

TUGAS AKHIR

**DISTRIBUSI KECEPATAN DAN POLA ALIRAN PADA
VARIASI HAMBATAN TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**

***VELOCITY DISTRIBUTION AND FLOW PATTERNS ON
VARIATIONS OF SUBMERGED RESISTANCE IN OPEN
CHANNELS***

**YUSRIAH SAHRIL
D011 18 1018**



**PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
2023**

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**DISTRIBUSI KECEPATAN DAN POLA ALIRAN PADA VARIASI HAMBATAN
TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**

Disusun dan diajukan oleh:

YUSRIAH SAHRIL

D011 18 1018

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 8 Februari 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,



Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT
NIP: 196703191992032010



Muhammad Farid Maricar, B.Eng, M.Eng
NIP: 199210312019031017

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini, nama Yusriah Sahril, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**Distribusi Kecepatan dan Pola Aliran pada Variasi Hambatan Terendam di Saluran Terbuka**", adalah karya ilmiah penulis sendiri, dan belum pernah digunakan untuk mendapatkan gelar apapun dan dimanapun.

Karya ilmiah ini sepenuhnya milik penulis dan 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.

Gowa, 8 Januari 2023

Yang membuat pernyataan,



Yusriah Sahril
NIM: D011 18 1018

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur kita panjatkan kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**DISTRIBUSI KECEPATAN DAN POLA ALIRAN PADA VARIASI HAMBATAN TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**” 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 kepada:

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST., MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Ibu Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Tahir Lopa, MT.**, selaku Dosen Pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini. Sekaligus selaku Kepala Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan selama penelitian.
4. **Bapak Muhammad Farid Maricar, B.Eng, M.Eng.**, selaku Dosen Pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
5. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
6. 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:

1. Kedua Orang Tua tercinta, Ayahanda **Sahril M** dan Ibunda **Suhaidah** yang tiada henti-hentinya memberikan perhatian, kasih sayang, dorongan, motivasi, dan iringan doa serta memberikan bantuan baik moril maupun materil.
2. Saudara kandung yang tercinta, yaitu **Musytahidah, Luthfiah Saidah, Muhammad Ahkam**, dan **Aulia Izzatunnisa** serta seluruh **Keluarga**

Tande dan **Keluarga Natia** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.

3. **Made, Rudy, Nabilah, Samuel, Ummul, dan Melani** sebagai partner penelitian yang telah berjuang bersama selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
4. Rekan penelitian terkhusus **Ibu Ira** yang telah banyak memberikan ilmu dan masukan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
5. **Ipa, Nadia, Ica, Fitri, Upe, Wana, Yuqni, Asihana, Melani, Radix, Fiqih, Charlie, dan Fikri** yang menemani suka duka dan pengalaman-pengalaman tak terlupakan di kehidupan kampus mulai dari mahasiswa baru hingga berada di titik ini.
6. **Rekan-rekan asisten di Laboratorium Ukur Tanah Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin** yang telah memberikan pengalaman dan pengetahuan baru selama menjalankan tanggung jawab sebagai asisten.
7. Saudara-saudari **TRANSISI 2019** yang senantiasa memberikan warna serta kenangan yang indah, dukungan yang tiada henti serta semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kepada pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhir kata 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, 8 Januari 2023



Yusriah Sahril

ABSTRAK

Sungai dapat mengalami perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran yang disebabkan oleh faktor alam seperti tikungan dan faktor manusia seperti pembangunan bangunan air. Adanya halangan yang melintang di sungai berupa bangunan sungai dapat menyebabkan perubahan pola aliran yang disertai dengan gerusan lokal di sekitar bangunan tersebut. Apabila air di hulu melintasi bangunan air maka akan mempunyai energi yang besar sehingga kecepatan aliran yang melintas akan menjadi semakin besar. Kecepatan aliran sangat penting dari berbagai perspektif karena memainkan peran penting dalam pengangkutan sedimen di dasar saluran. Oleh karena itu dibutuhkan suatu bangunan peredam energi untuk memperlambat aliran sehingga energi dan daya gerusan yang besar bisa berkurang.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis distribusi kecepatan dan pola aliran sebelum dan sesudah melewati hambatan serta menganalisis pengaruh variasi hambatan terhadap distribusi kecepatan dan pola aliran.

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode eksperimental. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi model hambatan masing-masing berbentuk segitiga, trapesium, dan persegi dengan tiga variasi debit yang diletakkan di tengah *flume* berukuran panjang 800 cm, lebar 40 cm, dan tinggi 60 cm.

Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa kecepatan rerata yang terjadi sebelum melewati hambatan akan mengalami penurunan kecepatan aliran, namun sesaat setelah melewati hambatan kecepatan aliran akan meningkat. Selain itu, dapat diketahui bahwa semakin kecil kemiringan suatu hambatan maka kecepatan yang tereduksi akan semakin besar. Dimana rerata kecepatan yang tereduksi sebelum melewati hambatan untuk model segitiga, trapesium, dan persegi berturut-turut -4.321%, -7.523%, dan -13.951%. Namun setelah melewati hambatan akan terjadi peningkatan kecepatan aliran berturut-turut 26.262%, 22.854%, dan 13.496%.

Kata Kunci: Saluran Terbuka, Distribusi Kecepatan, Pola Aliran, Hambatan Terendam

ABSTRACT

Rivers can experience morphological changes in the shape of the flow section that caused by natural factors such as bends and human factors such as the construction of water structures. The existence of obstacles across the river in the form of the river structures can cause changes in flow patterns accompanied by local scour around these structures. If the water upstream crosses the waterworks it will have great energy so that the velocity of the flowing stream will become even greater than before. Stream velocity is very important from various perspectives as it plays an important role in the transport of sediment at the bottom of the channel. Therefore, an energy absorbing structure is needed to retard the flow so that the large energy and scour force can be reduced.

The purpose of this study was to analyze the distribution of velocity and flow patterns before and after crossing obstacles and to analyze the effect of variations in resistance on velocity distribution and flow patterns.

This research was conducted at the Hydraulics Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University using an experimental method. In this study, three variations of the resistance model were used, each in the form of a triangle, trapezoid, and square with three variations of discharge placed in the middle of a flume measuring 800 cm long, 40 cm wide, and 60 cm high.

