



Fluid Flow Analysis Subsonic Wind Tunnel for Aerodynamic Testing Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

Akhmad Riszal^{*}, Agus Sugiri, A. Yudi Eka Risano, Martinus

^{1,2,3,4}Department of Mechanical Engineering, University of Lampung

^{*}Corresponding author: akhmad.riszal@eng.unila.ac.id

INFO ARTIKEL

Kata kunci:
Wind Tunnel, CFD, Fluid Flow,
Laminar Flow

Keywords:
Wind Tunnel, CFD, Fluid Flow,
Laminar Flow

A B S T R A K

Seiring berkembangnya zaman, banyak sekali teknologi yang dapat dimanfaatkan untuk mendukung penelitian, terutama dalam pembuatan model, alat, dan instrumentasi. Salah satu alat yang dapat digunakan untuk menunjang penelitian aerodinamis adalah Wind Tunnel. Wind Tunnel merupakan perangkat pengujian aerodinamis yang mampu mensimulasikan dan memvisualisasikan kondisi aliran fluida di sekitar objek yang diuji. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis aliran fluida pada berbagai bagian terowongan angin dengan menggunakan aliran fluida seragam. Analisis akan dilakukan dengan menggunakan software Ansys khususnya Computational Fluid Dynamics (CFD). Parameter yang akan diuji antara lain kecepatan fluida 6 m/s. Pada kecepatan tertentu, eksperimen aliran fluida akan dilakukan untuk memvisualisasikan distribusi aliran di berbagai bagian Terowongan Angin, dari bagian kontraksi hingga Diffuser. Visualisasi aliran pada bagian kontraksi, akan terjadi peningkatan tekanan fluida menuju bagian uji kontur tekanan total. Ketika fluida mengalir melalui bagian uji dengan besaran kecepatan, ia akan bertransisi ke aliran laminar dan fluida melewati bagian diffuser, sehingga terjadi penurunan kecepatan.

A B S T R A C T

As time evolves, there are lots of technologies that can be utilized to support research, especially in the creation of models, tools, and instrumentation. One of the tools that can be used to support aerodynamic research is the Wind Tunnel. Wind Tunnel is an aerodynamic testing device capable of simulating and visualizing fluid flow conditions around a tested object. The purpose of this study is to analyze fluid flow in various parts of the wind tunnel by using a uniform fluid flow. The analysis will be conducted using the Ansys software, specifically Computational Fluid Dynamics (CFD). The parameters to be tested include fluid velocity of 6 m/s. At specific velocities, fluid flow experiments will be performed to visualize the flow distribution across different sections of the Wind Tunnel, from the contraction section to the Diffuser. The visualization of the flow at the contraction section, there will be an increase in fluid pressure towards the test section an total pressure contour. As the fluid flows through the test section an velocity magnitude, it will transition to a laminar flow and fluid passes through the diffuser section, there decrease velocity.

Received: 31 Dec 2023
Revised: 15 February 2024
Online published: 15 May 2024

1. Introduction

Terowongan angin merupakan alat yang digunakan untuk mensimulasikan benda uji dan melihat fenomena aliran fluida yang melewati benda uji. Wind tunnel adalah peralatan yang digunakan untuk menginvestigasi fenomena aerodinamika benda uji dengan cara mengalirkan fluida yang mempunyai kecepatan terkontrol [1]. Wind tunnel dapat digunakan untuk media pembelajaran dalam menganalisis fenomena aerodinamika benda. Sehingga perlu dikaji secara menyeluruh dalam mengembangkan alat untuk media pembelajaran fenomena aliran fluida. Dalam membuat alat wind tunnel tentunya terlebih dahulu dilakukan analisis aliran fluida pada desain yang diharapkan. Untuk langkah awal dalam mendesain wind tunnel adalah dengan membuat geometri wind tunnel secara

