

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

CFD merupakan pengaplikasian metode-metode numerik untuk menghasilkan pendekatan solusi pada permasalahan dinamika fluida dan perpindahan panas^[1]. Tidak semua permasalahan teknik dapat diselesaikan secara efektif dengan pendekatan analisis dan eksperimental karena keterbatasan waktu dan biaya pada suatu penelitian. Oleh karena itu, pendekatan secara numerik diambil berdasarkan faktor keakuratan, fleksibilitas, universal, dan biaya yang rendah^[1, p.4].

Dalam kajian mekanika fluida sebagai continuum, dinamika fluida *Newtonian* diatur oleh persamaan *Navier-Stokes*. Solusi komputasi numerik menjadi kompleks karena harus menyelesaikan turunan tekanan terhadap ruang sekaligus kecepatan terhadap ruang sehingga keakuratan komputasi numerik disesuaikan dengan tingkat kesulitan dan kompleksitas dari batasan permasalahan untuk mempersingkat waktu namun tetap menghasilkan komputasi yang tetap merepresentasikan solusi sebenarnya.

CFD diaplikasikan pada permasalahan teknik seperti simulasi ventilasi alami^[2-4], prediksi pengaruh polusi debu terhadap performansi panel surya^[5], perpindahan polutan pada sungai dan aliran^[6], hingga sistem tata udara pada kabin pesawat^[7]. Tiap permasalahan teknik memiliki kompleksitas yang berbeda sehingga penggunaan metode untuk mendapatkan pendekatan solusi akan berbeda.

Fokus permasalahan CFD pada tugas akhir ini adalah konveksi alami. Konveksi alami merupakan pergerakan fluida yang terjadi secara alami karena terdapat perbedaan densitas pada fluida akibat perbedaan temperatur. Besar dominansi konveksi alami ditunjukkan pada bilangan non-dimensional *Rayleigh* yang merupakan hasil kali dari hubungan antara gaya *buoyancy* dan viskositas fluida serta hubungan antara difusitas momentum dan difusitas termal. Konveksi alami pada perpindahan panas merupakan fenomena umum di bidang teknik terutama dalam menghemat energi dengan meniadakan kebutuhan *fan* atau pompa. Contoh lain dari penerapan konveksi alami adalah *solar collector* ^[8], efisiensi energi pada HVAC ^[9], sistem pemanas aktif dan pasif ^[10], pendinginan alat elektronik ^[11], hingga aplikasi baterai *lead acid* ^[12].

Salva Parvin dan A.J. Chamkha ^[13] melakukan penelitian analisis aliran konveksi alami, perpindahan panas dan *entropy generation* pada ruang tertutup berbentuk L pada besar bilangan *Rayleigh* adalah 10^3 , 10^4 , 10^5 , dan 10^6 . Penelitian tersebut menunjukkan bahwa bilangan *Rayleigh* yang semakin besar memberikan pengaruh pada efek konveksi yang signifikan. J.C. Umavathi dan Odelu Ojjela ^[14] melakukan penelitian numerik untuk melihat pengaruh variabel viskositas terhadap konveksi alami pada pipa kubus tiga dimensi. Cornelia Revnic, Eiyad Abu-Nada, Teodor Grosan, Ioan Pop ^[15] melakukan penelitian numerik pada permasalahan konveksi alami pada kondisi tunak di ruang tertutup berbentuk persegi dengan menggunakan bilangan *Rayleigh* 10^3 , 10^4 , dan 10^5 . Pada penelitian tersebut didapat bahwa semakin tinggi bilangan *Rayleigh*, semakin berkurang ketebalan *thermal boundary layer* pada dinding ruang.

Pada aplikasi konveksi alami dengan struktur aliran dan performansi perpindahan panas yang selalu berubah terhadap waktu, analisis konveksi alami dalam kondisi transien menjadi pendekatan yang tepat. Ezan dan Kalfa ^[16] menganalisis perpindahan panas konveksi alami dua dimensi dalam kondisi transien pada aplikasi pembekuan air sebagai media *phase-change*. Mahapatra dkk. ^[17] melakukan penelitian mengenai performansi perpindahan panas pada *bi-heater* terhadap konveksi alami transien laminar.

Dalam mendapatkan solusi pada permasalahan yang melibatkan fenomena mekanika fluida dan/atau perpindahan panas sampai saat ini belum ada solusi analitis atau solusi eksak pada setiap geometri atau setiap kondisi batas. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan secara numerik dengan menggunakan skema numerik yang sesuai dengan permasalahan konveksi alami.

Skema numerik *central finite difference* dan *upwind finite difference* merupakan skema yang paling populer karena kemudahan dalam implementasi pada PDP dengan menghasilkan solusi numerik yang baik pada jumlah *grid* tertentu. Tetapi skema tersebut akan menghasilkan kualitas yang buruk pada permasalahan aliran yang didominasi oleh konveksi. Keperluan komputasi orde tinggi sangat penting dalam permasalahan yang melibatkan aliran yang didominasi oleh konveksi sehingga tingkat akurasi komputasi meningkat. Penggunaan *high order non-compact* dapat ditentukan dengan ekspansi deret *Taylor* sehingga skema ini melibatkan titik-titik pada *grid* yang lebih banyak tetapi peningkatan *band-width* atau lebar dari matriks perhitungan berakibat pada peningkatan jumlah operasi aritmatik sehingga waktu kalkulasi menjadi lebih lama. Oleh karena itu, HOC

menjadi sangat penting dalam komputasi FD. HOC adalah skema dengan akurasi yang lebih baik dari orde dua dan mampu menghasilkan komputasi numerik yang akurat serta penggunaan titik *grid* yang hanya bersebelahan dengan titik yang diperhitungkan^[18].

