# SKRIPSI

## DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN SEKITAR PILAR BERCELAH

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD ZIKRILLAHIL AZHIM**
**D011 181 356**

**PROGRAM STUDI SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**
**FAKULTAS TEKNIK**
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**
**GOWA**
**2024**

**LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**

**DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN SEKITAR**

**PILAR BERCELAH**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD ZIKRILLAHIL AZHIM**

**D011 18 1356**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
pada tanggal 24 Januari 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

**Prof.Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT.**
NIP: 197605312005011004

Pembimbing II,

**Ir. Andi Subhan Mustari, ST. M. Eng.,IPM.,AER**
NIP: 196410201991031002

Ketua Program Studi,

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

# PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini;

Nama : Muhammad Zikrillahil Azhim
NIM : D011 181 356
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{ Distribusi Kecepatan Aliran Sekitar Pilar Bercelah }

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, 24 Januari 2024

Yang Menyatakan

Muhammad Zikrillahil Azhim

Dipindai dengan CamScanner

# ABSTRAK

**MUHAMMAD ZIKRILLAHIL AZHIM**. *Distribusi Kecepatan Aliran Sekitar Pilar Bercelah* (dibimbing oleh Farouk Maricar & Andi Subhan Mustari)

Pilar sangat berpengaruh terhadap fenomena fisik aliran sungai, terutama di sekitar pilar itu sendiri seperti berubahnya pola aliran, gerusan, sedimentasi dan lain-lain. Oleh karena itu analisis karakteristik aliran ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika untuk mengetahui kecepatan aliran di permukaan saluran, tengah saluran, tepi saluran dan kecepatan aliran di dasar saluran dengan adanya hambatan pilar.penelitian ini bertujuan untuk menganalisis distribusi kecepatan aliran di sekitar pilar pada saluran terbuka dan Menganalisis karakteristik aliran sebelum dan setelah melewati pilar pada saluran terbuka. Pengambilan data kecepatan dilakukan dengan tiga variasi debit dengan menggunakan alat ukur kecepatan aliran yaitu Portable velocity meter Ls300-A. hambatan yang digunakan sebagai alat penelitian model yaitu pilar . Pengukuran kecepatan dilakukan pada 14 section. Pada setiap section, kecepatan horizontal dibagi menjadi 3 segmen yaitu dari arah kanan, tengah, dan kiri saluran sedangkan pada kecepatan vertikal dibagi pada sembilan titik kedalaman sehingga total pengukuran tiap variasi sebanyak 126 titik yang berbeda. saluran terbuka digunakan untuk mengalirkan debit dan menempatkan model pilar. dengan dimensi model pilar diameter bawah 6 cm, diameter atas 3 cm, dan tinggi 30 cm Berdasarkan hasil penelitian meunjukkan bahwa distribusi kecepatan aliran rata-rata pada tanpa pilar menunujukkan tidak ada perubahan signifikan dan pada model pilar terdapat perubahan kecepatan aliran rata-rata pada section F melambat kemudian berangsur normal pada section G, pada model pilar distribusi kecepatan aliran secara vertikal pada segmen Tengah section F hingga G mengalami pelambatan kecepatan aliran sehingga mengalami kontraksi aliran pada segmen kiri dan kanan. Pada distribusi kecepatan aliran profil melintang sesudah melewati pilar yaitu section P1 hingga L terjadi perubahan kecepatan aliran pada segmen tengah yang cenderung melambat dan berangsur normal. hasil penelitian karakteristik aliran pada tanpa pilar menunjukkan pola aliran sebelum dan sesudah pilar yaitu aliran turbulen dan aliran sub kritis. Pada model pilar menunjukkan pola aliran yang mengalami perubahan dari sebelum melewati pilar pada section P1 segmen tengah terjadi pelambatan aliran hingga pada section P2 hingga G berubah menjadi aliran transisi, sehingga nilai Fr mengalami penurunan dan perlahanmulai kembali menjadi aliran turbulen pada section G hingga L dan pada segmen kiri dan kanan P2 dan G terjadi peningkatan kecepatan aliran akibat perubahan pola aliran di sekitar pilar.

Kata Kunci:.Pilar, Distribusi Kecepatan, Karakteristik aliran, Bilangan Fraude, Bilangan Reynolds.

# ABSTRACT

***MUHAMMAD ZIKRILLAHIL AZHIM***. *Distribution Of Flow Velocity Around the Gap Pillar (supervised by Farouk Maricar and Andi Subhan Mustari)*

Pillars have a significant influence on the physical phenomena of river flow, especially around the pillars themselves, such as changes in flow patterns, erosion, sedimentation, and more. Therefore, the analysis of flow characteristics is conducted in the Hydraulic Laboratory to determine the flow velocity on the surface of the channel, in the middle of the channel, along the channel's edges, and the flow velocity at the channel's bottom in the presence of pillar obstacles.This research aims to analyze the flow velocity distribution around pillars in an open channel and to analyze the flow characteristics before and after passing through the pillars in an open channel. Velocity data collection is done with three different discharge variations using a Portable Velocity Meter Ls300-A. The obstacle used as the research model is a pillar. Velocity measurements are taken at 14 sections. In each section, horizontal velocity is divided into three segments: right, middle, and left of the channel, while vertical velocity is measured at nine depth points, resulting in a total of 126 different measurements for each discharge variation. An open channel is used to convey the discharge and place the pillar model. The pillar model has dimensions with a bottom diameter of 6 cm, top diameter of 3 cm, and a height of 30 cm. Based on the research results, the average flow velocity distribution without a pillar indicates no significant changes. In the pillar model, there is a change in average flow velocity in section F, slowing down and gradually returning to normal in section G. In the pillar model, the vertical flow velocity distribution in the middle segment of section F to G experiences a slowing down, leading to flow contraction in the left and right segments. In the cross-sectional flow velocity distribution after passing through the pillar, namely sections P1 to L, there is a change in flow velocity in the middle segment, tending to slow down and return to normal. The research results show flow characteristics without a pillar, indicating a turbulent flow pattern before and after the pillar, which is subcritical flow. In the pillar model, the flow pattern changes from before passing through the pillar in section P1, with a slowdown in flow velocity in the middle segment and a transition to transitional flow in sections P2 to G, causing a decrease in the Froude number (Fr). It slowly returns to turbulent flow in section G to L, and in the left and right segments of P2 and G, there is an increase in flow velocity due to changes in flow patterns around the pillar.

Keywords: Pillar, Velocity Distribution, Flow Characteristics, Froude Number, Reynolds Number.

# DAFTAR ISI

**LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI ..... i**
**PERNYATAAN KEASLIAN ..... ii**
**ABSTRAK ..... iii**
**ABSTRACT ..... iv**
**DAFTAR ISI ..... v**
**DAFTAR GAMBAR ..... vii**
**DAFTAR TABEL ..... ix**
**DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL ..... x**
**DAFTAR LAMPIRAN ..... xi**
**KATA PENGANTAR ..... xii**
**BAB I PENDAHULUAN ..... 1**
1.1 Latar Belakang ..... 1
1.2 Rumusan Masalah ..... 2
1.3 Tujuan Penelitian ..... 2
1.4 Manfaat Penelitian ..... 3
1.5 Ruang Lingkup ..... 3
**BAB II TINJAUAN PUSTAKA ..... 4**
2.1 Saluran Terbuka ..... 4
2.1.1 Bentuk Saluran ..... 5
2.1.2 Geometri Saluran ..... 6
2.2 Kecepatan Aliran ..... 7
2.3 Distribusi Kecepatan ..... 8
2.4 Konsep Teoritis lapisan Batas ..... 9
2.4.1 Konsep Kekasaran Permukaan ..... 11
2.4.2 Distribusi Kecepatan di Bagian Saluran ..... 12
2.5 Klasifikasi Aliran ..... 13
2.6 Karakeristik Aliran ..... 20
2.7 Regime Aliran ..... 23
2.8 Penampang Saluran ..... 23
2.9 Parameter Kecepatan Hidrolis dan Debit Aliran ..... 24
2.10 Pilar Jembatan ..... 26
**BAB III METODE PENELITIAN ..... 28**
3.1 Lokasi Penelitian ..... 28
3.2 Benda Uji dan Alat ..... 28
3.2.1 Sumber Data ..... 28
3.2.2 Bahan Penelitian ..... 29
3.2.3 Alat Penelitian ..... 29
3.3 Prosedur Penelitian ..... 33
3.3.1 Tahapan Pendahuluan ..... 33
3.3.2 Pengambilan Data Kecepatan ..... 33
3.3.3 Analisis dan Pengelolaan Data ..... 35
3.4 Bagan Alir Penelitian ..... 36
**BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN ..... 37**
4.1 Analisis Perhitungan ..... 37

