

Perancangan Terowongan Angin Rangkaian Terbuka Dengan Sistem Piv (*Particle Image Velocimetry*)

<sup>1)*Rendi, <sup>2)Muhammad Firman, <sup>3) Budi Hartadi, <sup>4)Jainal Arifin ^{5)Muhammad Irfansyah}
(^{1,2,3,4,5})Program Studi Teknik Mesin, Universitas Islam Kalimantan Muhammad Arsuad Al Banjari Banjarmasin
*Email: rendi.teknikmesin@gmail.com</sup></sup></sup></sup>

Diterima: 12.02.2024, Disetujui: 14.05.2024, Diterbitkan: 19.05.2024

ABSTRACT

This research aims to design an open circuit wind tunnel with a piv (particle image velocimetry) system. This particle image velocimetry system was chosen because this system has the advantage of being easy to make and the equipment used is not too complicated. The method used in this design is a mathematical calculation method with. This tunnel is designed to have dimensions of 8 meters long, 1.75 meters wide and 1.75 meters high. With a maximum planned wind speed of 30 m/s. The design results state that the head loss in the test section is 1.28 m, in the contraction chamber is 0.52 m and the head loss in the diffuser is 0.49 m so the total head is 2.29 m so a pump power of 11.94 hp is needed to be able to simulate a maximum wind flow of 30 m. /s

Keywords: Wind Tunnel, Open System, Dimensions

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk merancang terowongan angin rangkaian terbuka dengan sistem piv (*particle image velocimetry*). Sistem *particle image velocimetry* ini dipilih karena sistem ini memiliki keunggulan yaitu mudah dibuat dan peralatan yang digunakan tidak terlalu rumit. Metode yang digunakan dalam perancangan ini adalah metode perhitungan matematis dengan. Terowongan ini dirancang memiliki dimensi panjang 8 meter, lebar 1.75 meter, dan tinggi 1.75 meter. Dengan kecepatan angin maksimum yang direncanakan adalah 30 m/s. Hasil perancangan menyatakan bahwa kerugian head pada pada seksi uji adalah 1.28 m, pada *contraction chamber* adalah 0.52 m dan kerugian head pada diffuser adalah 0.49 m sehingga total head adalah 2.29 m sehingga diperlukan daya pompa sebesar 11.94 Hp untuk bisa mensimulasikan aliran angin maksimal berkecepatan 30 m/s.

Kata kunci: Terowongan Angin, Sistem Terbuka, Dimensi

I. Pendahuluan

Wind tunnel, atau terowongan angin, telah menjadi perangkat penting dalam pengujian sifat aerodinamik dari berbagai objek, termasuk turbin angin. Dengan menggunakan wind tunnel, para peneliti dapat mempelajari interaksi antara objek tersebut dan udara yang bergerak dengan berbagai kondisi seperti kecepatan, suhu, dan tekanan tertentu (Smith, 2015). Wind tunnel memungkinkan peneliti untuk mengontrol properti udara seperti kecepatan dan tekanan sesuai dengan prinsip hukum Bernoulli (Anderson, 2007).

Sejak diciptakannya pada tahun 1901 oleh Wright Brothers untuk menguji alat-alat penerbangan, wind tunnel telah mengalami perkembangan yang signifikan (McCarthy, 2009). Penggunaan wind tunnel dalam konteks turbin angin memungkinkan para peneliti untuk menguji performa turbin dengan

memperhatikan faktor-faktor seperti kecepatan putaran, torsi, dan karakteristik aerodinamiknya (Ahmed et al., 2018).

Meskipun telah ada fasilitas wind tunnel di laboratorium jurusan teknik mesin di Universitas Islam Kalimantan, namun ukurannya masih terbatas untuk keperluan pembelajaran mahasiswa. Hal ini menjadi kendala dalam mendukung penelitian yang lebih mendalam di bidang pemanfaatan energi angin (Jones, 2020). Oleh karena itu, perlu adanya pengembangan wind tunnel dengan skala yang lebih besar dan sistem PIV (*Particle Image Velocimetry*) untuk mendukung penelitian lebih lanjut.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang sebuah wind tunnel rangkaian terbuka dengan sistem PIV yang dapat digunakan untuk penelitian lebih lanjut di laboratorium jurusan teknik mesin Universitas

