adalah kemiringan dasar saluran, lebar saluran, debit air, dan lain - lain.

Pada hukum kontinuitas, tinggi muka air dapat meningkat bila terjadi peralihan lebar penampang yang semakin menyempit. Bertambahnya tinggi muka air diharapkan dapat meningkatkan nilai energi spesifik aliran

Energi pada tampang lintang saluran, yang dihitung terhadap dasar saluran disebut dengan energi spesifik atau tinggi spesifik. Pengertian dari energi spesifik adalah tinggi tenaga pada sembarang tampang yang diukur dari dasar saluran (Saleh et al., 2019) Laju aliran merupakan salah satu faktor yang memengaruhi nilai energi. Jadi energi spesifik adalah jumlah dari energi tekanan dan energi kecepatan di suatu titik. Tinggi rendahnya laju aliran dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti limpasan air, lebar saluran, dan kemiringan saluran. Mengacu pada hukum kontinuitas, menurut hukum ini, kecepatan aliran dapat meningkat ketika ekspansi atau kontraksi kanal. Peningkatan laju aliran diharapkan dapat meningkatkan nilai energi spesifik aliran (Akhir et al., 2017). Kandungan energi spesifik dapat dirumuskan sebagai berikut (Robert J. Kodoatie, 2002).

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

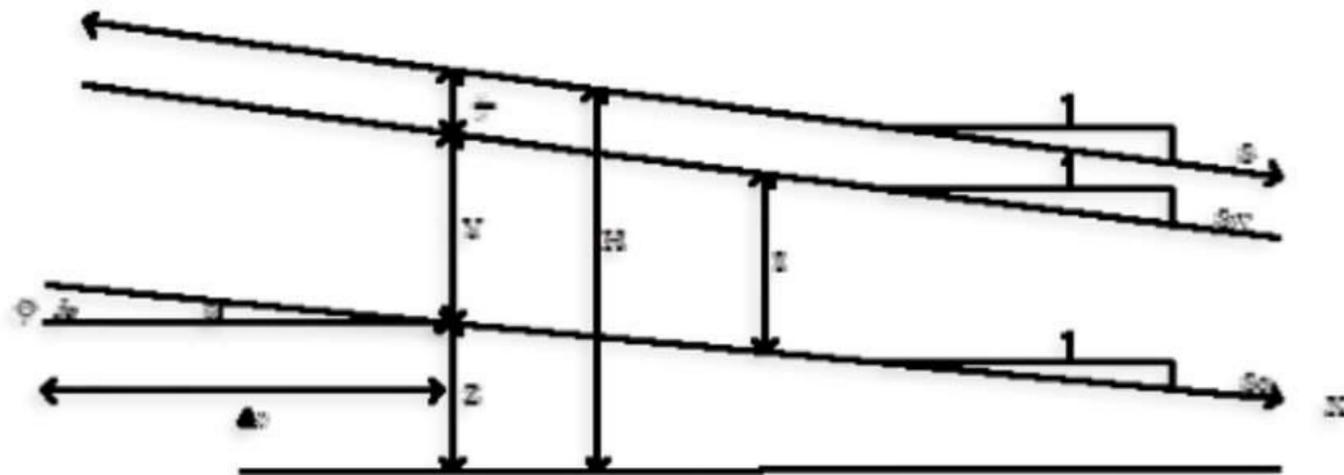
Keterangan :

E = Energi spesifik

V = kecepatan aliran

g = percepatan gravitasi

ah = Tinggi muka air



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

Diasumsikan bahwa dasar saluran memiliki kemiringan yang kecil atau tidak sama sekali. Diasumsikan bahwa Z adalah kedalaman sungai, dan faktor koreksi energi ( $\alpha$ ). Energi spesifik pada penampang tertentu dihitung sebagai energi total pada penampang tersebut dengan menggunakan dasar saluran sebagai referensi. (Aribawa, 2003) Persamaan energi umum adalah :

$$H = z + h \cos \theta + \alpha \frac{Q^2}{2gA^3} \dots \dots \dots (4)$$

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 :

$$E = \frac{Q^2}{2gA^3} + h \dots \dots \dots (6)$$

Keterangan :

$H$  = tinggi enegi

$z$  = tinggi suatu titik terhadap bidang referensi (cm)

$\alpha$  = 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 (cm<sup>2</sup>)

$g$  = percepatan gravitasi

$Q$  = debit (cm<sup>3</sup>/det)

### C. Kemiringan Dasar Saluran

Kemiringan dasar saluran adalah salah satu factor yang terjadi karena adanya pengaruh gravitasi terhadap kecepatan aliran yang bisa bertambah atau berkurang. Apabila kemiringan dasar salurannya begitu curam maka pengaruh kecepatan aliran bertambah akibat adanya pengaruh gravitasi. Kecepatan aliran juga berdampak pada indikator bahwa aliran memiliki energi yang besar atau kecil, akibat dari kehilangan energi ini mampu mengakibatkan terjadinya proses transport 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)

t<sub>1</sub> = elevasi di titik awal/bagian tinggi (m)

t<sub>2</sub> = elevasi di titik akhir/bagian rendah (m)

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

Sungai merupakan salah satu sumber air permukaan yang banyak dimanfaatkan, hal ini disebabkan karena pertimbangan kuantitas airnya yang cukup melimpah dan kemudahannya dalam memanfaatkan. Pemanfaatan air sungai dapat dilakukan secara langsung atau dengan menggunakan bangunan-bangunan tertentu, seperti bangunan bendung dan bendungan. memungkinkan adanya pengelolaan (management) air sungai secara lebih baik.

Untuk memenuhi kebutuhan air yang tidak terlalu banyak, pemanfaatan air sungai secara langsung (free intake) sudah mencukupi. Namun, seiring dengan laju pertumbuhan penduduk, serta peningkatan jumlah dan jenis kegiatan untuk memenuhi berbagai kebutuhan air, diperlukan pembangunan bangunan tertentu untuk pemanfaatan sumber daya airnya secara lebih luas. Adanya sarana bangunan air memungkinkan adanya pengelolaan (management) air sungai secara lebih baik.

Analisa saluran terdapat kapasitas angkut tertentu yang harus dipenuhi oleh dasar saluran untuk digunakan sebagai pemasok material dasar. Laju angkut yang bervariasi secara signifikan terhadap debit air. Oleh sebab itu, penting ketika memantau muatan sedimen apabila dalam kondisi banjir. Pengukuran debit aliran pada saluran, umumnya menggunakan alat berupa ambang lebar, Thomson, ambang tajam dan pintu sorong. Keberadaan kapasitas angkut memiliki banyak factor yang dapat menimbulkan ketidakstabilan aliran air pada saluran terbuka, perubahan debit berubah karena pergerakan air. Tinggi rendahnya kecepatan aliran dipengaruhi beberapa factor diantaranya kemiringan saluran, debit air dan lain-lainnya.

Hidrolika adalah ilmu yang mempelajari aliran studi hidrolika mengalir melalui saluran air. Saluran-saluran ini terbagi menjadi dua jenis aliran yaitu aliran saluran terbuka dan aliran saluran/pipa tertutup. Kecepatan aliran yang melalui saluran terbuka dapat ditahan tergantung dari kekasaran lereng dan besar kecilnya saluran yang dihasilkan. Besarnya tahanan yang timbul dapat ditentukan dengan mengetahui besarnya koefisien kekasaran untuk setiap jenis bahan dasar pembuatan dinding saluran.

Penentuan koefisien kekasaran sangat penting untuk menentukan distribusi aliran yang direncanakan pada suatu badan air. Di bawah pengaruh faktor-faktor ini, terutama perbedaan kekasaran dasar saluran dan kemiringan saluran yang berbeda, juga terjadi perbedaan nilai koefisien  $C$ .

Aliran clear water yang mengalir pada saluran atau sungai dengan dasar gravel, akan mengangkut sedimen sampai dengan tercapai kondisi dasar yang statis. Sedimen yang terangkut terhambat pergerakannya di permukaan yang kasar, mengakibatkan sebagian sedimen tetap tertahan atau berlindung diantara rongga-rongga butir. Butiran tersebut memiliki ukuran sedimen berdiameter besar, sebagai armour layer pada sedimen halus di bawahnya.

Armour layer memiliki ukuran butir yang hamper seragam, namun bergradasi butir yang bervariasi diantara butiran penyusunnya. Struktur armour layer yang terbentuk, didasarkan pada besarnya tegangan geser dasar selama proses degradasi, yang digambarkan pada grafik distribusi grain size. Nampak bahwa struktur lapisan armour memiliki ukuran butir yang lebih besar dari pada lapisan di bawahnya (substrate). Butiran armour akan menghambat gerak sedimen yang melintas sehingga terjadi pertukaran butir antar fraksi disekitar rongga lapisan armour pada peristiwa interlocking dan placement sedimen yang bergerak pada aliran rendah.

Para pakar sedimen seperti Wilcock (2001) menyebutkan bahwa pembentukan armour layer didasarkan pada perbedaan tegangan geser yang terjadi pada fraksi pasir dan gravel. Wilcock (2003) mengembangkan suatu hubungan antara bedload dengan lapisan armour serta substrate yang tergambar pada distribusi grain size secara keseluruhan, termasuk adanya butir pasir yang mengisi gravel pada saat terjadi angkutan sedimen. Curran and Wilcock (2005) melakukan eksperimen flume dengan intensitas debit yang besar dan mengukur bedload yang terangkut dan tertinggal di lapisan armour. Curran dan Tan (2010) meneliti

tentang formasi klaster armouring. Struktur armour layer yang terbentuk merupakan campuran gravel dan pasir yang tersortir secara periodic

#### **D. Saluran Terbuka**

Dalam keilmuan hidrologi terdapat dua macam saluran jika dilihat dari jenisnya, yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup. Perbedaan mendasar dari dua jenis saluran tersebut adalah adanya permukaan bebas pada saluran terbuka, sedangkan pada saluran tertutup seluruh penampang dilewati cairan sehingga tidak ada permukaan bebas. Dengan demikian saluran terbuka pada umumnya mempunyai permukaan bebas yang terhubung langsung dengan atmosfer, sehingga memiliki karakteristik aliran yang lebih kompleks karena banyaknya variable yang terlibat. Meskipun demikian, model saluran terbuka lebih banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari selokan rumah tangga hingga kanal sungai, baik yang alami maupun buatan.

Mekanika aliran saluran terbuka lebih sulit dibanding dengan mekanika saluran tertutup. Pada aliran saluran tertutup tidak terdapat permukaan bebas sehingga tidak terdapat pengaruh langsung dari tekanan atmosfer, pengaruh yang ada hanyalah tekanan hidraulik yang besarnya dapat lebih besar atau lebih kecil daripada tekanan atmosfer. Saluran terbuka dengan menggunakan model prototype sebagai penyempitan bersudut yang bervariasi dan menggunakan alat ukur debit Thompson V-notch sebagai penunjang penelitian ini.

