

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Fenomena aliran fluida merupakan topik kajian yang tidak hanya penting dalam ranah teknik, tetapi juga memiliki kedalaman teori yang kuat dalam ilmu matematika. Berbagai fenomena alam seperti pergerakan angin, aliran sungai, gelombang laut, hingga pergerakan asap dan awan, sesungguhnya dapat dijelaskan melalui prinsip-prinsip dasar fisika yang diformulasikan dalam bentuk sistem persamaan diferensial parsial (PDP), khususnya melalui persamaan Navier-Stokes. Di sinilah peran matematika menjadi sangat fundamental, yakni sebagai alat untuk memahami, memformulasikan, dan menyelesaikan model-model dinamis yang menggambarkan perilaku fluida dalam berbagai kondisi [1].

Sistem perpipaan memiliki peran vital dalam berbagai sektor industri, seperti pengolahan air, pembangkitan energi, dan sistem tata udara, karena berfungsi sebagai media transportasi fluida dari satu titik ke titik lainnya. Di dalam sistem ini, terdapat berbagai komponen yang dirancang sesuai kebutuhan operasional, salah satunya adalah fitting, seperti elbow yang berfungsi mengubah arah aliran fluida dalam pipa [2]. Selain itu, pada sistem yang memerlukan pengendalian laju aliran, digunakan valve yang berfungsi sebagai pengatur aliran namun juga menyebabkan gangguan berupa hambatan aliran. Selain itu, elemen-elemen tersebut juga dapat memengaruhi distribusi kecepatan fluida, terutama di sisi hilir (*downstream*), yang pada akhirnya dapat mempengaruhi akurasi pembacaan dari instrumen pengukuran yang dipasang di area tersebut [3].

Dalam praktiknya, fluida yang mengalir di dalam pipa menjadi salah satu sistem yang banyak dikaji baik secara teoritis maupun aplikatif [4]. Aliran dalam pipa dipengaruhi oleh berbagai parameter, seperti kecepatan fluida, viskositas, densitas, serta dimensi dan bentuk geometri pipa [5]. Fluida dapat mengalir dalam kondisi laminar, di mana partikel bergerak teratur dan sejajar, atau turbulen, yang ditandai oleh gerakan acak, penuh pusaran, dan sangat sensitif terhadap gangguan awal [6]. Perbedaan jenis aliran ini tidak hanya berdampak pada efisiensi sistem

transportasi fluida, tetapi juga terhadap distribusi tekanan dan tegangan geser dalam domain aliran tersebut. Namun, geometri pipa yang kompleks seperti pipa lurus (straight pipe) menambah tantangan baru dalam proses pemodelan. Ketidakteraturan bentuk dinding pipa menyebabkan medan aliran menjadi tidak homogen dan sangat bergantung pada posisi spasial.

Secara matematis, hal ini berarti domain yang digunakan dalam formulasi model mengalami ketidakteraturan batas, yang menyulitkan proses pencarian solusi analitik. Dalam kondisi inilah, pendekatan numerik menjadi sangat relevan. Salah satu metode numerik yang banyak digunakan dalam pemodelan aliran fluida adalah Metode Volume Hingga (*Finite Volume Method/FVM*). Berbeda dengan metode elemen hingga atau beda hingga, FVM menyusun diskretisasi dengan mempertahankan bentuk konservatif dari persamaan *Navier-Stokes*, sehingga sangat cocok untuk sistem fluida yang menjunjung tinggi prinsip kekekalan massa dan momentum.

Fokus utama penelitian ini adalah menganalisis bagaimana karakteristik aliran laminar di dalam pipa menghasilkan profil kecepatan Poiseuille, khususnya dengan mempertimbangkan viskositas yang bervariasi terhadap posisi radial, yang lebih merepresentasikan kondisi fluida Newtonian dengan viskositas yang bergantung terhadap posisi radial, yang dimodelkan secara matematis dan dianalisis melalui penyelesaian numerik menggunakan metode volume hingga. seperti Dengan menyederhanakan sistem *Navier-Stokes* ke bentuk satu dimensi yang hanya mempertimbangkan momentum aksial pada kondisi fully developed, kajian ini memberikan gambaran yang lebih jelas mengenai distribusi kecepatan sepanjang jari-jari pipa [7]. Pendekatan numerik yang digunakan tidak hanya menunjukkan bagaimana profil kecepatan terbentuk, tetapi juga memperlihatkan keterkaitan antara model matematika kontinu, metode diskretisasi, dan implementasi komputasi untuk memecahkan persoalan yang tidak dapat diselesaikan secara eksak. Hasil simulasi ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang dinamika aliran laminar dalam pipa lurus serta menjadi acuan untuk validasi model dan studi lanjutan terkait aliran internal

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah yang akan dikaji dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana implementasi numerik dengan Metode Volume Hingga untuk menyelesaikan persamaan aliran Poiseuille dengan viskositas bergantung koordinat radial ($\mu = \mu(r)$)?
- 2) Bagaimana hasil simulasi untuk profil kecepatan pada aliran Poiseuille?

