

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aliran air dangkal merupakan salah satu fenomena penting dalam kajian hidrodinamika yang banyak dijumpai pada sistem perairan seperti sungai, kanal, dan saluran irigasi. Fenomena ini terjadi ketika kedalaman aliran jauh lebih kecil dibandingkan panjang gelombangnya, sehingga dinamika fluida dapat dimodelkan secara efisien menggunakan pendekatan dua dimensi horizontal, bahkan cukup dengan pendekatan satu dimensi. Salah satu model matematis yang umum digunakan untuk merepresentasikan aliran ini adalah Persamaan Air Dangkal (Shallow Water Equations, SWE), yaitu sistem persamaan diferensial parsial yang menggambarkan hukum kekekalan massa dan momentum fluida dalam kondisi kedalaman dangkal [1].

Dalam kondisi nyata, geometri saluran tempat aliran terjadi umumnya tidak seragam. Ketidakteraturan ini tidak hanya mencakup perubahan elevasi dasar saluran (topografi), tetapi juga variasi bentuk dan ukuran penampang, termasuk perubahan lebar saluran secara spasial. Salah satu bentuk variasi geometri yang lazim dijumpai, baik di alam maupun di lingkungan buatan, adalah perubahan lebar saluran baik yang terjadi secara bertahap maupun mendadak seperti akibat penyempitan alami, keberadaan jembatan, atau konstruksi teknis lainnya. Perubahan lebar ini dapat memengaruhi distribusi kecepatan, profil kedalaman, dan perubahan sedimen. Selain itu, kondisi semacam ini juga dapat memicu fenomena hidrodinamika kompleks, seperti refleksi dan transmisi gelombang, penumpukan massa air, hingga terbentuknya daerah kritis yang rentan terhadap erosi atau sedimentasi.

Untuk menghadapi kompleksitas tersebut, dibutuhkan pendekatan numerik yang mampu merepresentasikan variasi geometri saluran dengan akurat dan stabil. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah Metode Volume Hingga (Finite Volume Method, FVM). FVM merupakan pendekatan numerik yang populer dalam pemodelan sistem konservatif seperti Persamaan Air Dangkal (SWE). Keunggulan metode ini terletak pada kemampuannya menjaga konservasi massa dan momentum secara eksplisit melalui proses integrasi dalam volume kontrol [2]. Untuk meningkatkan kestabilan dan akurasi

solusi numerik, digunakan skema grid bertingkat (staggered grid scheme), di mana variabel-variabel utama seperti kecepatan dan kedalaman air didiskretisasi pada titik grid yang berbeda secara spasial. Pendekatan ini telah terbukti efektif dalam berbagai simulasi aliran satu dimensi [3].

Dalam implementasinya, metode volume hingga sering dikombinasikan dengan skema staggered grid, yaitu pendekatan diskretisasi yang menempatkan variabel utama seperti kedalaman dan kecepatan pada titik grid yang berbeda. Penempatan ini dirancang untuk meningkatkan kestabilan numerik dan akurasi hasil perhitungan, serta meminimalkan efek numerik yang tidak diinginkan seperti osilasi buatan [3]. Skema ini sangat cocok diterapkan dalam pemodelan satu dimensi, khususnya pada kasus yang melibatkan geometri saluran tidak seragam, baik yang berubah secara halus maupun mendadak.

Penelitian ini difokuskan pada simulasi numerik aliran air dangkal satu dimensi pada saluran dengan lebar tidak seragam, menggunakan metode volume hingga berbasis staggered grid. Selain mempertimbangkan pengaruh variasi lebar saluran terhadap karakteristik aliran, model yang dikembangkan juga mengikutsertakan perubahan topografi dasar saluran yang bersifat dinamis akibat proses transportasi sedimen. Perubahan ini dimodelkan melalui Persamaan Exner, yang merepresentasikan interaksi antara aliran fluida dan evolusi morfologi dasar saluran. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya menyoroti aspek hidrodinamika, tetapi juga mencakup dinamika morfologi saluran sebagai satu kesatuan sistem. Hasil studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan model numerik yang efisien dan akurat untuk sistem aliran kompleks, serta aplikatif dalam bidang rekayasa hidraulik dan pengelolaan sumber daya air.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang masalah yang dijelaskan di atas, maka rumusan masalah yang menjadi pembahasan adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh lebar saluran yang tidak seragam terhadap distribusi kecepatan aliran, profil kedalaman air, dan perubahan morfologi dasar akibat transportasi sedimen?
2. Variasi lebar saluran manakah yang memberikan pengaruh paling signifikan terhadap perubahan morfologi dasar dan tinggi sedimen maksimum?

