

RANCANG BANGUN *WIND TUNNEL* SPESIFIKASI KECEPATAN ANGIN RENDAH TERHADAP INTENSITAS TURBULENSI ALIRAN UDARA

Miftahul Ulum^{1,a}, M. Adie Firmansyah^{2,b} dan Novi Indah Riani^{3,c}

Program Studi Teknik Mesin Universitas Qomaruddin^{1,2,3}

Jl. Bungah No.01 Gresik, Jawa Timur, Indonesia^{1,2,3}

^aulum@uqgresik.ac.id

Abstrak.

Aliran udara dalam padangan fenomena mekanika fluida sangat penting dipelajari, untuk itu banyak peneliti melakukan eksperimen dalam membuktikan aliran udara yang memiliki berbagai karakter dalam aerodinamika. Pada penelitian ini, peneliti mencoba untuk membuat alat uji aliran udara yaitu *Win Tunnel* dengan kapasitas angin rendah yang biasa disebut sebagai *subsonic*, sebagai media pembelajaran dalam mengukur aliran udara kapasitas laboratorium. Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan cara eksperimen, dimana terlebih dahulu membuat rancang bangun *Wind Tunnel Subsonic* yang dapat digunakan sebagai alat uji, sebelum alat uji dapat digunakan dengan semestinya. Pada penelitian ini parameter yang digunakan dalam menentukan kelayakan alat adalah mengukur nilai intensitas turbulensi dengan penempatan posisi pada *test section*, yaitu bagian depan, tengah, dan belakang lokasi *test section*. Dengan menggunakan variasi putaran fan inverter pada frekuensi 15 Hz, 30 Hz, dan 45 Hz. Hasil dari penelitian ini didapat nilai *Mach Number* dibawah 0,3 dimana itu membuktikan bahwa *Wint Tunnel* yang dibuat memiliki spesifikasi yang benar yaitu *subsonic*. Dari hasil penempatan posisi pada *test section* untuk mendapatkan intensitas turbulensi didapatkan hasil 11.15%, 7.83%, dan 12.5% pada f15 Hz, 6.54%, 2%, dan 2.76% pada f30 Hz, sedangkan pada f45 Hz didapat 2.47%, 0.87%, dan 1.67%. Posisi penempatan *pitot tube* terbaik adalah pada posisi ditengah tengah *test section*.

Keywords: *Wind tunnel, subsonic, intensitas turbulensi, test section, mach number.*

Abstract.

Air flow in the view of fluid mechanics phenomena is very important to study, for this reason many researchers have carried out experiments to prove that air flow has various characteristics in aerodynamics. In this research, researchers tried to create an air flow test tool, namely the Win Tunnel with low wind capacity, which is usually referred to as subsonic, as a learning medium for measuring laboratory capacity air flow. The method used in this research is experimental, where first a Subsonic Wind Tunnel design is created that can be used as a test tool, before the test tool can be used properly. In this study, the parameters used to determine the suitability of the tool were measuring the turbulence intensity value by placing positions in the test section, namely the front, middle and back of the test section location. by using variations in inverter fan rotation at frequencies of 15 Hz, 30 Hz and 45 Hz. The results of this research obtained a Mach Number value below 0.3, which proves that the Wint Tunnel made has the correct specifications, namely subsonic. From the results of positioning in the test section to obtain turbulence intensity, the results were 11.15%, 7.83%, and 12.5% at f15 Hz, 6.54%, 2%, and 2.76% at f30 Hz, while at f45 Hz the results were 2.47%, 0.87%, and 1.67%.. The best position for placing the pitot tube is in the middle of the test section.

