

Model Design of Helical Type Vertical Shaft Wind Turbine with Capacity of 5 W

Perancangan Model Turbin Angin Poros Vertikal Tipe Heliks Kapasitas 5 W

*Endang Achdi¹, Syahbardia², Fadhilah Fahmi Rusdianto³

¹⁾²⁾³⁾ Universitas Pasundan, Jawa Barat, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

NASKAH DITERIMA: 16 Maret 2023

DIREVISI: 14 April 2023

DISETUJUI: 15 Juni 2023

*KORESPONDENSI PENULIS :

e_achdi@yahoo.com

Abstract

A vertical axis wind turbine (VAWT) is a power generator that uses wind power to generate torque. The VAWT can be pointed in any direction, meaning it doesn't need to be pointed into the wind to generate power. Thus, there is potential for large power plants using VAWTs as their size can be significantly increased. However, there are also some drawbacks to the VAWT. VAWT has the characteristics of self-starting. But still, an additional power source is needed to start the turbine rotation until a certain rotation speed is reached or it must operate at high wind speeds. The main objective of our work is to create a 5 W VAWT model (helical type) to optimize self-starting of vertical axis wind turbines. The outline of this report is regarding the design of our VAWT model, which will have self-starting characteristics. To increase the self-starting status, our efforts are to optimize the type, dimensions and material of the turbine blades. We also optimized the rotor dimensions. As a result, a model helical three-blade turbine was built and tested. The blade turbine made of composites has been balanced with the rotor prior to testing. The test uses 2 fans with a speed of 3-5m/s, the test is carried out to obtain wind turbine performance data.

Keywords: Wind turbine, Design, Self-starting, Turbine Power Coefficient

Abstrak

Turbin angin sumbu vertikal (VAWT) adalah alat pembangkit listrik yang menggunakan tenaga angin untuk menghasilkan torsi. VAWT dapat diarahkan ke segala arah, artinya tidak perlu diarahkan ke arah angin untuk menghasilkan tenaga. Jadi, ada potensi untuk pembangkit listrik besar dengan menggunakan VAWT karena ukurannya dapat ditingkatkan secara signifikan. Namun, ada juga beberapa kekurangan dari VAWT. VAWT mempunyai karakteristik *self-starting*. Namun tetap saja, sumber tenaga tambahan diperlukan untuk memulai putaran turbin sampai kecepatan putaran tertentu tercapai atau harus beroperasi pada kecepatan angin yang tinggi. Tujuan utama dari pekerjaan kami adalah membuat model 5 W VAWT (tipe heliks) untuk mengoptimalkan *self-starting* turbin angin sumbu vertikal. Garis besar laporan ini yaitu mengenai desain model VAWT kami, yang akan memiliki karakteristik *self-starting*. Untuk meningkatkan status *self-starting*, upaya yang kami lakukan adalah mengoptimalkan jenis, dimensi, dan material dari sudu turbin. Kami juga mengoptimalkan dimensi rotor. Sebagai hasilnya, model turbin tiga sudu heliks dibuat dan diuji. Turbin sudu yang terbuat dari komposit telah diseimbangkan dengan rotor sebelum dilakukan pengujian. Pengujian menggunakan 2 buah kipas dengan kecepatan 3-5m/s, pengujian dilakukan untuk mendapatkan data kinerja turbin angin.

Kata Kunci: Turbin angin, Desain, Self-starting, Koefisien Daya Turbin

I. PENDAHULUAN

Energi angin di Indonesia mempunyai kecepatan angin antara 2 m/s hingga 5 m/s, tetapi belum dimanfaatkan secara maksimal oleh masyarakat. Karena itu dibutuhkan suatu alat yang dapat memanfaatkan energi angin tersebut, yaitu turbin angin. Turbin angin yang sesuai digunakan dengan kondisi angin di Indonesia adalah turbin angin poros vertikal. Salah satu jenis turbin angin poros vertikal adalah tipe heliks. Turbin angin

poros vertikal tipe heliks memiliki kemampuan untuk *self-starting*. *Self-starting* turbin adalah kemampuan turbin untuk berputar dengan sendirinya tanpa dorongan awal.

