

PEMODELAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL TIPE H-ROTOR SEBAGAI SUMBER ENERGI PENERANGAN JALAN DI KABUPATEN PANDEGLANG

Leonardo Sintong Partogi Hutasoit¹, Joko Setiyono²

Universitas Pamulang, Banten

e-mail: leonardohutasoit1@gmail.com¹, dosen00889@unpam.ac.id²

Abstract: *This research aims to model and analyze the performance of a vertical axis wind turbine (VAWT) of H-Rotor type as an alternative renewable energy source for street lighting in Pandeglang Regency. The study employed both mathematical analysis and Computational Fluid Dynamics (CFD) simulation using ANSYS CFX. Variations of design parameters included blade chord length, blade number, and pitch angle with NACA 0015 as the blade profile. The average wind speed of 4.25 m/s from Carita, Pandeglang, was used as input. The results showed that the optimal configuration (chord 6 m, 4 blades, pitch angle 15°) produced a theoretical torque of 352.8 Nm and power of 486 W, while CFD simulation yielded torque of 306.1 Nm and power of 422–454 W. The error margin of ±15% indicates the validity of the simulation model. With three turbines connected in parallel, an effective capacity of 1200 W can be achieved to support street lighting. This study concludes that the H-Rotor VAWT is feasible as a renewable energy solution for low wind speed regions.*

Keywords: *VAWT, H-Rotor, torque, CFD, renewable energy, Pandeglang.*

Abstrak: Penelitian ini bertujuan memodelkan dan menganalisis kinerja turbin angin sumbu vertikal (VAWT) tipe H-Rotor sebagai sumber energi terbarukan alternatif untuk penerangan jalan di Kabupaten Pandeglang. Metode penelitian menggunakan analisis matematis dan simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan perangkat lunak ANSYS CFX. Parameter desain yang divariasikan meliputi panjang chord, jumlah bilah, dan sudut pitch, dengan profil bilah NACA 0015. Data kecepatan angin rata-rata 4,25 m/s diambil dari Kecamatan Carita, Pandeglang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa konfigurasi optimal (chord 6 m, 4 bilah, sudut pitch 15°) menghasilkan torsi teoritis 352,8 Nm dengan daya 486 W, sedangkan hasil simulasi CFD menunjukkan torsi 306,1 Nm dengan daya 422–454 W. Selisih hasil ±15% menunjukkan validitas model simulasi. Dengan tiga unit turbin paralel, dapat dihasilkan kapasitas 1200 W untuk kebutuhan penerangan jalan. Penelitian ini menyimpulkan bahwa VAWT H-Rotor layak diterapkan sebagai solusi energi terbarukan pada daerah dengan kecepatan angin rendah.

Kata kunci: VAWT, H-Rotor, torsi, CFD, energi terbarukan, Pandeglang.

PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik di Indonesia terus meningkat seiring dengan pertumbuhan penduduk dan pembangunan infrastruktur. Ketergantungan terhadap energi fosil menimbulkan masalah lingkungan, seperti emisi karbon, serta ketidakstabilan pasokan energi. Salah satu solusi yang

dapat diterapkan adalah pemanfaatan energi terbarukan, termasuk energi angin (Maulana & Djatmiko, 2021).

Turbin angin sumbu vertikal (Vertical Axis Wind Turbine, VAWT) tipe H-Rotor menjadi pilihan menarik karena mampu menangkap angin dari segala arah tanpa sistem yaw, beroperasi pada kecepatan angin rendah hingga sedang, struktur mekanis sederhana dan

biaya perawatan rendah, Cocok diaplikasikan di daerah pedesaan dan pesisir(Hermanses et al., 2020).

Kabupaten Pandeglang, khususnya Kecamatan Carita, memiliki potensi kecepatan angin rata-rata 4,25 m/s. Kecepatan ini tergolong rendah, namun masih dapat dimanfaatkan dengan desain VAWT yang sesuai.