Keywords: *Wind tunnel, subsonic, turbulence intensity, test section, mach number.*

Pendahuluan

Energi terbarukan saat ini sangat dibutuhkan oleh berbagai kalangan khususnya negara-negara berkembang yang selama ini telah banyak berkebutuhan dengan energi fosil. Negara-negara ASEAN diperkirakan menargetkan pemanfaatan sumber energi baru terbarukan pada tahun 2025 sebesar 23% [1]. Turbin adalah salah satu komponen yang digunakan dalam mekanisme konversi energi, dengan banyak berbagai media yang bisa digunakan sebagai sumber energi yaitu air dan udara [2],[3] karena dianggap lebih mudah dalam mendapatkan sumber energi. Turbin angin adalah yang paling mudah diaplikasikan sebagai sumber energi terbarukan, karena itu media yang dibutuhkan dalam mengembangkan turbin angin membutuhkan *Wind Tunnel*, dalam perancangan pada penelitian banyak menggunakan *wind tunnel type low cost* untuk turbin berskala angin kecil [4]–[7]. Pada penelitian sebelumnya banyak mengkaji tentang pembuatan *wind tunnel* tipe *subsonic* dengan tujuan untuk mendapatkan manfaat sebagai media penempatan angin dan intensitas turbulensi yang baik, sebagaimana pada analisa turbulensi *honeycomb* pada penampang *wind tunnel* dengan adanya *honeycomb* menjadikan intensitas turbulensi angin menjadi lebih kecil [8]. Indikator kinerja terowongan angin pada rangkaian terbuka dengan model *subsonic* pada ukuran 30x30x40cm dengan skala kecepatan angin 2 sampai dengan 10 m/s dengan menggunakan sudut serang angin 0°, 5°,10° belum bisa menciptakan aliran yang seragam, Bilangan *Reynold* >4000 dimana kondisi terowongan ini jenis aliran turbulensi [9]. Percobaan penggunaan terowongan angin sebagai unjuk kerja turbin angin tipe *savonius* untuk mendapatkan kriteria pada *blades* juga dapat dilakukan agar mendapatkan skala turbin yang dapat diaplikasikan secara eksperimental [10], pada penelitian ini peneliti mencoba untuk membuat model atau *prototype* dari *wind tunnel* tipe *subsonic* sebagai media dalam mendapatkan kriteria angin sebagai pengujian dari pengembangan turbin *savonius* pada skala laboratorium guna mendapatkan kondisi kecepatan angin yang sesuai dan intensitas turbulensi yang baik.

Wind tunnel (terowongan angin) merupakan media atau alat yang digunakan dalam mengukur suatu aliran udara dalam ruang, baik secara tertutup maupun terbuka, Cara kerja yang digunakan pada terowongan angin yaitu dengan cara hisap atau dorongan angin yang dapat melintasi bagian ruang pada bagian-bagian terowongan angin [11]. Terowongan angin pada awalnya digunakan untuk mengetahui interaksi antara udara dan benda-benda di lingkungan dalam kondisi yang berbeda (kecepatan, suhu dan tekanan tertentu). Pada dasarnya terowongan angin merupakan suatu saluran udara dengan luas penampang yang berbeda-beda pada setiap bagiannya dengan tujuan untuk mengatur sifat-sifat udara seperti kecepatan dan tekanan menurut hukum Bernoulli [12], Terowongan angin sering disebut sebagai kecepatan dalam pengujian dibandingkan dengan kecepatan suara. Perbandingan antara kecepatan udara dan kecepatan bunyi disebut bilangan Mach (M). Terowongan angin diklasifikasikan sebagai subsonik (M <0,8), subsonik (0,8 < M < 1,2), supersonik (1,2 < M < 5,0), atau supersonik (M > 5,0). Dari segi geografi kecepatan angin di Indonesia tergolong rendah, sehingga perlu dirancang subsonic return wind tunnel untuk menguji daya sudu turbin angin termasuk bagian penahan beban dan lain-lain untuk menghasilkan tenaga listrik pada kecepatan udara rendah yaitu kurang lebih 5 m/s. Penggunaan arduino juga dilakukan dalam memudahkan proses pengambilan data pada penelitian ini, yaitu sebagai pengukur kecepatan angin [13]. Beberapa komponen yang digunakan pada terowongan angin pada penelitian ini adalah *test section*, *contraction*, dan *diffuser* dimana diameter hidrolik nya dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$D_h = \frac{4.a^2}{4.a} \quad (1)$$

