

Design Diameter Keluar Subsonic Diffuser Menggunakan Analisa Perhitungan Numerik

Puji Ruswanto^{1*}, Bambang Raharjo¹, Samsul Arifin¹, M Robiansyah Nur Kholik¹

¹Program Studi Magister Teknik Mesin, Universitas Pancasila, Cikini, Jakarta Pusat 10320, Indonesia

*Email Corresponding Author: pujiruswanto@gmail.com, abenk.jo86@gmail.com, abngsamsul1400@gmail.com, robiansyah.nk@gmail.com,

ABSTRAK

Karakteristik aliran dan kinerja *subsonic diffuser* dengan fokus pada optimalisasi geometri dan penerapan teknik kontrol aliran pasif. *Subsonic diffuser* memainkan peran krusial dalam berbagai aplikasi aerodinamika, namun masih menghadapi tantangan dalam hal separasi aliran dan pemulihan tekanan yang efisien. Studi ini dilakukan melalui pendekatan analisa perhitungan numerik untuk mengetahui kebutuhan besar diameter keluar yang optimal dari *subsonic diffuser* sehingga didapatkan nilai efisiensi yang diinginkan. Sehingga dengan diameter aliran keluar *diffuser* = 6.4 cm dan diameter aliran masuk *diffuser* = 4 cm diperoleh, *sonic velocity* = 314,3 m/s, efisiensi konversi energi dengan mach number diperoleh = 0.8, perubahan suhu dan temperature dimana suhu awal (T1) = 313 K, diperoleh suhu akhir (T2) = 322 K, tekanan awal (P1) = 110 kPa, tekanan akhir (P2) = 150 kPa, kecepatan aliran gas masuk / In (C1) = 250 m/s, kecepatan aliran gas keluar / exit (C2) = 97,5 m/s, massa jenis udara pada saluran masuk gas ideal $p_1 = 1.244 \text{ kg/m}^3$ dan massa jenis udara pada saluran keluar gas ideal $p_2 = 1.19 \text{ kg/m}^3$.

Kata kunci: *Subsonic diffuser*, diameter keluar, analisa perhitungan, desain optimal, efisiensi aliran

ABSTRACT

Flow characteristics and performance of a subsonic diffuser with a focus on geometry optimization and the application of passive flow control techniques are investigated. Subsonic diffusers play a crucial role in various aerodynamic applications, yet they still face challenges related to flow separation and efficient pressure recovery. This study employs a numerical analysis approach to determine the optimal outlet diameter requirement of the subsonic diffuser, aiming to achieve the desired efficiency. The outlet flow rate of the diffuser = 6.4 cm and the inlet flow rate of the diffuser = 4 cm are achieved, with sonic velocity = 314.3 m/s, energy conversion efficiency with mach number obtained = 0.8, temperature change where initial temperature (T1) = 313 K, final temperature (T2) = 322 K, initial pressure (P1) = 110 kPa, final pressure (P2) = 150 kPa, flow rate of gas entering the channel / In (C1) = 250 m/s, flow rate of gas leaving / exit (C2) = 97.5 m/s, density of air at the inlet ideal gas $p_1 = 1.244 \text{ kg/m}^3$ and density of air at the outlet ideal gas $p_2 = 1.19 \text{ kg/m}^3$.

Keywords: *Subsonic diffuser*, outlet diameter, numerical analysis, optimal design, flow efficiency

PENDAHULUAN

Subsonic diffuser merupakan komponen kritis dalam sistem propulsi dan aerodinamika yang beroperasi pada kecepatan subsonic [1]. Perangkat ini dirancang untuk memperlambat aliran udara secara efisien sambil meningkatkan tekanan statik, yang sangat penting dalam berbagai aplikasi teknik seperti mesin jet, *wind tunnel*, dan sistem ventilasi industri [2]. Efisiensi dan kinerja *subsonic diffuser* sangat bergantung pada geometrinya, kondisi aliran masuk, dan interaksi antara lapisan batas dan aliran inti [3].

