

**TESIS**  
**PENGARUH KEMIRINGAN STRUKTUR PLAT**  
**SEGITIGA TERHADAP KECEPATAN GESEK**  
**DASAR PADA SALURAN TERBUKA**

YUNARTO ROMBEBUNGA



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**G O W A**  
**2021**

**PENGARUH KEMIRINGAN STRUKTUR PLAT SEGITIGA TERHADAP  
KECEPATAN GESEK DASAR PADA SALURAN TERBUKA**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister

Program Studi

Teknik Sipil

Disusun dan diajukan Oleh

**YUNARTO ROMBEBUNGA**

Kepada

**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
G O W A  
2021**

# TESIS

## PENGARUH KEMIRINGAN STRUKTUR PLAT SEGITIGA TERHADAP KECEPATAN GESEK DASAR PADA SALURAN TERBUKA

Disusun dan diajukan oleh:

**YUNARTO ROMBEBUNGA**

**Nomor Pokok D012171035**

telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

pada tanggal 12 Oktober 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui

Komisi Penasehat,

Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, M.T.

Ketua

Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., M.T.

Sekretaris



Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil

Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, S.T., M.T.



Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, M.T

## PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Yunarto Rombebunga

Nomor mahasiswa : D012171035

Program studi : Teknik Sipil

Konsentrasi : Keairan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan thesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 12 Oktober 2021

Yang menyatakan,



Yunarto Rombebunga

## PRAKATA

Puji syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penelitian tesis dengan judul “Pengaruh Kemiringan Struktur Plat Segitiga Terhadap Kecepatan Gesek Dasar pada Saluran Terbuka ”.

Hasil penelitian ini adalah sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan pendidikan Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan hasil penelitian ini tidak akan terlaksana sebagaimana yang diharapkan tanpa adanya bantuan, arahan, dukungan dan bimbingan dari berbagai pihak. Untuk itu pada kesempatan ini perkenankan penulis menghaturkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, M.T. sebagai Ketua Komisi Penasihat yang telah membantu dan membimbing penulis dalam penulisan tesis.
2. Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, S.T., MT. sebagai Anggota Komisi Penasihat yang telah membimbing penulis dalam penulisan tesis.
3. Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, S.T.,M.T. selaku Ketua Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. Para Dosen dan Staff yang telah membantu dan membimbing penulis selama mengikuti pendidikan pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

5. Ayahanda Yohanis Sambokau', Ibunda Paulina Pala'buan tercinta, Istriku Rinal Antika Bunga'allo, dan anakku Aerilyn Sevania Masuang yang terus memberikan dukungan dan semangat dalam penyusunan proposal tesis ini.
6. Rekan-rekan mahasiswa Program Studi S2 Universitas Hasanuddin khususnya Angkatan 2017 Jurusan Teknik Sipil Konsentrasi Keairan dan semua pihak yang telah membantu penulis baik dalam bentuk materiil maupun immateriil, semoga Tuhan Yang Maha Kuasa membalas budi baik dengan amalan yang setimpal.

Penulis menyadari masih terdapat kekurangan dalam proposal penelitian ini, oleh karena itu penulis mengharapkan agar kiranya diberikan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan proposal penelitian ini. Akhir kata, Penulis mengharapkan proposal penelitian ini dapat bermanfaat bagi kita semua, bangsa dan negara. Amin.

Makassar,            Oktober 2021

Penulis

Yunarto Rombebunga

## ABSTRAK

YUNARTO ROMBEBUNGA *Pengaruh Kemiringan Struktur Plat Segitiga Terhadap Kecepatan Gesek Dasar pada Saluran Terbuka* (dibimbing oleh Rita Tahir Lopa dan Bambang Bakri)

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh kemiringan struktur plat segitiga terhadap kecepatan rerata dan kecepatan gesek dasar pada saluran terbuka.

Percobaan dilakukan dengan uji eksperimental di laboratorium dengan menggunakan 3 variasi kecepatan ( $V$ ), 3 variasi sudut plat yaitu  $30^\circ$  ( $M_1$ ),  $45^\circ$  ( $M_2$ ) dan  $60^\circ$  ( $M_3$ ) dengan kemiringan saluran 0.05%.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kecepatan gesek yang terjadi sebelum melewati plat segitiga akan membesar dan sesaat setelah melewati plat segitiga menjadi kecil seiring bertambah besarnya kemiringan plat segitiga dan konstanta integrasi ( $C$ ) dan perubahan kecepatan aliran semakin meningkat. Namun trend kecepatan gesek yang ditunjukkan untuk setiap model akan terlihat semakin menurun pada saat menjauhi plat segitiga dan hal ini mengindikasikan kecepatan gesek ( $u$ ) akan mengalami kondisi rezim aliran yang baru. Selain itu secara kuantitatif terkonfirmasi bahwa dengan adanya struktur plat segitiga maka kecepatan yang terjadi sebelum melewati struktur akan mengalami penurunan seiring bertambah besarnya kemiringan struktur. Setelah melewati struktur, kecepatan aliran akan meningkat dan terjadi intensitas turbulen disepanjang saluran.

**Kata kunci:** struktur plat segitiga, kecepatan gesek, konstanta integrasi, *angka frode*

## ABSTRACT

YUNARTO ROMBEBUNGA *The Effect of the Slope of the Triangular Plate Structure on the Frictional Velocity in an Open Channel* (supervised by Rita Tahir Lopa and Bambang Bakri)

This research aims to find out the effect of the slope triangular plate structure on the average velocity and bottom frictional velocity in an open channel.

The research was carried out by testing the experimentally tests in the laboratory with three variations of velocity ( $V$ ), three variations of plate angle, namely  $30^\circ$  (M1),  $45^\circ$  (M2) and  $60^\circ$  (M3) with a channel slope of 0.05%.

The results of the analysis show that the frictional velocity that occurs before passing through the triangular plate will increase and shortly after passing through the triangular plate becomes smaller as the slope of the triangular plate increases and the integration constant ( $C$ ) and changes in flow velocity increase. However, the frictional velocity trend shown for each model will appear to be decreasing as it moves away from the triangular plate and this indicates that the frictional velocity ( $u_*$ ) will experience a new flow regime. In addition, it is quantitatively confirmed that with the triangular plate structure, the velocity that occurs before passing through the structure will decrease as the slope of the structure increases. After passing through the structure, the flow velocity will increase and turbulence will occur along the channel.

**Keywords:** triangular plate structure, frictional speed, integration constant, *frode number*

**DAFTAR ISI**

	Halaman
HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN TESIS	iv
PRAKATA	v
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	viii
DAFTAR ISI	ix
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN	xviii
I. PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian	3
E. Batasan Masalah	3
F. Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	
A. Kajian Pustaka	6

1. Saluran Terbuka	6
2. Debit Pengaliran	9
3. Sifat Aliran	10
4. Bentuk Saluran	12
5. Distribusi Tekanan Hidrostatik	12
6. Rumus Empiris Kecepatan Rata-rata	14
7. Distribusi Kecepatan	18
8. Tegangan Geser dan Kecepatan Gesek	22
9. Bilangan Froude	26
B. Metode Analisis Dimensi	27
C. Hipotesa	30
D. Penelitian Terdahulu	30
E. Kerangka Pikir	34
III. METODE PENELITIAN	
A. Tempat dan Waktu Penelitian	36
B. Pra Penelitian	36
C. Jenis Penelitian dan Sumber Data	38
D. Alat dan Bahan	38
E. Perancangan Model	40
F. Variabel yang Diteliti	42
G. Tahapan dan Prosedur Pengambilan Data	44
H. Sistematika Penelitian	45

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Umum	48
B. Parameter Utama Aliran Seragam pada Saluran Terbuka	48
C. Perhitungan Distribusi Kecepatan Aliran	63
D. Perhitungan Kecepatan Aliran pada Model Plat Segitiga	75
E. Perhitungan Bilangan Frode	91
V. KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	93
B. Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	95
LAMPIRAN	97

## DAFTAR TABEL

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 1. Nilai (n) yang disarankan oleh Bazin	16
Tabel 2. Nilai koefisien kekasaran Manning (n)	18
Tabel 3. Parameter kecepatan akibat struktur plat segitiga	29
Tabel 4. Matriks Penelitian Terdahulu	30
Tabel 5. Variasi dimensi model hambatan	40
Tabel 6. Variasi parameter model hambatan	41
Tabel 7. Variasi parameter model aliran	41
Tabel 8. Rancangan Simulasi	43
Tabel 9. Pengukuran debit aliran pada pintu segitiga	49
Tabel 10. Pengukuran debit dengan gelas ukur	51
Tabel 11. Pengukuran kecepatan aliran dengan <i>flow meter</i>	53
Tabel 12. Rekapitulasi kecepatan rerata dengan <i>flow meter</i>	53
Tabel 13. Pengukuran kecepatan aliran dengan <i>ECM</i>	55
Tabel 14. Rekapitulasi hasil debit aliran dengan <i>ECM</i>	55
Tabel 15. Perhitungan kecepatan aliran dengan <i>Pitot Portable</i>	56
Tabel 16. Rekapitulasi hasil debit aliran dengan <i>Pitot Portable</i>	56