Saluran terbuka adalah saluran di mana air mengalir dengan muka air bebas (free surface), (Henderson, F,M, 1966). Kajian tentang perilaku aliran di kenal dengan mekanika fluida (fluid mechanics). Hal ini menyangkut sifat-sifat fluida dan pengaruhnya terhadap pola aliran dan gaya yang akan timbul di antara fluida dan pembatas (dinding). Telah di ketahui secara umum bahwa akibat adanya perilaku terhadap aliran untuk memenuhi kebutuhan manusia, menyebabkan terjadinya perubahan alur aliran dalam arah horizontal maupun vertikal.

(Ven Te Chow, 1992) menjelaskan mengenai saluran terbuka yaitu merupakan saluran yang mengalirkan air dengan permukaan bebas. Saluran terbuka dapat terjadi dalam bentuk yang bervariasi cukup besar, mulai dari aliran di atas permukaan tanah yang terjadi pada waktu hujan, sampai aliran dengan kedalaman air konstan dalam saluran prismatic. Permasalahan terkait aliran pada saluran terbuka banyak di jumpai dalam aliran sungai, aliran saluran-saluran irigasi, aliran saluran pembuangan dan saluran-saluran lain dalam bentuk dan kondisi geometrinya bermacam-macam. mengklasifikasikan saluran terbuka menjadi dua yaitu sebagai saluran buatan (artificial) dan saluran alami (natural), tergantung pada apakah penampangnya adalah buatan manusia atau sebaliknya

(K.G. Ranga Raju, 1986). Sungai dan muara adalah contoh dari saluran alami, sedangkan pembuangan air yang mengalir sebagian penuh dan saluran irigasi termasuk dalam kategori saluran buatan. Penggolongan dalam saluran terbuka berdasarkan aliran air dengan permukaan bebas oleh (Ven Te Chow,1992), membagi saluran menjadi dua yang pertama saluran alam (natural)

yang dapat di sebut sebagai aliran bawah tanah dengan permukaan bebas seperti, anak selokan kecil di pegunungan, selokan kecil, kali, sungai kecil dan sungai besar. Yang kedua yaitu saluran buatan (artificial) yang merupakan saluran yang di buat oleh manusia yang di atur menurut keinginan atau di rancang untuk memenuhi persyaratan tertentu dengan menerapkan teori hidrolika.

- a. Saluran alamiah (natural channel) Saluran yang terbentuk secara alami tanpa campur tangan manusia. Contohnya
- b. Saluran buatan (artificial channel) Yaitu saluran yang di buat dan di rencanakan oleh manusia. Contoh : saluran drainase tepi jalan, dan saluran irigasi untuk mengairi persawahan.

Aliran pada saluran terbuka berbeda dengan aliran air pada saluran tertutup, pada saluran terbuka aliran hanya mempunyai kontak pada dinding dan dasar saluran. Saluran terbuka dapat berupa saluran alamiah atau buatan, dan galian tanah dengan atau tanpa lapisan penahan.

### 1. Geometri Saluran

(Van Te chow 1992) sebuah parit dengan penampang yang tidak berubah dan kemiringan dasar yang tetap disebut parit prismatic. Kalau tidak, kita berbicara tentang saluran non-prisma. Penampang saluran adalah penampang yang tegak lurus terhadap aliran. Penampang saluran ini adalah pemeriksaan untuk menentukan bentuk saluran.

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

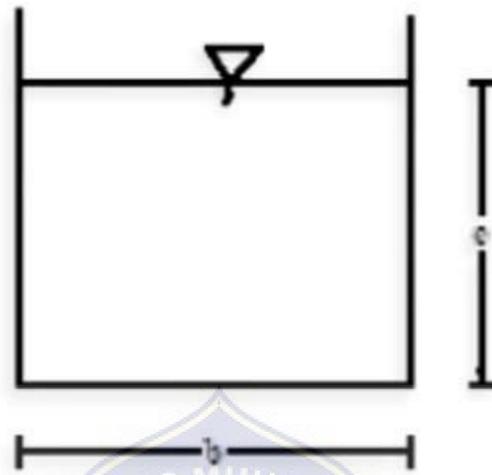
- a. Bentuk saluran persegi Fungsi dari bentuk saluran tersebut adalah untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar. Sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi yang sangat kecil.
- b. Bentuk saluran trapesium Yaitu berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasan air hujan dengan debit yang besar. Sifat alirannya terus menerus dengan fluktuasi yang kecil. Bentuk saluran ini dapat di gunakan pada daerah yang masih cukup tersedia lahan.
- c. Bentuk saluran segitiga Saluran ini berfungsi untuk menampung dan menyalurkan limpasn air hujan untuk debit yang kecil. Bentuk ini di gunakan pada lahan terbatas.
- d. Bentuk saluran stengah lingkaran Saluran ini berfungsi untuk menyalurkan limpasan air hujan untuk debit yang kecil. Bentuk saluran ini biasanya di gunakan untuk saluran rumah penduduk dan pada sisi jalan perumahan yang padat.



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

Geometri Saluran Penampang saluran (channel setion) merupakan penampang melintang yang tegak lurus terhadap arah aliran. (Chow 1989). Penampang saluran inilah yang menjadi tinjauan untuk menentukan geometri saluran.

Penampang saluran alam sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai dengan trapesium. Sedangkan penampang saluran buatan biasanya dirancang berdasarkan bentuk geometris yang umum. Seperti di dalam penelitian ini digunakan asumsi penampang saluran berbentuk persegi Panjang dapat dilihat pada gambar 3 di bawah ini.



**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<sup>2</sup>)

P = Keliling basah (m)

R = Jari-jari hidrolis (m)

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Tinggi dan kedalaman air (m)

## 2. Klasifikasi Aliran

### a. Jenis Aliran

Dalam Buku Ajar Hidraulika, oleh (Erizal, M. Agr, 2013) , Aliran permukaan bebas dapat diklasifikasikan menjadi berbagai tipe tergantung kriteria yang digunakan. Berdasarkan perubahan kedalaman atau kecepatan mengikuti fungsi waktu , aliran dibedakan menjadi aliran permanen (steady) dan tidak permanen (unsteady), sedangkan berdasarkan fungsi ruang, aliran dibedakan menjadi aliran seragam (uniform) dan tidak seragam (non-uniform).

#### 1) Aliran Permanen dan Tidak Permanen

Jika kecepatan aliran pada suatu titik tidak berubah terhadap waktu, maka alirannya disebut aliran permanen atau tunak (steady flow), jika kecepatan pada suatu lokasi tertentu berubah terhadap waktu maka alirannya disebut aliran tidak permanen atau tidak tunak (unsteady flow).

(Darmulia, 2012) Dalam hal-hal tertentu dimungkinkan mentransformasikan aliran tidak permanen menjadi aliran permanen dengan mengacu pada koordinat referensi yang bergerak. Penyederhanaan ini menawarkan beberapa keuntungan, seperti kemudahan visualisasi, kemudahan penulisan persamaan yang terkait, dan sebagainya. Penyederhanaan ini hanya mungkin jika bentuk gelombang tidak berubah dalam perambatannya. Misalnya, bentuk gelombang kejut (surge) tidak berubah ketika merambat pada saluran halus, dan konsekuensinya perambatan kejut.

Hal tersebut di ekuivalen dengan pengamat yang bergerak disamping gelombang kejut sehingga gelombang kejut terlihat stasioner atau tetap oleh pengamatan sehingga aliran dapat dianggap sebagai aliran permanen. Jika bentuk gelombang berubah selama perambatannya, maka tidak mungkin mentransformasikan gerakan gelombang tersebut menjadi aliran permanen. Misalnya gelombang banjir yang merambat pada sungai alamiah tidak dapat ditransformasikan menjadi aliran permanen, karena bentuk gelombang termodifikasi dalam perjalanannya sepanjang sungai.

## 2) Aliran Seragam dan Tidak Seragam

Jika kecepatan aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang saluran yang ditinjau, maka alirannya disebut aliran seragam (uniform flow). Namun, jika kecepatan aliran pada saat tertentu berubah terhadap jarak, alirannya disebut aliran tidak seragam atau aliran berubah (nonuniform flow or varied flow). Hal tersebut bergantung pada laju perubahan kecepatan terhadap jarak, aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran berubah lambat laun (gradually varied flow) atau aliran berubah tiba-tiba (rapidly varied flow).

Aliran seragam dianggap memiliki ciri-ciri pokok sebagai berikut :

- a) Kedalaman luas basah, kecepatan dan debit pada setiap penampang pada bagian saluran yang lurus adalah konstan.
- b) Garis energi, muka air dan dasar saluran saling sejajar berarti kemiringannya sama atau  $S_f = S_w = S_o = S$ .

Aliran seragam dianggap sebagai suatu aliran permanen (steady flow). Aliran dalam saluran terbuka di katakan permanen bila kedalaman aliran tidak berubah atau di anggap konstan selama selang waktu tertentu.

Bila air mengalir dalam saluran terbuka, maka air akan mengalami hambatan saat mengalir ke hilir. Hambatan ini biasanya di lawan oleh komponen gaya berat yang bekerja dalam air dalam arah gerakanya. Aliran seragam akan terjadi bila hambatan ini seimbang dengan gaya berat. Besarnya tahanan bila faktor-faktor lain dari saluran di anggap tidak berubah, tergantung pada kecepatan aliran. Bila air memasuki saluran secara perlahan, kecepatan mengecil dan oleh karenanya hambatannya juga mengecil dan hambatan lebih kecil dari gaya berat sehingga terjadi aliran percepatan di bagian yang lurus di sebelah hulu.

Kecepatan rata-rata aliran seragam dalam saluran terbuka biasanya dinyatakan dengan perkiran yang dikenal dengan rumus aliran seragam. (uniform flow formula). Kecepatan dan hambatan akan meningkatkan lambat laun sampai terjadi keseimbangan antara hambatan dan gaya-gaya berat. Pada keadaan ini dan selanjutnya aliran menjadi seragam. Bagian lurus di hulu yang di perlukan untuk membentuk aliran seragam di kenal sebagai zona peralihan (transitory zone). Dalam zona ini di aliran di percepat dan berubah. Bila saluran lebih pendek daripada panjang peralihan yang di perlukan untuk kondisi yang di tetapkan, maka tidak dapat terjadi seragam.

Pada bagian hilir saluran, hambatan mungkin akan terjadi lebih kecil dari gaya berat, sehingga aliran menjadi tidak seragam lagi atau berubah. Untuk menjelaskan hal ini, di perhatikan suata saluran panjang dengan tiga jenis kemiringan yaitu subkritis, kritis dan superkritis.