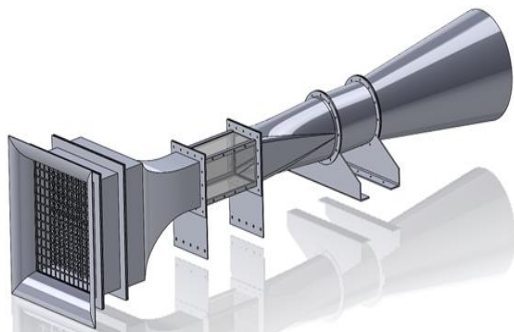
Islam Kalimantan. Diharapkan bahwa perancangan wind tunnel ini dapat menjadi referensi bagi pembuatan wind tunnel yang lebih canggih dan sesuai dengan kebutuhan laboratorium.

II. Bahan dan Metode

Penelitian ini menitik beratkan pada aspek dimensi dan ukuran Terowongan Angin, terutama pada bagian difuser dan Seksi Pengujian (*Test Section*). Difuser memiliki peran krusial dalam mengontrol kualitas aliran udara di Seksi Pengujian, sementara Seksi Pengujian berfungsi sebagai tempat simulasi aliran udara. Penting untuk dicatat bahwa aliran udara di Seksi Pengujian harus mampu merepresentasikan kondisi aliran udara sesungguhnya dengan akurat, untuk memastikan hasil pengujian yang valid dan relevan.

III. Hasil dan Pembahasan

Desain terowongan angin dalam penelitian ini, yang ditunjukkan pada gambar 1, memiliki dimensi panjang 8 meter dan lebar serta tinggi masing-masing sebesar 1.75 meter x 1.75 meter.

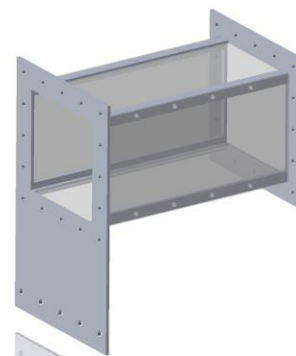


Gambar 1. Desain Win Tunel

Pada umumnya, konstruksi terowongan angin terdiri dari 3 bagian utama yaitu Contraction Chamber, Test Section dan diffuser

3.1. Tes Section

Bagian paling vital dalam struktur terowongan angin adalah seksi uji, yang memiliki peran penting dalam menempatkan benda uji atau lokasi pengujian [1],[9]. Pentingnya seksi uji terletak pada kebutuhan akan tingkat turbulensi yang minimal. Dalam perencanaan, spesifikasi seksi uji harus memenuhi standar tertentu untuk memastikan efektivitas pengujian.



Gambar 2 Test Section

Tabel 1 Spesifikasi Test Section

Parameter	Besaran	Satuan
Panjang	100	cm
Lebar	50	cm
tinggi	50	cm
Kecepatan Maksimum	30	m/s

Tabel 2. Data Hasil Penelitian

Material	Pengujian		Rata-rata
	ke-1	ke-2	
Material 1	7,35	7,54	7,45
Material 2	8,32	7,95	8,14
Material 3	6,53	7,88	7,21
Material 4	7,78	6,75	7,27

Beberapa hal yang diketahui secara umum dan menjadi dasar dalam perencanaan terowongan Angin adalah sebagai berikut:

$$T_r = \text{Temperatur ruangan} = 27^\circ\text{C} = 300^\circ\text{K}$$

$$g = \text{gravitasi} = 10 \text{ m/s}^2$$

$$R = \text{Kostanta Gas} = 29.72 \text{ kg.m/ kg.K}$$

$$P_r = \text{Tekanan udara atmosfer : } 1.013 \times 10^5 \text{ Pa}$$

$$k = \text{gas sempurna (adiabatik)} = 1.4$$

$$\mu = \text{Viskositas} = 1.56 \times 10^{-5} \text{ kg/m.s}$$

$$\rho = \text{massa jenis udara} = 1.176 \text{ kg/m}^3$$

Berat jenis udara dapat di tentukan dengan menggunakan persamaan berikut :

