

**SKRIPSI**

**PENGARUH AMBANG DI HILIR TERHADAP  
KARAKTERISTIK ALIRAN DISEKITAR PILAR**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD ZYDANE B**

**D011 20 1131**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**GOWA**

**2024**



## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### PENGARUH AMBANG DI HILIR TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DISEKITAR PILAR

Disusun dan diajukan oleh

**MUHAMMAD ZYDANE BUSTAN**  
**D011 20 1131**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 11 September 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng  
NIP. 196805292002121002

Menyetujui,  
Pembimbing Utama,



Prof. Dr. Eng. Ir. H Farouk Maricar M.T  
NIP: 196410201991031002



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muhammad Zydane B  
NIM : D011201131  
Program Studi : Teknik Sipil  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisa saya berjudul

{Pengaruh Ambang di Hilir Terhadap Karakteristik Aliran Disekitar Pilar}

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain dan bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Semua informasi yang ditulis dalam skripsi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis. Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko.

Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh Penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa 2024

Yang Menyatakan



Muhammad Zydane B



Optimization Software:  
[www.balesio.com](http://www.balesio.com)

## ABSTRAK

**MUHAMMADAD ZYDANE BUSTAN.** *Pengaruh Ambang di Hilir terhadap karakteristik aliran disekitar pilar (dibimbing oleh Farouk Maricar)*

Pengembangan infrastruktur air, seperti jembatan dan bendungan, merupakan aspek penting dalam upaya peningkatan kesejahteraan masyarakat. Pilar atau tiang penyangga pada jembatan, yang tertanam di dasar sungai atau kanal, berfungsi untuk menahan dan menyalurkan beban struktur jembatan ke dasar sungai. Keberadaan pilar dalam aliran air dapat mempengaruhi karakteristik aliran, seperti kecepatan, tekanan, dan distribusi energi. Ambang (weir) adalah struktur buatan yang ditempatkan di aliran air untuk mengontrol tinggi muka air dan kecepatan aliran. Ambang sering ditempatkan di hilir pilar untuk mengurangi kecepatan aliran, mencegah erosi, dan melindungi struktur dari kerusakan. Penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menganalisis pengaruh ambang di hilir terhadap karakteristik aliran di sekitar pilar. Melalui studi eksperimental dan analisis numerik, penelitian ini berupaya memahami dinamika aliran, termasuk pola turbulensi, distribusi kecepatan, dan potensi erosi di sekitar pilar. Pemahaman yang mendalam mengenai interaksi antara aliran air dan struktur diharapkan dapat memberikan dasar ilmiah untuk merancang struktur yang lebih aman dan tahan lama. Penelitian ini juga relevan dalam konteks perubahan iklim dan peningkatan frekuensi peristiwa cuaca ekstrem, dimana ambang yang efektif dapat membantu mengendalikan aliran air selama banjir dan mengurangi dampak merusak pada infrastruktur. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi bidang teknik sipil, khususnya dalam perencanaan dan desain struktur air yang lebih aman dan efisien.

Kata Kunci: Pilar, Karakteristik Aliran, Distribusi kecepatan.



## ABSTRACT

**MUHAMMAD ZYDANE BUSTAN.** *The Influence of Downstream Weirs on Flow Characteristics Around Piers (supervised by Farouk Maricar)*

The development of water infrastructure, such as bridges and dams, is an essential aspect of improving public welfare. Bridge piers or support columns, embedded in the riverbed or canal, serve to bear and transmit the bridge's structural loads to the riverbed. The presence of piers in the water flow can significantly affect flow characteristics, such as velocity, pressure, and energy distribution. A weir is an artificial structure placed in a water flow to control the water level and flow velocity. Weirs are often placed downstream of piers to reduce flow velocity, prevent erosion, and protect structures from damage.

This research aims to explore and analyze the effect of downstream weirs on the flow characteristics around piers. Through experimental studies and numerical analysis, this research seeks to understand flow dynamics, including turbulence patterns, velocity distribution, and erosion potential around the piers. A deep understanding of the interaction between water flow and structures is expected to provide a scientific basis for designing safer and more durable structures. This research is also relevant in the context of climate change and the increasing frequency of extreme weather events, where effective weirs can help control water flow during floods and reduce damaging impacts on infrastructure.

The results of this research are expected to make a significant contribution to the field of civil engineering, particularly in the planning and design of safer and more efficient water structures.

Keywords: Piers, Flow Characteristics, Velocity Distribution.



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN .....	iii
ABSTRAK .....	iv
ABSTRACT .....	v
DAFTAR ISI .....	vi
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR LAMPIRAN .....	xii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	xiii
KATA PENGANTAR.....	xiv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian.....	2
1.5 Ruang Lingkup / Asumsi Perancangan.....	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	3
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Saluran Terbuka.....	5
2.1.1 Bentuk Saluran .....	5
2.1.2 Geometri Saluran.....	6
2.2 Sifat-Sifat Aliran.....	7
2.2.1 Rapat Massa .....	8
2.2.2 Berat Jenis .....	8
2.2.3 Rapat Relatif.....	9
2.3 Kecepatan Aliran .....	9
Distribusi Kecepatan .....	10
Konsep Teoritis Lapisan Batas .....	12
1 Konsep Kekasaran Permukaan.....	13
2 Distribusi Kecepatan di Bagian Saluran .....	15



2.6	Angka Reynold.....	16
2.7	Angka Froude .....	17
2.8	Kecepatan Geser.....	18
2.9	Tegangan Geser Dasar Aliran.....	20
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....		23
3.1.	Lokasi Penelitian .....	23
3.2.	Benda Uji dan Alat .....	23
3.2.1	Sumber Data.....	23
3.2.2	Bahan Penelitian.....	24
3.2.3	Alat Penelitian .....	24
3.3.	Prosedur Penelitian.....	27
3.3.1	Tahapan Pendahuluan.....	27
3.3.2	Pengambilan Data Kecepatan .....	28
3.3.3	Analisis dan Pengolahan Data.....	30
3.4.	Bagan Alir Penelitian.....	31
3.5.	Parameter Aliran & Geometri Saluran .....	31
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....		33
4.1	Debit Aliran .....	33
4.2	Distribusi kecepatan Aliran .....	34
4.2.1	Pilar Polos .....	34
4.2.2.	Pilar Berpori.....	38
4.3	Angka Froude .....	41
4.3.1	Pilar Polos .....	41
4.3.2	Pilar Berpori .....	44
4.4	Angka Reynold.....	47
4.4.1	Pilar Polos .....	47
4.4.2	Pilar Berpori.....	49
4.5	Tegangan Geser .....	52
4.5.1	Pilar Polos .....	52
4.5.2	Pilar Berpori.....	55
4.5.3	Kecepatan Geser.....	58
4.5.4	Pilar Polos .....	58



4.6.2 Pilar Berpori.....	61
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	64
5.1 Kesimpulan.....	64
5.2 Saran.....	64
DAFTAR PUSTAKA .....	65
DAFTAR LAMPIRAN .....	67





## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Macam-macam Bentuk Penampang.....	6
Gambar 2 Geometri Penampang Persegi dan Trapesium.....	6
Gambar 3 Perkembangan lapisan batas dalam saluran terbuka dengan kondisi pemasukan yang ideal .....	12
Gambar 4 Sifat-sifat kekerasan permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar .....	13
Gambar 5 Distribusi Kecepatan Aliran .....	15
Gambar 6 Lokasi Penelitian .....	23
Gambar 7 Saluran Terbuka.....	24
Gambar 8 <i>Portable Velocity Meter Ls-100</i> .....	25
Gambar 9 Meteran.....	25
Gambar 10 Tampak Depan Model Pilar Silinder Plastik .....	26
Gambar 11 <i>Point Gauge</i> .....	26
Gambar 12 Kamera .....	26
Gambar 13 Formulir Penelitian.....	27
Gambar 14 Titik Pengukuran Pada Saluran Terbuka Menggunakan Alat <i>Portable Velocity Meter LS-100</i> .....	29
Gambar 15 Contoh Bentuk Saluran Terbuka .....	32
Gambar 16 Grafik Perbandingan Kecepatan Aliran Q1 Rata-Rata Pada Pilar Polos .....	35
Gambar 17 Grafik Perbandingan Kecepatan Aliran Q2 Rata-Rata Pada Pilar Polos .....	36
Gambar 18 Grafik Perbandingan Kecepatan Aliran Q3 Rata-Rata Pada Pilar Polos .....	36
Gambar 19 Grafik Perbandingan Kecepatan Aliran Q1 Rata-Rata Pada Pilar Berpori.....	39
Gambar 20 Grafik Perbandingan Kecepatan Aliran Q2 Rata-Rata Pada Pilar Berpori.....	39
Gambar 21 Grafik Perbandingan Kecepatan Aliran Q3 Rata-Rata Pada Pilar Berpori.....	39
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Froude Q1 Pilar Polos .....	42
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Froude Q2 Pilar Polos .....	43
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Froude Q3 Pilar Polos .....	43
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Froude Q1 Pilar Berpori .....	45
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Froude Q2 Pilar Berpori .....	45
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Froude Q3 Pilar Berpori .....	45
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Reynold Q1 Pilar Polos .....	48
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Reynold Q2 Pilar Polos .....	48



Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Reynold Q3 Pilar Polos .....	48
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Reynold Q1 Pilar Berpori.....	50
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Reynold Q2 Pilar Berpori.....	51
Gambar 22 Grafik Perbandingan Angka Reynold Q3 Pilar Berpori.....	51
Gambar 22 Grafik Perbandingan Tegangan Geser Q1 Pilar Polos .....	53
Gambar 22 Grafik Perbandingan Tegangan Geser Q2 Pilar Polos .....	53
Gambar 22 Grafik Perbandingan Tegangan Geser Q3 Pilar Polos .....	54
Gambar 22 Grafik Perbandingan Tegangan Geser Q1 Pilar Berpori.....	56
Gambar 22 Grafik Perbandingan Tegangan Geser Q2 Pilar Berpori.....	56
Gambar 22 Grafik Perbandingan Tegangan Geser Q3 Pilar Berpori.....	56
Gambar 22 Grafik Perbandingan Kecepatan Geser Q1 Pilar Polos.....	59
Gambar 22 Grafik Perbandingan Kecepatan Geser Q2 Pilar Polos.....	59
Gambar 22 Grafik Perbandingan Kecepatan Geser Q3 Pilar Polos.....	59
Gambar 22 Grafik Perbandingan Kecepatan Geser Q1 Pilar Berpori.....	62
Gambar 22 Grafik Perbandingan Kecepatan Geser Q2 Pilar Berpori.....	62
Gambar 22 Grafik Perbandingan Kecepatan Geser Q3 Pilar Berpori.....	62



## DAFTAR TABEL

Tabel 1 Sifat-sifat air pada tekanann atmosfer .....	9
Tabel 2 Rancangan Penelitian .....	29
Tabel 3 Hasil perhitungan debit aliran disekitar pilar .....	33
Tabel 4 Data Distribusi Kecepatan Pilar Polos (Tanpa Ambang) .....	34
Tabel 5 Data Distribusi Kecepatan Pilar Polos (Dengan Ambang).....	35
Tabel 6 Data Distribusi Kecepatan Pilar Berpori (Tanpa Ambang).....	38
Tabel 7 Data Distribusi Kecepatan Pilar Berpori (Dengan Ambang) .....	38
Tabel 8 Data Angka Froude Pilar Polos (Tanpa Ambang) .....	41
Tabel 9 Data Angka Froude Pilar Polos (Dengan Ambang) .....	42
Tabel 10 Data Angka Froude Pilar Berpori (Tanpa Ambang).....	44
Tabel 11 Data Angka Froude Pilar Berpori (Tanpa Ambang) .....	44
Tabel 12 Data Angka Reynold Pilar Polos (Tanpa Ambang).....	47
Tabel 13 Data Angka Reynold Pilar Polos (Dengan Ambang) .....	47
Tabel 14 Data Angka Reynold Pilar Berpori (Tanpa Ambang).....	49
Tabel 15 Data Angka Reynold Pilar Berpori (Dengan Ambang).....	50
Tabel 16 Data Tegangan Geser Pilar Polos (Tanpa Ambang) .....	52
Tabel 17 Data Tegangan Geser Pilar Polos (Dengan Ambang) .....	53
Tabel 18 Data Tegangan Geser Pilar Berpori (Tanpa Ambang).....	55
Tabel 19 Data Tegangan Geser Pilar Berpori (Dengan Ambang) .....	55
Tabel 21 Data Kecepatan Geser Pilar Polos (Tanpa Ambang).....	58
Tabel 22 Data Kecepatan Geser Pilar Polos (Dengan Ambang) .....	58
Tabel 23 Data Kecepatan Geser Pilar Berpori(Tanpa Ambang) .....	61
Tabel 24 Data Kecepatan Geser Pilar Berpori (Dengan Ambang).....	61



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 .....	67
------------------	----



## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang /Singkatan	Arti dan Keterangan
A	Luas Penampang
P	Keliling Basah
B	Lebar Puncak Saluran
h	Kedalaman Aliran
R	Jari-Jari Hidraulik
$\rho$	Rapat Massa
M	Massa
V	Kecepatan Aliran
$\gamma$	Berat Jenis
g	Percepatan Gravitasi
$\bar{v}$	Kecepatan Rata-Rata
$\nu$	Viskositas Kinematik
Re	Angka Reynold
Rh	Radius Hidraulik
$\mu$	Viskositas Dinamis Fluida
Fr	Angka Froude
D	Kedalaman Hidraulik
$u^*$	Kecepatan Geser
So	Kemiringan Dasar Saluran atau Gradien Hidraulik
$\tau_o$	Tegangan Geser Dasar Aliran
$\gamma$	Berat Jenis Fluida
T	Suhu Aliran
n	Koefisien Kekasaran Manning
b	Lebar Dasar saluran
	Lebar Puncak Saluran
	Debit Aliran



## KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **PENGARUH AMBANG DI HILIR TERHADAP KARAKTERISTIK ALIRAN DISEKITAR PILAR**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa banyak kendala yang dihadapi dalam penyusunan tugas akhir ini, namun berkat bantuan dari berbagai pihak, maka tugas akhir ini dapat terselesaikan. Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. **Bapak Prof. Dr.Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., MT. IPM.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof.Dr. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Bapak Dr. Eng Bambang Bakri, S.T., M.T** selaku Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
4. **Bapak Prof.Dr. Eng. Ir. H Farouk Maricar M.T** selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. **Bapak Dr. Ir. Riswal K, S.T., M.T** selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.
6. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

kepada orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Ir. Bustan Djamal** dan ibunda **Eni** untuk beliau lah saya persembahkan tugas akhir ini. Terima kasih atas kasih sayang yang tidak terhingga dalam membesarkan, membimbing penulis selama ini hingga terus berjuang dalam mencapai segala hal peulis cita-citakan. Terima kasih



atas doa, bantuan dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. **Alya Fachira** sebagai sosok yang telah menemani penulis sejak masa awal perkuliahan hingga saat ini dan menjadi sumber dukungan dan inspirasi sepanjang perjalanan akademik saya. Kehadirannya, telah memberikan kekuatan dan semangat yang luar biasa bagi saya untuk menyelesaikan skripsi ini.
3. **Pak Ahmad dan Pak Erwin** yang membantu saya dalam melakukan penelitian selalu memberikan banyak ilmu dan pengetahuan baru, serta senantiasa memberikan dorongan kepada penulis untuk terus meningkatkan kualitas yang dimiliki penulis.
4. Teman-Teman Banditø **Rhafi, Baldan, Dino, Cilam, Asyraf, Vito, Ocang dan Eddy** sebagai sahabat saya dari jaman SMA yang selalu memberi dukungan kepada penulis dan juga sebagai tempat penulis untuk bertukar pikiran.
5. Sepupu saya **Salsa, Ical dan Fathan** yang senantiasa memberikan support tanpa henti kepada penulis.
6. Teman-teman di baruga **Tasim, Farhan Anhar, Farhan Muhlis, Amar, Zaenal, Keano dan Oge** yang senantiasa membantu dan memfasilitasi penulis dalam menyusun skripsi ini.
7. Teman-teman semasa kecil saya **Nabil, Fikar, Zaki dan Mail** yang senantiasa memberikan dukungan kepada penulis selama menyusun skripsi ini.
8. Teman KKN **Izul, Radhy, Tyo dan Aceng** yang telah menemani dan memberikan banyak warna kepada penulis selama masa-masa KKN
9. Rekan-rekan **Seperjuangan KKD Keairan 2020** yang senantiasa membantu selama proses penelitian serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
10. Saudara-saudari **ENTITAS 2021** yang senantiasa memberikan banyak warna dan cerita yang begitu indah selama masa perkuliahan serta memberikan dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kesalahan, oleh karena itu penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberikan sumbangsih pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.



Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, Juli 2024

Muhammad Zydane Bustan





# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur air, seperti jembatan dan bendungan, merupakan bagian penting dari upaya peningkatan kesejahteraan masyarakat. Salah satu komponen kunci dalam konstruksi jembatan adalah pilar atau tiang penyangga yang tertanam di dasar sungai atau kanal. Pilar ini berfungsi untuk menahan beban struktur jembatan serta menyalurkan beban tersebut ke dasar sungai. Namun, keberadaan pilar dalam aliran air dapat mempengaruhi karakteristik aliran secara signifikan, seperti kecepatan, tekanan, dan distribusi energi.

Ambang (*weir*) merupakan struktur buatan yang ditempatkan di aliran air dengan tujuan mengontrol tinggi muka air dan kecepatan aliran. Ambang ini sering ditempatkan di hilir pilar untuk mengurangi kecepatan aliran, mencegah erosi, dan melindungi struktur dari kerusakan. Pengaruh ambang di hilir terhadap karakteristik aliran di sekitar pilar menjadi aspek penting yang perlu diteliti untuk memastikan keamanan dan efisiensi desain struktur jembatan.

Studi mengenai pengaruh ambang di hilir terhadap karakteristik aliran di sekitar pilar bertujuan untuk memahami dinamika aliran yang terjadi, termasuk pola turbulensi, distribusi kecepatan, dan potensi erosi di sekitar pilar. Penelitian ini penting karena memberikan dasar ilmiah untuk merancang struktur yang lebih aman dan tahan lama. Dengan pemahaman yang lebih baik tentang interaksi antara aliran air dan struktur, diharapkan dapat mengurangi risiko kegagalan struktur akibat erosi dan kerusakan mekanis.

Penelitian ini juga relevan dalam konteks perubahan iklim dan peningkatan frekuensi peristiwa cuaca ekstrem. Dengan adanya ancaman banjir

lebih sering dan intens, pemahaman yang mendalam mengenai pengaruh ambang terhadap aliran di sekitar pilar menjadi semakin krusial. Penggunaan



ambang yang efektif dapat membantu mengendalikan aliran air selama peristiwa banjir dan mengurangi dampak merusak pada infrastruktur.

Oleh karena itu, skripsi ini bertujuan untuk mengeksplorasi dan menganalisis pengaruh ambang di hilir terhadap karakteristik aliran di sekitar pilar, melalui studi eksperimental dan analisis numerik. Diharapkan hasil dari penelitian ini dapat memberikan kontribusi yang berarti bagi bidang teknik sipil, khususnya dalam perencanaan dan desain struktur air yang lebih aman dan efisien. Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian dengan judul :

***“Pengaruh Ambang Di Hilir Terhadap Karakteristik Aliran Di Sekitar Pilar”***

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang maka dapat dibuat rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana distribusi kecepatan aliran disekitar pilar akibat dari adanya ambang di hilir?
2. Bagaimana keberadaan ambang di hilir mempengaruhi nilai angka Reynold, angka Froude, tegangan geser dan kecepatan geser pada aliran disekitar pilar?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah di atas maka tujuan penelitian ini adalah:

1. Mengidentifikasi dampak ambang terhadap distribusi kecepatan aliran disekitar pilar.
2. Menganalisis nilai angka Reynold, angka Froude, tegangan geser dan kecepatan geser aliran disekitar pilar akibat pengaruh ambang di hilir



### **Manfaat Penelitian**

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam memperkaya pemahaman tentang dinamika aliran di sekitar pilar akibat adanya

ambang di hilir. Hasilnya memberikan panduan praktis bagi insinyur sipil untuk merancang struktur pilar yang lebih aman dan efektif. Data yang dikumpulkan dapat membantu mengembangkan model prediksi yang lebih akurat, mengurangi risiko kerusakan infrastruktur, serta mendukung pengelolaan sumber daya air yang lebih baik.

### 1.5 Ruang Lingkup / Asumsi Perancangan

Agar penelitian ini dapat berjalan dengan lebih terarah dan fokus pada tujuan penelitian yang ingin dicapai maka perlu dibuat batasan masalah sebagai berikut:

1. Pengambilan data dilakukan di Laboratorium Hidrolika Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin menggunakan alat saluran terbuka.
2. Data yang digunakan untuk penulisan ini berasal dari hasil pengujian di laboratorium.
3. Penelitian ini hanya fokus pada karakteristik aliran berupa distribusi kecepatan pada titik horizontal dan vertikal, angka Reynold, angka Froude, tegangan geser dan kecepatan geser
4. Pengukuran kecepatan yang dilakukan hanya mencakup kecepatan searah aliran.