Self-starting turbin angin sulit didapatkan pada kecepatan angin rendah. Sehubungan dengan *self-starting* turbin angin yang sulit didapatkan pada kecepatan angin rendah. Penulis berupaya untuk meningkatkan kemampuan *self-starting* turbin, maka diperlukan pengembangan pada bagian rotor turbin. Pengembangan dilakukan pada sudu turbin dan dimensi rotor. Pengembangan yang dilakukan adalah pemilihan sudu yang

dapat menghasilkan torsi yang tinggi, pemilihan material turbin yang ringan dan dimensi rotor.

II. METODE PENELITIAN

Dibawah ini menjelaskan tahapan-tahapan penelitian:

1. Identifikasi Masalah

Mereview dan mempelajari kekurangan yang terdapat pada turbin angin vertical tipe heliks (VAWT). Permasalahannya adalah kemampuan self-starting turbin sulit didapatkan pada kecepatan angin rendah.

2. Studi Literatur

Mempelajari materi dari jurnal-jurnal dan buku-buku literatur, yang bertujuan untuk mempermudah pengerjaan penelitian.

3. Penentuan Parameter Perancangan Menentukan parameter yang dibutuhkan untuk perancangan model turbin. Pada penelitian ini parameter turbin adalah Dimensi Rotor dan Jenis Airfoil.

4. Perancangan dan Evaluasi

Menentukan dimensi rotor turbin, jenis airfoil, material, mengkalkulasi daya output turbin, dan membuat model 3D. Lalu data tersebut dievaluasi menggunakan data-data turbin dari jurnal-jurnal yang sudah di release .

5. Kesimpulan Menuliskan tentang garis besar dari awal perancangan sampai proses evaluasi data.

III. STUDI LITERATUR

3.1 Turbin angin gorlov

Turbin heliks ditemukan oleh Alexander Gorlov (1995) yang juga dikenal sebagai turbin Gorlov. Turbin heliks mirip dengan turbin berbilah lurus Darrieus, kecuali sudu airfoil terbentang dalam bentuk heliks sepanjang bentangnya. Salah satu keuntungan dari helical blade adalah meningkatkan self-start turbin dibandingkan dengan turbin Darrieus. Saat bentuk sudu heliks terbentang sepanjang keliling putaran turbin, beberapa bagian dari bentuk sudu ditempatkan pada sudut serang yang optimal bahkan dalam kondisi statis atau berputar lambat, yang memungkinkan torsi awal yang lebih seragam yang tidak terlalu bergantung pada turbin posisi azimuth.[1]

3.2 Blade solidity

Blade solidity adalah parameter desain yang penting untuk perancangan turbin angin. *solidity* itu sendiri mengarah pada *solidness* pada turbin. Peneliti pendahulu mendefinisikan *solidity* dengan berbagai cara, salah satunya didefinisikan sebagai banyaknya jumlah *blade* dikalikan panjang *chord*, area yang tidak dilalui oleh *blade*. Definisi *solidity* yang di gunakan oleh Shiono et al.

(2002), dalam perancangan turbin tipe vertikalnya, beliau mendefinisikan untuk perancangan turbin heliks optimum digunakan rasio soliditas sebesar 0.3-0.4.[2]

- Perhitungan soliditas sudu dapat dihitung dengan persamaan:

$$\sigma = \frac{Nc}{2r}$$

Keterangan :

- : Soliditas sudu
- : Jumlah banyak sudu
- : *Chord* sudu (m)
- : Jari-jari turbin angin (m)

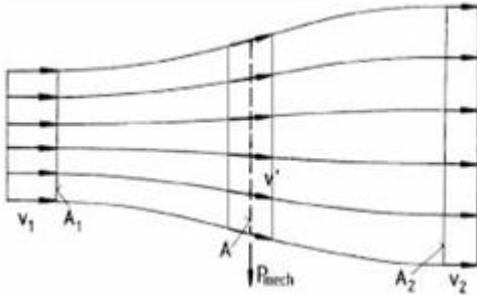
Eksperimen yang di lakukan oleh Gorlov (1998) tentang maksimum efisiensi turbin angin tipe heliks sebesar 35%. Menggunakan 3 *blade*, dengan diameter 0.61m, tinggi 0.86m menggunakan NACA 0020 dan solidity 27%. Gorlov membandingkan turbin jenis heliks dan darrieus dalam segi performa dan mendapati bahwa turbin heliks lebih unggul. Shiono et al (2002) memiliki hasil yang lebih rendah untuk turbin menggunakan 3 *blade* dengan radius 0.3m dimulai dari solidity sebsar 20% hingga 50% dan tinggi 0.3 m hingga 0.54 m, efisiensi maksimum yang di dapat adalah 24,4%. Shiono juga membandingkan turbin darrieus dengan turbin heliks dengan ukuran kedua turbin sama dan mendapati turbin darrieus memiliki efisiensi lebih tinggi.