Based on the research results, it can be seen that the average velocity that occurs before passing through the obstacle will experience a decrease in flow velocity, but immediately after passing through the obstacle the flow velocity will increase. In addition, it can be seen that the smaller the slope of an obstacle, the greater the reduced velocity. Where the reduced average speed before passing through the obstacle for the triangle, trapezoidal, and square models is -4.321%, -7.523%, and -13.951%, respectively. However, after passing through the barrier there will be an increase in flow velocity of 26.262%, 22.854% and 13.496% respectively.

Keywords: Open Channels, Velocity Distribution, Flow Patterns, Submerged Resistance

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	3
C. Maksud dan Tujuan Penelitian	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan	4
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Saluran Terbuka.....	6
B. Tipe dan Jenis Aliran Saluran Terbuka.....	7
C. Debit Pengaliran.....	9
D. Kecepatan Rata-rata	10
D.1. Persamaan <i>Chezy</i>	11
D.2. Persamaan <i>Manning</i>	14
E. Distribusi Kecepatan Aliran	15
E.1. Konsep Teoritis Lapisan Batas	15
E.2. Konsepsi Kekasaran Permukaan.....	18
E.3. Distribusi Kecepatan di Bagian Saluran.....	21
E.4. Koefisien Distribusi Kecepatan	24
F. Energi Spesifik	27
G. Momentum	28
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	29

A. Lokasi Penelitian	29
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data	29
B.1. Jenis Penelitian.....	29
B.2. Sumber Data.....	30
C. Alat dan Bahan Penelitian	30
C.1. Alat Penelitian.....	30
C.2. Bahan Penelitian.....	33
D. Prosedur Penelitian	34
D.1. Tahapan Pendahuluan.....	34
D.2. Pengambilan Data Kecepatan	37
D.3. Analisis dan Pengolahan Data.....	39
D.4. Bagan Alir Penelitian.....	39
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
A. Penentuan Debit.....	42
A.1. Pengukuran Debit di Hulu Saluran.....	42
A.2. Pengukuran Debit di Hilir Saluran.....	44
A.3. Pengukuran Debit di Tengah Saluran	44
A.4. Validasi Debit dengan Persamaan Empiris.....	47
A.5. Rekapitulasi Hasil Validasi Data Debit Pengaliran	49
B. Distribusi Kecepatan dan Pola Aliran	50
B.1. Distribusi Kecepatan dan Pola Aliran pada Hambatan Segitiga.....	51
B.2. Distribusi Kecepatan dan Pola Aliran pada Hambatan Trapeسيوم.....	56
B.3. Distribusi Kecepatan dan Pola Aliran pada Hambatan Persegi.....	62
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	70
A. Kesimpulan.....	70
B. Saran.....	71
DAFTAR PUSTAKA	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Perkembangan lapisan batas dalam saluran terbuka dengan kondisi pemasukan yang ideal	15
Gambar 2. Pembagian kecepatan pada permukaan saluran licin.....	16
Gambar 3. Sifat-sifat kekasaran permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar	18
Gambar 4. Distribusi kecepatan aliran	21
Gambar 5. Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran	22
Gambar 6. Kecepatan aliran aktual dan kecepatan aliran yang diasumsikan	26
Gambar 7. Lokasi penelitian	29
Gambar 8. <i>Recirculating sediment flume</i>	31
Gambar 9. <i>Point gauge</i>	31
Gambar 10. <i>Electromagnetic current meter</i>	32
Gambar 11. Pengukuran debit di hulu saluran.....	35
Gambar 12. Pengukuran debit di hilir saluran	36
Gambar 13. Model hambatan segitiga, trapesium, dan persegi.....	37
Gambar 14. Skema pengukuran	38
Gambar 15. Pengambilan data kecepatan.....	38
Gambar 16. Bagan alir penelitian.....	41
Gambar 17. Grafik hubungan debit aktual (Q_a) dan koefisien debit (C_d)	43
Gambar 18. Titik pengukuran di tengah saluran	45
Gambar 19. Grafik hubungan tinggi muka air (h) dan kecepatan (v)	50
Gambar 20. Grafik distribusi kecepatan sebelum hambatan segitiga	53
Gambar 21. Grafik distribusi kecepatan setelah hambatan segitiga	54
Gambar 22. Pengaruh variasi debit terhadap kecepatan dengan model hambatan segitiga.....	55
Gambar 23. Pola kecepatan aliran pada model hambatan segitiga.....	56
Gambar 24. Grafik distribusi kecepatan sebelum hambatan trapesium...	59

Gambar 25. Grafik distribusi kecepatan setelah hambatan trapesium.....	59
Gambar 26. Pengaruh variasi debit terhadap kecepatan dengan model hambatan trapesium	60
Gambar 27. Pola kecepatan aliran pada model hambatan trapesium	61
Gambar 28. Grafik distribusi kecepatan sebelum hambatan persegi.....	64
Gambar 29. Grafik distribusi kecepatan setelah hambatan persegi.....	64
Gambar 30. Pengaruh variasi debit terhadap kecepatan dengan model hambatan persegi	65
Gambar 31. Pola kecepatan aliran pada model hambatan persegi	66
Gambar 32. Grafik hubungan kecepatan (U_z) dan kedalaman (D) dengan variasi hambatan, $X = 3.80$ m	67
Gambar 33. Grafik hubungan kecepatan (U_z) dan kedalaman dengan variasi hambatan, $X = 4.41$ m	68
Gambar 34. Grafik hubungan kecepatan (U_z) dan jarak longitudinal (X) .	68