Beberapa studi terdahulu telah menunjukkan bahwa konfigurasi jumlah bilah, panjang chord, dan sudut pitch berpengaruh signifikan terhadap torsi dan daya turbin H-Rotor. Namun, penelitian mengenai penerapannya untuk kebutuhan penerangan jalan di daerah Pandeglang masih terbatas.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk memodelkan turbin angin VAWT tipe H-Rotor, menganalisis kinerjanya melalui pendekatan matematis dan simulasi CFD, serta mengevaluasi kelayakan penggunaannya sebagai sumber energi penerangan jalan.

METODE

Tempat Dan Waktu Penelitian

Tempat Penelitian

Tempat Pengambilan data di Kelurahan Sukarame, Kecamatan Carita, Kabupaten Pandeglang, Banten, Kode Pos 42264.

Waktu Penelitian

Tanggal 24 Mei 2025

Dalam studi ini, pendekatan yang digunakan bersifat digital dan melibatkan pencarian referensi untuk berbagai jenis turbin angin serta sudut yang akan dimodelkan. Selanjutnya, kecepatan rata-rata angin di wilayah Pandeglang ditentukan dengan langsung mengukur ke Ke Lokasi. Perhitungan dilakukan berdasarkan informasi ini untuk merancang turbin angin yang sesuai untuk Kecamatan Carita, Kabupaten Pandeglang. Pada tahap berikutnya, simulasi akan dilakukan menggunakan CFD Ansys berdasarkan desain yang

paling efisien untuk mengumpulkan data. Penelitian ini mencakup semua aktivitas yang akan dilakukan untuk menangani masalah atau mengkaji isu-isu terkini dalam kerangka metodologinya.

Proses Tahap Persiapan

Dalam studi ini, pendekatan yang digunakan bersifat digital dan melibatkan pencarian referensi untuk berbagai jenis turbin angin serta sudut yang akan dimodelkan. Selanjutnya, kecepatan rata-rata angin di wilayah Pandeglang ditentukan dengan langsung mengukur ke Ke Lokasi.

Identifikasi dan Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan diangkat berkaitan dengan pengembangan turbin angin yang dirancang untuk menjadi sumber energi bagi sistem penerangan Jalan di Kabupaten Pandeglang. Masalah dapat diidentifikasi dengan mengamati, menganalisis informasi yang tersedia saat ini, atau dengan berdasarkan data statistik terkini dan kemungkinan evolusi di masa depan.

Analisis Data Kecepatan Angin

Setelah Memperoleh data kecepatan Angin dari Lokasi, maka akan di tentukan nilai rata – rata kecepatan angin menggunakan menggunakan rumus Nilai rata -rata. Hasil dari perhitungan itu yang nantinya akan digunakan dalam desain Turbin Angin ini.

Perhitungan Awal Desain Turbin VAWT

Pada penelitian ini akan dilakukan studi lapangan di Kabupaten Pandeglang dan menetapkan dasar teori yang sesuai untuk merancang turbin angin sumbu vertikal tipe h-rotor. Informasi yang diperlukan meliputi :

Kecepatan rata-rata Angin di Kabupaten Pandeglang. Data angin ini digunakan untuk perhitungan pemodelan. Dalam studi ini, pengumpulan data langsung dari Lokasi.

Dalam studi ini, akan dilakukan berbagai variasi dalam perhitungan,

seperti panjang chord, jumlah blade, dan sudut pitch.

Rumus yang digunakan Pada Perhitungan Desain Turbin VAWT Yaitu:

Swept area

$$A_{\text{swept}} = \pi \times D \times H, \text{ atau } A_{\text{swept}} = 1,2 \times \pi H^2 \quad (1)$$

Daya angin

$$P_{\text{mw}} = 0,5 \times \rho_{\text{udara}} \times A_{\text{swept}} \times v^3 \quad (2)$$

Efisiensi Turbin dan Daya Elektris

$$P_{\text{mw}} = 0,5 \times \rho_{\text{udara}} \times A_{\text{swept}} \times v^3 \quad (3)$$

