

Rancang Bangun Alat Ukur Torsi dan Putaran Untuk Pengujian Turbin Savonius Pada *Wind Tunnel* Berbasis mikrokontroler

Ruzita Sumiati^{1,2}, Uyung Gatos S. Dinata^{3*}, Dendi Adi Saputra⁴, Riswan⁵, Fahri Triharyono⁶, Rahil Abde Andika⁷, Fharel Abdillah⁸

^{1,3,4} Jurusan Teknik Mesin, Andalas University

^{5,6,7} Program Sudi D3 Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang

^{2,8} Program Sudi D4 Rekayasa Perancangan Mekanik, Politeknik Negeri Padang

*Corresponding author: uyunggsdinata@eng.unand.ac.id

Abstract

The objective of this research is to design and develop a torque measurement device using a braking system and a rotational speed measurement tool for a Savonius turbine shaft, applied in a wind tunnel, with data acquisition controlled by an Arduino Uno microcontroller. The methodology employed in this research is the design and build method. The testing results indicate that the torque measurement device controlled by the Arduino Uno functions effectively. Comparing the results of braking force measurements using manual methods and data acquisition revealed a 2,231 % error. Additionally, the rotational speed measurements using a tachometer and those using an *encoder* controlled by the Arduino Uno showed a small error of 0,59 %. Data were continuously monitored on a laptop screen during testing. Thus, this device can be utilized as an auxiliary measurement tool to assess the performance of a Savonius turbine

Keywords: data acquisition, torque measuring instrument, rotation measuring instrument, rpm, arduino uno

Abstrak

Tujuan penelitian ini adalah merancang dan membuat alat ukur torsi menggunakan sistem pengereman dan alat ukur putaran poros turbin Savonius yang diaplikasikan pada *wind tunnel* dengan akuisisi data kontrol mikrokontroler arduino uno. Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda rancang bangun. Dari hasil pengujian didapat hasil alat pengukuran torsi yang dikontrol dengan arduino uno berfungsi dengan baik. Dari hasil pengukuran gaya pengereman yang dibandingkan dengan cara manual dan menggunakan akuisisi data didapat error 2,231 %. Sedangkan hasil pengukuran putaran menggunakan tachometer dan pengukuran menggunakan *encoder* control arduino uno menghasilkan errol kecil yaitu 0,59 %. Data dapat terpantau terus menerus dilayar monitor laptop selama pengujian. Jadi alat ini dapat dimanfaatkan sebagai alat bantu ukur untuk mengukur kinerja turbin Savonius aplikasi pada *wind tunnel*.

Kata kunci: akuisisi data, alat ukur torsi, alat ukur putaran, rpm, arduino uno

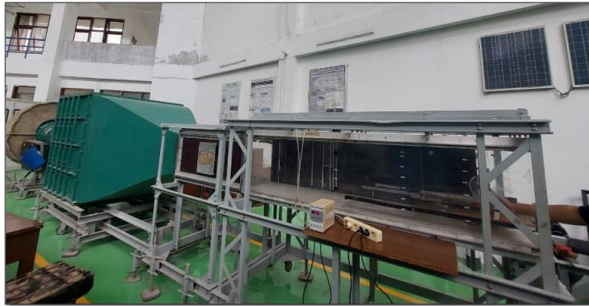
1. Pendahuluan

Perkembangan teknologi saat ini telah berdampak pada makin meningkatnya penggunaan energi listrik, umumnya bersumber pada energi fosil. Akan tetapi energi fosil memiliki dampak negatif terhadap lingkungan karena menghasilkan emisi CO₂. Saat ini pemerintah berusaha menggalakkan penggunaan energi terbarukan untuk mengatasi dampak negatif akibat pemakaian energi fosil seperti pencemaran udara dan pembentukan rumah kaca. Salah satu energi terbarukan adalah energi angin yang beroperasi menggunakan turbin angin sebagai pembangkit energi listrik. Indonesia adalah wilayah yang memiliki jenis

