

**PENYEBARAN POLA RESISTENSI ALIRAN PADA MODEL
SEGITIGA DENGAN SIMULASI KOMPUTASI**

*Simulation of Flow Distribution Pattern of Triangular Plate
Resistance Simulation*

**ANDI MUHAMMAD ALIYANSYAH M. MAKKARUMPA
D0121 81 010**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

**PENYEBARAN POLA RESISTENSI ALIRAN PADA MODEL
SEGITIGA DENGAN SIMULASI KOMPUTASI**

*Simulation of Flow Distribution Pattern of Triangular Plate
Resistance Simulation*

**ANDI MUHAMMAD ALIYANSYAH M. MAKKARUMPA
D0121 81 010**



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
GOWA
2023**

TESIS

PENYEBARAN POLA RESISTENSI ALIRAN PADA MODEL SEGITIGA DENGAN SIMULASI KOMPUTASI

ANDI MUHAMMAD ALIYANSYAH M. MAKKARUMPA

NIM : D012181010

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

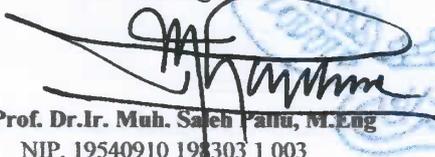
pada tanggal 19 Desember 2022

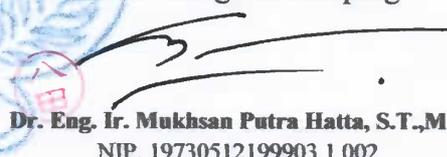
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping


Prof. Dr. Ir. Muh. Saleh Patu, M.Eng
NIP. 19540910 198303 1 003


Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta, S.T., M.T.
NIP. 19730512199903 1 002

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Ketua Program Studi S2
Departemen Teknik Sipil


Prof. Dr. Eng. Ir. Mohammad Isran Ramli, S.T., M.T. IPM
NIP. 19730926 200012 1 002


Dr. Ir. M. Asad Abdurrahman, S.T., M.Eng.P.M.
NIP. 19730306199802 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama : Andi Muhammad Aliyansyah M. Makkarumpa

Nomor Mahasiswa : D012181010

Program Studi : Teknik Sipil

Konsentrasi : Keairan

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan thesis ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 10 Februari 2023

Yang menyatakan,



Andi Muhammad Aliyansyah

KATA PENGANTAR



Syukur alhamdulillah saya panjatkan kehadiran Allah SWT atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini dengan judul **“PENYEBARAN POLA RESISTENSI ALIRAN PADA MODEL SEGITIGA DENGAN SIMULASI KOMPUTASI”** sebagai salah satu syarat untuk meraih gelar Magister Teknik di Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Namun demikian kami menyadari bahwa dalam tesis ini tentu masih terdapat kekeliruan dan kekurangan sehingga dengan segala kerendahan hati saya siap untuk menerima segala kritikan dan saran dari pembaca terutama yang berpengalaman dalam menuangkan pola pikirnya guna lebih melengkapi dan menyempurnakan tesis ini. Pada kesempatan ini penulis menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan sebesar-besarnya kepada:

1. Kepada Kedua orang tua, Ir. Andi Mustakim M dan Dra. Andi Parianti M, saudara serta keluarga atas segala doa dan dukungannya baik moril maupun materil.
2. Dr. M. Asad Abdurrahman, ST, M.Eng.PM Selaku Ketua Prodi Magister Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. Prof. Dr. Ir. H. Muh. Saleh Pallu., M.Eng . sebagai Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tesis ini.
4. Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta., ST. MT. sebagai Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tesis ini.
5. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas semua bantuannya.
6. Tim Laboratorium penelitian keairan yaitu Ibu Ira, Kak Yunarto, Gian, Maman, Rizky, dan Juga Rian.
7. Terkhusus buat Saudara-saudara Teknik Sipil angkatan 2018 S2 dan alumni jurusan sipil 2012 unhas yang tidak bisa saya sebutkan namanya satu per satu yang telah memberikan bantuan dan dukungannya selama ini.

8. Serta semua pihak yang telah membantu penulis baik dalam bentuk materil maupun nonmaterial. Semoga Allah SWT membalas budi baik dengan amalan yang setimpal.

Serta semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, terima kasih atas bantuan, nasehat dan dorongan dalam penyusunan tesis ini.

Gowa, Februari 2023

Andi Muhammad Aliyansyah M.

ABSTRAK

ANDI MUHAMMAD ALIYANSAH M. Pola Penyebaran Aliran pada Model Hambatan Segitiga dengan Simulasi Komputasi (dibimbing oleh Prof. Dr. Ir. Muh. Saleh Pallu., M.Eng dan Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta., ST., MT)

Pada aliran saluran terbuka, banyak parameter yang dapat mempengaruhi kecepatan aliran, seperti bentuk hambatan dan debit aliran. Bentuk hambatan tersebut mempengaruhi struktur turbulen dari air yang mengalir sehingga dapat mengakibatkan potensi perubahan kecepatan dan pola aliran pada sekitar struktur bangunannya. Penelitian ini mempertimbangkan kemiringan sudut hambatan plat segitiga dan debit air yang masuk sehingga pengaruh pola dan kecepatan aliran yang terjadi setelah aliran melalui hambatan plat segitiga dengan menggunakan simulasi iRIC. iRIC adalah platform simulasi numerik yang mendukung berbagai pemecah komputasi untuk masalah dalam ilmu dan teknik air. Variasi sudut hambatan plat segitiga yang digunakan pada penelitian ini adalah 30° , 45° , dan 60° dan variasi debit yang digunakan adalah $0.005 \text{ m}^3/\text{dtk}$, $0.001 \text{ m}^3/\text{dtk}$, dan $0.015 \text{ m}^3/\text{dtk}$. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa plat segitiga dengan sudut 45° dan debit $0.005 \text{ m}^3/\text{dtk}$ memiliki kecepatan aliran yang lebih konstan dibandingkan dengan sudut yang lainnya dengan debit yang sama. Namun, untuk hambatan plat segitiga dengan 60° menunjukkan kecepatan aliran yang lebih konstan dengan debit yang lebih besar. Karakteristik kecepatan aliran pada suatu saluran dengan hambatan plat segitiga dapat dipengaruhi oleh sudut segitiga dan debit yang masuk.

Kata Kunci : Kecepatan Aliran, Pola Aliran, Plat Segitiga, iRIC

ABSTRACT

ANDI MUHAMMAD ALIYANSAH M. Simulation of Flow Distribution Pattern of Triangular Plate Resistance Simulation. (guided by Prof. Dr. Ir. Muh. Saleh Pallu., M.Eng dan Dr. Eng. Ir. Mukhsan Putra Hatta., ST., MT)

In an open channel, many parameters could affect the flow velocity, such as the shape of the resistance and the flow rate. The shape of the obstacle affect the turbulent structure of the flowing water so, it could lead to potential changes in velocity and flow pattern around the building structure. This study considers the slope of the triangular plate resistance angle and the incoming water flow so that the influence of the pattern and flow velocity that occurs after the flow through the triangular plate resistance using iRIC simulation. iRIC is a numerical simulation platform that support various computational solvers for problems in water science and engineering. The variation of the angle of resistance of the triangular plate used in this study was 30° , 45° , and 60° , and the variation of the discharge used was $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$, $0.001 \text{ m}^3/\text{s}$, and $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$. The result of simulation show that the triangular plate with an angle of 45° and a flow rate of $0.005 \text{ m}^3/\text{s}$ has a more constant flow rate than the other angles with the same flow rate. However, the triangular plate resistance with an angle of 60° shows a more constant flow velocity wirh a larger disharge. The characteristics of the flow velocity in a channel with triangular plate resistance can be influenced by the angle of the traingle and the incoming discharge.