$$\zeta = (\rho) \times (g) \dots \dots \dots (1)$$

$$= (1.176 \text{ kg/m}^3) \times (9.81 \text{ m/s}^2)$$

$$= 11.54 \text{ N/m}^3$$

Bilangan reynold di bagian seleksi uji adalah

$$Re = \rho \times v \times D_h / \mu \dots \dots \dots (2)$$

$$= (1.176 \text{ kg/m}^3) \times (30 \text{ m/s}) \times$$

$$(0.5 \text{ m}) / (1.86 \times 10^{-5})$$

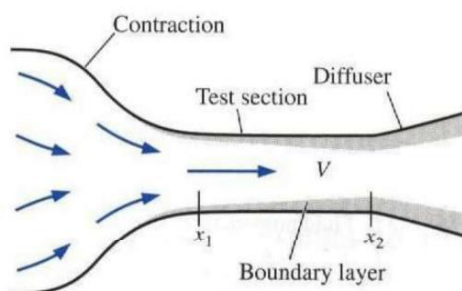
$$= 947580.6$$

Untuk menguji jenis aliran, dicari dahulu Bilangan Reynold (Re) sejauh x (Rex), nilai x dihitung dari panjang seksi uji

$$\begin{aligned} Re_x &= \rho \cdot v \cdot X / \mu \dots\dots\dots(3) \\ &= (1.176 \text{ kg/m}^3) \cdot \\ &(30 \text{ m/s} \cdot 1 \text{ m}) / (1.86 \times 10^{-5}) \\ &= 1895161 \end{aligned}$$

Boundry layer thickness yang terjadi pada seksi uji pada satu sisi dicari nilai Rex adalah 1895161, nilai tersebut masuk kedalam kategori aliran transisi, maka bisa dianggap dengan aliran laminar.

$$\begin{aligned} \delta &= (4.91 \cdot x) / Re_x^{0.5} \dots\dots\dots(4) \\ &= 0.003567 \text{ m} \end{aligned}$$



Gambar 3 Skema boundry layer thickness pada terowongan angin

Luas penampang daerah seleksi uji setelah dikurangkan dengan ketebalan lapisan batas (Boundry layer thickness)

$$\begin{aligned} \text{Luas (A13)} &= a - (2 \cdot \delta) \times a - (2 \cdot \delta) \\ &= 0.5 \text{ m} - (2 \cdot 0.003567 \text{ m}) \times 0.5 \\ &- (2 \cdot 0.003567 \text{ m}) \\ &= 0.2401 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Debit aliran pada seksi uji (Q), berdasarkan hukum kontinuitas, maka debit aliran diseluruh sistem terowongan angin adalah sama.

$$\begin{aligned} Q &= A \cdot V \dots\dots\dots(5) \\ &= (0.2401 \text{ m}^2) \cdot (30 \text{ m/s}) \\ &= 7.26192 \text{ m}^3/\text{s} \end{aligned}$$

Laju aliran masa (mass flow rate) pada seksi uji juga mengikuti hukum kontinuitas, jadi laju aliran masa pada seluruh sistem terowongan adalah sama.

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \rho \cdot Q \dots\dots\dots(6) \\ &= (1.176 \text{ kg/m}^3) \cdot (7.26192 \text{ m}^3/\text{s}) \\ &= 8.540018 \text{ kg/s} \end{aligned}$$

Tekanan (P) didalam seksi uji Tekanan udara standar atau tekanan udara statis luar (Po) (teori Torricelli)

$$P_o = 101396.16 \text{ Pa}$$

Tekanan Dinamis didalam seksi uji (P_{dy})

$$\begin{aligned} P_{dy} &= 1/2 \cdot \rho \cdot V^2 \dots\dots\dots(7) \\ &= 1/2 (1.176 \text{ kg/m}^3) \times (30)^2 \text{ m/s} \\ &= 929.2 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Tekanan Statis didalam seksi uji (Ps)

$$\begin{aligned} P_s &= P_o - P_{dy} \dots\dots\dots(8) \\ &= 101866.92 \text{ Pa} \end{aligned}$$

Kecepatan suara pada seksi uji

$$\begin{aligned} C^2 &= k \cdot g \cdot R \cdot T \dots\dots\dots(9) \\ &= (1.4) \times (9.81 \text{ m/s}^2) \times (29.27 \text{ kg.m/} \\ &\text{kg.K}) \times (27 + 273) \\ &= 247.27 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Besarnya Bilangan Mach pada seksi uji

$$\begin{aligned} M &= v/c \dots\dots\dots(10) \\ &= (30 \text{ m/s}) / (347.27 \text{ m/s}) \\ &= 0.864 \end{aligned}$$

Karena Bilangan Mach adalah $M < 1$ pada seksi uji, maka terowongan angin ini beraliran subsonic.