Pada kemiringan subkritis permukaan air di zona peralihan tampak bergelombang. Aliran di bagian tengah saluran bersifat seragam namun kedua ujungnya bersifat berubah. Pada kemiringan kritis permukaan air dari aliran kritis ini tidak stabil. Di bagian tengah dapat terjadi gelombang tetapi kedalaman rata-ratanya konstan dan alirannya dapat di anggap seragam. Pada kemiringan subkritis permukaan air beralih dari keadaan subkritis menjadi superkritis setelah melalui terjunan hidrolis, lambat laun di hilir zona peralihan aliran mendekati seragam. Kedalaman aliran seragam di sebut kedalaman normal (normal depth).

#### **E. Metode Regresi Linear Berganda**

Model regresi linier berganda merupakan suatu persamaan yang menggambarkan hubungan antara dua atau lebih variabel bebas/ *predictor* ( $X_1, X_2, \dots, X_n$ ) dan satu variabel tak bebas/ *response* ( $Y$ ). 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. Menentukan persamaan regresi linear berganda ini menggunakan dua metode, yaitu Persamaan regresi linier berganda secara

matematik dan Persamaan regresi linier berganda secara pengolahan data software statistic.

### 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:

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

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

b. 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 :

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

Nilai  $r$  :  $-1 \leq r \leq +1$ . Semakin mendekati nilai  $+1$  atau  $-1$ , maka semakin kuat hubungan yang

c. 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) ( $r_{12.Y}$ )

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

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

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

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

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

Kesalahan Baku Estimasi (*Standart Error Estimate*)

Standar error estimasi digunakan untuk menentukan apakah persamaan regresi yang dibentuk cocok untuk memperkirakan/memprediksi variabel respon Y. Jika standar errornya besar maka persamaan regresi yang terbentuk tidak sesuai untuk estimasi. Hal ini disebabkan selisih estimasi variabel respon Y dengan nilai Y sebenarnya menjadi besar. Secara matematis, kesalahan standar estimasi dinyatakan sebagai:

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

## 2. Persamaan regresi linier berganda pengolahan data software statistic.

Pengujian hipotesis bertujuan untuk mengetahui apakah suatu hipotesis valid, diterima atau ditolak. Hipotesis adalah asumsi atau pernyataan yang mungkin benar atau salah tentang suatu populasi. Dengan melihat keseluruhan populasi, Anda dapat merumuskan hipotesis yang dapat membantu menentukan

apakah penelitian Anda benar atau salah. Untuk alasan praktis, sampel acak ketika diuji hipotesis mengandung asumsi/ Pernyataan yang disebut hipotesis nol. Hipotesis yang akan diuji dinotasikan  $H_0$ , dan penolakan terhadap  $H_0$  diartikan sebagai diterimanya hipotesis lain yang dinotasikan  $H_1$ .

Setelah koefisien determinasi ( $r^2$ ) ditentukan, langkah selanjutnya adalah menguji hipotesis yang diajukan (misalkan dalam penelitian). Hal ini dapat dilakukan dengan menggunakan Uji-t ; Uji-F ; Uji-z atau Uji Chi Kuadrat. Uji ini dimaksudkan untuk mengetahui apakah variabel bebas/ predictor/ independen (X) berpengaruh secara signifikan terhadap variabel terikat/ response/ dependen (Y). Signifikan berarti bahwa pengaruh yang terjadi berlaku untuk seluruh populasi.



### BAB III

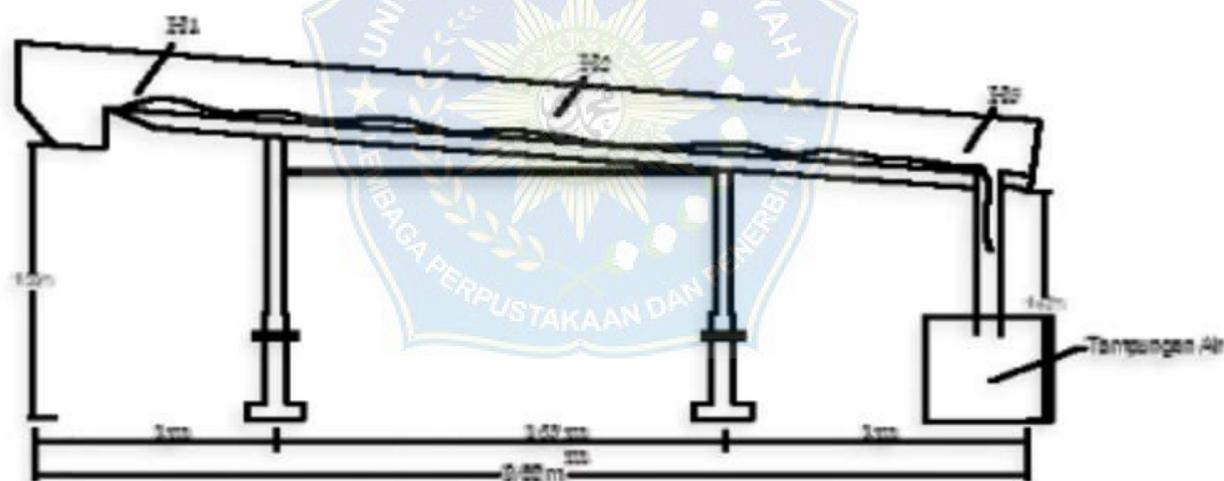
#### METODE PENELITIAN

##### A. Tempat Dan Waktu Penelitian

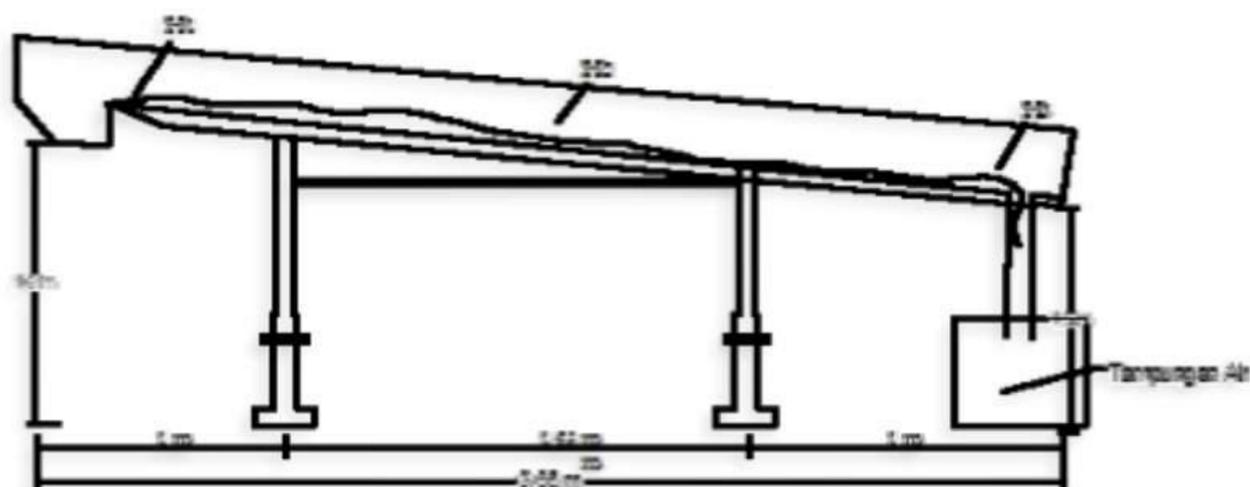
Penelitian ini akan di laksanakan di laboratorium Hidraulika Fakultas Teknik Universtas Muhammadiyah Makassar, penelitian di lakukan pada tanggal 1-31 Agustus 2023 dengan melakukan pelaksanaan penelitian dan pengolahan data.

##### B. Model Saluran

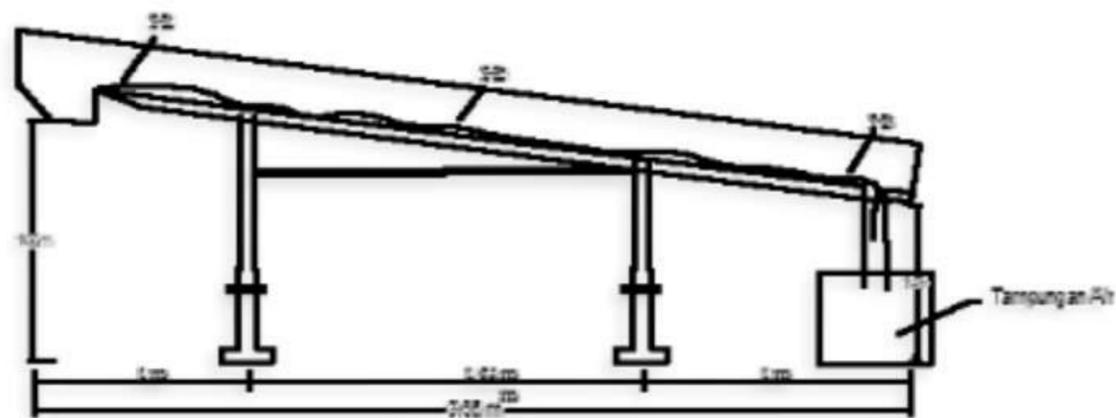
Pada penelitian ini menggunakan saluran flume yang di variasikan dengan 2 bentuk kemiringan dasar yaitu kemiringan dasar  $1^\circ$ , kemiringan dasar  $2^\circ$  dan kemiringan dasar  $3^\circ$



Gambar 4. Denah saluran flume dengan kemiringan dasar  $1^\circ$



Gambar 5. Denah saluran flume dengan kemiringan dasar  $2^\circ$



**Gambar 6.** Denah saluran flume dengan kemiringan dasar  $3^\circ$

### C. Alat Dan Bahan

#### 1. Alat

- a. Flume, digunakan sebagai tempat aliran
- b. 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

#### 2. Bahan

- a. Air
- b. Bak air

### D. Variabel Bebas

1. Variabel bebas yaitu variabel penyebab
  - a. Kecepatan Aliran ( $V$ )
  - b. Waktu ( $t$ )
  - c. Tinggi muka air ( $h$ )
  - d. kemiringan dasar saluran ( $S$ )

e. Panjang saluran (L)

f. Lebar saluran (b)