Perhitungan Panjang Chord Minimum

$$\sigma = (N_B \times C) / D \quad (4)$$

Kecepatan Rotasi Turbin

$$\omega_{\text{(rad_s)}} = (\lambda \times v / R) \quad (5)$$

Perhitungan Gaya Pada VAWT

Langkah berikutnya dalam analisis adalah menghitung gaya-gaya yang bekerja pada turbin dengan mempertimbangkan parameter desain tertentu, seperti :

Perhitungan Reynolds Number

$$Re = (W \times TSR \times \rho_{\text{udara}} \times C) / \nu_{\text{udara}} \quad (6)$$

Perhitungan Gaya Lift, Drag, dan Koefisien Tangensial

$$F_l = 0,5 \times C_l \times \rho \times A_{\text{blade}} \times v^2 \quad (7)$$

$$F_d = 0,5 \times C_d \times \rho \times A_{\text{blade}} \times v^2 \quad (8)$$

$$C_t = C_l \sin[\alpha] - C_d \cos[\alpha] \quad (9)$$

Perhitungan Perhitungan Torsi yang dihasilkan

Torsi yang dihasilkan (Q) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = 0,5 \times \rho \times C \times R \times H \times C_t \times v^2 \quad (10)$$

Torsi rata-rata (Q_{av}) yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{\text{av}} = (NB / (2\pi)) \times Q \quad (11)$$

Daya pada poros turbin (PT) dan daya elektris (Pelektris) untuk contoh ini:

$$P_T = Q_{\text{av}} \times \omega_{\text{(rad_s)}} \quad (12)$$

Simulasi Desain

Studi ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan numerik menggunakan perangkat lunak CFD Ansys. Metode penelitian numerik mencakup tiga langkah utama: pra-pemrosesan, pemrosesan, dan pasca-pemrosesan. Lab - Komputer Universitas Pamulang digunakan untuk melakukan studi ini atau di laptop. Model yang dikembangkan memiliki struktur 3 Dimensi dari sebuah turbin.

Penentuan dan Perancangan Desain Paling Optimal

Pada perhitungan yang akan dilakukan, desain turbin yang paling optimal akan diperoleh dengan memodifikasi jumlah blade, sudut pitch, dan panjang chord. Setelah itu akan di gambarkan desain nya menggunakan Solid work atau Autocad. Struktur ini akan digunakan sebagai Sumber energi penerangan jalan di Kabupaten Pandeglang.

Analisa Data dan Pembahasan

Analisis turbin angin dalam penelitian ini dilakukan dengan memanfaatkan parameter dan variasi yang telah ditetapkan sebelumnya, serta melalui pendekatan perhitungan matematis. Tujuan dari proses ini adalah untuk mengidentifikasi model turbin yang paling optimal dan layak diterapkan di wilayah Kabupaten Pandeglang.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Kecepatan Angin

Berdasarkan hasil pengamatan Pada Penelitian ini, telah di ukur data Kecepatan angin pada Tanggal 24 Mei 2025 di Kecamatan Carita, Sukarame,

Kabupaten Pandeglang, Banten. Dengan data sebagai berikut:

Tabel 1. Data Kecepatan Angin di Kabupaten Pandeglang

Waktu Pengukuran	Kecepatan Angin
08.42 WIB	1,8 m/s
09.24 WIB	3,0 m/s
10.09 WIB	3,3 m/s
11.58 WIB	4,8 m/s
12.03 WIB	5,8 m/s
13.06 WIB	6,8 m/s

Dari data diatas kita dapat menghitung nilai rata – rata Kecepatan Angin dengan menggunakan rumus:

$$V_{rata-rata} = \frac{\text{Jumlah Semua Nilai Data Kecepatan Angin}}{\text{Banyaknya Data}} \quad (1)$$

Maka :

$$v_{rata-rata} = \frac{1,8+3,0+3,3+4,8+5,8+6,8}{6} = 4,25 \text{ m/s} \quad (2)$$

Kecepatan rata – rata angin pada Lokasi tersebut adalah: 4,25 m/s

Perhitungan Awal Desain Turbin VAWT

$$A_{swept} = \pi \times D \times H, \text{ atau } A_{swept} = 1,2 \times \pi \times H^2$$

Daya angin (Pmw) dapat dihitung menggunakan rumus:

$$P_{mw} = 0,5 \times \rho_{udara} \times A_{swept} \times v^3$$

dimana ρ_{udara} adalah massa jenis udara ($1,225 \text{ kg/m}^3$).