Kekasaran permukaan saluran, bahan yang digunakan adalah akrilik ($\epsilon = 0 \text{ mm}$) didapat dari tabel diagram Moody.

$$\begin{aligned} \epsilon / Dh &= (0 \text{ mm}) / (500 \text{ mm}) \\ &= 0 \end{aligned}$$

Koefisien rugi pada seksi uji, nilai Re yang telah didapat adalah 947580.6 dan kekasaran permukaan adalah 0, dari tabel diagram Moody, maka didapat = 0,014, nilai L adalah nilai panjang seksi uji.

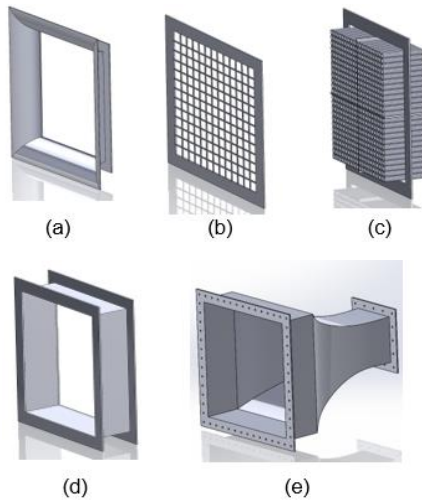
$$\begin{aligned} K_{ts} &= \lambda (L/Dh) \dots\dots\dots(11) \\ &= 0.014 (1 \text{ m}) \times (0.5 \text{ m}) \\ &= 0.028 \end{aligned}$$

Perhitungan rugi karena gesekan (Head) pada seksi uji

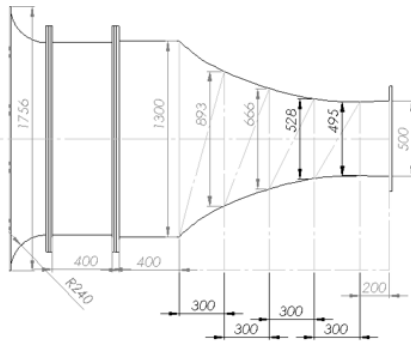
$$\begin{aligned} H_{ts} &= K_{ts} (v^2/2g) \dots\dots\dots(12) \\ &= 0.028 (30^2 \text{ m/s}) \times (2 (9.81 \text{ m/s}^2)) \\ &= 1.28 \text{ m} \end{aligned}$$

3.2 Contraction Chamber

Contraction Chamber dibagi menjadi beberapa bagian penting untuk mengoptimalkan prosesnya. Pertama, belt mouth berfungsi sebagai pintu masuk utama aliran udara. Kemudian, inlet filter bertugas menyaring partikel-partikel besar yang dapat mengganggu proses selanjutnya. Di dalam setting chamber, terdapat honeycomb yang dirancang untuk mengatur pola aliran udara dan meningkatkan efisiensi pengurangan tekanan.



Gambar 4 komponen Contraction Chamber (a) belt mouth, (b) inlet filter, (c) honeycomb, (d) setting chamber dan (e) Diffuser-1



Gambar 5 Contraction Chamber

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida pada Contraction Chamber menggunakan persamaan $A_1V_1 = A_2V_2 = \text{konstan}$. Untuk menguji jenis aliran, dicari dahulu bilangan Reynold (Re) = $\rho \cdot v \cdot D_h / \mu$. Perhitungan rekaman dinamis menggunakan persamaan $P_{dy} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$ dan perhitungan tekanan statis menggunakan persamaan $P_s = P_o - P_{dy}$. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 2 berikut

Tabel 3. Tabel kecepatan dan tekanan dinamis pada contraction chamber

Dh = (4*A)4L	A (m)	v (m/s)	Pdy (Pa)	Ps (Pa)
0.50	0.25	30.00	529.20	100866.96
0.50	0.25	30.00	529.20	100866.96
0.52	0.27	27.74	452.36	100943.80
0.66	0.44	17.22	174.31	101221.85
0.89	0.79	9.47	52.72	101343.44
1.30	1.69	4.44	11.58	101384.58
1.76	3.08	2.43	3.48	101392.68