Dengan tujuan meningkatkan akurasi dan efisiensi simulasi numerik konveksi alami, pada tugas akhir ini dikembangkan skema numerik baru berdasarkan *compact finite difference* orde 4 untuk konveksi alami dalam ruang tertutup. Selanjutnya skema numerik orde 4 baru, yang disingkat HOC20, diimplementasikan untuk melakukan simulasi numerik konveksi alami pada ruang tertutup. Akurasi solusi, perubahan pola *streamline* serta isothermal, dan perubahan bilangan *Nusselt* terhadap variasi bilangan *Rayleigh*, variasi aspek rasio, maupun perubahan kondisi batas transien juga dipelajari dalam tugas akhir ini.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan, berikut permasalahan yang diteliti pada tugas akhir ini:

1. Bagaimana akurasi HOC20 untuk simulasi numerik permasalahan konveksi alami pada ruang tertutup?
2. Bagaimana pengaruh bilangan *Rayleigh* dan aspek rasio geometri menggunakan metode HOC20 terhadap pola *streamlines*, kecepatan, *vorticity*, dan isothermal pada permasalahan konveksi alami pada ruang tertutup?
3. Bagaimana pengaruh perubahan kondisi batas transien pada permasalahan konveksi alami pada ruang tertutup?

1.3. Tujuan

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan, tugas akhir ini memiliki tujuan sebagai berikut:

1. Mengetahui akurasi HOC20 untuk simulasi numerik terhadap permasalahan konveksi alami pada ruang tertutup.
2. Mengetahui pengaruh bilangan *Rayleigh* dan aspek rasio geometri menggunakan metode HOC20 terhadap pola *streamlines*, kecepatan, *vorticity*, dan isothermal pada permasalahan konveksi alami pada ruang tertutup.
3. Mengetahui pengaruh perubahan kondisi batas transien pada permasalahan konveksi alami pada ruang tertutup.

1.4. Batasan Masalah

Dalam rangka membatasi fokus tugas akhir, dilakukan batasan-batasan masalah seperti berikut:

1. Perpindahan panas dan aliran fluida pada tugas akhir ini adalah dua dimensi.
2. Fenomena konveksi merupakan konveksi alami.
3. Fluida dalam ruang tertutup merupakan fluida tak termampatkan.
4. Perubahan densitas terhadap temperatur menggunakan aproksimasi *Boussinesq*.
5. Perpindahan panas secara radiasi dapat diabaikan.
6. Perubahan temperatur tidak terlalu besar sehingga densitas, viskositas, kapasitas kalor, dan konduktivitas fluida dapat dianggap konstan.

7. Persamaan *Navier-Stokes* dalam bentuk *stream-function vorticity*.
8. Menggunakan diskritisasi *high order compact finite difference* orde 4.
9. Menggunakan model permasalahan geometri persegi panjang dua dimensi. Sisi kiri geometri memiliki temperatur yang lebih panas daripada sisi kanan. Selain itu, sisi bawah dan atas persegi panjang merupakan dinding adiabatik.
10. *Grid* komputasi yang dipakai adalah *grid* seragam dengan panjang interval sama pada kedua arah. Penggunaan *grid* seragam disebabkan skema HOC20 hanya mampu digunakan pada *grid* seragam.

1.5. Manfaat Tugas Akhir

Tugas akhir ini diharapkan dapat memberi manfaat berupa:

1. Langkah awal dalam pengembangan lebih lanjut topik tugas akhir pada konveksi alami dengan *nanofluid* (*nanofluid* adalah larutan yang terdiri dari fluida *Newtonian* biasa seperti H_2O dan nanopartikel logam seperti Al_2O_3 . *Nanofluid* memiliki konduktivitas termal yang lebih tinggi dari fluida dasarnya) yang dinilai potensial untuk masa depan.
2. Skema HOC20 dapat digunakan untuk mendapatkan solusi numerik transien yang kuat dalam permasalahan konveksi alami pada ruang tertutup.

1.6. Sistematika Penulisan

Pada Bab I (Pendahuluan) dijelaskan pengertian konveksi alami, pentingnya simulasi numerik, dan pengujian numerik yang dilakukan beserta variabel-variabel

yang terlibat secara singkat. Selain itu, terdapat rumusan masalah, tujuan, batasan masalah simulasi numerik, dan manfaat dari topik tugas akhir ini.

Pada Bab II (Kajian Pustaka) diberikan dasar teori dari tugas akhir ini yang dikutip dari buku-buku dan penelitian sebelum yang relevan. Selain itu terdapat *state of the art* yang menggambarkan perkembangan penelitian simulasi numerik pada permasalahan konveksi alami hingga saat ini.

Pada Bab III (Metode Numerik) dijelaskan metode numerik yang digunakan untuk mendiskritisasikan PDP terhadap waktu dengan RK4 (*Runge Kutta 4*) dan terhadap ruang dengan HOC20 hingga skema numerik pada kondisi batas. Selain itu, terdapat implementasi dari skema numerik tersebut, variabel-variabel yang diuji, serta langkah pelaksanaan tugas akhir.

Pada Bab IV (Hasil Simulasi dan Analisis) dipaparkan bagian dari hasil solusi simulasi numerik serta analisis yang mencakup pengujian akurasi hingga pengaruh variabel-variabel bebas dengan variabel terikat.

Bab V (Penutup) merupakan bagian akhir dari tugas akhir ini yang terdiri dari kesimpulan tugas akhir ini serta saran yang mencakup informasi mengenai usaha dalam pengembangan topik yang lebih lanjut berdasarkan kekurangan dari tugas akhir ini.