1.3 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini yakni sebagai berikut:

- 1) Metode numerik yang digunakan adalah Metode Volume Hingga (FVM)
- 2) Penelitian ini hanya fokus pada aliran laminar
- 3) Jenis pipa lurus penampang melingkar

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dan manfaat dari penelitian ini berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah yaitu:

- 1) Mengetahui solusi numerik pada aliran fluida dalam pipa dengan perhitungan berbasis metode volume hingga dan viskositas yang bergantung pada koordinat radial ($\mu = \mu(r)$)
- 2) Menganalisis profil kecepatan pada aliran Poiseuille dengan viskositas bergantung koordinat radial ($\mu = \mu(r)$)

1.5 Metode Penelitian

1. Studi Literatur

Pada tahap ini, penulis melakukan pencarian dan pengkajian literatur yang berkaitan dengan teori aliran fluida dalam sistem perpipaan, khususnya yang diformulasikan melalui persamaan Navier-Stokes kemudian disederhanakan dengan berbagai asumsi sehingga terbentuk menjadi bentuk sederhana yaitu persamaan Poiseuille. Literatur yang dikaji meliputi metode numerik volume hingga dalam fenomena aliran fluida. Referensi diperoleh dari buku akademik dan jurnal ilmiah.

2. Analisis

Setelah Literatur terkumpul, penulis menyusun model aliran fluida dalam pipa lurus sebagai objek studi. Model Matematis dikonstruksi berdasarkan bentuk konservatif dari persamaan *Navier Stokes* yang telah disederhanakan sehingga terbentuk menjadi persamaan *Poiseuille*, kemudian diselesaikan menggunakan pendekatan Metode Volume Hingga. Tahap ini juga mencakup penentuan kondisi batas parameter fluida, serta bentuk ukuran geometri sistem perpipaan yang akan di analisis

3. Simulasi

Model yang telah disusun kemudian disimulasikan secara numerik menggunakan perangkat lunak Python 3.9. Simulasi ini bertujuan untuk mengamati karakteristik profil kecepatan aliran *Poiseuille* dalam pipa lurus.

1.6 Sistematika Penulisan

Pada skripsi ini, terdapat lima bab beserta daftar pustaka yang penulis buat, dimana pada setiap terdapat beberapa sub bab, diantaranya :

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisi latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, metode penelitian, dan sistematika penulisan dari masalah yang dikaji.

BAB II LANDASAN TEORI

Bab ini menerangkan terkait konsep-konsep mengenai permasalahan yang dianalisis, dan garis besarnya memuat seluruh materi yang berkenaan dengan klasifikasi Aliran Fluida, Aliran *Poiseuille*, Persamaan Dasar Aliran Fluida (Persamaan Kontinuitas dan Momentum, persamaan *Navier Stokes*), Metode Numerik (Metode Volume Hingga, Algoritma Thomas (*Tridiagonal Matrix Algorithm*))

BAB III METODOLOGI

Bab ini membahas solusi analitik aliran *Poiseuille* pada pipa lurus sebagai dasar perbandingan, serta penyelesaian solusi numerik persamaan aliran menggunakan metode volume hingga pada domain radial satu dimensi. Formulasi numerik

disusun berdasarkan diskritisasi konservatif dengan pendekatan beda pusat untuk suku difusi, sehingga diperoleh sistem persamaan linier yang selanjutnya diselesaikan secara numerik untuk mendapatkan profil kecepatan aliran

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini berisi pembahasan mengenai proses, hasil, dan simulasi studi kasus yang dilakukan dalam penelitian ini. Dimulai dari penjelasan mengenai langkah-langkah yang dilakukan dalam simulasi menggunakan Python

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini merangkum temuan utama dari kajian yang telah dilaksanakan dan menyampaikan saran yang dapat digunakan sebagai acuan pengembangan penelitian selanjutnya.