3.3 Teori Momentum Betz

Teori Momentum Elementer Betz. Menurut Betz, seorang insinyur Jerman, besarnya energi yang maksimum dapat diserap dari angin adalah hanya 0.59259 dari energi yang tersedia. Sedangkan hal tersebut juga dapat dicapai dengan daun turbin yang dirancang dengan sangat baik serta dengan kecepatan keliling daun pada puncak daun sebesar 6 kali kecepatan angin. Pada dasarnya turbin angin untuk generator listrik hanya akan bekerja antara suatu kecepatan angin minimum, yaitu kecepatan start C_s , dan kecepatan nominalnya C_r . [3]

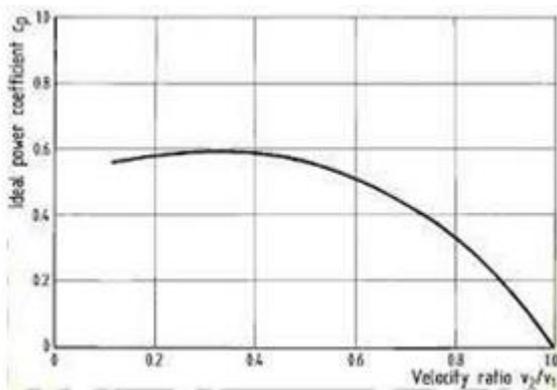
Teori momentum elementer Betz sederhana berdasarkan pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang akibatnya mengurangi jumlah total energi yang dapat diambil dari angin. Walaupun teori elementer Betz telah mengalami penyederhanaan, namun teori ini cukup baik untuk menjelaskan

bagaimana energi angin dapat dikonversikan menjadi bentuk energi lainnya.



Gambar 1. Model Aliran Teori Momentum Bezt[3].

Koefisien daya hasil dari konversi daya angin ke daya mekanis turbin tergantung pada perbandingan dari kecepatan angin sebelum dan sesudah dikonversikan. Jika keterkaitan ini di plot ke dalam grafik



Gambar 2. Grafik Koefisiensi Daya [3].

Besarnya effisiensi teoritis atau maksimum dari turbin angin C_p adalah :

$$C_p = \frac{16}{27} = 0.593$$

Dengan kata lain, turbin angin dapat mengkonversikan tidak lebih dari 60% tenaga total angin menjadi tenaga berguna. Betz adalah orang pertama yang menemukan nilai ini, untuk itu nilai ini disebut juga dengan Betz factor.

IV. PERANCANGAN DAN PERHITUNAGN

Untuk mendesain sebuah turbin heliks, turbin harus memiliki dimensi yang optimal agar daya yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan. Dimensi turbin juga harus memperhatikan *user* yang akan menggunakan turbin tersebut, agar tidak mempersulit saat pegunaan dan perbaikan

berkelanjutan turbin. Dimensi turbin berupa diameter (d), tinggi (h), panjang *chord* (c) dan sudut *pitch* heliks turbin (δ).

Turbin angin yang dirancang adalah jenis turbin angin vertikal tipe heliks (Gorlov,1998). Turbin angin ini terdiri dari 3 buah sudu heliks. Turbin angin ini mempunyai keunggulan yaitu meningkatkan *self-start* turbin dibandingkan tipe Darrieus.[4]

1. Airfoil

Tipe *airfoil* yang digunakan adalah NACA 0018. Pemilihan NACA 0018 sebagai *airfoil* karena *airfoil* ini simetris dan bisa

menghasilkan torsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan *airfoil* asimetris pada sudut serang negative. [5]