Tabel 17. Rekapitulasi hasil pengukuran debit	58
Tabel 18. Hasil pengukuran debit semua kondisi pengaliran	59
Tabel 19. Rekapitulasi hasil perhitungan debit	59
Tabel 20. Rekapitulasi hasil kecepatan rerata Metode <i>Chezy</i>	60
Tabel 21. Rekapitulasi hasil analisa kecepatan metode Manning	61
Tabel 22. Hasil validasi kecepatan aliran	62
Tabel 23. Pengukuran kecepatan aliran titik 1/2B	65
Tabel 24. Hasil analisis kecepatan aliran titik 1/2B	67
Tabel 25. Hasil perhitungan kecepatan Logaritmik	68
Tabel 26. Rekapitulasi hasil $u^*$ dan $C$ arah transversal	69
Tabel 27. Pengukuran kecepatan aliran arah longitudinal	72
Tabel 28. Rekapitulasi hasil $u^*$ dan $C$ arah longitudinal	74
Tabel 29. Hasil validasi perhitungan $V_o$ untuk setiap empiris	75
Tabel 30. Hasil perhitungan kecepatan aliran berdasarkan daerah	77
Tabel 31. Hasil perhitungan kecepatan gesek	83
Tabel 32. Rekapitulasi Hasil perhitungan kecepatan gesek	84
Tabel 33. Rekapitulasi Hasil perhitungan kecepatan rerata ( $\bar{V}$ )	85
Tabel 34. Rekapitulasi persentasi perubahan kecepatan rerata ( $\bar{V}$ )	86

Tabel 35. Rekapitulasi Hasil perhitungan kecepatan gesek ( $u^*$ )	87
Tabel 36. Rekapitulasi persentasi perubahan kecepatan gesek ( $u^*$ )	87
Tabel 37. Perhitungan Bilangan Froude lokal	91

## DAFTAR GAMBAR

<b>Nomor</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 1. Klasifikasi Aliran (Chow, 1996)	8
Gambar 2. Bentuk-bentuk potongan melintang saluran terbuka	12
Gambar 3. Distribusi tekanan hidrostatis pada saluran terbuka dengan kemiringan dasar kecil	13
Gambar 4. Distribusi tekanan hidrostatis pada saluran terbuka dengan kemiringan dasar besar	13
Gambar 5. Distribusi kecepatan	19
Gambar 6. Distribusi kecepatan pada berbagai bentuk potongan melintang saluran.	21
Gambar 7. Pola distribusi kecepatan sebagai fungsi kedalaman	21
Gambar 8. Bidang batas hidraulis halus	22
Gambar 9. Kerangka Pikir Penelitian	35
Gambar 10. <i>Recirculating flume</i> yang digunakan untuk uji model	37
Gambar 11. Tampak samping rancangan simulasi dan letak uji model	42
Gambar 12. Bagan sistematika penelitian	46
Gambar 13. Grafik hubungan debit aktual dan koefisien debit	50

Gambar 14. Titik pengukuran pada tengah saluran terbuka	52
Gambar 15. Grafik hubungan Kedalaman dan Debit	54
Gambar 16. Alat ukur <i>Pitot Portable</i>	57
Gambar 17. Grafik hubungan Kedalaman dan Kecepatan	63
Gambar 18. Titik pengukuran <i>inner region</i>	64
Gambar 19. Hubungan kedalaman ( $D$ ) terhadap kecepatan aliran ( $V$ )	66
Gambar 20. Penentuan kecepatan gesek ( $u_*$ ) dan konstanta integrasi ( $C$ )	67
Gambar 21. Pengaruh debit aliran terhadap (a) $u^*/u^*c$ dan (b) $C/C_c$	70
Gambar 22. Hubungan Kedalaman ( $D$ ) dan Kecepatan ( $v$ )	73
Gambar 23. Penentuan kecepatan gesek ( $u_*$ ) dan konstanta integrasi ( $C$ )	73
Gambar 24. Distribusi kecepatan logaritmik	75
Gambar 25. (a) Distribusi kecepatan aliran pada plat M1, $X = 4.50$ (b) Rekapitulasi distribusi kecepatan untuk model plat M1Q1	78
Gambar 26. Pengaruh kecepatan ( $V$ ) terhadap plat segitiga ( $M2$ ) pada $X = 4.50$	79

Gambar 27. Pengaruh Plat segitiga (M) Vs Kecepatan (V) pada $X_1 = 3.50$ dan $X_2 = 4.25$	80
Gambar 28. Pengaruh Plat segitiga (M) Vs Kecepatan (V) pada $X_3 = 4.50$	81
Gambar 29. Pengaruh Plat segitiga (M) Vs Kecepatan (V) pada $X_1 = 5.00$ dan $X_2 = 5.50$	82
Gambar 30. Penentuan kecepatan gesek ( $u^*$ ) dan konstanta integrasi (C)	84
Gambar 31. Hubungan antara $y/D$ Vs $u/u^*$	88
Gambar 32. (a) Distribusi kecepatan pada plat segitiga, hasil penelitian <i>Sina Yaghoubi</i> , dkk (2016) (b) Distribusi kecepatan pada plat segitiga, hasil penelitian <i>E. Khavasi</i> , dkk (2012)	89
Gambar 33. Distribusi kecepatan aliran pada jarak $X = 4.25$	90
Gambar 34. Profil Distribusi Lokal Bilangan Froude	92

## DAFTAR ARTI LAMBANG DAN SINGKATAN

Lambang / Singkatan	Arti dan Keterangan
$A_p$	Luas penampang struktur
$A_{1p}$	Luas penampang prototipe
$A_{1m}$	Luas penampang model
$C$	Koefisien kekasaran chezy
$D_c$	Kedalaman kritis
$D_o / h / y_0$	Kedalaman aliran
$d_r$	Ukuran minimum batuan riprap
$Fr$	Bilangan Froude
$g$	Percepatan gravitasi, 9,81 m/dtk
$h_p$	Tinggi struktur peredam
$K$	Kekasaran permukaan dasar saluran
$K_G$	Faktor geometric sungai
$K_0$	Faktor alinyemen sungai
$L_p$	Ukuran Panjang prototipe
$L_m$	Ukuran Panjang model
$n$	Koefisien kekasaran manning
$Q$	Debit aliran
$R$	Jari-jari hidraulik
$Re$	Bilangan Reynolds

$S_p$	Kemiringan struktur peredam
$U$	Kecepatan rata-rata
$U_c$	Kecepatan kritis
$U_d$	Kecepatan rata-rata pada debit rencana
$U^*$	Kecepatan gesek
$U^*_c$	Kecepatan geser kritis
$V$	Kecepatan kedalaman rerata
$V_c$	Kecepatan kedalaman kritis rerata
$\rho / \rho_w$	Berat jenis air
$\nu$	Kekentalan kinematic fluida
$\Delta$	Kerapatan relatif
$\theta_c$	Parameter shield / Parameter mobilitas kritik
$\tau_o$	Tegangan geser dasar
$\tau_c$	Tegangan geser kritis
$\sigma_g$	Standar deviasi geometrik
$\psi_*$	Intensitas aliran
$\Phi_*$	Intensitas angkutan aliran
$\delta$	Tebal lapisan viscous

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **A. Latar Belakang**

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik di sepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), parameter saluran sangat tidak teratur baik terhadap ruang dan waktu. Parameter tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, pembendungan, debit aliran dan sebagainya.

Ketidak teraturan tersebut mengakibatkan analisis aliran sangat sulit untuk diselesaikan secara analitis. Pembendungan pada saluran merupakan suatu peralihan yang berfungsi untuk mengetahui tinggi muka air di sepanjang saluran, sifat-sifat aliran yang cenderung berubah secara beraturan. Diketahui bahwa jika sebuah bangunan air diletakkan di dasar saluran, maka akan terjadi pola gerusan di sekitar bangunan air tersebut yang mengakibatkan potensi kegagalan struktur bangunan. Dikarnakan hal tersebut maka salah satu alternatif adalah meredam energi yang datang untuk mengurangi kedalaman gerusan yang terjadi di bangunan utama.

Pembendungan yang bertujuan mengurangi energi yang dimaksud adalah struktur plat segitiga yang mana jika sebuah struktur tegak lurus terhadap kecepatan aliran maka kedalaman gerusan yang

terjadi di sekitar bangunan akan semakin dalam dan melebar. Hal ini menjadi pertimbangan untuk membuat kemiringan pada hambatan tersebut guna mengetahui pengaruh energi yang terjadi setelah melalui hambatan plat segitiga tanpa membuat kedalaman gerusan yang signifikan di sekitar hambatan plat segitiga. Hal ini yang mendorong penulis untuk mengamati dan meneliti perilaku aliran khususnya kecepatan gesek dasar saluran yang diakibatkan dengan pembendungan saluran berupa struktur berbentuk segitiga sesuai dengan teori-teori dalam hidrolika.

Dari eksperimen aliran pada saluran yang dirancang, selanjutnya dirumuskan permasalahan yaitu, bagaimana kesesuaian hasil analitis data berdasarkan pengukuran debit aliran pada saluran terbuka melalui pembendungan saluran berupa struktur peredam energi berbentuk plat segitiga dengan hasil hitungan analitis teoritis.

## **B. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka permasalahan dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Bagaimana pengaruh plat segitiga terhadap kecepatan rerata aliran pada saluran terbuka.
2. Bagaimana pengaruh kemiringan struktur plat segitiga terhadap kecepatan gesek dasar pada saluran terbuka.