### 1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini memiliki batasan masalah diantaranya:

1. Penelitian difokuskan pada aliran air dangkal satu dimensi di saluran terbuka dengan lebar tidak seragam. Variasi lebar saluran yang digunakan terdiri atas lima bentuk, yaitu fungsi linear melebar, fungsi linear menyempit, fungsi sinusoidal, fungsi sin mutlak dan fungsi gaussian.
2. Topografi dasar saluran dianggap bergerak (*mobile bed*), sehingga transportasi sedimen, proses erosi, dan sedimentasi diperhitungkan melalui penerapan Persamaan Exner yang digabungkan dengan Persamaan Air Dangkal.
3. Sistem yang dianalisis terdiri atas persamaan Saint-Venant untuk aliran air dangkal dan persamaan Exner untuk transportasi sedimen. Model ini tidak memasukkan efek gaya tambahan, seperti gaya Coriolis, angin, dan variasi kepadatan fluida.
4. Simulasi dilakukan pada saluran terbuka sepanjang 1 km yang dibagi menjadi 800 grid perhitungan. Waktu simulasi dibatasi hingga 0,1 s dengan langkah waktu kecil agar hasil perhitungan tetap stabil. Kondisi awal ditetapkan bahwa kecepatan air di seluruh saluran bernilai nol. Kedalaman air di hulu ditetapkan sebesar 1 meter, sedangkan di hilir 0,2 meter, sehingga terjadi aliran dari hulu ke hilir. Kondisi batas yang digunakan adalah debit masuk tetap di bagian hulu dan kedalaman air tetap di bagian hilir.
5. Parameter sedimen yang digunakan dalam penelitian ini meliputi koefisien transportasi sedimen  $A_g = 0,005$ , eksponen empiris  $m = 3$ , serta porositas sedimen yaitu 0.4 sehingga faktor koreksi porositasnya adalah ( $\xi = \frac{1}{1-\phi}$ ).
6. Simulasi numerik dilakukan dengan metode volume hingga berbasis skema *staggered grid* pada perangkat lunak Scilab. Validasi hasil dilakukan secara kualitatif melalui interpretasi grafik, dengan acuan studi literatur.

### 1.4 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah di atas, maka tujuan yang ingin dicapai penulis adalah sebagai berikut:

1. Mengembangkan simulasi numerik aliran air dangkal satu dimensi pada saluran dengan lebar tidak seragam menggunakan metode volume hingga berbasis skema *staggered grid*.

2. Menganalisis pengaruh variasi lebar saluran terhadap distribusi kedalaman air ( $h$ ), kecepatan aliran ( $u$ ), dan profil permukaan bebas ( $h + z$ ) pada fenomena runtuh bendungan (*dam break*).

Adapun manfaat dari penelitian ini, di antaranya:

1. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan metode numerik untuk simulasi aliran air dangkal pada saluran dengan geometri tidak seragam.
2. Menjadi referensi atau dasar untuk penelitian lanjutan yang melibatkan saluran dua dimensi, topografi bergerak, atau interaksi air sedimen.
3. Mendukung perencanaan dan manajemen teknis di bidang hidraulika, khususnya pada analisis aliran di saluran alami maupun buatan yang tidak seragam lebar penampangnya.

## 1.5 Metode Penelitian

### 1. Studi Literatur

Metode penelitian ini diawali dengan studi literatur untuk memperoleh landasan teoritis yang kuat terkait aliran air dangkal, metode numerik volume hingga, dan skema staggered grid. Penulis mengkaji berbagai referensi ilmiah, termasuk buku teks dan artikel jurnal, yang relevan dengan pemodelan matematis sistem konservatif satu dimensi serta penerapan numerik pada saluran dengan geometri tidak seragam. Secara khusus, studi literatur difokuskan pada penelitian yang mengangkat pengaruh lebar saluran yang bervariasi terhadap dinamika aliran air dangkal.