4.2 Penentuan Debit ..... 37
4.3 Kecepatan Aliran ..... 39
4.4 Distribusi Kecepatan Aliran ..... 39
4.5 Distribusi Kecepatan Aliran Profil Memanjang ..... 46
4.6 Distribusi Kecepatan Aliran Profil Melintang ..... 48
4.7 Karakteristik Aliran tanpa Pilar ..... 56
4.8 Karakteristik Aliran sebelum dan sesudah melewati Pilar ..... 60
**BAB V Kesimpulan dan saran ..... 65**
5.1 Kesimpulan ..... 65
5.2 Saran ..... 66
**DAFTAR PUSTAKA ..... 67**
**LAMPIRAN ..... 68**

# DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Macam-Macam Bentuk Penampang (sumber: Chow, 1989) ..... 5
Gambar 2 Geometri Penampang Persegi dan Trapesium ..... 6
Gambar 3 Perkembangan lapisan batas dalam saluran terbuka dengan kondisi pemasukan yang ideal ..... 10
Gambar 4 Pembagian kecepatan pada permukaan saluran licin ..... 10
Gambar 5 Sifat-sifat kekasaran permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar ..... 11
Gambar 6 Distribusi kecepatan aliran ..... 13
Gambar 7 Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran ..... 13
Gambar 8 Aliran Seragam Tak Tunak ..... 15
Gambar 9 Aliran Seragam ..... 15
Gambar 10 model pilar ..... 26
Gambar 11 Lokasi Penelitian ..... 28
Gambar 12 Saluran Terbuka ..... 29
Gambar 13 Portable Velocity Meter ..... 30
Gambar 14 Meteran ..... 30
Gambar 15 Tampak depan Model Pilar ..... 31
Gambar 16 Model ambang ..... 31
Gambar 17 Point Gauge ..... 31
Gambar 18 Kamera ..... 32
Gambar 19 Formulir Penilitian ..... 32
Gambar 20 Titik pengukuran pada saluran terbuka menggunakan alat *Portable Velocity Meter LS-100* ..... 34
Gambar 21 Titik Pengambilan data kecepatan aliran pada saluran terbuka ..... 37
Gambar 22 Grafik kecepatan aliran rata-rata tanpa pilar ..... 46
Gambar 23 Grafik kecepatan aliran rata-rata dengan pilar ..... 46
Gambar 24 Grafik pengaruh pilar terhadap kecepatan aliran (Q1) ..... 47
Gambar 25 Grafik pengaruh pilar terhadap kecepatan aliran (Q2) ..... 47
Gambar 26 Grafik pengaruh pilar terhadap kecepatan aliran (Q3) ..... 48
Gambar 27 Grafik profil melintang kecepatan aliran tanpa pilar ..... 48
Gambar 28 Grafik profil melintang kecepatan aliran dengan pilar ..... 49
Gambar 29 Grafik Profil melintang kecepatan aliran dengan pilar ..... 49
Gambar 30 Grafik Profil melintang kecepatan aliran dengan pilar ..... 50
Gambar 31 Grafik Profil melintang kecepatan aliran dengan pilar ..... 50
Gambar 32 Grafik kecepatan aliran section F (tanpa pilar) ..... 52
Gambar 33 Grafik kecepatan aliran section G (tanpa pilar) ..... 52
Gambar 34 Grafik kecepatan aliran section A (tanpa pilar) ..... 52
Gambar 35 Grafik kecepatan aliran section L (tanpa pilar) ..... 53
Gambar 36 Grafik kecepatan aliran section F (dengan pilar) ..... 53
Gambar 37 Grafik kecepatan aliran section G (dengan pilar) ..... 53
Gambar 38 Grafik kecepatan aliran section A (dengan pilar) ..... 54
Gambar 39 Grafik kecepatan aliran section L (dengan pilar) ..... 54
Gambar 40 Grafik Bilangan Reynolds tanpa pilar (Q1) ..... 57
Gambar 41 Grafik Bilangan Fraude tanpa pilar (Q1) ..... 57
Gambar 42 Grafik Bilangan Reynolds tanpa pilar (Q2) ..... 58

Gambar 43 Grafik Bilangan Fraude tanpa pilar (Q2) ..... 58
Gambar 44 Grafik Bilangan Reynolds tanpa pilar (Q3) ..... 58
Gambar 45 Grafik Bilangan Fraude tanpa pilar (Q2) ..... 58
Gambar 46 Grafik Bilangan Reynolds dengan model pilar (Q1) ..... 61
Gambar 47 Grafik Bilangan Fraude dengan model pilar (Q1) ..... 61
Gambar 48 Grafik Bilangan Reynolds dengan model pilar (Q2) ..... 61
Gambar 49 Grafik Bilangan Fraude dengan model pilar (Q2) ..... 62
Gambar 50 Grafik Bilangan Reynolds dengan model pilar (Q3) ..... 62
Gambar 51 Grafik Bilangan Fraude dengan model pilar (Q3) ..... 62

# DAFTAR TABEL

Tabel 1 Koefisien kekasaran Manning ..... 20
Tabel 2 Koefisien faktor bentuk pilar ..... 26
Tabel 3 Rancangan Penelitian ..... 34
Tabel 4 hasil perhitungan debit aliran pada section A,P1,P2, dan L ..... 37
Tabel 5 Pengukuran kecepatan aliran dengan *Portable Velocity Meter* ..... 38
Tabel 6 Parameter Aliran ..... 38
Tabel 7 data kecepatan aliran sebelum melewati pilar Q1 (tanpa pilar) ..... 39
Tabel 8 data kecepatan aliran sesudah melewati pilar Q1 (tanpa pilar) ..... 41
Tabel 9 data kecepatan aliran sebelum melewati pilar Q1 (dengan pilar) ..... 42
Tabel 10 data kecepatan aliran sesudah melewati pilar Q1 (dengan pilar) ..... 44
Tabel 11 Bilangan Fraude dan Bilangan Reynolds tanpa Pilar (Q1) ..... 56
Tabel 12 Bilangan Fraude dan Bilangan Reynolds dengan model Pilar (Q1) ..... 60

# DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

| Lambang/Singkatan | Arti dan Keterangan |
|---|---|
| Fr | Froude |
| A | Luas Penampang |
| B | Lebar Saluran |
| h | Tinggi Muka Air |
| P | Keliling Saluran |
| R | Jari-Jari Hidraulis |
| V | Kecepatan Aliran |
| S | Kemiringan |
| n | Koefisien Kekasaran Manning |
| $\bar{v}$ | Kecepatan rata-rata |
| $U_y$ | Kecepatan Suatu Titik yang Berjarak y dari Dasar |
| $U_*$ | Kecepatan Gesek |
| y | Ketinggian Titik yang Ditinjau dari Dasar Saluran Terbuka |
| ĸ | Konstanta Von Karman |
| $k_s$ | Tinggi Kekasaran Menurut Nikuradse |
| $B_r$ | Konstanta Integrasi Numerik (Log Law) |
| $U_c$ | Kecepatan Maksimum |
| δ | Kedalaman Titik dimana Terjadi Kecepatan Maksimum |
| Π | Parameter Wake Coles |
| C | Koefisien C dari Chezy |
| v | Kekentalan kinematis |
| Q | Debit |
| g | Percepatan Gravitasi |