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koefisien kekasaran <i>Bazin</i>	13
Tabel 2. Koefisien kekasaran <i>Manning</i>	14
Tabel 3. Taksiran nilai tinggi kekasaran <i>k</i>	20
Tabel 4. Pengukuran debit aliran di hulu saluran	42
Tabel 5. Pengukuran debit aliran di hilir saluran	44
Tabel 6. Pengukuran kecepatan aliran dengan <i>ECM</i>	45
Tabel 7. Rekapitulasi debit aliran dengan <i>ECM</i>	46
Tabel 8. Rekapitulasi hasil pengukuran debit.....	46
Tabel 9. Parameter utama aliran.....	47
Tabel 10. Rekapitulasi hasil analisis kecepatan Metode <i>Chezy</i>	48
Tabel 11. Rekapitulasi hasil analisis kecepatan Metode <i>Manning</i>	49
Tabel 12. Rekapitulasi validasi kecepatan aliran	49
Tabel 13. Pembagian daerah kecepatan sebelum hambatan segitiga.....	52
Tabel 14. Pembagian daerah kecepatan setelah hambatan segitiga.....	52
Tabel 15. Data kecepatan model hambatan segitiga debit 1 (M1Q1)	52
Tabel 16. Data kecepatan model hambatan segitiga debit 2 (M1Q2)	53
Tabel 17. Data kecepatan model hambatan segitiga debit 3 (M1Q3)	53
Tabel 18. Pembagian daerah kecepatan sebelum hambatan trapesium .	57
Tabel 19. Pembagian daerah kecepatan setelah hambatan trapesium ...	57
Tabel 20. Data kecepatan model hambatan trapesium debit 1 (M2Q1) ...	58
Tabel 21. Data kecepatan model hambatan trapesium debit 2 (M2Q2) ...	58
Tabel 22. Data kecepatan model hambatan trapesium debit 3 (M2Q3) ...	58
Tabel 23. Pembagian daerah kecepatan sebelum hambatan persegi	62
Tabel 24. Pembagian daerah kecepatan setelah hambatan persegi	62
Tabel 25. Data kecepatan model hambatan persegi debit 1 (M3Q1)	63
Tabel 26. Data kecepatan model hambatan persegi debit 2 (M3Q2).....	63
Tabel 27. Data kecepatan model hambatan persegi debit 3 (M3Q3)	63

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan permukaan bebas. Aliran saluran terbuka dapat terjadi dalam bentuk yang bervariasi cukup besar, mulai dari aliran di atas permukaan tanah yang terjadi saat hujan, sampai aliran dengan kedalaman air konstan dalam saluran prismatis.

Masalah aliran saluran terbuka banyak dijumpai dalam aliran sungai, aliran saluran irigasi dan talang, aliran saluran pembuangan, dan saluran lain yang bentuk dan kondisi geometriknya bermacam-macam, termasuk model saluran lain yang dibuat di laboratorium untuk keperluan penelitian.

Sungai dapat mengalami perubahan morfologi pada bentuk tampang aliran yang disebabkan oleh faktor alam seperti tikungan dan faktor manusia seperti pembangunan bangunan air.

Adanya halangan yang melintang di sungai berupa bangunan sungai seperti pilar dan abutmen jembatan, krib sungai, pintu air dan sebagainya dapat menyebabkan perubahan pola aliran yang disertai dengan gerusan lokal di sekitar bangunan tersebut. Ketika aliran dipisahkan oleh halangan (bangunan) tak bergerak di daerah dasar sungai maka akan berpotensi terjadinya gerusan dan sedimen yang timbul karena adanya akselerasi (percepatan) dan deselerasi (perlambatan) aliran di sekitar bangunan.

Apabila air di hulu melintasi bangunan air maka akan mempunyai energi yang besar sehingga kecepatan aliran yang melintas akan menjadi semakin besar. Kecepatan aliran sangat penting dari berbagai perspektif karena memainkan peran penting dalam pengangkutan sedimen di dasar saluran. Oleh karena itu dibutuhkan suatu bangunan peredam energi untuk memperlambat aliran sehingga energi dan daya gerusan yang besar bisa berkurang.

Amir, dkk. (2018) pernah melakukan penyelidikan dimana memberikan hambatan di hulu bangunan air dengan tujuan memperlambat aliran dapat mengurangi gerusan. Hasil penyelidikan menyatakan bahwa kedalaman gerusan dapat berkurang sebesar 39% dibandingkan dengan tebing tanpa vegetasi.

Selain hambatan vegetasi, beberapa hambatan alami yang terjadi disungai menyebabkan perpisahan aliran, mengontrol gerusan lokal, dan pengendapan. Hal ini bergantung pada bentuk-bentuk hambatan tersebut. Namun karena belum ada pendekatan yang disetujui secara umum untuk analisis bentuk-bentuk ini, maka penulis mencoba melakukan penelitian dengan tujuan untuk mengetahui efektifitas variasi bentuk hambatan dalam meredam kecepatan aliran.

Berdasarkan uraian di atas, maka hal tersebut menjadi dasar bagi penulis untuk melakukan penelitian berjudul “**Distribusi Kecepatan dan Pola Aliran pada Variasi Hambatan Terendam di Saluran Terbuka**”.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana distribusi kecepatan dan pola aliran sebelum dan sesudah melewati hambatan?
2. Bagaimana pengaruh variasi hambatan terhadap distribusi kecepatan dan pola aliran?

C. Maksud dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang dipaparkan di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah:

1. Menganalisis distribusi kecepatan dan pola aliran sebelum dan sesudah melewati hambatan.
2. Menganalisis pengaruh variasi hambatan terhadap distribusi kecepatan dan pola aliran.

D. Manfaat Penelitian

1. Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini adalah sebagai bahan referensi bagi mahasiswa tentang model hambatan yang dapat dijadikan alternatif dalam mengurangi kecepatan aliran.
2. Sebagai bahan pertimbangan dan pedoman bagi pihak yang berkepentingan (*stakeholder*) bilamana model ini menjadi pilihan aplikatif di suatu lokasi yang membutuhkan bangunan pereduksi kecepatan aliran di saluran terbuka.