Chord turbin dapat dicari dengan menggunakan *blade solidity* turbin. *Blade solidity* (σ) adalah salah satu parameter untuk menentukan dimensi turbin yang berupa rasio antara jumlah sudu (N) dan panjang *chord* (c) dengan jari-jari turbin (r). Rasio soliditas yang digunakan pada perancangan turbin ini adalah 0.4. [2] Jari-jari turbin yang digunakan sebesar 0.4 m dan Untuk menentukan panjang *chord* turbin dijelaskan pada persamaan dibawah:

$$\sigma = \frac{Nc}{2r}$$

$$0,4 = \frac{3c}{2(0,4m)}$$

$$c = 0,10667 m$$

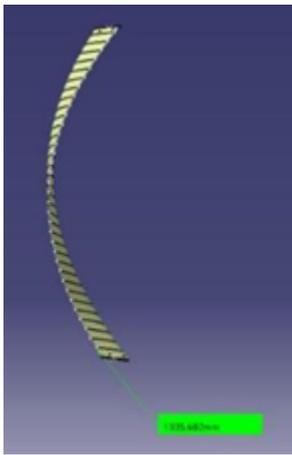
$$c = \sim 0,1 m$$

Berdasarkan persamaan diatas *chord* turbin yang didapat adalah 0.1 m.

2. Dimensi Turbin

Untuk mendapatkan tinggi turbin yang dapat menghasilkan torsi maksimum, tinggi turbin dan diameter turbin harus memiliki rasio yang optimal, dalam perancangan ini tinggi turbin ditentukan dengan aspek rasio (AR). Performasi turbin akan meningkat sebanding dengan Aspek rasio (AR) yang lebih dari 12:1. Aspek rasio ini merupakan perbandingan antara bentang sudu turbin (L) dengan panjang *chord* (c). Aspek rasio yang digunakan adalah 13:1. [1]

Dibantu dengan pemodelan di *software design* seperti di **Gambar 3**, bentang *blade* (L) adalah 0.1355 m. Tinggi sudu turbin yang digunakan pada pemodelan diatas adalah 0.9 m.



Gambar 3. Panjang Bentang Blade

3. Material

Material dari rangka-rangka turbin terbuat dari aluminium dengan alasan agar rangka tetap ringan dan memperkecil inersia, agar lebih mudah berputar tanpa dorongan awal (*self-starting*) dan mempermudah pemasangan. Material untuk sudu terbuat dari komposit *fiber glass* dengan *corenya* kayu balsa, alasannya menjaga turbin tetap ringan dan mempermudah pembuatan sudu turbin.

4. Perhitungan Daya Turbin

Maksimum koefisien daya (C_p) turbin

vertikal tipe heliks adalah 35%. [4] Perancangan turbin kali ini, menetapkan target koefisien daya turbin adalah 20%. Dengan sudah diketukanya koefisien daya turbin, maka daya turbin (P) bisa diketahui melalui persamaan berikut :

A. Perhitungan dibawah ini merupakan daya turbin dengan kecepatan angin (v) : 2 m/s dan koefisien daya (C_p) : 20%

$$C_p = \frac{P}{P_w}$$

$$P = P_w C_p$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

$$P = \frac{1}{2} 1.2 \text{ kg/m}^3 \times 0.72 \text{ m}^2 \times 2^3 \text{ m/s} \times 0,2$$

$$P=0.69W$$

B. Perhitungan dibawah ini merupakan daya turbin dengan kecepatan angin (v) : 3 m/s dan koefisien daya (C_p): 20%

$$C_p = \frac{P}{P_w}$$

$$P = P_w C_p$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

$$P = \frac{1}{2} 1.2 \text{ kg/m}^3 \times 0.72 \text{ m}^2 \times 3^3 \text{ m/s} \times 0,2$$

$$P=2.33W$$

C. Perhitungan dibawah ini merupakan daya turbin dengan kecepatan angin (v) : 4 m/s dan koefisien daya (C_p): 20%

$$P = P_w C_p$$

$$P = \frac{1}{2} \rho A v^3 C_p$$

$$P = \frac{1}{2} 1.2 \text{ kg/m}^3 \times 0.72 \text{ m}^2 \times 4^3 \text{ m/s} \times 0,2$$

$$P = 5.53W$$

1. Torsi Rotor Turbin

Torsi pada poros pada kecepatan angin (v) 4 m/s turbin ditentukan dengan menggunakan persamaan di bawah ini:

$$P=T\omega$$

Kecepatan sudut turbin (ω) diasumsikan dari penelitian yang sudah pernah dibuat, kecepatan sudut turbin (ω) adalah : 18.4 rad/s. [6]

$$P=T\omega$$

$$T=P/\omega$$

$$T = 5.53 \text{ W} : 18.4 \text{ rad/s}$$

$$T = 0.3 \text{ N.m}$$

Jadi torsi rotor turbin pada kecepatan 4 m/s adalah 0.3 N.m.