Keywords : Flow velocity, Flow Pattern, Triangle Plate Resistance, iRIC

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
ABSTRAK.....	vi
ABSTRACT.....	vii
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR.....	xi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	3
C. Tujuan Penelitian.....	3
D. Manfaat Penelitian.....	3
E. Batasan Masalah.....	4
F. Sistematika Penulisan.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
A. Saluran Terbuka.....	6
B. Debit Aliran.....	7
C. Karakteristik Aliran.....	9
D. Distribusi Kecepatan Aliran.....	11
E. Koefisien Manning.....	12
F. Metode Numerik.....	15

G. Validasi.....	20
H. Software iRIC.....	20
I. Matriks Penelitian Terdahulu.....	25
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	28
A. Data Penelitian.....	28
B. Jenis dan Variabel Penelitian.....	31
C. Penentuan Time Step	32
D. Perancangan Simulasi.....	33
E. Prosedur Penelitian.....	33
F. Diagram Alir Penelitian.....	34
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	36
A. Kecepatan Aliran.....	36
B. Bilangan Froude.....	49
C. Debit.....	57
D. Validasi Hasil Simulasi.....	59
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	61
A. Kesimpulan.....	61
B. Saran.....	61
DAFTAR PUSTAKA.....	63
LAMPIRAN.....	65

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Koefisien Kekasaran Manning Berdasarkan Bahan Saluran.....	13
Tabel 2. Koefisien Kekasaran Manning berdasarkan Tipe Saluran dan Jenis Bahan Saluran.....	14
Tabel 3. Matriks Penelitian Terdahulu.....	25
Tabel 4. Variasi Dimensi Model Hambatan Segitiga.....	30
Tabel 5. Variasi Parameter Model Hambatan.....	31
Tabel 6. Parameter Kecepatan Aliran pada Debit 0.005 m ³ /detik (m/s)	37
Tabel 7. Parameter Kecepatan Aliran pada Debit 0.01 m ³ /detik (m/s)	41
Tabel 8. Parameter Kecepatan Aliran pada Debit 0.015 m ³ /detik (m/s)	45
Tabel 9. Parameter Bilangan Froude pada Debit 0.005 m ³ /detik (m/s)	50
Tabel 10. Parameter Bilangan Froude pada Debit 0.01 m ³ /detik (m/s)	52
Tabel 11. Parameter Bilangan Froude pada Debit 0.015 m ³ /detik (m/s)	55

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.	Saluran Terbuka dan Saluran Tertutup.....	6
Gambar 2.	Distribusi kecepatan pada berbagai bentuk potongan.....	11
Gambar 3.	Grid Titik Hitungan pada X dan Y.....	18
Gambar 4.	Software iRIC.....	20
Gambar 5.	Bagan Pengoperasian Software iRIC.....	21
Gambar 6.	Struktur Umum Model iRIC.....	21
Gambar 7.	Sistem Koordinat MBFC Non Dimensional.....	24
Gambar 8.	Geometri Saluran Tampak Atas.....	29
Gambar 9.	Saluran dengan Hambatan Segitiga Tampak Samping.....	29
Gambar 10.	Titik Tinjauan Hasil Penelitian.....	32
Gambar 11.	Diagram Alir Penelitian.....	34
Gambar 12.	Hasil Simulasi Kecepatan Aliran Tanpa Hambatan Plat Segitiga....	36
Gambar 13.	Hubungan Kecepatan Aliran terhadap Jarak Saluran pada Profil Memanjang dengan Debit $0.005 \text{ m}^3/\text{detik}$	39
Gambar 14.	Profil Melintang Kecepatan Aliran dengan Debit $0.005 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada (a) Segitiga 30° , (b) Segitiga 45° , (c) Segitiga 60°	40
Gambar 15.	Hubungan Kecepatan Aliran terhadap Jarak Saluran pada Profil Memanjang dengan Debit $0.01 \text{ m}^3/\text{detik}$	43
Gambar 16.	Profil Melintang Kecepatan Aliran dengan Debit $0.01 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada (a) Segitiga 30° , (b) Segitiga 45° , (c) Segitiga 60°	44
Gambar 17.	Hubungan Kecepatan Aliran terhadap Jarak Saluran dengan pada Profil Memanjang Debit $0.015 \text{ m}^3/\text{detik}$	47

Gambar 18. Profil Melintang Kecepatan Aliran dengan Debit $0.015 \text{ m}^3/\text{detik}$ pada (a) Segitiga 30° , (b) Segitiga 45° , (c) Segitiga 60°	48
Gambar 19. Profil Memanjang Bilangan Froude pada Debit $0.005 \text{ m}^3/\text{detik}$	51
Gambar 20. Profil Memanjang Bilangan Froude pada Debit $0.01 \text{ m}^3/\text{detik}$	54
Gambar 21. Profil Memanjang Bilangan Froude pada Debit $0.01 \text{ m}^3/\text{detik}$	56
Gambar 22. Profil Memanjang Kecepatan Aliran Plat Segitiga 30° untuk Tiga Jenis Debit.....	58
Gambar 23. Profil Memanjang Kecepatan Aliran Plat Segitiga 45° untuk Tiga Jenis Debit.....	58
Gambar 24. Profil Memanjang Kecepatan Aliran Plat Segitiga 60° untuk Tiga Jenis Debit.....	59
Gambar 25. Kestabilan Perhitungan Komputasi dengan Nays2DH.....	60

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Fluida didefinisikan zat yang dapat mengalir, dimana fluida juga memiliki sifat yang bentuknya yang selalu berubah dan mengikuti bentuk wadah. Pemberian gaya pada fluida akan membuat fluida mengalami deformasi selama gaya tersebut bekerja (Suripin, 2019). Hidraulika merupakan ilmu yang mempelajari mengenai aliran air melalui saluran. Saluran air terbagi menjadi 2 yaitu saluran terbuka dan saluran tertutup (Kimi, 2015). Aliran air pada saluran terbuka dan tertutup dapat mengungkap banyak fenomena hidraulika yang terjadi, seperti pola aliran, kecepatan aliran, dan bilangan froude.

Perubahan aliran pada saluran diakibatkan adanya perubahan bentuk penampang ataupun perubahan bentuk dari saluran. Hal ini juga akan berpengaruh terhadap tinggi muka air dan perubahan kecepatan aliran (Suciana, 2016). Namun, parameter lain yang dapat mempengaruhi kecepatan aliran adalah lintang saluran, kekasaran, kemiringan dasar, belokan, hambatan serta debit aliran dan lain sebagainya (WAHAB & ADRIAN, 2021). Kecepatan aliran juga berpengaruh terhadap pola aliran.

Perubahan yang terjadi pada aliran pada saluran akibat pemberian hambatan plat apabila terdapat bangunan air berdiri di dasar saluran, maka akan terdapat perubahan pola aliran di sekitar bangunan (Kimi, 2015). Hal tersebut dapat mengakibatkan potensi perubahan kecepatan dan pola aliran pada sekitar struktur bangunan. Pembendungan dengan hambatan pada saluran merupakan salah satu cara alternatif yang berfungsi untuk meredam energi yang datang di sepanjang saluran.

Bentuk hambatan tersebut mempengaruhi struktur turbulen dari mengalir karena struktur turbulen dapat mempengaruhi perilaku pengendapan arus kekeruhan seperti suspensi sedimen (Toniolo, Parker, Voller, & Beaubouef, 2006). Pada saluran air, kecepatan aliran sangat penting dari

berbagai perspektif karena memainkan peran penting dalam pengangkutan sedimen di dasar saluran, danau, laut dan laut dalam dan dengan demikian kendali kecepatan aliran sangat signifikan terutama yang terjadi di dasar saluran berupa kecepatan gesek dasar (Khavasi, Jamshidnia, Firoozabadi, & Afshin, 2012).