kecepatan angin rendah, kecepatan anginnya dibawah 7 m/s [1]. Turbin angin yang sesuai untuk beroperasi pada kecepatan angin rendah adalah jenis turbin vertical yaitu turbin Savonius karena memiliki *self starting* baik pada kecepatan angin rendah dan memiliki torsi awal tinggi [2]–[5]. Akan tetapi turbin Savonius memiliki efisiensi yang rendah yaitu berkisar antara 0,18 [6], sehingga para peneliti melakukan perbaikan pada parameter geometrisnya untuk meningkatkan efisiensi turbin Savonius tersebut.

Metoda penelitian yang digunakan untuk mengetahui efek geometris tersebut yaitu metoda numerikal dan

metoda eksperimental. Pemanfaatan metoda eksperimental untuk pengujian *prototype*, umumnya menggunakan *wind tunnel* tersaji pada Gambar 1.



Gambar 1. *Wind tunnel*

Pada pengujian eksperimental parameter yang diukur adalah kecepatan angin, torsi dan putaran poros turbin. Berdasarkan data pengujian tersebut dilakukan analisis untuk mendapatkan kinerja turbin Savonius.

Kinerja turbin savonius dilihat dari dua parameter utama yaitu koefisien torsi (C_T) dan koefisien daya (C_p) [7]–[11]. C_p mengukur kinerja turbin dalam menghasilkan energi kinetik menjadi energi mekanik yang dihitung dengan menggunakan Eq. 1, rasio antara daya aktual turbin (P) dan daya yang tersedia di angin (P_A). Nilai C_T membandingkan torsi aktual yang dihasilkan dengan torsi yang tersedia di angin, seperti yang dinyatakan oleh Eq. 2. TSR (λ) adalah rasio antara kecepatan ujung rotor dan kecepatan angin yang dinyatakan oleh Eq. 3.

$$C_p = \frac{P}{P_A} = \frac{T \cdot \omega}{\frac{1}{2} \rho A U^3} \dots\dots\dots 1$$

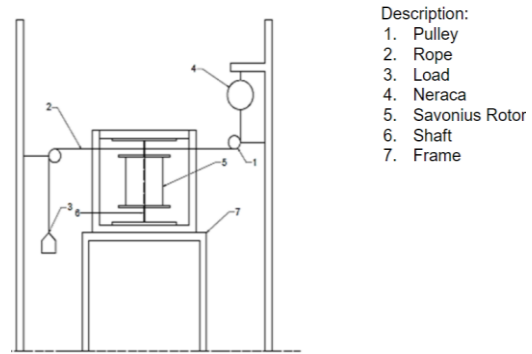
$$C_T = \frac{T}{T_A} = \frac{T}{\frac{1}{2} \rho A U^2 R} \dots\dots\dots 2$$

$$TSR (\lambda) = \frac{\omega R}{U} \dots\dots\dots 3$$

$$T = (F_1 - F_2) \cdot R \dots\dots\dots (4)$$

di mana adalah massa jenis udara yang diukur dalam kg/m^3 , U adalah kecepatan angin dalam aliran bebas yang diukur dalam m/s , A adalah luas area sapuan turbin yang diukur dalam meter persegi (m^2), sama dengan ketinggian dikalikan dengan diameter rotor (m), R adalah jari-jari turbin yang diukur dalam meter, dan adalah kecepatan putaran turbin yang diukur dalam rad/s . Sedangkan F_1 dan F_2 adalah gaya pengereman pada *loadcell* 1 dan *loadcell* 2.