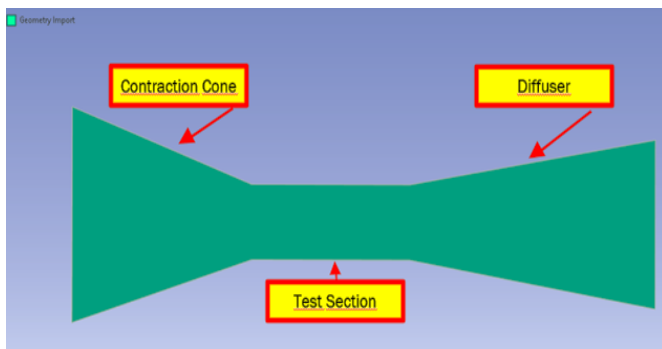
2D, hal ini bertujuan untuk menganalisis aliran fluida seragam sehingga dapat dilakukan analisis pada setiap bagian komponen wind tunnel fluida yang mengalir dari seksi kontraksi hingga diffuser. Analisis ini menggunakan software Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan model wind tunnel 2D. Pada wind tunnel tipe sirkuit terbuka mempunyai komponen penting yaitu seksi kontraksi, seksi uji, diffuser dan seksi fan [2]. Wind tunnel, aliran fluida yang mengalir dari input hingga output harus seragam [3]. Wind tunnel mempunyai beberapa bagian penting dan bagian tersebut mempunyai fungsi yang berbeda. Pada masing-masing bagian aliran fluida harus dijaga keseragaman aliran fluida dari inlet hingga outlet. Aliran fluida yang seragam di Test Section perlu diperhatikan saat



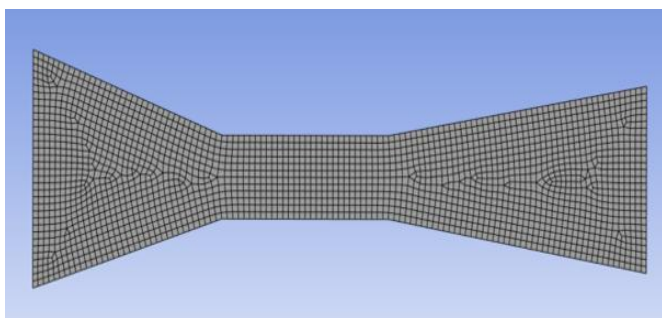
membuat desain [4]. Tujuan dari penelitian ini adalah menganalisis aliran fluida pada desain wind tunnel tipe subsonic aliran terbuka.

2. Experimental Procedure

Analisis penelitian ini menggunakan metode penelitian *Research and Development (R&D)*. Penggunaan R&D ini diharapkan dapat mengembangkan produk wind tunnel dengan melakukan analisis 2D terlebih dahulu guna mendapatkan hasil aliran yang seragam pada kecepatan tertentu. Riset yang dilakukan adalah mendesain wind tunnel 2D dan menganalisis aliran fluida yang mengalir dari inlet hingga outlet dengan menggunakan software Ansys Fluen. Setelah mendapatkan desain optimal 2D kemudian dilakukan analisis desain wind tunnel menggunakan metode CFD hingga memperoleh fenomena pola aliran fluida yang seragam di dalam ruang wind tunnel [5]. Metode yang digunakan dalam aliran pada wind tunnel dengan aliran turbulen. Turbulensi merupakan salah satu parameter yang paling penting dalam mengetahui fenomena aliran fluida pada wind tunnel [6]. Pada riset ini, aliran fluida mempunyai kecepatan menengah yaitu 6 m/s dengan aliran seragam. Desain wind tunnel menggunakan ansys Modeller 2D, selanjutnya dilakukan meshing dengan jenis mesh Hexahedral dengan elemen size 0.0000454, node 2209 dan elemen mesh 2269. Design wind tunnel dapat dilihat pada gambar 1 dan pada gambar 2 mesh wind tunnel.



Gambar 1. Geometri Wind Tunnel 2D.



Gambar 2. Mesh Hexahedral 2D

Pada proses simulasi, dalam mengetahui karakteristik aliran fluida pada wind tunnel metode yang digunakan adalah model model of k-epsilon ($k-\epsilon$) standard, model turbulent realizable k-epsilon standard wall function. Model turbulent kinetic energy k dan laju disipasi diperoleh dari persamaan umum aliran fluida:

Adapun persamaan aliran fluida dapat dilihat pada di bawah:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \dots (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u_i) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j}$$

$$\left[\mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial u_k}{\partial x_k} \right) \right] + \frac{\partial}{\partial x_j}(-\rho \overline{u'_i u'_j}) \dots (2)$$

Persamaan 1 dan 2 adalah persamaan dari *Reynolds-averaged Navier Stokes (RANS)* dengan persamaan pada koordinat kartesius, $(-\rho \overline{u'_i u'_j})$ adalah parameter *Reynolds stresses velocity*

$$u_i = \overline{u}_i + u'_i \dots (3)$$

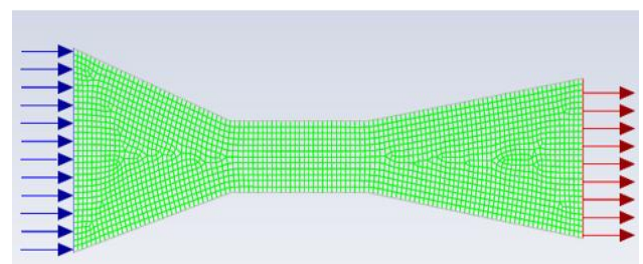
Persamaan ke 2 dapat ditulis dengan menggunakan persamaan $k-\epsilon$ model seperti di bawah:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \dots (4)$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + S_\epsilon \dots (5)$$

