

Analisis Energi Kipas Aksial untuk Menghasilkan Kecepatan Angin 50 m/s pada Low Speed Wind Tunnel

Mega Esti Suci Sayekti¹, Alief Avicenna Luthfie¹

¹Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

E-mail: megaesti27@gmail.com

Abstrak-- Terowongan angin (*wind tunnel*) adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian aerodinamika terhadap sebuah model, seperti pesawat atau mobil. Pada perancangan *wind tunnel* ini menggunakan tipe *open-circuit low speed wind tunnel* yang memiliki kelemahan yaitu aliran udara pada *test section* yang dapat berubah dari laminar ke turbulen. Pada perancangan ini diperlukan analisis kipas hisap agar didapatkan daya motor yang efisien pada *test section* yang berdimensi 0,42m x 0,42m x 0,84m dengan kecepatan aliran udara maksimal sebesar 50 m/s. Analisis ini bertujuan untuk mendapatkan daya minimal motor untuk menggerakkan kipas aksial, kapasitas udara (CHM) di *test section*, dan mendapatkan nilai koefisien loss yang diperlukan untuk perhitungan daya motor. Perhitungan tersebut diperoleh dari desain *wind tunnel* yang sudah ada. Pada analisis energi yang dilakukan pada desain *wind tunnel* Universitas Mercu Buana didapatkan CHM pada *test section* sebesar 31752 m³/s. Pada setiap bagian *wind tunnel* terjadi kerugian energi yaitu koefisien loss pada *test section* $K_{TS}=0,0306$; *contraction cone* $K_{CC}=0,0157$; *diffuser* $K_D=0,0533$; *settling chamber* $K_{SC}=0,0109$; *honeycomb* $K_H=0,154$ sehingga didapatkan $K_t=0,2645$; dan total pressure loss $\Delta P_{total}=100,78$ Pa. Dari total koefisien loss di *wind tunnel* didapatkan daya motor minimal untuk menggerakkan kipas aksial adalah 16233 watt atau setara dengan 22 HP.

Kata kunci: *Wind tunnel, daya motor, kipas aksial, kerugian energi*

Abstract-- A *wind tunnel* is equipment used to perform aerodynamic testing of a model, such as an aircraft or a car. In this *wind tunnel* design, it uses an *open-circuit low speed wind tunnel* type which has the disadvantage of air flow in the *test section* which can change from laminar to turbulent. In this design, a suction fan analysis is needed to obtain efficient motor power in the *test section* with dimensions of 0.42m x 0.42m x 0.84m with a maximum airflow speed of 50 m/s. This analysis aims to obtain the minimum power of the motor to drive the axial fan, the air capacity (CHM) in the *test section*, and obtain the value of the loss coefficient required for the calculation of motor power. The calculation is obtained from the existing *wind tunnel* design. In the energy analysis carried out on the *wind tunnel* design of Mercu Buana University, CHM was obtained in the *test section* of 31752 m³/s. In the *wind tunnel* section, there is energy losses, that is the loss coefficient in the *test section* $K_{TS}=0,0306$; *contraction cone* $K_{CC}=0,0157$; *diffuser* $K_D=0,0533$; *settling chamber* $K_{SC}=0,0109$; *honeycomb* $K_H=0,154$; so obtained, $K_t=0,2645$; and total pressure loss $\Delta P_{total}=100,78$ Pa. From the total loss coefficient in the *wind tunnel*, the minimum motor power to drive the axial fan is 16233 watts or equivalent to 22 HP.

Keywords: *Wind tunnel, power, axial fan, energy losses*

1. PENDAHULUAN

Aerodinamika adalah bagian dari ilmu dinamika fluida yang mempelajari tentang gaya-gaya yang bekerja kepada suatu benda yang berada kepada suatu benda yang berada di dalam suatu aliran fluida. Salah satu cara untuk mengetahui aliran maupun gaya pada aerodinamika dapat dilakukan secara eksperimen menggunakan *wind tunnel*.