Struktur plat segitiga yang diletakkan pada sebuah saluran yang tegak lurus terhadap arah aliran air dapat mengubah pola kecepatan yang terjadi di sekitar bangunan akan berubah (Rombebunga, Lopa, & Bakri, 2021). Penelitian ini mempertimbangkan kemiringan sudut hambatan plat segitiga dan debit air yang masuk sehingga pengaruh pola dan kecepatan aliran yang terjadi setelah aliran melalui hambatan plat segitiga dapat diketahui. Hal ini membuat perlu untuk mempelajari dan meneliti penyebaran pola aliran yang nantinya dapat dipakai.

Dengan demikian penelitian ini ditujukan untuk mengetahui efek hambatan segitiga pada struktur aliran arus kerapatan secara eksperimental diselidiki dengan menggunakan iRIC yang mampu mengukur kecepatan sesaat di setiap titik dalam ruang dalam dua dimensi. Perangkat lunak iRIC adalah platform simulasi numerik yang mendukung berbagai pemecah komputasi untuk masalah dalam ilmu dan teknik air (Shimizu, Inoue, Hamaki, & Iwasaki, 2011). Dalam penelitian ini akan memperlihatkan dan menunjukkan sebuah fenomena dan analisa mengenai penyebaran aliran yang melewati sebuah hambatan berbentuk plat segitiga yang memiliki variasi sudut dan debit menggunakan program bantu iRIC sehingga didapatkan pola aliran pada saluran terbuka.

Berdasarkan uraian di atas, maka perlu dilakukan penelitian untuk mempelajari Pola Penyebaran Aliran pada Model Hambatan Segitiga dengan Simulasi Komputasi.

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat ditetapkan rumusan-rumusan sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh kemiringan hambatan plat segitiga terhadap pola penyebaran aliran pada saluran terbuka menggunakan software iRIC
2. Bagaimana pengaruh bilangan Froude terhadap pola penyebaran aliran dengan perletakan hambatan plat segitiga pada saluran terbuka menggunakan software iRIC

C. Tujuan Penelitian

1. Menganalisa pengaruh kemiringan hambatan plat segitiga terhadap pola penyebaran aliran pada saluran terbuka menggunakan software iRIC
2. Menganalisa pengaruh bilangan Froude terhadap pola penyebaran aliran dengan perletakan hambatan plat segitiga pada saluran terbuka menggunakan software iRIC

D. Manfaat Penelitian

1. Dari Hasil penelitian ini diharapkan dapat mengantisipasi kerusakan yang terjadi pada bangunan air akibat dari pola aliran
2. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat dimanfaatkan sebagai salah satu alternative dalam menganalisis penyebaran pola aliran.
3. Untuk kajian dan pengembangan ilmu pengetahuan tentang pengaplikasian software iRIC model Nays2DH dalam menganalisis permasalahan pola penyebaran aliran.
4. Menjadi tambahan referensi untuk penelitian model hambatan pada saluran terbuka.

E. Batasan Masalah

Demi tercapainya penelitian yang diinginkan maka perlu untuk memberikan batasan masalah dalam penelitian. Batasan masalah ini diberikan agar pembahasan tidak meluas ruang lingkupnya sehingga tujuan dari penulisan dapat tercapai.

Batasan masalah yang digunakan sebagai ruang lingkup dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

- a. Penelitian ini menggunakan software i-Ric: Nays-2Dh 3.0.
- b. Permodelan Hambatan Segitiga yang digunakan yaitu sudut 30° , 45° , dan 60° dengan tinggi konstan diletakkan 3 m dari hulu saluran.
- c. Saluran pada simulasi diasumsikan menggunakan material kaca dengan koefisien *manning* 0.01.

F. Sistematika Penulisan

Secara umum penulisan tesis ini terbagi dalam lima bab. Adapun sistematika penulisan tesis ini adalah sebagai berikut :

BAB I. PENDAHULUAN

Pendahuluan menyajikan gambaran secara singkat dan jelas tentang latar belakang mengapa penelitian ini perlu dilaksanakan. Dalam pendahuluan ini juga memuat rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan.

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab berisi mengenai konsep teori yang digunakan sebagai landasan atau acuan penelitian dan memberikan gambaran mengenai metode pemecahan masalah yang akan digunakan pada penelitian ini.

BAB III. METODE PENELITIAN

Bab ini menyajikan lokasi penelitian, variabel penelitian, data yang digunakan dalam penelitian dan tahapan perancangan simulasi dan penyajian bagan alir penelitian.

Bab IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini menguraikan hasil-hasil yang diperoleh dari proses penelitian dan hasil pembahasannya.

Bab V. KESIMPULAN

Bab ini memuat kesimpulan mengenai hasil analisa yang diperoleh dan saran-saran mengenai keseluruhan penelitian maupun untuk penelitian yang akan datang.

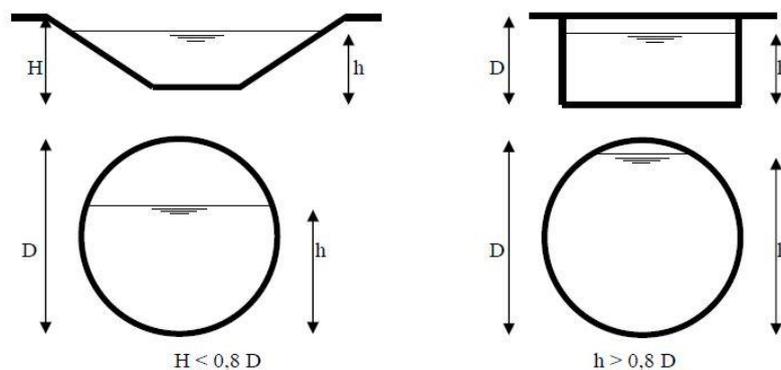
BAB II TINJAUAN PUSTAKA

A. Saluran Terbuka

Saluran adalah suatu sarana untuk mengalirkan fluida dari suatu tempat ketempat yang lain, saluran yang mengalirkan air dengan suatu permukaan bebas

Saluran terbuka adalah saluran dimana air mengalir dengan muka air bebas. Pada semua titik disepanjang saluran, tekanan di permukaan air adalah sama, yang biasanya adalah tekanan atmosfer. Pengaliran melalui suatu pipa (saluran tertutup) yang tidak penuh (masih ada muka air bebas) masih termasuk aliran melalui saluran terbuka (Triatmodjo, 2013).

Aliran air dalam suatu pipa dapat berupa aliran saluran terbuka (*open channel flow*) maupun aliran pipa (*pipe-flow*). Kedua jenis aliran itu banyak memiliki kesamaan tetapi juga banyak memiliki perbedaan. Jika dibandingkan, aliran saluran terbuka harus memiliki permukaan bebas (*free surface*), sedangkan aliran pipa tidak memiliki itu karena aliran harus mengisi seluruh saluran. Selain itu, permukaan bebas pada aliran saluran terbuka dipengaruhi oleh tekanan udara, sedangkan pada aliran-pipa yang alirannya terkurung di pipa tidak langsung dipengaruhi tekanan udara karena salurannya tertutup kecuali tekanan hidrolis. Berikut adalah Skema Kedua aliran tersebut



Sumber : Mekanika Fluida dan Hidrolika, 2005.