### **C. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis pengaruh struktur plat segitiga terhadap kecepatan rerata aliran pada saluran terbuka.
2. Menganalisis pengaruh kemiringan struktur plat segitiga terhadap kecepatan gesek dasar pada saluran terbuka.

### **D. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah :

1. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan model hambatan plat segitiga sebagai alternatif dalam mereduksi kecepatan aliran pada saluran terbuka.
2. Hasil penelitian dapat digunakan sebagai pedoman dan pendekatan teknis perencanaan bilamana model ini menjadi pilihan aplikatif di suatu lokasi yang membutuhkan bangunan pereduksi kecepatan aliran.

### **E. Batasan Masalah**

Agar penelitian dapat berjalan efektif dan mencapai sasaran yang diinginkan maka ruang lingkup penelitian dibatasi pada :

1. Skala yang ditentukan berdasarkan fasilitas laboratorium yang ada.
2. Saluran berbentuk persegi dengan lebar dasar saluran 40 cm dan tinggi saluran 40 cm.

3. Fluida yang digunakan dalam penelitian ini adalah air tawar.
4. Variasi penelitian yang dilakukan adalah tiga variasi debit ( $Q$ ), dua variasi kemiringan dasar saluran ( $I$ ), dan tiga variasi kemiringan/sudut hambatan plat segitiga.
5. Tinggi bangunan plat segitiga adalah konstan.
6. Mengkaji kecepatan aliran di bagian hulu dan hilir struktur peredam energi bentuk plat segitiga.pada saluran terbuka.
7. Kecepatan aliran yang datang, tegak lurus terhadap model dengan variasi kemiringan struktur peredam energi
8. Tidak mengkaji stabilitas struktur peredam energi sebagai pereduksi kecepatan aliran.

## **F. Sistematika Penulisan**

Tulisan ilmiah ini terdiri dari susunan bab-bab yang merupakan uraian pokok dalam penulisan. Sistematika penulisan ini terdiri atas lima bab yang disusun secara sistematis sebagai berikut:

### **1. Bab I pendahuluan**

Pendahuluan memuat tentang latar belakang permasalahan, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

### **2. Bab II tinjauan pustaka**

Pada bab ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian

ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

### **3. Bab III metodologi penelitian**

Bab ini memuat waktu dan lokasi penelitian, bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian, serta metode analisisnya secara terperinci.

### **4. Bab IV analisa dan pembahasan**

Pada bab ini menjelaskan hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh, sedangkan pada bagian pembahasan adalah mengolah data hasil penelitian untuk mencapai tujuan penelitian.

### **5. Bab V kesimpulan dan saran**

Pada bab ini memuat kesimpulan dari seluruh rangkaian proses penelitian dan saran-saran terkait dengan kekurangan yang didapat dalam penelitian ini, sehingga nantinya dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya.

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### A. Kajian Pustaka

##### 1. Saluran Terbuka

Aliran air dalam suatu saluran dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran pipa (*pipe-flow*). Kedua jenis aliran tersebut sama dalam banyak hal, namun berbeda dalam satu hal yang penting. Saluran terbuka adalah dimana air mengalir dengan muka air bebas (*free surface*), sedangkan aliran pipa tidak demikian, karena air harus mengisi seluruh saluran. Permukaan bebas dipengaruhi oleh tekanan udara. Aliran pipa, yang terkurung dalam saluran tertutup, tidak terpengaruh langsung oleh tekanan udara, kecuali oleh tekanan hidrolis (Triatmojo, 2017).

Meskipun kedua jenis aliran itu hampir sama, penyelesaian masalah aliran dalam saluran terbuka jauh lebih sulit dibandingkan dengan aliran dalam pipa tekan. Kondisi aliran dalam saluran terbuka yang rumit berdasarkan kenyataan bahwa kedudukan permukaan bebas cenderung berubah sesuai dengan waktu dan ruang, dan juga bahwa kedalaman aliran, debit, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas adalah tergantung satu sama lain. Biasanya sulit diperoleh data percobaan yang dapat dipercaya mengenai aliran dalam saluran terbuka. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi dibandingkan dengan pipa. Kekasaran dalam suatu saluran terbuka tergantung pada kedudukan

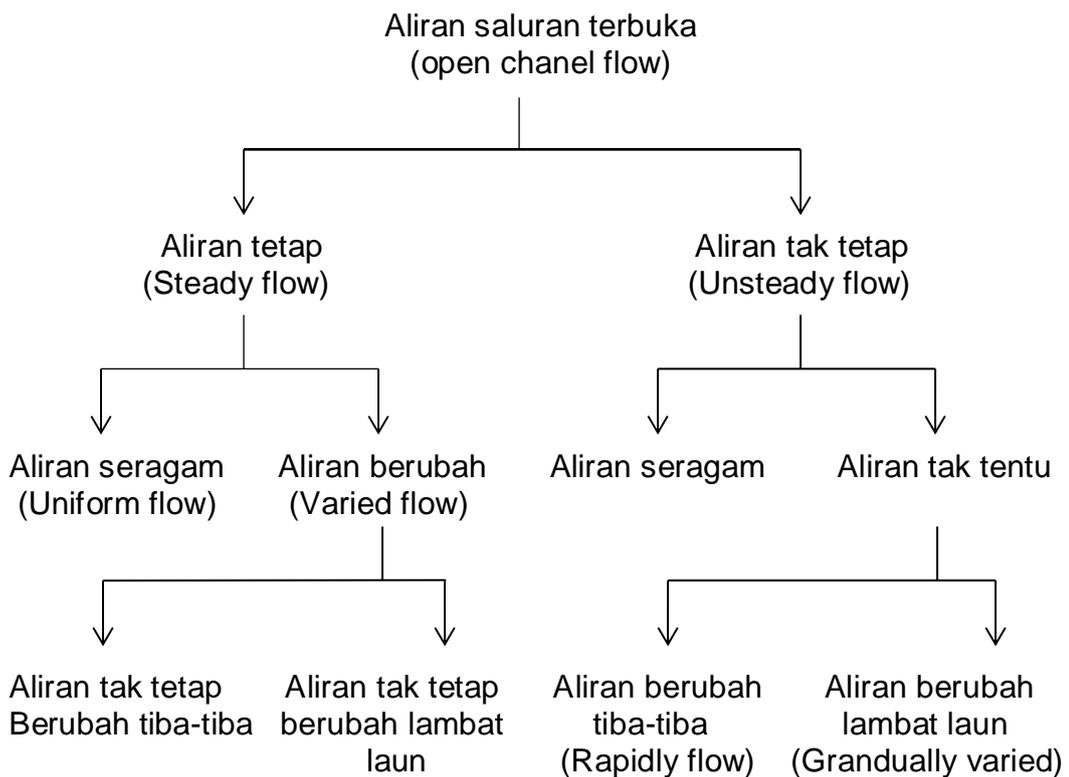
permukaan bebas. Sebab itu pemilihan koefisien gesekan untuk saluran terbuka lebih bersifat tidak pasti dibandingkan dengan aliran pipa. Umumnya, penyelesaian untuk aliran saluran terbuka lebih didasarkan pada hasil pengamatan. Metode empiris ini merupakan metode terbaik yang ada pada saat ini, dan bila diterapkan secara hati-hati dapat menghasilkan nilai yang sesuai dengan praktek.

Salah satu contoh saluran terbuka adalah sungai. Sungai adalah torehan permukaan bumi yang merupakan penampung dan penyalur alamiah aliran air dan material yang dibawanya dari bagian hulu ke hilir, atau dari tempat tinggi ke tempat yang rendah kemudian bermuara ke laut (Soewarno, 1991 dalam Prasetyo, 2006).

Tipe aliran saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar (Triatmodjo, 2017). Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds  $Re > 1.000$  dan laminar apabila  $Re < 500$ . Aliran melalui saluran terbuka dianggap seragam (*uniform*) apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit pada setiap tampang saluran terbuka adalah konstan. Aliran melalui saluran terbuka disebut tidak seragam atau berubah (*non uniform flow* atau *varied flow*), apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat, sedang apabila terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah tidak beraturan.

Aliran disebut mantap apabila variabel aliran di suatu titik seperti kedalaman dan kecepatan tidak berubah terhadap waktu, dan apabila berubah terhadap waktu disebut aliran tidak mantap. Selain itu aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) jika  $Fr < 1$ , dan super kritis (meluncur) jika  $Fr > 1$ . Di antara kedua tipe tersebut aliran adalah kritis ( $Fr=1$ ).

Klasifikasi aliran menurut *Chow* (1996) dalam *Wibowo* (2007) dapat digolongkan seperti pada Gambar 1.



Gambar 1. Klasifikasi Aliran (Chow, 1996)

## 2. Debit Pengaliran

Untuk menentukan debit aliran ( $Q$ ) pada suatu penampang saluran untuk sembarang aliran dapat dirumuskan dengan persamaan:

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

dengan:

$$Q = \text{Debit aliran (m}^3/\text{s)}$$

$$V = \text{Kecepatan rata-rata (m/s)}$$

$$A = \text{Luas penampang melintang tegak lurus arah aliran (m}^2\text{)}$$

Dalam aliran tetap, berdasarkan suatu pertimbangan, maka debit dianggap tetap di sepanjang bagian saluran yang lurus; dengan kata lain aliran bersifat kontinyu. Oleh sebab itu, persamaan (1) dapat diubah menjadi :

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 = \dots \quad (2)$$

di mana indeks menunjukkan penampang saluran yang berlainan. Ini merupakan persamaan kontinuitas untuk aliran tetap-kontinyu (*continuous steady flow*).