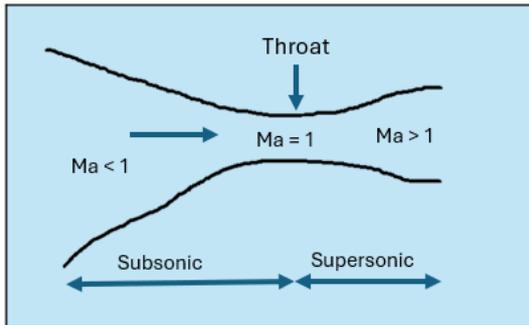
Prinsip dasar dari *diffuser subsonic* adalah memperlambat aliran fluida secara bertahap. Dengan memperlebar penampang aliran, kecepatan fluida akan berkurang, sementara

tekanan statiknya meningkat sesuai dengan hukum Bernoulli [4]. Hal ini memungkinkan konversi energi kinetik menjadi energi tekan, meningkatkan efisiensi sistem. Desain *diffuser* yang tepat sangat penting untuk mencegah terjadinya separasi aliran. Separasi dapat menyebabkan pengurangan tekanan, penurunan efisiensi, dan bahkan kehilangan aliran [5]. Dengan mengoptimalkan sudut divergensi dan geometri *diffuser*, aliran dapat dipertahankan tetap melekat pada permukaan, meminimalkan kerugian.

Salah satu yang menjadi tantangan utama dalam mendesain *diffuser subsonic* adalah menghindari separasi aliran yang dapat menurunkan efisiensi dan performa diffuser. Oleh karena itu, optimisasi sudut divergensi dan profil geometri menjadi

sangat penting sehingga dapat meminimalkan separasi aliran.

Melalui konversi energi kinetik menjadi energi tekan, diffuser subsonic mampu meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem. Pengurangan kecepatan aliran dan peningkatan tekanan statis menghasilkan peningkatan daya output, mengurangi konsumsi energi, dan meningkatkan performa sistem.



Gambar 1 Perbandingan kecepatan aliran fluida

Perhitungan diameter keluar yang optimal merupakan tantangan kompleks yang melibatkan keseimbangan antara pemulihan tekanan dan stabilitas aliran [6]: Diameter yang terlalu besar dapat menyebabkan separasi aliran dan penurunan efisiensi, sementara diameter yang terlalu kecil dapat menghasilkan kerugian gesekan yang berlebihan [7]. Oleh karena itu, metode perhitungan yang akurat untuk menentukan diameter keluar optimal sangat penting dalam proses desain *diffuser*. Penelitian terbaru telah menunjukkan bahwa kinerja *diffuser* sangat bergantung pada geometrinya, termasuk sudut divergensi, rasio area, dan panjang [8]. Namun, sebagian besar studi berfokus pada optimasi keseluruhan bentuk *diffuser*, dengan perhatian yang relatif terbatas pada perhitungan spesifik diameter keluar dan pengaruhnya terhadap karakteristik aliran.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode pendekatan analisa perhitungan numerik untuk menginvestigasi karakteristik aliran dan kinerja *subsonic diffuser*.

Mencari nilai Bilangan Mach (M) [9]:

$$M = V / c \quad (1)$$

Di mana: V = kecepatan aliran,
c = kecepatan suara dalam fluida.

Lalu dimasukkan ke parameter Persamaan Kontinuitas [10]. Persamaan kontinuitas dalam fluida menyatakan bahwa aliran fluida dalam suatu sistem tertutup adalah konstan. Persamaan ini dapat ditulis sebagai:

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (2)$$

Keterangan :

- ρ_1 dan ρ_2 kerapatan fluida pada dua titik yang berbeda.
- A_1 dan A_2 = luas penampang aliran di dua titik.
- V_1 dan V_2 = kecepatan aliran fluida di dua titik.

Kerapatan (ρ). Menunjukkan massa per unit volume. Jika kerapatan berubah, hal ini bisa disebabkan oleh perubahan tekanan atau suhu.

Luas Penampang (A). Luas area di mana fluida mengalir. Jika area mengecil, kecepatan aliran akan meningkat, dan sebaliknya.