Gambar 1. Saluran Terbuka dan Saluran Tertutup

Saluran terbuka dapat diklasifikasikan berdasarkan asal-usulnya dan konsistensi bentuk penampang dan kemiringan dasar. Klasifikasi saluran terbuka berdasarkan asal-usulnya, sebagai berikut :

1. Saluran alam (*natural channel*), yaitu saluran yang terbentuk secara alami tanpa campur tangan manusia. Contoh : sungai-sungai kecil di daerah hulu (*pegunungan*) hingga sungai besar di muara.
2. Saluran buatan (*artificial channel*), yaitu saluran yang dibuat dan direncanakan oleh manusia. Contoh: saluran drainase tepi jalan, saluran irigasi untuk mengairi persawahan, saluran pembuangan, saluran untuk membawa air ke pembangkit listrik tenaga air, saluran untuk *supply* air minum, dan saluran banjir.

B. Debit Aliran

Aliran yang mengalir pada waktu yang sama, pasti akan terdapat persamaan kontinuitas didalamnya, yang dimana debit masuk itu setara dengan yang keluar. Hal ini memungkinkan dimana variasi kecepatan akan mengikuti memenuhi luasan permukaan basah dari suatu saluran.

Dalam menentukan debit aliran (Q) pada suatu penampang saluran dapat dihitung menurut rumus *Velocity Area* dengan persamaan :

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

dengan :

$$Q = \text{Debit Aliran (m}^3/\text{s)}$$

$$V = \text{Kecepatan rata-rata (m/s)}$$

$$A = \text{Luas penampang basah (m}^2\text{)}$$

Dalam menghitung luas penampang saluran, maka rumus yang digunakan :

$$A = b \cdot h \quad (2)$$

dengan :

A = Luas penampang basah (m^2)

b = Lebar saluran (m)

h = tinggi saluran (m)

Dalam menghitung kecepatan rata-rata, menggunakan rumus

$$v = \frac{Q}{b \times h} \quad (3)$$

dimana :

v = kecepatan rata-rata (m/s)

Q = debit (m^3/s)

b = lebar saluran (m)

h = tinggi saluran (m)

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 :

Azas Kontinuitas:

$$Q_{\text{masuk}} = Q_{\text{keluar}} \quad (4)$$

$$Q = V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \quad (5)$$

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

Persamaan tersebut tidak dapat digunakan apabila aliran tetap tidak seragam (*non uniform*) di sepanjang saluran, apabila air mengalir keluar atau masuk disepanjang arah aliran. Jenis aliran ini dikenal sebagai aliran berubah beraturan (*spatially varied flow*) atau tidak kontinyu (*discontinuous flow*) misalnya terdapat pada saluran pembawa pada irigasi, saluran pembuang, pelimpah luapan samping, air pembilas dari penyaringan, dan terdapat pada selokan

C. Karakteristik Aliran

Menurut Triatmodjo (2015) Karakteristik aliran air dapat dibedakan menjadi beberapa jenis aliran sebagai berikut;

1. Aliran permanen dan Aliran tidak permanen

Aliran permanen (*steady flow*) adalah aliran yang sepanjang waktu variabel-variabelnya konstan atau tidak mengalami perubahan. Kondisi tersebut dapat dinyatakan sebagai berikut

$$\frac{\partial f}{\partial t} = 0 \quad (6)$$

dimana :

∂f = perubahan komponen aliran

∂t = perubahan waktu

Aliran tidak permanen (*unsteady flow*) adalah aliran yang sepanjang waktu variabelnya tidak konstan atau mengalami perubahan.

$$\frac{\partial f}{\partial t} \neq 0 \quad (7)$$

2. Aliran seragam dan Aliran tidak seragam

Aliran seragam (*uniform flow*) merupakan kecepatan aliran pada suatu waktu tertentu tidak berubah sepanjang saluran, dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$\frac{\partial f}{\partial x} = 0 \quad (8)$$

dimana:

∂f = perubahan komponen aliran

∂x = perubahan jarak

Namun, jika kecepatan aliran pada saat tertentu berubah terhadap jarak, maka aliran disebut aliran tidak seragam atau berubah (*nonuniform flow*).

$$\frac{\partial f}{\partial x} \neq 0 \quad (9)$$

Berdasarkan laju perubahan kecepatan terhadap jarak, maka aliran dapat diklasifikasikan menjadi aliran berubah lambat laun (*gradually varied flow*) atau aliran berubah tiba-tiba (*rapidly varied flow*)

3. Aliran Subkritis, Kritis, dan Superkritis

Bilangan Froude adalah angka nondimensional hubungan antara gaya inerti dan gaya gravitasi pada aliran air. Froude seorang ilmuwan Inggris mengamati bahwa hambatan sebuah perahu ketika ditarik dalam air, jumlah gelombang yang terjadi akan sama jika perbandingan kecepatan perahu terhadap akar panjang gelombangnya sama. Dalam hidrolika panjang gelombang adalah sama dengan kedalaman hidrolik. (modul hidrolika sungai, 2017)

Tipe aliran dapat juga dibedakan berdasarkan tingkat kekritisannya berdasarkan bilangan Froude yaitu:

- a. Aliran kritis, jika bilangan Froude sama dengan satu ($Fr=1$) dan gangguan permukaan misal, akibat riak yang terjadi akibat batu yang dilempar ke dalam sungai tidak akan menyebar melawan arus.
- b. Aliran Subkritis, jika bilangan Froude lebih kecil dari satu ($Fr<1$). Untuk aliran subkritis, kedalaman biasanya lebih besar dan kecepatan aliran rendah
- c. Aliran Superkritis, jika bilangan Froude lebih besar dari satu ($Fr>1$). Untuk aliran superkritis, kedalaman aliran relatif lebih kecil dan kecepatan relatif tinggi. (Triatmodjo, 2013)

$$Fr = \frac{v}{\sqrt{g \cdot D}} \quad (10)$$

dimana,

Fr = Angka Foude

v = Kecepatan aliran (m/s)

g = Percepatan gravitasi 9,81 (m/s²)

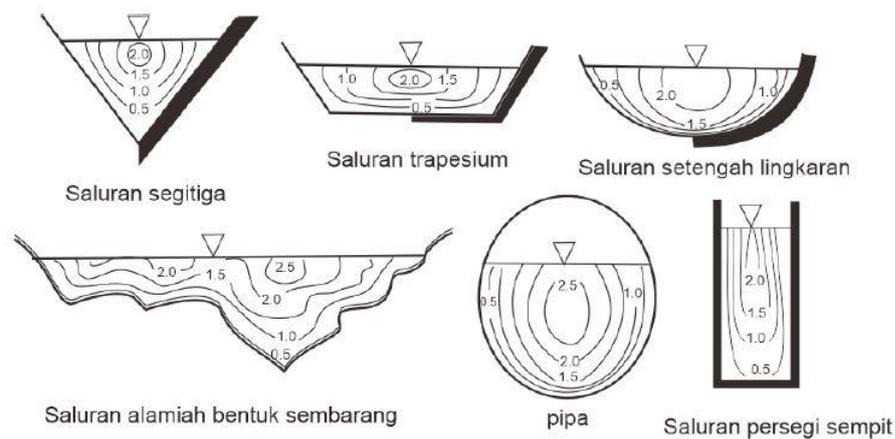
D = Kedalaman Hidraulik (m)

D. Distribusi Kecepatan Aliran

Secara umum distribusi kecepatan yang terjadi pada kondisi aliran permanen yang seragam (*steady uniform flow*) di saluran terbuka dengan penampang prismatis. Pada saluran prismatic yang simetris, kecepatan aliran maksimum pada arah transversal selalu terjadi di tengah saluran.

