BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan zaman dan kemajuan teknologi, kebutuhan manusia akan kendaraan berkecepatan tinggi serta bangunan yang besar dan menjulang semakin meningkat. Dalam dunia teknik dan rekayasa, hal ini menuntut perancangan struktur yang tidak hanya efisien dan inovatif, tetapi juga aman dan andal dalam menghadapi beban dinamis dari fluida seperti udara atau air. Kendaraan modern harus mampu mengurangi hambatan udara demi meningkatkan efisiensi bahan bakar dan performa, sedangkan bangunan tinggi harus dirancang agar mampu menahan gaya angin dan aliran udara di sekitarnya (Ramanathan, 2000). Untuk mencapai rancangan yang optimal, diperlukan pemahaman yang mendalam terhadap perilaku fluida di sekitar permukaan objek. Salah satu metode penting dalam bidang ini adalah uji aliran fluida, yang bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran, distribusi tekanan, arah jalur aliran, serta besar gaya hambat (drag) yang bekerja. Uji ini memberikan data penting bagi insinyur dalam mengevaluasi performa aerodinamika suatu desain dan menentukan langkah perbaikan yang diperlukan (Ramanathan, 2000).

Terdapat tiga metode yang umum digunakan untuk keperluan tes aliran fluida, yaitu pengujian dengan terowongan angin, terowongan air, dan metode simulasi komputasi fluida yang dikenal sebagai *Computational Fluid Dynamics* (CFD) (Cunningham & Bushlow, 2015; Kundu, 2010; Liu et al., 2004). Terowongan angin (wind tunnel) merupakan alat uji eksperimental yang menggunakan aliran udara untuk mensimulasikan kondisi aerodinamika suatu objek, seperti mobil, pesawat, atau bangunan tinggi. Kelebihan utama dari metode ini adalah kemampuannya merepresentasikan kondisi nyata dengan kecepatan tinggi dan skala penuh. Selain itu, data yang diperoleh dari wind tunnel bersifat sangat presisi jika dilakukan dengan standar teknis yang tepat. Namun, kekurangannya terletak pada biaya yang tinggi baik dalam pembangunan maupun

pengoperasiannya, serta keterbatasan visualisasi aliran jika tanpa alat bantu khusus seperti smoke wire atau partikel tracer (Cunningham & Bushlow, 2015; Kundu, 2010; Liu et al., 2004). Terowongan air (*water tunnel*) merupakan alternatif eksperimental yang menggunakan air sebagai media fluida. Terowongan air bekerja berdasarkan prinsip yang sama seperti terowongan angin, namun dengan keuntungan utama pada kemudahan visualisasi aliran. Karena viskositas air lebih tinggi dari pada udara dan kecepatan aliran cenderung lebih lambat, maka aliran dalam *water tunnel* lebih mudah diamati menggunakan pewarna, partikel tracer, atau sinar laser. Terowongan air juga lebih hemat energi dan dapat dibuat secara sederhana, sehingga cocok untuk keperluan pendidikan dan penelitian dasar. Namun, kelemahannya adalah keterbatasan dalam simulasi kecepatan tinggi serta keterbatasan ukuran model yang dapat diuji (Cunningham & Bushlow, 2015; Kundu, 2010; Liu et al., 2004). Sementara itu, *Computational Fluid Dynamics* (CFD) adalah metode berbasis simulasi numerik yang menggunakan komputer untuk menyelesaikan persamaan konservasi massa, momentum, dan energi dalam fluida. CFD memiliki keunggulan dalam efisiensi waktu dan biaya karena tidak memerlukan pengujian fisik. Metode ini memungkinkan pengujian berbagai variasi desain dan kondisi batas secara cepat dan fleksibel. Akan tetapi, hasil CFD sangat tergantung pada akurasi pemodelan, kualitas mesh, serta asumsi numerik yang digunakan. Selain itu, validasi dengan data eksperimen tetap diperlukan agar hasil simulasi dapat dipercaya (Cunningham & Bushlow, 2015; Kundu, 2010; Liu et al., 2004).