2. Percepatan Sudut Turbin

Percepatan sudut (α) pada kecepatan angin (v) =4 m/s dapat diketahui dengan menggunakan persamaan torsi, persamaan torsi yang digunakan adalah seperti dibawah ini :

$$T = \alpha I_{Tot}$$

I_{Tot} merupakan momen inersia rotor turbin. Menentukan inersia rotor rotor turbin diketahui dengan menjumlahkan semua massa momen inersia semua komponen rotor.[7] Perhitungan inersia momen puntir total bisa dilihat pada persamaan dibawah ini :

a. Momen inersia pada rangka melingkar bisa dihitung pada persamaan dibawah ini :

$$I_1 = \frac{1}{2} m (R_1^2 + R_2^2)$$

$$I_1 = \frac{1}{2} 0.54 \text{ kg} (0.0127^2 \text{ m} + 0.0117^2 \text{ m}) \times 2 \text{ pcs}$$

$$I_1 = 0,000162 \text{ kg.m}^2$$

b. Momen inersia pada rangka pipa tengah bisa dihitung pada persamaan dibawah ini :

$$I_2 = \frac{1}{2} m (R_1^2 + R_2^2)$$

$$I_2 = \frac{1}{2} 0.2 \text{ kg} (0.0127^2 \text{ m} + 0.0117^2 \text{ m})$$

$$I_2 = 0,00003 \text{ kg.m}^2$$

c. Momen inersia pada komponen rangka pipa "+" bisa dihitung pada persamaan dibawah ini :

$$I_3 = \frac{1}{2} m (R_1^2 + R_2^2)$$

$$I_3 = \frac{1}{2} 0.14 \text{ kg} (0.00635^2 \text{ m} + 0.00435^2 \text{ m}) \times 4 \text{ pcs}$$

$$I_3 = 0,000016 \text{ kg.m}^2$$

d. Momen inersia pada komponen pulley bisa dihitung pada persamaan dibawah ini :

$$I_4 = \frac{1}{2} (I_1^2 + R_2^2)$$

$$I_4 = \frac{1}{2} 2.34 \text{ kg} (0.075^2 \text{ m} + 0.01^2 \text{ m})$$

$$I_4 = 0.0067 \text{ kg.m}^2$$

e. Momen inersia pada komponen poros bisa dihitung pada persamaan dibawah ini :

$$I_4 = \frac{1}{2} (mR^2)$$

$$I_4 = \frac{1}{2} 1.16 \text{ kg} (0.0075^2 \text{ m})$$

$$I_4 = 0.000033 \text{ kg.m}^2$$

f. Momen inersia pada komponen sudu bisa dihitung pada persamaan dibawah ini :

$$I_4 = mR^2$$

$$I_4 = 0.7 \text{ kg} \times 0.4^2 \text{ m} \times 3 \text{ pcs} \quad I_4 =$$

$$0.336 \text{ kg.m}^2$$

g. Total semua momen inersia adalah :

$$I_{Tot} = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 + I_5 + I_6$$

$$I_{Tot} = 0.343 \text{ kg.m}^2$$

Percepatan sudut (α) dapat diketahui setelah mendapatkan momen inersia rotor turbin (I_{Tot}). Percepatan sudut (α) dihitung dengan menggunakan persamaan torsi seperti dibawah ini:

$$T = \alpha I_{Tot}$$

$$\alpha = T / I_{Tot}$$

$$\alpha = 0.3 \text{ N.m} / 0.343 \text{ kg.m}^2$$

$$\alpha = 0.874 \text{ rad/s}^2$$

Jadi percepatan sudut turbin pada kecepatan angin 4 m/s adalah 0.874 rad/s^2 , dari percepatan sudut juga bisa diketahui waktu turbin untuk menghasilkan torsi maksimal. Waktu (t) dapat diketahui dengan persamaan dibawah ini :