Distribusi kecepatan saluran terbuka tergantung pada banyak faktor seperti bentuk saluran, kekasaran manning dan debit aliran. Distribusi kecepatan pada saluran tidak selalu sama pada satu penampang (Triatmodjo, 2013)

Kecepatan terbesar terletak pada bagian tengah kanal dan bagian atas dari bagian terdalam saluran. Dalam menggunakan alat ukur kecepatan pengetahuan mengenai distribusi kecepatan ini sangat penting. Hal ini berkaitan dengan penentuan kecepatan aliran yang dapat dianggap mewakili rata-rata kecepatan pada bidang tersebut.



Gambar 2. Distribusi Kecepatan pada Berbagai Bentuk Potongan

E. Koefisien Manning

Kecepatan Manning dikemukakan oleh seorang insinyur Irlandia bernama Robert Manning (1880). Bentuk dari rumus ini adalah:

$$v = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S_o^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

dimana :

v = Kecepatan rata-rata (m/s)

R = Jari-jari hidraulis (m)

n = koefisien manning

S_o = kemiringan saluran

Suatu saluran tidak harus memiliki satu nilai Kekasaran (n) saja untuk setiap keadaan. Sebenarnya nilai kekasaran sangat bervariasi dan tergantung pada berbagai faktor. Dalam memilih nilai n yang sesuai untuk berbagai kondisi perancangan 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 sebagai berikut (Sadad, 2018):

1. Kekasaran Permukaan, yang 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 factor utama lainnya. Secara umum dikatakan bahwa butiran halus mengakibatkan nilai n yang relatif rendah dan butiran kasar memiliki nilai n yang tinggi.
2. Tetumbuhan, digolongkan sebagai jenis kekasaran permukaan, tetapi hal ini juga memperkecil kapasitas saluran dan menghambat aliran.
3. Ketidakteraturan saluran, mencakup pula ketidakteraturan keliling basah dan variasi penampang, ukuran dan bentuk di sepanjang saluran.
4. Trase saluran, kelengkungan yang landai dengan garis tengah yang besar akan mengakibatkan nilai n yang relatif rendah, seadngkan kelengkungan yang tajam dengan belokan-belokan yang patah akan memperbesar nilai n .

5. Hambatan, adanya balok sekat, pilar jembatan dan sejenisnya cenderung memperbesar n . Besarnya kenaikan ini tergantung pada sifat alamiah hambatan, ukuran, bentuk, banyaknya dan penyebarannya.
6. Taraf air dan debit, nilai n pada saluran umumnya berkurang bila taraf dan debitnya bertambah. Bila air rendah, ketidakrataan dasar saluran akan menonjol dan efeknya kelihatan. Namun nilai n dapat pula besar pada taraf air yang tinggi bila dinding saluran kasar dan berumput.

Tabel 1. Koefisien Kekasaran Manning Berdasarkan Bahan Saluran

Bahan	Koefisien Manning (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 berdasarkan Tipe Saluran dan Jenis Bahan Saluran

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
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
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	0.080
	• Dataran banjir berumput pendek-tinggi	0.025	0.030	0.035
• Saluran di belukar	0.035	0.050	0.070	

Sumber: Bambang Triatmojo, Hidraulika II

F. Metode Numerik

Permasalahan dalam bidang ilmu pengetahuan dan teknologi dapat digambarkan dalam bentuk persamaan matematika. Untuk menyelesaikan permasalahan matematis tersebut, dibutuhkan suatu metode yang dinamakan metode numeric. Menurut Bambang Triatmodjo metode numerik adalah teknik untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan yang diformulasikan secara matematis dengan cara operasi hitungan (aritmatika). Dalam metode numerik terdapat beberapa bentuk proses perhitungan yang berulang-ulang dan sangat banyak, oleh karena itu diperlukan bantuan komputer untuk melaksanakan operasi hitungan tersebut.

Di bidang teknik formulasi metode numerik terdapat beberapa bentuk persamaan yaitu, persamaan diferensial biasa dan persamaan diferensial parsial. Dimana dalam penelitian ini penyelesaian perhitungan menggunakan persamaan diferensial parsial sebagai perhitungan dinamika fluida.

1. Persamaan Diferensial Parsial

Persamaan diferensial parsial adalah persamaan yang memiliki turunan fungsi dua atau lebih variabel bebas (Dafik, 2009). Variabel bebas tersebut dapat berupa waktu (t) atau koordinat (x dan y) yang terdapat dalam persamaan tersebut. Bentuk sederhana dari persamaan diferensial parsial dapat dituliskan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\partial y}{\partial t} = \frac{\partial^2 y}{\partial x^2} \quad (12)$$

Dimana x dan t merupakan variabel bebas, dan y merupakan variabel tidak bebas.

Ada beberapa macam bentuk persamaan diferensial parsial yang digunakan dalam menyelesaikan masalah matematis sebagai berikut :

a. Persamaan *Ellips*

Persamaan *Ellips* biasanya berhubungan dengan masalah keseimbangan atau aliran permanen seperti aliran air tanah.

b. Persamaan Parabola

Persamaan yang menandung variabel waktu sebagai variabel bebas. Contoh persamaan parabola adalah perambatan panas.

c. Persamaan Hiperbola

Persamaan yang berhubungan dengan permasalahan saat terjadinya (*discontinue*) dalam waktu. Contoh dari persamaan ini ialah persamaan gelombang.

Dalam penyelesaian persamaan diferensial parsial, ada beberapa metode yang digunakan. Metode-metode tersebut antara lain sebagai berikut.

1. *Finite Difference Method* (Metode Beda Hingga)
2. *Finite Element Method* (Metode Elemen Hingga)
3. *Finite Volume Method* (Metode Volume Hingga)

Perbedaan dari ketiga metode penyelesaian ini ada pada solusi diskritisasi yang didapatkan. Dalam penyelesaian masalah penelitian menggunakan metode beda hingga dalam penyelesaian persamaan diferensial parsial.

2. *Boundary Condition dan Initial Condition*

Untuk menyelesaikan metode numerik dalam perhitungan dinamika fluida, diperlukan suatu kondisi yang mengatur agar didapatkan solusi yang diharapkan. Kondisi tersebut yaitu kondisi batas (*Boundary Condition*) dan kondisi awal (*initial condition*).

Kondisi batas (*boundary condition*) merupakan suatu kondisi yang digunakan dalam menyelesaikan permasalahan nilai batas. Adapun kondisi awal (*initial condition*) merupakan kondisi dan/atau nilai variabel pada saat awal perhitungan yang umumnya pada saat $t = 0$ (Polyanin, 1996).

Ada dua kondisi dalam penyelesaian persamaan diferensial parsial, yaitu *well-posed problem* dan *ill-posed problem*. Suatu persamaan diferensial parsial dikatakan *well-posed problem* jika kondisi awal dan kondisi batas yang diberikan memiliki solusi yang tunggal, namun jika tidak memberikan solusi yang tunggal maka akan menjadi *ill-posed problem* (Maulidi, 2018).

Terdapat dua tipe *boundary condition* yang biasa digunakan dalam penyelesaian persamaan diferensial yaitu sebagai berikut :

1. *Dirichlet Boundary Condition*

Kondisi batas *Dirichlet* dibuat oleh Johann Peter Gustav Lejeune Dirichlet (1805 - 1859) dalam penyelesaian persamaan Laplace untuk mencari fungsi harmonic. Jika diberikan persamaan diferensial parsial orde 2 pada domain $D \in R^n$ dengan himpunan semua titik batas domain dinyatakan dengan C , maka *Boundary Condition* dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut.

$$u = \bar{u} \text{ pada } C \quad (13)$$

dimana,

u = fungsi yang tidak diketahui

\bar{u} = fungsi yang telah diketahui

Contoh penggunaan *Dirichlet Boundary Condition* pada perhitungan dinamika fluida ialah pada dinding solid suatu saluran dengan kondisi tanpa-selip dan tidak ada penetrasi, kecepatan aliran fluida sama dengan kecepatan pergerakan dinding tersebut. Dengan kata lain, jika kondisi dinding tidak bergerak maka kecepatan fluida pada dinding tersebut adalah sama dengan 0.