# DAFTAR LAMPIRAN

# KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Allah SWT, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **"Distribusi Kecepatan Aliran Disekitar Pilar Bercelah"** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan 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 yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak **Prof Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli ST., M.T.**, 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 **Prof. Dr. Eng. Ir. Farouk Maricar, MT.,** selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan tenaga untuk membimbing, mengarahkan danmemberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penilitian ini.
4. Bapak **Ir.A. Subhan Mustari. ST, M. Eng,.** selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktu dan tenaga dengan sabar membimbing, mengarahkan dan memberikan saran serta dukungan untuk menyelesaikan penelitian ini.
5. Seluruh **Dosen Departemen Teknik Sipil** Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. Kedua orang tua atas doa, kasih sayang, motivasi, dan segala dukungan selama ini, baik moral maupun material yang diberikan.
7. Rekan-rekan di **KKD KEAIRAN 2018** yang senantiasa membantu serta memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir.
8. Saudara-saudari **TRANSISI 2019**, Departemen Teknik Sipil dan Teknik Lingkungan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Angkatan 2018.
9. Serta semua pihak yang tidak dapat saya sebutkan satu-persatu yang telah mendukung penulis dalam pengerjaan tugas akhir ini.

Akhir kata penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu penulis mengharapkan masukan dari semua pihak. Semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi siapapun yang membacanya.

Gowa, 24 Januari 2024

Penulis

# BAB I
# PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Jembatan berfungsi untuk melayani arus lalu lintas dengan baik. Jembatan merupakan suatu konstrusi yang dibangun untuk menghubungkan dua jalan yang terputus karena adanya hambatan seperti aliran sungai, lembah yang curam, jurang, jalanan yang melintang, jalur kereta api, waduk, saluran irigasi dan lainnya. Bisa dibilang jika jembatan merupakan sarana transportasi yang sangat penting, karena dengan adanya jembatan dapat menyingkat waktu tempuh ke suatu tempat atau wilayah. Oleh karena itu pemeriksaan kondisi struktur jembatan merupakan bagian penting dalam system menajemen jembatan. Kerusakan-kerusakan struktur jembatan dapat disebabkan oleh faktor lingkungan, beban, maupun bencana alam.

Pilar adalah bangunan bawah jembatan yang merupakan suatu konstruksi beton bertulang yang berfungsi menumpu di atas pondasi tiang-tiang pancang yang terletak di tengah sungai atau yang lain. Pilar juga berfungsih menyalurkan gaya-gaya vertikal dan horisontal dari bangunan atas ke pondasi. Dalam banyak kasus, jembatan yang runtuh sebagian besar disebabkan karena adanya kegagalan kestabilan pilar jembatan. Pilar tersebut sangat berpengaruh terhadap fenomena fisik aliran sungai, terutama di sekitar pilar itu sendiri seperti berubahnya pola aliran, gerusan, sedimentasi dan lain-lain.

Dalam keilmuan hidrologi terdapat dua macam saluran jika dilihat dari jenisnya, yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup. Perbedaan mendasar dari dua jenis saluran tersebut adalah adanya permukaan bebas pada saluran terbuka, sedangkan pada saluran tertutup seluruh penampang dilewati cairan sehingga tidak ada permukaan bebas. Pada saluran yang non prismatis aliran air mengalami perubahan seperti ketinggian, kecepatan, dan perilaku aliran lainnya. Beberapa penyebab terjadinya penampang saluran yang tidak prismatis misalnya akibat sambungan dua penampang yang berbeda, adanya bangunan lain seperti pilar jembatan, dan bendung, atau penyebab lain yang mengubah penampang dari

saluran. Dalam hal ini akan dikaji lebih dalam mengenai karakteristik aliran pada saluran terbuka dengan adanya pilar.

Analisis saluran terbuka lebih sulit daripada analisis pada saluran tertutup. Hal ini karena ketika menganalisis aliran di saluran terbuka, banyak variabel berubah dan acak dalam ruang dan waktu. Distribusi kecepatan aliran pada saluran tidak sama secara horizontal dan vertikal. Dengan kata lain, kecepatan aliran di tepi saluran tidak sama dengan kecepatan di tengah saluran, dan kecepatan aliran pada permukaan air tidak sama dengan kecepatan di dasar saluran. Oleh karena itu analisis karakteristik aliran ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika untuk mengetahui kecepatan aliran di permukaan saluran, tengah saluran, tepi saluran dan kecepatan aliran di dasar saluran dengan adanya hambatan pilar.

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka dilakukan penelitian dengan judul :

**"*Distribusi Kecepatan Aliran Sekitar Pilar Bercelah*"**

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang terkait, maka penelitian ini dilaksanakan dalam upaya mencari:

1. Bagaimana distribusi kecepatan aliran di sekitar pilar pada saluran terbuka?
2. Bagaimana pengaruh pilar terhadap karakteristik aliran pada saluran terbuka?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka penelitian ini bertujuan untuk :

1. Menganalisis distribusi kecepatan aliran di sekitar pilar pada saluran terbuka
2. Menganalisis karakteristik aliran sebelum dan setelah melewati pilar pada saluran terbuka

### 1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat serta meningkatkan ilmu pengetahuan yang berkaitan dengan distribusi kecepatan dan karakteristik aliran di sekitar pilar yang nantinya akan menjadi pengembangan teknologi utamanya dalam studi terkait dengan konsep pedoman pelaksanaan dilapangan, model sistem penampang saluran untuk rekayasa pemeliharaan alur.

### 1.5 Ruang Lingkup

Agar penelitian berjalan dengan baik dan terarah, maka penulis memberikan batasan masalah dalam melaksanakan penelitian, sebagai berikut:

1. Data yang diambil dilakukan di Laboratorium Hidrolika fakultas Teknik Universitas Hasanuddin menggunakan alat saluran terbuka.
2. Data yang dijadikan bahan penulisan didasarkan atas data pengujian dilaboratorium
3. Penelitan ini hanya membahas karakteristik aliran dan distribusi kecepatan pada titik horizontal maupun vertikal.
4. Pengukuran kecepatan yang diukur hanya kecepatan searah aliran.

# BAB II
# TINJAUAN PUSTAKA

## 2.1 Saluran Terbuka

Pada aliran saluran terbuka maupun tertutup, keadaan aliran pada semua saluran akan mengalami perubahan. Perubahan tersebut dapat terjadi karena adanya perubahan bentuk penampang ataupun perubahan bentuk dari saluran. Hal ini mengakibatkan keadaan aliran juga berubah misalnya perubahan tinggi muka air atau perubahan kecepatan aliran. (Ajeng Titin Suciana. 2016). Pada saluran terbuka, memiliki parameter seperti lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, hambatan serta debit aliran dan lain sebagainya yang juga memungkinkan kecepatan aliran berubah.