Dengan Pmw = 800 W dan $v = 2 \text{ m/s}$ (kecepatan angin minimum untuk ekstraksi daya awal), kita dapat menghitung tinggi turbin (H):

$$800 = 0,5 \times 1,225 \times 1,2 \times \pi \times H^2 \times 2^3$$

$$800 = 18,4632 \times H^2$$

$$H = \sqrt{800/18,4632}$$

$$H = 6,58251 \text{ m}$$

Sehingga, tinggi turbin yang digunakan adalah $H \approx 6,5 \text{ m}$.

Diameter turbin (D) dapat dihitung:

$$D = 1,2 \times H$$

$$D = 1,2 \times 6,58251 \text{ m} = 7,899 \text{ m}$$

Maka, dimensi awal yang ditentukan adalah tinggi bilah $H = 6,5 \text{ m}$ dan diameter VAWT $D = 7,899 \text{ m}$, dengan rasio $D/H = 7,9/6,5 = 1,23$.

Selanjutnya, swept area (A_{swept}) dapat dihitung:

$$A_{swept} = \pi \times D \times H$$

$$A_{swept} = (22/7) \times 7,899 \text{ m} \times 6,5 \text{ m}$$

$$A_{swept} = 161,16 \text{ m}^2$$

Dengan kecepatan angin rata-rata yang baru, $v = 4,25 \text{ m/s}$, daya yang diekstraksi sebenarnya (P_w) adalah:

$$P_w = 0,5 \times \rho_{udara} \times A_{swept} \times v^3$$

$$P_w = 0,5 \times 1,225 \times 161,16 \times (4,25)^3$$

$$P_w = 0,5 \times 1,225 \times 161,16 \times 76,765625$$

$$P_w = 7578,11 \text{ W}$$

Efisiensi Turbin dan Daya Elektris

Tips speed ratio (λ) untuk H-rotor diasumsikan 1,6. Efisiensi wind turbine (η_{wt}) dapat dihitung dengan rumus:

$$\eta_{wt} = 0,055\lambda + 0,399$$

$$\eta_{wt} = 0,055 \times 1,6 + 0,399$$

$$\eta_{wt} = 0,088 + 0,399 = 0,487$$

$$\eta_{wt} = 48,7\%$$

Daya pada poros turbin (PT) dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$P_T = P_w \times \eta_{wt}$$

$$P_T = 7578,11 \text{ W} \times 0,487$$

$$P_T = 3690,69 \text{ W}$$

Efisiensi generator ($\eta_{generator}$) adalah

0.8. Maka daya elektris yang dihasilkan generator (Pelektris) adalah:

$$P_{elektris} = P_T \times \eta_{generator}$$

$$P_{elektris} = 3690,69 \text{ W} \times 0,8$$

$$P_{elektris} = 2952,55 \text{ W}$$

Perhitungan Panjang Chord Minimum

Besarnya nilai solidity minimum untuk VAWT adalah 0,4. Panjang chord minimum (C) untuk jumlah bilah $N_B = 3$ dapat diketahui dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = (N_B \times C)/D$$

$$0,4 = (3 \times C)/7,899 \text{ m}$$

$$C = (0,4 \times 7,899)/3$$

$$C = 1,0532 \text{ m}$$

Kecepatan Rotasi Turbin

Kecepatan rotasi turbin (ω) dapat diketahui dengan rumus:

$$\omega_{rad/s} = (\lambda \times v/R)$$

dimana R adalah jari-jari turbin ($D/2 = 7,899/2 = 3,9495 \text{ m}$).

$$\omega_{rad/s} = (1,6 \times 4,25/3,9495)$$

$$\omega_{rad/s} = 1,722 \text{ rad/s}$$

$$\omega = (\omega_{rad/s}) \times (60/\pi)$$

$$\omega = (1,722) \times (60/3,14)$$

$$\omega = (1,722) \times (19,098)$$

$$\omega = 32,88 \text{ rpm}$$

Perhitungan Gaya Pada VAWT

Setelah mendapatkan data pada perhitungan awal, selanjutnya adalah menghitung Reynolds Number pada bilah.