Dalam penelitian yang dilakukan kali ini, metode pengujian aliran fluida yang dipilih adalah menggunakan terowongan air (*water tunnel*). Pemilihan metode ini didasarkan pada beberapa pertimbangan teknis dan praktis, terutama berkaitan dengan kemudahan visualisasi aliran fluida, keterjangkauan biaya konstruksi, serta fleksibilitas dalam pengaturan kecepatan aliran. Terowongan air merupakan salah satu sarana uji eksperimental yang banyak digunakan dalam studi dasar dinamika fluida, terutama untuk mengamati perilaku aliran di sekitar benda uji dalam kondisi viskositas tinggi dan kecepatan aliran rendah hingga sedang (Erm, 2006; Saeed et al., n.d.).

Alasan utama penggunaan terowongan air dalam penelitian ini adalah kemudahan dalam memvisualisasikan aliran. Air sebagai media fluida memiliki densitas dan viskositas yang lebih besar dibandingkan udara, sehingga partikel tracer atau pewarna dapat dengan jelas memperlihatkan lintasan aliran. Dengan demikian, fenomena seperti pembentukan *boundary layer*, titik stagnasi, separasi aliran, hingga transisi dari aliran laminar ke turbulen dapat diamati secara langsung tanpa bantuan alat visualisasi yang kompleks seperti pada terowongan angin. Visualisasi ini menjadi aspek penting dalam studi eksperimental karena dapat memberikan gambaran kualitatif mengenai pola aliran. Dari sisi pengendalian variabel, terowongan air juga memungkinkan pengaturan variasi kecepatan aliran melalui perubahan ukuran outlet atau ketinggian tangki, yang dalam penelitian ini digunakan untuk mengamati pengaruh kecepatan terhadap nilai *Reynolds number* dan jenis aliran yang terjadi. Dengan menggunakan tiga variasi diameter outlet peneliti dapat menganalisis perbedaan karakteristik aliran dan menentukan batas antara aliran laminar dan turbulen berdasarkan data eksperimen. Secara keseluruhan, penggunaan terowongan air dalam penelitian ini memberikan keunggulan dalam hal observasi visual, efisiensi biaya, dan kesesuaian terhadap tujuan penelitian, yaitu menguji pengaruh variasi kecepatan terhadap jenis aliran dan menghitung parameter dasar seperti kecepatan fluida dan nilai *Reynolds number*. Oleh karena itu, metode ini dipandang sebagai pilihan yang tepat dan relevan untuk menjawab permasalahan yang diajukan dalam penelitian (Cunningham & Bushlow, 2015; Kundu, 2010; Liu et al., 2004).

Secara keseluruhan, penggunaan terowongan air dalam penelitian ini memberikan keunggulan dalam hal observasi visual, efisiensi biaya, dan kesesuaian terhadap tujuan penelitian, yaitu menguji pengaruh variasi kecepatan terhadap jenis aliran dan menghitung parameter dasar seperti kecepatan fluida dan nilai *Reynolds number*. Oleh karena itu, metode ini dipandang sebagai pilihan yang tepat dan relevan untuk menjawab permasalahan yang diajukan dalam penelitian (Beckner & Curry, 1985; Park et al., 2005).

Dalam pengujian karakteristik aliran fluida menggunakan terowongan air, salah satu aspek penting yang perlu diperhatikan adalah bentuk dari benda uji (test object) yang digunakan. Pemilihan bentuk ini tidak hanya mempengaruhi pola aliran di sekitar objek, tetapi juga berkontribusi terhadap nilai-nilai fisis yang dihasilkan seperti gaya hambat (drag), distribusi tekanan, dan tipe aliran. Oleh karena itu, pemilihan model uji harus mempertimbangkan kesesuaian dengan tujuan eksperimen serta kemampuan model dalam merepresentasikan fenomena aerodinamika yang relevan. Berbagai bentuk benda uji telah banyak digunakan dalam eksperimen di terowongan air, antara lain model mobil, model airfoil (sayap pesawat), silinder, dan Ahmed Body. Masing-masing model memiliki karakteristik tersendiri dalam menimbulkan gangguan aliran serta menghasilkan data eksperimen yang berbeda. Model mobil digunakan untuk studi otomotif dalam memahami drag dan downforce, sedangkan airfoil sering digunakan untuk meneliti distribusi tekanan dan gaya angkat dalam studi aerodinamika penerbangan. Di sisi lain, Ahmed Body merupakan salah satu model geometri standar yang banyak digunakan dalam pengujian aerodinamika, khususnya dalam studi aliran fluida di sekitar kendaraan darat. Ahmed Body memiliki bentuk yang relatif sederhana namun mampu merepresentasikan fenomena kompleks seperti aliran separasi, zona turbulen, dan drag aerodinamis, sehingga menjadikannya sebagai pilihan yang ideal untuk penelitian eksperimental maupun simulasi numerik (Meile et al., 2011).