### **E. Variabel Terikat**

1. Kehilangan energi (E)

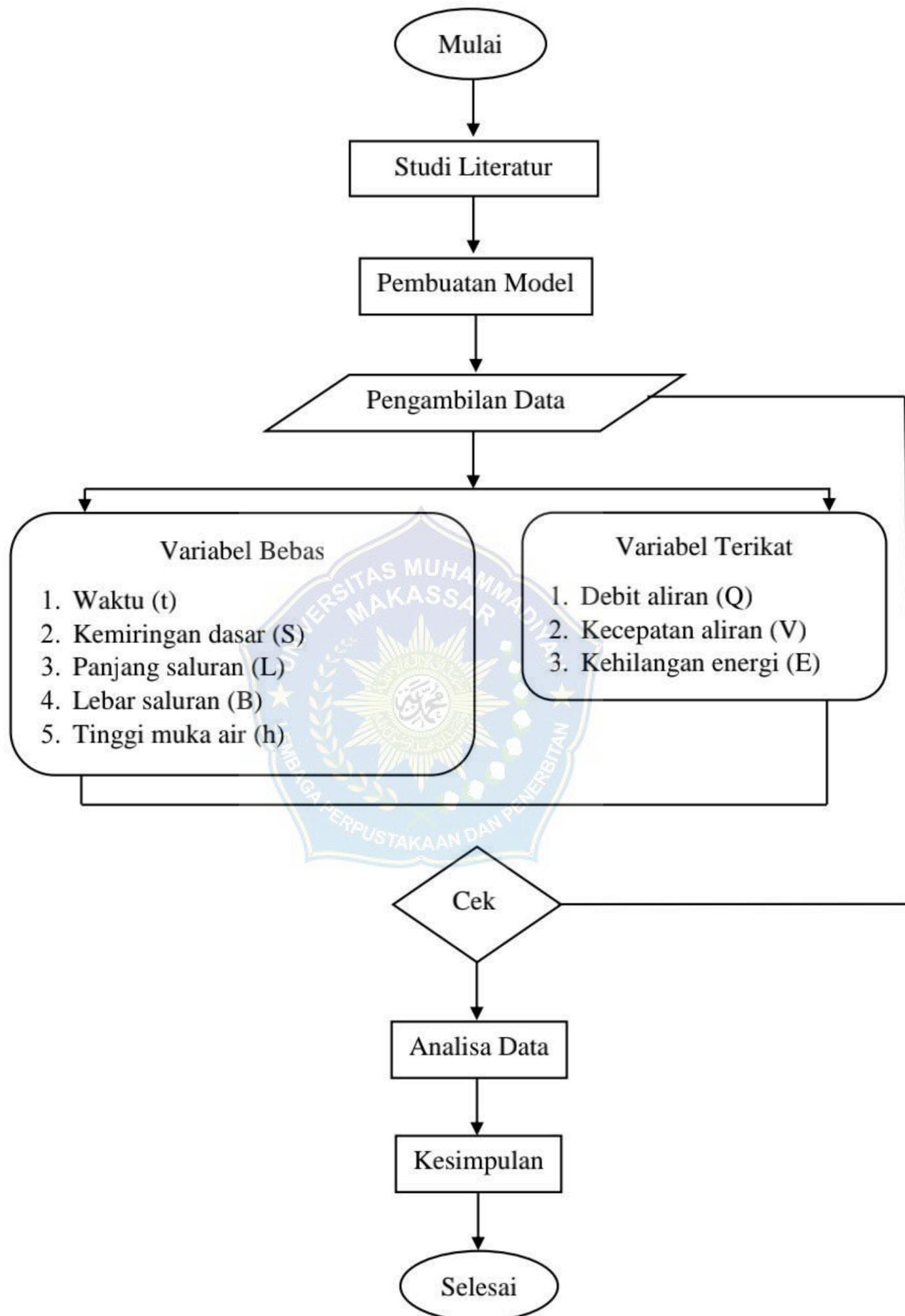
2. Debit (Q)

### **F. Pelaksanaan Penelitian**

Langkah kerja dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Memastikan peralatan sudah terpasang dengan benar sebelum pelaksanaan penelitian.
2. Mengatur kemiringan pada flume sesuai perencanaan awal.
3. Kemiringan dasar saluran di atur dengan ukuran yang bervariasi sesuai dengan ukuran yang terdapat pada flume.
4. Menghidupkan pompa air dengan debit tertentu.
5. Lakukan proses pengambilan data pada setiap variasi kemiringan telah di tentukan.
6. Mencatat data-data penelitian yang di perlukan.
7. Mengukur kedalaman aliran dan kecepatan aliran saat running.
8. Analisis data dari hasil pengamatan laboratoriu yang telah di lakukan.

### G. Flowchart Penelitian



Gambar 7. Flowchart

## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Deskripsi Data

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  $1^\circ$ , kemiringan saluran  $2^\circ$  dan kemiringan saluran  $3^\circ$ .

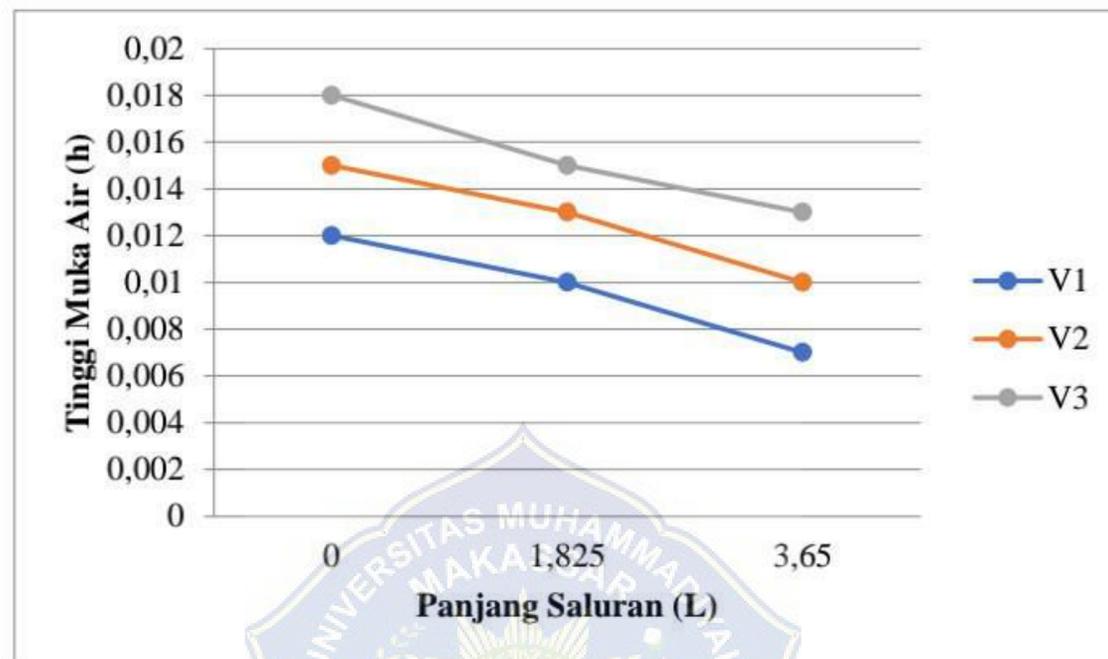
#### 1. Analisis Data

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 2, 3, dan 4 berikut ini:

**Tabel 2.** Tinggi muka air dan waktu tempuh bola pancing pada kemiringan Saluran  $1^\circ$

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 (1/3)	0.012	0.010	0.007	0.010	6.11	3.65	0.08
	0.012	0.011	0.007	0.010	6.14	3.65	0.08
	0.013	0.010	0.008	0.010	6.15	3.65	0.08
Q2 (2/3)	0.015	0.013	0.010	0.013	5.48	3.65	0.08
	0.016	0.014	0.010	0.013	5.48	3.65	0.08
	0.015	0.014	0.011	0.013	5.50	3.65	0.08
Q3 (Full)	0.018	0.015	0.013	0.015	5.35	3.65	0.08
	0.018	0.015	0.013	0.015	5.22	3.65	0.08
	0.018	0.016	0.014	0.016	5.31	3.65	0.08

Berdasarkan tabel 2 menunjukkan bahwa tinggi muka air terbesar pada  $Q_3$  yaitu  $h_2 = 0.018$  m dan terendah pada  $Q_1$  yaitu  $h_1 = 0.007$  m sedangkan waktu tempuh bola pimpong dengan panjang saluran  $L = 3.65$  m terbesar pada  $Q_1$  yaitu  $t = 6.15$  det dan terendah pada  $Q_3$  yaitu  $t = 5.22$  det.



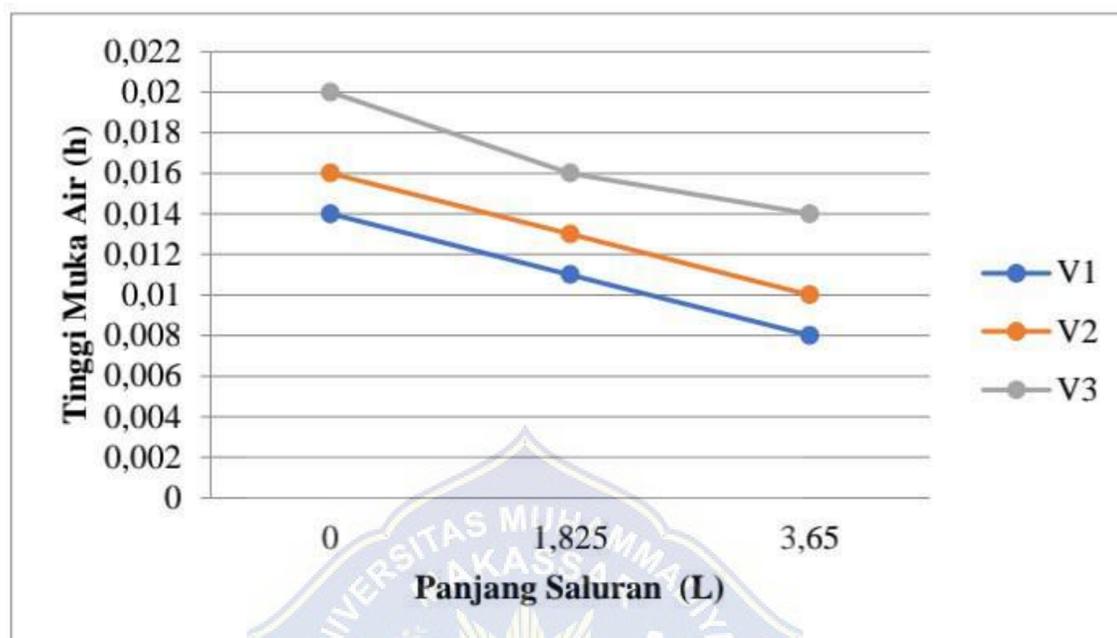
**Gambar 8.** Grafik tinggi muka air kemiringan saluran  $1^\circ$

Berdasarkan gambar 11 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.** Tinggi muka air dan waktu tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran  $2^\circ$

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 (1/3)	0.014	0.011	0.008	0.011	5.50	3.65	0.08
	0.014	0.012	0.008	0.011	5.48	3.65	0.08
	0.014	0.012	0.008	0.011	5.49	3.65	0.08
Q2 (2/3)	0.016	0.013	0.010	0.013	5.21	3.65	0.08
	0.017	0.014	0.011	0.014	5.20	3.65	0.08
	0.018	0.015	0.011	0.014	5.21	3.65	0.08
Q3 (Full)	0.020	0.016	0.014	0.017	5.08	3.65	0.08
	0.020	0.016	0.014	0.017	5.06	3.65	0.08
	0.021	0.017	0.015	0.018	5.10	3.65	0.08

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa tinggi muka air terbesar pada  $Q_3$  yaitu  $h_2 = 0.021$  m dan terendah pada  $Q_1$  yaitu  $h_1 = 0.008$  m sedangkan waktu tempuh bola pimpong dengan panjang saluran  $L = 3.65$  m terbesar pada  $Q_1$  yaitu  $t = 5.50$  det dan terendah pada  $Q_3$  yaitu  $t = 5.06$  det.