E. Batasan Masalah

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

1. Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar dengan menggunakan Uji Model Fisik.
2. Model hambatan diletakkan di tengah saluran.
3. Penelitian ini tidak menganalisis struktur hambatan.
4. Aliran yang digunakan tanpa angkutan sedimen.
5. Variasi penelitian yang dilakukan adalah tiga variasi debit (Q) dan tiga variasi model hambatan (M)

F. Sistematika Penulisan

Penulisan tugas akhir ini terdiri dari beberapa bab dimana masing-masing bab membahas masalah tersendiri dengan rincian sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini diuraikan mengenai hal-hal yang melatar belakangi penelitian ini, dilanjutkan dengan uraian rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini diuraikan secara sistematis tentang teori, pemikiran, dan hasil penelitian terdahulu yang ada hubungannya dengan penelitian ini. Bagian ini akan memberikan kerangka dasar yang komprehensif mengenai

konsep, prinsip, atau teori yang akan digunakan untuk pemecahan masalah.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Dalam bab ini dijelaskan tentang metode yang digunakan dalam penelitian yang meliputi lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan untuk mengolah data, alat dan bahan yang digunakan, dan bagan alir yang berisi langkah-langkah penelitian.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menjelaskan hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan pembahasannya. Penyajian hasil penelitian memuat deskripsi sistematis tentang data yang diperoleh, sedangkan pada bagian pembahasan menguraikan pengolahan data hasil penelitian dalam rangka mencapai tujuan dari penelitian ini.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

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

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Saluran Terbuka

Saluran terbuka adalah saluran di mana air mengalir dengan permukaan bebas. diklasifikasikan menurut asalnya saluran dapat berupa alam atau buatan (Chow, 1973).

Saluran alami mencakup semua aliran air yang ada secara alami di bumi, bervariasi dalam ukuran dari anak sungai kecil di lereng bukit, melalui anak sungai, sungai kecil dan besar, hingga muara pasang surut. Aliran bawah tanah yang membawa air dengan permukaan bebas juga dianggap sebagai saluran terbuka alami (Chow, 1973).

Saluran buatan adalah saluran yang dibangun atau dikembangkan oleh usaha manusia seperti saluran navigasi, saluran pembangkit listrik, saluran irigasi dan saluran air, parit drainase, saluran pelimpah, saluran banjir, saluran kayu, selokan pinggir jalan, dll., serta saluran model yang dibangun di laboratorium untuk tujuan pengujian (Chow, 1973).

Saluran terbuka menurut Triatmodjo (2011) adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada saluran terbuka, misalnya sungai (saluran alam), variabel aliran sangat tidak teratur baik terhadap ruang maupun waktu. Variabel tersebut adalah tampang lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, debit aliran, dan sebagainya. Untuk saluran buatan seperti saluran irigasi, drainase, saluran pembawa pada

pembangkit listrik tenaga air atau untuk keperluan industri, karakteristik aliran di sepanjang saluran adalah seragam.

Aliran saluran terbuka dapat diklasifikasikan menurut karakteristik salurannya, yaitu aliran saluran terbuka dapat terjadi baik di aliran alami dan sungai maupun di saluran buatan, seperti sistem saluran drainase, pipa saluran pembuangan, saluran beton/ tanah, dan lain-lain. Menurut geometri saluran, debit air dapat mengalir baik di saluran prismatic (umumnya dicirikan oleh geometri penampang melintang konstan dan kemiringan memanjang) atau di saluran non-prismatic (aliran alami atau sungai, dimana kedua geometri penampang melintang dan kemiringan dasar memanjang bervariasi). Selain itu, karakteristik dasar saluran juga berkontribusi untuk membedakan aliran saluran terbuka, karena kondisi kekasaran dan proses erosi, yang dapat berkontribusi pada modifikasi geometri saluran. Dengan kata lain, dasar saluran dapat halus, kasar, tererosi, tetap, dan lain-lain. Oleh karena itu, karakteristik aliran berubah sesuai dengan itu (Radecki-Pawlik, dkk, 2018).

B. Tipe dan Jenis Aliran Saluran Terbuka

Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Aliran melalui saluran terbuka akan turbulen apabila angka Reynolds $Re > 1.000$, dan laminar apabila $Re < 500$. Dalam hal ini panjang karakteristik yang ada pada angka Reynolds adalah jari-jari hidraulik, yang didefinisikan sebagai perbandingan antara luas tampang basah dan keliling basah.

Aliran melalui saluran terbuka disebut seragam (*uniform*) apabila berbagai variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, kecepatan, dan debit pada setiap tampang di sepanjang aliran adalah konstan.

Aliran disebut tidak seragam atau berubah (*nonuniform flow* atau *varied flow*) apabila variabel aliran seperti kedalaman, tampang basah, dan kecepatan di sepanjang saluran tidak konstan. Apabila perubahan aliran terjadi pada jarak yang pendek maka disebut aliran berubah cepat, sedangkan apabila terjadi pada jarak yang panjang disebut aliran berubah beraturan. Aliran disebut mantap apabila variabel aliran disuatu titik seperti kedalaman dan kecepatan tidak berubah terhadap waktu, dan apabila berubah terhadap waktu disebut aliran tidak mantap.

Bambang Triatmodjo (2011) menjelaskan bahwa 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 ke dalam aliran sehingga menimbulkan gelombang) yang terjadi di suatu titik pada aliran dapat menjalar ke arah hulu. Aliran sub kritis dipengaruhi oleh kondisi hilir, dengan kata lain keadaan di hilir akan mempengaruhi aliran di sebelah hulu. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu maka aliran adalah super kritis. Penentuan tipe aliran dapat didasarkan pada nilai angka *Froude* Fr , yang mempunyai bentuk $Fr = V / \sqrt{gy}$, dengan V dan y adalah

kecepatan dan kedalaman aliran. Aliran disebut sub kritis apabila $Fr < 1$, kritis apabila $Fr = 1$, dan super kritis apabila $Fr > 1$.

C. Debit Pengaliran

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

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

dimana:

Q = Debit aliran (m^3/s)

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

A = Luas penampang melintang tegak lurus arah aliran (m^2)

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

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

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

Persamaan (2) tidak dapat digunakan apabila aliran tetap tidak seragam (*nonuniform*) di sepanjang saluran, yakni bila air mengalir keluar atau masuk disepanjang arah aliran. Jenis aliran ini dikenal sebagai aliran berubah beraturan (*spatially varied flow*) atau tidak kontinyu (*discontinuous*).

flow) misalnya terdapat pada saluran pembawa pada irigasi, saluran pembuang, pelimpah luapan samping, air pembilas dari penyaringan, dan terdapat pada selokan.

D. Kecepatan Rata-rata

Pada umumnya tipe aliran melalui saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar. Oleh karena sulit untuk menentukan tegangan geser dan distribusi kecepatan dalam aliran turbulen, maka digunakan pendekatan empiris untuk menghitung kecepatan rata-rata. Adapun persamaan kecepatan rata-rata tampang pada saluran terbuka secara umum berbentuk:

$$V = CR_x S_y \quad (3)$$

dengan:

V = Kecepatan aliran (m/s)

C = faktor tahanan aliran

R = jari-jari hidraulik (m)

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

x dan $y = \text{eksponen}$.

