

TUGAS AKHIR

**ANALISIS GAYA HAMBAT DAN GAYA ANGKAT ALIRAN
PADA PLAT SEGITIGA TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**

***ANALYSIS OF DRAG FORCES AND LIFT FORCES FLOW
ON A SUBMERCIAL TRIANGLE PLATE IN OPEN
CHANNELS***

**MADE WIDHI RAMADI
D011 18 1513**



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

LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)

**ANALISIS GAYA HAMBAT DAN GAYA ANGKAT ALIRAN PADA PLAT
SEGITIGA TERENDAM DI SALURAN TERBUKA**

Disusun dan diajukan oleh:

MADE WIDHI RAMADI

D011 18 1513

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 12 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

menyetujui,

Pembimbing I,



Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu , M.Eng
NIP: 195409101983031003

Pembimbing II,



Andi Subhan Mustari, ST, M.Eng
NIP: 197605312005011004

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 Made Widhi Ramadi, dengan ini menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "**ANALISIS GAYA HAMBAT DAN GAYA ANGKAT ALIRAN PADA PLAT SEGITIGA 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, 13 Juli 2023

Yang membuat pernyataan,



Made Widhi Ramadi
D011181513

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir sebagai salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi di Fakultas Teknik Departemen Teknik Sipil Universitas Hasanuddin.

Tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan skripsi ini tidak lepas dari tanggapan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu, ucapan terima kasih penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Bapak **Prof. Dr. Eng. Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
2. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng**, selaku Ketua dan Bapak **Prof. Dr. Eng. Ir. Bambang Bakri, ST., MT.**, selaku sekretaris Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Bapak **Prof. Dr. Ir. H. M. Saleh Pallu, M.Eng** selaku dosen pembimbing I, atas segala arahan, bimbingan akademik maupun nonakademik, serta waktu yang telah diluangkannya dari dimulainya penelitian ini dengan sedikit pengetahuan yang saya miliki dan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.
4. Bapak **Andi Subhan Mustari, ST., M.Eng** selaku dosen pembimbing II, atas segala arahan, bimbingan, dan wawasan, serta waktu yang telah diluangkannya dari dan hingga terselesainya tugas akhir ini.
5. Seluruh dosen, staf dan karyawan Departemen Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar yang telah membantu dan mendukung penyelesaian tugas akhir ini.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

1. Kedua Orang Tua tercinta, Ayahanda **I Made Mudiarta** dan Ibunda **Ni Luh Putu Duniati** yang tiada henti-hentinya memberikan perhatian, kasih sayang, dorongan, motivasi, dan iringan doa serta memberikan bantuan baik moril maupun materi, dan saudara kandung tercinta **Nyoman Prawita Adi Aksama** dan **Ketut Priana Abdi** yang selalu memberikan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini.
2. **Yusriah, Rudy**, sebagai partner penelitian yang telah berjuang bersama selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.

3. **Siti Nurafifa. Y**, yang telah menemani penulis selama proses pengerjaan, masa-masa sulit, memberikan penyemangat, serta memberi motivasi.
4. **Rudy, Amin, Fahmi dan Asmud** yang menemani suka duka dan pengalaman-pengalaman tak terlupakan di kehidupan kampus mulai dari mahasiswa baru hingga berada di titik ini.
5. Terkhusus **Ibu Ira Widyastuti** yang telah memberi banyak ilmu dan masukan selama proses penelitian dan penyusunan tugas akhir.
6. 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.
7. Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satupersatu dengan semua dukungan hingga terselesaikannya tugas akhir ini.

Tidak ada kata yang dapat penulis gambarkan atas rasa terima kasih penulis kepada semua pihak, dan semoga Tuhan yang Maha Kuasa senantiasa melimpahkan berkat dan rahmat-Nya pada kita semua. Akhir kata penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih terdapat banyak kekurangan, sehingga penulis berharap masukan dari semua pihak. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Gowa, Juli 2023
Hormat Saya,

Made Widhi Ramadi

ABSTRAK

Pada aliran saluran terbuka maupun tertutup, keadaan aliran akan mengalami perubahan yang disebabkan oleh perubahan bentuk penampang ataupun bentuk dari saluran. Ketika sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi, efek ini dapat digambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar-muka fluida-benda seperti gaya angkat dan gaya hambat yang diakibatkan oleh viscositas. Tujuan dari penelitian adalah menganalisis distribusi kecepatan aliran, menganalisis gaya angkat dan gaya hambat pada variasi kemiringan hambatan.

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Hidrolika, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin Makassar dengan menggunakan metode eksperimental. Dalam penelitian ini menggunakan model hambatan berupa plat segitiga dengan 3 variasi kemiringan 30° , 45° , dan 60° dan 3 variasi debit yang diletakkan pada tengah flume berukuran panjang 800 cm, lebar 40cm, dan tinggi 60 cm. Proses pengambilan data kecepatan aliran menggunakan alat yang disediakan di laboratorium yaitu *Electromagnetic Current Meter*.

Hasil analisis menunjukkan bahwa kemiringan hambatan segitiga mempengaruhi kecepatan aliran (U) yang melewatinya. Pada saat debit (Q) membesar, kondisi muka air di area *upstream* Hambatan plat segitiga akan naik seiring membesarnya sudut hambat dan jika sudut kemiringan hambatan membesar maka kecepatan aliran sebelum melewati hambatan akan cenderung menurun. Sesaat aliran melewati hambatan, akan terjadi loncatan hidroulis dan membuat kecepatan aliran meningkat namun tinggi muka air akan turun. Selanjutnya kecepatan aliran akan menjauhi hambatan maka distribusi kecepatan aliran akan berubah menjadi normal kembali. Dan juga menunjukkan semakin besar sudut kemiringan hambatan maka gaya hambat (F_D) akan semakin besar. Dimana rerata gaya hambat (F_D) pada hambatan M_1 sebesar $8,39 \times 10^5$ N, pada hambatan M_2 sebesar $9,19 \times 10^5$ N, pada hambatan M_3 sebesar $10,08 \times 10^5$ N. Namun, semakin besar sudut kemiringan hambatan maka gaya angkat (F_L) semakin kecil. Dimana rerata gaya angkat (F_L) hambatan M_1 sebesar $7,27 \times 10^5$ N, pada hambatan M_2 sebesar $6,49 \times 10^5$ N, pada hambatan M_3 sebesar $5,06 \times 10^5$ N.

Kata kunci : Gaya Angkat, Gaya Hambat, Saluran Terbuka

ABSTRACT

In open or closed channel flow, the flow state will experience changes caused by changes in the cross-sectional shape or the shape of the channel. When an object moves through a fluid, an interaction between the object and the fluid occurs, this effect can be described in terms of forces at the fluid-body interface such as lift and drag forces due to viscosity. The purpose of this study was to analyze the distribution of flow velocity, to analyze the lift and drag forces on variations in the slope of the resistance.

This research was carried out at the Hydraulics Laboratory, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Hasanuddin University Makassar using an experimental method. In this study, the resistance model was used in the form of a triangular plate with 3 slope variations of 30°, 45°, and 60° and 3 discharge variations placed in the middle of a flume measuring 800 cm long, 40 cm wide and 60 cm high. The process of collecting flow velocity data uses a tool provided in the laboratory, namely the Electromagnetic Current Meter.

The results of the analysis show that the slope of the triangular resistance affects the flow velocity (U) that passes through it. When the discharge (Q) increases, the condition of the water level in the upstream area. The triangular plate resistance will increase as the angle of inhibition increases and if the angle of inclination of the obstacle increases, the flow velocity before passing through the obstacle will tend to decrease. As soon as the flow passes through the resistance, a hydraulic jump will occur and the flow velocity will increase but the water level will decrease. Furthermore, the flow velocity will move away from the obstacle, the flow velocity distribution will change to normal again. And also shows that the greater the angle of inclination of the obstacle, the greater the drag (FD). Where the average drag (FD) on the M1 obstacle is $8,39 \times 10^5$ N, on the M2 obstacle is $9,19 \times 10^5$ N, on the M3 obstacle is $10,08 \times 10^5$ N. However, the greater the angle of inclination of the obstacle, the smaller the lift (FL). Where the average lift force (FL) for M1 resistance is $7,27 \times 10^5$ N, for M2 resistance is $6,49 \times 10^5$ N, for M3 resistance is $5,06 \times 10^5$ N.