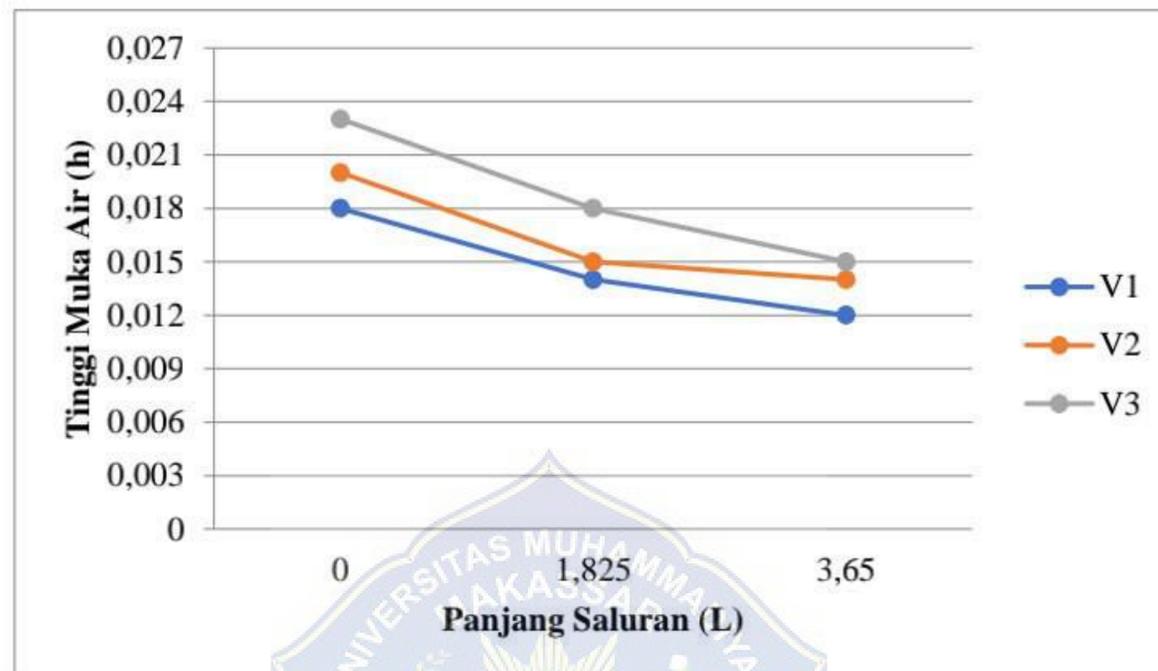
**Gambar 9.** Grafik tinggi muka air kemiringan saluran  $2^\circ$

Berdasarkan gambar 12 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 4.** Tinggi muka air dan waktu tempuh bola pimpong pada kemiringan Saluran  $3^\circ$

Debit ( $m^3/det$ )	Tinggi muka air (h)				Waktu (t) (det)	Panjang Saluran (L) (m)	Lebar Saluran (B) (m)
	$h_0$ (m)	$h_1$ (m)	$h_2$ (m)	$\bar{h}$ (m)			
Q1 (1/3)	0.018	0.014	0.012	0.015	5.10	3.65	0.08
	0.018	0.014	0.013	0.015	5.08	3.65	0.08
	0.018	0.015	0.013	0.015	5.09	3.65	0.08
Q2 (2/3)	0.020	0.015	0.014	0.016	4.46	3.65	0.08
	0.020	0.016	0.014	0.017	4.45	3.65	0.08
	0.020	0.016	0.014	0.017	4.43	3.65	0.08
Q3 (Full)	0.023	0.018	0.015	0.019	4.21	3.65	0.08
	0.023	0.018	0.015	0.019	4.22	3.65	0.08
	0.024	0.019	0.015	0.019	4.22	3.65	0.08

Berdasarkan tabel 3 menunjukkan bahwa tinggi muka air terbesar pada  $Q_3$  yaitu  $h_2 = 0.021$  m dan terendah pada  $Q_1$  yaitu  $h_1 = 0.008$  m sedangkan waktu tempuh bola pimpong dengan panjang saluran  $L = 3.65$  m terbesar pada  $Q_1$  yaitu  $t = 5.50$  det dan terendah pada  $Q_3$  yaitu  $t = 5.06$  det.



**Gambar 10.** Grafik tinggi muka air kemiringan saluran  $3^\circ$

Berdasarkan gambar 13 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 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,  $A = 3.65 \times 0.010 = 0.0365 \text{ m}^2$ , keliling basah sesuai persamaan 9 pada bab II,  $P = 3.65 + 2 \times 0.010 = 3.670 \text{ m}$ , dan jari-jari hidrolis sesuai persamaan 10 pada bab II,  $R = \frac{A}{P} = \frac{0.0365}{3.670} = 0.010 \text{ m}$ . Untuk nilai luas penampang basah, keliling basah, dan jari-jari hidrolis saluran setiap

kemiringan saluran  $1^\circ$  , kemiringan saluran  $2^\circ$  dan kemiringan saluran  $3^\circ$  dapat dilihat pada tabel 5, 6, dan 7 berikut ini:

**Tabel 5.** analisis hidrolis pada kemiringan saluran  $1^\circ$

Debit ( $m^3/det$ )	Lebar Saluran (B) (m)	Luas Penampang (A) ( $B \cdot h$ )	Keliling Basah (P) ( $B+2 \cdot h$ )	Jari-Jari Hidrolis (R) ( $A/P$ )
Q1 (1/3)	0.08	0.0008	0.100	0.008
	0.08	0.0008	0.100	0.008
	0.08	0.0008	0.100	0.008
Q2 (2/3)	0.08	0.0010	0.106	0.010
	0.08	0.0010	0.106	0.010
	0.08	0.0010	0.106	0.010
Q3 (Full)	0.08	0.0012	0.110	0.011
	0.08	0.0012	0.110	0.011
	0.08	0.0013	0.112	0.011

Berdasarkan tabel 5 menunjukkan bahwa luas penampang basah, keliling basah dan jari-jari hidrolis terbesar pada  $Q_3$  yaitu  $A = 0.0013 \text{ m}^2$ ,  $P = 0.112 \text{ m}$  dan  $R = 0.011 \text{ m}$  sedangkan terendah pada  $Q_1$  yaitu  $A = 0.0008 \text{ m}^2$ ,  $P = 0.100 \text{ m}$  dan  $R = 0.008 \text{ m}$ . 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  $2^\circ$

Debit ( $m^3/det$ )	Lebar Saluran (B) (m)	Luas Penampang (A) ( $B \cdot h$ )	Keliling Basah (P) ( $B+2 \cdot h$ )	Jari-Jari Hidrolis (R) ( $A/P$ )
Q1 (1/3)	0.08	0.0009	0.102	0.009
	0.08	0.0009	0.102	0.009
	0.08	0.0009	0.102	0.009
Q2 (2/3)	0.08	0.0010	0.106	0.010
	0.08	0.0011	0.108	0.010
	0.08	0.0011	0.108	0.010
Q3 (Full)	0.08	0.0014	0.114	0.012
	0.08	0.0014	0.114	0.012
	0.08	0.0014	0.116	0.012

Berdasarkan tabel 6 menunjukkan bahwa luas penampang basah, keliling basah dan jari-jari hidrolis terbesar pada  $Q_3$  yaitu  $A = 0.0014 \text{ m}^2$ ,  $P = 0.116 \text{ m}$  dan  $R = 0.012 \text{ m}$  sedangkan terendah pada  $Q_1$  yaitu  $A = 0.0009 \text{ m}^2$ ,  $P = 0.102 \text{ m}$  dan  $R = 0.009 \text{ m}$ . Dalam hal ini analisis hidrolis dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar analisis hidrolis yang dihasilkan.

**Tabel 7.** analisis hidrolis pada kemiringan saluran  $3^\circ$

Debit ( $\text{m}^3/\text{det}$ )	Lebar Saluran (B) (m)	Luas Penampang (A) ( $B \cdot h$ )	Keliling Basah (P) ( $B + 2 \cdot h$ )	Jari-Jari Hidrolis (R) ( $A/P$ )
Q1 (1/3)	0.08	0.0012	0.110	0.011
	0.08	0.0012	0.110	0.011
	0.08	0.0012	0.110	0.011
Q2 (2/3)	0.08	0.0013	0.112	0.011
	0.08	0.0014	0.114	0.012
	0.08	0.0014	0.114	0.012
Q3 (Full)	0.08	0.0015	0.118	0.013
	0.08	0.0015	0.118	0.013
	0.08	0.0015	0.118	0.013

Berdasarkan tabel 6 menunjukkan bahwa luas penampang basah, keliling basah dan jari-jari hidrolis terbesar pada  $Q_3$  yaitu  $A = 0.0015 \text{ m}^2$ ,  $P = 0.118 \text{ m}$  dan  $R = 0.013 \text{ m}$  sedangkan terendah pada  $Q_1$  yaitu  $A = 0.0012 \text{ m}^2$ ,  $P = 0.110 \text{ m}$  dan  $R = 0.011 \text{ m}$ . Dalam hal ini analisis hidrolis dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar analisis hidrolis yang dihasilkan.