Pengukuran torsi pada *wind tunnel* biasanya menggunakan bantuan beban belah yang dihubungkan dengan tali nilon dan pully melalui poros turbin. Pembebanan diberikan bertahap sampai kondisinya berhenti. Data pembebanan (F_2) dan gaya pada bidang tumpu (F_1) dicatat. Skema alat pengujian dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Skema alat ukur gaya pengereman (torsi) [12]

- Description:
 1. Pulley
 2. Rope
 3. Load
 4. Neraca
 5. Savonius Rotor
 6. Shaft
 7. Frame

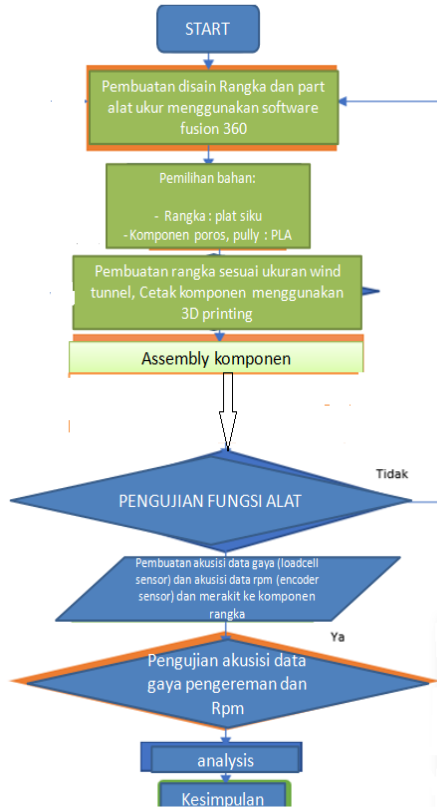
Kemudian untuk pengukuran putaran turbin menggunakan tachometer. Pengujian dilakukan secara manual dan melakukan pencatatan setiap pengambilan data. Metoda tersebut tidaklah efektif dan efisien karena data tidak tercatat secara kontiniu. Perlu dirancang alat akusisi data untuk pengukuran gaya pengereman (torsi) dan putaran poros turbin sehingga data terpantau secara kontiniu.

Beberapa penelitian terdahulu yang pernah dilakukan untuk pengukuran torsi pada *wind tunnel* diantaranya Alfeus Sunarso et. al [13] membuat alat akusisi data untuk turbin pelton dengan control adurino uno menggunakan LCD terhadap pengukuran putran poros (rpm). Pada penelitian ini hasil pengukuran tercatat pada LCD sehingga perlu dilakukan pencatatan ulang pada computer saat pengolahan data; pada penelitian yang dilakukan oleh Alexin, M.P et. al. [14] yaitu membuat alat ukur otomatis untuk turbin angin vertikal dengan hasil langsung berupa grafik daya.; pada penelitian yang dilakukan oleh S. Rifdian I et. al. [15] tentang sistem pengukuran kecepatan putar generator pada turbin angin menggunakan optocoupler berbasis mikrokontroler ATMEGA8535, dari penelitian tentang pengukuran putaran didapatkan bahwa Dari data hasil pengujian yang telah dilakukan , hasil pengukuran masih dalam batas toleransi yaitu sebesar $\pm 10\%$. Akan tetapi penelitian ini datanya juga masih dipantau menggunakan LCD sehingga akusisi data masih diperlakukan pencatatan manual ke excel saat diolah datanya. Penelitian tentang alat akusisi data otomatis masih sangat terbatas, pada penelitian ini dilakukan perancangan dan pembuatan alat akusisi data untuk mengukur gaya pengereman dan putaran turbin dengan kontrol mikrokontroler menggunakan adurino uno. Data pengukuran tercatat secara otomatis dan kontiniu pada layar laptop saat pengujian dilakukan.

2. Metode Penelitian

Metoda yang digunakan pada penelitian ini adalah metoda rancang bangun, yaitu merancang alat untuk pengukur gaya pengereman dan putran dengan bentuk konstruksi seperti alat rem proni dan *encoder* untuk mengukur putaran poros diletakkan pada center poros

turbin. Adapun tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Diagram alir penelitian

Pengujian untuk putaran digunakan data pembanding 2 buah tachometer. Sedangkan untuk *loadcell* digunakan data pembanding pembebanan manual menggunakan beban belah dengan variasi berat 5 gram, 15 gram, 25 gram, 35 gram, dan 45 gram. Gambar 4. menyajikan tachometer yang digunakan sebagai pembanding dan beban belah yang digunakan sebagai pembanding.