Terowongan angin (*wind tunnel*) adalah peralatan yang digunakan untuk melakukan pengujian aerodinamika terhadap sebuah

model, seperti pesawat atau mobil. Hasil pengujian model pada terowongan angin sangat dipengaruhi oleh kualitas aliran yang dihasilkan. Kualitas aliran pada terowongan angin ditunjukkan oleh keseragaman aliran dan intensitas turbulensi [1]. Kendala pengujian pada *wind tunnel* jenis *open circuit* adalah jenis aliran pada *test section* yang laminar dan bisa juga turbulen serta kecepatan angin yang tidak sesuai/seragam menyebabkan masalah saat melakukan uji coba pada benda uji karena pengaruh bentuk dan pengaruh gaya-gaya/hambatan yang

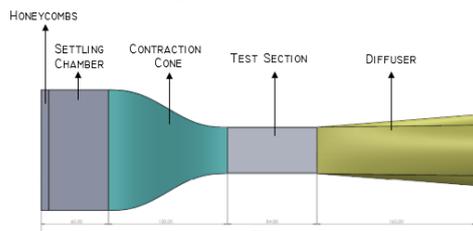
dihasilkan oleh angin disekitar bentuk badan dari benda uji bergerak [2][3].

Untuk mendapatkan aliran yang laminar dan kecepatan angin yang sesuai, maka perlu dilakukan perhitungan analisis energi didapatkan dari pertimbangan konsumsi energi seperti besar CMH, daya motor, tekanan/pressure, dan kerugian/losses, dari berbagai elemen wind tunnel. Dari penelitian sebelumnya *jet power* dari sebuah wind tunnel dengan luas *test section* 100 ft² yang menghasilkan kecepatan 200 mph adalah 5456 hp [4]. Pada penelitian berikutnya perhitungan daya yang dihasilkan untuk test section 0,2 x 0,2 m untuk alat peraga mekanika fluida skala laboratorium adalah 233,51 W atau 0,5 HP dimana pada bagian test section air volume sebesar 2880,14 CMH dan kerugian energi total 0,20014656 [5]. Berdasarkan penelitian tersebut didapatkan jumlah daya yang diperlukan untuk menggerakkan fan pada wind tunnel yang menghasilkan kecepatan angin yang sesuai dengan perancangan agar mendapatkan motor yang efisien. Namun demikian, pada perancangan *low speed wind tunnel* Teknik Mesin Universitas Mercu Buana belum dilakukan analisis daya motor efisien yang dibutuhkan dengan desain bilangan Reynold 1.500.000, ukuran test section 0,42 m x 0,42 m x 0,84 m, serta kecepatan maksimal di *test section* 50 m/s.

Dengan demikian penelitian ini difokuskan untuk mendapatkan daya motor yang efisien yaitu dengan menghitung CMH pada *test section low speed wind tunnel* dan analisis total kerugian energi pada setiap bagian pada *low speed wind tunnel*. Dari analisis tersebut akan didapatkan daya motor yang dibutuhkan untuk menggerakkan kipas aksial sehingga mendapatkan kecepatan maksimal 50 m/s pada *test section*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan daya motor minimal yang di butuhkan kipas aksial, mendapatkan nilai CMH (*cubic meter hour*), dan kerugian energi pada setiap bagian *wind tunnel*.

Wind Tunnel memiliki bagian seperti ditunjukkan pada gambar 1:



Gambar 1. Gambar desain wind tunnel

HONEYCOMBS

Honeycomb digunakan untuk menyeragamkan aliran dan mereduksi turbulensi arah lateral, tetapi juga menyebabkan terjadinya turbulensi dalam arah aksial dengan ukuran sama dengan diameter *Honeycomb*. Dalam desain *Honeycomb*, parameter yang digunakan panjang terhadap *diameter cell Honeycomb*, dan rasio yang disarankan berkisar dalam range 6-8.[6]

SETTLING CHAMBER

Settling Chamber merupakan tempat masuknya aliran pertama kali dalam *open circuit wind tunnel type suction* (hisap). Bagian ini merupakan ruang penyesuaian aliran agar aliran udara di *test section* diperoleh keseragaman aliran dan juga level turbulensi yang rendah yang rendah, baik dalam arah *axial* maupun dalam arah dalam arah. Di dalam *settling chamber* terdapat *screen* dan juga *honeycombs* untuk menstabilkan aliran angin.[6]