Kecepatan suara pada contraction chamber

$$C^2 = k \cdot g \cdot R \cdot T \dots\dots\dots(13)$$

$$= (1.4) \times (9.81 \text{ m/s}^2) \times (29.27 \text{ kg.m/kg.K}) \times (27 + 273)$$

$$= 247.27 \text{ m/s}$$

Besarnya Bilangan Mach pada contraction chamber, kecepatan (v) menggunakan kecepatan rata-rata di contraction chamber.

$$M = v/c \dots\dots\dots(14)$$

$$= (17.33 \text{ m/s}) / (347.27 \text{ m/s})$$

$$= 0.049$$

Karena Bilangan Mach adalah $M < 1$ pada contraction chamber, maka terowongan angin ini beraliran subsonic. Koefisien rugi pada contraction chamber, nilai Re yang telah didapat dari notasi seperti di tabel, maka didapat rata-rata $D_h = 0.88 \text{ m}$, $\lambda = 0.015$.

$$K_{cc} = 0.32 \lambda (L/D_h) \dots\dots\dots(15)$$

$$= (0.32) \times (0.015) \times ((2.5 \text{ m}) / (0.88))$$

$$= 0.013636364$$

Perhitungan rugi akibat gesekan (Head)pada contraction chamber

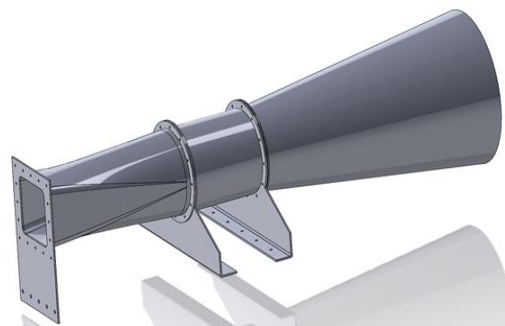
$$H_{cc} = K_{cc} (v_1 - v_2)^2 / 2g \dots\dots\dots(16)$$

$$= (0.013636364) \times (30 \text{ m/s} - 2.43 \text{ m/s}) / 2(9.81)$$

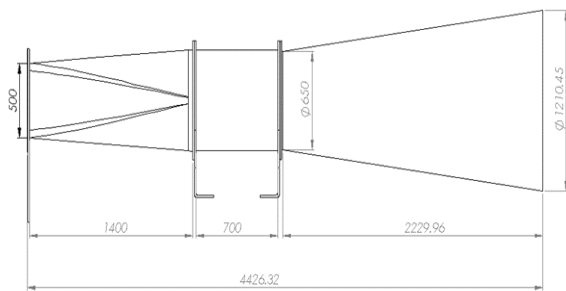
$$= 0.52 \text{ m}$$

3.3 Diffuser

Bagian ini terdiri dari tiga komponen penting. Bagian pertama, yang terletak dekat dengan bagian pengujian utama, disebut sebagai Diffuser-2. Kemudian, ada diffuser tempat keluarnya fluida, yang disebut Diffuser-3. Yang terakhir, diffuser di mana motor listrik ditempatkan dinamakan Bagian Motor.



Gambar 6 Diffuser



Gambar 7 Diffuser disajikan dalam 2d

Untuk menghitung kecepatan aliran fluida pada diffuser menggunakan persamaan $A_1V_1 = A_2V_2 = \text{konstan}$. Untuk menguji jenis aliran, dicari dahulu bilangan Reynold (Re) = $\rho \cdot v \cdot D_h / \mu$. Perhitungan rekanan dinamis menggunakan persamaan $P_{dy} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V^2$ dan perhitungan tekanan statis menggunakan persamaan $P_s = P_o - P_{dy}$. Hasil perhitungan ditunjukkan pada tabel 4 berikut

Tabel 4 Tabel kecepatan dan tekanan dinamis pada diffuser

Dh = (4*A)4L	A (m)	v (m/s)	Pdy (Pa)	Ps (Pa)
0.50	0.25	30.00	529.20	100866.96
0.65	0.42	17.75	185.29	101210.87
0.65	0.42	17.75	185.29	101210.87
1.21	1.46	5.12	15.43	101380.73

Kecepatan suara pada contraction chamber

$$C^2 = k \cdot g \cdot R \cdot T \dots\dots\dots(17)$$

$$= (1.4) \times (9.81 \text{ m/s}^2) \times (29.27 \text{ kg.m/}$$

$$\text{kg.K}) \times (27 + 273)$$

$$= 247.27 \text{ m/s}$$

Besarnya Bilangan Mach pada contraction chamber, kecepatan (v) menggunakan kecepatan rata-rata di contraction chamber.