Kekasaran pada saluran terbuka tergantung pada tergantung pada kedudukan permukaan bebas. Sebab itu pemilihan koefisien gesekan untuk saluran terbuka lebih bersifat tidak pasti dibandingkan dengan untuk pipa. Umumnya, penyelesaian untuk aliran saluran terbuka lebih didasarkan pada hasil pengamatan dibandingkan dengan pada aliran pipa (Chow V. T., 1989)

Kebanyakan aliran saluran terbuka adalah turbulen, biasanya dengan air sebagai cairannya. Metode menganalisis aliran saluran terbuka tidak semaju metode untuk salura tertutup. Persamaam-persamaan yang dipakai mengasumsikan turbulensi penuh, dengan kerugian tinggi tekan yang sebanding dengan kuadrat kecepatan. Walaupun hampir segenap data tentang aliran saluran terbuka telah diperoleh eksperimen-eksperimen mengenai aliran air, persamaan-persamaannya kiranya akan menghasilkan nilai-nilai yang wajar untuk cairan lainnya yang viskositasnya rendah (Streeter Victor, 1988). Saluran digolongkan menjadi dua macam yaitu, saluran alam (natural) dan saluran buatan (artifical).

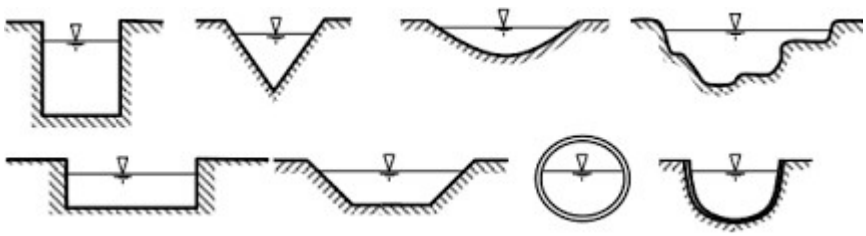
Saluran alam merupakan suatu aliran yang meliputi semua alur aliran air secara alami, seperti sungai yang kecil dan besar dimana alirannya mengalir dari hulu ke hilir. Saluran buatan saluran yang dibuat dan direncanakan sesuai dengan konteks pemanfaatnya seperti, saluran irigasi, saluran drainase, saluran pembawa pada pembangkit listrik tenaga air dan saluran untuk industri. Karakteristik aliran

yang terjadi pada saluran buatan merupakan aliran seragam yang terjadi di sepanjang saluran.

### 2.1.1 Bentuk Saluran

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Penampang saluran buatan biasanya dirancang berdasarkan bentuk geometris yang umum. Bentuk yang paling umum dipakai untuk saluran berdinding tanah yang tidak dilapisi adalah bentuk trapesium, sebab stabilitas kemiringan dindingnya dapat di sesuaikan. Bentuk persegi panjang dan segitiga merupakan bentuk khusus selain trapesium. Berhubung bentuk persegi panjang mempunyai sisi tegak, biasanya dipakai untuk saluran yang dibangun dengan bahan yang stabil,seperti pasangan batu, padas, logam atau kayu. Penampang segitiga hanya dipakai untuk saluran kecil, selokan, dan penyalidikan di laboratorium. Penampang lingkaran banyak dipakai untuk saluran pembuangan air kotor dan gorong-gorong berukuran sedang maupun kecil (Chow V. T., 1989).

Penampang saluran terbuka memiliki berbagai macam bentuk sebagai

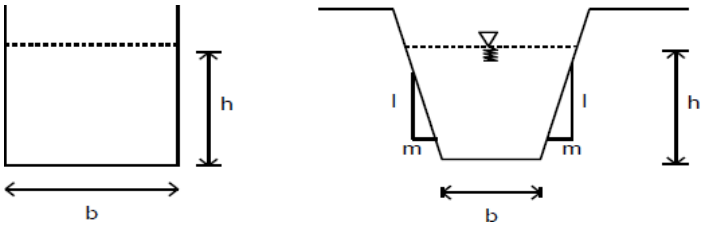


mana dapat dilihat pada Gambar 1 berikut.

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:

$$P = B + 2 \quad (2)$$

c. Jari-jari Hidraulik:

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

Dimana:

A = Luas Penampang ($cm^2$)

P = Keliling basah (cm)

B = Lebar (cm)

h = Tinggi (cm)

R = Jari-jari hidraulik (cm)

## 2.2 Kecepatan Aliran

Dengan adanya suatu permukaan bebas dan gesekan dan gesekan di sepanjang dinding saluran, maka kecepatan dalam saluran tidak terbagi merata dalam 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 Survai 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 :

$$\bar{v} = \left(\frac{(v_{0,2}+v_{0,8})}{2} + v_{0,6}\right)\frac{1}{2} \qquad (3)$$

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)

## 2.3 Distribusi Kecepatan

Distribusi kecepatan menurut teoritik yang diteliti dibagi menjadi dua bagian yaitu *inner region* dan *outer region*. Pada daerah *inner region*, z/H≤0.2, perbedaaan 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 dpengaruhi oleh kekentalan (viskositas) dan kekerasan dasar (Graf, 1998)

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 kcepatan maksimumnya tidak tejadi 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 bearti 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. Adapun persamaan pada inner region menurut Kironoto (1993) adalah:

$$U_y = \frac{U_*}{\kappa} \ln y - \frac{U_*}{\kappa} \ln k_s + Br.U_* \quad (4)$$

dengan asumsi,:

$U_y$ = kecepatan pada suatu titik yang berjarak y dari dasar (m/s),

$U_*$ = kecepatan gesek (m/s)

y = ketinggian titik yang ditinjau dari dasar saluran terbuka (m)

$\kappa$ = konstanta Von Karman (bernilai 0,4)

$k_s$ = tinggi kekasaran menurut Nikuradse (m)

$B_r$ = konstanta integrasi numerik (log law) dan yo = 0,2$k_s$

Pada outer region profil kecepatan menyimpang dari persamaan logaritmik. Disini berlaku distribusi kecepatan Coles, yang juga berlaku untuk inner region

$$\frac{U_c - u}{u_*} = -\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{\delta}\right) + \frac{2\Pi}{\kappa} \cos^2 \left(\frac{\pi z}{2\delta}\right) \quad (5)$$

dengan asumsi :

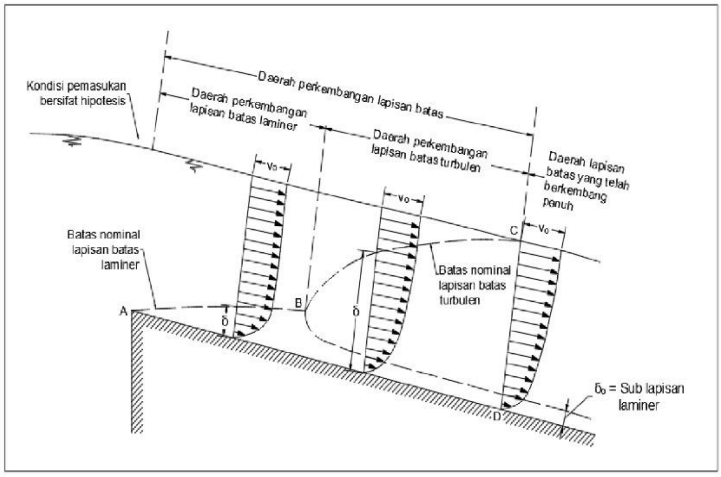
$U_c$ = kecepatan maksimum (m/s)

$\delta$ = kedalaman titik dimana terjadi kecepatan maksimum (Uc)

$\Pi$ = parameter wake Coles ($\Pi$ =-0,03 untuk B/D ≈ 2 & $\Pi$ = 0,09 untuk B/D >5).

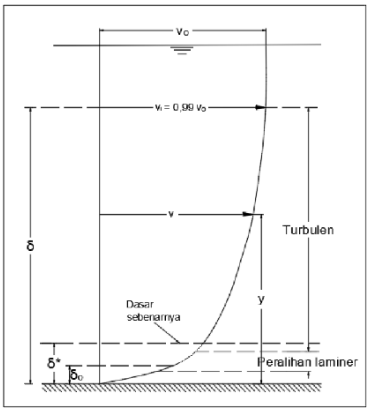
## 2.4 Konsep Teoritis lapisan Batas

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 prismatik 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 $\delta$. Definisi yang umum adalah bahwa ketebalan $\delta$ merupakan besaran jarak normal dari permukaan batas dimana kecepatan $v1$ sama dengan 99% dari kecepatan batas $v0$, dengan kurva pembagian kecepatan di lapisan batas berbentuk asimtotis (Chow V. T., 1973).