Dimana D_h adalah dimater hidrolik dan a adalah tinggi dan lebar dimensi, Adapun persamaan untuk mendapatkan cepat rambat bunyi lokal yaitu

$$C = \sqrt{k.R.T} \quad (2)$$

Dimana C adalah kecepatan rambat bunyi, k rasio panas spesifik, R konstanta gas, dan T suhu udara

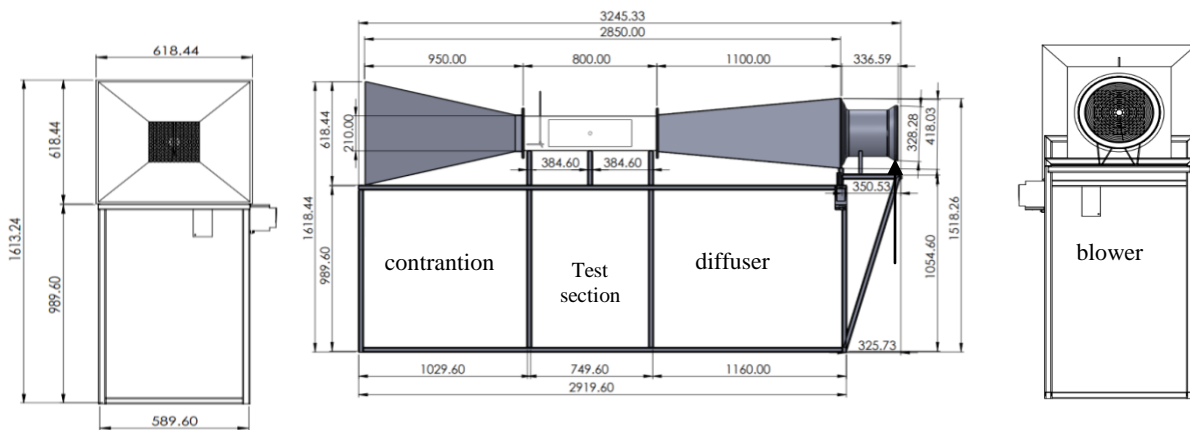
Bilangan Mach digunakan sebagai pembuktian pada rancang bangun *Wind tunnel* yang di buat memiliki kriteria yang sesuai dimana persamaan *Mach Number* adalah

$$M = \frac{V}{C} \quad (3)$$

Dimana M adalah *mach number*, V kecepatan angin, dan C cepat rambat bunyi.

Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode perancangan menggunakan CAD (*Computer Aided Design*) dengan membuat dimensi dan model pada *wind tunnel* yang akan dibuat, selanjutnya adalah dengan melakukan pembuatan atau *proses manufacture* untuk mewujudkan model pada *wind tunnel*. Berikut adalah gambar desain pada *wind tunnel* yang dibuat.



Gambar 1. Desain *Wind Tunnel Subsonic*

Setelah Desain CAD telah diselesaikan langkah selanjutnya adalah mengumpulkan bahan-bahan dan membuat bagian atau komponen terwongan angin dari bagian satu kebagian lainnya, lalu langkah akhir adalah proses *assembly*, berikut adalah gambar pada saat perakitan *wind tunnel* selesai.