Persamaan (2) tidak dapat digunakan apabila aliran tetap tidak seragam (*non uniform*) di sepanjang saluran, yakni bila air mengalir keluar atau masuk disepanjang arah aliran. Jenis aliran ini dikenal sebagai aliran berubah beraturan (*spatially varied flow*) atau tidak kontinyu (*discontinuous flow*) misalnya terdapat pada saluran pembawa pada irigasi, saluran pembuang, pelimpah luapan samping, air pembilas dari penyaringan, dan terdapat pada selokan.

### 3. Sifat Aliran

Keadaan atau sifat aliran saluran terbuka pada dasarnya ditentukan oleh pengaruh kekentalan dan gravitasi sehubungan dengan gaya-gaya inersia aliran. Tegangan permukaan air dalam keadaan tertentu dapat pula mempengaruhi sifat aliran, tetapi pengaruh ini tidak terlalu besar dalam masalah saluran terbuka pada umumnya yang ditemui dalam dunia keteknikan. Pengaruh kekentalan (*Viscosity*), aliran dapat bersifat laminar, turbulen atau peralihan, tergantung pada pengaruh kekentalan sehubungan dengan kelembamannya (*inertia*)

Aliran adalah laminar bila gaya kekentalan relatif sangat besar dibandingkan gaya kelembaman sehingga kekentalan berpengaruh besar terhadap sifat aliran. Dalam aliran laminar, butir-butir air seolah bergerak menurut lintasan tertentu yang teratur atau lurus, dan selapis cairan yang sangat tipis seperti menggelincir di atas lapisan disebelahnya.

Aliran adalah turbulen bila gaya kekentalan relatif lemah dibandingkan dengan gaya kelembamannya. Pada aliran turbulen, butir-butir air bergerak menurut lintasan yang tak teratur, tak lancar maupun tak tetap, walaupun butir-butir tersebut tetap menunjukkan gerak maju dalam aliran secara keseluruhan.

Pengaruh kekentalan terhadap kelembaman dapat dinyatakan dengan Bilangan Reynolds, didefinisikan sebagai :

$$R_e = \frac{VL}{\nu} \quad (3)$$

dengan:

$R_e$  = Angka Reynold

$V$  = Kecepatan aliran (m/s)

$L$  = Panjang karakteristik (m), pada saluran muka air bebas  $L=R$ .

$R$  = Jari-jari hidrolis saluran (m)

$\nu$  = Kekentalan kinematik ( $m^2/s$ )

Beberapa penelitian disimpulkan bahwa bilangan Reynold untuk saluran terbuka adalah :

$R < 500$  = Aliran laminar

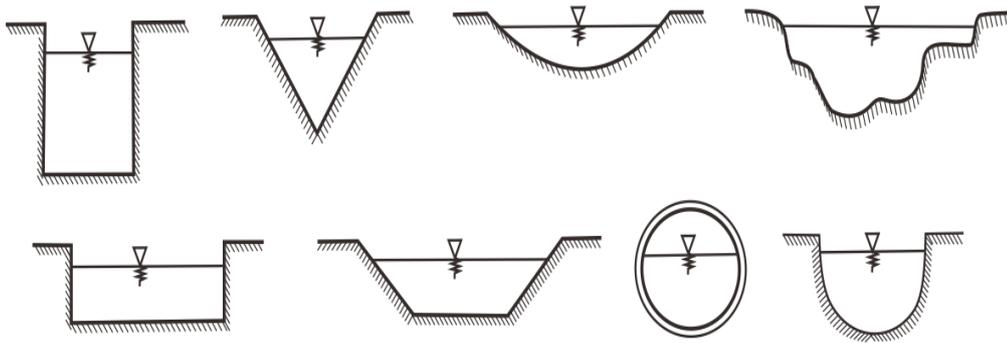
$500 < R < 12,500$  = Aliran transisi

$R > 12,500$  = Aliran turbulen

Pada saluran terbuka dipakai kedalaman hidraulis atau jari-jari hidraulis sebagai panjang karakteristik. Kedalaman hidraulis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi lebar permukaan air, sedangkan jari-jari hidraulis didefinisikan sebagai luas penampang basah dibagi keliling basah. Batas peralihan antara aliran laminar dan turbulen pada aliran bebas terjadi pada bilangan Reynold ( $R_e + 600$ ) yang dihitung berdasarkan jari-jari hidraulis sebagai panjang karakteristik. Dalam kehidupan sehari-hari, aliran laminar pada saluran terbuka sangat jarang ditemui. Aliran jenis ini mungkin dapat terjadi pada aliran dengan kedalaman sangat tipis di atas permukaan gelas yang sangat halus dengan kecepatan yang sangat kecil.

#### 4. Bentuk Saluran

Penampang saluran terbuka memiliki berbagai macam bentuk sebagaimana dapat dilihat pada Gambar 2 berikut.



Gambar 2. Bentuk-bentuk potongan melintang saluran terbuka

#### 5. Distribusi Tekanan Hidrostatik

##### a. Pada Saluran dengan Kemiringan Kecil.

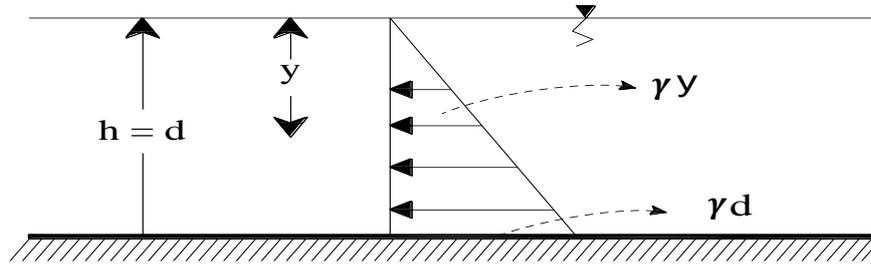
Kemiringan dasar saluran dikatakan kecil apabila gradien kemiringan atau  $\tan \theta \approx \sin \theta$  yaitu  $< 1/1000$ , dalam kondisi seperti ini, nilai  $h \approx d$ . Distribusi tekanan hidrostatik dapat diuraikan dari Gambar (3), dengan asumsi bahwa aliran seragam dan tidak ada percepatan vertikal maka tekanan hidrostatik ( $P$ ) pada suatu titik adalah:

$$P = \gamma y \quad (4)$$

dengan:

$\gamma$  = berat jenis air.

$y$  = kedalaman air dari permukaan air (dari 0 s/d  $d$ ).



Gambar 3. Distribusi tekanan hidrostatik pada saluran terbuka dengan kemiringan dasar kecil.

**b. Pada Saluran dengan Kemiringan Besar.**

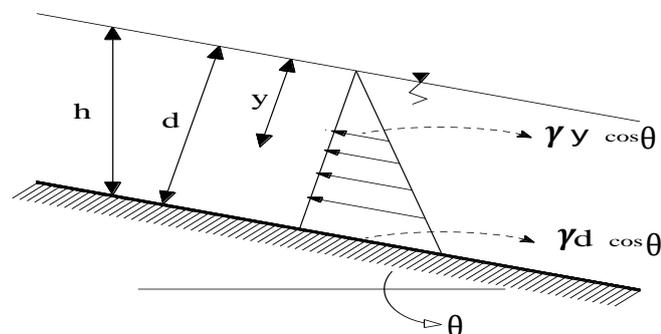
Kemiringan dasar saluran dikatakan besar apabila gradien kemiringan atau ( $\tan \theta$ ) lebih besar dari ( $1/100$ ), dalam kondisi seperti ini nilai ( $h$ )  $\neq$  ( $d$ ). Distribusi tekanan hidrostatik dapat diuraikan dari Gambar (4), dengan asumsi bahwa aliran seragam dan tidak ada percepatan vertikal, maka tekanan hidrostatik ( $P$ ) pada suatu titik adalah:

$$P = \gamma y \cos \theta \quad (5)$$

dengan:

$\gamma$  = berat jenis air.

$y$  = kedalaman air dari permukaan air (dari 0 s/d  $d$ ).



Gambar 4. Distribusi tekanan hidrostatik pada saluran terbuka dengan kemiringan dasar besar

## 6. Rumus Empiris Kecepatan Rata-Rata

Karena betapa sulitnya menentukan tegangan geser dan distribusi kecepatan dalam aliran turbulen, maka digunakan pendekatan empiris untuk menghitung kecepatan rata-rata. Persamaan kecepatan rata-rata tampang pada saluran terbuka secara umum berbentuk:

$$V = CR^x S^y \quad (6)$$

dengan:

$V$  = kecepatan aliran (m/s).

$C$  = faktor tahanan aliran.

$R$  = jari-jari hidraulik (m).

$S = S_o = S_w = S_f$  (pada aliran seragam).

$x$  dan  $y$  = eksponen.

Persamaan yang menjelaskan tentang kecepatan rata-rata tampang saluran terbuka dengan kondisi aliran seragam, diantaranya: persamaan Chezy, dan persamaan Manning.