Persamaan *Chezy* dan persamaan *Manning* merupakan persamaan yang menjelaskan tentang kecepatan rata-rata tampang saluran terbuka dengan kondisi aliran seragam.

D.1. Persamaan *Chezy*

Untuk keperluan riset di laboratorium cenderung menggunakan persamaan *Chezy*. Persamaan kecepatan *Chezy* diturunkan dari asumsi keseimbangan antara gaya tahanan geser (P_f) dan komponen gaya berat air yang searah aliran ($G \sin \theta$). Penurunan persamaan dasar aliran seragam dilakukan dengan anggapan-anggapan berikut:

$$\tau_b = \gamma R S_0 \quad (4)$$

dengan:

τ_b = tegangan geser pada saluran dasar

γ = berat jenis air

R = jari-jari hidraulik (m)

S_0 = kemiringan dasar saluran.

Nilai tegangan/ tahanan geser (τ_b) juga sebanding dengan kuadrat kecepatan dalam bentuk $\tau_b = k V^2$.

Oleh karena itu;

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

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

atau:

$$V = C \sqrt{R S_0} \quad (5)$$

dimana:

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

S_0 = Kemiringan dasar saluran

C = faktor tahanan aliran yang disebut koefisien *Chezy*

$$C = \sqrt{\frac{Y}{k}} \quad (6)$$

Persamaan (5) dikenal dengan rumus *Chezy* dan persamaan (6) adalah koefisien *Chezy* yang mempunyai dimensi $L^{1/2}T^{-1}$ atau akar dari percepatan.

Beberapa ahli telah mengusulkan beberapa bentuk koefisien *Chezy* C dari rumus umum pada persamaan (5). Koefisien tersebut tergantung pada bentuk tampang lintang, bahan dinding saluran, dan kecepatan aliran. Beberapa rumus yang digunakan adalah rumus *Bazin*, rumus *Ganguillet – Kutter*, dan rumus *Manning*.

1. Rumus *Bazin*

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

$$C = \frac{87}{1 + \frac{m}{\sqrt{R}}} \quad (7)$$

dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

m = Koefisien kekasaran permukaan.

Nilai koefisien kekasaran permukaan yang disarankan oleh *Bazin* dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Koefisien kekasaran *Bazin*

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

Sumber: Chow (1973)

2. Rumus *Ganguillet – Kutter*

Pada tahun 1869, dua insinyur Swiss, *Ganguillet* dan *Kutter* mengusulkan rumus untuk menyatakan besarnya nilai *C* sebagai fungsi kemiringan (S_o), jari-jari hidraulik (R), dan koefisien kekasaran (n), dalam bentuk sebagai berikut:

$$C = \frac{23 + \frac{0,00155}{S_o} + \frac{1}{n}}{1 + \left(23 + \frac{0,00155}{S_o}\right) \frac{n}{\sqrt{R}}} \quad (8)$$

dengan:

R = Jari-jari hidraulik (m)

S_o = Kemiringan dasar saluran

n = Koefisien kekasaran *Kutter*

D.2. Persamaan *Manning*

Seorang ahli dari Islandia, Robert Manning (1889) mengusulkan rumus yang saat ini dikenal dengan persamaan *Manning*. Rumus ini cenderung digunakan untuk keperluan perencanaan lapangan. Adapun bentuk dari rumus ini adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{2/3} S_o^{1/2} \quad (9)$$

dengan:

V = Kecepatan rata-rata (m/s)

R = Jari-jari hidraulis (m)

n = Koefisien kekasaran *Manning*

S_o = Kemiringan dasar saluran

Nilai (n) *Manning* untuk berbagai permukaan saluran dapat dilihat pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Koefisien kekasaran *Manning*

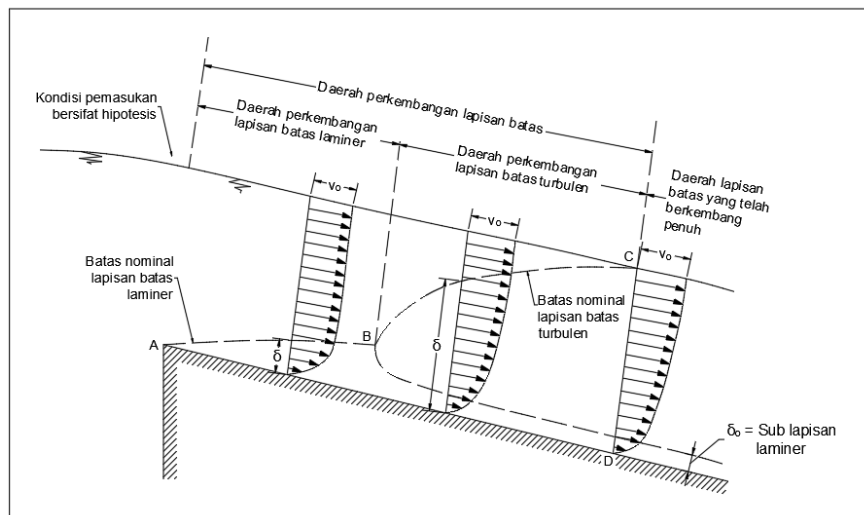
Bahan	Koefisien <i>Manning</i> n
Besi tuang dilapis	0,014
Kaca	0,010
Saluran beton	0,013
Bata dilapisi mortar	0,015
Pasangan batu disemen	0,025
Saluran tanah bersih	0,022
Saluran tanah	0,030
Saluran dengan dasar batu dan tebing rumput	0,040
Saluran pada galian batu padas	0,040

Sumber: Triatmodjo (2011)