### C. 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,  $V = \frac{I}{0.010} \times 0.010 \times 0.017 = 0.603$  m/det sebagai  $V_1$ . dan Persamaan 2 Pada bab II,  $V = \frac{3.65}{6.11} = 0,597$ . 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 8.** Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 1°

Debit (m <sup>3</sup> /det)	Jari-Jari Hidrolis (R) (m)	Kemiringan Saluran (S)	Panjang Saluran (L) (m)	Waktu (t) (det)	Kecepatan Aliran V <sub>Empiris</sub> ( $\frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ )	Kecepatan Aliran V <sub>Lab</sub> (L/t)
Q1 (1/3)	0.008	0.139	3.65	6.11	1.491	0.597
	0.008	0.139	3.65	6.14	1.491	0.594
	0.008	0.139	3.65	6.15	1.491	0.593
Q2 (2/3)	0.010	0.139	3.65	5.48	1.709	0.666
	0.010	0.157	3.65	5.48	1.816	0.666
	0.010	0.140	3.65	5.50	1.715	0.664
Q3 (Full)	0.011	0.139	3.65	5.35	1.834	0.682
	0.011	0.139	3.65	5.22	1.834	0.699
	0.011	0.140	3.65	5.31	1.898	0.687

Berdasarkan tabel 8 menunjukkan bahwa kecepatan aliran terbesar pada Q<sub>3</sub> yaitu  $V_{Empiris} = 1.898$  m/det sedangkan terkecil pada Q<sub>1</sub> yaitu  $V_{Lab} = 0.593$  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 2°

Debit (m <sup>3</sup> /det)	Jari-Jari Hidrolis (R) (m)	Kemiringan Saluran (S)	Panjang Saluran (L) (m)	Waktu (t) (det)	Kecepatan Aliran V <sub>Empiris</sub> ( $\frac{1}{n} \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}$ )	Kecepatan Aliran V <sub>Lab</sub> (L/t)
Q1 (1/3)	0.009	0.157	3.65	5.50	1.667	0.664
	0.009	0.157	3.65	5.48	1.667	0.666
	0.009	0.157	3.65	5.49	1.667	0.665
Q2 (2/3)	0.010	0.157	3.65	5.21	1.816	0.701
	0.010	0.157	3.65	5.20	1.884	0.702
	0.010	0.174	3.65	5.21	1.984	0.701
Q3 (Full)	0.012	0.157	3.65	5.08	2.069	0.719
	0.012	0.157	3.65	5.06	2.069	0.721
	0.012	0.157	3.65	5.10	2.124	0.716

Berdasarkan tabel 9 menunjukkan bahwa kecepatan aliran terbesar pada Q<sub>3</sub> yaitu  $V_{Empiris} = 2.124$  m/det sedangkan terkecil pada Q<sub>1</sub> yaitu  $V_{Lab} = 0.664$  m/det. Dalam hal ini kecepatan aliran dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar kecepatan aliran yang dihasilkan.

**Tabel 10.** Analisis kecepatan aliran pada kemiringan saluran 3°

Debit (m <sup>3</sup> /det)	Jari-Jari Hidrolis (R) (m)	Kemiringan Saluran (S)	Panjang Saluran (L) (m)	Waktu (t) (det)	Kecepatan Aliran V <sub>Empiris</sub> ( $1/n * R^{2/3} * S^{1/2}$ )	Kecepatan Aliran V <sub>Lab</sub> (L/t)
Q1 (1/3)	0.011	0.157	3.65	5.10	1.949	0.716
	0.011	0.139	3.65	5.08	1.834	0.719
	0.011	0.139	3.65	5.09	1.834	0.717
Q2 (2/3)	0.011	0.157	3.65	4.46	2.010	0.818
	0.012	0.157	3.65	4.45	2.069	0.820
	0.012	0.157	3.65	4.43	2.069	0.824
Q3 (Full)	0.013	0.209	3.65	4.21	2.515	0.867
	0.013	0.209	3.65	4.22	2.515	0.865
	0.013	0.157	3.65	4.22	2.177	0.865

Berdasarkan tabel 10 menunjukkan bahwa kecepatan aliran terbesar pada Q<sub>3</sub> yaitu  $V_{Empiris} = 2.177$  m/det sedangkan terkecil pada Q<sub>1</sub> yaitu  $V_{Lab} = 0.716$  m/det. Dalam hal ini kecepatan aliran dipengaruhi oleh debit aliran semakin besar debit aliran maka semakin besar kecepatan aliran yang dihasilkan.

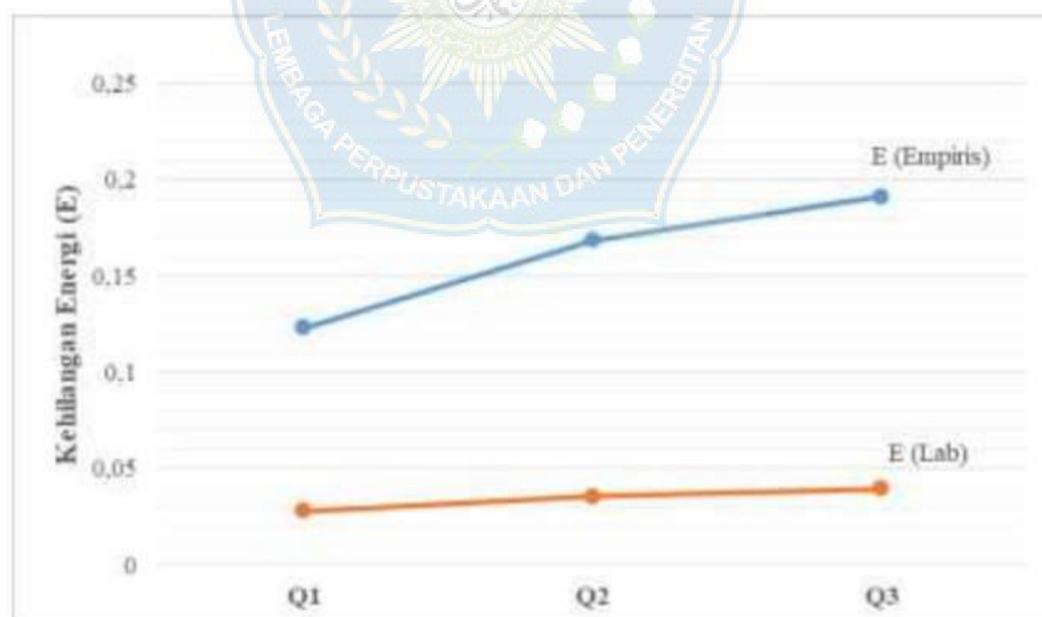
#### D. Analisis Kehilangan Energi

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 1°, kemiringan salura 2° dan kemiringan salura 3° sebagai berikut ini:

**Tabel 11.** Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 1°

Debit (m <sup>3</sup> /det)	Kecepatan Aliran VEmpiris (1/n * R <sup>2/3</sup> * S <sup>1/2</sup> )	Kecepatan Aliran Vlab (L/t)	Kehilangan Energi EEmpiris ((V <sub>1</sub> <sup>2</sup> /2.g) + h)	Kehilangan Energi ELab ((V <sub>2</sub> <sup>2</sup> /2.g) + h)
Q1 (1/3)	1.491	0.597	0.123	0.028
	1.491	0.594	0.123	0.028
	1.491	0.593	0.123	0.028
Q2 (2/3)	1.709	0.666	0.162	0.036
	1.816	0.666	0.181	0.036
	1.715	0.664	0.163	0.035
Q3 (Full)	1.834	0.682	0.187	0.039
	1.834	0.699	0.187	0.040
	1.898	0.687	0.200	0.040

Berdasarkan Tabel 11 menunjukkan bahwa kehilangan energi terbesar pada Q<sub>3</sub> yaitu E<sub>Empiris</sub> = 0.200 sedangkan yang terendah pada kecepatan empiris Q<sub>1</sub> yaitu E<sub>Lab</sub> = 0.028. Untuk melihat fruktasi secara jelas dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :



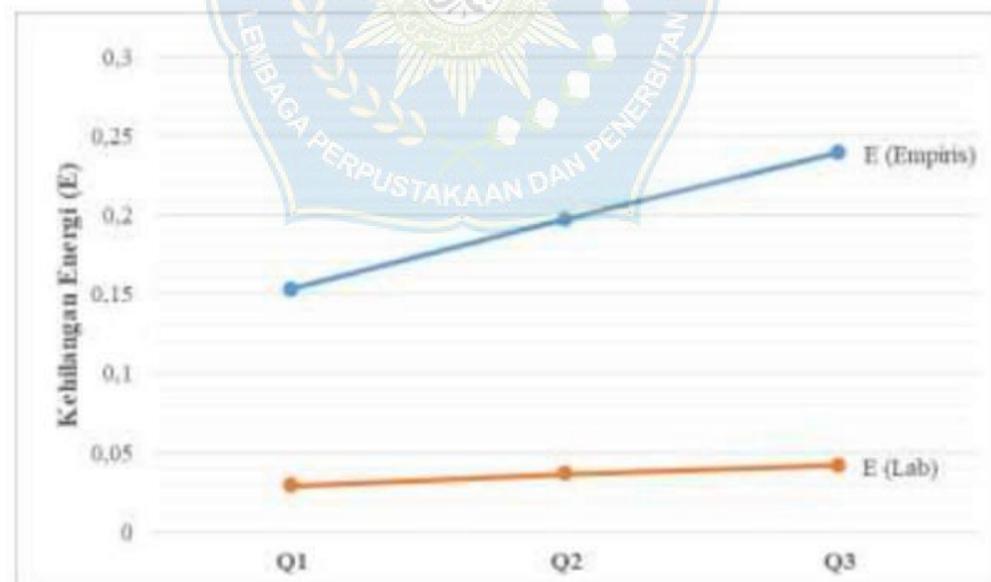
**Gambar 11.** Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 1°

Berdasarkan gambar 14 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 2°

Debit (m <sup>3</sup> /det)	Kecepatan Aliran VEmpiris (1/n * R <sup>2/3</sup> * S <sup>1/2</sup> )	Kecepatan Aliran VLab (L/t)	Kehilangan Energi EEmpiris ((V <sub>1</sub> <sup>2</sup> /2.g) + h)	Kehilangan Energi ELab ((V <sub>2</sub> <sup>2</sup> /2.g) + h)
Q1 (1/3)	1.667	0.597	0.153	0.029
	1.667	0.594	0.153	0.029
	1.667	0.593	0.153	0.029
Q2 (2/3)	1.816	0.666	0.181	0.036
	1.884	0.666	0.195	0.037
	1.984	0.664	0.215	0.036
Q3 (Full)	2.069	0.682	0.235	0.041
	2.069	0.699	0.235	0.042
	2.124	0.687	0.248	0.042

Berdasarkan Tabel 12 menunjukkan bahwa kehilangan energi terbesar pada Q<sub>3</sub> yaitu E<sub>Empiris</sub> = 0.248 sedangkan yang terendah pada kecepatan empiris Q<sub>1</sub> yaitu E<sub>Lab</sub> = 0.029. Untuk melihat fruktasi secara jelas dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :

**Gambar 12.** Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 2°

Berdasarkan gambar 15 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.