### Rumus Kecepatan Chezy (1769).

Persamaan kecepatan Chezy diturunkan dari asumsi keseimbangan antara gaya tahanan geser ( $P_f$ ) dan komponen gaya berat air yang searah aliran ( $G \sin \theta$ ). Persamaan Chezy cenderung digunakan untuk keperluan riset di laboratorium. Persamaan Chezy dapat diturunkan dengan langkah-langkah sebagai berikut:

$$\tau_b = \gamma R S_0 \quad (7)$$

dengan:

$\tau_b$  = tegangan geser pada saluran dasar.

$\gamma$  = berat jenis air.

$R$  = jari-jari hidraulik (m).

$S_0$  = kemiringan dasar saluran.

Nilai  $\tau_b$  adalah juga =  $k V^2$

Oleh karena itu:

$$k \rho V^2 = \gamma R S_0$$

$$V^2 = \frac{\gamma R S_0}{k}$$

atau:

$$V = C \sqrt{R S_0} \quad (8)$$

dengan:

$V$  = kecepatan rata-rata (m/s).

$S_0$  = kemiringan dasar saluran.

$C$  = faktor tahanan aliran yang disebut koefisien Chezy.

$$C = \left(\frac{\gamma}{k}\right)^{1/2} \quad (9)$$

Persamaan (8) disebut dengan persamaan kecepatan Chezy, dan persamaan (9) adalah suatu koefisien yang disebut koefisien Chezy ( $C$ ). Nilai  $C$  bergantung pada kondisi permukaan saluran dan parameter-parameter aliran. Nilai  $C$  mempunyai dimensi  $L^{1/2}T^{-1}$ .

Terdapat beberapa rumus empiris untuk menentukan nilai koefisien tahanan pengaliran atau koefisien Chezy ( $C$ ), yaitu: rumus Bazin, rumus Ganguillet-Kutter, dan rumus Manning.

### a. Rumus Bazin.

Pada tahun 1897, seorang ahli hidraulika Prancis, H. Bazin merumuskan suatu persamaan untuk menghitung koefisien Chezy  $C$  sebagai fungsi jari-jari hidraulik ( $R$ ) dan koefisien kekasaran ( $m$ ) yang tergantung dari jenis bahan dinding saluran, sebagai berikut:

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \text{ (satuan SI)} \quad (10)$$

dengan:

$R$  = jari-jari hidraulik (m).

$m$  = koefisien kekasaran permukaan, nilainya seperti Tabel 1.

Tabel 1. Nilai ( $m$ ) yang disarankan oleh Bazin

Deskripsi Saluran	Nilai $m$ bazin
Papan diserut, disemen halus	0,11
Papan tak diserut, beton atau bata	0,21
Batu tempel, pasangan batu belah, plesteran bata kasar	0,83
Saluran tanah yang licin	1,54
Saluran tanah yang sedang	2,36
Saluran tanah yang kasar	3,17

Sumber : Chow (1985)

### b. Rumus Ganguillet dan Kuetter.

Pada tahun 1869, dua insinyur Swiss, Ganguillet dan Kuetter mengumumkan rumus yang menyatakan besarnya nilai  $C$  sebagai fungsi

kemiringan ( $S$ ), jari-jari hidraulik ( $R$ ), dan koefisien kekasaran ( $m$ ), dalam bentuk sebagai berikut:

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S_0} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{S_0}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (\text{satuan SI}) \quad (11)$$

dengan:

$R$  = jari-jari hidraulik (m).

$S_0$  = kemiringan dasar saluran.

$n$  = koefisien kekasaran Kutter

### **Rumus Kecepatan Manning.**

Rumus kecepatan Manning dikemukakan oleh seorang insinyur Irlandia bernama Robert Manning (1889). Rumus kecepatan manning cenderung digunakan untuk keperluan perencanaan lapangan. Bentuk dari rumus ini adalah:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_0^{1/2} \quad (\text{satuan SI}) \quad (12)$$

dengan:

$R$  = jari-jari hidraulik (m).

$n$  = koefisien kekasaran Manning.

$S_0$  = kemiringan dasar saluran.

Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai ( $n$ ) Manning antara lain: kekasaran permukaan, vegetasi, trase saluran, pengendapan dan

gerusan. Nilai ( $n$ ) Manning untuk berbagai permukaan saluran adalah seperti Tabel 2.

Tabel 2. Nilai koefisien kekasaran Manning ( $n$ )

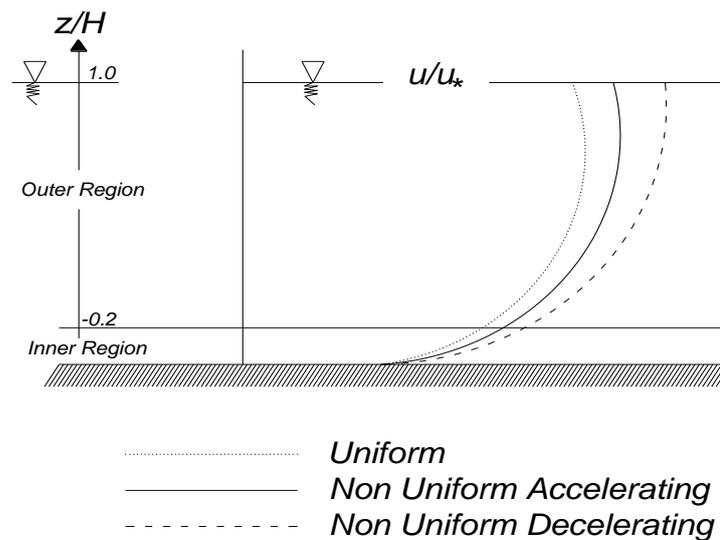
Jenis Permukaan / Bahan	$n$
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapisi mortal	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber: Bambang (1993)

## 7. Distribusi Kecepatan

Di dalam saluran terbuka adanya permukaan bebas dan gesekan pada dinding sepanjang saluran terbuka menyebabkan terjadinya pembagian kecepatan yang tidak sama pada penampang saluran. Kecepatan pada dinding atau dasar saluran sama dengan nol, sedangkan kecepatan maksimumnya tidak terjadi pada permukaan bebas, tetapi terjadi di bawah permukaan bebas sedalam  $0.05h$  sampai  $0.25h$ . Kecepatan aliran juga tergantung pada beberapa faktor lainnya yaitu bentuk penampang saluran dan kekasaran saluran. Kecepatan maksimum pada permukaan bebas terjadi pada saluran yang mempunyai arus yang besar

atau deras dan dangkal serta saluran yang memiliki dasar saluran yang licin. Kekasaran pada saluran penyebab pertambahan kelengkungan kurva dalam pembagian kecepatan vertikal yang dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Distribusi kecepatan

Distribusi kecepatan menurut teoritik yang diteliti dibagi menjadi dua bagian yaitu *inner region* yang berada di dekat dasar dimana distribusi kecepatan logaritmik berlaku, dan di daerah *outer region*, yang berada jauh dari dasar dimana distribusi kecepatan menyimpang secara jelas dan sistematis terhadap hukum logaritmik (Nezu dan Rodi, 1986; Kironoto dan Graf, 1994). Pada daerah *inner region*,  $y/D \leq 0.2$ , perbedaan kecepatan adalah cukup besar. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh tegangan geser, karakteristik aliran, kekerasan dasar, dan kedalaman dari dasar saluran. Pada daerah *outer region*,  $0.2 < y/D \leq 1$ , memiliki

perbedaan kecepatan yang tidak terlalu besar dan nilai kecepatan dipengaruhi oleh kecepatan maksimum, kedalaman aliran, dan gradient kecepatan, tapi tidak dipengaruhi oleh kekentalan (viskositas) dan kekerasan dasar (Graf, 1998, p.44)

Rumus distribusi kecepatan logaritmik (*the law of the wall*) di daerah *inner region*, yang dibatasi oleh  $y/D \leq 0.2$  dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$\frac{u}{u_*} = \frac{1}{K} \ln \left( \frac{y}{k_s} \right) + C \quad (13)$$

dimana :

$u$  = kecepatan rata-rata titik pada jarak  $y$  dari titik reverensi

$D$  = kedalaman aliran

$u_*$  = kecepatan geser

$K$  = konstanta universal Von-Karman ( $K = 0.4$ )

$C$  = konstanta integrasi

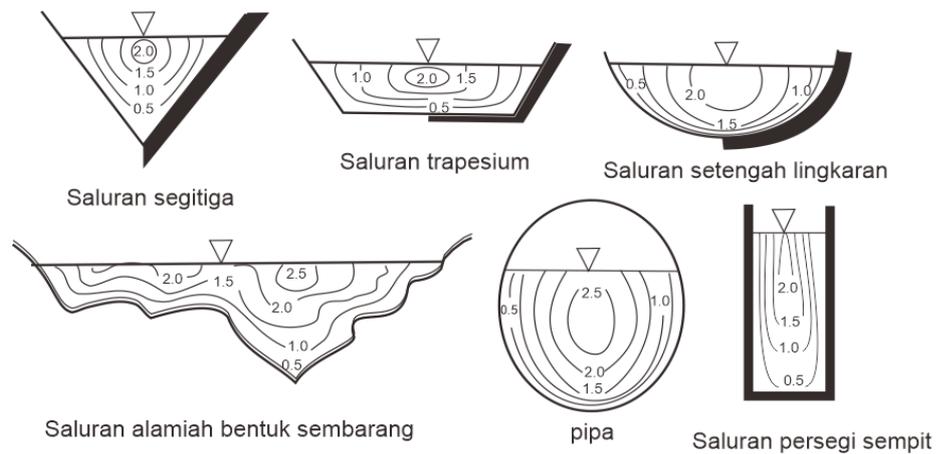
$k_s$  = kekasaran dasar *equivalen* Nikuradse