Perhitungan Reynolds Number

Reynolds Number (Re) didapat dengan menggunakan rumus:

$$Re = (W \times TSR \times \rho_{udara} \times C)/\nu_{udara}$$

dimana W adalah kecepatan angin (4,25 m/s), TSR adalah tips speed ratio (1,6), ρ_{udara} adalah massa jenis udara ($1,225 \text{ kg/m}^3$), C adalah panjang chord (1,5 m untuk analisis gaya), dan ν_{udara} adalah viskositas kinematik udara ($1,81 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$).

$$Re = (4,25 \times 1,6 \times 1,225 \times 1,5)/(1,81 \times 10^{-5})$$

$$Re = (12,495)/(1,81 \times 10^{-5})$$

$$Re = 689806,63$$

Perhitungan Gaya Lift, Drag, dan Koefisien Tangensial

Untuk perhitungan selanjutnya, koefisien lift (Cl) dan koefisien drag (Cd) akan menggunakan data dari Tabel 4.3 yang bervariasi sesuai sudut pitch.

Tabel 2. Cl dan Cd NACA 0015 ($Re \approx 6,9 \times 10^5$)

Sudut Pitch (°)	Cl	Cd
1	0.12	0.0082
2	0.25	0.0089
3	0.38	0.0095
4	0.51	0.0102

5	0.64	0.0110
6	0.76	0.0122
7	0.88	0.0135
8	1.00	0.0150
9	1.10	0.0175
10	1.20	0.0205
11	1.28	0.0250
12	1.35	0.0300
13	1.39	0.0365
14	1.41	0.0440
15	1.45	0.0520
16	1.42	0.065
17	1.35	0.080
18	1.25	0.100
19	1.10	0.130
20	0.90	0.160
21	0.70	0.200
22	0.50	0.250
23	0.30	0.300
24	0.15	0.350
25	0.05	0.400

Sebagai contoh, untuk sudut pitch (α) 5°, dari Tabel 4.3 didapat Cl = 0,64 dan Cd = 0,0110.

Gaya lift (Fl), gaya drag (Fd), dan koefisien tangensial (Ct) dapat dihitung dengan persamaan:

$$Fl = 0,5 \times Cl \times \rho \times A_{blade} \times v^2$$

dimana Ablade adalah luas bilah dan Panjang Blade 1,5 meter

$$A_{blade} = C \times H = 1,5 \text{ m} \times 6,5 \text{ m} = 9,75 \text{ m}^2$$

$$Fl = 0,5 \times 0,64 \times 1,225 \times 9,75 \times (4,25)^2$$

$$Fl = 0,5 \times 0,64 \times 1,225 \times 9,75 \times 18,0625$$

$$Fl = 69,03 \text{ N}$$

$$Fd = 0,5 \times Cd \times \rho \times A_{blade} \times v^2$$

$$Fd = 0,5 \times 0,0110 \times 1,225 \times 9,75 \times (4,25)^2$$

$$Fd = 0,5 \times 0,0110 \times 1,225 \times 9,75 \times 18,0625$$

$$Fd = 1,1865 \text{ N}$$



Grafik 1. Perubahan Torsi Terhadap Sudut Pitch

Koefisien tangensial (Ct) dihitung dengan:

$$C_t = C_l \sin \alpha - C_d \cos \alpha$$

$$C_t = 0,64 \times \sin 5^\circ - 0,0110 \times \cos 5^\circ$$

$$C_t = 0,64 \times 0,0871557 - 0,0110 \times 0,9961947$$

$$C_t = 0,055780 - 0,010958$$

$$C_t = 0,04482$$

Perhitungan Torsi yang dihasilkan Torsi yang dihasilkan (Q) dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q = 0,5 \times \rho \times C \times R \times H \times C_t \times v^2$$

Dimana R adalah jari-jari turbin ($D/2 = 3,9495$ m) dan H adalah tinggi turbin (6,5 m).