Keywords: *Lift Forces, Drag Forces, Open Channel*

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	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Manfaat Penelitian	3
E. batasan masalah.....	3
F. Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Saluran Terbuka.....	5
B. Distribusi Kecepatan Aliran	22
C. Gaya Hidrostatik	26
D. Gaya Hambat dan Gaya Angkat.....	34
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	37
A. Lokasi Penelitian	37
B. Jenis Penelitian dan Sumber Data	37
C. Alat dan Bahan Penelitian	38
D. Prosedur Penelitian.....	41
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	49
A. Parameter Utama Aliran.....	49
B. Gaya Hidrostatik Pada Bidang Miring.....	58
C. Gaya Hambat dan Gaya Angkat	60
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	76

A. Kesimpulan	76
B. Saran	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Penampang Melintang dan Memanjang Saluran.....	12
Gambar 2. Distribusi Kecepatan Aliran	24
Gambar 3. Tekanan Hidristatis pada suatu titik.....	26
Gambar 4. Gaya hidrostatis pada bentuk bidang sembarang yang bersudut θ	28
Gambar 5. Lokasi Penelitian	37
Gambar 6. <i>Recirculating sediment flume</i>	39
Gambar 7. <i>Point gauge</i>	39
Gambar 8. <i>Electromagnetic current meter</i>	40
Gambar 9. Pengukuran debit di hulu saluran	43
Gambar 10. Pengukuran debit di hilir saluran	43
Gambar 11. Model hambatan segitiga dengan variasi kemiringan $30^\circ, 45^\circ$, dan 60°	44
Gambar 12. Skema Pengukuran.....	45
Gambar 13. Pengambilan data kecepatan	45
Gambar 14. Bagan alur penelitian	48
Gambar 15. Grafik Hubungan Debit Aktual dan Koefisien Debit	51
Gambar 16. Titik pengukuran pada tengah saluran terbuka.....	53
Gambar 17. Alat ukur <i>Electromagnetic Current Meter (ECM)</i>	53
Gambar 18. Grafik hubungan Kedalaman (D) dan Kecepatan (U)	58
Gambar 19. Hubungan Gaya hidrostatis (F) terhadap A (cm^2).....	60
Gambar 20. (a) Variasi kemiringan plat dan (b) Pengukuran kecepatan aliran.....	61
Gambar 21. Skema percobaan pada saluran terbuka.....	62
Gambar 22. Ilustrasi profil kecepatan aliran non-dimensi.....	63
Gambar 23. (a) Distrubusi kecepatan aliran (U) sebelum hambatan (b) Distribusi kecepatan aliran (U) setelah hambatan.....	65
Gambar 24. Ilustrasi tekanan dan tegangan geser pada suatu permukaan fluida.....	66

Gambar 25. Skema gaya hidrostatis (F) pada bidang miring	67
Gambar 26. Isometri proyeksi luas kontak	67
Gambar 27. (a) Hubungan kemiringan plat terhadap kecepatan (U) dan gaya hambat (F_D) (b) Hubungan kemiringan plat terhadap kecepatan (U) dan gaya angkat (F_L)	70
Gambar 28. Hubungan Debit Vs Reynold terhadap kemiringan plat	74
Gambar 29. (a) Hubungan Re Terhadap C_D (b) Hubungan Re Terhadap C_L	75

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koefisien kekasaran <i>Manning</i>	21
Tabel 2. Koefisien kekasaran <i>Manning</i>	22
Tabel 3. Pengukuran Volume dan Tinggi Muka Air	50
Tabel 4. Pengukuran debit aliran di pintu segitiga.....	51
Tabel 5. Pengukuran debit dengan gelas ukur.....	52
Tabel 6. Pengukuran kecepatan aliran dengan ECM	54
Tabel 7. Rekapitulasi hasil debit aliran dengan ECM	55
Tabel 8. Parameter utama aliran.....	55
Tabel 9. Rekapitulasi Hasil Kecepatan Rerata Metode <i>Chezy</i>	56
Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Analisis Kecepatan Metode <i>Manning</i>	57
Tabel 11. Hasil validasi kecepatan aliran dengan persamaan empiris	57
Tabel 12. Nilai gaya hidrostatis dan titik tangkap pada variasi kemiringan	59
Tabel 13. Distribusi kecepatan aliran berdasarkan pembagian daerah	65
Tabel 14. Hasil pengukuran kecepatan aliran (U) pada hulu plat	67
Tabel 15. Hasil (F_D) dan (F_L) untuk tiap kemiringan plat	70
Tabel 16. Hasil (C_D) dan (C_L) pada tiap kemiringan	73
Tabel 17. Hasil Reynold (Re) pada tiap kemiringan plat	74

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kemajuan ilmu pengetahuan di bidang mekanika fluida mendorong manusia untuk terus meneliti aliran fluida yang melintasi suatu benda. Fluida didefinisikan zat yang dapat mengalir. Fluida tidak mempunyai bentuk tetap, bentuknya selalu berubah mengikuti wadahnya. Pemberian gaya sedikit saja, akan membuat fluida mengalami deformasi yang berlangsung terus-menerus selama gaya tersebut masih bekerja. Dalam fluida dikenal aliran viskos yang dibedakan menjadi dua jenis aliran yaitu aliran laminar dan turbulen (Suripin, 2019).

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

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).

Ketika sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi; efek ini dapat digambarkan dalam bentuk gaya-gaya pada pertemuan antar-muka fluida-benda seperti gaya angkat dan gaya hambat yang diakibatkan oleh viscositas. (Rahmat Subagyo dan Aqli Mursadin, 2017).

Berdasarkan uraian diatas, maka menjadi dasar bagi penulis untuk melakukan penelitian berjudul “**Analisis Gaya Hambat dan Gaya Angkat Aliran Pada Plat Segitiga Terendam di Saluran Terbuka**”

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana distribusi kecepatan aliran?
2. Bagaimana gaya hambat dan gaya angkat pada plat segitiga dengan variasi kemiringan?

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis distribusi kecepatan aliran.
2. Menganalisis gaya hambat dan gaya angkat pada plat segitiga dengan variasi kemiringan.

D. Manfaat Penelitian

1. Memahami perilaku aliran di sekitar hambatan segitiga dalam saluran terbuka
2. Memahami bagaimana aliran air berinteraksi dengan hambatan dan menghasilkan gaya pada hambatan tersebut.

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 diletakan di tengah saluran.
3. Tidak menganalisis struktur plat segitiga.
4. Aliran yang digunakan tanpa angkutan sedimen.

F. Sistematika Penulisan

Adapun sistematika penulisan proposal ini dapat dijelaskan 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

Bab ini terdiri dari lokasi dan objek penelitian, teknik pengumpulan data serta diagram alir penelitian, teknik pengambilan sampel dan teknik analisis data, pembahasan mengenai alat dan material yang digunakan dalam pekerjaan, teknik pelaksanaan pekerjaan, dan kendala-kendala yang dihadapi di lapangan maupun di laboratorium.

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 dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik disepanjang saluran, tekanan dipermukaan air adalah sama. Salah satu contoh saluran terbuka adalah sungai. Sungai adalah torehan permukaan Bumi yang merupakan penampung dan penyalur alamiah aliran air dan material yang dibawanya dari bagian hulu ke hilir, atau dari tempat tinggi ke tempat yang rendah kemudian bermuara di laut, menurut Soewarno. Tipe aliran saluran terbuka adalah turbulen, karena kecepatan aliran dan kekasaran dinding relatif besar.

Menurut Chow (1984), saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas disebut saluran terbuka. Menurut asalnya, saluran dapat digolongkan menjadi saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Saluran alam meliputi semua alur air yang terdapat secara alamiah di bumi, mulai dari anak selokan kecil di pegunungan, selokan kecil, kali, sungai kecil dan sungai besar sampai muara sungai. Aliran air di bawah tanah dengan permukaan bebas juga dianggap sebagai saluran terbuka alamiah.