Untuk aliran seragam, nilai  $Br$  di tengah saluran (aliran 2D) adalah,  $Br \approx 8,5 \pm 15\%$  (Reynolds, 1974)

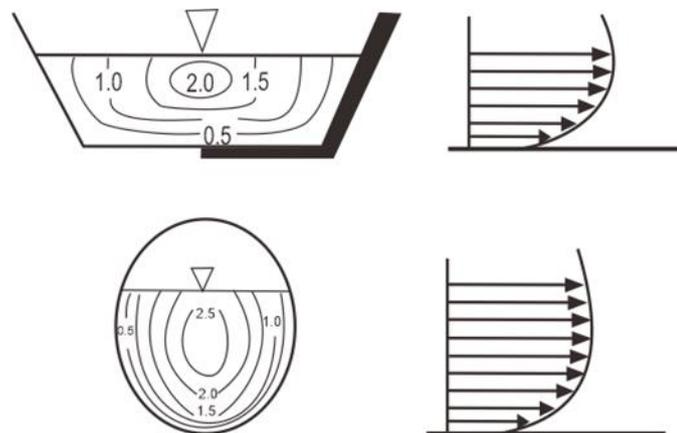
Kecepatan aliran dalam saluran biasanya sangat bervariasi dari titik lainnya (Suripin, 2019), hal ini disebabkan adanya tegangan geser di dasar dan dinding saluran dan keberadaan permukaan bebas.

Kecepatan aliran mempunyai tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun, komponen arah vertikal dan lateral biasanya

kecil dan dapat diabaikan. Oleh karena itu, hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan. Komponen kecepatan ini bervariasi terhadap kedalaman dari permukaan air. Tipikal variasi kecepatan terhadap kedalaman air diperlihatkan dalam Gambar 7.



Gambar 6. Distribusi kecepatan pada berbagai bentuk potongan melintang saluran.



Gambar 7. Pola distribusi kecepatan sebagai fungsi kedalaman

## 8. Tegangan Geser dan Kecepatan Gesek

Tegangan geser  $\tau$  adalah tegangan internal fluida yang melawan deformasi/perubahan bentuk. Tegangan geser terjadi hanya pada fluida yang bergerak. Tegangan ini merupakan tegangan tangensial, berbeda dengan tekanan yang merupakan tegangan normal.

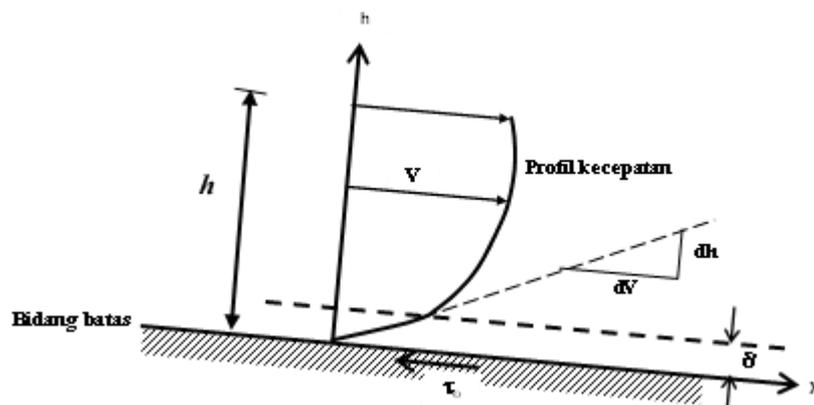
### a. Aliran Laminer ( $Re = \frac{VL}{\nu} < 500$ ).

Tegangan geser lokal pada pertemuan antara bidang batas dan fluida dapat ditentukan dengan mudah untuk bidang batas yang halus, yaitu jika kekasaran pada bidang batas tenggelam dalam lapisan kekentalan (*viscous sublayer*) seperti terlihat pada Gambar 8. Tebal lapisan laminer dilambangkan dengan  $\delta'$ . Dalam aliran laminer, tegangan geser pada bidang batas adalah:

$$\tau_o = \mu \left( \frac{dv}{dh} \right) \text{ pada } h = 0 \quad (14)$$

untuk  $h = z$ , maka persamaan (14) menjadi

$$\tau_z = \mu \left( \frac{dv}{dh} \right) \quad (15)$$



Gambar 8. Bidang batas hidraulis halus

Pada aliran permanen beraturan, tegangan geser pada  $h = z$  adalah:

$$\tau_z = \rho g (h - z) S_f \quad (16)$$

**b. Aliran Turbulen ( $R_e = \frac{VR}{\nu} > 2.000$ ).**

Menurut teori percampuran yang dikembangkan oleh Prandtl (1926):

$$\tau_z = \rho L^2 \left( \frac{dV_z}{dz} \right)^2 \quad (17)$$

dengan:

$$L = \text{panjang percampuran} = \chi \cdot z$$

$$\chi = \text{kappa} = \text{konstanta universal von Karman} (=0.40)$$

Dengan asumsi di dekat dasar  $\tau_z = \tau_o$

$$\rho \cdot \lambda^2 \cdot z^2 \cdot \left( \frac{dV_z}{dz} \right)^2 = \rho g h S_f$$

$$\frac{dV_z}{dz} = \frac{\sqrt{ghS_f}}{\lambda} \cdot \frac{1}{z}$$

$$V_z = \int_{z_0}^z \frac{\sqrt{ghS_f}}{\lambda} \cdot \frac{dz}{z}$$

sehingga

$$V_z = \frac{V_*}{\lambda} \ln \frac{z}{z_0} \quad (18)$$

Persamaan tersebut merupakan rumus distribusi kecepatan *Prandtl-von Karman*. Untuk nilai kappa = 0,4 maka:

$$V_z = 5,75 V_* \log \frac{z}{z_0} \quad (19)$$

Walaupun rumus tersebut diturunkan pada suatu titik dekat dasar, tetapi percobaan menunjukkan bahwa rumus tersebut berlaku pada seluruh

kedalaman (h). Rumus tersebut tidak berlaku pada daerah batas laminer, karena pada lapisan batas laminer nilai viskositas lebih penting. Pada daerah batas laminer, rumus dijabarkan sebagai berikut:

$$\tau_o = \mu \frac{dV_z}{dz}$$

Untuk  $\tau_z = \tau_o$  maka:

$$dV_z = \frac{\tau_o}{\mu} dz ; V_z = \int \frac{V_*^2}{\nu} dz$$

Jadi,

$$V_z = \frac{V_*^2}{\nu} \tag{20}$$

Pada batas daerah laminer  $z = \delta$ , maka:

$$V_{z=\delta} = \frac{V_*^2 \delta}{\nu}$$

$$\delta = \frac{11,6\nu}{V_*}, \text{ maka}$$

$$V_{z=\delta} = \frac{V_*^2}{\nu} \frac{11,6\nu}{V_*}, \text{ atau}$$

$$V_{z=\delta} = 11,6V_* \tag{21}$$

Pada dasarnya tidak terdapat perubahan mendadak pada batas laminer, yaitu dari logaritmik ke linier melainkan transisi dari batas atas. Harga  $z_o$  tergantung pada kondisi kekasaran dasar saluran, jika  $k$  adalah diameter kekasaran butiran dasar dan  $a$  adalah jari-jari butiran, dengan membandingkan diameter kekasaran dan tebal lapisan batas laminer,

dasar saluran dapat diklasifikasikan menjadi Hidraulis licin/halus ( $a \ll \delta / 7$ ) dan Hidraulis kasar ( $a \gg \delta / 7$ ).

Hidraulis licin/halus ( $a \ll \delta / 7$ )

$$z_0 = \frac{\delta}{c}, \text{ dengan } \delta = \frac{11,6v}{V_*}$$

$$\delta = \frac{11,6v}{V_*} = \frac{11,6v}{\sqrt{\frac{\tau_0}{\rho}}}$$

di mana  $V_* = gRS$  dan  $\tau_0 = \gamma RS$ , dan harga  $c$  berkisar antara 100 sampai 107, Nikuradse  $c = 107$  untuk dasar licin, sedangkan di Indonesia biasanya dipakai 104. Jadi persamaan (32) menjadi:

$$V_z = 5,75V_* \log \frac{104z}{\delta} \quad (22)$$

dan kecepatan rata-rata pada  $z = 0,4h$  adalah:

$$\bar{V} = 5,75V_* \log \frac{42h}{\delta}$$

Keulegan (1938) dan Chow (1959) menyimpulkan persamaan Universal Prandtl-Von Korman untuk saluran dengan dasar halus yaitu:

$$\frac{V_0}{u_*} = 2,5 \ln \frac{Ru_*}{v} + 3,25$$

(23)

dengan:

$V_z$  = kecepatan pada jarak  $z$  dari dasar (m/s).

$u_* = \sqrt{gRS_f}$  kecepatan gesek (m/s).

$h$  = kedalaman air (m).

