

SKRIPSI

**STUDI EKSPERIMENTAL TERHADAP DISTRIBUSI
KECEPATAN ALIRAN PADA AMBANG BERPORI DAN
TERTUTUP PADA FLUME**

Disusun dan diajukan oleh:

**MIRATUL HAZANAH
D0111 19 1124**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

STUDI EKSPERIMENTAL TERHADAP DISTRIBUSI KECEPATAN ALIRAN PADA AMBANG BERPORI DAN TERTUTUP PADA FLUME

Disusun dan diajukan oleh

Miratul Hazanah
D011191124

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
Pada tanggal 21 Juni 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT
NIP. 19670319 199203 2 010

Pembimbing Pendamping,



M. Farid Maricar, B.Eng., M.Eng
NIP. 19921031 2019031 017

Ketua Program Studi,



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

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;
Nama : Miratul Hazanah
NIM : D0111 19 1124
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Studi Eksperimental Terhadap Distribusi Kecepatan Aliran pada Ambang Berpori dan Tertutup pada Flume}

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, 21 Juni 2023

Yang Menyatakan



Miratul Hazanah

ABSTRAK

MIRATUL HAZANAH. *Studi Eksperimental Terhadap Distribusi Kecepatan Aliran pada Ambang Berpori dan Tertutup pada Flume.* (dibimbing oleh Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT. dan M. Farid Maricar, B.Eng., M.Eng.)

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 palung tidak sama dengan kecepatan di tengah palung, dan kecepatan aliran pada permukaan air tidak sama dengan kecepatan di dasar palung. Oleh karena itu studi distribusi kecepatan 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. Tujuan penelitian ini adalah bagaimana penyebaran distribusi kecepatan aliran dengan adanya hambatan dan mengetahui pengaruh hambatan terhadap pola aliran yang terjadi. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Hidrolika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin dengan menggunakan metode eksperimental. Dalam penelitian ini digunakan tiga variasi kemiringan saluran, dua model ambang yang berukuran 30 x 10 cm yang diletakkan pada jarak tertentu di flume dengan ukuran panjang 900 cm, lebar 30 cm, dan tinggi 30 cm. Berdasarkan hasil penelitian dapat diketahui bahwa kecepatan rerata yang terjadi pada aliran dengan hambatan kecepatan alirannya akan bertambah besar saat melewati ambang karena terjadinya perubahan kedalaman akibat ambang. Selain itu, dapat diketahui bahwa semakin besar kemiringan suatu saluran maka kecepatannya akan semakin besar pula.

Kata Kunci: Distribusi Kecepatan, Saluran Terbuka, Hambatan, Ambang, Kemiringan.

ABSTRACT

MIRATUL HAZANAH. *Experimental Study of Flow Velocity Distribution in Porous and Enclosed Flume Thresholds.* (supervised by Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT. And M. Farid Maricar, B.Eng., M.Eng.)

Open channel analysis is more difficult than closed channel analysis. This is because when analyzing flow in open channels, many variables change and are random in space and time. The distribution of flow velocity in the channel is not the same horizontally and vertically. In other words, the flow velocity at the edge of the trough is not the same as the velocity in the middle of the trough, and the flow velocity at the surface of the water is not the same as the speed at the bottom of the trough. channel, channel edge and flow velocity at the bottom of the channel in the presence of obstacles. The purpose of this study is how to spread the distribution of flow velocity in the presence of obstacles and determine the effect of obstacles on the flow patterns that occur. 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 canal slope were used, two sill models measuring 30 x 10 cm placed at a certain distance in the flume with a length of 900 cm, a width of 30 cm and a height of 30 cm. Based on the research results, it can be seen that the average velocity that occurs in the flow with resistance to the flow velocity will increase when passing through the threshold due to changes in depth due to the threshold. In addition, it can be seen that the greater the slope of a channel, the greater the speed.