2. *Neumann Boundary Condition*

Kondisi batas Neumann merupakan pengembangan dari Dirichlet Boundary yang ditemukan oleh Carl Magnus Neumann (1832 – 1925). Kondisi batas ini menambahkan persamaan tambahan untuk mencari nilai pada suatu batas. Boundary Condition dapat dinyatakan dalam persamaan sebagai berikut :

$$\frac{\partial u}{\partial n} = \bar{u}_n \text{ pada } C \quad (14)$$

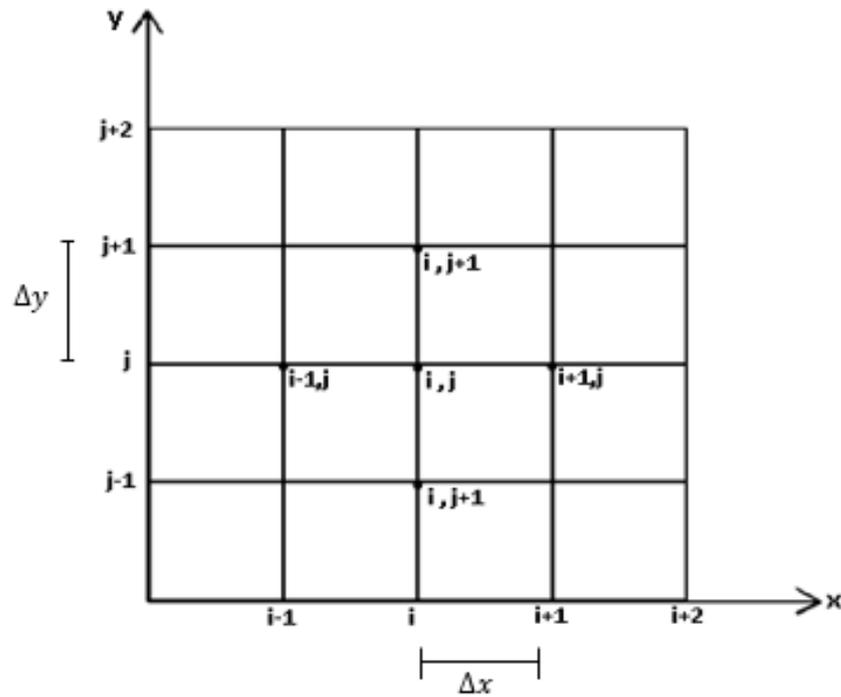
dimana,

n = vektor normal arah keluar terhadap C

Contoh dari penggunaan *Neumann Boundary Condition* ialah jika kecepatan tidak merubah bagian hilir aliran, maka dapat diasumsikan bahwa turunan kecepatan arah x adalah 0.

3. Metode Beda Hingga

Bentuk beda hingga adalah jaring titik hitungan pada bidang x-y yang dapat dibagi menjadi sejumlah pias segi empat (*grid*) dengan sisi Δx dan Δy . Dengan menggunakan jaring titik hitung (i, j) sebagai berikut :



Gambar 3. Grid Titik Hitungan pada X dan Y

Mengubah persamaan diferensial parsial menjadi persamaan beda hingga pada titik hitung (i, j)

- Diferensial Maju (Forward)

Terhadap x :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} \approx \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i,j}}{\Delta x} \quad (15a)$$

Terhadap y :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} \approx \frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j}}{\Delta y} \quad (15b)$$

- Diferensial Mundur (Backward)

Terhadap x :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} \approx \frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i-1,j}}{\Delta x} \quad (16a)$$

Terhadap y :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} \approx \frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i,j-1}}{\Delta y} \quad (16b)$$

- Diferensial Terpusat

Terhadap x :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial x} \approx \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i-1,j}}{2\Delta x} \quad (17a)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} \approx \frac{\varphi_{i-1,j} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i+1,j}}{\Delta x^2} \quad (17b)$$

Terhadap y :

$$\frac{\partial \varphi}{\partial y} \approx \frac{\varphi_{i,j+1} - \varphi_{i,j-1}}{2\Delta y} \quad (18a)$$

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} \approx \frac{\varphi_{i,j-1} - 2\varphi_{i,j} + \varphi_{i,j+1}}{\Delta y^2} \quad (18b)$$

- Diferensial Melintang

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x \partial y} \approx \frac{\varphi_{i+1,j+1} - \varphi_{i-1,j+1} - \varphi_{i+1,j-1} + \varphi_{i-1,j-1}}{4\Delta x \Delta y} \quad (19)$$

Dimana φ merupakan suatu fungsi polynomial.

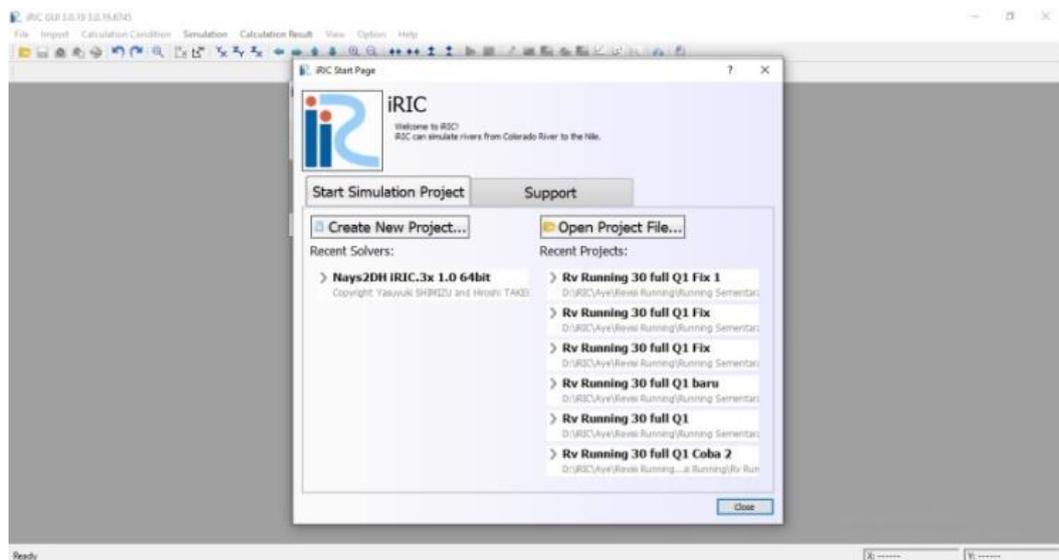
G. Validasi

Validasi data dilakukan dengan membandingkan simulasi dengan teoritis, dimana persen (%) penyimpangan diharapkan sekecil mungkin tanpa menyebutkan batasan penyimpangan.

Keakuratan metode numerik yang digunakan untuk merepresentasikan Saluran tergantung pada banyak faktor, misalnya, keakuratan kondisi batas, numerik presisi dari diskritisasi persamaan yang mengatur (*metode finite difference, metode finite volume, metode finite element*), dan kebenaran kode computer yang dihasilkan.