$\nu$  = viskositas kinematik ( $\text{m}^2/\text{s}$ ).

$k$  = diameter kekasaran dasar (m).

$\delta$  = jari-jari butiran (m).

## 9. Bilangan *Froude*

Penelitian hambatan segitiga terhadap kecepatan aliran dengan tujuan mereduksi kecepatan pada saluran terbuka, lebih banyak dipengaruhi oleh gaya berat, sehingga dalam penelitian ini akan digunakan kesebangunan *Froude*. Apabila suatu model dipelajari berdasarkan angka *Froude*, maka pengaruh gaya lain seperti gaya kental dan tegangan permukaan harus dihilangkan dengan membuat model yang besar dan permukaannya halus (Triatmodjo, 1996 dalam Puspita, 2018).

Angka *Froude* adalah akar perbandingan antara gaya inersia dan gaya berat. Bilangan *Froude* aliran ( $Fr$ ) dapat digunakan dalam menentukan bentuk konfigurasi dasar saluran (Chow, 1989) dengan persamaan:

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (24)$$

dimana :

$V$  = kecepatan aliran rata-rata (m/dt)

$D$  = kedalaman aliran (m)

$G$  = kecepatan gravitasi ( $\text{m}/\text{dt}^2$ )

$Fr$  = bilangan *Froude*

## B. Metode Analisis Dimensi

Permasalahan yang ada dalam mekanika fluida dan hidraulika dapat didekati dengan analisa dimensi, yaitu teknik matematik yang berhubungan dengan dimensi dari suatu besaran fisik yang berpengaruh pada permasalahan yang dihadapi. Apabila faktor-faktor yang berpengaruh pada kondisi fisik dapat diidentifikasi, maka dengan analisa dimensi ini akan dapat ditentukan bentuk hubungan diantaranya. Pertama kali diperkirakan parameter-parameter tersebut dikelompokkan dalam suatu bentuk tak berdimensi sehingga akhirnya dapat ditetapkan fenomena aliran yang lebih baik. Analisa dimensi ini banyak membantu dalam pekerjaan eksperimen dan akan mengarahkan pada sesuatu yang secara nyata mempengaruhi fenomena yang ada.

Parameter yang terlibat dalam kecepatan aliran akibat hambatan plat segitiga dapat dikelompokkan sebagai berikut.:

- a) Parameter yang berkaitan dengan geometri saluran: lebar, bentuk penampang, dan kemiringan.
- b) Parameter yang berkaitan dengan hambatan : kemiringan hambatan, ukuran, dan bentuk hambatan.
- c) Parameter yang berkaitan dengan fluida: massa jenis, kekentalan (viskositas), percepatan gravitasi dan suhu.
- d) Parameter yang berkaitan dengan kondisi aliran: kecepatan aliran rata-rata, kedalaman aliran, kecepatan geser dan kekasaran saluran.

Bilangan tak berdimensi digunakan untuk menyatakan hubungan antar parameter serta dipakai untuk menggambarkan hasil-hasil penelitian. Untuk menentukan bilangan tak berdimensi tersebut dapat dilakukan dengan analisis dimensi. Beberapa cara/metode yang umum digunakan untuk analisis dimensi yaitu Metode *Basic Echelon*, Metode *Buckingham*, Metode *Rayleigh*, Metode *Stepwise* dan Metode *Langhaar* (Yuwono, 1996). Untuk penelitian ini digunakan metode *Buckingham*, menggunakan penalaran fisik, dan berbagai penyelidikan menggabungkan parameter yang sesuai yang mempengaruhi kecepatan gesek dasar pada saluran di berbagai tempat bentuk nondimensional.

Metode *Buckingham* menjelaskan fenomena model hidraulik, bila ada fungsi yang terdiri dari  $n$  parameter  $g(q_1, q_2, \dots, q_n) = 0$  maka parameter-parameter tersebut dapat dikelompokkan menjadi  $(n - m)$  kelompok independent dimensionless ratio atau yang dinotasikan sebagai parameter  $\pi$  dan dapat diekspresikan sebagai  $G(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_{(n-m)}) = 0$  dimana :

$m$  = adalah repeating parameter yang umumnya diambil sama dengan  $r$   
(tetapi tidak selalu)

$r$  = adalah jumlah minimum dimensi bebas yang dibutuhkan untuk menspesifikasikan dimensi-dimensi dari seluruh parameter.

Untuk keperluan teknik hidraulik biasanya ada 3 elemen pokok yaitu Massa ( $M$ ), Panjang ( $L$ ) dan waktu ( $T$ ) (Yuwono, 1996). Adapun parameter

yang mempengaruhi kecepatan akibat struktur plat segitiga dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter kecepatan akibat struktur plat segitiga

Variabel	Notasi	Satuan ukur	Dimensi	Unit
<b>Parameter Aliran</b>				
Kedalaman air (TMA)	$d$	cm	L	Geometrik
Debit aliran	$Q$	cm <sup>3</sup> /dtk	L <sup>3</sup> T <sup>-1</sup>	
Gaya	$F$	(Kg.m/s <sup>2</sup> ) = N	MLT <sup>-2</sup>	Kinematik
Tekanan	$P$	(Kg.m/s <sup>2</sup> )/m <sup>2</sup> = N/m <sup>2</sup>	ML <sup>-1</sup> T <sup>-2</sup>	Kinematik
Kecepatan aliran	$u$	cm/s	LT <sup>-1</sup>	
Kemiringan/Slope	$S$	(-)	(-)	Geometrik
Lebar Penampang	$L$	cm	L	Geometrik
Percepatan Gravitasi	$g$	cm/s <sup>2</sup>	LT <sup>-2</sup>	Kinematik
Viskositas Dinamis	$\vartheta$	(Kg.m/s <sup>2</sup> )s/m <sup>2</sup> = N.s/m <sup>2</sup>	ML <sup>-1</sup> T <sup>-1</sup>	Kinematik
Viskositas Kinematik	$\mu$	cm <sup>2</sup> /s	L <sup>2</sup> T <sup>-1</sup>	Kinematik
Kerapatan air	$\rho$	Kg/cm <sup>3</sup>	ML <sup>-3</sup>	Dinamis
Berat Spesifik	$\gamma$	(kg.m/s <sup>2</sup> )/m <sup>3</sup> = N/m <sup>3</sup>	ML <sup>-2</sup> T <sup>-2</sup>	Kinematik
<b>Parameter Plat Segitiga</b>				
Kemiringan Plat	$\theta$	(-)	(-)	
Tinggi Plat	$h$	cm	L	Geometrik
Lebar Plat	$w$	cm	L	Geometrik

Adapun fungsi hubungan beberapa parameter yang mempengaruhi kecepatan pada struktur plat segitiga adalah :

$$V = (d, g, \rho, \mu, h, w, Q_w, v) ; \text{ dengan variable yang berulang adalah } d, \rho, g$$

dengan :

$d$  : Kedalaman air (TMA), cm

- $g$  : Percepatan Gravitasi,  $\text{cm/s}^2$   
 $\rho$  : Kerapatan air,  $\text{Kg/cm}^3$   
 $\mu$  : Viskositas Kinematik,  $\text{cm}^2/\text{s}$   
 $h$  : Tinggi Plat,  $\text{cm}$   
 $w$  : Lebar Plat,  $\text{cm}$   
 $Q_w$  : Debit aliran,  $\text{cm}^3/\text{dtk}$   
 $v$  : Kecepatan aliran,  $\text{cm/s}$

### **C. Hipotesa**

Berdasarkan landasan teori dan tinjauan pustaka, maka konsep struktur plat segitiga diharapkan dapat mereduksi kecepatan aliran sehingga kecepatan kritis dan kecepatan gesek yang terjadi di dasar saluran menjadi lebih kecil.

### **D. Penelitian Terdahulu**

Pada bab ini diberikan gambaran beberapa penelitian terdahulu yang telah dilakukan dalam penelitian kecepatan aliran dan kecepatan gesek pada saluran terbuka yang yang menjadi acuan kami dalam melakukan penelitian selanjutnya tentang pengaruh plat segitiga terhadap kecepatan gesek dasar pada saluran terbuka.

Koefisien gesek di saluran terbuka studi kasus saluran drainase Cikutra Barat. Penelitian ini menghitung koefisien gesek pada saluran terbuka berdasarkan empat metode yaitu rumus Darcy-Weisbach modifikasi, nilai koefisien kekasaran Manning, diameter butir sedimen dan bilangan Reynolds, serta membandingkan nilai koefisien gesek dari

metode tersebut dengan nilai koefisien gesek berdasarkan bilangan Reynolds. Hasil perhitungan koefisien gesek berdasarkan nilai koefisien kekasaran Manning memiliki hasil yang lebih akurat bila dibandingkan dua metode lainnya, dengan hasil faktor koreksi sebesar 1.003 terhadap koefisien gesek acuan (Dimas A., 2020).

Pengaruh jumlah Krib tipe zigzag terhadap kecepatan aliran pada sungai Krueng Aceh. Penelitian ini mensimulasikan Krib tipe zigzag untuk melindungi tepian sungai, pengaruh krib terhadap kecepatan aliran pada tikungan sungai Krueng Aceh menggunakan program Surfacewater Modeling System (SMS) untuk memprediksi arah aliran setelah pemasangan krib. Banyaknya groin yang dipasang juga mempengaruhi kecepatan hasil simulasi. Kecepatan seri groin 5 unit lebih besar daripada kecepatan seri groin 3 unit (Fatima, S. dan Masimin, E., 2020).