### 1.6 Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah, sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga tugas akhir yang dihasilkan lebih sistematis.

Sistematika penulisan penelitian ini dapat diurutkan yaitu:

#### BAB I PENDAHULUAN

Pokok-pokok bahasan dalam bab ini meliputi latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

#### II TINJAUAN PUSTAKA



Dalam bab ini, diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang memiliki hubungan dengan penelitian ini. Bab ini memberikan kerangka dasar mengenai konsep dan teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

### BAB III METODE PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

### BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil penelitian ini seperti bagaimana distribusi aliran dan karakteristik air disekitar pilar.

### BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.



## BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran di mana permukaan air terpapar langsung ke atmosfer. Karakteristik utama dari aliran dalam saluran terbuka adalah adanya permukaan bebas yang dapat berubah-ubah seiring dengan perubahan debit, geometri saluran, dan kondisi aliran. Saluran terbuka dapat ditemukan dalam berbagai bentuk, seperti sungai, kanal irigasi, dan drainase perkotaan (Chow, 1973).

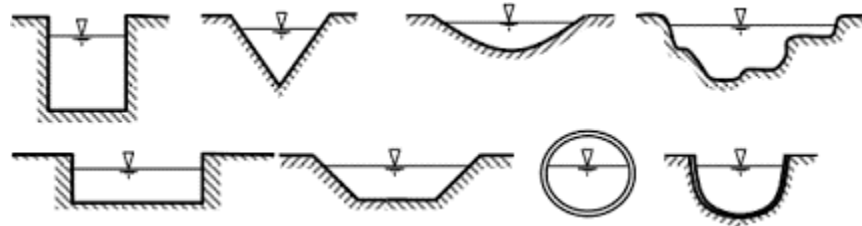
Aliran dalam saluran terbuka dikendalikan oleh gravitasi, dan kecepatan aliran sangat dipengaruhi oleh kemiringan dasar saluran serta kekasaran permukaan saluran. Persamaan-persamaan yang digunakan untuk menganalisis aliran dalam saluran terbuka antara lain adalah persamaan kontinuitas, persamaan energi, dan persamaan momentum. Salah satu metode yang umum digunakan untuk analisis ini adalah metode Manning, yang mempertimbangkan kekasaran saluran untuk menghitung kecepatan aliran (Mays, 2005).

#### 2.1.1 Bentuk Saluran

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, bervariasi dari bentuk seperti parabola hingga trapesium. Sementara itu, penampang saluran buatan biasanya dirancang berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk yang paling umum digunakan untuk saluran ber dinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, karena stabilitas kemiringan dindingnya dapat disesuaikan. Selain trapesium, bentuk persegi panjang dan segitiga juga digunakan. Bentuk persegi panjang biasanya digunakan untuk saluran yang dibangun dengan bahan yang stabil seperti pasangan batu, beton, logam, atau kayu karena memiliki sisi tegak. Penampang segitiga biasanya digunakan untuk saluran kecil, selokan, dan penelitian di laboratorium. Penampang trapesium sering digunakan untuk saluran pembuangan air kotor dan gorong-gorong berukuran sedang maupun kecil (Chow V. T., 1989). Penampang



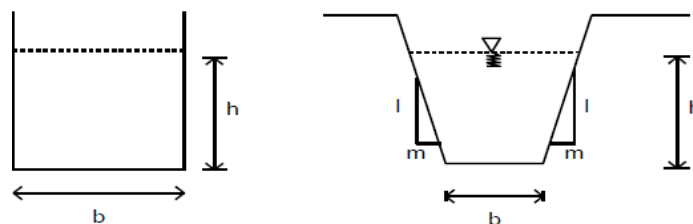
saluran terbuka memiliki berbagai macam bentuk sebagai mana dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.



Gambar 1 Macam-macam Bentuk Penampang  
(Sumber: Chow,1989)

### 2.1.2 Geometri Saluran

Geometri (penampang) saluran, (channel section) adalah tegak lurus terhadap arah aliran sedangkan penampang vertikal saluran (vertical channel section) adalah suatu penampang melalui titik terbawah atau terendah dari penampang saluran



Gambar 2 Geometri Penampang Persegi dan Trapesium

Data ukuran saluran yaitu mencari lebar dan tinggi didapatkan dengan cara pengukuran langsung dilapangan dengan menggunakan alat meteran, sedangkan untuk mendapatkan luas dan keliling basah penampang dengan menggunakan rumus:

a. Luas Penampang:

$$A = B \times h \quad 1$$

b. Keliling Basah:

$$P = B + 2h \quad 2$$



### c. Jari-Jari Hidraulik

$$R = A/P \quad 3$$

Dimana:

A = Luas Penampang (cm<sup>2</sup>)

P= Keliling basah (cm)

B= Lebar (cm)

h= Tinggi (cm)

R= Jari-jari hidraulik (cm)

## 2.2 Sifat-Sifat Aliran

Fluida adalah zat yang bisa mengalir, yang mempunyai partikel yang mudah bergerak dan berubah bentuk pemisahan massa. Tahanan fluida terhadap perubahan bentuk sangat kecil, sehingga fluida dapat dengan mudah mengikuti bentuk ruangan / tempat yang membatasinya. Fluida dapat dibedakan menjadi 2 macam yaitu zat cair dan gas.

Zat cair dan gas mempunyai sifat-sifat serupa, yang terpenting adalah sebagai berikut ini.

1. Kedua zat ini tidak melawan perubahan bentuk
2. Kedua zat tidak mengadakan reaksi terhadap gaya geser, yaitu gaya yang bekerja sejajar dengan permukaan lapisan-lapisan zat cair atau gas yang mencoba untuk menggeser lapisan-lapisan tersebut anantara satu terhadap yang lain. Oleh karena itu apabila ada sentuhan sedikit saja, dua lapisan yang saling berdampingan akan bergerak antara satu terhadap lainnya.

Perilaku zat cair, terutama air, banyak dipelajari dalam bidang teknik sipil, sedangkan gas banyak dipelajari dalam bidang teknik mesin, kimia, aeronotika, dan sebagainya. Dalam buku ini hanya akan dibahas perilaku zat terutama air. Zat cair mempunyai beberapa sifat berikut ini.

apabila ruangan lebih besar dari volume zat cair, akan terbetuk permukaan bebas horizontal yang berhubungan dengan atmosfer



2. Mempunyai rapat massa dan berat jenis
3. Dapat dianggap tidak termampatkan
4. Mempunyai viskositas (Kekentalan)
5. Mempunyai kohesi, adhesi dan tegangan permukaan.

Di antara sifat-sifat tersebut, yang terpenting adalah rapat massa, berat jenis dan viskositas.