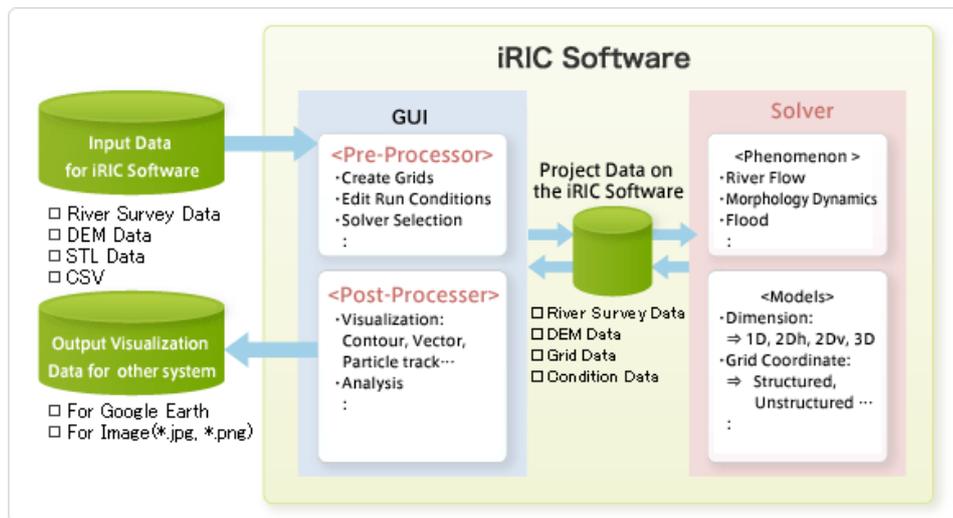
H. Software iRIC

iRIC (*International river interface cooperative*) adalah software simulasi numerik analisis aliran komputasi untuk masalah dalam ilmu teknik keairan. Perangkat lunak ini digunakan untuk menganalisis morfodinamika, prediksi banjir, curah hujan limpasan, tsunami, aliran debris yang dikembangkan USGS dan iRicNays melalui *Foundation of Hokkaido River Disaster Prevention Research Center* (i-ric.org).



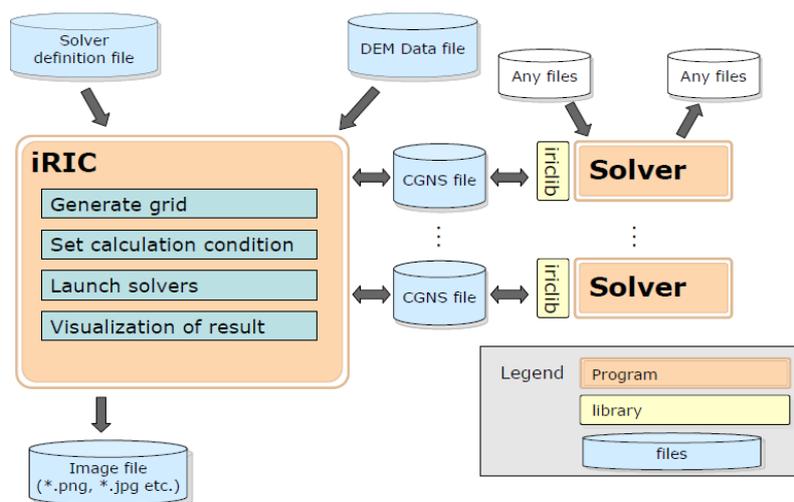
Gambar 4. Software iRIC

Aplikasi perangkat lunak *The International River Interface Cooperative* (iRIC) menyediakan ruang simulasi yang terintegrasi. iRIC menyediakan lingkungan yang komprehensif dan terpadu di mana data yang diperlukan oleh pemecah analisis dapat dihimpun, disimulasikan dan hasil analisis simulasi dapat divisualisasikan. Secara umum pengoperasian simulasi menggunakan software i-
RIC mempunyai tiga tahapan utama, yaitu pre-processing, solver, dan post-processing.



Sumber : modul I-ric

Gambar 5. Bagan Pengoperasian Software iRIC



Gambar 6. Struktur umum model iRIC (Nelson et al, 2016)

Software iRIC mempunyai banyak fungsi sebagai problem solver yang dimiliki, sehingga metode penggunaannya bergantung pada software yang dipilih

1. Software iRIC Nays2DH

Nays2DH adalah modul komputasi dua dimensi (2D) simulasi aliran, transpor sedimen, perubahan morfologi dasar dan tepi sungai hasil gabungan komputasi Nays2D dan Morpho2D.

Nays2D dikembangkan oleh Dr. Yasuyuki Shimizu dari Hokkaido University merupakan ahli bidang 2D untuk menganalisis aliran, transportasi sedimen, evolusi lapisan dan erosi tepi di sungai. Juga pada beberapa model simulasi seperti evolusi dasar sungai akibat pengaruh vegetasi, perhitungan dan prediksi genangan pada dataran banjir, sedimentasi pada pertemuan sungai, analisis erosi tepi sungai, dan sebagainya.

Morpho2D adalah solver yang digunakan untuk mensimulasikan perubahan morfologi sungai secara dua dimensi. Morpho2D dapat menghitung beberapa kemungkinan dalam simulasi perubahan morfologi sungai dengan sedimen seragam dan beragam serta mensimulasikan perkembangan ambang sungai dengan menggolongkan partikel sedimen pada dasar sungai.

Pada dasarnya kedua *solver* ini sama-sama berbasis dua dimensi sehingga dikembangkanlah *solver* Nays2DH agar pengguna dapat memilih model transportasi sedimen berdasarkan fungsi yang diimplementasikan pada kedua *solver*.

Pada Nays2DH solver manual (2014) membagi gerak aliran menjadi dua sistem koordinat yaitu sistem koordinat ortogonal (x,y) dan sistem koordinat kurvalinear atau moving boundary fitted coordinates (MBFC). Persamaan dasar aliran dalam koordinat orthogonal.

2. Persamaan dasar iRIC Nays2DH

Pada Nays2DH solver manual (2014) membagi gerak aliran menjadi dua sistem koordinat yaitu sistem koordinat ortogonal (x,y) dan sistem koordinat kurvalinear atau moving boundary fitted coordinates (MBFC).

a. Persamaan dasar aliran

Persamaan dasar dalam sistem koordinat orthogonal (x,y) adalah sebagai berikut :

Persamaan Kontinuitas

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = 0 \quad (20)$$

dimana,

- h = Kedalaman air
- t = waktu
- u = kecepatan rata-rata pada arah x
- v = kecepatan rata-rata pada arah y

Persamaan momentum dalam arah x dan y

$$\frac{\partial(uh)}{\partial t} + \frac{\partial(hu^2)}{\partial x} + \frac{\partial(huv)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial x} - \frac{\tau_x}{\rho} + D^x \quad (20a)$$

$$\frac{\partial(vh)}{\partial t} + \frac{\partial(huv)}{\partial x} + \frac{\partial(hv^2)}{\partial y} = -gh \frac{\partial H}{\partial y} - \frac{\tau_y}{\rho} + D^y \quad (20b)$$