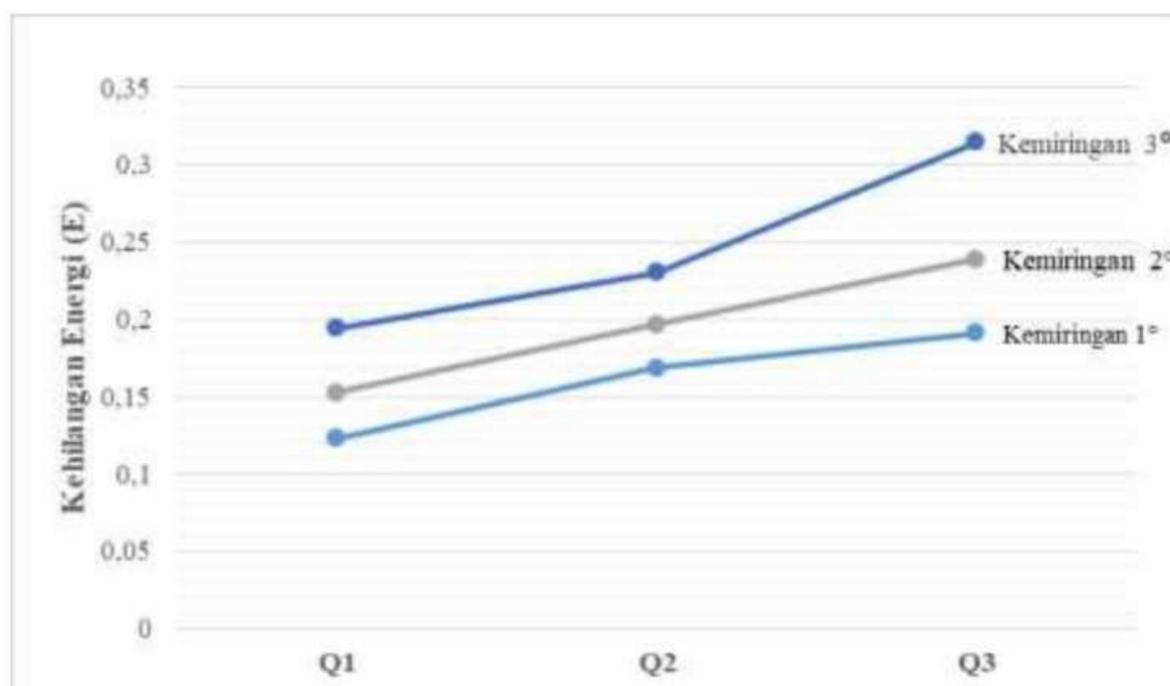
**Tabel 13.** Analisis Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 3°

Debit (m <sup>3</sup> /det)	Kecepatan Aliran VEmpiris (1/n * R <sup>2/3</sup> * S <sup>1/2</sup> )	Kecepatan Aliran VLab (L/t)	Kehilangan Energi EEmpiris ((V <sub>1</sub> <sup>2</sup> /2.g) + h)	Kehilangan Energi ELab ((V <sub>2</sub> <sup>2</sup> /2.g) + h)
Q1 (1/3)	1.949	0.597	0.209	0.033
	1.834	0.594	0.187	0.033
	1.834	0.593	0.187	0.033
Q2 (2/3)	2.010	0.666	0.222	0.039
	2.069	0.666	0.235	0.040
	2.069	0.664	0.235	0.039
Q3 (Full)	2.515	0.682	0.342	0.043
	2.515	0.699	0.342	0.044
	2.177	0.687	0.261	0.043

Berdasarkan Tabel 12 menunjukkan bahwa kehilangan energi terbesar pada Q<sub>3</sub> yaitu E<sub>Empiris</sub> = 0.699 sedangkan yang terendah pada kecepatan empiris Q<sub>1</sub> yaitu E<sub>Lab</sub> = 0.033. Untuk melihat fruktasi secara jelas dapat dilihat pada gambar grafik berikut ini :

**Gambar 13.** Grafik Kehilangan Energi pada kemiringan saluran 1°

Berdasarkan gambar 16 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.



**Gambar 14.** Grafik Kehilangan Energi kemiringan saluran 1°, 2° dan 3°

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

#### **E. Regresi Linear Berganda**

Terdapat data-data fakta maupun data yang dihasilkan melalui penelitian sehingga akan menghasilkan persamaan regresi linear berganda pada setiap kemiringan saluran 1°, 2° dan 3°. 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 14.** Variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y$

$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$	$X_1X_2$	$X_1Y$	$X_2Y$
1.491	0.010	0.123	2.224	0.000	0.015	0.015	0.184	0.001
1.491	0.010	0.123	2.224	0.000	0.015	0.015	0.184	0.001
1.491	0.010	0.123	2.224	0.000	0.015	0.015	0.184	0.001
1.709	0.013	0.162	2.920	0.000	0.026	0.022	0.277	0.002
1.816	0.013	0.181	3.298	0.000	0.033	0.024	0.329	0.002
1.715	0.013	0.163	2.941	0.000	0.027	0.022	0.280	0.002
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
1.898	0.016	0.200	3.604	0.000	0.040	0.030	0.379	0.003
15.279	0.115	1.450	26.160	0.002	0.241	0.198	2.502	0.019

$$\sum X_1^2 = 26.160 - \frac{(15.279)^2}{9} = 0.2196$$

$$\sum X_2^2 = 0,002 - \frac{(0.115)^2}{9} = 0.00004$$

$$\sum Y^2 = 0.241 - \frac{(1.450)^2}{9} = 0.0075$$

$$\sum X_1X_2 = 0.198 - \frac{(15.279)(0.115)}{9} = 0.003$$

$$\sum X_1Y = 2.502 - \frac{(15.279)(1.450)}{9} = 0.0404$$

$$\sum X_2Y = 0.019 - \frac{(0.115)(1.450)}{9} = 0.0006$$

$$b_1 = \frac{[(0.00004 \times 0.0404) - (0.0006 \times 0.003)]}{[(0.219 \times 0.00004) - (0.003)^2]} = \frac{8.8 \times 10^8}{5.3 \times 10^7} = 0.165$$

$$b_2 = \frac{[(0.219 \times 0.0006) - (0.0404 \times 0.003)]}{[(0.219 \times 0.00004) - (0.003)^2]} = \frac{7.4 \times 10^7}{5.3 \times 10^7} = 1.395$$

$$a = \frac{(1.450) - (0.198 \times 15.279) - (1.395 \times 0.115)}{9} = -0.137$$

Persamaan regresi linier berganda adalah  $Y = -0.137 + 0.165X_1 + 1.395X_2$

2. Persamaan regresi berganda dari hasil pengolahan data software statistic

**Tabel 15.** Software Statistic

SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.999679793
R Square	0.999359689
Adjusted R Square	0.999146251
Standard Error	0.00089232
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.007456298	0.003728149	4682.220349	2.62527E-10
Residual	6	4.77741E-06	7.96235E-07		
Total	8	0.007461076			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0.137095994	0.006793008	-20.18192608	9.61289E-07	-0.153717887	-0.120474101
Kecepatan	0.165124487	0.008039455	20.53926297	8.66347E-07	0.145452648	0.184796325
Tinggi Muka Air	1.395939729	0.570789215	2.445630877	0.050087068	-0.000731166	2.792610624

Persamaan regresi linear berganda :  $Y = -0.137 + 0.165X_1 + 1.395X_2$

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  $1^\circ$ ,  $2^\circ$  dan  $3^\circ$  sesuai dengan kecepatan empiris dan kecepatan laboratorium yang berbeda di sajikan pada tabel 8, 9, dan 10 dengan satuan (m/det) setiap 3 tinggi muka air dapat dilihat pada tabel berikut ini :

**Tabel 16.** Variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y$  kecepatan empiris kemiringan saluran  $1^\circ$ 

$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$	$X_1X_2$	$X_1Y$	$X_2Y$
1.491	0.010	0.123	2.224	0.000	0.015	0.015	0.184	0.001
1.491	0.010	0.123	2.224	0.000	0.015	0.015	0.184	0.001
1.491	0.010	0.123	2.224	0.000	0.015	0.015	0.184	0.001
1.709	0.013	0.162	2.920	0.000	0.026	0.022	0.277	0.002
1.816	0.013	0.181	3.298	0.000	0.033	0.024	0.329	0.002
1.715	0.013	0.163	2.941	0.000	0.027	0.022	0.280	0.002
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
1.898	0.016	0.200	3.604	0.000	0.040	0.030	0.379	0.003
15.279	0.115	1.450	26.160	0.002	0.241	0.198	2.502	0.019

**Tabel 17.** Software statistic kecepatan empiris kemiringan saluran  $1^\circ$ 

## SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.999679793
R Square	0.999359689
Adjusted R Square	0.999146251
Standard Error	0.00089232
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.007456298	0.003728149	4682.220349	2.62527E-10
Residual	6	4.77741E-06	7.96235E-07		
Total	8	0.007461076			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0.137095994	0.006793008	-20.18192608	9.61289E-07	-0.153717887	-0.120474101
Kecepatan	0.165124487	0.008039455	20.53926297	8.66347E-07	0.145452648	0.184796325
Tinggi Muka Air	1.395939729	0.570789215	2.445630877	0.050087068	-0.000731166	2.792610624

Berdasarkan tabel 16 dan 17 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  $Y = -0.173 + 0.165X_1 + 1.395X_2$  sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah hasil dari 0.165 kecepatan aliran ditambah 1.395 tinggi muka air dikurang 0.173.

**Tabel 18.** Variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y$  kecepatan laboratorium kemiringan saluran  $1^\circ$ 

$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$	$X_1X_2$	$X_1Y$	$X_2Y$
0.597	0.010	0.028	0.357	0.000	0.001	0.006	0.017	0.000
0.594	0.010	0.028	0.353	0.000	0.001	0.006	0.017	0.000
0.593	0.010	0.028	0.352	0.000	0.001	0.006	0.017	0.000
0.666	0.013	0.036	0.444	0.000	0.001	0.009	0.024	0.000
0.666	0.013	0.036	0.444	0.000	0.001	0.009	0.024	0.000
0.664	0.013	0.035	0.440	0.000	0.001	0.009	0.024	0.000
0.682	0.015	0.039	0.465	0.000	0.002	0.010	0.026	0.001
0.699	0.015	0.040	0.489	0.000	0.002	0.010	0.028	0.001
0.687	0.016	0.040	0.472	0.000	0.002	0.011	0.028	0.001
5.850	0.115	0.310	3.817	0.002	0.011	0.076	0.203	0.004

**Tabel 19.** Software statistic kecepatan laboratorium kemiringan saluran  $1^\circ$ 

## SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.999962479
R Square	0.99992496
Adjusted R Square	0.999899947
Standard Error	5.08399E-05
Observations	9

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	0.000206651	0.000103326	39975.83255	4.22545E-13
Residual	6	1.55082E-08	2.5847E-09		
Total	8	0.000206667			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-0.020106251	0.000679993	-29.56830851	9.92081E-08	-0.021770135	-0.018442367
Kecepatan	0.063555647	0.001584963	40.09914846	1.60785E-08	0.059677383	0.06743391
Tinggi Muka Air	1.033965474	0.029026899	35.62094149	3.26357E-08	0.962939211	1.104991737

Berdasarkan tabel 18 dan 19 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  $Y = -0.020 + 0.063X_1 + 1.033X_2$  sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah hasil dari 0.063 kecepatan aliran ditambah 1.033 tinggi muka air dikurang 0.020.