Gambar 4 Pembagian kecepatan pada permukaan saluran licin

Pengaruh lapisan batas terhadap aliran sama dengan perpindahan semu ke atas dasar saluran ke tempat sebenarnya yang setara dengan apa yang disebut tebal perpindahan (displacement thickness) $\delta*$, yang dinyatakan dengan $\delta = \int_0^{\delta} (1 - \frac{v}{v_1}) dy$ dimana $v$ adalah kecepatan pada setiap jarak y dari permukaan saluran dan $v1$ adalah kecepatan di tepi lapisan batas. Besarnya tebal perpindahan umumnya bervariasi dari 1/8 sampai 1/10 dari tebal lapisan batas, tergantung pada besarnya bilangan Reynolds (Chow V. T., 1973).

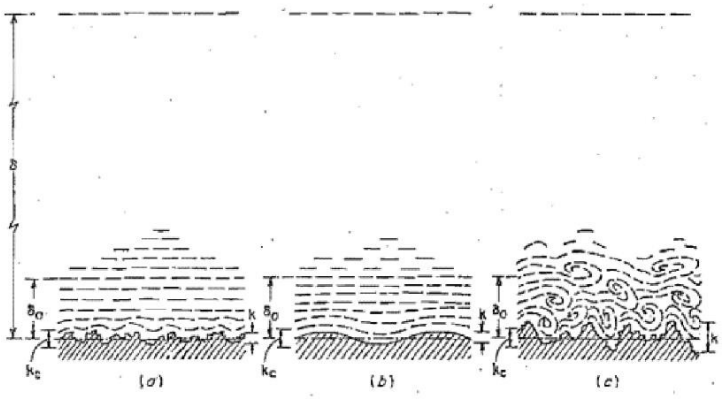
Pada awal aliran di dalam saluran (Gambar 6), aliran sepenuhnya laminar dan lapisan batas laminar dikembangkan di sepanjang permukaan saluran, seperti yang ditunjukkan oleh kurva AB. Distribusi kecepatan di lapisan ini kira-kira

parabola. Saat air bergerak lebih jauh di sepanjang saluran, aliran di lapisan batas pada akhirnya akan berubah menjadi turbulen. Titik dimana perubahan terjadi ditunjukkan oleh B. Dari B menuju hilir lapisan batas turbulen dikembangkan, seperti yang ditunjukkan oleh kurva BC. Distribusi kecepatan pada lapisan ini dapat ditunjukkan secara analitik mendekati logaritmik (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).

### 2.4.1 Konsep Kekasaran Permukaan

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



Gambar 5 Sifat-sifat kekasaran permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar

Ketika profil permukaan diperbesar (gambar 4), terlihat bahwa permukaannya terdiri dari puncak dan lembah yang tidak beraturan. Tinggi fektif dari ketidakteraturan yang membentuk elemen kekasaran disebut tinggi kekasaran $k$. Rasio $k/R$ dari tinggi kekasaran terhadap jari-jari hidrolik 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 4 a). Pada kondisi ini kekasaran tidak berpengaruh terhadap aliran di atas sub

lapisan laminar, dan permukaan tersebut disebut hidrolis licin (*hydraulically smooth*). Permukaan hidrolis licin dikatakan bergelombang (*wavy*) jika profil permukaan rata-rata mengikuti suatu lengkung (gambar 5.b).

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

$$k_c = \frac{5C}{\sqrt{g}}\frac{v}{V} \tag{6}$$

Dimana:

C = Koefisien C dari Chezy

v = Kekentalan kinematis

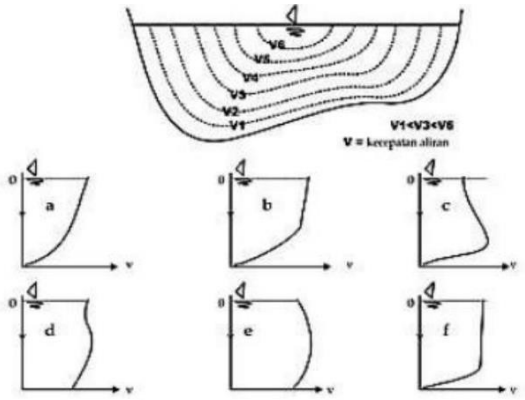
V = Kecepatan rata-rata (m/s)

Kemungkinan syarat tertentu dibuat untuk kekasaran yang diperoleh dari pasir dengan nilai $C$ lebih besar dari 100. Untuk syarat rata-rata, Schlichting menyarankan nilai $kc$ = 100 $v/V$ yang sesuai dengan $C$ = 113,5. Persamaan (8) dapat dipakai sebagai pendekatan untuk suatu saluran.

Jika tinggi kekasaran lebih besar dari nilai kritis yang ditentukan oleh persamaan (8) (gambar 5.c), elemen kekasaran akan memiliki magnitude 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.

### 2.4.2 Distribusi Kecepatan di Bagian Saluran

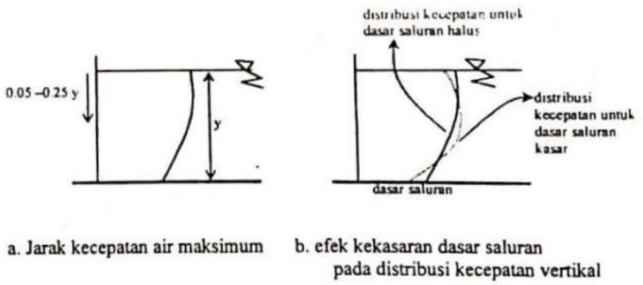
Disebabkan oleh tekanan pada muka air akibat adanya perbedaan fluida antara udara dan air dan juga akibat gaya gesekan pada dinding saluran (dasar maupun tebing saluran) maka kecepatan aliran pada suatu potongan melintang saluran tidak seragam. Ketidakseragaman ini juga disebabkan oleh bentuk tampang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




Gambar 6 Distribusi kecepatan aliran

Gambar 8 di atas menjelaskan bahwa distribusi kecepatan pada penampang saluran tergantung pada beberapa faktor seperti bentuk penampang, kekasaran saluran, dan adanya tekukan-tekukan. Pada gambar 6(a) merupakan distribusi kecepatan secara teoritis. Gambar 6(b) dasar saluran kasar dan banyak tumbuhan. Gambar 6(c) gangguan permukaan (sampah). Gambar 6(d) aliran cepat, aliran turbulen pada dasar. Gambar 6(e) aliran lambat, dasar saluran halus. Gambar 6(f) dasar saluran kasar/ berbatu (Putra, 2016).

Selanjutnya Chow mengatakan bahwa kecepatan maksimum umumnya terjadi pada jarak 0,05 sampai 0,25 dikalikan kedalaman airnya dihitung dari permukaan air seperti ditunjukkan dalam Gambar 6. Namun pada sungai yang sangat lebar dengan kedalaman dangkal (*shallow*), kecepatan maksimum terjadi pada permukaan air. Makin sempit saluran, maka kecepatan air maksimumnya makin dalam (Kodoatie, 2002).