Keywords: Speed Distribution, Open Channel, Resistance, Threshold, Slope.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI.....	i
PERNYATAAN KEASLIAN.....	ii
ABSTRAK.....	iii
ABSTRACT.....	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR.....	vi
DAFTAR TABEL.....	viii
DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
BAB I PENDAHULUAN.....	12
1.1 Latar Belakang.....	12
1.2 Rumusan Masalah.....	12
1.3 Tujuan Penelitian.....	13
1.4 Manfaat Penelitian.....	13
1.5 Ruang Lingkup.....	13
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	14
2.1 Saluran Terbuka.....	14
2.2 Kecepatan Aliran.....	18
2.3 Distribusi Kecepatan.....	20
2.4 Debit Pengaliran.....	26
2.5 Bilangan Fraude.....	27
2.6 Koefisien Manning.....	28
BAB 3 METODE PENELITIAN.....	29
3.1 Lokasi Penelitian.....	29
3.2 Benda Uji dan Alat.....	29
3.3 Prosedur Penelitian.....	33
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN.....	37
3.1 Analisis Perhitungan.....	37
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN.....	63
5.1 Kesimpulan.....	63
5.2 Saran.....	63
DAFTAR PUSTAKA.....	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1 Aliran Seragam Tak Tunak	16
Gambar 2 Aliran Seragam.....	16
Gambar 3 Macam-Macam Bentuk Penampang (sumber: Chow, 1989)	17
Gambar 4 Geometri Penampang Persegi dan Trapesium	18
Gambar 5 Perkembangan lapisan batas dalam saluran terbuka dengan kondisi pemasukan yang ideal	22
Gambar 6 Pembagian kecepatan pada permukaan saluran licin	22
Gambar 7 Sifat-sifat kekasaran permukaan (a) licin, (b) bergelombang, (c) kasar	23
Gambar 8 Distribusi kecepatan aliran	25
Gambar 9 Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran	26
Gambar 10 Lokasi Penelitian	29
Gambar 11 Saluran Terbuka	30
Gambar 12 Flow Meter	31
Gambar 13 Meteran.....	31
Gambar 14 Sketsa Ambang.....	31
Gambar 15 Model Ambang.....	31
Gambar 16 Point Gauge	32
Gambar 17 Kamera	32
Gambar 18 Formulir Penelitian	32
Gambar 19 Profil Memanjang dan Melintang Saluran	34
Gambar 20 Grafik kecepatan aliran rata-rata tanpa ambang.....	41
Gambar 21 Grafik kecepatan aliran pada ambang tertutup.....	41
Gambar 22 Grafik kecepatan aliran pada ambang berpori.....	42
Gambar 23 Profil melintang kecepatan aliran tanpa ambang	42
Gambar 24 Profil melintang kecepatan aliran pada ambang tertutup	43
Gambar 25 Profil melintang kecepatan aliran pada ambang berpori.....	43
Gambar 26 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S0.....	44
Gambar 27 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S1	44
Gambar 28 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S2.....	45
Gambar 29 Grafik kecepatan aliran tanpa ambang	49
Gambar 30 Kecepatan aliran pada ambang tertutup	49
Gambar 31 Kecepatan pada ambang berpori	50
Gambar 32 Profil melintang kecepatan aliran tanpa ambang	50
Gambar 33 Profil melintang kecepatan aliran pada ambang tertutup	51
Gambar 34 Profil melintang kecepatan aliran pada ambang berpori.....	51
Gambar 35 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S0	52
Gambar 36 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S1	52
Gambar 37 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S2.....	53
Gambar 38 Grafik kecepatan aliran tanpa ambang	57
Gambar 39 Kecepatan aliran pada ambang tertutup	57
Gambar 40 Kecepatan pada ambang berpori	58
Gambar 41 Profil melintang kecepatan aliran tanpa ambang	58
Gambar 42 Profil melintang kecepatan aliran pada ambang tertutup	59
Gambar 43 Profil melintang kecepatan aliran pada ambang berpori.....	59

Gambar 44 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S0.....	60
Gambar 45 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S1	60
Gambar 46 Pengaruh variasi ambang terhadap kecepatan aliran pada S2.....	61
Gambar 47 Pengaruh Jarak Hambatan pada Ambang Tertutup terhadap Kecepatan Aliran.....	62
Gambar 48 Pengaruh Jarak Hambatan pada Ambang Berpori terhadap Kecepatan Aliran.....	62