Sifat-sifat hidrolis saluran alam biasanya sangat tidak menentu. Dalam beberapa hal dapat dibuat anggapan pendekatan yang cukup sesuai dengan pengamatan dan pengalaman sesungguhnya sedemikian rupa, sehingga persyaratan aliran pada saluran ini dapat diterima untuk penyelesaian analisa hidrolika teoritis. Studi lanjutan tentang sifat aliran

pada saluran alam memerlukan pengetahuan dalam bidang lain, seperti *hidrologi*, *geomorfologi*, angkutan sedimen, dan sebagainya. Hal ini merupakan ilmu tersendiri yang disebut hidrolika sungai.

Saluran terbuka dibentuk oleh manusia, seperti saluran pelayanan, saluran pembangkit listrik, saluran irigasi dan talang, parit pembuangan, pelimpah tekanan, saluran banjir, saluran pengangkut kayu, selokan dan sebagainya, termasuk model saluran yang dibuat di laboratorium untuk keperluan penelitian. Sifat-sifat hidrolis saluran semacam ini dapat diatur menurut keinginan atau direncanakan untuk memenuhi syarat tertentu. Oleh karena itu, penerapan teori hidrolis untuk saluran buatan dapat membuahkan hasil yang cukup sesuai dengan kondisi sesungguhnya, dan dengan demikian cukup teliti untuk keperluan perencanaan praktis

Pada berbagai keadaan dalam praktek teknik saluran terbuka buatan diberi istilah yang berbeda-beda seperti "saluran" (*canal*), "talang" (*flume*), "gor miring" (*chute*), "terjunan" (*drop*), "gorong-gorong" (*culvert*), "terowongan air terbuka" (*open-flow tunnel*), dan sebagainya. Namun istilah-istilah ini tidak diterapkan secara ketat dan hanya dapat didefinisikan secara umum. Saluran, biasanya Panjang dan merupakan selokan landai yang dibuat di tanah, dapat dilapisi pasangan batu maupun tidak, atau beton, semen, kayu maupun aspal. Talang, merupakan selokan dari kayu, logam, beton, atau pasangan batu, biasanya disangga atau terletak diatas permukaan tanah, untuk mengalirkan air berdasarkan perbedaan tinggi tekan. Got miring, adalah selokan yang curam. Terjunan, hamper sama

dengan got miring, namun perubahan tinggi air terjadi dalam jarak pendek. Gorong-gorong, merupakan selokan tertutup yang pendek dipakai untuk mengalirkan air melalui tanggul jalan kereta api maupun jalan raya. Terowongan air air terbuka, adalah selokan tertutup yang cukup panjang, dipakai untuk mengalirkan air menembus bukit atau setiap gundukan tanah. Saluran terbuka adalah saluran yang mengalirkan air dengan permukaan bebas. saluran terbuka dapat terjadi dalam bentuk yang bervariasi cukup besar, mulai dari aliran di atas permukaan tanah yang terjadi pada waktu hujan, sampai aliran dengan kedalaman air konstan dalam saluran prismatis. Masalah aliran saluran terbuka banyak dijumpai dalam aliran sungai, aliran saluran-saluran irigasi, aliran saluran pembuangan dan saluran-saluran lain yang bentuk dan kondisi geometrinya bermacam-macam.

Mekanika aliran saluran terbuka lebih sulit daripada mekanika saluran tertutup. Aliran saluran tertutup tidak ada permukaan bebas sehingga tidak terdapat pengaruh langsung dari tekanan atmosfer, pengaruh yang ada hanyalah tekanan hidraulik yang besarnya dapat lebih besar atau lebih kecil daripada tekanan atmosfer. Sedangkan aliran saluran terbuka terdapat permukaan bebas yang terhubung atmosfer dimana permukaan bebas tersebut merupakan suatu batas antara dua wujud yang berbeda kerapatannya yaitu cairan dan udara, dan pada permukaan ini terdapat tekanan atmosfer. Dalam hal ini hubungannya dengan atmosfer

perlu pertimbangan bahwa kerapatan udara jauh lebih rendah daripada kerapatan air.

Klasifikasi saluran terbuka menurut asal-usul :

1. Saluran alam (*natural channel*), contohnya adalah sungai-sungai kecil di daerah hulu (pegunungan) hingga sungai besar di muara.
2. Saluran buatan (*artificial channel*), contohnya saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk suplai air minum, saluran banjir.

Klasifikasi saluran terbuka menurut kemiringan dasar dan konsistensi bentuk penampang:

1. Saluran prismatic (*prismatic channel*), saluran dengan kemiringan dasar yang tetap dan bentuk penampang melintang, contohnya saluran irigasi dan drainase.
2. Saluran non prismatic (*non prismatic channel*). Saluran dengan kemiringan dasar yang berubah dan penampang melintang, contohnya sungai.

Di lapangan, saluran buatan (*artificial channel*) berupa:

1. Kanal (*channel*), semacam parit dengan kemiringan dasar yang landau, berpenampang segi empat, segi empat, segi tiga, trapesium maupun lingkaran. Terbuat dari galian tanah, pasangan batu, beton atau kayu maupun logam.

2. Talang (*flume*), semacam selokan kecil yang terbuat dari logam, beton atau kayu yang melintas di atas permukaan tanah dengan suatu penyanggah.
3. Got Miring (*chute*), semacam selokan dengan kemiringan dasar yang relatif curam.
4. Bangunan Terjun (*drop structure*), semacam selokan dengan kemiringan yang tajam. Perubahan muka air terjadi pada jarak yang sangat dekat.
5. Gorong-gorong (*culvert*), saluran tertutup yang melintasi jalan atau menerobos gundukan tanah dengan jarak yang relatif pendek.
6. Terowongan (*tunnel*), saluran tertutup yang melintasi gundukan tanah atau bukit dengan jarak yang relatif panjang.

Apabila suatu aliran uniform menemui hambatan/benturan didalam pengalirannya, maka kecepatan partikel-partikel airnya disekitar hambatan tersebut tidak sama. Hal ini akan berubah sifat aliran dari *uniform* menjadi *non uniform* atau dari suatu aliran yang bersifat laminar menjadi turbulen.

Saluran terbuka adalah saluran yang dijumpai baik pada saluran irigasi teknis, semi teknis, dan saluran alami banyak yang berada pada kondisi non prismatis. Pada saluran yang mempunyai bentuk saluran yang nonprismatis 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, atau penyebab lain yang mengubah penampang dari saluran.

A.1. Geometri Saluran

Suatu saluran yang penampangnya dibuat tidak berubah-ubah dengan kemiringan dasarnya tetap, disebut saluran prismatis (*prismatic channel*). Bila sebaliknya, disebut saluran tidak prismatis (*non prismatic channel*). Contohnya adalah pelimpah tekanan yang memiliki lebar berubah-ubah dengan trase melengkung.

Penampang saluran alam umumnya sangat tidak beraturan, biasanya bervariasi dari bentuk seperti parabola sampai trapesium. Untuk saluran pengatur banjir, dapat terdiri dari suatu penampang saluran utama yang mengalirkan debit normal dan satu atau lebih penampang saluran tepi untuk menampung kelebihan air. Penampang saluran buatan biasanya direncanakan 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 disesuaikan. Bentuk persegi panjang dan segitiga merupakan bentuk khusus selain trapesium. Berhubung persegi panjang mempunyai sisi tegak, biasanya dipakai untuk saluran yang dibangun dengan bahan yang stabil, seperti pasangan batu, padas dan logam atau kayu. Penampang segitiga hanya dipakai untuk saluran kecil, selokan, dan penyelidikan laboratorium. Penampang lingkaran banyak dipakai untuk saluran pembuangan air kotor, dan gorong-gorong berukuran sedang maupun kecil. Penampang parabola dipakai sebagai penampang pendekatan untuk saluran alam berukuran sedang maupun kecil. Penampang persegi panjang

yang ujung-ujungnya dibulatkan merupakan modifikasi bentuk persegi panjang. Penampang segi tiga yang ujung bawah-nya dibulatkan merupakan bentuk pendekatan parabola, bentuk ini biasanya terjadi akibat penggalian dengan sekop.

