

RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN DARRIEUS 3 SUDU SKALA LAB

Akbar Teguh Prakoso⁽¹⁾, M. Alif Abiyu⁽¹⁾ dan Dendy Adanta^(1*)

⁽¹⁾Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya

^(*)E-mail *Corresponding Author*: dendyadanta@gmail.com

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun turbin angin Darrieus dengan tiga sudu skala laboratorium. Turbin angin Darrieus dipilih karena desainnya yang efisien dalam memanfaatkan kecepatan angin untuk menghasilkan energi mekanis. Metodologi penelitian melibatkan beberapa tahap, mulai dari desain sudu turbin yang menggunakan pipa PVC yang dipanaskan dan dibentuk menjadi plat datar, hingga perancangan *frame* turbin dari besi *hollow* dan plat besi. Desain sudu dan *frame* dioptimalkan untuk memastikan putaran turbin yang stabil dan efisien. Turbin dilengkapi dengan dinamo mesin cuci untuk meningkatkan stabilitas putaran dibandingkan dengan menggunakan *fillow block*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa desain turbin Darrieus dengan tiga sudu mampu menghasilkan putaran yang stabil dan efisien. Kecepatan putaran turbin dipengaruhi oleh kecepatan angin, luas sudu, dan panjang lengkungan pada sudu. Selain itu, tinggi antara *frame* dan sudu juga berpengaruh terhadap kestabilan putaran. Hasil perhitungan desain menunjukkan bahwa luas sapuan turbin adalah 24617 m² dengan kecepatan angin 3 m/s menghasilkan kecepatan ujung rasio sebesar 5 dan kecepatan putaran turbin mencapai 15 m/s. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa turbin angin Darrieus dengan tiga sudu dapat berfungsi dengan baik dalam skala laboratorium. Desain sudu dan *frame* yang tepat sangat penting untuk mencapai putaran yang stabil dan efisien. Turbin ini memiliki potensi untuk dikembangkan lebih lanjut sebagai solusi energi terbarukan di Indonesia.

Kata Kunci: Turbin Angin Darrieus, Sudu Turbin, Perancangan

Abstract

This research aims to design and build a Darrieus wind turbine with three blades on a laboratory scale. The Darrieus wind turbine was chosen because of its efficient design in utilizing wind speed to produce mechanical energy. The research methodology involves several stages, starting from designing turbine blades that use PVC pipes that are heated and formed into flat plates, to designing turbine frames from hollow iron and iron plates. The blade and frame design is optimized to ensure stable and efficient turbine rotation. The turbine is equipped with a washing machine dynamo to increase rotational stability compared to using a fillow block. The research results show that the Darrieus turbine design with three blades is capable of producing stable and efficient rotation. The rotation speed of the turbine is influenced by wind speed, blade area, and blade curve length. Apart from that, the height between the frame and blades also affects the stability of the rotation. The design calculation results show that the turbine sweep area is 24617 m² with a wind speed of 3 m/s resulting in a tip speed ratio of 5 and a turbine rotation speed of 15 m/s. The conclusion of this research is that the Darrieus wind turbine with three blades can function well on a laboratory scale. Proper blade and frame design is critical to achieving stable and efficient rotation. This turbine has the potential to be further developed as a renewable energy solution in Indonesia.

Keywords: *Darrieus Wind Turbine, Turbine Blade, Planning*

1 PENDAHULUAN

Berdasarkan pusat penelitian dan pengembangan teknologi ketenagalistrikan, energi baru, terbarukan, dan konservasi energi, kebutuhan energi listrik nasional terus meningkat hingga sebesar 6,9% per tahun, sebaliknya ketersediaan fosil sebagai sumber energi primer pembangkit tenaga listrik terus menurun. Untuk memenuhi kebutuhan energi nasional, pemerintah Indonesia melakukan

percepatan pemanfaatan energi baru dan terbarukan [1].

Turbin angin Darrieus adalah turbin angin sumbu vertikal tipe angkat yang paling terkenal dan diminati. Turbin jenis ini ditandai dengan baling-baling berbentuk C yang membuatnya tampak seperti pengocok telur. Biasanya dibangun dengan dua atau tiga bilah, tetapi tidak dapat mulai sendiri. Oleh karena itu, motor kecil digunakan untuk memulai putaran. Turbin jenis ini menghasilkan torsi lebih

sedikit daripada turbin Savonius, tetapi berputar lebih cepat [2].

Turbin *hybrid* memiliki rotor Darrieus di bagian utama perangkat, dan rotor Savonius digabungkan secara permanen ke sumbu yang sama sebagai perangkat *startup*. Untuk mendapatkan karakteristik *startup* yang bagus dan terlepas dari arah angin, rotor Savonius dibagi menjadi dua (atas dan bawah), dengan dua bagian yang mempunyai sudut 90° dipisahkan perlekatan [3].