### 2.2.1 Rapat Massa

Rapat massa,  $\rho$  (rho), didefinisikan sebagai massa zat cair tiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu.

$$\rho = \frac{M}{V} \quad 4$$

Dengan M adalah massa yang menempati volume V. Dalam sistem satuan SI apabila massa diberikan dalam kilogram (*kg*), maka rapat massa adalah dalam kilogram per meter kubik (*kg / m<sup>3</sup>*). Rapat massa air pada suhu 4°C dan tekanan atmosfer standard adalah 1000 *kg/m<sup>3</sup>*

### 2.2.2 Berat Jenis

Berat jenis yang diberi notasi  $\gamma$  (gamma), adalah berat benda setiap satuan volume pada temperatur dan tekanan tertentu. Berat suatu benda adalah hasil kali antara massa dan percepatan gravitasi. Terdapat hubungan antara berat jenis dan rapat massa dalam bentuk berikut:

$$\gamma = \rho g \quad 5$$

Dimana:

$\gamma$  = berat jenis (*N/m<sup>3</sup>* untuk satuan SI atau *kgf/m<sup>3</sup>* untuk satuan MKS)

$\rho$  = rapat massa (*kg/m<sup>3</sup>* untuk satuan SI atau *kgf/m<sup>3</sup>* untuk satuan MKS )

$g$  = percepatan gravitasi (*m/d<sup>2</sup>*)

berat jenis air pada 4°C dan tekanan atmosfer adalah 9.81 *kN/m<sup>3</sup>* atau 1000 *kg/m<sup>3</sup>* atau 1 *ton/m<sup>3</sup>*





Apabila didalam satuan permasalahan digunakan sistem satuan SI maka semua perhitungan rapat massa dan nilainya untuk air pada suhu 4°C dan tekanan atmosfer adalah  $1000 \text{ kg/m}^3$

### 2.2.3 Rapat Relatif

Rapat relatif didefinisikan sebagai perbandingan antara rapat massa suatu zat dan rapat massa air. Karena  $\gamma = \rho g$  maka rapat relatif juga dapat didefinisikan sebagai perbandingan antara berat jenis suatu zat dan berat jenis air pada 4°C dan tekanan atmosfer.

Perubahan rapat massa dan berat jenis zat cair terhadap temperatur dan tekanan adalah sangat kecil sehingga dalam praktek perubahan tersebut diabaikan. Berikut adalah tabel yang memberikan sifat air pada tekanan atmosfer pada beberapa temperatur.

Tabel 1 Sifat-sifat air pada tekanan atmosfer

Suhu °C	Rapat massa $\rho$ ( $\text{kg/m}^3$ )	Viskositas Dinamik $\mu$ ( $\text{Nd/m}^2$ )	Viskositas Kinematik $\nu$ ( $\text{m}^2/\text{d}$ )	Tegangan Permukaan $\sigma$ ( $\text{N/m}$ )	Modulus Elastisitas $K$ ( $\text{MN/m}^2$ )
0,0	999,9	$1,792 \times 10^{-3}$	$1,792 \times 10^{-6}$	$7,56 \times 10^{-2}$	2040
5,0	1000	1,519	1,519	7,54	2060
10,0	999,7	1,308	1,308	7,48	2110
20,0	998,2	1,005	1,007	7,36	2200
30,0	995,7	0,801	0,804	7,18	2230
40,0	992,2	0,656	0,661	7,01	2270
50,0	988,1	0,549	0,556	6,82	2300
60,0	983,2	0,469	0,477	6,68	2280
70,0	977,8	0,406	0,415	6,50	2250
80,0	971,8	0,357	0,367	6,30	2210
90,0	965,3	0,317	0,328	6,12	2160
100,0	958,4	$0,284 \times 10^{-3}$	$0,296 \times 10^{-6}$	$5,94 \times 10^{-2}$	2070

(Sumber: Hidraulika I , Bambang Triatmodjo)

### 2.3 Kecepatan Aliran

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata di penampang saluran. Distribusi kecepatan pada penampang saluran juga tergantung pada faktor-faktor lain, seperti bentuk penampang yang tidak lazim,



kekasaran saluran dan adanya tekukan-tekukan (Chow V. T., Hidrolika Saluran Terbuka. Edisi Kedua, 1989). Kecepatan pada batas padat harus sama dengan nol, dan dalam hal aliran saluran terbuka pada umumnya kecepatan meningkat dengan bertambahnya jarak dari batas.

Kecepatan maksimum tidak terjadi pada permukaan bebas tetapi biasanya di bawah permukaan bebas pada jarak 0,05 sampai 0,25 kedalaman. Kecepatan rata-rata pada garis vertikal kadang-kadang ditentukan dengan mengukur kecepatan 0,6 kedalaman, tetapi cara yang lebih dapat diandalkan ialah dengan mengambil harga rata-rata dari kecepatan pada 0,2 dan 0,8 kedalaman, sesuai dengan pengukuran pengukuran Survei Geologi Amerika Serikat (Streeter Victor, 1988).

Kecepatan aliran didapatkan dengan cara pengukuran langsung dilaboratorium dengan alat flow meter. Pengukuran ini dilakukan dengan cara membagi pengukuran arah vertikal menjadi 3 titik kedalaman yaitu 0,2h, 0,6h, dan 0,8h. Sedangkan untuk arah horizontal dibagi menjadi 3 titik yaitu tepi kiri, tengah, dan tepi kanan. Kecepatan rata-rata didapatkan dengan menggunakan rumus :

$$\bar{v} = \frac{(v_{0,2} + v_{0,8})}{2} + v_{0,6} \frac{1}{2}$$

6

Dimana:

$\bar{v}$  = Kecepatan rata-rata (m/s)

$v_{0,2}$  = Kecepatan pada kedalaman 0,2 h (m/s)

$v_{0,6}$  = Kecepatan pada kedalaman 0,6 h (m/s)

$v_{0,8}$  = Kecepatan pada kedalaman 0,8 h (m/s)

## 2.4 Distribusi Kecepatan



Distribusi kecepatan menurut teoritik yang diteliti dibagi menjadi dua bagian yaitu inner region dan outer region. Pada daerah inner region,  $z/H \leq 0.2$ , perbedaan kecepatan adalah cukup besar. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh

tegangan geser, karakteristik aliran, kekerasan dasar, dan kedalaman dari dasar saluran. Pada daerah outer region,  $0.2 < z/H \leq 1$ , 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).

Didalam 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.