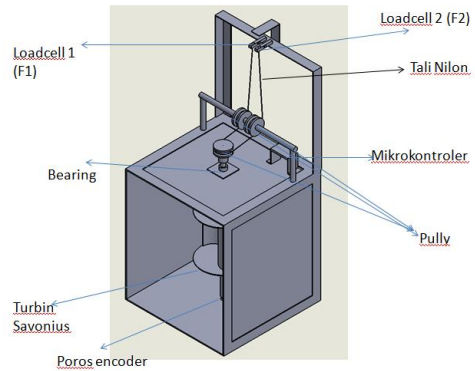


Gambar 4. Alat pembanding (pengukuran manual)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Disain Rangka Alat Ukur Torsi dan Putaran

Disain rangka alat bantu ukur untuk pengujian turbin Savonius dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Disain alat ukur torsi & putaran turbin

3.2 Pembuatan perangkat keras alat



Gambar 6. Alat ukur terpasang pada wind tunnel

Prinsip kerja alat ukur:

- a. Pengukuran gaya menggunakan prinsip rem proni.

Pembebanan untuk pengereman diukur dengan menggunakan *loadcell* 1 yang dihubungkan dengan mikrokontroler. *Loadcell* 2 ditarik dengan putaran baut sehingga terjadi tarikan pada tali nilon yg berfungsi mengerem putaran poros turbin yang dihubungkan dengan pully. Sedangkan *loadcell* 1 juga ikut tertarik karna juga terhubung langsung dengan benang nilon. Untuk total gaya pengereman adalah nilai *loadcell* 2 dikurangi dengan nilai *loadcell* 1. Nilai torsi didapat dengan mengalikan Selisih gaya *loadcell* dengan jari-jari rotor turbin. Nilai gaya pada *loadcell* ditampilkan dilayar monitor

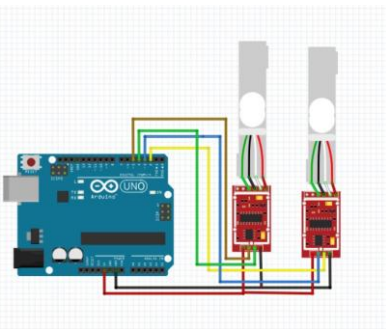
secara terus-menerus saat dilakukan pengambilan data.

b. Pengukuran putaran poros (rpm)

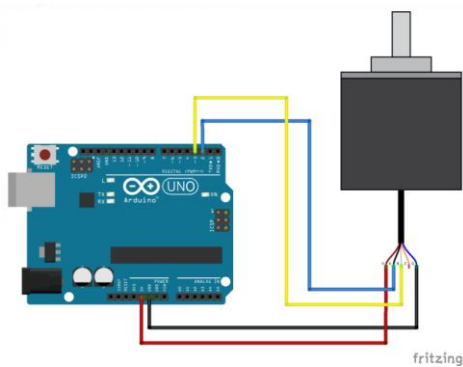
Sensor FC-03 digunakan untuk mendeteksi setiap hole dari *encoder* disk. *Hole* yang terdeteksi akan dibaca dan dikirimkan sebagai sinyal digital. Setiap sensor akan melakukan pembacaan terhadap *hole* dari *encoder* disk selama 1 detik, setiap 1 *hole* yang dideteksi oleh sensor akan berupa sinyal digital dengan nilai 1 dan akan dikirimkan ke mikrokontroler ardurino uno sebagai tanda adanya perputaran dari poros turbin dan mengirimkan nilai 0 ke mikrokontroler ardurino sebagai tanda tidak adanya perputaran poros. Banyak *hole* menentukan nilai RPM dari poros. Banyak *hole* untuk menentukan 1 putaran poros disesuaikan dengan 1 kali putaran roda.