Secara umum, Ahmed Body terdiri dari bagian depan (nose) yang membulat, bodi utama yang berbentuk kotak, serta bagian belakang yang memiliki sudut kemiringan (slant angle) tertentu. Variasi sudut kemiringan ini sangat berpengaruh terhadap perilaku aliran, khususnya pada titik separasi dan pembentukan vorteks di belakang model. Dalam banyak penelitian, sudut kemiringan 25° hingga 35° sering digunakan untuk mengamati interaksi antara zona aliran laminar dan turbulen serta pengaruhnya terhadap gaya hambat. Keunggulan dari penggunaan Ahmed Body adalah kemampuannya menampilkan karakteristik aliran tiga dimensi yang relevan dengan desain kendaraan, namun dengan bentuk yang cukup mudah untuk difabrikasi dan dianalisis (Meile et al., 2011).

Dalam penelitian ini, digunakan model Ahmed Body sebagai objek uji utama. Pemilihan ini didasarkan pada beberapa pertimbangan, antara lain kesederhanaan bentuk geometri, ketersediaan data referensi dari penelitian terdahulu, serta kemampuannya dalam memunculkan fenomena aliran yang mencakup zona separasi, aliran transisi, dan turbulensi. Dengan menggunakan Ahmed Body, diharapkan hasil visualisasi dan perhitungan aliran fluida dalam terowongan air dapat mencerminkan karakteristik yang umum terjadi pada kendaraan nyata, tanpa menghadirkan kompleksitas bentuk geometri yang berlebihan (Meile et al., 2011).

Untuk memahami perilaku aliran fluida dalam terowongan air, visualisasi merupakan teknik penting yang digunakan guna memperoleh gambaran mengenai arah, kecepatan, dan pola aliran secara nyata. Visualisasi aliran memungkinkan pengamatan langsung terhadap interaksi fluida dengan benda uji, serta mempermudah analisis fenomena hidrodinamika seperti vorteks, separasi aliran, dan transisi dari aliran laminar ke turbulen. Berbagai metode visualisasi telah dikembangkan, dan pemilihannya sangat bergantung pada tujuan penelitian, kompleksitas aliran, serta ketersediaan peralatan (Beckner & Curry, 1985; Daniel Filipiak et al., 2017).

Salah satu metode visualisasi yang umum digunakan adalah penambahan tinta berwarna ke dalam aliran. Metode ini tergolong sederhana dan efektif untuk mengamati arah aliran secara kualitatif. Tinta berwarna dicampurkan ke dalam fluida sebelum memasuki *test section* atau langsung disuntikkan di sekitar model uji. Aliran laminar biasanya terlihat sebagai garis warna yang lurus dan stabil, sedangkan aliran turbulen menunjukkan pola pewarna yang tidak teratur, menyebar, dan bercampur. Meskipun metode ini tidak menghasilkan data kuantitatif, visualisasi tinta sangat berguna untuk studi awal dan Pendidikan (Beckner & Curry, 1985; Daniel Filipiak et al., 2017).

Dalam pengujian aliran fluida menggunakan terowongan air, terdapat beberapa parameter penting yang harus dihitung untuk memperoleh pemahaman yang komprehensif terhadap karakteristik aliran dan interaksinya dengan benda uji. Beberapa parameter utama tersebut meliputi kecepatan aliran fluida, bilangan Reynolds (*Reynolds number*), tekanan, dan gaya hambat (*drag*). Perhitungan parameter-parameter ini tidak hanya memberikan informasi kuantitatif mengenai perilaku fluida, tetapi juga membantu mengevaluasi efisiensi desain dan fenomena aerodinamika yang terjadi di sekitar objek (Fujimoto et al., 2011; Park et al., 2005).