Menggunakan $C = 1,5$ m sebagai contoh variasi chord dan $C_t = 0,04482$:

$$Q = 0,5 \times 1,225 \times 1,5 \times 3,9495 \times 6,5 \times 0,04482 \times (1,25)^2$$

$$Q = 19,095 \text{ Nm}$$

Untuk jumlah bilah NB = 3, torsi rata-rata (Q_{av}) yang dihasilkan dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$Q_{av} = (NB/(2\pi)) \times Q$$

$$Q_{av} = (3/(2 \times 3,14)) \times 19,095 \text{ Nm}$$

$$Q_{av} = 0,4774648 \times 19,095 \text{ Nm}$$

$$Q_{av} = 9,12177 \text{ Nm}$$

Daya pada poros turbin (PT) dan daya listrik (Pelektris) untuk contoh ini:

$$P_T = Q_{av} \times \omega_{rad/s} = 9,12177 \text{ Nm} \times 1,722 \text{ rad/s} = 15,708 \text{ W}$$

$$P_{elektris} = P_T \times \eta_{gen} = 15,708 \text{ W} \times 0,8 = 12,566 \text{ W}$$



Grafik 2. Perubahan Torsi Terhadap Panjang Chord

Dapat diamati bahwa nilai Torsi mulai menurun pada sudut pitch 17° dikarenakan efek stall (penurunan C_l dan peningkatan C_d yang signifikan), torsi

dan daya yang dihasilkan mulai menurun drastis bahkan menjadi negatif pada sudut yang lebih besar (22° ke atas).

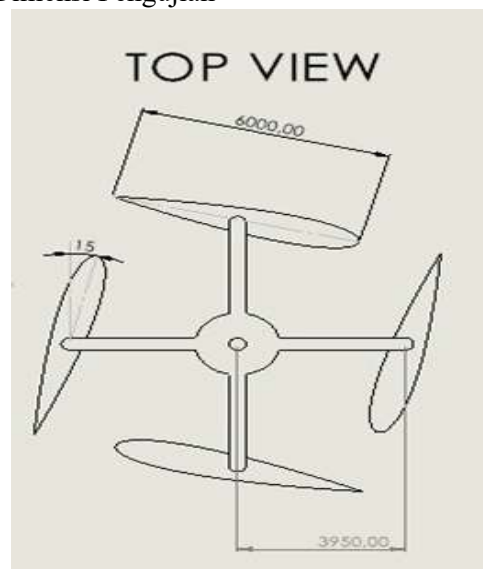
Berdasarkan grafik di atas, dapat diketahui bahwa pada masing-masing konfigurasi turbin angin, terjadi peningkatan torsi seiring dengan bertambahnya panjang chord. Hal ini menunjukkan bahwa luas permukaan bilah yang lebih besar mampu menangkap lebih banyak energi kinetik dari angin, sehingga menghasilkan gaya angkat yang lebih besar dan berkontribusi langsung terhadap peningkatan torsi.

Namun, terdapat batasan teknis pada panjang chord yang dapat diterapkan. Untuk turbin dengan 4 bilah, panjang chord maksimum yang digunakan adalah 6 meter, sedangkan untuk turbin dengan 3 bilah, panjang chord dapat ditingkatkan hingga 8 meter. Dari hasil simulasi, torsi maksimum diperoleh pada:

1. Turbin dengan 3 bilah dan panjang chord 8 meter, menghasilkan torsi sebesar 738,572 Nm dan Nilai Torsi rata-ratanya yaitu 352,821 Nm.
2. Turbin dengan 4 bilah dan panjang chord 6 meter, menghasilkan torsi dengan nilai 553,929 Nm dan Nilai Torsi rata-ratanya yaitu 352,821 Nm.