Selama evaluasi dilakukan, perhatian harus selalu diberikan pada besar perbedaan karakteristik keluaran dalam hal panjang sumbu rotasi yang dihasilkan dari konfigurasi. Dengan kata lain, saat menghitung aliran tenaga angin masuk, luas sapuan rotor Darrieus digunakan sebagai luas sapuan untuk tipe A, dan jumlah luas sapuan kedua rotor digunakan sebagai area sapuan untuk tipe B. Rotasi maksimum radius untuk rotor Darrieus digunakan untuk rotasi radius kedua konfigurasi. Titik operasi yang diinginkan (titik koefisien daya maksimum dan kecepatan ujung rasio pada saat itu) yang diperoleh dari hasil komputasi untuk melakukan kontrol kecepatan variabel terutama dengan kecepatan konstan ujung rasio [4].

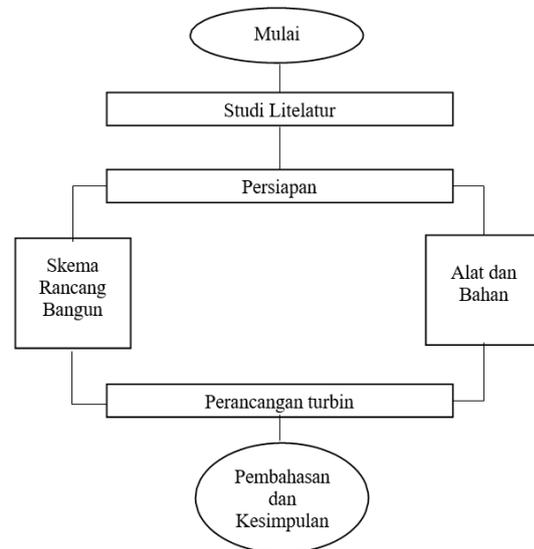
Rotor Darrieus tipe *lift* memiliki *self-startup* kapasitas minimal, karena torsi yang dihasilkan pada kecepatan ujung rasio rendah dan tidak signifikan, meskipun dengan menggunakannya rotor Savonius tipe *drag* dengan torsi *startup* yang tinggi, katakarakteristik *startup* yang baik diperoleh untuk salah satu konfigurasi. Namun dalam tipe A, karena rotor Darrieus dan Savonius berinterferensi satu sama lain karena aliran udara, koefisien daya maksimum lebih rendah daripada turbin Darrieus. Rotor Savonius menerima angin yang dilemahkan dalam ruang tertutup rotasi rotor Darrieus. Kecepatan angin distribusi rotor Darrieus dihitung berdasarkan teori *multiple streamtube* [5]. Karena nilai rasio radius Darrieus dan rotor Savonius memiliki dampak signifikan pada *output* karakteristik turbin gabungan, hal ini harus diberikan pertimbangan serius ketika merancang turbin *hybrid*. Hasil yang dihitung dan diukur untuk perangkat uji terowongan angin untuk hubungan antara rasio radius rotor dan koefisien daya maksimum rasio efisien untuk turbin *hybrid* dan turbin Darrieus saja [6].

Banyak jenis desain turbin angin yang tersedia saat ini, namun sebagian besar desain tersebut sangat kompleks dan memerlukan teknologi canggih untuk proses manufakturnya [7]. Berbagai material digunakan untuk membuat turbin angin, terutama material komposit, yang juga memiliki desain yang rumit dan biaya produksi yang tinggi [8]–[11]. Penelitian ini mengusulkan alternatif yang lebih ekonomis untuk desain turbin angin skala kecil yang bertujuan untuk sebagai energi alternatif bagi daerah terpencil. Material PVC dapat menjadi pilihan yang paling sesuai [12]–[14]. PVC dipilih sebagai material karena ketersediaannya yang melimpah, biaya yang

relatif rendah, dan berat yang ringan, sehingga memungkinkan pemanfaatan tenaga yang lebih optimal. Penelitian ini menyelidiki kemungkinan membangun sebuah bilah turbin angin menggunakan material PVC.

2 METODOLOGI

Proses penelitian dilakukan sesuai tahap-tahap pada diagram alir penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir Penelitian

Deskripsi Sudu Turbin

Pada rancang bangun ini, turbin angin yang digunakan adalah turbin angin Darrieus dan juga dalam hal ini memanfaatkan energi kinetik pada kecepatan angin untuk diubah menjadi energi mekanis. Sudu turbin angin Darrieus yang digunakan adalah dari pipa PVC berukuran 1 inch dan panjang 69 cm. Pipa PVC terlebih dahulu dibelah menjadi 2 bagian kemudian dipanaskan dan ditekan menggunakan balok kayu agar menjadi plat datar.