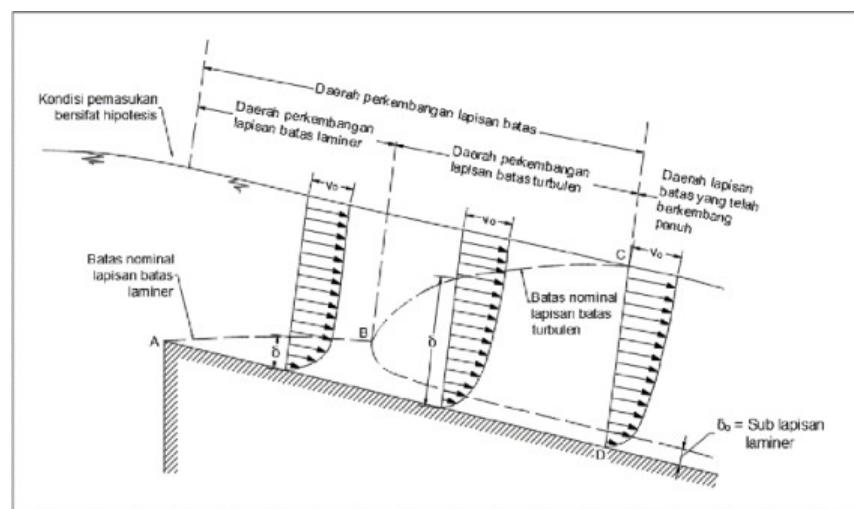
Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata dalam penampang saluran. Kecepatan maksimum dalam saluran biasanya terjadi di bawah permukaan bebas sedalam  $0,05$  sampai  $0,25$  kali kedalamannya, makin dekat ketepi berarti makin dalam dan mencapai maksimum. Distribusi kecepatan pada penampang saluran juga tergantung pada faktor-faktor lain, seperti bentuk penampang yang tidak lazim, kekasaran saluran dan adanya tekukan-tekukan. Pada arus yang lebar, deras dan dangkal atau saluran yang sangat licin kecepatan maksimum sering terjadi di permukaan bebas (Junaidi, 2014)

Untuk analisis distribusi kecepatan pada saluran terbuka dibagi menjadi dua wilayah yaitu inner region dan outer region, dimana aliran pada inner region dipengaruhi langsung oleh kekasaran dasar atau dinding dan aliran pada outer region dipengaruhi secara tidak langsung melalui tegangan geser dasar.



## 2.5 Konsep Teoritis Lapisan Batas

Pembagian kecepatan sepanjang penampang saluran akibat adanya kekasaran batas, akan bervariasi menurut jaraknya dimana air mengalir di saluran. Jika alirannya seragam dan stabil dan jika salurannya prismatic dan kekasarannya konstan, distribusi kecepatan pada akhirnya akan mencapai pola tertentu (Chow V. T., 1973).



Gambar 3 Perkembangan lapisan batas dalam saluran terbuka dengan kondisi pemasukan yang ideal

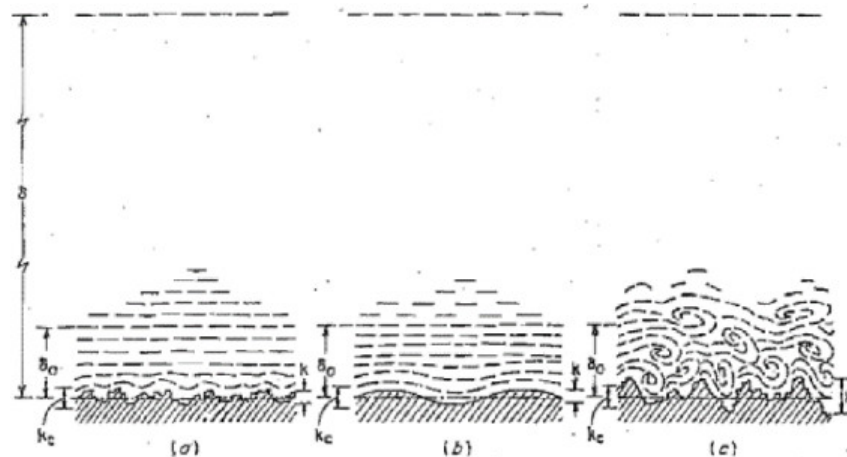
Di saluran, pengaruh terhadap distribusi kecepatan akibat kekasaran batas ditunjukkan dengan garis ABC. Di luar ABC, distribusi kecepatan praktis seragam. Di dekat permukaan saluran dan di dalam daerah ABC, kecepatan bervariasi menurut jaraknya dengan permukaan saluran. Bagian di dalam ABC walaupun tidak begitu jelas disebut lapisan batas (boundary layer) dan ketebalannya dinyatakan dalam  $\delta\delta$ . Definisi yang umum adalah bahwa ketebalan  $\delta\delta$  merupakan besaran jarak normal dari permukaan batas dimana kecepatan  $v_{v1}$  sama dengan 99% dari kecepatan batas  $v_{v0}$ , dengan kurva bagian kecepatan di lapisan batas berbentuk asimtotis (Chow V. T., 1973).



Jika permukaan bidang saluran relatif halus, kecepatan didekat bidang saluran akan rendah, dengan demikian akan terbentuk selapis tipis aliran yang stabil, dikenal dengan sub lapisan laminar di permukaan bidang tersebut. Di dalam sub lapisan laminar ini aliran tetap laminar. Di atas sub lapisan ini merupakan daerah peralihan aliran dari laminar ke turbulen (Chow V. T., 1973).

### 2.5.1 Konsep Kekasaran Permukaan

Konsep keberadaan sub lapisan laminar di lapisan batas turbulen menghasilkan penjelasan tentang sifat-sifat kekasaran permukaan.



Gambar 4 Sifat-sifat kekerasan permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar

Ketika profil permukaan diperbesar, terlihat bahwa permukaannya terdiri dari puncak dan lembah yang tidak beraturan. Tinggi efektif dari ketidakteraturan yang membentuk elemen kekasaran disebut tinggi kekasaran  $k$ . Rasio  $k/R_k/R_k/R$  dari tinggi kekasaran terhadap jari-jari hidrolis dikenal sebagai kekasaran relatif.

Jika tinggi kekasaran lebih kecil dari suatu pecahan tertentu dari tebal sub-lapisan laminar, ketidakteraturan permukaan menjadi sangat kecil sehingga semua elemen kekasaran akan seluruhnya terendam dalam sub-lapisan laminar (Gambar a). Pada kondisi ini, kekasaran tidak berpengaruh

terhadap aliran di atas sub-lapisan laminar, dan permukaan tersebut disebut permukaan hidrolis licin (*hydraulically smooth*). Permukaan hidrolis licin dikatakan



bergelombang (*wavy*) jika profil permukaan rata-rata mengikuti suatu lengkung (Gambar b).

Dengan menggunakan rumus Chezy, dari kondisi di atas dapat ditunjukkan bahwa agar permukaan menjadi hidrolis licin, tinggi kekasaran harus lebih kecil daripada kekasaran kritis (*critical roughness*) yang dinyatakan dengan:

$$k < k_{\text{kritis}}$$

8

Rumus ini menentukan batas dimana permukaan kekasaran tidak lagi mempengaruhi aliran di atas sub-lapisan laminar. Jika tinggi kekasaran lebih besar dari nilai kritis yang ditentukan oleh persamaan berikut (Gambar c), elemen kekasaran akan memiliki magnitudo dan angularitas yang cukup untuk memperluas efeknya melampaui sub-lapisan laminar dan dengan demikian dapat mengganggu aliran dalam saluran. Oleh karena itu, permukaannya dikatakan kasar. Pada saluran kasar, distribusi kecepatan akan tergantung pada bentuk dan ukuran proyeksi kekasaran, dan sub-lapisan laminar tidak dapat dibentuk lagi.