Gambar 2. *Wind Tunnel* Hasil Perakitan

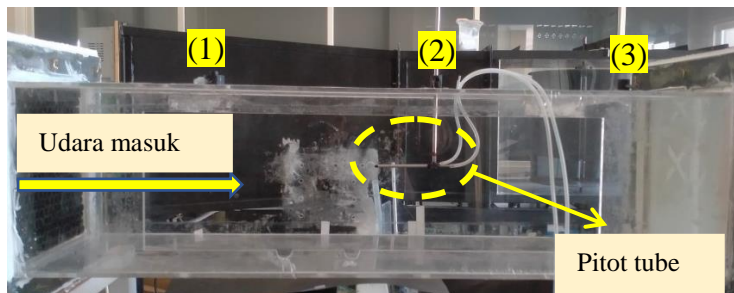
Sumber : dokumen pribadi

Pengukuran yang dilakukan yaitu untuk mendapatkan tekanan dan kecepatan rata-rata aliran menggunakan *pitot tube* yang diletakkan pada bagian *test section* yaitu, bagian depan dengan penyebut 1, bagian tengah dengan angka penyebut 2 dan bagian belakang dengan angka 3, dengan kedalaman masing-masing 10 sampai dengan 200 mm. Langkah-langkah dalam eksperimen dijelaskan sebagai berikut. Pertama adalah pemasangan instalasi pada keadaan *free stream* tanpa benda uji, selanjutnya *pitot tube* dipasang pada dinding *test section*, pada penggunaan kipas atau *fan inverter* digunakan untuk menyetel kecepatan putar dengan frekuensi yang digunakan yaitu 15 sampai dengan 45 Hz. Diameter yang digunakan pada bagian *Wind tunnel* pada tabel berikut :

Tabel 1. Diameter Lorong

No	Komponen	Diameter Hidrolik (cm)
1	Contraction	60
2	Contrantion	20
3	Diffuser inlet	20
4	Diffuser outlet	40
5	Test section	20

Pada penelitian ini fokus peneliti yaitu mendapatkan data pada proses pengujian pada bagian *Test section* seperti yang sudah dijelaskan diatas. Salah satunya adalah untuk mendapatkan intensitas turbulensi yang terjadi, berikut gambar metode pengukuran yang digunakan.



Gambar 3. Lokasi Penempatan Pengukuran

Hasil Dan Pembahasan

Perbandingan kecepatan udara yang didapat dari hasil pengukuran menggunakan anemometer dan Arduino UNO sebagai validasi didapatkan hasil pada tabel berikut.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Kecepatan Angin pada *Pitot Tube* menggunakan Arduino UNO dan Anemometer

Putaran Inverter	Kecepatan Pitot Tube pada Arduino	Kecepatan Anemometer	Penyimpangan
15	2.32	2.31	0.01
20	4.42	4.62	0.2
25	5.94	6.01	0.07
30	7.96	7.93	0.03
35	11.35	11.31	0.04
40	13.04	13.06	0.02
45	14.83	14.69	0.14

Dari hasil pengukuran kecepatan angin pada *pitot tube* menggunakan putaran inverter 15 sampai dengan 45 Hz, dengan perbandingan alat ukur yaitu anemometer dan Arduino UNO didapatkan penyimpangan yang cukup kecil, dimana dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa pada putaran inverter rendah kecepatan angin yang di dapat lebih rendah dibandingkan pada putaran inverter 45 Hz yang lebih mendapatkan hasil kecepatan angin lebih tinggi.

Tabel 3. Hasil Bilangan *Mach*

Komponen	Kecepatan angin (m/s)	<i>Mach Number</i>
<i>Inlet contraction</i>	7.09	0.0203
<i>Outlet</i>	10.71	0.0309
<i>Test section</i>	14.96	0.0432
<i>Inlet diffuser</i>	14.83	0.0428
<i>Outlet diffuser</i>	9.55	0.0275

Dari hasil Bilangan Mach yang didapat setiap bagian *Wind tunnel* didapatkan nilai dimana besar bilangan mach dipengaruhi oleh kecepatan angin dan kecepatan rambat bunyi, dimana pada bagian *diffuser* dan *test section* memiliki kecepatan angin yang lebih tinggi, dimana kondisi tersebut dipengaruhi oleh dekatnya bagian tersebut pada fan dan dimensi yang dimiliki, pada hasil ini dapat disimpulkan bahwa bilangan mach pada *wind tunnel* yang di uji dengan nilai tersebut dapat diklasifikasikan pada jenis subsonic dimana mengacu pada bilangan mach $< 0,3$.