### 2. Formulasi Model

Tahap ini mencakup perumusan model matematis yang merepresentasikan fenomena aliran air dangkal satu dimensi yang terkopel dengan dinamika morfologi dasar saluran. Model yang digunakan adalah sistem Persamaan Saint-Venant yang dikombinasikan dengan Persamaan Exner untuk memperhitungkan perubahan topografi dasar akibat proses erosi, sedimentasi, dan transportasi sedimen. Variasi lebar saluran dinyatakan sebagai fungsi spasial dari posisi, sehingga model dapat menggambarkan kondisi saluran yang tidak seragam secara geometris. Persamaan diformulasikan dalam bentuk konservatif dan disusun agar dapat diselesaikan secara numerik dengan tetap mempertahankan keseimbangan massa, momentum, dan massa sedimen.

### 3. Diskretisasi dan Pemilihan Skema Numerik

Model matematis yang telah diformulasikan kemudian didiskretisasi menggunakan metode volume hingga berbasis skema staggered grid. Dalam pendekatan ini, variabel-variabel utama seperti kedalaman air dan kecepatan aliran ditempatkan secara berselang (staggered) di titik grid yang berbeda untuk meningkatkan akurasi dan kestabilan perhitungan.

### 4. Simulasi Numerik

Simulasi numerik dilakukan dalam domain satu dimensi menggunakan perangkat lunak Scilab. Studi kasus yang disimulasikan mencakup skenario runtuh bendungan (dam break) pada saluran dengan lebar tidak seragam. Tujuannya adalah untuk mengamati bagaimana variasi lebar saluran memengaruhi distribusi kecepatan, kedalaman air, dan perubahan bentuk sedimen. Hasil simulasi divisualisasikan dalam bentuk grafik untuk menganalisis karakteristik aliran.

## 1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan dalam skripsi ini terdiri atas lima bab yang disusun secara terstruktur guna mempermudah pemahaman isi dan alur penelitian, dengan rincian sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bab ini berisi latar belakang pemilihan topik penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, metode penelitian, serta sistematika penulisan sebagai gambaran umum isi skripsi.

### **BAB II LANDASAN TEORI**

Bab ini mencakup teori-teori yang relevan sebagai dasar dalam pembahasan dan pemodelan, di antaranya teori tentang persamaan diferensial parsial, saluran terbuka, gelombang air dangkal, persamaan Exner, serta berbagai metode numerik, yaitu metode beda hingga, metode elemen hingga, dan metode volume hingga.

### **BAB III SOLUSI NUMERIK ALIRAN FLUIDA SATU DIMENSI DAN EXNER PADA SALURAN TERBUKA DENGAN LEBAR TIDAK SERAGAM**

Bab ini membahas solusi numerik dari persamaan gelombang air dangkal dan persamaan Exner pada saluran dengan lebar tidak seragam menggunakan metode *Staggered Grid*. Penjabaran dilakukan secara bertahap mulai dari penyesuaian bentuk domain hingga proses penyelesaian numerik. Selain itu, pada bab 3 juga dijelaskan mengenai langkah-langkah simulasi menggunakan aplikasi scilab.

## **BAB IV IMPLEMENTASI DAN SIMULASI**

Bab ini memuat implementasi dan simulasi fenomena *dam break* (jebolnya bendungan) pada dua kondisi, yaitu saluran dengan lebar seragam dan saluran dengan lebar tidak seragam dimana untuk saluran dengan lebar tidak seragam ada lima variasi lebar saluran yaitu, fungsi linear melebar, fungsi linear menyempit, fungsi sinusoidal, fungsi sin mutlak, dan fungsi gaussian. Hasil simulasi digunakan untuk menganalisis pergerakan sedimen pada lebar saluran seragam dengan saluran tidak seragam.

## **BAB V KESIMPULAN DAN SARAN**

Bab ini merupakan bagian penutup yang memuat kesimpulan dari hasil penelitian terkait dengan rumusan masalah yang telah diajukan, serta memberikan saran untuk pengembangan atau penelitian lanjutan di masa mendatang.

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **RIWAYAT HIDUP**