dengan

$$\frac{\tau_x}{\rho} = C_f u \sqrt{u^2 + v^2} \quad (21a)$$

$$\frac{\tau_y}{\rho} = C_f v \sqrt{u^2 + v^2} \quad (21b)$$

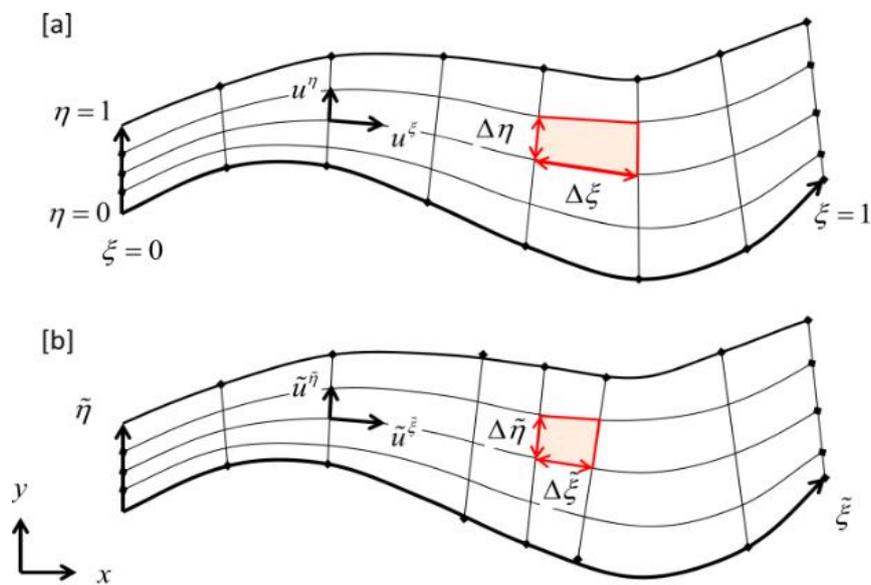
$$D^x = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t h \frac{\partial u}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t h \frac{\partial u}{\partial y} \right] \quad (22a)$$

$$D^y = \frac{\partial}{\partial x} \left[v_t h \frac{\partial v}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[v_t h \frac{\partial v}{\partial y} \right] \quad (22b)$$

dimana:

- g = gaya gravitasi
- τ = tegangan geser
- F = gaya tarik akibat vegetasi
- C_f = koefisien tegangan geser dasar
- V_t = koefisien viskositas pusaran

Persamaan kontinuitas dan persamaan momentum diatas masih dalam system koordinat orthogonal. Perhitungan persamaan kontinuitas dan persamaan momentum pada simulasi pemodelan memiliki berbagai bentuk grid sehingga untuk mempermudah perhitungan persamaan tersebut perlu diubah ke sistem koordinat kurvalinear atau bisa disebut juga *moving boundary fitted coordinates* (MBFC) (Sarkawt, 2017).



Gambar 7. Sistem Koordinat MBFC Non Dimensional

I. Matriks Penelitian Terdahulu

Tabel 3, Matriks Penelitian Terdahulu

No.	Nama Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Hadi Rohmanto (2021)	Analisis Pola Aliran Saluran Terbuka Dengan Hambatan Persegi Panjang, Bulat, Segitiga, Dan Wing	Penelitian dilakukan di laboratorium Universitas Indonesia dengan memakai model saluran terbuka terbuat dari kaca dengan tinggi 535cm, lebar 855cm serta ketebalan kaca 5mm.	Suatu aliran yang tidak memiliki hambatan maka pola alirannya uniform (<i>seragam</i>) dan laminar (<i>teratur</i>), suatu aliran uniform (<i>seragam</i>) yang diberi hambatan maka akan berubah sifat menjadi non uniform (<i>tidak seragam</i>), suatu aliran laminar (<i>teratur</i>) yang diberi hambatan maka akan berubah sifat menjadi turbulen (<i>tidak teratur</i>), faktor yang mempengaruhi pola aliran pada saluran terbuka adalah penampang saluran dan bentuk benda perintang
2.	Muhammad Taufiq Iqbal dan Zulvyah (2018)	Studi Kecepatan Aliran Air dengan Menggunakan Tabung Pitot	Metode pengumpulan data dalam penelitian ini, yakni : Penelitian pustaka, dengan membaca sejumlah buku, literatur-literatur serta hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan masalah perhitungan ini [3],[4]. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode experimental laboratorium dengan menggunakan alat ukur tabung pitot untuk pengambilan data kecepatan	Distribusi Kecepatan air dalam flume dalam penampang melintang bervariasi dalam sistem grid. Nilai kecepatan aliran semakin ke atas diperoleh kondisi maksimal pada 0.86d

Lanjutan Tabel 3

No.	Nama Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
3.	Sina Yaghoubi1. dkk.(2016).	"Experimental Investigation of the Effect of Inlet Concentration on the Behavior of Turbidity Currents In the Presence of Two Consecutive Obstacle". American society of Civil Engineering	Percobaan dilakukan dengan panjang saluran 12 m, lebar 0,2 dan Tinggi 0,6 m. kemiringan saluran 1% untuk membuat fluida padat air dicampur dengan partikel kaolin dengan massa jenis 2.649 kg/m ³ dicampur dalam tangki suplai. Tangki suplai ditempatkan di ketinggian 2.5 m diatas tanah. Untuk mendapatkan nilai kecepatan digunakan alat ukur ADV Nortek MHz. data dikumpulkan selama 35 sampai 45 detik disetiap titik, pada tingkat pengambilan sambil maksimum yang tersediayaitu 25 Hz. Dalam tiap percobaan, profil kecepatan dan konsentrasi diukur pada 4 m, 4.5 m, 5 m, 5.5 m, 6 m, 6.5 m, 7 m, dan 7,5 m. hambatan plat segitiga digunakan ada dua.	Hasilnya menunjukkan bahwa wilayah dengan kecepatan yang dapat diabaikan dan konsentrasi penting berkembang di hulu setiap hambatan, dan dengan meningkatnya konsentrasi saluran masuk, wilayah ini menjadi lebih besar, dan oleh karena itu pengendapan sedimen meningkat. bahwa efisiensi hambatan-hambatan retensi sedimen meningkat dengan peningkatan konsentrasi arus masuk.

Lanjutan Tabel 3

No.	Nama Penulis	Judul	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
4.	Ehsan Khavasi dkk. (2012)	<i>“Experimental investigation of flow structure of a density current encountering a basal obstacle”</i> . Sharif University of Technology Iran	Pengukuran dimulai dari bagian atas arus dan dilanjutkan dengan mencelupkan probe sampai semua posisi yang diinginkan tercakup. Sekitar 14 posisi dipertimbangkan untuk mendapatkan profil kecepatan di setiap stasiun. Pertama, aliran diukur agar tidak ada hambatan. Pada tahap selanjutnya segitiga sama kaki yang terbuat dari Plexiglas dengan tinggi $S_o = 6$ cm ditempatkan pada $x = 4,5$ m sebagai penghalang.	Jika tidak ada hambatan, perubahan jumlah aliran Froude lokal tampaknya tidak terlalu besar tetapi dengan adanya hambatan, variasi nomor Froude lokal tampaknya lebih signifikan terhadap ketinggian di hilirnya yang kompatibel dengan perubahan energi kinetik turbulen. Hasil penelitian ini pada gilirannya dapat membantu dalam memprediksi perilaku arus turbiditas yang menghadapi suatu hambatan.
5.	Ira Widyastuti (2020)	Pengaruh Penempatan Struktur Peredam Energi Terhadap Distribusi Kecepatan Gesek Pada Saluran Terbuka	Kondisi aliran menggunakan 3 (tiga) variasi debit (Q), tanpa struktur dan dengan Struktur Peredam Energi (SPE) berbentuk plat segitiga dengan tinggi plat yang ditentukan berdasarkan besarnya rata-rata kecepatan maksimum yang terjadi yaitu $0,6D$ dari rata-rata tinggi muka air adalah setinggi 0.06 m dari dasar saluran.	Kecepatan aliran dalam saluran terbuka biasanya sangat bervariasi dari satu titik ke titik yang lain. Kecepatan aliran memiliki tiga komponen arah menurut koordinat kartesius. Namun komponen arah vertikal dan lateral biasanya kecil dan dapat diabaikan. Sehingga hanya kecepatan aliran yang searah dengan arah aliran yang diperhitungkan.