E. Distribusi Kecepatan Aliran

E.1. Konsep Teoritis Lapisan Batas

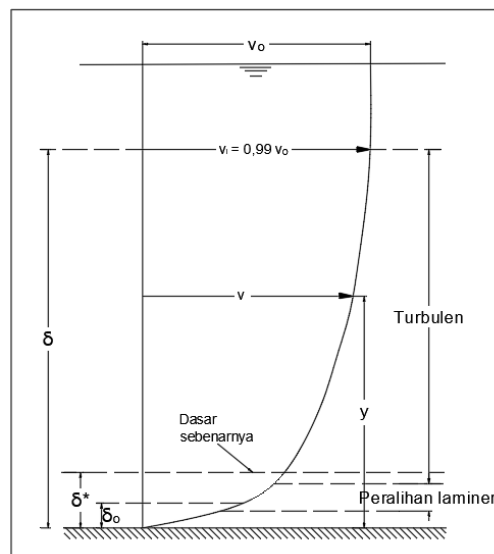
Pembagian kecepatan sepanjang penampang saluran akibat adanya kekasaran batas, akan bervariasi menurut jaraknya dimana air mengalir di saluran. Jika alirannya seragam dan stabil dan jika salurannya prisma dan kekasarannya konstan, distribusi kecepatan pada akhirnya akan mencapai pola tertentu (Chow,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



Gambar 1. 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 δ . Definisi yang umum adalah

bahwa ketebalan δ merupakan besaran jarak normal dari permukaan batas dimana kecepatan v_1 sama dengan 99% dari kecepatan batas v_0 , dengan kurva pembagian kecepatan di lapisan batas berbentuk asimtotis (Chow, 1973).



Gambar 2. 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*) δ^* , 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 v_1 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, 1973).

Pada awal aliran di dalam saluran (Gambar 1), 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.

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, 1973).

Kriteria untuk menentukan jenis lapisan batas yang ada adalah besarnya bilangan *Reynolds*, Re , yang didasarkan pada jarak x dari tepi utama/ depan. Bilangan *Reynolds* ini dikenal sebagai *bilangan Reynolds lokal*.

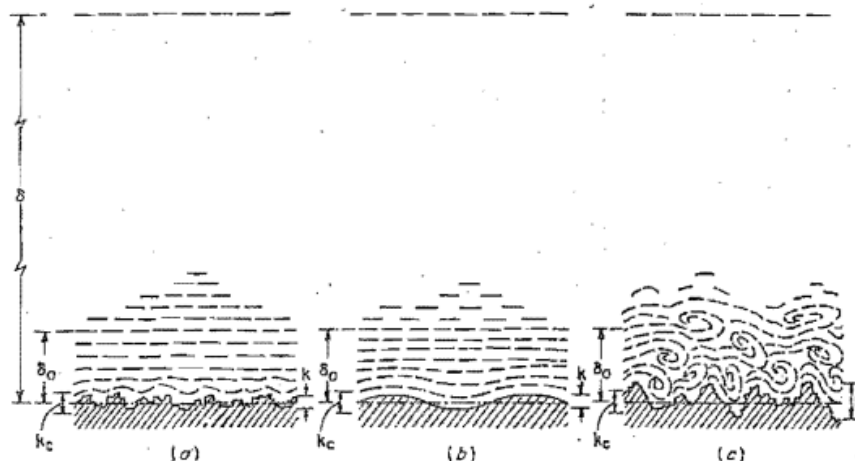
Jenis aliran laminar sangat jarang ditemui pada saluran terbuka karena lapis-batas antara laminar dan turbulen sangat tipis sehingga *bilangan Reynolds* (Re) yang terjadi disebut *bilangan Reynolds lokal*.

Adapun kriteria lapisan batas untuk bilangan Reynolds lokal (*Welty J.R., et al, 2004*) adalah:

$Re_x < 2 \times 10^5$	Lapis-batas adalah laminar
$2 \times 10^5 < Re_x < 3 \times 10^6$	Lapis-batas dapat laminar atau turbulen
$3 \times 10^6 > Re_x$	Lapis-batas adalah turbulen

E.2. Konsepsi Kekasaran Permukaan

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



Gambar 3. Sifat-sifat kekasaran permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar

Ketika profil permukaan diperbesar (gambar 3), terlihat bahwa permukaannya terdiri dari puncak dan lembah yang tidak beraturan. Tinggi efektif dari ketidakrataan yang membentuk elemen kekasaran disebut tinggi kekasaran k . Rasio 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, ketidakraturan permukaan menjadi sangat kecil sehingga semua elemen kekasaran akan seluruhnya terendam dalam sub lapisan laminar (gambar 3 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 3 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:

$$k_c = \frac{5C}{\sqrt{g}} \frac{v}{V} \quad (10)$$

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 $k_c = 100 v/V$ yang sesuai dengan $C = 113,5$. Persamaan (10) dapat dipakai sebagai pendekatan untuk suatu saluran.

Jika tinggi kekasaran lebih besar dari nilai kritis yang ditentukan oleh persamaan (10) (gambar 3 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.

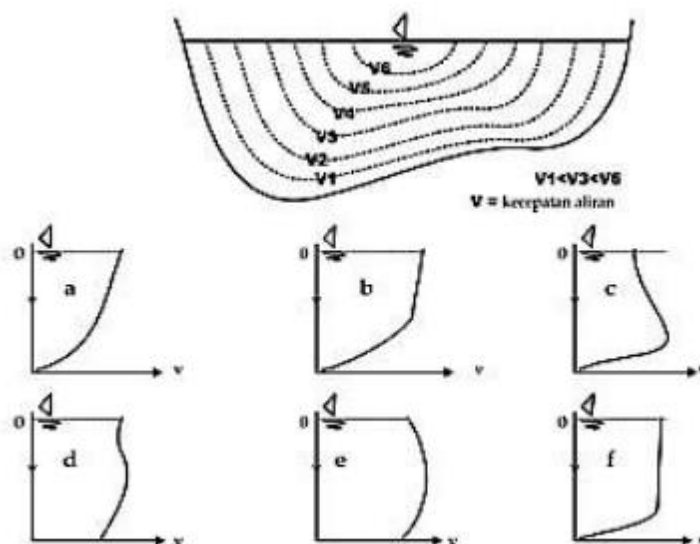
Adapun pendekatan taksiran nilai tinggi kekasaran k dapat dilihat pada table berikut:

Tabel 3. Taksiran nilai tinggi kekasaran k

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

E.3. 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. Ketidakteraturan ini juga disebabkan oleh bentuk tampang melintang saluran, kekasaran saluran dan lokasi saluran (saluran lurus, atau pada belokan) (Kodoatie, 2002).