Gambar 7 Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran

## 2.5 Klasifikasi Aliran

Aliran melalui saluran terbuka disebut seragam (*uniform*) yaitu apabila berbagai jenis aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan dan debit pada

setiap tampang di sepanjang aliran adalah konsta (Triatmodjo, Hidrolika I, 1993). Adapun klasifikasi aliran pada saluran terbuka adalah :

a. Aliran tunak (*steady flow*)

Aliran tunak (*steady flow*) terjadi jika kedalaman aliran tidak berubah atau selalu dalam keadaan konstan pada selang waktu tertentu.

b. Aliran seragam (*uniform flow*)

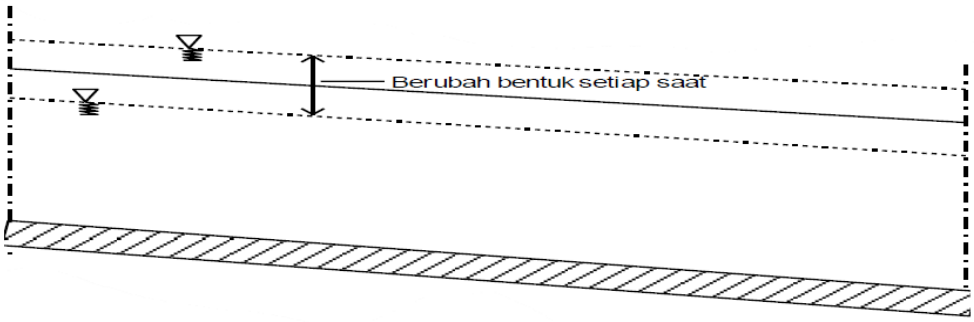
Aliran seragam merupakan aliran dengan kecepatan rata-rata sepanjang alur aliran adalah sama sepanjang waktu. Aliran dikatakan seragam, jika kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran. Di dalam aliran seragam, dianggap bahwa aliran adalah mantap dan satu dimensi yang berarti kecepatan aliran di setiap titik pada tampang lintang tidak berubah, misalnya aliran melalui saluran irigasi yang sangat panjang dan tidak ada perubahan penampang. Pada umumnya aliran seragam pada saluran terbuka dengan tampang lintang prismatic adalah aliran dengan kecepatan konstan dan kedalaman air konstan. Di samping itu permukaan aliran sejajar dengan permukaan dasar saluran, sehingga kecepatan dan kedalaman aliran disebut dalam kondisi seimbang (kondisi *equilibrium*).

c. Aliran tak seragam (*varied flow*)

Aliran tak seragam adalah kedalaman dan kecepatan aliran disepanjang saluran tidak konstan, garis tenaga tidak sejajar dengan garis muka air dan dasar saluran. Analisis aliran tak seragam biasanya bertujuan untuk mengetahui profil aliran di sepanjang saluran atau sungai. Analisis ini banyak dilakukan dalam perencanaan perbaikan sungai atau penanggulangan banjir, elevasi jembatan dan sebagainya. Dalam hal ini analisis aliran menjadi jauh lebih mudah dan hasil hitungan akan lebih aman, karena debit yang diperhitungkan adalah debit puncak yang sebenarnya terjadi sesaat, tetapi dalam analisis ini dianggap terjadi dalam waktu yang lama. Aliran tak seragam dapat dibedakan dalam dua kelompok berikut ini :

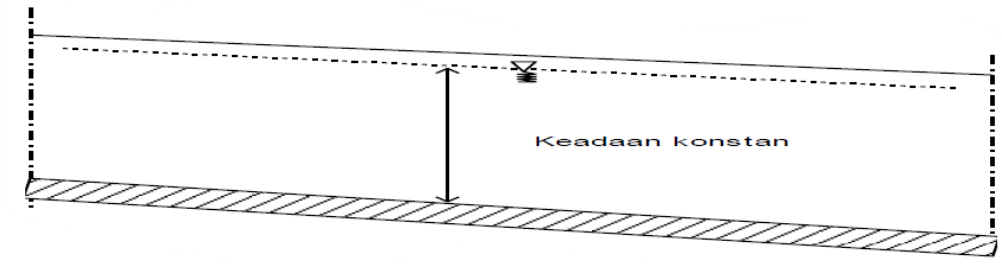
1). Aliran berubah beraturan *(gradually varied flow)*, terjadi jika parameter hidraulis (kecepatan, tampang basah) berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain. Apabila di ujung hilir saluran terdapat bendung maka akan terjadi profil muka air pembendungan dimana kecepatan aliran akan berkurang

(diperlambat), sedangkan apabila terdapat terjunan maka profil aliran akan menurun dan kecepatan akan bertambah (dipercepat) contoh aliran pada sungai 2). Aliran berubah cepat *(rapidly varied flow)*, terjadi jika parameter hidraulis berubah secara mendadak (saluran transisi), loncat air, terjunan, aliran melalui bangunan pelimpah dan pintu air.




Gambar 8 Aliran Seragam Tak Tunak

Selain itu aliran melalui saluran terbuka juga dapat dibedakan menjadi aliran sub kritis (mengalir) dan super kritis (meluncur). Diantara kedua tipe tersebut aliran adalah kritis. Aliran disebut sub kritis apabila suatu gangguan (misalnya batu dilemparkan kedalam aliran sehingga menimbulkan gelombang) yang terjadi di suatu titik pada aliran dapat menjalar kearah hulu. Aliran sub kritis dipengaruhi oleh kondisi hilir, dengan kata lain keadaan di hilir akan mempengaruhi aliran




disebelah

Gambar 9 Aliran Seragam

hulu. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yangterjadi tidak menjalar kehulu maka aliran adalah super kritis. Dalam hal ini kondisi di hulu akan dipengaruhi aliran disebelah hilir. Penentuan tipe aliran dapat didasarkan

pada nilai angka Froude (Fr). Aliran adalah sub kritis apabila Fr<1, kritis apabila Fr = 1, dan super kritis apabila Fr > 1. (Bambang, 2003)

Sungai pada umumnya memiliki tipea liran tetap (*steady flow*) dan aliran tidak seragam (*non uniform flow*).

Kondisi aliran dalam saluran terbuka berdasarkan pada kedudukan permukaan bebas cenderung berubah menurut ruang dan waktu, disamping itu ada hubungan ketergantungan antara lain kedalaman aliran, debit air, kemiringan dasar saluran dan permukaan bebas. Kondisi fisik saluran terbuka jauh lebih bervariasi dibandingkan dengan saluran tertutup. Berikut beberapa faktor yang dapat mempengaruhi pola aliran :

a. Debit Aliran

Debit aliran merupakan hubungan perkalian antara kecepatan aliran dengan luas tampang basah saluran. Ven Te Chow (1989), dalam Sudiyono dkk (2014).

$$Q = U \cdot A \tag{7}$$

Dimana :

Q = Debit aliran, m3/det

U = Kecepatan aliran rata-rata, m/det

A = Luas penampang aliran,m2

b. Kecepatan Aliran Rata-rata

Menurut Ven Te Chow (1989), Sudiyono dkk (2014) kecepatan aliran rata-rata merupakan perbandingan antara debit aliran yang melewati saluran (Q) dengan luas tampang basah saluran (A) seperti persamaan dibawah ini:

$$U = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B.Y0} \tag{8}$$

Dimana :

U = Kecepatan aliran rata-rata, (m/det)

Yo = Kedalaman aliran, (m)

B = Lebar saluran, (m)

Q = Debit, (m3/det)

A = Luas penampang aliran, (m2)

Kecepatan rata-rata menurut Chezy dirumuskan sebagai berikut:

$$U = C\sqrt{\overline{R\ Sf}} \quad (9)$$

$$C = 18log\frac{12Y0}{k+2\frac{0}{7}} \quad (10)$$

$$\delta = \frac{11{,}6v}{U_0} \quad (11)$$

Dimana :

C = Koefisien Chezy

$S_f$ = Kemiringan garis energi

$Y_0$ = Kedalaman aliran

R = Jari –jari hidrolik

K = Diameter kekasaran dasar

$\delta$ = Batas daerah transisi laminar dan torbulen

Y = Viskositas

c. Bilangan Reynolds

Pada tahun 1884 Osborne Reynolds melakukan percobaan untuk menunjukkan sifat-sifat aliran laminar dan turbulen. Berdasarkan pada percobaan aliran di dalam pipa, Reynolds menetapkan bahwa untuk bilangan Reynolds dibawah 500, aliran pada kondisi tersebut adalah laminar. Aliran akan turbulen apabila bilangan Reynolds lebih besar 1000. Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar.