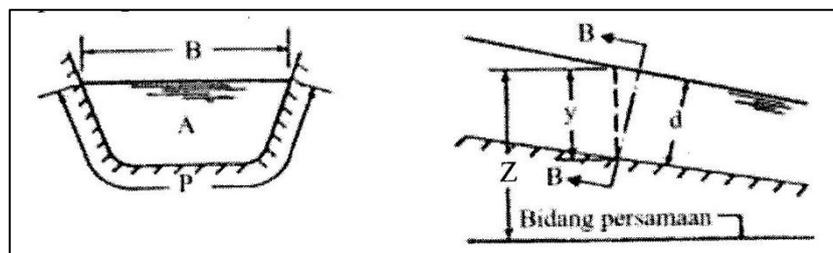
Penampang geometris tertutup selain lingkaran kadang-kadang dipakai untuk pembuangan air kotor, terutama untuk yang berukuran besar agar orang dapat memasukinya. Penampang ini diberi nama menurut bentuknya, misalnya bulat telur, elips, setengah elips, bentuk U, ladam kuda dan lain-lain. Bentuk persegi panjang penuh dan bujur sangkar juga banyak dipakai dalam saluran pembuangan yang besar. Ukuran dan sifat penampang saluran pembuang dapat dilihat dalam buku-buku tentang saluran pembuang.

Suatu bentuk geometris khusus dikenal sebagai garis rantai hidrolis (*hydrostatic catenary*) atau *lintearia*. Merupakan bentuk penampang melintang seperti palung, terbentuk dari lembaran lentur yang dianggap tidak memiliki berat, terisi air sampai ke puncak penampang dan ditahan secukupnya pada bagian sisi sebelah atas tanpa menimbulkan efek lekatan (*fixation*). Bentuk penampang ini banyak dipakai untuk merencanakan penampang talang irigasi yang disangga di atas tanah. Talang ini terbuat dari plat logam yang sangat tipis sehingga beratnya dapat diabaikan, dan dihubungkan secukupnya ke balok pada sisi sebelah atas (Chow, 1984).

Saluran dapat di golongan menjadi saluran alam (*natural*) dan saluran buatan (*artificial*). Variasi istilah yang telah digunakan dalam

saluran buatan seperti saluran yang panjang dengan kemiringan dasar kecil dan di gali dalam tanah disebut saluran (*canal*). Suatu saluran terletak di atas permukaan tanah dengan suatu penyangga dan konstruksinya kayu, besi/logam dan beton disebut talang (*flume*). Saluran yang mempunyai kemiringan dasar curam dan hampir tegak lurus sampingnya disebut got miring (*chute*). Saluran yang digali yang melalui bukit atau gunung disebut trowongan (*tunnel*).

Suatu saluran pendek dan tertutup dengan pengaliran bagian penuh disebut gorong-gorong (*culvert*). Suatu saluran yang mempunyai penampang melintang sama dan kemiringan dasarnya tetap disebut saluran prismatic (*prismatic channel*), sedangkan saluran yang mempunyai penampang melintang dan kemiringan berbeda-beda disebut saluran tidak prismatis (*non-prismatic channel*). Saluran yang panjang boleh terdiri dari beberapa saluran prismatis. Istilah penampang saluran (*cross section*) yang digunakan adalah penampang yang tegak lurus arah aliran, seperti Gambar 1.



Gambar 1. Penampang Melintang dan Memanjang Saluran

A.2. Kekasaran Saluran

Saluran dimana air mengalir dengan permukaan air bebas disebut juga saluran terbuka. Aliran air yang melalui saluran terbuka memiliki kecepatan dengan bentuk aliran yang berubah sesuai dengan hambatan (dipengaruhi kekasaran dinding saluran), kemiringan dan penampang saluran. Dengan mengevaluasi koefisien kekasaran permukaan saluran maka besarnya hambatan yang terjadi dapat diketahui.

Pengaruh besarnya kekasaran pada saluran dapat dinyatakan dalam suatu nilai yang disebut dengan koefisien kekasaran. Bentuk dan besar kecilnya partikel di permukaan saluran akan mempengaruhi besarnya kekasaran, semakin besar butiran penyusun permukaan di saluran maka kekasarannya dan sebaliknya. Kekasaran permukaan ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luasan basah yang menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Hal ini sering dianggap sebagai satu satunya faktor dalam menentukan koefisien kekasaran (Chow, 1997). Penentuan koefisien kekasaran merupakan hal yang sangat penting dalam menentukan pendistribusian debit aliran yang telah direncanakan pada badan air.

1. Rumus Chezy

Pada awal tahun 1769 seorang insinyur Prancis, Antoine Chezy membuat rumus yang mungkin merupakan rumus pertama kali untuk aliran seragam, yakni rumus *Chezy* yang terkenal, yang biasanya dinyatakan sebagai berikut:

$$V = C\sqrt{RS} \quad (1)$$

dengan V kecepatan rata-rata dalam kaki kubik per detik, R jari-jari hidrolis dalam kaki, S kemiringan garis energi dan C faktor C dari *Chezy*.

Rumus *Chezy* dapat diturunkan secara matematis dengan dua anggapan. Anggapan pertama dibuat oleh *chezy*. Menyatakan bahwa gaya yang menahan aliran persatuan luas dasar aliran air adalah sebanding dengan kuadrat dari kecepatan, yakni bahwa kecepatan ini sama dengan KV^2 dengan K merupakan suatu konstanta perbandingan. Bidang kontrak aliran dengan dasar aliran sama dengan hasil perkalian keliling basah dengan panjang bagian saluran yang lurus atau PL . Jumlah gaya penahan aliran akan sama dengan KV^2PL (Chow, 1984).

2. Rumus *Manning*

Pada tahun 1889 seorang insinyur Irlandia, Robert Manning mengemukakan sebuah rumus yang akhirnya diperbaiki menjadi rumus yang sangat dikenal sebagai:

$$V = \frac{1,49}{n} R^{2/3} S^{1/2} \quad (2)$$

Dengan V kecepatan rata-rata dalam kaki per detik; R jari-jari hidrolis dalam kaki; S kemiringan energi; dan n koefisien kekasaran, dikenal sebagai nilai n dari *manning*. Rumus ini dikembangkan dari tujuh rumus yang berbeda berdasarkan data percobaan *Bazin* yang selanjutnya dicocokkan dengan 170 percobaan. Akibat sederhananya rumus ini dan hasilnya yang memuaskan dalam pemakaian praktis, rumus *Manning*

menjadi sangat banyak dipakai dibandingkan dengan rumus aliran seragam lainnya untuk menghitung aliran saluran terbuka suatu penyelesaian secara grafis. Pada kemiringan saluran dan jari-jari hidrolis yang umum, nilai n dari *Manning* dan *Kutter* biasanya hamper sama. Untuk pemakaian praktis, kedua nilai tersebut dianggap sama bila kemiringannya sama atau lebih besar dari 0,0001 dan jari-jari hidrolis antara 1,0 dan 30 kaki (Chow, 1984).

Bila rumus *Chezy* dibandingkan dengan rumus *Manning* dapat dilihat bahwa:

$$c = \frac{1,49}{n} R^{1/6} \quad (3)$$

Persamaan ini menunjukkan bahwa hubungan antara koefisien C dari *Chezy* dengan nilai n dari *Manning*.

Pangkat dari jari-jari hidrolis dalam rumus *Manning* yang sesungguhnya tidak tetap, namun bervariasi menurut batasan yang terutama tergantung pada bentuk saluran dan kekasaran. Berdasarkan alasan ini, beberapa ahli hidrolika cenderung memakai rumus tersebut dengan pangkat variabel. Misalnya untuk rumus aliran seragam yang banyak dipakai di Rusia yang mirip dengan rumus tersebut adalah rumus *Pavlovskii* yang dikemukakan pada tahun 1925. Rumus ini dalam satuan metrik adalah

$$C = \frac{1}{n} R^y \quad (4)$$

$$\text{dengan } y = 2,5 \sqrt{n} - 0,13 - 0,75\sqrt{R} (\sqrt{n} - 0,10) \quad (5)$$

dan dengan C faktor tahanan dalam rumus *Chezy* yang dinyatakan dalam satuan metrik. Pangkat y tergantung pada koefisien kekasaran dan jari-jari hidrolis. Rumus ini dapat dipakai untuk R antara 0,1 sampai 3,0 meter sedangkan n antara 0,011 dan 0,040. Untuk pemakaian praktis, bentuk pendekatan dari persamaan (5.9) biasanya disarankan gunakan:

$$y = 1,5 \sqrt{n} \text{ untuk } R < 1,0 \text{ m} \quad (6)$$

$$y = 1,3\sqrt{n} \text{ untuk } R > 1,0 \text{ m} \quad (7)$$

3. Penentuan Koefisien Kekasaran *Manning*

Penentuan Koefisien Kekasaran *Manning*. Kesulitan terbesar dalam pemakaian rumus *Manning* ataupun rumus *Ganguillet-Kutter* adalah menentukan koefisien kekasaran n , sebab tidak ada cara yang tertentu untuk pemilihan harga n . Pada tingkat pengetahuan saat ini, memilih suatu nilai n sebenarnya berarti memperkirakan hambatan aliran pada saluran tertentu, yang benar-benar tak dapat diperhitungkan. Untuk insinyur ahli, hal ini berarti sedikit latihan penentuan teknis dan pengalaman; untuk pemula tidak lebih dari suatu dugaan, dan setiap orang akan memiliki hasil yang berbeda.