3.3 Disain sistem akusisi data

Alat pengendali sistim akusisi data menggunakan mikrokontroler ardurino uno. Untuk sensor gaya menggunakan *loadcell* berfungsi sebagai pembebanan saat pengereman. Tampilan kedua gaya *loadcell* akan diperlihatkan pada layar monitor laptop saat dilakukan pengujian. Gambar diagram control *loadcell* dapat dilihat pada Gambar 7. Untuk pengukuran kecepatan putran poros turbin menggunakan sensor *encoder* yang juga dihubungkan dengan adurino uno dan tampilan pada layar monitor. Diagram control untuk sistem akusisi data putaran tersaji pada Gambar 8.

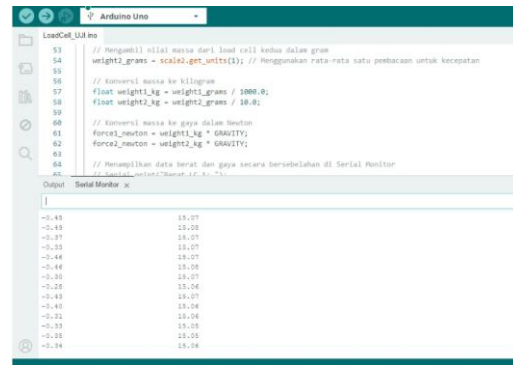


Gambar 7. Diagram control *loadcell*



Gambar 8. Diagram control *encoder* (mengukur rpm)

Tampilan data pada layar monitor untuk data *loadcell* seperti pada Gambar 9. Bagian data kiri adalah *loadcell* 1 dan data kanan *loadcell* 2.



Gambar 9. Tampilan data gaya saat pengereman

Tampilan data akusisi untuk data rpm saat pengujian menggunakan *encoder* tersaji pada Gambar 10.



Gambar 10. Tampilan data rpm pada layar monitor saat pengujian

Perbandingan data putaran poros diuji dengan menggunakan 2 tachometer yaitu tachometer DT-6236B (tachometer 1) dan tachometer Krisbow kw06-563 (tachometer 2) dibandingkan dengan data yang didapat dengan *encoder*.

3.4 Data hasil pengujian

3.4.1 Data putaran

Pengambilan data putaran poros turbin dilakukan pada beberapa kecepatan angin pada *wind tunnel*. Hasil pengukuran rpm pada data sensor akan dibandingkan dengan data yang terbaca pada 2 model tachometer. Data disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Data pengujian sensor *encoder* (putaran/rpm)

Kecepatan Angin (U) (m/s)	Pengukuran Sensor <i>encoder</i>	Tacho 1 (T1)	Tacho 2 (T2)	Error terhadap p T1	Error terhadap p T2
3.59	408	405	404	0,99	0,74
4,39	498	495	493	1,01	0,61
4,8	618	609	608	1,64	1,48
5,6	692	696	693	0,14	0,57
5,98	736	737	733	0,41	0,14
6,35	768	767	765	0,39	0,13
6,65	845	841	840	0,60	0,48
Rata-rata penyimpangan data dari alat ukur tachometer				0,74%	0,59%

Berdasarkan hasil data pengujian menggunakan *encoder* dan dibandingkan dengan pengukuran tachometer 1 dan tachometer 2 maka didapat rata-rata error pengukuran terhadap tachometer 1 adalah 0,74 % sedangkan untuk tachometer 2, nilai error pengukuran *encoder* terhadap nilai putaran poros adalah 0,59%. Menurut Rofdian et.al [15] batas pengukuran + 10 masih bias diterima sebagai hasil pengukuran. Jadi alat ukur putaran (rpm) untuk pengukuran turbin Savonius aplikasi pada wind tunnel ini dapat diterima sebagai alat ukur untuk pengujian dan dengan bantuan perangkat kontrolnya dapat dipergunakan sebagai alat akusisi data saat pengujian. Sehingga mempermudah proses pengujian turbin Savonius.