Untuk kekasaran yang diperoleh dari pasir dengan nilai Chezy CCC lebih besar dari 100, Schlichting menyarankan nilai kekasaran kritis  $k_{c\_ckc}$  yang diberikan oleh persamaan:

$$k_c = \frac{100v}{V}$$

9

Dimana:

$v$  = viskositas kinematik,

$V$  = kecepatan aliran.

Persamaan ini sesuai dengan  $C=113.5$  dan dapat digunakan sebagai ekatan untuk suatu saluran. Jadi, untuk permukaan agar menjadi hidrolis, tinggi kekasaran  $k$  harus lebih kecil dari kekasaran kritis  $k_c$ :

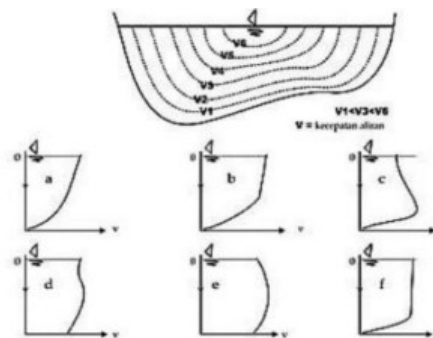
$$k < k_c$$



Jika tinggi kekasaran  $k_{kk}$  lebih besar dari nilai kritis  $k_{kk\_cke}$ , permukaannya akan dianggap kasar, dan elemen kekasaran akan mengganggu aliran di saluran.

### 2.5.2 Distribusi Kecepatan di Bagian Saluran

Disebabkan oleh tekanan pada muka air akibat adanya perbedaan fluida antara udara dan air serta akibat gaya gesekan pada dinding saluran (dasar maupun tebing saluran), kecepatan aliran pada suatu potongan melintang saluran tidak seragam. Ketidakteraturan ini juga disebabkan oleh bentuk tampang melintang saluran, kekasaran saluran, dan lokasi saluran (misalnya saluran lurus atau pada belokan) (Kodoatie, 2002).



Gambar 5 Distribusi Kecepatan Aliran

Gambar di atas menjelaskan bahwa distribusi kecepatan pada penampang saluran tergantung pada beberapa faktor seperti bentuk penampang, kekasaran saluran, dan adanya tekukan-tekukan. Pada gambar (a) merupakan distribusi kecepatan secara teoritis. Gambar (b) menunjukkan dasar saluran yang kasar dan banyak tumbuhan. Gambar (c) menggambarkan gangguan permukaan seperti sampah. Gambar (d) menunjukkan aliran cepat dan aliran turbulen pada dasar. Gambar (e) menggambarkan aliran lambat dengan dasar saluran yang halus. Gambar (f) menunjukkan dasar saluran yang kasar atau berbatu (Putra, 2016).



Selanjutnya, Chow mengatakan bahwa kecepatan maksimum umumnya terjadi pada jarak 0,05 sampai 0,25 kali kedalaman airnya dihitung dari permukaan air, seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Namun, pada

sungai yang sangat lebar dengan kedalaman dangkal, kecepatan maksimum terjadi pada permukaan air. Semakin sempit saluran, maka kecepatan air maksimumnya semakin dalam (Kodoatie, 2002).

## 2.6 Angka Reynold

Seorang insinyur dan fisikawan Inggris yang pertama kali memperkenalkan konsep angka Reynold melalui eksperimen klasiknya pada Tahun 1883 bernama Osborne Reynolds (1842-1912). Reynolds menunjukkan bahwa transisi antara aliran laminar dan turbulen dapat dikendalikan oleh bilangan tak berdimensi ini. Setelah Reynolds, banyak penelitian telah dilakukan untuk memahami lebih dalam tentang transisi aliran dan dampaknya pada berbagai aplikasi teknik.

Angka Reynold ( $Re$ ) adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan dalam mekanika fluida untuk menentukan pola aliran fluida dalam berbagai kondisi. Angka Reynold ini membantu dalam memprediksi apakah aliran fluida akan bersifat laminar atau turbulen. Adapun rumus untuk angka Reynold adalah:

$$Re = \frac{\rho \times v \times Rh}{\mu} \quad 10$$

Dimana:

$\rho$  = densitas fluida ( $\text{kg/m}^3$ ),

$v$  = adalah kecepatan karakteristik fluida ( $\text{m/s}$ ),

$Rh$  = radius hidrolik atau panjang karakteristik lainnya ( $\text{m}$ ),

$\mu$  = viskositas dinamis fluida ( $\text{Pa}\cdot\text{s}$  atau  $\text{N}\cdot\text{s/m}^2$ ).

Angka Reynold membantu dalam menentukan apakah aliran tersebut dapat dikatakan sebagai laminar atau turbulen. Menurut Ven Te Chow dalam bukunya "Open-Channel Hydraulics," aliran pada saluran terbuka bersifat laminar jika angka Reynold ( $Re$ ) kecil dan bersifat turbulen





jika angka Reynold besar. Berdasarkan berbagai eksperimen, aliran pada pipa berubah dari laminar menjadi turbulen pada rentang angka Reynold antara 2.000 hingga 50.000. Dalam eksperimen ini, diameter pipa digunakan sebagai panjang karakteristik dalam menentukan angka Reynold. Jika jari-jari hidrolis digunakan sebagai panjang karakteristik pada saluran terbuka, rentang angka Reynold yang sesuai adalah antara 500 hingga 12.500, karena diameter pipa adalah empat kali jari-jari hidrolisnya. Sehingga klasifikasi aliran pada saluran terbuka berdasarkan angka Reynold nya adalah sebagai berikut:

- Aliran Laminar: Terjadi pada angka Reynold rendah ( $Re < 500$ ). Aliran ini ditandai oleh lapisan fluida yang bergerak paralel satu sama lain tanpa terjadi pencampuran antara lapisan.
- Aliran Transisi: Terjadi pada angka Reynold antara 500 hingga 12.500. Dalam rentang ini, aliran bisa beralih antara laminar dan turbulen.
- Aliran Turbulen: Terjadi pada angka Reynold tinggi ( $Re > 12.500$ ). Aliran ini ditandai oleh pola aliran yang kacau dan campuran antara lapisan fluida.

## 2.7 Angka Froude

Angka Froude ( $Fr$ ) adalah bilangan tak berdimensi yang digunakan dalam mekanika fluida untuk membandingkan pengaruh gaya inersia terhadap gaya gravitasi dalam aliran fluida. Angka Froude sering digunakan dalam analisis aliran permukaan bebas, seperti aliran di sungai, kanal, dan saluran terbuka. Angka Froude ditemukan oleh William Froude, seorang insinyur dan matematikawan Inggris yang hidup pada abad ke-19.

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \times D}}$$

11



imana:

$v$  = kecepatan karakteristik aliran (m/s),

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),

$D$  = Kedalaman hidraulik (m).

- Aliran Subkritis ( $Fr < 1$ ): Gaya gravitasi dominan, aliran cenderung lambat dan stabil. Gelombang permukaan dapat berjalan melawan arus.
- Aliran Kritis ( $Fr = 1$ ): Gaya inersia dan gaya gravitasi seimbang. Ini adalah kondisi transisi antara aliran subkritis dan superkritis.
- Aliran Superkritis ( $Fr > 1$ ): Gaya inersia dominan, aliran cenderung cepat dan kurang stabil. Gelombang permukaan tidak dapat bergerak melawan arus.