Untuk sekedar tuntunan bagi penentuan yang wajar mengenai koefisien kekasaran, akan dibahas 4 pendekatan umum, yakni (1) memahami faktor-faktor yang mempengaruhi nilai n dan hal ini memerlukan suatu pengetahuan dasar mengenai persoalannya dan kadar perkiraannya; (2) mencocokkan tabel dari nilai-nilai n untuk

berbagai tipe saluran: (3) memeriksa dan memahami sifat beberapa saluran yang koefisien keasarannya telah diketahui, dan (4) menentukan nilai n dengan cara analitis berdasarkan pembagian kecepatan teoretis pada penampang saluran dan data pengukuran kecepatan maupun pengukuran kekasaran (Chow, 1984).

4. Faktor-faktor yang Mempengaruhi Koefisien Kekasaran *Manning*

Faktor-faktor yang Mempengaruhi Koefisien Kekasaran *Manning* menurut Chow (1984). Suatu saluran tidak harus memiliki satu nilai n saja untuk setiap keadaan. Sebenarnya nilai n sangat bervariasi dan tergantung pada berbagai faktor. Dalam memilih nilai n yang sesuai untuk berbagai kondisi perencanaan maka adanya pengetahuan dasar tentang faktor-faktor tersebut akan sangat banyak membantu. Faktor-faktor yang memiliki pengaruh besar terhadap koefisien kekasaran baik bagi saluran buatan maupun alam, diuraikan di bawah ini. Perlu diingat bahwa faktor-faktor ini dalam kadar tertentu saling berkaitan, sehingga pembahasan mengenai suatu faktor dapat diulang sehubungan dengan kaitannya pada faktor lainnya.

- a. Kekasaran Permukaan Kekasaran permukaan ditandai dengan ukuran dan bentuk butiran bahan yang membentuk luas basah dan menimbulkan efek hambatan terhadap aliran. Hal ini sering dianggap sebagai satu-satunya faktor dalam memilih koefisien kekasaran, tetapi sebenarnya hanyalah satu dari beberapa faktor utama lainnya. Secara

umum dikatakan bahwa butiran halus mengakibatkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.

Pada sungai aluvial di mana butir-butir bahannya halus, seperti pasir, lempung, lanau, efek hambatan jauh lebih kecil dari pada bila bahannya kasar seperti kerikil dan kerakal. Bila bahannya halus, nilai n rendah dan relatif tidak terpengaruh oleh perubahan taraf aliran. Bila bahan terdiri dari kerikil dan kerakal, nilai n biasanya tinggi terutama pada taraf air tinggi atau rendah. Kerakal yang lebih besar biasanya terkumpul di dasar sungai, mengakibatkan dasar saluran lebih kasar dibandingkan dengan tepi dan meningkatkan nilai n pada taraf air rendah. Pada taraf tinggi, sebagian energi aliran terpakai untuk menggelincirkan kerakal ke hilir sehingga memperbesar nilai n .

- b. Tetumbuhan. Tetumbuhan dapat digolongkan dalam jenis kekasaran permukaan, tetapi hal ini juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran. Efeknya terutama tergantung pada tinggi, kerapatan, distribusi dan jenis tetumbuhan, dan hal ini sangat penting dalam perencanaan saluran pembuangan yang kecil.
- c. Ketidak teraturan Saluran. Mencakup pula ketidak teraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran. Pada saluran alam, ketidak teraturan seperti ini biasanya diperlihatkan dengan adanya gosong-gosong pasir, gelombang pasir, cekungan dan gundukan, lubang-lubang dan tonjolan di dasar saluran. Ketidak teraturan ini jelas menandakan kekasaran sebagai tambahan

dari yang ditimbulkan oleh kekasaran permukaan dan faktor-faktor lainnya. Secara umum, perubahan lambat laun dan teratur dari penampang 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. Dalam hal ini, peningkatan n dapat sebesar 0,005 atau lebih. Perubahan yang menimbulkan aliran menggelombang dari satu tepi ke tepi lainnya akan menghasilkan efek yang sama.

- d. Trase Saluran, Kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, sedangkan kelengkungan yang tajam dengan belokan-belokan yang patah akan memperbesar nilai n . Berdasarkan percobaan talang, Scobey mengusulkan bahwa nilai n harus dinaikkan 0,001 untuk setiap 20 kelengkungan dalam saluran sepanjang 100 kaki. Walaupun diragukan apakah kelengkungan dapat memperbesar nilai n sampai lebih dari 0,002 atau 0,003 namun efek ini tidak boleh diabaikan, sebab kelengkungan dapat mengakibatkan bertumpuknya endapan sehingga secara tak langsung akan memperbesar nilai n . Secara umum penambahan kekasaran pada saluran tanpa lapisan yang mengalirkan air dengan kecepatan rendah dapat diabaikan. Kenaikan nilai n sebesar 0,002 cukup sesuai bagi kehilangan energi akibat kelengkungan dalam talang yang dibuat dari beton maupun bahan lain.

Namun belokan-belokan pada saluran alam dapat memperbesar nilai n sampai sebesar 30%.

- e. 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 pada sifat alamiah bahan yang diendapkan. Endapan yang tidak teratur seperti gelombang pasir dan alur-alur pasir menjadikan saluran tidak beraturan dan kekasaran meningkat. Besar dan keserbasamaan penggerusan akan tergantung pada bahan pembentuk keliling basah. Sebab itu dasar yang berpasir atau berkerikil akan tererosi secara lebih seragam dibandingkan dasar yang berlempung. Pengendapan lanau hasil erosi di hulu akan cenderung memperbaiki ketidakteraturan saluran dibandingkan dengan tanah liat. Energi yang dipakai untuk menggerus dan mengangkut bahan dalam suspensi atau menggulingkannya sepanjang dasar saluran juga akan memperbesar nilai n . Efek penggerusan tidak terlalu nyata selama erosi pada dasar saluran yang diakibatkan oleh kecepatan air yang tinggi berlangsung terus menerus dan serba sama.
- f. Hambatan. Adanya balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya cenderung memperbesar n . Besarnya kenaikan ini tergantung pada sifat alamiah hambatan, ukuran, bentuk, banyaknya dan penyebarannya.

- g. Ukuran dan Bentuk Saluran. Belum ada bukti nyata bahwa ukuran dan bentuk saluran merupakan faktor penting yang mempengaruhi nilai n . Perbesaran jari-jari hidrolis dapat memperbesar maupun memperkecil n , tergantung pada keadaan saluran.
- h. Taraf Air dan Debit. Nilai n pada saluran umumnya berkurang bila taraf air dan debitnya bertambah. Bila air rendah, ketidakrataan dasar saluran akan menonjol dan efeknya kelihatan. Namun nilai n dapat pula besar pada taraf air tinggi bila dinding saluran kasar dan berumput

Ruzardi (1992) menyatakan bahwa rumus *Manning n* memberikan hasil yang baik bila digunakan pada saluran yang kasar sampai dengan yang halus pada saluran lingkaran, tetapi kurang memuaskan untuk saluran alluvial, koefisien kekasaran manning dapat dilihat pada tabel 1 dan table 2.