$$\alpha = \frac{w_1 - w_2}{t}$$

$$0.874 \text{ rad/s}^2 = (18.4 \text{ rad/s} - 0 \text{ rad/s}) / t$$

$$t = 18.4 \text{ rad/s} : 0.874 \text{ rad/s}^2$$

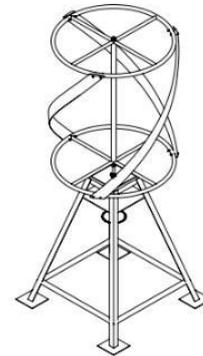
$$t = 21.05 \text{ s}$$

Jadi waktu yang dibutuhkan turbin untuk mencapai torsi maksimum adalah 21.05 s

• Model 3D

Pembuatan model 3D adalah langkah selanjutnya setelah menentukan dimensi dan kriteria perancangan. Pembuatan 3D

model berguna untuk menghasilkan gambar 2D yang nanti akan menjadi landasan untuk proses pembuatan turbin. 3D model juga berguna untuk mengestimasi berat dari masing-masing komponen.



Gambar 4. Rancangan Model 3D Turbin

V. KESIMPULAN

Hasil perancangan turbin poros vertikal tipe heliks yang dapat meningkatkan performa *self-starting* adalah :

1. Perancangan turbin angin memiliki dimensi $\varnothing 800\text{mm} \times 900\text{mm}$, jenis airfoil yang digunakan adalah NACA 0018 dengan panjang chord 100mm. Airfoil terbuat dari komposit *fiberglass* dan kayu balsa sebagai intinya.
2. Rancangan turbin angin ini disusun oleh 2 sub assy yaitu: sub assy rotor dan sub assy dudukan. Sub assy rotor terdiri dari 7 komponen utama dan beberapa komponen standar.
3. Material rotor turbin sebagian besar terbuat dari aluminium, dengan tujuan memperingan struktur rotor.
4. Perancangan koefisien daya turbin ditentukan sebesar 20%.
5. Daya yang dihasilkan turbin pada kecepatan angin rendah 4 m/s adalah sebesar 5.53 W pada selang aktu setelah turbin berputar selama 21.05 s dari keadaan diam.

REKOMENDASI

Penulis menyarankan bagi yang berencana merancang turbin angin sumbu vertikal, untuk memperhatikan design rangka turbin. Model dari rangka turbin dapat divariasikan dengan mempertimbangkan berat dan aerodinamis dari rangka tersebut. Disarankan juga untuk merancang *assembly* dari turbin secara sederhana mungkin agar mempermudah pengguna pada saat pemasangan turbin.

REFERENSI

- [1] A. L. Niblick, "Experimental and Analytical Study of Helical Cross-Flow Turbines for a Tidal Micropower Generation System," Test, p. 175, 2012, [Online]. Available: https://digital.lib.washington.edu/researchworks/bitstream/handle/1773/20210/Niblick_washington_02500_10132.pdf?sequence=1&isAllowed=y

- [2] M. Shiono, K. Suzuki, and S. Kiho, "Experimental study of the characteristics of a Darrieus turbine for tidal power generation," *Electr. Eng. Japan (English Transl. Denki Gakkai Ronbunshi)*, vol. 132, no. 3, pp. 38–47, 2000, doi: 10.1002/1520-6416(200008)132:3<38::AID-EEJ6>3.0.CO;2-E
- [3] T. Burton, N. Jenkins, D. Sharpe, and E. Bossanyi, *Wind energy handbook*. John Wiley & Sons, 2011.
- [4] G. L. Johnson, "Wind Turbine Power," *Wind Energy Syst.*, pp. 1–54, 2001.
- [5] J. Zhu, H. Huang, and H. Shen, "Self-starting aerodynamics analysis of vertical axis wind turbine," *Adv. Mech. Eng.*, vol. 7, no. 12, pp. 1–12, 2015, doi: 10.1177/1687814015620968.
- [6] U. Divakaran, A. Ramesh, A. Mohammad, and R. K. Velamati, "Effect of helix angle on the performance of helical vertical axis wind turbine," *Energies*, vol. 14, no. 2, 2021, doi: 10.3390/en14020393.
- [7] A. Arab, M. Javadi, M. Anbarsooz, and M. Moghiman, "A numerical study on the aerodynamic performance and the self-starting characteristics of a Darrieus wind turbine considering its moment of inertia," *Renew. Energy*, vol. 107, pp. 298–311, 2017.