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Nilai tinggi Kekasaran k	25
Tabel 2 Rancangan penelitian	34
Tabel 3 Pengukuran debit takar.....	37
Tabel 4 Data kecepatan aliran tanpa ambang.....	38
Tabel 5 Data kecepatan aliran pada ambang tertutup	39
Tabel 6 Tabel data kecepata aliran pada ambang berpori	40
Tabel 7 Data kecepatan aliran tanpa ambang.....	46
Tabel 8 Data kecepatan aliran pada ambang tertutup	47
Tabel 9 Tabel data kecepatan aliran pada ambang berpori	48
Tabel 10 Data kecepatan aliran tanpa ambang.....	54
Tabel 11 Data kecepatan aliran pada ambang tertutup	55
Tabel 12 Tabel data kecepatan aliran pada ambang berpori	56

DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Lambang/Singkatan	Arti dan Keterangan
Fr	Bilangan 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
κ	Konstanta Von Karman
k_s	Tinggi Kekasaran Menurut Nikuradse
B_r	Konstanta Integrasi Numerik (<i>Log Law</i>)
U_c	Kecepatan Maksimum
δ	Kedalaman Titik dimana Terjadi Kecepatan Maksimum
Π	Parameter Wake Coles
C	Koefisien C dari Chezy
ν	Kekentalan kinematis
Q	Debit
g	Percepatan Gravitasi

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah Subhanahu Wata'ala karena atas limpahan berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Studi Eksperimen Distribusi Kecepatan Aliran pada Saluran Terbuka”. Dan tak lupa pula mengirimkan shalawat serta salam kepada Nabi Muhammad Shallahu Alaihi Wasallam sebagai idola terbaik sepanjang zaman serta para sahabat dan keluarga beliau dan orang-orang yang senantiasa istiqomah di jalan islam ini.

Tentunya tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini, yang sekaligus menutup perjalanan penulis dalam menempuh pendidikan strata satu pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin tidak lepas dari bantuan berbagai pihak. Dengan segala kerendahan hati, penulis ingin menyampaikan terima kasih serta penghargaan setinggi-tingginya kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge S.T., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
3. Bapak **Dr. Eng. Bambang Bakri, ST.,MT.**, selaku Sekertaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin
4. Ibu **Dr. Eng. Ir. Rita Tahir Lopa, MT.**, selaku dosen pembimbing I, Bapak **M. Farid Maricar, B.Eng., M.Eng.**, selaku dosen pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan serta kesabarannya dalam menghadapi kualitas ilmu penulis dari awal hingga selesainya tugas akhir ini
5. Bapak **Dr. Ir. Riswal K, ST.MT. IPM. ASEAN. Eng.**, dan Ibu **Dr. A. Ildha Dwipuspita, ST. MT.**, selaku dosen penguji yang telah bersedia menguji dan memberikan saran dan kritik dalam penulisan tugas akhir ini.
6. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang istimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Zainuddin** dan ibunda **Temmi**, atas doa, kasih sayang, dan segala dukungan baik secara moril maupun materil.
2. Kakak **Munawir Sesalin** dan **Marlina**, sebagai saudara dan teman seumur hidup penulis. Terima kasih atas doa, semangat dan segala dukungan yang diberikan agar segera menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Kak **Nur Khafifah Rusni** sebagai teman kamar penulis dari awal perkuliahan. Terima kasih atas ilmu-ilmu yang dibagikan selama ini.
4. **Nadya Zulfia Muslimin** dan **Juwita Apri Liasari**. sebagai teman yang selalu menemani penulis di dunia perkuliahan. Terima kasih telah berbagi suka duka dan semua pengalaman baru yang sangat menyenangkan.

5. **Sasmita dan Tania Grace Yemima Lande**, selaku partner KKN penulis. Terima kasih telah menemani dan memberikan bantuan serta memberikan pengalaman baru bagi penulis selama KKN hingga penyusunan tugas akhir ini.
6. Rekan-rekan di **Labolatorium Hidrolika Universitas Hasanuddin**. Terima kasih karena telah menjadi teman berdiskusi dan memberikan pengalaman serta ilmu.
7. Saudara-saudari **PORTLAND 2020** yang senantiasa bersama-sama berproses dalam dinamika kehidupan kampus, memberikan begitu banyak warna dan pengalaman yang sangat berharga sehingga penulis mampu Keep On Fighting Till The End.
8. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan, oleh karena itu kritik dan saran yang membangun dari pembaca sangat penulis harapkan.

Akhirnya semoga Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan kebaikan dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia Teknik Sipil dan bagi kita semua.