CONTRACTION CONE

Contraction atau disebut juga "*nozzle*" mengakselerasi aliran dari *settling chamber* menuju *test section*, juga mereduksi ketidak seragaman aliran di *test section*. Parameter akselerasi dan ketidakseragaman aliran sangat bergantung pada rasio kontraksi, yakni rasio luas penampang pada saat masuk dan keluar *contraction*.[4]

TEST SECTION

Test section adalah bagian di mana model yang akan diuji diletakkan, dapat terbuka atau tertutup. Oleh karenanya kecepatan yang diinginkan dan kualitas aliran pada *test section* harus menjadi perhatian utama ketika mendesain sebuah *wind tunnel*.[7]

DIFFUSER

Diffuser merupakan bagian terowongan angin yang terletak antara *test section* dan fan/blower. Penggunaan *diffuser* bertujuan untuk mengurangi kecepatan dengan kehilangan energi sekecil mungkin.[8]

2. METODOLOGI

Penelitian ini berfokus pada perhitungan daya motor minimum untuk menggerakkan kipas aksial *wind tunnel* agar mendapatkan kecepatan angin 50 m/s pada *test section*. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah literatur yaitu penulis melakukan

analisis perhitungan numerical dengan menggunakan rumus-rumus dari buku dan jurnal penelitian terdahulu Daya motor diperoleh melalui tahapan perhitungan di bawah ini :

- a. Menetapkan ukuran *wind tunnel* : ukuran wind tunnel sudah ditetapkan berdasarkan perhitungan yang dilakukan pada penelitian yang dilakukan salah satu mahasiswa Universitas Mercu Buana. Ukuran perancangan wind tunnel ini bisa dilihat pada tabel di bawah ini :

Tabel 1. Ukuran desain *wind tunnel*

Bagian	Ukuran (m)
<i>Test Section</i> (l x t x p)	0,42 x 0,42 x 0,84
Diameter hidraulik	0,48
<i>Contraction cone</i>	
Inlet (l x t)	1,1 x 1,1
Outlet (l x t)	0,42 x 0,42
Panjang (L)	1,2
<i>Diffuser</i>	
Inlet (l x t)	0,42 x 0,42
Outlet (diameter)	0,67
Panjang (L)	1,6
<i>Settling Chamber</i> (l x t x p)	1,1 x 1,1 x 0,6
<i>Honeycombs</i>	
Diameter (D _H)	0,0113
Panjang (L _H)	0,079

Setelah diketahui ukuran dari wind tunnel kemudian dilakukan perhitungan sebagai berikut:

- b. Kecepatan pada setiap *wind tunnel*
Kecepatan *wind tunnel* dihitung dengan menggunakan persamaan kontinuitas. [9]

$$V_1 \cdot A_1 = V_2 \cdot A_2 \tag{1}$$

- c. Kapasitas udara / CMH
Kapasitas udara pada *test section* dihitung dengan persamaan:

$$Q = v \times A \tag{2}$$

- d. Perhitungan Koefisien Loss (K)
 - Koefisien Loss pada *test section* [4]

$$K_{ts} = f \left(\frac{L_{ts}}{D} \right) \tag{3}$$

Dimana kerugian gesek dapat dicari dengan menggunakan rumus:

$$\frac{1}{\sqrt{f_{ts}}} = -2 \log_{10} \left[\frac{\epsilon}{3,71 \cdot D_H} + \frac{2,18 \cdot S}{Re} \right] \tag{4}$$

$$S = \ln \frac{Re}{1,816 \ln \frac{1,1 Re}{\ln(1 + 1,1 Re)}} \tag{5}$$

- Koefisien Loss pada *contraction cone* [4]

$$K_{cc} = 0,32 f_{avg} \frac{L_{cc}}{D_0} \tag{6}$$

f_{avg} adalah koefisien friksi rata-rata di inlet dan outlet *contraction cone*.