$$M = v/c \dots\dots\dots(18)$$

$$= (17.66 \text{ m/s}) / (347.27 \text{ m/s})$$

$$= 0.050$$

Karena Bilangan Mach adalah $M < 1$ pada contraction chamber, maka terowongan angin ini beraliran subsonic. Koefisien rugi pada contraction chamber, nilai Re yang telah didapat dari notasi seperti di tabel, maka didapat rata-rata $D_h = 0.75 \text{ m}$, $\lambda = 0.015$.

$$K_{df} = 0.32 \lambda (L/D_h) \dots\dots\dots(19)$$

$$= (0.32) \times (0.015) \times ((2.5 \text{ m}) / (0.75))$$

$$= 0.016$$

Perhitungan rugi akibat gesekan (Head)pada contraction chamber

$$H_{df} = K_{cc} (v_1 - v_2)^2 / 2g \dots\dots\dots(20)$$

$$= (0.016) \times (30 \text{ m/s} - 5.12 \text{ m/s}) / 2(9.81)$$

$$= 0.429 \text{ m}$$

Total rugi pada rangkaian terowongan angin
 Total kerugian karena gesekan (head)

$$H_{Total} = H_{ts} + H_{cc} + H_{df} \dots\dots\dots(21)$$

$$= 1.28 + 0.52 + 0.49$$

$$= 2.29 \text{ m}$$

Daya yang hilang karena gesekan di dalam terowongan angin adalah

$$\dot{W}_{loss} = Q \cdot \zeta \cdot H_{total} / 550 \dots\dots\dots(22)$$

$$= 7.26 \times 11.54 \times 2.29 / 550$$

$$= 191 \text{ W}$$

3.4. Motor Penggerak

Setelah didapat laju aliran masa dan energy kinetik di seksi uji, bisa dicari daya motor yang dibutuhkan, efesiensi motor di asumsikan 90%

$$\dot{W}_{fan} = \dot{m} \times \alpha_2 (v^2/2)$$

$$= (8.54 \text{ kg/s}) \times (2) \times (30 \text{ /s})^2/2$$

$$= 7686 \text{ W}$$

$$\dot{W}_{elect} = \dot{W}_{fan} / 90\%$$

$$= 8540 \text{ W}$$

Daya yang dibutuhkan untuk kebutuhan terowongan angin untuk maksimal kecepatan angn 30 m/s adalah

$$wp = \dot{W}_{loss} + \dot{W}_{elect}$$

$$= 191 \text{ W} + 8540 \text{ W}$$

$$= 8731 \text{ Watt} = 8.731 \text{ kW}$$

$$= 11.94 \text{ hp}$$

IV. Kesimpulan

Terowongan angin yang direncanakan merupakan jenis terowongan angin rangkaian terbuka dengan sistem piv (particle image velocimetry) guna keperluan untuk pengujian turbin angin. kecepatan angin maksimum didalam test section adalah 30 m/s. dimensi tes section adalah 50 cm x 50 cm dengan panjang 100 cm. Penentuan ukuran dan daya motor yang diperlukan dilakukan dengan metode analitik Diperolej panjang terowongan angin adalah 8 m dengan tinggi 0.75m. kerugian head pada pada seksi uji adalah 1.28 m, pada contraction chamber adalah 0.52 m dan kerugian head pada diffuser adalah 0.49 m sehingga total head adalah 2.29 m sehingga diperlukan daya pompa sebesar 11.94

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Lembaga penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat (LP2M) yang telah membiayai penelitian ini melalui skema penelitian Hibah Penelitian Dosen Pemula (PDP).