Gowa, Oktober 2022

Penulis

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

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 distribusi kecepatan aliran pada saluran terbuka dengan adanya hambatan.

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 palung tidak sama dengan kecepatan di tengah palung, dan kecepatan aliran pada permukaan air tidak sama dengan kecepatan di dasar palung. Oleh karena itu studi distribusi kecepatan 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.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini yaitu :

1. Bagaimana distribusi kecepatan pada saluran terbuka?
2. Bagaimana pengaruh jarak hambatan terhadap distribusi kecepatan?

1.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini diharapkan mampu memenuhi maksud dan tujuan sebagai berikut :

1. Menganalisis distribusi kecepatan pada saluran terbuka.
2. Menganalisis pengaruh jarak hambatan terhadap distribusi kecepatan.

1.4 Manfaat Penelitian

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi utamanya dalam studi terkait dengan konsep pedoman pelaksanaan dilapangan, model sistem penampang saluran untuk rekayasa pemeliharaan alur.

1.5 Ruang Lingkup

Batasan masalah dalam penelitian ini adalah 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 di laboratorium
3. Penelitian ini hanya membahas penyebaran distribusi kecepatan pada titik horizontal maupun verikal.
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 saluran tertutup. Persamaan-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 (*artificial*).

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 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*)

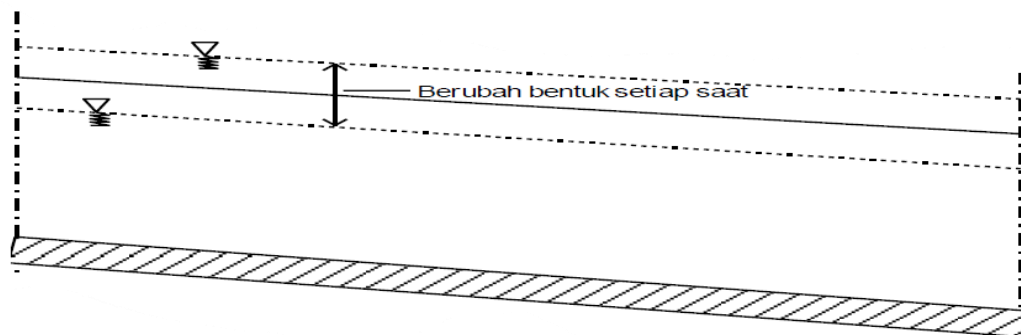
Aliran seragam merupakan aliran dengan kecepatan rata-rata sepanjang alur aliran adalah sama sepanjang waktu. Aliran dikatakan seragam, jika kedalaman aliran sama pada setiap penampang saluran. Di dalam aliran seragam, dianggap bahwa aliran adalah mantap dan satu dimensi yang berarti kecepatan aliran 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*)

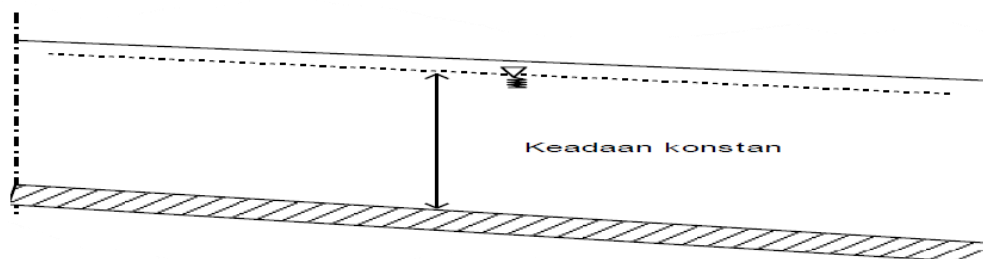
Aliran tak seragam adalah kedalaman dan kecepatan aliran disepanjang saluran tidak konstan, garis tenaga tidak sejajar dengan garis muka air dan dasar saluran. Analisis aliran tak seragam biasanya bertujuan untuk mengetahui profil aliran di sepanjang saluran atau sungai. Analisis ini banyak dilakukan 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 1 Aliran Seragam Tak Tunak