- Koefisien Loss pada *diffuser* [4]

$$K_d = K_f + K_{ex} \tag{7}$$

Dimana koefisien friksi

$$K_f = \left(1 - \frac{1}{A_R^2} \right) \cdot \frac{f}{8 \sin \theta} \tag{8}$$

dan koefisien ekspansi

$$K_{ex} = K_e(\theta) \left(\frac{A_R - 1}{A_R} \right)^2 \tag{9}$$

Faktor $K_e(\theta)$ pada penelitian ini adalah desain yang berbentuk lingkaran maka didapatkan

$$K_{e(circle)} = \begin{cases} 0,1033 - 0,023890 \text{ for } 0 < \theta < 1,5^\circ \\ 0,1709 - 0,11700 + 0,03260\theta^2 + 0,001078\theta^3 - \\ 0,0009076\theta^4 - 0,00001331\theta^5 + 0,00001345\theta^6 \\ \text{for } 1,5^\circ \leq \theta \leq 5^\circ \\ -0,09661 + 0,046728 \text{ for } 5^\circ < \theta \end{cases} \tag{10}$$

- Koefisien Loss pada *settling chamber* [6]

$$K_{sc} = \frac{0,01 \times L_{sc} \times (a_{sc} + b_{sc})}{a_{sc} \times b_{sc}} \tag{11}$$

- Koefisien Loss pada *honeycombs* [4]

$$K_h = \lambda_h \left(\frac{L_h}{D_h} + 3 \right) \left(\frac{1}{\beta_h} \right)^2 + \left(\frac{1}{\beta_h} - 1 \right)^2 \tag{12}$$

- e. Perhitungan *Pressure Loss* [10]

$$\Delta P = K \frac{V^2}{2} \rho \tag{13}$$

- f. Perhitungan Daya *Wind Tunnel* [5]
Setelah diketahui total koefisien loss pada wind tunnel maka dapat dihitung daya

yang dibutuhkan kipas aksial dengan menggunakan rumus di bawah ini :

$$P_{total} = P_{seksi\ uji} + \text{kerugian energi} \quad (14)$$

$$= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_0 \cdot V^3 (1 + K_{total})$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kecepatan pada Bagian Wind Tunnel

Kecepatan pada *wind tunnel* dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

Sehingga didapatkan kecepatan di setiap bagian *wind tunnel* sebagai berikut:

Tabel 2. Luas dan kecepatan pada *wind tunnel*

Bagian Wind tunnel	Luas Area/A (m ²)	Kecepatan/V (m/s)
Test section	0,1764	50
Inlet		7,29
Contraction cone	1,21	
Outlet		50
contraction cone	0,1764	
Inlet Settling Chamber	1,21	7,29
Inlet Settling Chamber	1,21	7,29
Outlet Settling Chamber	1,21	7,29
Inlet Diffuser	0,1764	50
Outlet Diffuser	0,3526	25

Dari analisis perhitungan yang sudah dilakukan diketahui bahwa kecepatan aliran yang terjadi di dalam setiap bagian *wind tunnel* berbeda seperti pada tabel (2) hal ini sesuai dengan persamaan kontinuitas yaitu fluida yang masuk ke dalam penampang, akan keluar di ujung penampang lain yang memiliki luas berbeda akan berbeda kecepatan tetapi memiliki debit yang sama.

3.2 Kapasitas udara

Perhitungan kapasitas udara pada test section dilakukan untuk mengetahui CMH pada test section yang berukuran 0,42mx0,42mx0,84m. Hasil perhitungan CMH menggunakan persamaan (2) adalah sebagai berikut:

$$Q = v \times A$$

$$= 50 \text{ m/s} \times 0,1764 \text{ m}^2$$

$$= 8,82 \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{CMH} = 31752 \text{ m}^3/\text{h}$$

3.3 Kerugian energi pada wind tunnel

Perhitungan koefisien *loss* setiap bagian *wind tunnel* bertujuan untuk menentukan berapa besar daya motor untuk menggerakkan kipas agar menghasilkan fluida / udara yang berkecepatan maksimal 50 m/s di *test section*. Koefisien *loss* total berpengaruh pada daya minimum motor, semakin besar koefisien *loss* maka semakin besar daya yang harus digunakan pada kipas aksial.