Tabel 1. Koefisien kekasaran *Manning*

Bahan	Koefisien <i>Manning</i> (n)
Besi tulangan dilapis	0.014
Kaca	0.01
Saluran beton	0.013
Bata dilapis mortar	0.015
Pasangan batu disemen	0.025
Saluran tanah bersih	0.022
Saluran tanah	0.03
Saluran dengan dasar batu dan tebing Rumput	0.04
Saluran pada batu padas	0.04

Sumber : Bambang Triatmojo, Hidraulika II

Tabel 2. Koefisien kekasaran *Manning*

No	Tipe saluran dan jenis bahan	Minimum	Harga n Normal	Maksimum
1	Beton			
	• Gorong-gorong lurus dan bebas dari kotoran	0,010	0,011	0,013
	• Gorong-gorong dengan lengkungan dan sedikit kotoran/gangguan	0,011	0,013	0,014
	• Beton dipoles	0,011	0,012	0,014
	• Saluran pembuang dengan bak kontrol	0,013	0,015	0,017
2	Tanah, lurus dan seragam			
	• Bersih baru	0,016	0,018	0,020
	• Bersih telah melapuk	0,018	0,022	0,025
	• Berkrikil	0,022	0,025	0,030
	• Berumput pendek, sedikit tanaman pengganggu	0,022	0,027	0,033
3	Saluran alam			
	• Bersih baru	0,025	0,030	0,033
	• Bersih dan berkelok-kelok	0,033	0,040	0,045
	• Banyak tanaman pengganggu	0,050	0,070	0,08
	• Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0,025	0,030	0,035
	• Saluran di belukar	0,035	0,050	0,07

Sumber : Bambang Triatmojo, Hidraulika II Tipe dan Jenis Saluran Terbuka

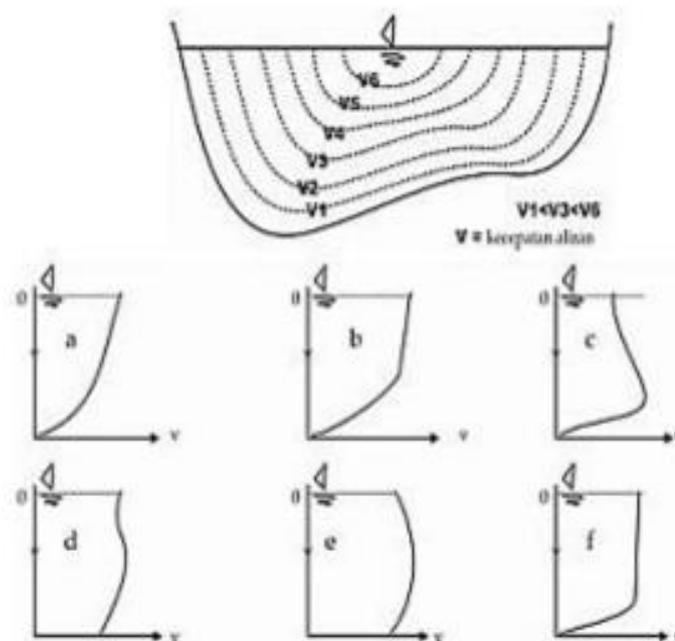
B. Distribusi Kecepatan Aliran

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

Pada aliran saluran terbuka, distribusi kecepatan seringkali dibedakan sebagai distribusi kecepatan di daerah inner region, yang berada di dekat dasar dimana distribusi kecepatan logaritmik berlaku, dan di daerah outer region, yang berada jauh dari dasar dimana distribusi kecepatan menyimpang secara jelas dan sistematik terhadap hukum logaritmik (Kironoto, 2009).

Distribusi kecepatan aliran sungai, bergantung pada bentuk saluran, kekasaran dinding saluran dan debit air. Dalam arah vertikal kecepatan maksimum mendekati permukaan air dan semakin mendekati dasar saluran kecepatan aliran mendekati nol. Sedangkan, arah horizontal kecepatan maksimum mendekati tengah penampang sungai dan semakin mendekati dinding saluran maka kecepatan aliran semakin mengecil karena adanya pengaruh gaya gesek dinding saluran.

Dalam penentuan profil distribusi kecepatan aliran sungai, sangat berhubungan dengan debit aliran sungai, dikarenakan debit aliran berbanding lurus dengan kecepatan aliran sungai. Distribusi kecepatan aliran di dalam sungai tidak sama arah horizontal maupun arah vertikal. Dengan kata lain, kecepatan aliran pada tepi sungai tidak sama dengan tengah sungai, dan kecepatan aliran dekat permukaan sungai tidak sama dengan kecepatan pada dasar sungai, Distribusi kecepatan aliran dapat dilihat pada gambar



Gambar 2. Distribusi Kecepatan Aliran

Keterangan : a = Distribusi kecepatan aliran teoritis,

b = dasar saluran kasar dan banyak tumbuhan

C = gangguan permukaan (sampah)

D = aliran cepat, aliran turbulen pada dasar

E = aliran lambat, dasar saluran halus

F = dasar saluran kasar/berbatu

B.1. Penentuan Koefisien Pembagian Kecepatan.

Anggap ΔA sebagai bagian luas dari luas air keseluruhan A , dan w adalah berat isi air, lalu berat air melalui ΔA per satuan waktu dengan kecepatan v adalah $wv \Delta A$. Energi kinetik air yang melalui ΔA per satuan waktu adalah $wv^3 \Delta A/2g$. Nilai ini sama dengan gabungan berat $wv \Delta A$

dan tinggi kecepatan $v^2/2g$. Jumlah energi kinetik untuk luas air keseluruhan sama dengan $\sum wv^3 \Delta A / 2g$.

Anggap luas keseluruhan A , kecepatan rata-rata V , dan tinggi kecepatan setelah dikoreksi untuk luas keseluruhan $\alpha V^2/2g$, energi kinetik total $\alpha wV^2/2g$. Samakan besaran ini dengan $\sum wv^3 \Delta A / 2g$ lalu ringkaskan,

$$\alpha = \frac{\int v^3 dA}{V^3 A} \approx \frac{\sum v^3 \Delta A}{V^3 A} \quad (8)$$

Momentum air yang melalui ΔA per satuan waktu adalah hasil kali massa $wv \Delta A/g$ dengan kecepatan v , atau $wv^2 \Delta A/g$. Momentum total adalah $\sum wv^3 \Delta A / g$. Samakan besaran ini dengan momentum yang telah dikoreksi untuk luas keseluruhan atau $\beta wAV^2/g$, lalu diringkas,

$$\beta = \frac{\int v^2 dA}{V^2 A} \approx \frac{\sum v^2 \Delta A}{V^2 A} \quad (9)$$

O'Brien dan Johnson memakai penyelesaian grafis untuk rumus di atas sebagai berikut:

Dari lengkung pembagian kecepatan yang telah diukur, luas di dalam setiap lengkung dengan kecepatan yang sama dihitung dengan planimeter. Kecepatan yang dinyatakan oleh masing-masing lengkung pada kecepatan yang sama dianggap v , kemudian digambarkan suatu lengkung v^3 sesuai dengan luas yang telah diplanimeter. Dapat dilihat bahwa luas di bawah lengkung v^3 ini merupakan $\sum v^3 \Delta A$, yang dapat dihitung dengan planimeter. Demikian pula, $\sum v \Delta A$ dan $\sum v^2 \Delta A$ dapat pula diperoleh. Integrasi $\sum v \Delta A$ dibagi dengan A menghasilkan V . Setelah

memperoleh besaran-besaran ini, persamaan di atas dapat diselesaikan untuk mencari koefisien α dan β .

Sebagai nilai pendekatan, koefisien energi dan momentum dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$\alpha = 1 + 3\epsilon^2 - 2\epsilon^3 \quad (10)$$

$$\beta = 1 + \epsilon^2 \quad (11)$$

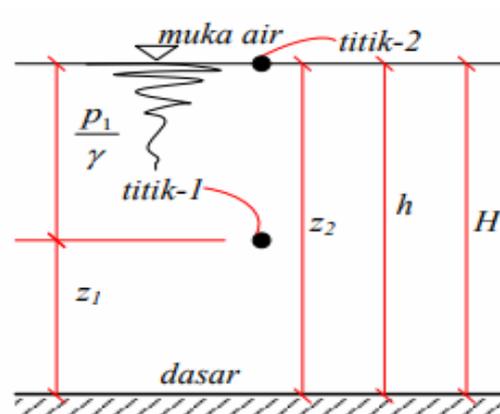
dengan $\epsilon = v_M/V - 1$, v_M adalah kecepatan maksimum dan V adalah kecepatan rata-rata (Chow, 1984).