Kajian Distribusi Kecepatan Aliran Sebelum dan Sesudah Belokan Disaluran Terbuka Menggunakan Acoustic Doppler Velocimeter (ADV). Penelitian dilakukan di Laboratorium Hidrolika terapan, Jurusan Teknik Pengairan Fakultas Teknik Universitas Brawijaya. Penelitian dilakukan pada saluran/flume berupa dasar tetap atau fixed bed dengan sudut  $120^\circ$ , dengan saluran lurus sebelum belokan sepanjang 300 cm dan saluran setelah belokan sepanjang 200 cm. Dari grafik, angka froude yang paling Maksimum terjadi pada sudut pemasangan krib permeable  $45^\circ$  ke arah hulu aliran. Sedangkan dari sudut pemasangan krib permeabel krib  $90^\circ$  lebih baik karena kedalaman gerusan lebih kecil

dibandingkan dengan sudut pemasangan krib  $45^\circ$  dan  $135^\circ$  (Scuiana, 2016).

Analisis Distribusi Kecepatan Aliran Sungai Musi (Ruas Jembatan Ampera Sampai Dengan Pulau Kemaro). Penelitian ini menganalisis distribusi kecepatan aliran studi lapangan. Teknik pengamatan ini didasarkan atas pengalaman secara langsung. Dalam studi lapangan ini terdiri dari dua langkah atau metode yang dilakukan yaitu pengumpulan data secara primer dan sekunder yakni data kedalaman sungai, dan penampang melintang. Pada bagian 1 (bagian lurus), yang ditunjukkan pada potongan melintang 1 yang bertempat pada Pasar 16 Ilir. Distribusi kecepatan maksimum terletak pada titik tinjau ke-3 yaitu ditengah-tengah saluran. sebaliknya, semakin mendekati tepi saluran maka nilai kecepatan semakin kecil karena dipengaruhi oleh gaya gesek pada dinding saluran (Junaidi, 2014).

Pengaruh Jenis Lapisan Permukaan Pipa Terhadap Koefisien Gesek. Penelitian ini mengkaji pengaruh jenis lapisan permukaan pipa dan kecepatan aliran fluida terhadap nilai koefisien gesek. Jenis material lapisan mempengaruhi kekasaran permukaan pipa, semakin tinggi nilai kekasaran permukaan pipa maka koefisien geseknya cenderung meningkat. Dari ketujuh jenis lapisan permukaan, pipa uji yang dilapisi pecahan batu bata memiliki nilai kekasaran relatifnya paling tinggi ( $\epsilon$ )  $2,2 \text{ mm/D}$ ,  $2,2/22 = 0,1$  dan memiliki nilai koefisien gesek paling tinggi dibanding dengan ke enam lapisan lainnya yaitu rata-rata sebesar 0,1638.

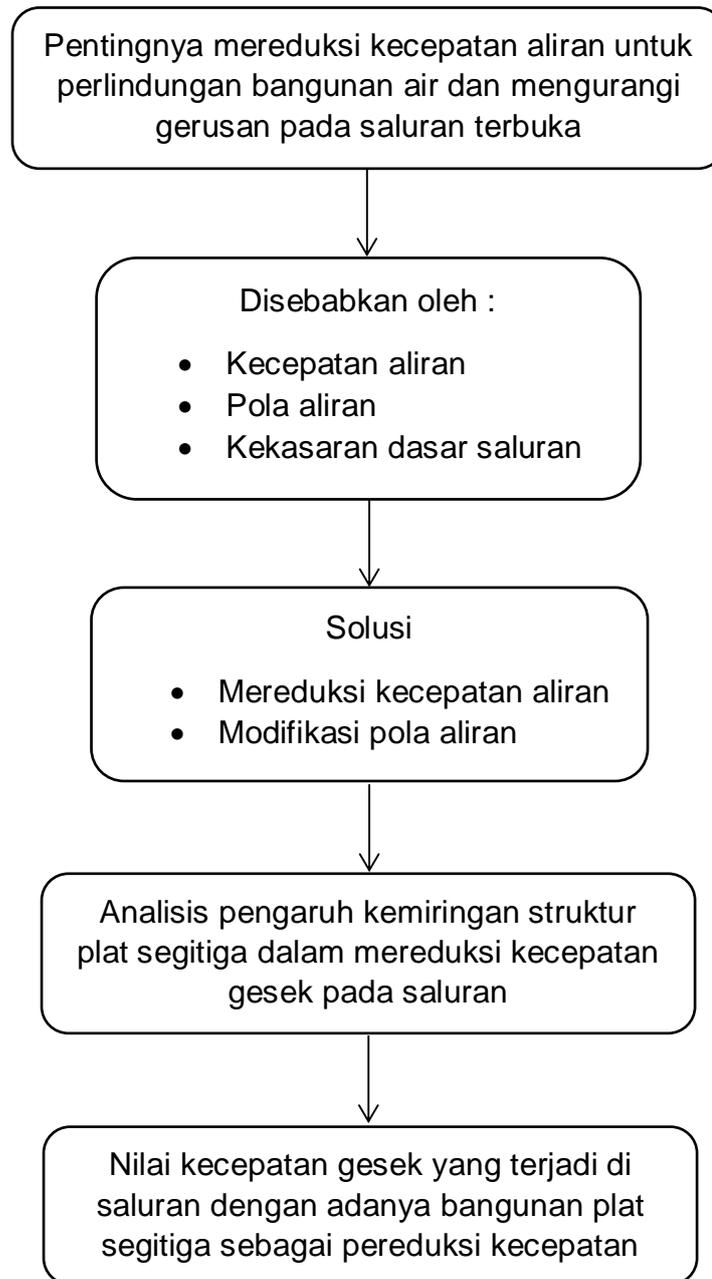
Dan yang paling kecil nilai kekasaran pipa adalah yang dilapisi daun talas dengan kekasaran relatif ( $\epsilon$ ) 0,1 ,  $/D = 0,1/22 = 0,0045$  mempunyai nilai koefisien gesek rata-rata 0,0582, dan bilangan Reynold semakin besar (Asmadi dkk, 2019).

Studi Experimen Distribusi Kecepatan Pada Saluran Lurus Di Sungai Batang Lubuh. Penelitian ini ditujukan untuk mengetahui dan melihat penyebaran distribusi kecepatan pada berbagai titik baik horizontal maupun vertical. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan maksimum berada pada permukaan saluran dan pada saat mendekati dasar saluran kecepatan aliran mendekati nol. dengan di dapatkannya nilai kecepatan maksimum seluruh penampang yaitu 1,914 m/detik dan kecepatan aliran semakin ke dasar akan semakin kecil yaitu 0,955 m/detik maka, kecepatan rata-rata dari seluruh penampang tersebut menunjukkan bahwa pada permukaan saluran sungai batang lubuh tidak sama dengan dasar sungai batang lubuh (Putra, 2016). Pengaruh Penempatan Struktur Peredam Energi Terhadap Distribusi Kecepatan Gesek Pada Saluran Terbuka. Percobaan dilakukan pada saluran flume dengan Panjang 8,00 m, lebar 0,40 m dan tinggi 0,40 m. Selama percobaan, kemiringan saluran yang digunakan adalah 0,05% dan 0,25%. Kondisi aliran menggunakan 3 (tiga) variasi debit (Q), tanpa struktur dan dengan Struktur Peredam Energi (SPE) berbentuk plat segitiga dengan tinggi plat yang ditentukan berdasarkan besarnya rata-rata kecepatan maksimum yang terjadi yaitu 0,6D dari rata-rata tinggi muka air adalah setinggi 0.06 m dari dasar

saluran. Kecepatan aliran dalam saluran terbuka biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik yang lain. Kecepatan aliran memiliki tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan. (Ira Widyastuti, 2020).

### **E. Kerangka Pikir**

Kerangka pemikiran penelitian yang dilakukan, disajikan dalam bentuk bagan alir pada Gambar 9.



Gambar 9. Kerangka Pikir Penelitian

## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **A. Tempat dan Waktu Penelitian**

Kegiatan penelitian dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Teknik Sipil Gowa Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, dengan waktu penelitian mulai bulan April 2021 sampai Juli 2021.

#### **B. Pra Penelitian**

Tujuan pra penelitian adalah untuk mengetahui kapasitas saluran (*flume*), sistim pengaliran di dalam *flume*, kapasitas debit maksimum yang mampu diberikan oleh pompa. Dari informasi tersebut peneliti dapat merancang dimensi model hambatan plat segitiga yang akan digunakan.

Sebelum *running* menggunakan hambatan plat segitiga, dilakukan terlebih dahulu pengamatan atau pengukuran kecepatan aliran pada kondisi *clear-water* tanpa hambatan dengan variasi kemiringan dasar saluran dan debit pada *flume*. Selanjutnya dilakukan pengukuran dengan pembendungan atau menggunakan struktur peredam energi berupa plat segitiga dengan variasi sudut hambatan pada variasi kemiringan dasar saluran dan debit pada pengukuran sebelumnya. Dari hasil pengukuran maka dapat diperoleh data kecepatan aliran akibat adanya plat segitiga pada saluran.