Pada setiap bagian *wind tunnel* akan terjadi kerugian energi disebabkan adanya transformasi energi dari mekanik ke panas yang menaikkan suhu pada aliran gas yang bersentuhan dengan material solid. Perhitungan dilakukan pada setiap bagian *wind tunnel* berdasarkan rumus pada sub bagian (2), maka didapatkan hasil koefisien *loss* energi pada penelitian ini sebagai berikut:

Tabel 3. Koefisien *Loss* pada *wind tunnel*

Bagian Wind tunnel	Koefisien Loss / K
Test section	0,0306
Contraction cone	0,0157
Settling Chamber	0,0109
Diffuser	0,0533
Honeycombs	0,154
Total	0,2645

Pada hasil Tabel (3) terjadi perbedaan hasil dikarenakan perbedaan ukuran pada setiap bagiannya. Dari perhitungan di atas dilihat nilai yang paling kecil adalah pada *settling chamber* hal ini di sebabkan ukuran *settling chamber* terpendek dari bagian yang lain, sedangkan pada bagian *honeycomb* koefisien *loss* terbesar dikarenakan pada *honeycomb* aliran dipaksa untuk melaju ke arah yang sama. Hasil dari koefisien *loss* ini kemudian digunakan untuk menghitung *pressure loss*.

3.4 Pressure loss wind tunnel

Pressure loss diperoleh berdasarkan koefisien *loss* dan kecepatan pada setiap bagian *wind tunnel*. Menggunakan persamaan (13) maka didapatkan *pressure loss* pada penelitian pada berikut:

Tabel 4. *Pressure loss* pada *wind tunnel*

Bagian Wind tunnel	Pressure loss /ΔP (Pa)
Test section	44,54
Contraction cone	7,5
Settling Chamber	0,34

Bagian <i>Wind tunnel</i>	Pressure loss ΔP (Pa)
<i>Diffuser</i>	43,64
<i>Honeycombs</i>	4,76
Total	100,78

Pada tabel (4) di atas total *pressure loss* 100,78 Pa, hasil ini dijadikan acuan minimal tekanan yang harus dihasilkan oleh kipas aksial untuk mengkompensasi *pressure loss* sebesar 100,78 Pa. Untuk mencapai tekanan tersebut kipas aksial harus menaikkan kecepatan/rpm dan menaikkan daya motor.

3.5 Daya *wind tunnel*

Daya motor dapat dihitung dengan mempertimbangkan total koefisien *loss* pada tabel (3). Hal ini disebabkan karena ada kerugian yang harus diganti agar dapat menghasilkan aliran udara dengan kecepatan maksimal 50 m/s pada *test section*.

$$\begin{aligned}
 P_{total} &= P_{seksi\ uji} + \text{kerugian energi} \\
 &= \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A_0 \cdot V^3 (1 + K_{total}) \\
 &= \frac{1}{2} \cdot 1,1644 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,1764 m^2 \cdot \left(50 \frac{m}{s}\right)^3 (1 \\
 &\quad + 0,2645) \\
 &= 16233 \text{ watt} \\
 P_{total} &= 21,77 \text{ HP} \approx 22 \text{ HP}
 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan daya tersebut, maka rekomendasi motor minimal yang digunakan pada *wind tunnel* ini adalah sebagai berikut:

Tabel 5. Spesifikasi motor untuk *wind tunnel*

Keterangan	Spesifikasi
Jenis motor	Motor Induksi/AC
Daya Motor	22 HP
Kecepatan putaran	1500 RPM
Voltase	380V
Frekuensi	50 Hz
Phase	3P
Pole	4

4. KESIMPULAN

4.1 Kesimpulan

Kesimpulan untuk penelitian ini adalah:

- Pada perancangan desain *wind tunnel* didapatkan daya motor minimal yang diperlukan kipas aksial agar menghasilkan aliran dengan kecepatan maksimal 50 m/s pada *test section* adalah sebesar 16233

watt atau 22 HP.