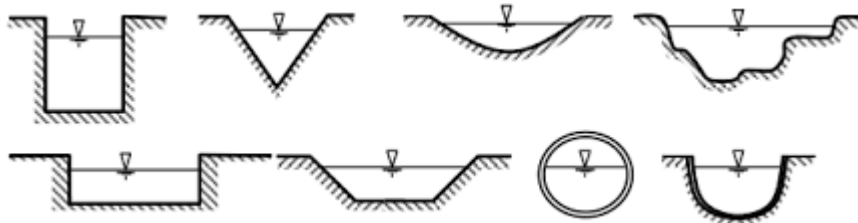
Gambar 2 Aliran Seragam

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 hulu. Apabila kecepatan aliran cukup besar sehingga gangguan yang terjadi tidak menjalar ke hulu 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)

2.1.2 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 ber dinding 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).

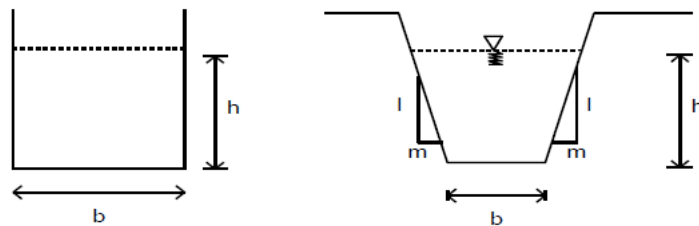
Penampang saluran terbuka memiliki berbagai macam bentuk sebagai mana dapat dilihat pada Gambar 3 berikut.



Gambar 3 Macam-Macam Bentuk Penampang (sumber: Chow, 1989)

2.1.3 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 4 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:

- Luas Penampang:

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

- Keliling Basah:

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

- Jari-jari Hidraulik:

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

Dimana:

A = Luas Penampang (cm²)

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 aliran merupakan waktu yang dibutuhkan per jarak yang ditempuh oleh suatu partikel untuk berpindah dari satu tempat ke tempat yang lainnya (Anasiru, 2005). Rumus kecepatan aliran menurut kekasaran manning adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

Dimana:

V = Kecepatan Aliran (m/s)

R = Jari-jari hidraulik

S = Kemiringan

n = Koefisien kekasaran *Manning*

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

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

$$\bar{v} = \left(\frac{v_{0,2} + v_{0,8}}{2} + v_{0,6} \right) \frac{1}{2} \quad (5)$$

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*, $z/H \leq 0.2$, perbedaan kecepatan adalah cukup besar. Kecepatan aliran dipengaruhi oleh tegangan geser, karakteristik aliran, kekerasan dasar, dan kedalaman dari dasar saluran. Pada daerah *outer region*, $0.2 < z/H \leq 1$, memiliki perbedaan kecepatan yang tidak terlalu besar dan nilai kecepatan dipengaruhi oleh kecepatan maksimum, kedalaman aliran, dan gradient kecepatan, tapi tidak dipengaruhi oleh kekentalan (viskositas) dan kekerasan dasar (Graf, 1998)

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

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

deras dan dangkal atau saluran yang sangat licin kecepatan maksimum sering terjadi di permukaan bebas (Junaidi, 2014)

Untuk analisis distribusi kecepatan pada saluran terbuka dibagi menjadi dua wilayah yaitu inner region dan outer region, dimana aliran pada inner region dipengaruhi langsung oleh kekasaran dasar atau dinding dan aliran pada outer region dipengaruhi secara tidak langsung melalui tegangan geser dasar. Adapun persamaan pada inner region menurut Kironoto (1993) adalah:

$$U_y = \frac{U_*}{\kappa} \ln y - \frac{U_*}{\kappa} \ln k_s + Br \cdot U_* \quad (6)$$

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)

κ = konstanta Von Karman (bernilai 0,4)

k_s = tinggi kekasaran menurut Nikuradse (m)

B_r = konstanta integrasi numerik (log law) dan $y_0 = 0,2k_s$

Pada outer region profil kecepatan menyimpang dari persamaan logaritmik.