Daftar Pustaka

- Agni, M., Kirom, M.R. and Bethaningtyas, H., 2015. Analisis Kinerja Terowongan Angin Subsonik Dengan Menggunakan Contraction Cone Polinomial Orde 5. *eProceedings of Engineering*, 2(3).
- Arifin, J., 2019. Desain Diffuser Turbin Air Arus Sungai untuk Meningkatkan Laju Arus Sungai. *Al Jazari: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2).
- Aribowo, A. and Fitroh, A.J., 2010. Analisis Tekanan Statik Aliran Di Permukaan Pitot Statik Terowongan Angin Transonik LAPAN. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 5(2).
- Al Fadli, M.H., Riyadi, M.A. and Setiyono, B., 2018. Perancangan Sistem Roket Kendali Berpemandu Inframerah Menggunakan Metode Pengolahan Citra Yang Disimulasikan Dalam Terowongan Angin. *Transient: Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 7(1), pp.152-159.
- Fitroh, A.J., 2011. Analisis Losses Pipa Lurus Berdiameter 40 cm pada Terowongan Angin LAPAN. *Jurnal Teknologi Dirgantara*, 9(1).
- Handayani, S.U., 2014. Pengembangan dan analisa keseragaman aliran terowongan angin tipe terbuka sebagai
- Hatradi, B., Irfansyah, M. and Puteri, P., 2021. Desain Underwater Rotor Untuk Memanfaatkan Laju Aliran Sungai Sebagai Pembangkit Listrik Tenaga Air. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 5(2), pp.77-82.
- Hartanto, A.S., 2005. Perancangan dan pembuatan mekanisme pengukuran gaya angkat dan gaya hambat untuk
- Mahilda, N., Rustana, C.E. and Umiatin, U., 2016, October. Studi Pengaruh Screen Mesh Terhadap Intensitas Turbulensi Pada Terowongan Angin Sirkuit Terbuka. In *PROSIDING SEMINAR NASIONAL FISIKA (E-JOURNAL)* (Vol. 5, pp. SNF2016-CIP).
- Rendi, R. and Herlina, F., 2019. Penambahan Lingkaran Pelindung Pada Turbin Air Rotor Savonius. *INFO-TEKNIK*, 20(2), pp.237-254.
- Rendi, R., Ihsan, S. and Ma'arif, S., 2020. Turbin Air Arus Sungai Model Sudu Propeller Menggunakan Nozzel-Diffuser. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, dan Material*, 4(1), pp.27-33.
- Rahman, A., Farid, A. and Suriansyah, S., 2014. Pengaruh Penggunaan Spoiler pada Model Kendaraan Sedan terhadap Tekanan Hisap dalam Terowongan Angin. *PROTON*, 6(1).
- Risnawan, N., Yohanes, F.A., Sunarno, S., Novianti, H. and Feriadi, Y., 2018. Pengukuran Kualitas Kecepatan Angin pada Terowongan Angin di ILST BBTA3. *Journal of Aero Technology*, 2(1).
- Stefphanie, C., Rustana, C.E. and Nasbey, H., 2014, October. Pengembangan Desain Terowongan Angin Sederhana. In *Prosiding Seminar Nasional Fisika (E-Journal)* (Vol. 3, pp. 347-351).
- Junaidin, B., Kusumaningrum, A., Prayogih, W. and Reo, Y., 2022. Rancang Bangun Pengukur Kecepatan Angin Berbasis Arduino untuk Terowongan Angin Low Subsonic. *Aviation Electronics, Information Technology, Telecommunications, Electricals, and Controls (AVITEC)*, 4(2), pp.187-196.
- Kusumohadi, C.S., Yoga, N.G. and Arrozi, H., 2015, November. Perancangan Awal Terowongan Angin Kecepatan Rendah Untuk Pengujian Otomotif. In *SENS*.
- Subagyo, S., Muflih, M. and Atmojo, A.Y., 2016. Sistem Akuisisi Data Pengujian Kinerja Daya Turbin Angin Menggunakan Fasilitas Terowongan Angin. *Jurnal Standardisasi*, 17(2), pp.129-136.
- Siregar, A.M., 2016. Rancang Bangun Wind Tunnel Sederhana Untuk Alat Pendukung Studi Eksperimental. *MEKANIK: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 2(2).

- Wibowo, A., 2008. Penggunaan Analisis Dimensi Untuk Pengalihan Pengujian Shedding Frequency Pada Uji Terowongan Angin Ke Uji Terowongan Air. *OSEATEK*, (03).
- Yuniarsih, N. and Rossbandrio, W., 2015. Pengembangan Terowongan Angin Kecepatan Rendah (Low Speed Wind Tunnel) Untuk Tujuan Edukatif di Politeknik Negeri Batam. *Jurnal Integrasi*, 7(1), pp.19-22.
- Zulianto, M. and Siregar, I.H., 2019. Uji Eksperimen Model Turbin Angin Swirling Savonius Dengan Deflektor Diam Menggunakan Terowongan Angin. *Jurnal Teknik Mesin*, 7(3).