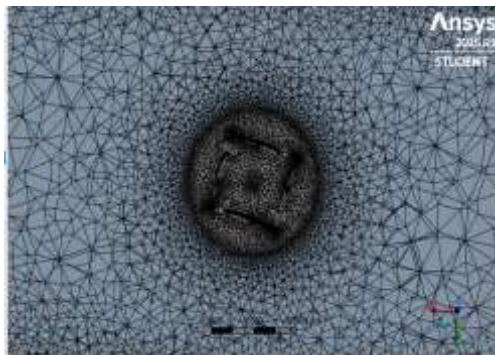
Dari torsi maksimum tersebut, daya listrik (elektris) yang dihasilkan oleh generator mencapai 486,046 Watt. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi antara panjang chord dan jumlah bilah sangat mempengaruhi performa turbin dalam menghasilkan energi.

Simulasi Desain Dimensi Pengujian



Gambar menunjukkan bahwa turbin angin memiliki tinggi total 22,32 m dengan bilah setinggi 6,5 m sebagai penangkap energi angin. Bilah dipasang vertikal dan dihubungkan ke poros utama melalui strut. Putaran bilah diteruskan ke shaft yang ditopang bearing untuk mengurangi gesekan. Energi mekanik dari poros ditransmisikan melalui coupling menuju torque sensor dan akhirnya ke generator untuk diubah menjadi energi listrik.

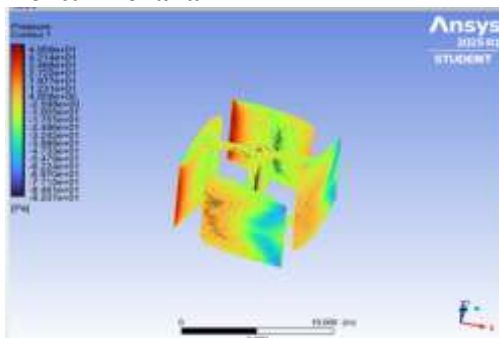
Meshing



Gambar 2. Meshing

Meshing menghasilkan lebih dari 3 juta elemen dengan skewness hingga 0,9 (masih dapat diterima). Semakin rendah skewness, kualitas mesh semakin baik. Mesh smoothing tinggi digunakan untuk memperhalus bentuk dan konektivitas elemen, dengan refinement di sekitar bilah agar detail aliran dapat ditangkap lebih akurat.

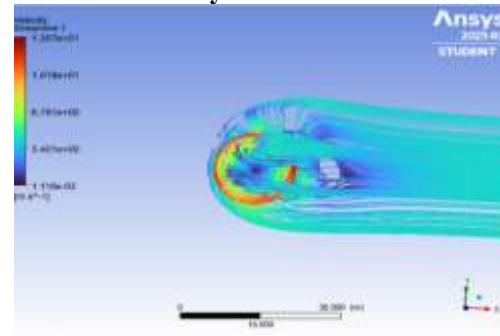
Kontur Tekanan



Gambar 2. Contour Tekanan Pada Turbin

Kontur tekanan menunjukkan perbedaan signifikan pada bilah akrobat aliran angin, menghasilkan torsi yang memutar rotor. Sudut pitch 15° terbukti efektif menghasilkan gaya angkat dan dorong, serta simulasi berhasil menangkap fenomena aerodinamika utama turbin H-Rotor.

Kontour Velocity



Gambar 3. Contour Velocity

Kontur kecepatan menunjukkan interaksi kuat aliran dengan bilah, membentuk wake dan vortex serta zona percepatan dan perlambatan. Streamline menegaskan pengaruh sudut pitch dan jumlah bilah terhadap efisiensi aliran.

Hasil Nilai Torsi



Gambar 4. Hasil Nilai Torsi Pada Sumbu Putar Turbin

Setelah dari tahap Proses perancangan Desain dan Simulasi desain didapatkan Nilai Torsi dari Poros Turbin yaitu sebesar 306,124 Nm.

Penentuan dan Perancangan Desain Paling Optimal

Hasil perhitungan menunjukkan torsi matematis 352,8 Nm dan simulasi CFD 306,1 Nm, dengan rata-rata 329,5 Nm. Daya turbin yang dihasilkan

mencapai 567,4 W, dan setelah efisiensi generator (80%) menjadi 454 W.