Kecepatan (V). Kecepatan aliran fluida. Dalam saluran yang lebih sempit, kecepatan fluida akan lebih tinggi untuk menjaga aliran massa yang konstan.

Persamaan ini menunjukkan bahwa produk dari kerapatan, luas penampang, dan kecepatan aliran adalah konstan di sepanjang aliran. Ini membantu dalam menganalisis berbagai situasi dalam mekanika fluida, seperti aliran melalui pipa yang berubah ukuran.

2.1 Optimasi Desain

Dari sisi desain, ada beberapa hal yang dapat dilakukan optimasi, diantaranya yaitu:

- Geometri. Gunakan desain divergent yang halus untuk mengurangi turbulensi dan meningkatkan efisiensi aliran. Sudut divergensi sebaiknya tidak lebih dari 7 derajat.
- Panjang Diffuser. Sesuaikan panjang diffuser untuk memastikan transisi yang lancar dari aliran subsonik, menjaga agar aliran tetap laminar.
- Permukaan Halus. Pilih material dengan permukaan yang halus untuk mengurangi gesekan dan kehilangan energi. Ini dapat meningkatkan efisiensi aliran.
- Simulasi CFD. Gunakan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) untuk menganalisis pola aliran dan mengidentifikasi potensi masalah sebelum prototyping.

- e) Perhitungan Numerik. Dengan analisa perhitungan diameter keluar, desain diffuser subsonic dapat dioptimalkan. Ini memungkinkan peningkatan efisiensi konversi energi, pengurangan kehilangan tekanan, dan peningkatan performa keseluruhan sistem.

Dari beberapa hal tersebut diatas, penelitian ini menggunakan Analisa perhitungan numerik. Simulasi perhitungan yang akurat diperlukan untuk memprediksi perilaku aliran dan membantu dalam proses desain diffuser yang optimal.

2.2 Manfaat Simulasi Perhitungan Numerik

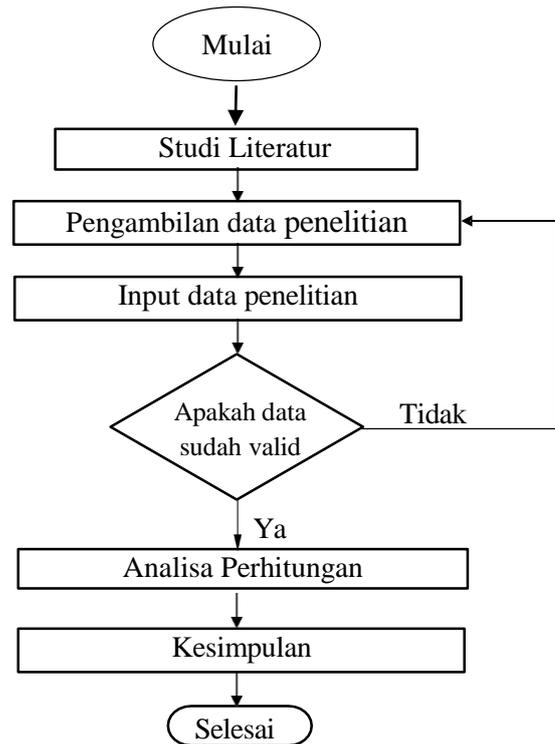
Simulasi perhitungan numerik dalam desain subsonic diffuser memiliki sejumlah manfaat penting, antara lain:

- Optimasi Desain : Simulasi memungkinkan pengujian berbagai geometri diffuser dengan cepat, sehingga dapat menemukan bentuk yang paling efisien untuk mengubah kecepatan aliran fluida menjadi tekanan yang lebih tinggi.
- Penghematan Waktu dan Biaya: Dengan menggunakan simulasi perhitungan, waktu dan biaya yang diperlukan untuk pembuatan prototipe fisik dapat diminimalkan. Ini juga mengurangi jumlah eksperimen fisik yang perlu dilakukan.
- Analisis Aliran: Simulasi dapat memberikan wawasan mendalam tentang pola aliran, termasuk distribusi kecepatan dan tekanan di dalam diffuser. Ini membantu dalam mengidentifikasi potensi masalah seperti aliran terpisah atau turbulensi.
- Peningkatan Kinerja: Dengan menganalisis hasil simulasi, desainer dapat membuat penyesuaian untuk meningkatkan kinerja diffuser, seperti mengurangi kehilangan energi atau meningkatkan efisiensi.
- Studi Kasus Berbeda: Simulasi memungkinkan analisis dalam kondisi operasi yang berbeda, seperti variasi aliran masuk dan sudut serang, untuk memahami bagaimana diffuser berperilaku dalam berbagai skenario.
- Integrasi dengan Software: Simulasi perhitungan dapat terintegrasi dengan banyak software CFD (Computational Fluid Dynamics) sehingga memudahkan integrasi dengan proses desain lainnya dan memungkinkan visualisasi hasil yang lebih jelas.
- Pemahaman Teoritis: Simulasi membantu dalam memahami prinsip-prinsip fisika di

balik aliran fluida, sehingga memberikan wawasan teoritis yang lebih baik bagi mahasiswa dan peneliti.

Dengan semua manfaat ini, simulasi perhitungan numerik menjadi alat yang sangat berguna dalam proses desain dan pengembangan subsonic diffuser yang efisien dan efektif.

2.3 Diagram Flow Chart



Gambar 2 Diagram Alir Penelitian

Desain diameter keluar diffuser sangat krusial karena mempengaruhi efisiensi dan performa keseluruhan sistem. Analisa perhitungan numerik menjadi metode yang efektif untuk mendesain diameter keluar subsonic diffuser karena memungkinkan simulasi berbagai kondisi aliran tanpa perlu melakukan eksperimen fisik yang mahal.

Beberapa aspek penting dalam desain diameter keluar subsonic diffuser menggunakan analisa perhitungan numerik meliputi: Pemodelan geometri diffuser, Penentuan kondisi batas dan parameter aliran, Pemilihan model turbulensi yang sesuai, Analisis distribusi tekanan dan kecepatan, Optimasi sudut divergensi dan rasio area

Hasil analisa numerik dapat digunakan untuk menentukan diameter keluar optimal yang

meminimalkan kerugian tekanan dan mencegah separasi aliran

Proses pengambilan data ini dilakukan secara sistematis untuk memastikan konsistensi dan keandalan hasil. Setiap tahap diperhatikan dengan cermat untuk memudahkan analisis dan pelaporan hasil penelitian. Menggunakan data yang diperoleh untuk menentukan diameter keluar optimal.

Untuk data penelitian mengacu pada proses memasukkan berbagai parameter dan kondisi yang diperlukan ke dalam perangkat lunak simulasi. Tahap ini merupakan tahapan kritis yang menentukan keakuratan dan relevansi hasil simulasi. Adapun beberapa data yang diperlukan dalam penelitian ini:

Geometri Diffuser Meliputi Dimensi inlet (diameter atau luas penampang) dan Panjang diffuser. Properti Fluida meliputi Densitas udara, Viskositas dinamik, Temperatur operasi. Parameter Aliran berupa Bilangan Reynolds, Bilangan Mach (untuk aliran subsonik). Variabel yang diperhatikan pada Titik-titik pengamatan untuk ekstraksi data dan Parameter yang akan diukur (tekanan, kecepatan, dan sebagainya.)

Analisa perhitungan untuk desain diameter keluar subsonic diffuser menggunakan metode numerik melibatkan serangkaian langkah dan pertimbangan sebagai berikut: Perhitungan Parameter Kinerja antara lain Beberapa parameter kunci dihitung, termasuk: Koefisien pemulihan tekanan, Efisiensi diffuser, Faktor distorsi aliran di outlet. Melalui proses analisa numerik ini, diameter keluar optimal dapat ditentukan dengan mempertimbangkan berbagai aspek kinerja diffuser, seperti pemulihan tekanan maksimum dan minimalisasi kerugian aliran.