C. Gaya Hidrostatik

C.1. Tekanan Hidrostatik

Seperti telah diketahui dalam hidrostatika bahwa kecepatan air $V = 0$, jadi air dalam keadaan diam/tidak bergerak. Sehingga tekanan hidrostatik pada suatu titik menurut Hk. Bernoulli menjadi :

$$\frac{p}{\gamma} + z = H \quad (12)$$



Gambar 3. Tekanan Hidrostatik pada suatu titik

Untuk titik-2 di permukaan air (Gambar 3) :

$p = p_{atm} = 0$ (diabaikan), maka :

$z = h = H \rightarrow$ dimana

$H =$ Energi Total = garis energi

$h =$ tinggi tekanan di titik 2 = garis tekanan

$z =$ posisi titik2 thd. Datum = garis permukaan air

Berarti dalam hidrostatika :

garis energi = garis tekanan = garis permukaan air

Tekanan hidrostatis di titik 2 yang berada di permukaan air, adalah

$$p_2 = \gamma (h - z_2) = 0 \rightarrow \text{karena } h = z_2$$

Untuk titik -1 berada di bawah permukaan air sedalam h_1 (lihat Gambar 3):

$$\frac{p_1}{\gamma} + z_1 = h \quad (13)$$

$$p_1 = \gamma (h - z_1) = \gamma \cdot h_1 \quad (14)$$

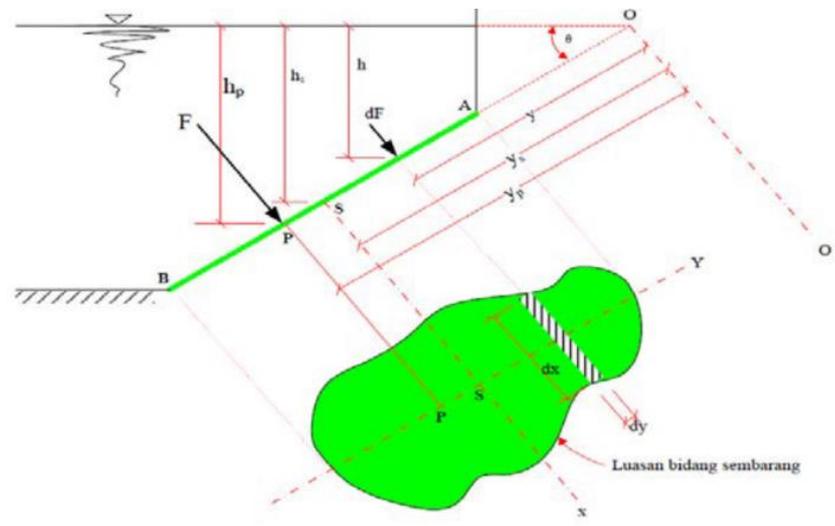
Tekanan ini disebut tekanan hidrostatis. Besarnya tekanan ini sama dengan berat air di atas titik tersebut, dan dinyatakan dengan satuan N/m² atau kN/m². Menurut hukum Pascal, besarnya tekanan air pada suatu titik dari semua arah adalah sama.

C.2. Gaya Hidrostatis Pada Bidang Miring

Secara umum, gaya memiliki 3 atribut yaitu besar, letak titik tangkap, dan arah kerja. Besarnya gaya hidrostatis F yang bekerja pada luasan bidang sembarang dan membentuk sudut θ terhadap permukaan air, seperti diperlihatkan pada Gambar 4. Tinjau gaya yang bekerja pada bagian

bidang seluas strip dA sama dengan tekanan pada strip p dikalikan dengan luasan strip dA , atau :

$$dF = p \cdot dA = \gamma \cdot h \cdot dA \quad (15)$$



Gambar 4. Gaya hidrostatis pada bentuk bidang sembarang yang bersudut θ .

Dengan menjumlahkan semua gaya yang bekerja pada luasan bidang sembarang tersebut, dengan mempertimbangkan bahwa $h = y \cdot \sin\theta$, yaitu :

$$\begin{aligned} F &= \int \rho g h dA = \int \rho g (y \sin\theta) dA \\ &= (\rho g \sin\theta) \int y dA \\ &= (\rho g \sin\theta) y_s A \end{aligned}$$

Karena $h_s = y_s \sin\theta$, maka :

$$F = \rho g h_s A \quad (16)$$

Dimana :

F = gaya hidrostatis, (N)

ρ = kerapatan massa air, (kg/m^3)

g = gravitasi bumi, [m/detik^2]

h_s = kedalaman pusat bidang terhadap permukaan air, [m]

A = luas bidang sembarang, [m^2].

Dikarenakan $\int y^2 dA$ merupakan momen inersia dari luas bidang sembarang tersebut terhadap sumbu O, maka :

$$\frac{I_o}{y_s A} = y_p \quad (17)$$

Dalam bentuk yang lebih tepat, digunakan teorema momen inersia sumbu sejajar,

$$y_p = \frac{I_x + A y_s^2}{y_s A} = \frac{I_x}{y_s A} + y_s \quad (18)$$

dimana :

y_p = jarak miring dari pusat tekanan terhadap permukaan air, [m]

y_s = jarak miring dari pusat bidang terhadap permukaan air, [m]

I_x = momen inersia bidang terhadap sumbu yang melalui pusatnya, [m^4]

A = luas bidang, [m^2].

Atau :

$$y_p = \frac{I_x}{\left(\frac{h_s}{\sin\theta}\right)^A} + \left(\frac{h_s}{\sin\theta}\right) \quad (19)$$

y_p = jarak miring dari pusat tekanan terhadap permukaan air, [m]

h_s = jarak vertikal dari pusat bidang terhadap permukaan air, [m]

I_x = momen inersia bidang thp. sumbu yang melalui pusatnya, [m^4]

$A =$ luas bidang, $[m^2]$.

C.3. Seretan (*Drag*)

Adanya dua jenis aliran viskos merupakan gejala yang diterima secara universal. Asap yang berasal dari rokok yang dinyalakan terlihat mengalir secara mulus dan uniform untuk suatu jarak pendek dari sumbernya dan kemudian berubah secara mendadak menjadi pola yang sangat tak beraturan, tidak stabil. Perilaku serupa dapat diamati pada air yang mengalir secara perlahan dari sebuah kran. Jenis aliran yang teratur terjadi bila lapisan fluida yang berdampingan bergeseran secara halus satu di atas yang lain di mana pencampuran antara lapisan atau lamina yang terjadi hanya dalam level molekuler. Untuk jenis aliran inilah hubungan viskositas Newton diturunkan, dan agar kita dapat mengukur viskositas, μ , harus ada aliran laminar ini.

Daerah aliran kedua, di mana paket-paket kecil dari partikel-partikel fluida ditransfer antar lapisan, yang mengakibatkan daerah ini memiliki sifat yang fluktuatif, dinamakan daerah aliran turbulen. Adanya aliran laminar dan turbulen, walaupun telah diakui sebelumnya, pertama - tama dijelaskan secara kuantitatif oleh Reynolds pada 1883. Air dibiarkan mengalir melewati suatu pipa transparan pada laju yang dikendalikan oleh sebuah katup. Suatu pewarna yang mempunyai gravitasi spesifik yang sama dengan air dimasukkan di bukaan pipa dan polanya diamati untuk laju aliran air yang semakin besar. Pada laju aliran yang rendah pola zat pewarnanya teratur

dan membentuk sebuah garis warna yang tunggal. Namun demikian, pada laju aliran tinggi, zat pewarna terdispersi di seluruh penampang pipa akibat gerakan fluida sangat tak teratur. Perbedaan penampilan lapisan zat pewarna, tentunya, disebabkan oleh sifat teraturnya aliran laminar pada kasus pertama dan sifat berfluktuasinya aliran turbulen pada kasus yang terakhir.