3. Result And Discussion

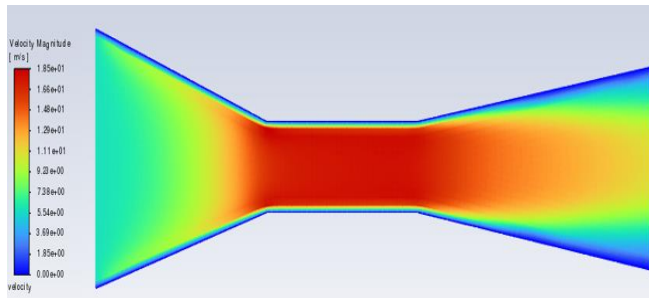
Penelitian ini mengkaji karakteristik aerodinamika pada desain wind tunnel secara 2D. Analisis berdasarkan gambar Aliran fluida mengalir dalam wind tunnel. Pada penelitian ini menggunakan kecepatan inlet 6 m/s. Analisis aliran menggunakan Ansys Fluent dengan menggunakan model fluida turbulen. Pada tahap simulasi dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3. Aliran Fluida dari Inlet ke outlet

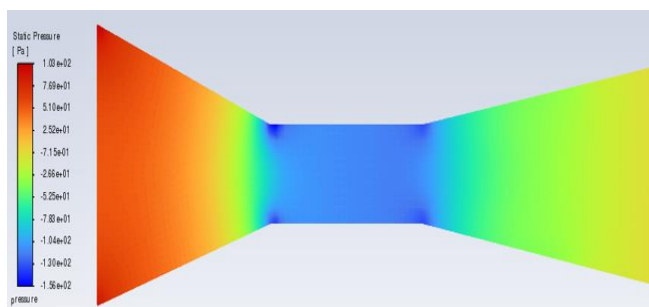
Gambar 3 menjelaskan aliran fluida mengalir dari inlet ke outlet, dengan velocity 6 m/s pada kecepatan inlet wind tunnel. Wind tunnel disimulasikan dengan gambar 2D dan jenis mesh yang digunakan adalah mesh

Hexahedral. Penggunaan simulasi model wind tunnel 2D bertujuan untuk mengetahui karakteristik aliran fluida yang melintasi di dalam wind tunnel pada bagian *contraction cone*, *test section* dan *diffuser*. Meshing yang digunakan dalam simulasi wind tunnel dengan jumlah elemen mesh 2269.



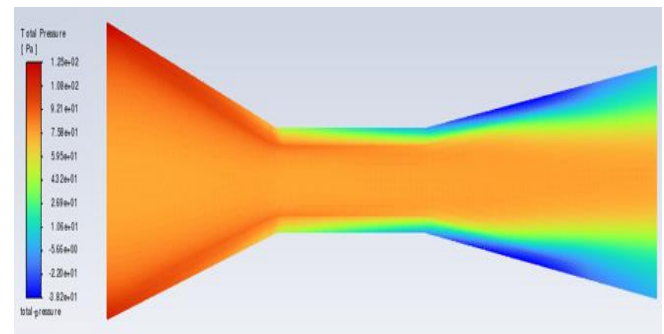
Gambar 4. Velocity Magnitude

Gambar 4 menjelaskan pola aliran wind tunnel dengan menganalisis gambar velocity magnitude. Kontur velocity magnitude pada gambar menjelaskan perbedaan warna pada geometri wind tunnel dari sisi *inlet* hingga *outlet* besar kecilnya nilai velocity magnitude. Terlihat jelas pada setiap sisi section contraction, test section dan diffuser mempunyai nilai rendah hal ini dikarenakan losses pada fluida yang bergesekan dengan sisi-sisi wind tunnel. Velocity magnitude menunjukkan bahwa boundary layer thickness berkembang sesuai dengan kemampuan fluida melewati pada setiap section. Pada bagian contraction menuju ke bagian test section menunjukkan perubahan aliran meningkat pesat hal ini dikarenakan alir fluida yang masuk pada test section ini mengecil sehingga saat menuju ke bagian diffuser aliran secara perlahan turun hingga pada outlet wind tunnel.