Hasil analisa ini kemudian dapat digunakan sebagai dasar untuk desain dan optimasi lebih lanjut dari subsonic diffuser.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebuah aliran udara dalam pipa berdiameter 4 cm memiliki kecepatan rata-rata sebesar 240 m/s. Tekanan dan suhu udara adalah 110 kPa dan 45°C secara berturut-turut. Diperlukan untuk meningkatkan tekanan udara menjadi 150 kPa menggunakan sebuah diffuser. Tentukan diameter keluaran dari *diffuser*. Asumsi:

1. Aliran isentropik melalui diffuser
2. Untuk udara, $c = 1.005 \text{ kJ/kgK}$; $\gamma = 1.1$; $R = 287 \text{ J/kgK}$
3. Udara adalah gas ideal

Keterangan:

c adalah kapasitas kalor jenis udara

γ adalah rasio panas spesifik udara

R adalah konstanta gas udara, Nilainya adalah 287 J/kgK

v adalah kecepatan suara

T adalah suhu udara dalam kelvin

Data:

$$\text{Sonic velocity} = \sqrt{\gamma RT} \quad (2)$$

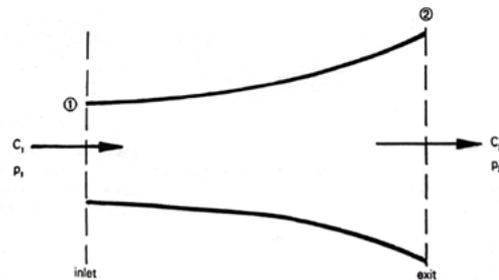
$$= \sqrt{1.1 \times 287 \times 313}$$

$$= 314.3 \text{ m/s}$$

$$\text{Mach Number} = \frac{\text{velocity of air}}{\text{velocity of sound}}$$

$$= \frac{250}{314.3} = 0.8$$

Artinya aliran pada pintu masuk *diffuser* bersifat subsonik. Dalam hal ini profil *diffuser* akan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dibawah ini.



Gambar 3. A subsonic diffuser

Solusi:

Untuk perubahan suhu dalam proses adiabatik ideal atau proses *isentropik* dalam termodinamika. Persamaan dibawah ini menunjukkan hubungan antara perubahan tekanan (P) dan perubahan suhu (T) saat terjadi perubahan volume dalam proses isentropik. Persamaan ini menggambarkan hubungan antara perubahan tekanan dan suhu saat proses *isentropik* terjadi pada gas ideal sebagai berikut:

$$\left(\frac{T_2}{T_1}\right) = \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \quad (1)$$

$$\left(\frac{T_2}{313}\right) = \left(\frac{150}{110}\right)^{\frac{1.1-1}{1.1}}$$

$$T_2 = 322 \text{ K}$$

Keterangan:

T_1 adalah suhu awal

T_2 adalah suhu akhir

P_1 adalah tekanan awal

P_2 adalah tekanan akhir

Y adalah rasio spesifik dari gas yang digunakan

Keseimbangan energi pada *diffuser* yaitu:

total energi yang masuk = total energi yang keluar

$$h_1 (C_1^2/2) = h_2 (C_2^2/2) \quad (2)$$

$$c_p T_1 (C_1^2/2) = c_p T_2 (C_2^2/2)$$

$$1.005 \times 313 (250^2/2) = 1.005 \times 322 (C_2^2/2)$$

$$C_2 = 97.5 \text{ m/s}$$

Keterangan:

Jumlah entalpi awal (h_1)

Jumlah entalpi akhir (h_2)

Kecepatan aliran gas masuk / In (C_1)

Kecepatan aliran gas keluar / exit (C_2)

Suhu awal (T_1)

Suhu Akhir (T_2)

Untuk menentukan massa jenis udara pada saluran masuk dan keluar gas ideal:

$$pV = mRT, \quad m/V = \rho = p/RT, \quad \rho = p/RT \quad (2)$$

At the INLET,

$$\rho_1 = p_1/RT_1$$

$$\rho_1 = 110 \times 10^3 / 287 \times 312$$

$$\rho_1 = 1.244 \text{ kg/m}^3$$

At the EXIT,

$$\rho_2 = p_2/RT_2$$

$$\rho_2 = 110 \times 10^3 / 287 \times 322$$

$$\rho_2 = 1.19 \text{ kg/m}^3$$

Keterangan :

P : tekanan gas dalam pascal (Pa) atau atmosfer (atm)

V : volume gas dalam meter kubik (m³) atau liter (L)

n : jumlah zat dalam mol

T : temperature gas dalam kelvin (K)

R : konstanta gas, nilainya tergantung pada unit yang digunakan untuk tekanan dan volume.