Angka Reynolds mempunyai rumus sebagai berikut :

$$\text{Re} = \frac{VD}{v} \quad (12)$$

Dimana :

Re = Bilangan Reynolds

V = Kecepatan Aliran (cm/s)

D = Panjang Karakteristik (cm)

v = Viskositas (cm2/s)

Adapun menurut J.K.Robert aliran fluida khususnya air diklasifikasikan berdasarkan perbandingan antara gayagaya inersia (inertial forces) dengan gaya-gaya akibat kekentalan (viscous forces) menjadi tiga bagian, yaitu aliran laminar, aliran transisi dan aliran turbulen. Jadi untuk saluran terbuka alami (sungai) untuk masingmasing jenis aliran diklasifikasikan sebagai berikut, menurut J.K.Robert:

| | | |
|---|---|---|
| Laminer | : | Re < 500 |
| Transisi | : | 500 < Re < 12500 |
| Turbulen | : | Re > 12500 |

Umumnya pada saluran terbuka mempunyai Re > 12500 sehingga aliran termasuk dalam kategori aliran turbulen (Kodoatie R. J., 2002)

d. Koefisien Kekasaran Manning

Menurut Chow (1989), faktor-faktor yang mempengaruhi kekasaran Manning adalah sebagai berikut :

1) Kekasaran permukaan, yang ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Secara umum dikatakan bahwa butiran halus menyebabkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.
2) Tetumbuhan yang juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.
3) Ketidakteraturan saluran, yang mencakup pula ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran. Secara umum perubahan lambat laun dan teratur dari penampang 62

ukuran dan bentuk tidak terlalu mempengaruhi nilai n, tetapi perubahan tiba-tiba atau peralihan dari penampang kecil ke besar memerlukan penggunaan nilai n yang besar.

4) Trase saluran, dimana kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, sedangkan kelengkungan ang tajam dengan belokan-belokan yang patah akan memperbesar nilai n.
5) Pengendapan dan penggerusan. Secara umum pengendapan dapat mengubah saluran yang sangat tidak beraturan menjadi cukup beraturan dan memperkecil n, sedangkan penggerusan dapat berakibat sebaliknya dan memperbesar n. Namun efek utama dari pengendapan akan tergantung dari sifat alamiah bahan yang diendapkan.
6) Hambatan, berupa balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya yang cenderung memperbesar nilai n.

Besarnya koefisien dasar saluran dapat dihitung menurut Chow, (1989) dalam Koyari dkk (2012) dengan rumus :

$$n = \frac{1}{n} R \frac{2}{3} I \frac{1}{2} \quad (13)$$

Dimana :

n = Koefisien kekasaran Manning

V = Kecepatan aliran (m/dt)

R = Jari-jari hidrolik (m)

I = Kemiringan Saluran

Nilai jari-jari hidraulik (R) diperoleh dengan rumus :

$$R = \frac{A}{P} \quad (14)$$

Dimana :

P = Keliling tampang basah (m)

A = Luas saluran (m2)

Nilai kemiringan saluran (I) diperoleh dengan rumus :

$$I = \frac{\Delta h}{s} \quad (14)$$

Dimana :

Δh = Beda tinggi saluran hulu dan hilir (m)

s = Panjang tinjauan hulu dan hilir (m)

Tabel 1 Koefisien kekasaran Manning

| Bahan | Ks, kaki |
|---|---|
| Kuningan, perunggu, timah, kaca | 0,0001 – 0,0030 |
| Besi tempa, baja | 0,0002 – 0,0080 |
| Besi tuang di aspal | 0,0004 – 0,0070 |
| Besi berlapis seng | 0,0005 – 0,0150 |
| Besi tuang | 0,0008 – 0,0180 |
| Papan | 0,0006 – 0,0030 |
| Semen | 0,0013 – 0,0040 |
| Beton | 0,0015 – 0,0100 |
| Ubin | 0,0020 – 0,0100 |
| Baja dikeling | 0,0030 – 0,0300 |
| Dasar sungai alami | 0,1000 – 3,0000 |

## 2.6 Karakeristik Aliran

Menurut Ven Te Chow (1992). Karakteristik aliran adalah gambaran spesifik mengenai aliran yang dicirikan oleh parameter yang berkaitan dengan keadaan topografi, tanah, geologi, vegetasi, penggunaan lahan hidrologi, dan manusia. Aliran pada saluran terbuka merupakan aliran yang mempunyai permukaan yang bebas. Permukaan yang bebas itu merupakan pertemuan dua fluida dengan kerapatan (density) yang berbeda. Biasanya pada saluran terbuka itu dua fluida adalah udara dan air dimana kerapatan udara jauh lebih kecil dari pada kerapatan air.

Menurut jurnal sarwono 2016, sebelum melakukan uji pengaliran, maka harus diketahui sifat-sifat hidraulikanya terlebih dahulu. Untuk mengetahui karakteristik

aliran, perlu diketahui analisis berdasarkan formulasi hidraulik. Parameter yang berpengaruh terhadap karakteristik aliran adalah :

1) Debit aliran (Q)
2) Kecepatan aliran (V)
3) Kedalaman saluran (h)
4) Percepatan gravitasi (g)

Gerakan air pada saluran terbuka berdasarkan efek dari gravitasi bumi yang didistribusikan tekanan dalam air umumnya bersifat hidrostatis karna kuantitasnya tergantung dari berat jenis aliran dalam kedalaman. Karna berat jenis aliran dapat diasumsikan tetap, maka tekanan hanya tergantung dari kedalamannya; semakin dalam tekanannya maka semakin dalam. Namun pada beberapa kondisi biasa ditemukan distribusi tekanan tidak hidrostatis (Ven Te Chow 1992).

Menurut Ven Te Chow (1992) aliran digolongkan menjadi beberapa jenis,
yaitu :

1. Waktu sebagai kriteria :
   a) Aliran tunak (steady flow ) merupakan kondisi dimana komponen aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran tidak berubah atau biasa dikatakan konstan dalam suatu selang waktu tertentu.
   b) Aliran tak tunak (unsteady flow ) merupakan kondisi dimana komponen aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sesuai dengan waktu.
2. Ruang sebagai kriteria :
   a. Aliran seragam (uniform flow ) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran.
   b. Aliran berubah (non- uniform flow/varied flow ) merupakan aliran dalam saluran terbuka yang memiliki kedalaman aliran berubah sepanjang saluran.
   c. Berubah tiba-tiba/Aliran berubah cepat (rapidly varied) aliran yang kedalaman alirannya berubah tiba-tiba pada jarak yang cukup pendek atau aliran yang terjadi jika parameter hidrolis berubah secara mendadak

(saluran transisi), loncatan hidrolis, terjunan, aliran melalui bangunan pelimpah atau pintu air.

d. Berubah lambat laun/Aliran berubah beraturan (gradually varied) aliran yang kedalaman alirannya berubah lambat laun pada jarak yang relative panjang atau aliran yang terjadi jika parameter hidrolis berubah secara progresif dari satu tampang ke tampang yang lain.