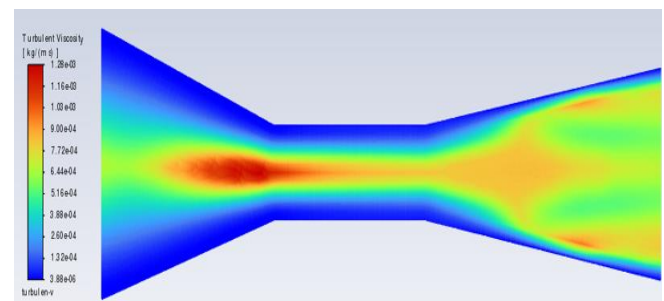
Gambar 5. Static Pressure

Gambar 5 menjelaskan pola aliran wind tunnel dengan menganalisis gambar Static Pressure. Pada gambar terlihat jelas tekanan statis pada inlet pada bagian contraction lebih besar jika dibandingkan dengan pada bagian outlet/bagian diffuser. Sedangkan pada test section mempunyai static pressure rendah hal ini dikarenakan semakin tinggi kecepatan aliran fluida, maka tekanan statis akan semakin rendah. Pada prinsipnya seperti prinsip bernoulli.



Gambar 6. Total Pressure

Gambar 6 menjelaskan pola aliran wind tunnel dengan menganalisis gambar total pressure. Total pressure menunjukkan tekanan statis dan tekanan dinamis. Pada gambar menunjukkan total pressure mempunyai tekanan tertinggi pada section contraction, kemudian saat fluida menuju ke test section aliran tengah sedikit turun sedangkan pada bagian sisi-sisinya seiring aliran menuju ke bagian diffuser total pressure turun hingga outlet sedangkan pada bagian tengah diffuser tekanan hanya sedikit yang turun hingga outlet wind tunnel.



Gambar 7. Turbulent Viscosity

Gambar 7 menjelaskan pola aliran wind tunnel dengan menganalisis gambar wind tunnel pada mode Turbulent viscosity. Pada kontur ini menunjukkan aliran turbulen pada sisi-sisi wind tunnel kecil hal ini dikarenakan adanya gesekan sehingga aliran fluida mengikuti bentuk sisi wind tunnel. Pada bagian section contraction menuju ke test section di tengah terjadi turbulensi tinggi hal ini dikarenakan semakin tinggi nilai turbulensi pada viscosity maka semakin tinggi tingkat turbulensinya. Kemudian saat aliran fluida keluar dari test section maka turbulensi meyebar hal ini dikarenakan adanya penurunan tekanan pada bagian diffuser.

4. Conclusions

Hasil analisa terowongan angin tipe sirkuit terbuka subsonik layak digunakan, dimana jika dilihat dari kinerja terowongan angin dengan kecepatan sedang pada inlet 6 m/s mempunyai aliran fluida yang cukup homogen dan seragam di seluruh saluran. penampang terowongan angin.

Acknowledgment

Terimakasih rekan-rekan Mahasiswa, Dosen Teknik Mesin Unila dan Unila.

References

1. Anton, Philip S., 2004, *Wind Tunnel and Propulsion Test Facilities : An Assessment of NASA's Capabilities to Serve National Needs*. Santa Monica, CA : RAND Corporation.
2. Owen, F.K., Owen, A.K., 2008, *Measurement and assessment of wind tunnel flow quality*. Progress in Aerospace Sciences, Vol. 44, Issue 5, pp. 315–348.
3. Kubesh, R.J., Allie, B.W., 2009, A wind tunnel for an undergraduate laboratory, *Internasional Journal of Mechanical Engineering Education*, Vol. 37, 1: pp. 21-26.
4. M. A. G. Hernández, A. I. M. López, A. A. Jarzabek, J. M. P. Perales, and Y. Wu, "Design Methodology for a Quick and Low-Cost Wind Tunnel," in *Wind Tunnel Designs and Their Diverse Engineering Application*, InTech, 2013, pp. 3–28.
5. A. S. Abdelhamed, Y. E. S. Yassen, and M. M. Elsakka, "Design optimization of three dimensional geometry of wind tunnel contraction," *Ain Shams Eng J.*, vol. 6, no. 1, pp. 281–288, 2014
6. Rehman, K., Malik, A.M., Sarwar, W., Zafar, M.F., 2011, *An analysis of flow turbulence in a wind tunnel using Turbulence Sphere*, NUST College of Electrical and Mechanical Engineering, Pakistan.