Tabel 4. Hasil *Reynold Number*

Komponen	Kecepatan angin (m/s)	<i>Reynold Number</i>
<i>Inlet</i>	7.09	275122.8261
<i>Outlet</i>	10.71	138531.5217
<i>Test section</i>	14.96	193504.3478
<i>Inlet diffuser</i>	14.83	191822.8261
<i>Outlet diffuser</i>	9.55	247054.3478

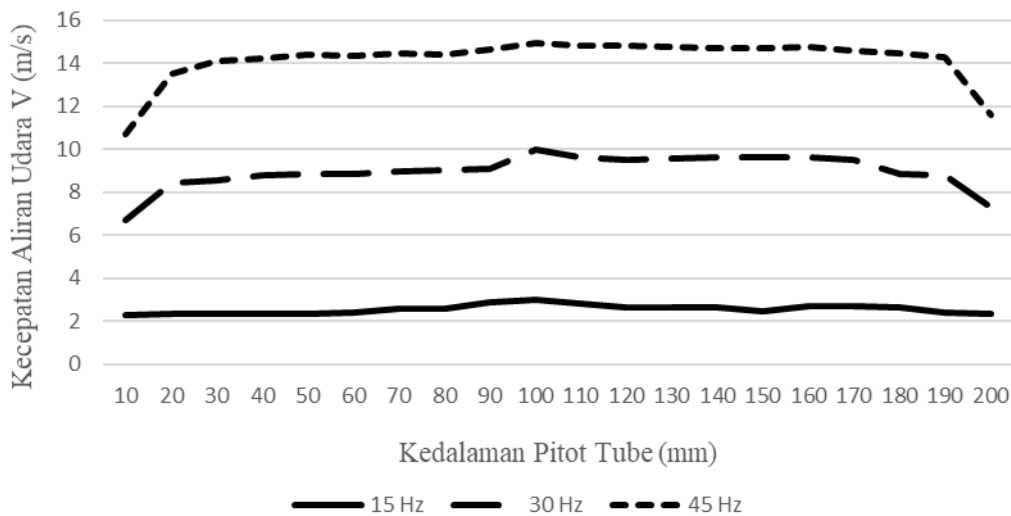
Dari tabel hasil *reynolds number* dari sisi inlet contraction dan sisi outlet diffuser lebih besar yaitu 275122,8261 dan 247054,3478, hal ini disebabkan karena semakin besar diameter maka akan semakin besar pula *reynolds number* yang dihasilkan. Sedangkan pada test section yaitu 193505,3478 hasilnya lebih besar dari sisi outlet contraction dan sisi inlet diffuser yaitu 138531,5217 dan 191822,8261. Hal ini disebabkan karena kecepatan udara pada test section lebih besar walaupun memiliki diameter yang sama. Maka dapat disimpulkan bahwa aliran yang terjadi didalam wind tunnel adalah aliran turbulen karena karena bilangan *reynold* diatas 4000.

Adapun hasil dari intensitas turbulensi dari 3 lokasi pada *test section* dengan menggunakan putaran inverter 15,30, dan 45 Hz ditampilkan pada tabel berikut

Tabel 5. Hasil Intensitas *Turbulensi*

Inverter (Hz)	Kecepatan Angin rata-rata (m/s)	Intensitas Turbulensi (%) pada Lokasi <i>Test Section</i>		
		1	2	3
15	2.65	11.15	7.83	12.5
30	9.82	6.54	2.00	2.76
45	14.85	2.47	0.87	1.67

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa intensitas turbulensi terbesar ada pada kondisi penggunaan inverter 15 Hz, dimana pada lokasi umumnya memiliki hasil yang lebih tinggi, sedangkan hasil terendah pada inverter 45 Hz hal ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan angin sangat mempengaruhi kondisi intensitas turbulensi yang terjadi pada *test section*. Namun dapat dilihat juga pada hasil diatas bahwa lokasi ke 2 adalah kondisi dimana rata-rata nilai yang didapat relatif lebih kecil dibandingkan dengan lokasi 1 dan 3. Dari hasil tersebut dapat diambil kesimpulan dimana penempatan posisi terbaik ada pada lokasi tengah *test section*. Hal ini juga dipengaruhi oleh kecepatan angin yang *uniform* dimana pada lokasi 2 adalah tempat dimana aliran udara dapat berjalan dengan stabil.