Disini berlaku distribusi kecepatan Coles, yang juga berlaku untuk inner region

$$\frac{U_c - u}{u_*} = -\frac{1}{\kappa} \ln \left(\frac{z}{\delta} \right) + \frac{2\Pi}{\kappa} \cos^2 \left(\frac{\pi z}{2\delta} \right) \quad (7)$$

dengan asumsi :

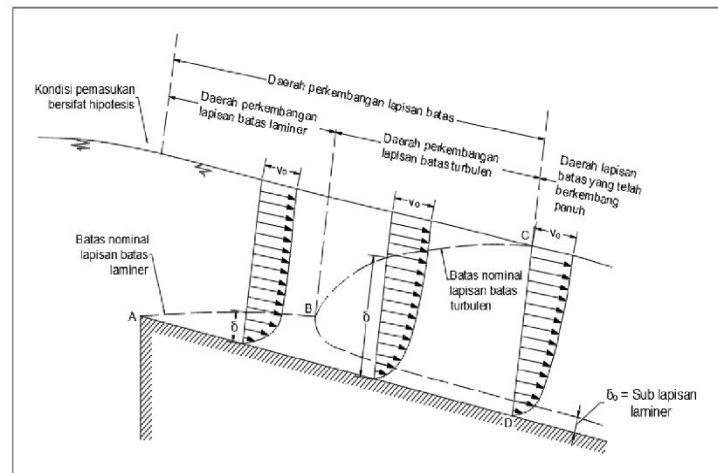
U_c = kecepatan maksimum (m/s)

δ = kedalaman titik dimana terjadi kecepatan maksimum (U_c)

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

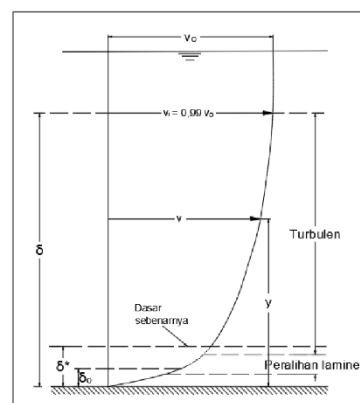
2.2.1 Konsep Teoritis lapisan Batas

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 prismatic dan kekasarannya konstan, distribusi kecepatan pada akhirnya akan mencapai pola tertentu (Chow V. T., 1973).



Gambar 5 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 V. T., 1973).



Gambar 6 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

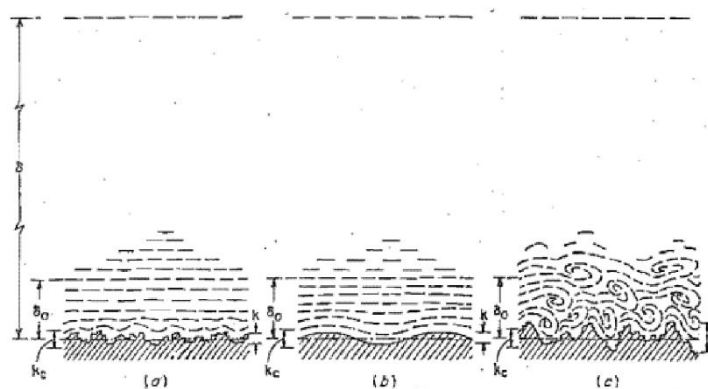
perpindahan (displacement thickness) δ^* , yang dinyatakan dengan $\delta = \int_0^\delta \left(1 - \frac{v}{v_1}\right) dy$ dimana v adalah kecepatan pada setiap jarak y dari permukaan saluran dan v_1 adalah kecepatan di tepi lapisan batas. Besarnya tebal perpindahan umumnya bervariasi dari 1/8 sampai 1/10 dari tebal lapisan batas, tergantung pada besarnya bilangan Reynolds (Chow 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).

2.2.2 Konsep Kekasaran Permukaan

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



Gambar 7 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 efektif dari ketidakaturan 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, ketidakaturan 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 7.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:

$$k_c = \frac{5C}{\sqrt{g}} \frac{v}{V} \quad (8)$$

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 7.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.