- Pada desain *low speed wind tunnel* Universitas Mercu Buana dengan ukuran *test section* 0,42 x 0,42 x 0,84 m dengan kecepatan maksimal 50 m/s memerlukan kapasitas udara (CMH) sebanyak 31.752 m³/h.
- Pada analisis energi yang dilakukan pada desain *wind tunnel* tersebut didapatkan koefisien *loss* pada *test section* $K_{TS}=0,0306$; *contraction cone* $K_{CC}=0,0157$; *diffuser* $K_D=0,0533$; *settling chamber* $K_{SC}=0,0109$; *honeycomb* $K_H=0,154$ sehingga didapatkan $K_t= 0,2645$; energi rasio $E_R=3,78$; dan total *pressure loss* $\Delta P_{total}= 100,78$ Pa.

4.2 Saran

Saran untuk penelitian berikutnya agar dapat dikembangkan:

- Dilakukan pengujian dan analisis desain menggunakan aplikasi CFD.
- Power plant dan desain kipas aksial dapat dikembangkan pada penelitian selanjutnya dengan mempertimbangkan data dari *wind tunnel* yang sudah diperoleh.
- Dilakukan konstruksi *wind tunnel* dan dilakukan uji coba kecepatan pada setiap titik di *wind tunnel* sehingga didapatkan perbandingan antara perhitungan dan aktual.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih ditujukan kepada Muhamad Fitri, Ph.D selaku Kepala Program Studi Teknik Mesin Universitas Mercu Buana, Alief Avicenna Luthfie, S.T, M.Eng selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir, Orangtua dan keluarga yang selalu memberikan doa dan dukungan, serta teman-teman yang memberikan masukan dan dukungan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- S. U. Handayani, "Pengembangan dan analisa keseragaman aliran terowongan angin tipe terbuka sebagai sarana pengujian aerodinamika," *Semin. Nas. Politek. Negeri Semarang, PNES II*, pp. 309–314, 2014.
- A. A. Riyadi, "Pembuatan dan Pengujian Terowongan Angin Kecepatan Rendah Tipe Terbuka," Universitas Lampung, 2010.
- S. Mauro, S. Brusca, R. Lanzafame, F.

- Famoso, A. Galvagno, and M. Messina, "Small-scale open-circuit wind tunnel: Design criteria, construction and calibration," *Int. J. Appl. Eng. Res.*, vol. 12, no. 23, pp. 13649–13662, 2017.
- [4] W. H. Rae and A. Pope, *Wind Tunnels*, vol. 7, no. 8. 1954. doi: 10.1063/1.3061735.
- [5] A. Tri, "Analisis Dan Perhitungan Pada Daya Motor Untuk Terowongan Angin (Wind Tunnel) Tipe Subsonic Dengan Test Section 0,2 X 0,2 M Untuk Alat Peraga Mekanika Fluida Skala LaboratoriumNo Title," *Mechonversio Mech. Eng. J.*, vol. 2, no. 2, p. 25, 2019.
- [6] K. P. N. Hegade, R. Natalia, B. Wehba, A. Mittal, R. B. Bhat, and M. Packirisamy, "Design and study of mini wind tunnel for microsystems fluid interaction under low Reynolds number flows," *SN Appl. Sci.*, vol. 2, no. 5, 2020, doi: 10.1007/s42452-020-2602-x.
- [7] D. C. Gonsalves, A. G. D'Souza, G. M. Vas, K. Madhyastha, R. Moodakare, and A. G. D'Souza, "Design and analysis of an open circuit subsonic wind tunnel," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2080, no. March, 2019, doi: 10.1063/1.5092923.
- [8] M. Singh, N. Singh, and S. K. Yadav, "Review of design and construction of an open circuit low speed wind tunnel," *Glob. J. Res. Eng.*, vol. 13, no. 5, pp. 1–22, 2013.
- [9] R. M. Olso and S. J. Wright, *Dasar-Dasar Mekanika Fluida Teknik*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama, 1993.
- [10] D. Ngene *et al.*, *CONCEPTUAL DESIGN OF A LOW SPEED WIND TUNNEL*. 2016.