Gambar 4. Pengaruh Kedalaman *Pitot Tube* Terhadap Profil Kecepatan Aliran Udara pada *Setting* inverter 15,30, dan 45 Hz.

Dari hasil yang ditunjukkan pada gambar 4 Dapat dilihat bahwa pada kedalaman pitot tube yang ditempatkan pada *test section* aliran udara berpengaruh cukup signifikan, dimana pada umumnya kondisi kecepatan terbaik ada pada bagian tengah yaitu pada jarak 100 mm, sedangkan kondisi kecepatan terendah pada bagian samping dimana terletak pada jarak 10 dan 200 mm. hal ini dapat disimpulkan bahwa posisi terbaik penempatan berada pada posisi tengah, dimana pada kondisi tengah aliran angin memiliki tekanan dan kecepatan yang seimbang.

Kesimpulan

Dari penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa pada *wind tunnel* yang dibuat memiliki kriteria *subsonic* dikarenakan memiliki angka mach dibawah 0.3, sedangkan pada pengaruh penggunaan *inverter* pada 15 sd 45 Hz memiliki kriteria kecepatan angin mencapai 2 sampai dengan 14 m/s. Pada intensitas turbulensi didapatkan hasil 11.15%, 7.83%, dan 12.5% pada frekuensi *inverter* 15 Hz, 6.54%, 2%, dan 2.76% pada frekuensi 30 Hz, sedangkan pada frekuensi 45 Hz didapat 2.47%, 0.87%, dan 1.67%. Kecepatan angin mempengaruhi intensitas turbulensi dan umumnya kondisi terbaik ada pada lokasi pengukuran ke 2, dimana lebih kecil intensitas turbulensi maka semakin baik. Sedangkan pada penempatan posisi *pitot tube* terbaik dapat ditentukan pada bagian tengah *test section*.