Gambar 2 Sudu Turbin Darrieus dari Pipa PVC

Persiapan Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan untuk membuat rancang bangun turbin angin Darrieus 3 sudu ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
Meteran	Pipa PVC
Obeng	Plat Besi
Tang	Poros Ulir
Kunci Baut 17	Besi <i>Hollow</i>
Balok Kayu	Dinamo Mesin Cuci
	Mur
	Baut
	Ring

Proses Perancangan Turbin Angin Darrieus 3 Sudu

Agar putaran turbin konstan dan kinerjanya baik, maka pada saat melakukan pemasangan sudu turbin harus tegak lurus dengan lengan turbin. Karena jika tidak, maka kinerja turbin dan putaran menjadi tidak konstan. Gambar 3 menunjukkan skema turbin angin Darrieus 3 sudu.



Gambar 3 Skema Turbin Angin Darrieus 3 Sudu

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Perhitungan Desain Turbin

Diketahui massa jenis angin adalah 1,225 kg m/s, gravitasi adalah 9,8 m/s², kecepatan angin 3 m/s, luas sapuan 24,617 m².

$$\begin{aligned}
 A &= \pi r^2 & (1) \\
 &= 3,14 \times 28^2 \\
 &= 3,14 \times 784 \\
 &= 2461,76 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$= 24,617 \text{ m}^2$$

Di mana diketahui data yang di ukur didapatkan:
Lebar sudu = 5 cm

Jumlah sudu = 3

Jari-jari = 28 cm TSR (*Tip Speed Ratio*) = 5

$$U = V.TSR \quad (2)$$

$$= 3 \text{ m/s} \times 5$$

$$= 15 \text{ m/s}$$

$$\omega = \frac{u}{r} \quad (3)$$

$$= \frac{15 \text{ m/s}}{0,28 \text{ m}}$$

$$= 53,57 \text{ m/s}$$

$$F = m.a \quad (4)$$

$$= 5 \text{ Kg} \cdot 3 \text{ m/s}$$

$$= 15 \text{ N}$$

$$\theta = 120^\circ$$

$$r1 = r \cdot F \cdot \sin\theta \quad (5)$$

$$= 0,28 \text{ m} \cdot 15 \text{ N} \cdot 120^\circ$$

$$= 0,28 \text{ m} \cdot 15 \text{ N} \cdot r$$

$$= \frac{1}{2} \sqrt{3}$$

$$= 2,1 \sqrt{3} \text{ Nm}$$

$$r \text{ total} = r1 + r2 + r3 \quad (6)$$

$$= 2,1 + 2,1 = 2,1$$

$$= 6,3 \sqrt{3} \text{ Nm}$$

Di mana massa benda adalah 5 kg dan sudut masing-masing sudu adalah 120°.

$$Pa = \rho \cdot g \cdot V^3 \cdot A \quad (7)$$

$$= 1,225 \text{ kg m/s} \cdot 9,8 \text{ m/s}^2 \cdot 27 \text{ m/s} \cdot 24,617 \text{ m}^2$$

$$= 7979,23 \text{ kg m/s}$$

$$Pm = r \cdot \omega \quad (8)$$

$$= 6,3 \sqrt{3} \text{ Nm} \cdot 53,57 \text{ m/s}$$

$$= 337,491 \sqrt{3} \text{ N m/s}$$

$$= 6,9 \text{ N m/s}$$

$$\begin{aligned} \text{Perbandingan: } \eta &= \frac{pm}{pa} \times 100\% & (9) \\ &= \frac{6,9}{7979,23} \times 100\% \\ &= 0,0864 \text{ N/kg m/s} \end{aligned}$$

Hasil Perancangan *Frame* Turbin

Frame turbin terbuat dari besi *hollow* dan plat besi yang dilas. *Frame* berbentuk persegi di mana masing-masing sisinya terdapat kaki *frame* dengan tinggi 5 cm. Di atas dan bawah plat besi dipasangkan dinamo mesin cuci sebagai poros. *Frame* turbin dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4 *Frame* Turbin

Hasil Perancangan Sudu Turbin

Sudu turbin terbuat dari pipa PVC yang dipanaskan dan dibuat menjadi 3 sudu, masing-masing sudu dipasangkan pada plat berbentuk lingkaran. Sudu turbin dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5 Sudu Turbin Angin Darrieus dengan 3 Sudu

Hasil Rancang Bangun Turbin Angin Darrieus 3 Sudu

Sudu turbin yang sudah terpasang pada plat kemudian dimasukkan pada poros yang terhubung ke *frame* dengan posisi tegak lurus dan dalam keadaan

center. Hasil akhir dari rancang bangun turbin angin Darrieus 3 sudu dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6 dan 7.