## 2.8 Kecepatan Geser

Kecepatan geser (shear rate) adalah ukuran dari laju deformasi di dalam fluida yang dihasilkan oleh tegangan geser. Dalam konteks mekanika fluida, kecepatan geser seringkali diukur dalam satuan reciprocal seconds ( $s^{-1}$ ). Kecepatan geser ( $u^*$ ) adalah parameter penting dalam dinamika fluida yang menggambarkan intensitas gaya geser di dasar aliran atau di permukaan dinding pipa. Kecepatan geser sangat penting dalam memahami bagaimana fluida seperti air berperilaku di bawah pengaruh gaya. Adapun persamaan yang digunakan dalam percepatan geser pada karakteristik aliran adalah sebagai berikut (Pritchard & Mitchell, 2016) :

$$u^* = \sqrt{g \times D \times S_o}$$

12

Dimana:

$u^*$  = kecepatan geser (m/s),

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ),

$D$  = kedalaman aliran (m),

$S_o$  = kemiringan dasar saluran atau gradien hidraulik (tanpa dimensi).



Dari rumus yang ada menunjukkan bahwa kecepatan geser bergantung pada tiga faktor utama yaitu, percepatan gravitasi, kedalaman atau diameter aliran, dan kemiringan dasar. Semakin besar nilai  $g$ ,  $D$ , atau  $S_0$ , semakin besar kecepatan geser  $u^*$ . Hal ini berarti bahwa aliran dengan kedalaman yang lebih besar atau kemiringan yang lebih curam akan memiliki kecepatan geser yang lebih tinggi, yang mencerminkan potensi gaya geser yang lebih kuat pada dasar aliran (White, 2011). Berikut adalah beberapa poin kunci mengenai kecepatan geser:

### 1. Definisi Kecepatan Geser

Kecepatan geser didefinisikan sebagai gradien kecepatan fluida di sepanjang suatu arah yang tegak lurus terhadap arah tegangan geser. Dalam istilah matematis, kecepatan geser ( $u^*$ ) sering dinyatakan sebagai:

$$u^* = dy/du \quad 13$$

Di mana  $du$  adalah perubahan kecepatan dalam arah aliran, dan  $dy$  adalah perubahan jarak tegak lurus terhadap arah aliran.

### 2. Hubungan dengan Tegangan Geser Dasar Aliran

Untuk fluida Newtonian seperti air, tegangan geser dasar aliran ( $\tau_0$ ) berbanding lurus dengan kecepatan geser ( $u^*$ ), dalam mekanika fluida tegangan geser dasar aliran ( $\tau_0$ ) dapat dihubungkan dengan kecepatan geser ( $u^*$ ) dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\tau = \rho \cdot (u^*)^2 \quad 14$$

Ini berarti semakin besar kecepatan geser suatu aliran, maka semakin besar pula gaya gesekan yang bekerja pada dasar aliran (Munson et al., 2013).



3. Pengukuran Kecepatan Geser: Kecepatan geser bisa diukur menggunakan berbagai metode eksperimental, termasuk rheometer untuk pengukuran viskositas dinamis dan teknik profil kecepatan menggunakan laser *Doppler Velocimetry* (LDV) atau *Particle Image Velocimetry* (PIV) (White, 2011).
4. Aplikasi dalam Teknik: Kecepatan geser sangat penting dalam desain dan analisis berbagai sistem hidrolis, termasuk aliran dalam pipa, saluran terbuka, dan perangkat pencampuran. Memahami distribusi kecepatan geser dapat membantu dalam mengurangi kehilangan energi akibat gesekan dan meningkatkan efisiensi sistem.

## 2.9 Tegangan Geser Dasar Aliran

Tegangan geser dasar aliran (*Bed Shear Stress*) pada karakteristik air adalah salah satu konsep penting dalam mekanika fluida, terutama ketika mempelajari aliran air di saluran terbuka atau pipa. Tegangan geser adalah gaya per satuan luas yang bekerja sejajar dengan permukaan, menyebabkan deformasi pada fluida.

$$\tau_o = \gamma \times D \times S_o \quad 15$$

Dimana:

$\tau_o$  = Tegangan geser dasar aliran (Pa atau N/m<sup>2</sup>),

$\gamma$  = Berat jenis fluida (N/m),

D = Kedalaman atau diameter karakteristik aliran (m),

$S_o$  = Kemiringan dasar saluran atau gradien hidraulik (tanpa dimensi).

Rumus ini menunjukkan bahwa tegangan geser dasar bergantung pada tiga faktor utama seperti berat jenis fluida, kedalaman atau diameter aliran, dan kemiringan dasar.



Semakin besar nilai  $\gamma$ , D, atau  $S_o$  semakin besar tegangan geser dasar. Hal ini berarti bahwa aliran dengan fluida yang lebih berat, kedalaman

yang lebih besar, atau kemiringan yang lebih curam akan menghasilkan tegangan geser dasar yang lebih tinggi, yang mencerminkan potensi erosi yang lebih kuat pada dasar aliran. Beberapa poin kunci mengenai tegangan geser pada air:

1. Viskositas (Kekentalan) Air: Viskositas adalah ukuran dari hambatan air terhadap deformasi di bawah tegangan geser. Viskositas air sangat dipengaruhi oleh suhu; semakin tinggi suhu, semakin rendah viskositasnya.
2. Hukum Newtonian: Air dianggap sebagai fluida Newtonian, artinya tegangan geser berbanding lurus dengan laju geser (kecepatan perbedaan aliran di antara lapisan fluida). Persamaan untuk fluida Newtonian adalah:

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad 16$$

Dimana  $\tau$  adalah tegangan geser,  $\mu$  adalah viskositas dinamis, dan  $du/dy$  adalah gradien kecepatan

3. Lapisan Batas (Boundary Layer): Dalam aliran air, lapisan batas adalah daerah dekat permukaan di mana efek viskositas signifikan. Di dalam lapisan batas, tegangan geser menentukan gaya gesekan yang bekerja pada permukaan.
4. Koefisien Gesekan (Friction Factor): Dalam konteks aliran di pipa atau saluran terbuka, koefisien gesekan digunakan untuk menghitung kehilangan energi akibat gesekan. Rumus Darcy-Weisbach adalah salah satu yang sering digunakan:

$$H_f = f L/D \frac{v^2}{2g} \quad 16$$



Dimana  $H_f$  adalah kehilangan head akibat gesekan,  $f$  adalah koefisien gesekan,  $L$  adalah panjang pipa,  $D$  adalah diameter pipa,  $V$  adalah kecepatan aliran, dan  $g$  adalah percepatan gravitasi.

5. Aliran Turbulen dan Laminar: Tegangan geser juga berbeda antara aliran laminar dan turbulen. Pada aliran laminar, lapisan fluida bergerak dalam jalur yang halus dan teratur, sementara pada aliran turbulen, terjadi pencampuran antara lapisan fluida. Ini mempengaruhi distribusi tegangan geser di dalam fluida.