3.4.2 Data Pengereman (load cell)

Pengujian untuk fungsi *loadcell* sebagai gaya pengereman yaitu dilakukan dengan memutar baut bagian pada *loadcell* 2 sehingga terjadi penarikan pada *loadcell* 2 yang terhubung dengan benang nilon untuk mengerem poros turbin dengan bantuan pully. Gaya tersebut terbaca pada monitor. Perbandingan dapat dilakukan dengan beban manual yaitu dengan mengatur titik putaran poros sama dan kecepatan pada wind tunnel sama untuk beban manual dan beban yang dikontrol menggunakan mikrokontroler. Yang menjadi titik berat pada pengukuran adalah beban pada *loadcell* 2.

Tabel 2. Data pengujian sensor *loadcell*

Kecepatan angin (m/s)	RPM (Putaran poros)	<i>Loadcell</i> 2 (gram)	Pembebanan 2 (gram)	Error (%)
3,52 m/s	351	5.14	5	2,80
	327	15.31	15	2,00
	322	25.29	25	1,10
	316	35.02	35	0,57
	295	45.27	45	0,60
4.39 m/s	481	5.29	5	5,80
	456	15.48	15	3,20
	412	25.56	25	2,24
	375	35.72	35	2,00
	312	45.90	45	2,00
Rata-rata error pengukuran				2,231 %

Berdasarkan Tabel 2. data pengujian *loadcell* 2 yang dibandingkan dengan pengukuran manual menggunakan beban belah maka didapatkan rata-rata error untuk semua pengukuran adalah 2,231%. Nilai 2,231% masih termasuk dalam error yang normal sehingga *loadcell* yang digunakan pada pengujian datanya dapat diterima sebagai data pengujian untuk pengukuran beban pengereman turbin Savonius aplikasi pada *wind tunnel*.

3. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian alat ukur gaya pengereman untuk mendapatkan torsi sebagai parameter untuk mengetahui efisiensi turbin Savonius didapatkan data bahwa alat akusisi data berfungsi

dengan baik ditinjau dari pengukuran dan tampilan data secara kontiniu pada monitor tingkat error data untuk data gaya adalah 2,231%. Sementara untuk data putaran terdapat error 0,59%. Alat bantu pengukuran gaya pengereman dan putaran poros dengan akusisi data control ardurino uno dapat diterima sebagai alat ukur karena nilai error kecil dari 10 %.

Ucapan Terimakasih

Karya ini didukung oleh penelitian terapan Pemula (PTP) dana DIPA Politeknik Negeri Padang, No. kontrak: 115/PL9.15/AL.04/2024. Selain itu, penulis juga mengucapkan terima kasih atas dukungan fasilitas yang diberikan oleh Universitas Andalas, Sumatera Barat, selama penelitian berlangsung.