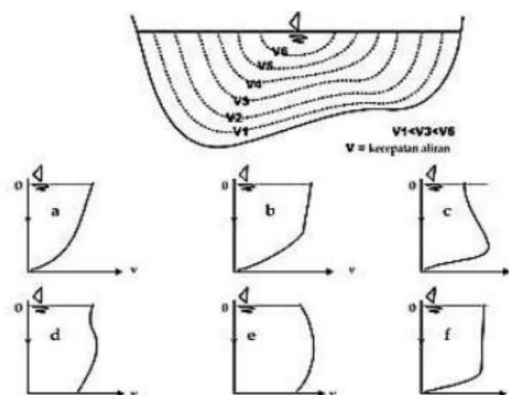
Adapun pendekatan taksiran nilai tinggi kekasaran k dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 1 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

2.2.3 Distribusi Kecepatan di Bagian Saluran

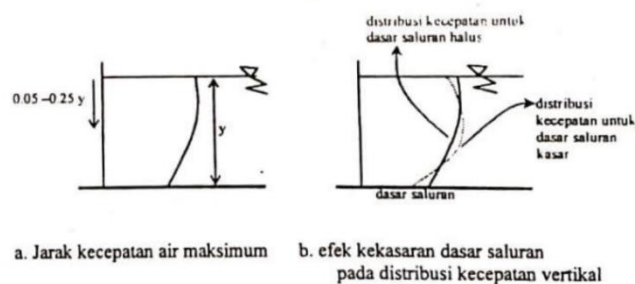
Disebabkan oleh tekanan pada muka air akibat adanya perbedaan fluida antara udara dan air dan juga akibat gaya gesekan pada dinding saluran (dasar maupun tebing saluran) maka kecepatan aliran pada suatu potongan melintang saluran tidak seragam. Ketidakteraturan ini juga disebabkan oleh bentuk tampang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



Gambar 8 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 8(a) merupakan distribusi kecepatan secara teoritis. Gambar 8(b) dasar saluran kasar dan banyak tumbuhan. Gambar 8(c) gangguan permukaan (sampah). Gambar 8(d) aliran cepat, aliran turbulen pada dasar. Gambar 8(e) aliran lambat, dasar saluran halus. Gambar 8(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 9 Jarak kecepatan maksimum dan efek kekasaran dasar saluran

2.4 Debit Pengaliran

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

$$Q = V \times A \quad (9)$$

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:

$$Q = V1 \times A1 = V2 \times A2 \quad (10)$$

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

2.5 Bilangan Froude

Bilangan froude adalah bilangan tak bersatuan yang digunakan untuk mengukur resistensi dari sebuah benda yang bergerak melalui air dan membandingkan benda-benda dengan ukutan yang berbeda.

Bilangan froude tersebut membedakan jenis aliran menjadi tiga yakni : aliran kritis, subkritis, dan superkritis (Queensland Department of Natural Resources and Mines, 2004). Ketiga jenis aliran dapat dijelaskan sebagai berikut :

- 1) Aliran kritis, jika bilangan froude sama dengan 1 ($Fr = 1$) dan gangguan permukaan (contoh: riak yang terjadi jika sebuah batu di lempar ke dalam sungai) tidak akan bergerak / menyebar melawan arah arus.
- 2) Aliran subkritis, jika bilangan froude lebih kecil dari 1 ($Fr < 1$). Untuk aliran subkritis, kedalaman biasanya lebih besar dan kecepatan aliran rendah (semua riak yang timbul dapat bergerak melawan arus). Kecepatan air < kecepatan gelombang hulu aliran dipengaruhi pengendali hilir.
- 3) Aliran superkritis, jika bilangan froude lebih besar dari 1 ($Fr > 1$). Untuk aliran superkritis kedalaman relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi (segala riak yang ditimbulkan dari suatu gangguan mengikuti arah arus. Kecepatan air > kecepatan gelombang hulu aliran tidak dipengaruhi pengendali hilir.

Pengaruh gravitasi terhadap aliran dapat dinyatakan dengan angka Froude. Untuk menghitung angka Froude pada awal loncat air dan di bagian hilir setelah loncatan air digunakan persamaan sebagai berikut (V.T.Chow, tahun 1992) :

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{gh}} \quad (11)$$

Dimana:

Fr = Bilangan Froude

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Gravitasi (m/s^2)

h = ketinggian (m)

2.6 Koefisien Manning

Pada tahun 1889 seorang insinyur Irlandia, Robert Manning mengemukakan sebuah rumus yang akhirnya diperbaiki menjadi rumus yang sangat dikenal, dapat dilihat pada Persamaan (11).

$$U = \frac{1}{n} \times R^{2/3} S^{1/2} \quad (12)$$

Dimana:

U = kecepatan rerata aliran (m/s),

R = jari-jari hidrolis (m),

S = kemiringan saluran

n = koefisien kekasaran.