Gambar 6 Turbin Angin Darrieus Tampak Depan



Gambar 7 Turbin Angin Darrieus Tampak Atas

4 KESIMPULAN

Dari perancang turbin angin Darrieus ini dapat disimpulkan bahwa kecepatan putaran turbin tidak hanya dipengaruhi oleh kecepatan angin, melainkan juga luasnya sudu dan juga panjang lengkungan pada sudu. Tinggi antara *frame* dan sudu turbin juga mempengaruhi putaran turbin, serta kestabilan putaran juga lebih stabil menggunakan dinamo mesin cuci dibandingkan dengan *fillow block*, karena saat menggunakan *fillow block* putaran turbin menjadi tidak lancar dan susah berputar. Juga lebar dan tinggi *frame* menjadi faktor penting agar putaran sudu dapat stabil.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih kepada seluruh Dosen Jurusan Teknik Mesin beserta jajarannya. Terima kasih kepada orang tua serta keluarga yang selalu mendukung dan mendoakan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kaprawi, "Pengaruh Geometri Sudu Dari Turbin Air Darrieus Terhadap Kinerjanya" no.

- 1, pp. 1–5, 2008.
- [2] C. Srinivasan, G. Ajithkumar, S. Arul, G. Arulprasath, and T. M. Dharunbabu, “Design of Combined Savonius-Darrieus Wind Turbine,” *IOSR J. Mech. Civ. Eng.*, vol. 14, pp. 60–70, 2017.
- [3] M. Shiono, K. Suzuki, and S. Kiho, “Experimental study of the characteristics of a Darrieus turbine for tidal power generation,” *Electr. Eng. Japan*, vol. 132, pp. 38–47, Aug. 2000, doi: 10.1002/1520-6416(200008)132:3<38::AID-EEJ6>3.0.CO;2-E.
- [4] T. Wakui, H. TAKAGI, and T. HASHIZUME, “Hybrid configuration of Darrieus and Savonius rotor for stand-alone power system,” *風力エネルギー利用シンポジウム*, pp. 140–143, Jul. 2011, doi: 10.11333/jweasympo1979.23.140.
- [5] M. Shiono, K. Suzuki, and S. Kiho, “Output Characteristics of Darrieus Water Turbine With Helical Blades For Tidal Current Generations,” 2002.
- [6] I. Hardiatama, “Pengaruh Penambahan Diffuser terhadap Performa 3D Print Turbin Hidrokinetik Helical Savonius (Twist Angle 45o),” vol. 7, p. 75, Oct. 2018, doi: 10.22441/jtm.v7i2.2853.
- [7] K. Yang, “Geometry design optimization of a wind turbine blade considering effects on aerodynamic performance by linearization,” *Energies*, 2020, doi: 10.3390/en13092320.
- [8] A. S. Verma, J. Yan, W. Hu, Z. Jiang, W. Shi, and J. J. E. Teuwen, “A review of impact loads on composite wind turbine blades: Impact threats and classification,” *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2023, doi: 10.1016/j.rser.2023.113261.
- [9] L. Amzil, S. Fertahi, T. Raffak, and T. Mouhib, “Structural performance analysis of hemp fiber-reinforced hybrid composites in wind turbine blade manufacturing,” *Structures*, 2023, doi: 10.1016/j.istruc.2023.105373.
- [10] W. Finnegan, Y. Jiang, N. Dumergue, P. Davies, and J. Goggins, “Investigation and validation of numerical models for composite wind turbine blades,” *J. Mar. Sci. Eng.*, 2021, doi: 10.3390/jmse9050525.
- [11] H. Teng, S. Li, Z. Cao, S. Li, C. Li, and T. J. Ko, “Carbon Fiber Composites for Large-Scale Wind Turbine Blades: Applicability Study and Comprehensive Evaluation in China,” *J. Mar. Sci. Eng.*, 2023, doi: 10.3390/jmse11030624.
- [12] A. Shyam, A. S. Aryan, C. Shailesh, R. Harigovind, V. Vipin, and A. Krishnan, “Design and analysis of small-scale horizontal axis wind turbine using PVC material,” 2021, doi: 10.1016/j.matpr.2021.08.095.
- [13] D. Adanta, K. Sahim, and A. S. Mohruni, “Feasibility study of pvc pipes as vertical axis wind turbines type savonius bucket for remote areas application,” *Int. J. Energy Convers.*, 2021, doi: 10.15866/irecon.v9i2.19270.
- [14] K. Lewandowski, K. Skórczewska, K. Piszczek, and W. Urbaniak, “Recycled glass fibres from wind turbines as a filler for poly(Vinyl chloride),” *Adv. Polym. Technol.*, 2019, doi: 10.1155/2019/8960503.