Klasifikasi aliran pada saluran terbuka dapat dibedakan dengan bilangan Froude dan dipengaruhi oleh gaya tarik bumi (gravitasi bumi). Aliran berdasarkan bilangan Froude dan dipengaruhi gaya gravitasi bumi, yaitu sebagai berikut :

a. Aliran kritis, jika bilangan Froude sama dengan satu (Fr = 1) dan gangguan permukaan, misalnya akibat riak yang terjadi karena batu yang dilempar kedalam sungai tidak akan bergerak menyebar melawan arah arus.
b. Aliran subkritis, jika bilangan Froude lebih kecil dari satu (Fr < 1), untuk aliran subkritis kedalaman biasanya lebih besar dan kecepatan aliran rendah (semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus).
c. Aliran superkritis, jika bilangan Froude lebih besar dari satu (Fr > 1), untuk aliran superkritis kedalaman aliran relative lebih kecil dan kecepatan relative tinggi. Segala riak timbul dari suatu gangguan adalah mengikuti arah arus aliran.

Persamaan untuk menghitung nilai Froude, dapat dinyatakan dalam bentuk sebagai berikut :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \tag{15}$$

Dimana :

Fr = Bilangan Froude

v = Kecepatan rata-rata aliran (m/det)

g = Percepatan gravitasi ($m^2$/det),

h = Kedalaman hidrolis saluran (m)

## 2.7 Regime Aliran

Regime aliran *(flow regime)* adalah pola tertentu ketika suatu fluida yang mengalir diakibatkan sifat fisik fluida. Regime aliran *(flow regime)* berkaitan dengan bentuk dasar *(bedforms)* yang terjadi disaluran aluvial dengan kecepatan aliran. Suatu kombinasi dari efek viskositas dan gravitasi akan menghasilkan salah satu dari empat regime aliran sebagai berikut :

a. Subkritis-laminer (subtricritical-laminer), apabila Fr lebih kecil daripada satu dan Re berada dalam rentang laminar.
b. Superkritis-laminer (supercritical-laminer), apabila Fr lebih besar dari satu dan Re berada dalam rentang laminar.
c. Superkritis-turbulen (supercritical-turbulen), apabila Fr lebih besar daripada satu dan Re berada dalam rentang laminar.
d. Subkritis-turbulen (subtricritical-turbulen), apabila Fr lebih kecil dari pada satu dan Re berada dalam rentang turbulen.

## 2.8 Penampang Saluran

Menurut jurnal Hidayah S 2015, menyatakan bahwa geometri/ penampang saluran adalah tegak lurus terhadap arah aliran, sedangkan penampang vertical aluran adalah suatu penampang melalui titik terbawah atau terendah dari penampang saluran. Unsur-unsur geometri/penampang pada sungai atau saluranterbuka biasanya berbentuk trapesium, adalah sebagai berikut

a. Luas penampang melintang (A)

Luas penampang melintang (A) adalah luas cairan yang dipotong oleh penampang melintang dan tegak lurus pada arah aliran. Adapun persamaannya, yaitu:

$$A = b\ x\ h$$

(16)

Keterangan:

A = Luas penampang saluran (m2)

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Kedalaman saluran (m)

b. Lebar dasar sungai

Lebar dasar (b) adalah lebar permukaan air bagian bawah atau dasar saluran. Adapun persamaan lebar dasar saluran, yaitu:

$$b = n\ x\ h \quad (17$$

Keterangan:

b = Lebar dasar saluran (m)

h = Kedalaman hidrolis saluran (m)

n = Koefisien kekasaran Manning dasar saluran

c. Kedalaman Saluran (h)

Kedalaman hidrolis saluran (h) adalah perbandingan luas penampang melintang dan lebar dasar saluran. Adapun persamaan kedalaman hidrolis saluran, adalah sebagai berikut:

$$h = \frac{A}{b} \quad (18)$$

Dimana:

h = kedalaman hidrolis saluran (m)

A = luas penampang basah saluran (m2)

b = lebar dasar saluran (m)

## 2.9 Parameter Kecepatan Hidrolis dan Debit Aliran

1. Kecepatan aliran

Menurut Ven Te Chow (1989), sudiyono dkk (2014) kecepatan aliran rata-rata merupakan perbandingan antara debit aliran yang melewati saluran (Q) dengan luas penampang basah saluran (A) seperti persamaan berikut :

$$V = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B\,x\,Y_0} \quad (19)$$

Dimana :

Q = Debit aliran, m3/det

V = Kecepatan aliran rata-rata /det

A = Luas penampang aliran, (m2).

$Y0$= Kedalaman aliran, (m)

B = Lebar saluran, (m)

2. Debit aliran

Menurut Ven Te Chow (1989), sudiyono dkk (2014) Debit aliran merupakan hubungan perkalian antara kecepatan aliran dengan luas penampang basah saluran. Adapun persamaan debit aliran adalah sebagai berikut :

$$Q = V\,x\,A \quad (20)$$

Dimana :

Q = Debit aliran, m3/det

V = Kecepatan aliran rata-rata (m/det)

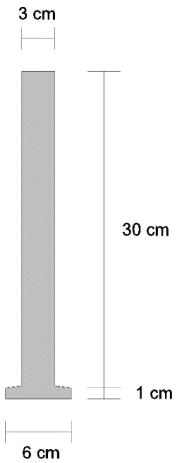
A = Luas penampang aliran (m2)

## 2.10 Pilar Jembatan

Menurut Mukti (2016) mendefinisikan pilar suatu bangunan bawah yang terletak di tengah – tengah bentang antara dua buah abutment yang berfungsi juga untuk memikul beban – beban bangunan atas dan bangunan lainnya dan meneruskannya ke pondasi serta disebarkan ke tanah dasar yang keras.

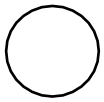
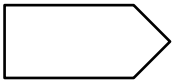
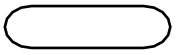
Wibowo (2007) menyebutkan pengaruh bentuk pilar berdasarkan potongan horizontal dari pilar telah diteliti oleh Laursen dan Toch (1956), Neil (1973) dan Dietz (1972).Menurut Wibowo (2007) kedalaman gerusan lokal tergantung pada kedudukan / posisi pilar terhadap arah aliran yang terjadi serta panjang dan lebarnya pilar.Karena kedalaman gerusan merupakan rasio dari panjang dan lebar serta sudut dari tinjauan terhadap arah aliran. Bentuk pilar akan berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal, pilar jembatan yang tidak bulat akan memberikan sudut yang lebih tajam terhadap aliran datang yang diharapkan dapat mengurangi gaya pusaran tapal kuda sehingga dapat mengurangi besarnya kedalaman gerusan.

Bentuk pilar akan berpengaruh pada kedalaman gerusan lokal, pilar jembatan yang tidak bulat akan memberikan sudut yang lebih tajam terhadap aliran datang yang diharapkan dapat mengurangi gaya pusaran tapal kuda sehingga dapat mengurangi besarnya kedalaman gerusan. Hal ini juga tergantung pada panjang dan lebar (l/b) masing-masing bentuk mempunyai koefisien faktor bentuk Ks.




Gambar 10 model pilar

Tabel 2 Koefisien faktor bentuk pilar

| Bentuk Pilar | b/l | b/l | Ks | Gambar Bentuk Pilar |
|---|---|---|---|---|
| Silinder | | | 1.0 |  |
| Persegi (Rectangular) | 1:1<br>1:5 | | 1.22<br>0.99 | |
| Persegi dengan ujung setengah lingkaran (rectangular with semicircular nose) | 1:3 | | | |
| Ujung setengah lingkaran dengan bentuk belakang lancip (semi circularnose with wedge shape tail) | 1:5 | | 0.86 | |
| Persegi dengan sisidepan miring (rectangular with wedge shape nose) | 1:3 | 1:2<br>1:4 | 0.76<br>0.65 |  |
| Elips (Elliptic) | 1:2<br>1:3<br>1:5 | | 0.83<br>0.80<br>0.61 | |
| Lenticular | 1:2<br>1:3 | | 0.80<br>0.70 |  |
| Aerofil | 1:3.5 | | 0.80 | |

(Sumber : Breuser dan Raudkivi,1991:73)