**Tabel 20.** Variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y$  kecepatan empiris kemiringan saluran 2°

$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$	$X_1X_2$	$X_1Y$	$X_2Y$
1.667	0.011	0.153	2.778	0.000	0.023	0.018	0.255	0.002
1.667	0.011	0.153	2.778	0.000	0.023	0.018	0.255	0.002
1.667	0.011	0.153	2.778	0.000	0.023	0.018	0.255	0.002
1.816	0.013	0.181	3.298	0.000	0.033	0.024	0.329	0.002
1.884	0.014	0.195	3.551	0.000	0.038	0.026	0.368	0.003
1.984	0.014	0.215	3.935	0.000	0.046	0.028	0.426	0.003
2.069	0.017	0.235	4.280	0.000	0.055	0.035	0.487	0.004
2.069	0.017	0.235	4.280	0.000	0.055	0.035	0.487	0.004
2.124	0.018	0.248	4.513	0.000	0.062	0.038	0.527	0.004
16.946	0.126	1.768	32.189	0.002	0.359	0.241	3.388	0.026

**Tabel 21.** Software statistic kecepatan empiris kemiringan saluran 2°

## SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.999731883
R Square	0.999463838
Adjusted R Square	0.999285118
Standard Error	0.001035932
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.012002878	0.006001439	5592.328462	1.5413E-10
Residual	6	6.43893E-06	1.07316E-06		
Total	8	0.012009317			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0.164417987	0.009275192	-17.72663997	2.07003E-06	-0.187113564	-0.14172241
Kecepatan	0.176440858	0.009475612	18.62052385	1.54806E-06	0.153254871	0.199626845
Tinggi Muka Air	2.048574782	0.639226344	3.204772143	0.018488453	0.484444264	3.612705299

Berdasarkan tabel 20 dan 21 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  $Y = -0.164 + 0.176X_1 + 2.048X_2$  sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah hasil dari 0.176 kecepatan aliran ditambah 2.048 tinggi muka air dikurang 0.164.

**Tabel 22.** Variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y$  kecepatan laboratorium kemiringan saluran  $2^\circ$ 

$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$	$X_1X_2$	$X_1Y$	$X_2Y$
0.664	0.011	0.029	0.440	0.000	0.001	0.007	0.019	0.000
0.666	0.011	0.029	0.444	0.000	0.001	0.007	0.019	0.000
0.665	0.011	0.029	0.442	0.000	0.001	0.007	0.019	0.000
0.701	0.013	0.036	0.491	0.000	0.001	0.009	0.025	0.000
0.702	0.014	0.037	0.493	0.000	0.001	0.010	0.026	0.001
0.701	0.014	0.036	0.491	0.000	0.001	0.010	0.026	0.001
0.719	0.017	0.041	0.516	0.000	0.002	0.012	0.029	0.001
0.721	0.017	0.042	0.520	0.000	0.002	0.012	0.030	0.001
0.716	0.018	0.042	0.512	0.000	0.002	0.013	0.030	0.001
6.253	0.126	0.321	4.349	0.002	0.012	0.088	0.224	0.005

**Tabel 23.** Software statistic kecepatan laboratorium kemiringan saluran  $2^\circ$ 

## SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.998657966
R Square	0.997317733
Adjusted R Square	0.996423643
Standard Error	0.000326793
Observations	9

ANOVA					
	df	SS	MS	F	Significance F
Regression	2	0.000238247	0.000119123	1115.45668	1.92977E-08
Residual	6	6.40761E-07	1.06793E-07		
Total	8	0.000238888			

	Coefficients	Standard Error	t Stat	P-value	Lower 95%	Upper 95%
Intercept	-0.067963785	0.008421553	-8.070219827	0.000193827	-0.088570583	-0.047356987
Kecepatan	0.131672481	0.014426354	9.127218492	9.72562E-05	0.096372466	0.166972497
Tinggi Muka Air	0.865505589	0.123104747	7.030643523	0.000413561	0.564279126	1.166732053

Berdasarkan tabel 22 dan 23 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  $Y = -0.067 + 0.131X_1 + 0.865X_2$  sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah hasil dari 0.131 kecepatan aliran ditambah 0.865 tinggi muka air dikurang 0.067.

**Tabel 24.** Variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y$  kecepatan empiris kemiringan saluran  $3^\circ$ 

$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$	$X_1X_2$	$X_1Y$	$X_2Y$
1.949	0.015	0.209	3.799	0.000	0.044	0.029	0.407	0.003
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
1.834	0.015	0.187	3.363	0.000	0.035	0.028	0.342	0.003
2.010	0.016	0.222	4.042	0.000	0.049	0.032	0.447	0.004
2.069	0.017	0.235	4.280	0.000	0.055	0.035	0.487	0.004
2.069	0.017	0.235	4.280	0.000	0.055	0.035	0.487	0.004
2.515	0.019	0.342	6.323	0.000	0.117	0.048	0.859	0.006
2.515	0.019	0.342	6.323	0.000	0.117	0.048	0.859	0.006
2.177	0.019	0.261	4.741	0.000	0.068	0.041	0.568	0.005
18.971	0.152	2.219	40.512	0.003	0.575	0.324	4.798	0.038

**Tabel 25.** Software statistic kecepatan empiris kemiringan saluran  $3^\circ$ 

## SUMMARY OUTPUT

<i>Regression Statistics</i>	
Multiple R	0.999371333
R Square	0.998743062
Adjusted R Square	0.998324082
Standard Error	0.002410469
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.02770092	0.01385046	2383.752326	1.98583E-09
Residual	6	3.48622E-05	5.81036E-06		
Total	8	0.027735783			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0.233931663	0.00825105	-28.35174509	1.27452E-07	-0.254121255	-0.213742071
Kecepatan	0.23727188	0.007941571	29.87719599	9.32453E-08	0.217839555	0.256704204
Tinggi Muka Air	-1.164101221	1.151867462	-1.010620804	0.351202928	-3.982619365	1.654416924

Berdasarkan tabel 24 dan 25 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  $Y = -0.233 + 0.237X_1 + 1.164X_2$  sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah hasil dari 0.237 kecepatan aliran ditambah 1.164 tinggi muka air dikurang 0.233.

**Tabel 26.** Variabel  $X_1$ ,  $X_2$  dan  $Y$  kecepatan laboratorium kemiringan saluran  $3^\circ$ 

$X_1$	$X_2$	$Y$	$X_1^2$	$X_2^2$	$Y^2$	$X_1X_2$	$X_1Y$	$X_2Y$
0.716	0.015	0.033	0.512	0.000	0.001	0.011	0.024	0.000
0.719	0.015	0.033	0.516	0.000	0.001	0.011	0.024	0.000
0.717	0.015	0.033	0.514	0.000	0.001	0.011	0.024	0.000
0.818	0.016	0.039	0.670	0.000	0.001	0.013	0.032	0.001
0.820	0.017	0.040	0.673	0.000	0.002	0.014	0.033	0.001
0.824	0.017	0.039	0.679	0.000	0.002	0.014	0.033	0.001
0.867	0.019	0.043	0.752	0.000	0.002	0.016	0.037	0.001
0.865	0.019	0.044	0.748	0.000	0.002	0.016	0.038	0.001
0.865	0.019	0.043	0.748	0.000	0.002	0.016	0.037	0.001
7.211	0.152	0.347	5.812	0.003	0.014	0.123	0.280	0.006

**Tabel 27.** Software statistic kecepatan laboratorium kemiringan saluran  $3^\circ$ 

## SUMMARY OUTPUT

Regression Statistics	
Multiple R	0.99691792
R Square	0.993845339
Adjusted R Square	0.991793785
Standard Error	0.000404689
Observations	9

ANOVA					
	<i>df</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Significance F</i>
Regression	2	0.000158675	7.93374E-05	484.4354419	2.33138E-07
Residual	6	9.82637E-07	1.63773E-07		
Total	8	0.000159657			

	<i>Coefficients</i>	<i>Standard Error</i>	<i>t Stat</i>	<i>P-value</i>	<i>Lower 95%</i>	<i>Upper 95%</i>
Intercept	-0.012486117	0.001897248	-6.581172733	0.000590659	-0.017128516	-0.007843718
Kecepatan	0.045968788	0.006271563	7.329717708	0.00032955	0.030622826	0.06131475
Tinggi Muka Air	0.839848128	0.234676996	3.578740742	0.011660763	0.265614204	1.414082051

Berdasarkan tabel 26 dan 27 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  $Y = -0.012 + 0.045X_1 + 0.839X_2$  sehingga dapat dihasilkan konstanta dan koefisien-koefisien regresi linear yaitu besarnya nilai dari kehilangan energi adalah hasil dari 0.045 kecepatan aliran ditambah 0.045 tinggi muka air dikurang 0.839.

## **BAB V**

### **PENUTUP**

#### **A. Kesimpulan**

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

1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan aliran dan kehilangan energi terbesar terjadi pada kemiringan saluran 3° yaitu  $Q_3$  yaitu  $V = 2.177$  m/det dan  $E = 0.261$ . Kecepatan aliran dan kehilangan energi terendah terjadi pada kemiringan saluran 1°  $Q_1$  yaitu  $V = 0.597$  dan  $E = 0.028$ .
2. Hasil penelitian dengan metode penerapan regresi linear berganda diperoleh persamaan  $Y = -0.137 + 0.165X_1 + 1.395X_2$ , dimana besarnya nilai dari kehilangan energi adalah hasil dari 0.165 kecepatan aliran ditambah 1.395 kehilangan energi dikurang 0.137.

#### **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

- Akhi, L. T., Amanda, F., Sipil, J. T., Teknik, F., & Jember, U. (2017). *Perubahan Kedalaman Muka Air Pada Saluran*.
- Binilang, A. (2014). *Kajian Pengaruh Hubungan Antar Parameter Hidrolis Terhadap Sifat Aliran Melewati Pelimpah Bulat Dan Setengah Lingkaran Pada Saluran Terbuka*. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 4(1), 55–61
- Cahyo Ikhlas. 2006. *Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Seragam Pada Saluran Terbuka Tampang Segiempat*. Universitas Sebelas Maret, Semarang.
- Ikhlasul, A. (2020). *Perencanaan Ulang Saluran Terbuka Disebabkan Oleh Penyempitan Bersudut pada Saluran yang Mengakibatkan Kehilangan Energi*.
- Lukmang,. Alwahidin., (2017). *Analisis Kehilangan Energi Akibat Variasi Tinggi Ambang Lebar Pada Saluran Terbuka (uji model laboratorium)*.
- Lucio Canonica., 2013, *Memahami Hidraulika Edisi Revisi*. Bandung: CV Angkas.
- Putro, Haryono, Joetata Hadihardaja. (2013). *Variasi Koefisien Kekasaran Manning (n) pada Flume Akrilik pada Variasi Kemiringan Saluran dan debit Aliran*. *Jurnal MKTS*.
- Raju, Rangga. (1999), *Aliran melalui saluran terbuka*. Jakarta : Erlangga.
- Randa Kurniawan, (2016). *Analisis Perubahan Morfologi Sungai Rokan Berbasis Sistem Informasi GIS dan Pengindraan Jauh*.
- 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.