Kecepatan fluida merupakan parameter dasar yang perlu diketahui dalam setiap eksperimen terowongan air. Pengukuran kecepatan dapat dilakukan melalui berbagai metode seperti pengukuran debit aliran, analisis video menggunakan motion tracker, ataupun dengan teknik visualisasi seperti PIV (Particle Image Velocimetry). Data kecepatan ini menjadi acuan untuk menentukan jenis aliran—apakah laminar, transisi, atau turbulen—yang kemudian diidentifikasi lebih lanjut melalui bilangan Reynolds. Bilangan Reynolds adalah parameter tak berdimensi yang digunakan untuk mengkarakterisasi jenis aliran berdasarkan rasio antara gaya inersia terhadap gaya viskos dalam fluida. Nilai Reynolds yang rendah mengindikasikan aliran laminar, sedangkan nilai yang tinggi menunjukkan aliran turbulen. Perhitungan Reynolds bergantung pada kecepatan fluida, dimensi karakteristik (misalnya panjang benda uji), serta viskositas kinematik fluida yang digunakan (Fujimoto et al., 2011; Park et al., 2005).

Selain itu, tekanan fluida juga merupakan aspek penting, terutama untuk menentukan distribusi tekanan pada permukaan benda uji. Distribusi tekanan ini berkaitan langsung dengan gaya hambat (*drag*) yang bekerja pada benda. Gaya drag merupakan gaya resistif yang timbul akibat perbedaan tekanan antara bagian depan dan belakang benda uji, serta akibat gesekan fluida pada permukaan benda. Evaluasi gaya drag sangat penting dalam desain kendaraan dan struktur lain yang mengalami interaksi dengan aliran fluida, seperti mobil, kapal, dan bangunan tinggi (Fujimoto et al., 2011; Park et al., 2005).

1.2 Identifikasi masalah

1. Membuat alat uji untuk menganalisis aliran fluida.
2. Meneliti visualisasi fluida pada terowongan air.
3. Meneliti karakteristik dari aliran fluida.
4. Meneliti benda uji serta arah aliran yang terjadi di terowongan air
5. Menguji perbedaan variasi outlet.
6. Membandingkan dan verifikasi hasil penelitian

1.3 Pembatasan masalah

1. Membuat alat uji terowongan air untuk menganalisis aliran fluida.
2. Menggunakan tinta sebagai visualisasi aliran fluida.
3. Menganalisis kecepatan, karakteristik, dan arah aliran fluida.
4. Benda uji hanya berbentuk ahmed body.
5. Variasi Outlet berupa 1 cm, 1,5 cm dan 5 cm.
6. Membandingkan hasil penelitian dengan hasil dari simulasi.

1.4 Perumusan masalah

Untuk mempermudah proses penelitian, terdapat beberapa rumusan masalah yang dapat dinyatakan, yaitu:

1. Bagaimana karakteristik dari aliran fluida pada uji terowongan air dengan menghitung kecepatan, *reynold number*, dan arah aliran fluida di benda uji ahmed body.
2. Bagaimana perbedaan karakteristik yang terjadi pada aliran fluida dengan merubah diameter outlet di uji terowongan air.

1.5 Tujuan penelitian

Adapun tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat alat uji terowongan air dan memvalidasi hasil simulasi.
2. Menggunakan tinta sebagai pelacakan titik partikel.
3. Menganalisis kecepatan aliran fluida dengan menghitung debit di diameter outlet 1 cm, 1,5 cm, dan 5 cm.

4. Menganalisis kecepatan aliran fluida dengan *motion traker* di diameter outlet 1 cm, 1,5 cm, dan 5 cm.
5. Menganalisis *reynold number* aliran fluida dengan kecepatan dari *motion traker* di diameter outlet 1 cm, 1,5 cm, dan 5 cm.
6. Menganalisis perubahan kecepatan fluida saat melewati benda uji ahmedbody.
7. Membandingkan hasil penelitian dengan hasil dari simulasi.

1.6 Manfaat penelitian

Dalam penelitian ini tentunya akan ada manfaatnya, dan manfaatnya juga bukan hanya untuk penulis tapi juga untuk pihak yang membaca juga.

1.6.1 Manfaat bagi penulis

Melalui penelitian ini, penulis dapat mengembangkan keterampilan penelitian ilmiah, analisis data, dan pemecahan masalah, yang penting untuk pengembangan karier di bidang teknologi.

1.6.2 Manfaat bagi pembaca

Pembaca akan mendapatkan pemahaman yang lebih dalam tentang peran dan signifikansi terowongan air dalam penelitian hidrodinamika. Pembaca juga dapat melakukan penelitian sendiri dengan membuat terowongan air sendiri.

Intelligentia - Dignitas