Daftar Rujukan

- [1] R. Sumiati, S. Pengajar, J. Teknik, M. Politeknik, and N. Padang, "Pengujian Turbin Angin Savonius Tipe U Tiga Sudu Di Lokasi Pantai Air Tawar Padang," *Penguji. Turbin Angin Savonius Tipe Utiga Sududi Lokasi Pantai Air Tawar Padang*, vol. 1, no. 1, pp. 27–23, 2012, [Online]. Available: www.reuk.co.uk/Savonius-Wind-Turbines.htm
- [2] K. R. Abdelaziz, M. A. A. Nawar, A. Ramadan, Y. A. Attai, and M. H. Mohamed, "Performance improvement of a Savonius turbine by using auxiliary blades," *Energi*, 2021, doi: 10.1016/j.energi.2021.122575.
- [3] M. B. Salleh, N. M. Kamaruddin, and Z. Mohamed-Kassim, "The effects of a deflector on the self-starting speed and power performance of 2-bladed and 3-bladed Savonius rotors for hydrokinetic application," *Energi Sustain. Dev.*, vol. 61, pp. 168–180, 2021, doi: 10.1016/j.esd.2021.02.005.
- [4] A. S. Grinspan, U. K. Saha, and P. Mahanta, "Experimental investigation of twisted bladed savonius wind turbine rotor," *Int. Energi J.*, vol. 5, no. 1, pp. 1–9, 2004.
- [5] N. Alom and U. K. Saha, "Performance evaluation of vent-augmented elliptical-bladed savonius rotors by numerical simulation and wind tunnel experiments," *Energi*, vol. 152, pp. 277–290, Jun. 2018, doi: 10.1016/j.energi.2018.03.136.
- [6] FRANK M. WHITE, "FLUID MECHANICS," 2011.
- [7] L. B. Kothe, S. V. Möller, and A. P. Petry, "Numerical and experimental study of a helical Savonius wind turbine and a comparison with a two-stage Savonius turbine," *Renew. Energi*, vol. 148, pp. 627–638, 2020, doi: 10.1016/j.renene.2019.10.151.
- [8] Y. Kurniawan, D. D. D. P. Tjahjana, and B. Santoso, "Experimental Studies of Performance Savonius Wind Turbine with Variation Layered Multiple Blade," in *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Jul. 2020, vol. 541, no. 1. doi: 10.1088/1755-1315/541/1/012006.
- [9] W. T. Chong et al., "The experimental study on the wind turbine's guide-vanes and diffuser of an exhaust air energi recovery system integrated with the cooling tower," *Energi Convers. Manag.*, vol. 87, pp. 145–155, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.07.009.
- [10] Y. Kurniawan, D. D. D. P. Tjahjana, and B. Santoso, "Experimental Studies of Performance Savonius Wind Turbine with Variation Layered Multiple Blade," *IOP*

- Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 541, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1755-1315/541/1/012006.
- [11] A. Kianifar, M. Anbarsooz, and M. Javadi, "Blade curve influences on performance of Savonius rotors: Experimental and numerical," *Am. Soc. Mech. Eng. Fluids Eng. Div. FEDSM*, vol. 1, no. PARTS A, B AND C, pp. 905–911, 2010, doi: 10.1115/FEDSM-ICNMM2010-30919.
- [12] R. Sumiati, U. G. S. Dinata, and D. A. Saputra, "Enhancing the Performance of Savonius Rotor Using Tiered-Height Zigzag Patterns in Concave Surface," *J. Appl. Eng. Sci.*, vol. 22, no. 1, pp. 113–122, 2024, doi: 10.5937/jaes0-46250.
- [13] A. Sunarso *et al.*, "Pengembangan Sistem Akuisisi Data Otomatis Berbasis Arduino Untuk Alat Uji Unjuk Kerja Turbin Air," *J. Otomasi Kontrol dan Instrumentasi*, vol. 11, no. 2, pp. 108–119, 2019, doi: 10.5614/joki.2019.11.2.4.
- [14] Mohammad Alexin Putra and Yoga Ade Priatna, "Alat Ukur Daya Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal," pp. 9–14, 2020, [Online]. Available: [https://eprints.itenas.ac.id/836/1/Alat Ukur Daya Untuk Turbin Angin Sumbu Vertikal.pdf](https://eprints.itenas.ac.id/836/1/Alat_Ukur_Daya_Untuk_Turbin_Angin_Sumbu_Vertikal.pdf)
- [15] R. I. S. and H. Hartono, "Rancang Bangun Sistem Pengukuran Kecepatan Putar Generator Pada Turbin Angin Menggunakan Optocoupler Berbasis Mikrokontroler ATMEGA8535," *J. Penelit.*, vol. 3, no. 3, pp. 29–35, 2018, doi: 10.46491/jp.v3e3.53.29-35.