Transisi dari aliran laminar menjadi turbulen di dalam pipa dengan demikian merupakan fungsi dari kecepatan fluida. Sebenarnya, Reynolds menemukan bahwa kecepatan fluida hanya merupakan satu variabel yang menentukan sifat aliran dalam pipa, dan variabel lainnya adalah diameter pipa, densitas fluida, dan viskositas fluida. Keempat variabel ini, dikombinasikan menjadi parameter tak berdimensi tunggal

$$Re = \frac{D\rho v}{\mu} \quad (20)$$

yang merupakan bilangan Reynolds, dan diberi simbol Re , untuk menghormati Osborne Reynolds atas kontribusinya yang penting dalam bidang mekanika fluida. Untuk aliran di dalam pipa lingkaran kita dapatkan bahwa di bawah nilai bilangan Reynolds 2300 aliran adalah laminar. Di atas nilai ini aliran juga bisa laminar, dan sesungguhnya aliran laminar telah diamati untuk bilangan Reynolds sebesar 40 000 di dalam eksperimen-eksperimen di mana gangguan-gangguan eksternalnya dibuat minimum. Di atas bilangan Reynolds 23.000, gangguan yang kecil akan menyebabkan transisi ke aliran turbulen sementara di bawah nilai ini gangguan diredam

habis dan aliran yang ada laminar. Jadi bilangan Reynolds kritis untuk aliran pipa adalah 2300 (Welty, J.R, 2004)

Eksperimen Reynolds secara jelas menunjukkan kedua daerah aliran: laminar dan turbulen. Cara lain untuk menggambarkan daerah-daerah aliran yang berbeda ini dan dependensi aliran-aliran terhadap bilangan Reynolds adalah melalui konsep seretan (*drag*). Satu kasus khusus sebagai ilustrasi adalah aliran eksternal (yaitu, aliran sekeliling sebuah benda yang berlawanan dengan aliran di dalam saluran). Gaya seretan yang disebabkan gesekan disebabkan oleh tegangan geser di permukaan benda padat yang bergerak melalui suatu fluida viskos. Seretan gesekan dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$\frac{F}{A} = C_f \frac{\rho v_{\infty}^2}{2} \quad (21)$$

dengan F adalah gaya; A adalah luas kontak antara benda padat dan fluida, C_f adalah koefisien gesekan kulit; ρ adalah densitas fluida; dan v_{∞} adalah kecepatan fluida arus bebas.

Koefisien gesekan kulit, C_f yang didefinisikan oleh persamaan (21), adalah koefisien tak berdimensi.

Seret total pada sebuah benda dapat disebabkan tekanan maupun karena pengaruh gesekan. Pada situasi semacam itu koefisien yang lain, C_D didefinisikan sebagai

$$\frac{F}{A_p} = C_D \frac{\rho v_{\infty}^2}{2} \quad (22)$$

dengan F , p dan v adalah seperti yang digambarkan di atas, dan disamping itu

$$C_D = \text{koefisien seretan (drag)}$$

dan

$$A_p = \text{luas permukaan yang diproyeksikan}$$

Nilai A_p yang digunakan untuk menyatakan seretan untuk benda-benda yang tumpul biasanya adalah luas proyeksi maksimum untuk benda.

Kuantitas $\rho v_\infty^2/2$ yang muncul di persamaan (21) dan (22) seringkali dinamakan *tekanan dinamik*.

Tekanan seretan timbul dari dua sumber. Yang pertama adalah seretan yang diinduksi, atau seretan karena pengangkatan. Sumber yang lain adalah seretan wake, yang muncul dari kenyataan bahwa tegangan geser menyebabkan garis-garis arus menyimpang dari jejak aliran invisidnya, dan di dalam beberapa kasus menyebabkan garis-garis tersebut terpisah dari seluruh benda. Penyimpangan pada pola garis arus menyebabkan tekanan pada sisa benda tidak dapat mencapai level yang seharusnya bisa dijangkau bila penyimpangan ini tidak terjadi. Karena tekanan di depan benda sekarang lebih besar dari tekanan di belakang, maka muncullah gaya neto ke belakang.

Dalam suatu aliran inkompresibel, koefisien seretan bergantung pada bilangan Reynolds dan geometri benda. Sebuah bentuk geometrik sederhana yang menggambarkan dependensi seretan pada bilangan Reynolds adalah silinder lingkaran (Welty J. R, 2004).

D. Gaya Hambat dan Gaya Angkat

Gaya hambat dan gaya angkat berdefinisi sebagai komponen-komponen gaya yang dilakukan terhadap suatu benda oleh fluida yang bergerak, yang masing-masing sejajar dan tegak lurus terhadap kecepatan datang relatif. Yang mengembangkan gaya hambat dan gaya angkat adalah aksi dinamika fluida yang bergerak. Gaya-gaya lain seperti gaya benda karena adanya gravitasi dan gaya apung tidak diikutsertakan dalam gaya hambat maupun gaya angkat. Gaya hambat adalah suatu gaya yang searah dengan aliran benda yang melintas di udara berlawanan dari arah benda tersebut. Gaya angkat adalah suatu gaya yang tegak lurus suatu benda akibat adanya gaya hambat dari benda itu sendiri (Ma'ruf, 2013).

D.1. Gaya Hambat

Gaya hambat adalah gaya yang bekerja dalam arah horizontal (paralel terhadap aliran) dan berlawanan arah dengan arah gerak maju kendaraan. Gaya hambat total terdiri dari beberapa jenis gaya hambat yaitu:

- a. Hambatan bentuk

Gaya hambat yang disebabkan oleh adanya gradient tekanan (*pressure drag*) dan adanya gesekan (*friction drag*). Bentuk bodi kendaraan yang kompleks menyebabkan terjadinya distribusi tekanan di sepanjang permukaan kendaraan tersebut. Selain itu karena aliran udara bersifat viscous maka timbul tekanan geser di sepanjang permukaan kendaraan.

b. Hambatan pusaran

Karena adanya perbedaan tekanan antara bagian atas dan bagian bawah kendaraan, menyebabkan timbulnya gerakan aliran udara dari permukaan bawah menuju permukaan atas kendaraan yang berupa pusaran (*vortex*). Timbulnya *vortex* pada kendaraan juga akan menghambat gerak laju kendaraan yang disebabkan adanya pengaruh gaya angkat vertikal pada bodi mobil yang sedang bergerak secara horizontal.

c. Hambatan tonjolan

Gaya hambat yang disebabkan oleh adanya tonjolan profil tertentu pada bagian permukaan bodi kendaraan seperti kaca spion, pintu, antenna dan aksesoris lainnya.

d. Hambatan aliran dalam

Gaya hambat oleh aliran udara yang mengalir melalui sistem pendingin mesin yaitu radiator. Pada kenyataannya hanya hambatan bentuk dan hambatan pusar yang paling besar pengaruhnya terhadap gaya hambat secara keseluruhan. Gaya hambat tersebut sebagai fungsi dari kecepatan kuadrat.

Secara umum perumusan gaya hambat angin adalah :

$$F_D = \frac{1}{2} \cdot C_D \cdot \rho \cdot V_a \cdot A_f \quad (23)$$

Dimana : C_D = koefisien gaya hambat

A_f = luas frontal kendaraan (m²)

ρ = density udara (kg/m³)

V_a = kecepatan relatif angin kendaraan (m/dt)

D.2. Gaya Angkat

Perbedaan bentuk antara permukaan atas dan bagian bawah kendaraan menyebabkan aliran udara di atas permukaan lebih cepat dibandingkan dengan aliran udara di bagian bawah permukaan, sehingga tekanan udara di bagian atas kendaraan lebih rendah dari tekanan di permukaan bawah.

Faktor lain adalah kekasaran bagian permukaan bawah mobil yang disebabkan oleh profil mesin dan komponen lain yang memperlambat aliran udara di bawah sehingga memperbesar tekanan aliran permukaan bawah. Karena itu tekanan yang bekerja pada bagian bawah mobil secara umum lebih besar dari tekanan yang bekerja pada bagian atas mobil sehingga menimbulkan terbentuknya gaya angkat karena adanya desakan aliran udara dari permukaan bawah ke permukaan atas kendaraan. Gaya lift secara total dirumuskan sebagai berikut :

$$F_L = \frac{1}{2} \cdot C_L \cdot \rho \cdot V_a^2 \cdot A_f \quad (24)$$

dimana : C_L = koefisien gaya angkat

A_f = luas frontal kendaraan (m²)

ρ = density udara (kg/m³)

V_a = kecepatan relatif angin kendaraan (m/dt)