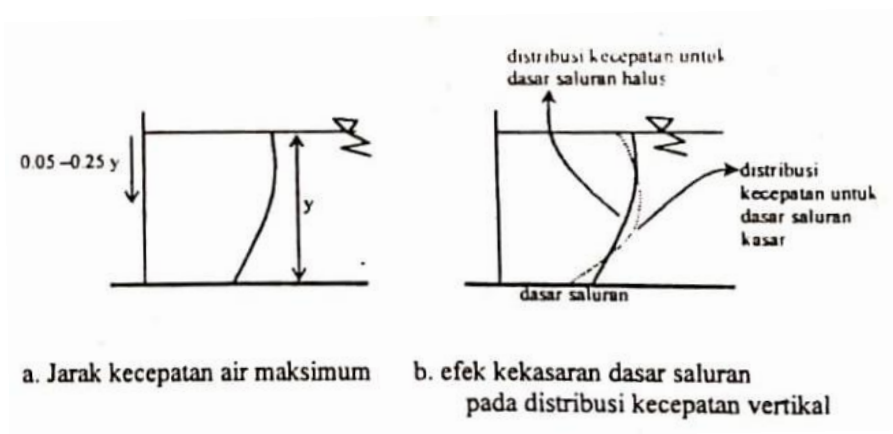


Gambar 4. Distribusi kecepatan aliran

Gambar 4 di atas menjelaskan bahwa distribusi kecepatan pada penampang saluran tergantung pada beberapa faktor seperti bentuk penampang, kekasaran saluran, dan adanya tekukan-tekukan. Pada gambar 4(a) merupakan distribusi kecepatan secara teoritis. Gambar 4(b) dasar saluran kasar dan banyak tumbuhan. Gambar 4(c) gangguan permukaan (sampah). Gambar 4(d) aliran cepat, aliran turbulen pada dasar.

Gambar 4(e) aliran lambat, dasar saluran halus. Gambar 4(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 5. 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 5. Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran

Pembagian kecepatan aliran seragam di saluran akan stabil bila lapisan batas turbulen telah tercapai secara sempurna. Pada saluran terbuka, diketahui bahwa pembagian kecepatan ini mendekati pola logaritmis.

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/ dinding dan aliran pada *outer region* dipengaruhi secara tidak langsung melalui tegangan geser dasar.

Dalam aliran saluran terbuka, dapat dijumpai daerah aliran yang berbeda yaitu daerah *inner region*, dekat dinding dimana distribusi kecepatan logaritmik berlaku dan daerah *outer region*, jauh dari dinding dimana profil kecepatan menyimpang secara jelas dan sistematis dari hukum logaritmik (Prismayuda, Purnama, & Najimuddin, 2020).

Pada daerah dasar (*inner region*), kecepatan dikontrol oleh kecepatan gesek dan distribusi kecepatan sesungguhnya dapat dinyatakan dengan persamaan empiris:

$$\frac{u(z)}{U_m} = \left(\frac{z}{D_m}\right)^{\frac{1}{\alpha_v}} \quad (11)$$

Untuk daerah *outer region*, dikendalikan oleh kecepatan gesek yang terjadi di antara batas muka air. Distribusi kecepatan didefinisikan dengan menggunakan hubungan *Semi-Gaussian*.

$$\frac{u(z)}{U_m} = \exp \left[-\beta_v \left(\frac{z - D_m}{D - D_m} \right)^{\gamma_v} \right] \quad (12)$$

Dimana:

$u(z)$ = Kecepatan rata-rata sejauh z dari dasar (cm/dtk)

U_m = Kecepatan aliran maksimum (cm/dtk)

D_m = Batas tinggi dari kecepatan maksimum ($z = D_m$)

α_v = Nilai koefisien energi arah vertikal

β_v = Nilai koefisien momentum energi arah vertikal

Dalam persamaan ini, β_v adalah koefisien momentum energi dan γ_v merupakan nilai didasarkan pada hasil pengukuran yang mengikuti fungsi eksponensial yang variabelnya merupakan basis logaritma (Rombebunga, Lopa, & Bakri, 2021).

E.4. Koefisien Distribusi Kecepatan

Sebagai akibat dari distribusi kecepatan yang tidak seragam pada saluran terbuka, tinggi kecepatan aliran saluran terbuka umumnya lebih besar dari pada nilai yang dihitung berdasarkan rumus $\frac{V^2}{2g}$, dimana V adalah kecepatan rata-rata. Ketika prinsip energi digunakan dalam perhitungan, tinggi kecepatan sebenarnya dapat dinyatakan sebagai $\alpha \frac{V^2}{2g}$, dengan α adalah koefisien energi.

Distribusi kecepatan yang tidak seragam juga mempengaruhi perhitungan momentum dalam aliran saluran terbuka. Dari prinsip mekanika, momentum fluida yang melewati suatu penampang saluran per satuan waktu dinyatakan dengan $\beta w Q V / g$, dimana β dikenal sebagai koefisien momentum; w adalah berat jenis air; Q adalah debit air; dan V adalah kecepatan rata-rata.

Jika ΔA sebagai bagian luas air keseluruhan A , dan ω adalah berat isi air, lalu berat air melalui ΔA per satuan waktu dengan kecepatan v adalah $\omega v \Delta A$. Energi kinetik air melalui ΔA persatuan waktu $v^3 \Delta A / 2g$. Nilai ini sama dengan gabungan berat $\omega v \Delta A$ dan tinggi kecepatan $\frac{V^2}{2g}$. Jumlah energi