Berdasarkan keseimbangan massa, Total massa yang masuk = total massa yang keluar

$$\rho_1 A_1 C_1 = \rho_2 A_2 C_2 \quad (2)$$

$$1.224 \times \mu \times 0.04^2 / 4 \times 240 = 1.190 \times \mu d^2 / 4 \times 97.5$$

$$d_2 = 0.064 \text{ m}$$

Diameter keluar : $d_2 = 6.4 \text{ cm}$

Diameter aliran keluar diffuser diperoleh sebesar = 6.4 cm.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, maka dapat ditarik kesimpulan yaitu:

1. Sonic velocity = 314,3 m/s
2. Efisiensi konversi energi, dengan Mach Number diperoleh = 0.8
3. Perubahan suhu dan temperatur. Suhu awal (T_1) = 313 K, suhu akhir (T_2) = 322 K, tekanan awal (P_1) = 110 kPa, tekanan akhir (P_2) = 150 kPa.
4. Keseimbangan energi pada *diffuser*. Total energi yang masuk = total energi yang keluar. Kecepatan aliran gas masuk / In (C_1) = 250 m/s, kecepatan aliran gas keluar / exit (C_2) = 97,5 m/s.
5. Massa jenis udara pada saluran masuk gas ideal $\rho_1=1.244 \text{ kg/m}^3$, massa jenis udara pada saluran masuk gas ideal $\rho_2=1.19 \text{ kg/m}^3$.
6. Diperoleh diameter aliran keluar diffuser = 6.4 cm dengan diameter aliran masuk diffuser = 4 cm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Iynkaran, K., & Tandy, D. J. (1993).” Basic thermodynamics: applications and pollution control”. (*No Title*).
- [2] Sovran, G., & Klomp, E. D. (1967). “Experimentally determined optimum geometries for rectilinear diffusers with rectangular, conical or annular cross-section”. *Fluid Mechanics of Internal Flow*, 270-319.
- [3] Reneau, L. R., Johnston, J. P., & Kline, S. J. (1967).” Performance and design of straight, two-dimensional diffusers”. *Journal of Basic Engineering*, 89(1), 141-150.
- [4] Agromayor Roberto., Muller Bernhard., Nord Lars, (2019).”One-Dimensional Annular Diffuser Model for Preliminary

- Turbomachinery Design". *The Norwegian University of Science and Technology*. Norway.
- [5] Khan Daniyal., Bjernemose Jesper Holm., Lund Ivar., Bebe Jim Elkjaer, (2021). "Design and construction of an open loop subsonic high temperature wind tunnel for investigation of SCR dosing systems", *University of Southern*, Denmark.
- [6] Zhang Bo., Yi Shihe., Zhao Yuxin., Yang Rui., Zhu Ziyuan., Zeng Ruitong,(2024), "Space-marching inverse design of subsonic, transonic, and supersonic internal flowfields", *National University of Defense Technology*.
- [7] Tornow, F., et al. (2021). "Experimental and numerical investigation of a Subsonic diffuser for marine applications", *Ocean Engineering*, 219, 108423.
- [8] Ismail., Pane Augupta Erlanda., Rahman Reza Abdu, (2022), "An open design for a low-cost open loop subsonic wind tunnel for aerodynamic measurement and chracterization", *Faculty of Engineering Universitas Pancasila*. Jakarta.
- [9] Wang, Y., Lu, L., & Mishra, R. (2020). Numerical analysis of flow behavior in a subsonic diffuser with and without flow control. *Energies*, 13(6), 1341.
- [10] Duenas, C. O., Piechna, J., & Krasnowski, B. (2020). Numerical and experimental study of a diffuser with boundary layer suction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1527(1), 012029.