Daftar Pustaka

- [1] G. Sihombing, “Tinjauan Strategi Dan Potensi Pemanfaatan Energi Terbarukan Bagi Negara Berkembang Di Asia Tenggara,” *E-Link J. Tek. Elektro dan Inform.*, vol. 17, no. 1, p. 35, Jul. 2022, doi: 10.30587/E-LINK.V17I1.3916.
- [2] M. Ulum *et al.*, “Perbandingan Aplikasi Rotor Tunggal dan Ganda terhadap Performa Turbin Air Tipe Propeller pada Saluran air Debit Rendah,” *Pros. SENASTITAN Semin. Nas. Teknol. Ind. Berkelanjutan*, vol. 2, no. 0, pp. 429–435, Mar. 2022, Accessed: Mar. 29, 2024. [Online]. Available: <https://ejurnal.itats.ac.id/senastitan/article/view/2765>.
- [3] “View of Experimental Study Of Circular Cut Off Endplate Effect On The Savonius Turbine.” <https://kinematika.ulm.ac.id/index.php/kinematika/article/view/202/119> (accessed Mar. 29, 2024).
- [4] K. Yanel and A. Yanto, “Design of Low Subsonic Wind Tunnel With Open Return,” pp. 82–96, 2023, doi: 10.24853/sintek.17.2.82-96.
- [5] Ismail, E. Augupta Pane, and R. Abdu Rahman, “An open design for a low-cost open-loop subsonic wind tunnel for aerodynamic measurement and characterization,” *HardwareX*, vol. 12, p. e00352, Oct. 2022, doi: 10.1016/J.OHX.2022.E00352.
- [6] “(PDF) 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 Labolatorium | Andi Tri - Academia.edu.” https://www.academia.edu/82552861/Analisis_Dan_Perhitungan_Pada_Daya_Motor_Untuk_Terowongan_Angin_Wind_Tunnel_Tipe_Subsonic_Dengan_Test_Section_0_2_X_0_2_M_Untuk_Alut_Peraga_Mekanika_Fluida_Skala_Labolatorium?uc-g-sw=105599471 (accessed Mar. 28, 2024).
- [7] “Design and Development of Low-Cost Wind Tunnel for Educational Purpose,” doi: 10.1088/1757-899X/78/1/012039.
- [8] A. A. Wicaksana, R. wibowo, and M. Kabib, “Analisa Turbulensi Honeycomb Pada Bentuk Penampang Melingkar Pada Wind Tunnel Subsonic,” *J. CRANKSHAFT*, vol. 3, no. 1, pp. 19–24, Aug. 2020, Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://jurnal.umk.ac.id/index.php/cra/article/view/4624>.
- [9] V. Aditya, A. Alchalil, A. Asnawi, and A. Rahman, “ANALISA INDIKATOR KINERJA TEROWONGAN ANGIN RANGKAIAN TERBUKA (OPEN CIRCUIT WIND TUNNEL) TIPE SUBSONIC,” *Malikussaleh J. Mech. Sci. Technol.*, vol. 7, no. 2, pp. 120–127, Oct. 2023, doi: 10.29103/MJMST.V7I2.13658.
- [10] E. A. E. A. Mohamed, O. E. Abdellatif, and A. M. Osman, “Experimental and numerical investigation into effect of different blade configurations on performance of small-scale wind turbines,” *Energy Reports*, vol. 7, pp. 138–143, Sep. 2021, doi: 10.1016/j.egy.2021.06.025.
- [11] “Fox, R. W., McDonald, A. T., & Pritchard, P. J. (2003). Introduction to Fluid Mechanics. Toledo. - Google Search.” [https://www.google.com/search?q=Fox%2C+R.+W.%2C+McDonald%2C+A.+T.%2C+%26+Pritchard%2C+P.+J.+\(2003\).+Introduction+to+Fluid+Mechanics.+Toledo.&oq=Fox%2C+R.+W.%2C+McDonald%2C+A.+T.%2C+%26+Pritchard%2C+P.+J.+\(2003\).+Introduccion+to+Fluid+Mechanics.+Toledo.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzcmW2owajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com/search?q=Fox%2C+R.+W.%2C+McDonald%2C+A.+T.%2C+%26+Pritchard%2C+P.+J.+(2003).+Introduction+to+Fluid+Mechanics.+Toledo.&oq=Fox%2C+R.+W.%2C+McDonald%2C+A.+T.%2C+%26+Pritchard%2C+P.+J.+(2003).+Introduccion+to+Fluid+Mechanics.+Toledo.&gs_lcrp=EgZjaHJvbWUyBggAEEUYOdIBBzcmW2owajeoAgCwAgA&sourceid=chrome&ie=UTF-8) (accessed Mar. 28, 2024).
- [12] K. Yanel and A. Yanto, “Design of Low Subsonic Wind Tunnel with Open Return System for Testing Wind Turbines at Low Airspeeds,” *SINTEK J. J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 17, no. 2, pp. 82–96, Dec. 2023, doi: 10.24853/sintek.17.2.82-96.
- [13] V. Oktaviana, Y. Al Hakim, and U. Pratiwi, “Rancang Bangun Alat Ukur Kecepatan Aliran Udara Berbasis Arduino Sebagai Media Pembelajaran Fisika,” *EDUSAINTEK*, vol. 3, no. 0, 2019, Accessed: Mar. 28, 2024. [Online]. Available: <https://prosiding.unimus.ac.id/index.php/edusaintek/article/view/289>.