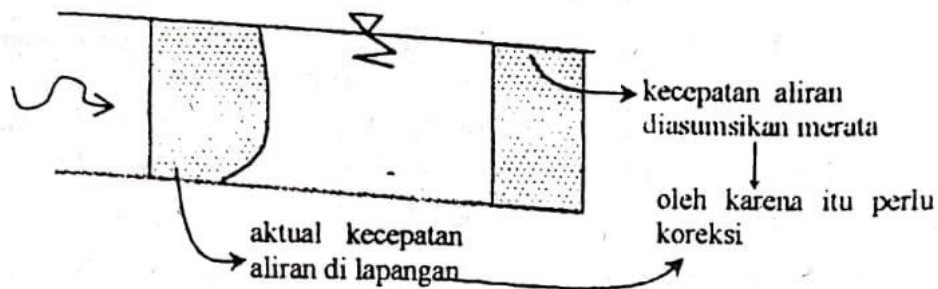
kinetik untuk luas air keseluruhan sama dengan $\sum \omega v^3 A / 2g$. Anggap luas keseluruhan A , kecepatan rata-rata V , dan tinggi kecepatan setelah dikoreksi untuk luas keseluruhan $\alpha \frac{V^2}{2g}$, energi kinetik total $\alpha \omega v^3 A / 2g$. Samakan besaran ini dengan $\sum \omega v^3 A / 2g$ lalu ringkaskan,

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{V^3 A} = \frac{\sum v^3 \Delta A}{V^3 A} \quad (13)$$

Momentum air yang melalui ΔA per satuan waktu adalah hasil kali massa $\omega v \Delta A / g$ dengan kecepatan v , atau $\omega v^2 \Delta A / g$. Momentum total adalah $\sum \omega v^2 \Delta A / g$. Samakan besaran ini dengan momentum yang telah dikoreksi untuk luas keseluruhan atau $\beta \omega A V^2 / g$, lalu diringkas,

$$\beta = \frac{\int v^2 dA}{V^2 A} = \frac{\sum v^2 \Delta A}{V^2 A} \quad (14)$$

Kecepatan aliran arah vertikal pada saluran terbuka sepanjang kedalamannya kita anggap seragam dan disebut kecepatan rata-rata v . Sesungguhnya pada kondisi lapangan kondisinya tidak demikian. Seperti sudah dijelaskan sebelumnya bahwa distribusi kecepatan aliran ada bermacam-macam menyesuaikan bentuk penampang melintang saluran yang berbeda-beda. Dalam penjabaran hukum-hukum kekekalan, kita tidak memakai kecepatan aliran di suatu titik tetapi kita memakai kecepatan rata-rata yang diasumsikan seragam sesuai ketinggian aliran (gambar 6). Oleh karena itu perlu ada koreksi kecepatan baik untuk persamaan energi maupun persamaan momentumnya (Kodoatie, 2002).



Gambar 6. Kecepatan aliran aktual dan kecepatan aliran yang diasumsikan

Koreksi untuk persamaan energi α adalah sama dengan energi kinetis yang sesungguhnya dibagi dengan energi kinetik yang dihitung berdasarkan kecepatan rata-rata dan dapat ditulis:

$$\alpha = \frac{1}{V^3 A} \int_A u_x^3 dA \quad (15)$$

Koreksi untuk persamaan momentum β adalah sama dengan *momentum flux* (aliran momentum) yang sesungguhnya dibagi dengan *momentum flux* yang dihitung berdasarkan kecepatan rata-rata dan dapat ditulis:

$$\beta = \frac{1}{V^2 A} \int_A u_x^2 dA \quad (16)$$

Dimana:

u_x = kecepatan aliran ke arah x di suatu titik

V = Kecepatan rata-rata

Namun karena α merupakan fungsi kecepatan pangkat 3 dan β merupakan fungsi kecepatan pangkat 2, maka α lebih besar daripada β .

F. Energi Spesifik

Energi spesifik adalah energi relatif terhadap dasar saluran. Energi yang terkandung di dalam satu satuan berat air yang mengalir di dalam saluran terbuka terdiri dari tiga bentuk yaitu energi kinetik, energi tekanan, dan energi elevasi di atas garis referensi.

Energi kinetik pada suatu tampang di saluran terbuka diberikan oleh bentuk $V^2/2g$, dengan V adalah kecepatan rata-rata aliran di tampang tersebut. Apabila koefisien koreksi energi α diperhitungkan maka energi kinetik mempunyai bentuk $\alpha V^2/2g$. Nilai α adalah antara 1,05 dan 1,2 yang tergantung pada bentuk distribusi kecepatan.

Oleh karena aliran melalui saluran terbuka mempunyai permukaan air bebas yang terbuka ke atmosfer, maka tekanan pada permukaan air adalah konstan dan diambil $P = 0$ (sebagai tekanan referensi). Energi tekanan di saluran terbuka biasanya dihitung dengan referensi terhadap permukaan air. Untuk suatu tampang saluran, kedalaman air pada tampang tersebut, y , biasanya digunakan untuk menunjukkan tinggi tekanan, yaitu $y = P/\gamma$.

Elevasi dari tinggi energi aliran melalui saluran terbuka diukur terhadap garis referensi horizontal. Jarak vertikal dari garis referensi ke dasar saluran biasanya diambil sebagai tinggi energi elevasi (potensial) pada tampang tersebut.

Energi pada tampang lintang saluran yang dihitung terhadap dasar saluran, disebut dengan energi spesifik atau tinggi spesifik. Jadi energi

spesifik adalah jumlah dari energi tekanan dan energi kecepatan di suatu titik, yang diberikan oleh bentuk $E_s = y + \frac{v^2}{2g}$. Dimana ini menunjukkan bahwa energi spesifik sama dengan jumlah dari kedalaman air dan tinggi kecepatan.

G. Momentum

Suatu benda dengan massa tertentu akan mengalami perubahan posisi karena adanya momentum dari suatu gaya yang mengenai benda tersebut. Momentum mengakibatkan suatu benda dengan massa (m) mengalami perubahan posisi yang disebut dengan kecepatan (v). Massa adalah besaran scalar yang selalu positif, sedangkan momentum dan kecepatan merupakan besaran vector yang mempunyai arah yang sama. Momentum dapat dirumuskan sebagai $i = mv$, dimana satuan SI untuk momentum adalah kg.m/s.

Menurut hukum kedua newton, perubahan momentum per satuan waktu dalam badan air dalam saluran yang mengalir sama dengan resultan semua gaya eksternal yang bekerja pada benda.

Sebagaimana telah dijelaskan sebelumnya bahwa momentum aliran yang melewati bagian saluran per satuan waktu dinyatakan dengan $\beta w Q V / g$, dimana β adalah koefisien momentum, w adalah berat jenis air, Q adalah debit aliran, dan V adalah kecepatan rata-rata.