Penambahan jumlah bilah meningkatkan torsi dan daya; turbin dengan 4 bilah lebih unggul dibanding 3 bilah pada chord yang sama. Desain optimal untuk lokasi Carita, Pandeglang adalah chord 6 m, 4 bilah, sudut pitch 15°, menghasilkan daya listrik 454 W.

Generator yang sesuai adalah PMSG dengan kapasitas 500–600 W, karena efisien, minim perawatan, dan mampu bekerja pada kecepatan putar bervariasi.

Analisa Data dan Pembahasan

Analisa Data

Tabel 3. Perbandingan Hasil Data Matematis dan Simulasi CFD

Parameter	Hasil Matematis	Hasil Simulasi CFD	Selisih
Torsi (Nm)	352,82 1	306,1 24	15%

Pembahasan

Dari data yang disimulasikan dengan kecepatan angin 4,25 m/s, rata-rata daya listrik yang dapat dihasilkan oleh satu turbin angin dengan desain optimal 4 bilah, Panjang chord 6 m, Sudut Pitch 15° adalah 454 Watt.

Untuk mendukung penerangan jalan sepanjang 1 kilometer, diasumsikan Jarak antar lampu 100 meter dan Energi, Yaitu:

Jumlah lampu per kilometer:
 $\frac{1000}{100} = 10$ buah

Daya setiap lampu: 100 Watt

Total daya dibutuhkan:
 $10 \times 100 = 1000$ Watt

Daya maksimum satu turbin berdasarkan perhitungan sebelumnya adalah 481,07 Watt, maka jumlah turbin yang dibutuhkan adalah:

$$N_{Turbin} = \frac{1200}{454} = 2,64 \approx 3 \text{ Turbin} \quad (3)$$

Sehingga, untuk menyediakan listrik sebesar 1200 Watt guna menyalakan 10 lampu penerangan jalan berdaya 100 Watt sepanjang 1 kilometer, dibutuhkan sekitar 3 unit turbin angin H-rotor dengan parameter optimal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan matematis dan simulasi CFD terhadap turbin angin sumbu vertikal (VAWT) tipe H-Rotor, diperoleh beberapa temuan penting:

1. Sudut pitch 15° memberikan kinerja paling optimal, menghasilkan gaya angkat maksimum 625,6 N, yang berdampak langsung terhadap peningkatan torsi dan efisiensi turbin.
2. Konfigurasi 4 bilah dipilih karena meskipun nilai torsi matematis lebih rendah dibanding 3 bilah, namun memberikan kestabilan rotasi dan kontinuitas daya yang lebih baik. Nilai torsi matematis mencapai 352,8 Nm dengan daya 486 W, sementara hasil simulasi CFD menunjukkan torsi 306,1 Nm dengan daya 454 W.
3. Perbedaan hasil antara perhitungan matematis dan simulasi CFD sekitar 15%, masih dalam batas toleransi, dengan rata-rata torsi 329,5 Nm menghasilkan daya listrik 454 W.
4. Untuk memenuhi kebutuhan energi penerangan jalan sebesar 1200 W, dibutuhkan setidaknya tiga unit turbin dengan konfigurasi optimal (chord 6 m, pitch 15°, 4 bilah).

Secara keseluruhan, desain turbin angin H-Rotor dengan chord 6 m, sudut pitch 15°, dan 4 bilah terbukti layak dan efisien sebagai sumber energi terbarukan berskala kecil, khususnya untuk mendukung sistem penerangan jalan di

wilayah dengan kecepatan angin rendah seperti Kabupaten Pandeglang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aries Permana Tarigan, R., Ariawan, R., Jauza Maulana, A., & Al Khorni, W. (2022). Pengaruh Sudut Sudu Turbin Jenis Taper Terhadap Tip Speed Ratio (TSR) dan Power Coefficient (CP) pada Turbin Angin Horisontal Berbasis Q-Blade. *Accurate: Journal of Mechanical Engineering and Science*, 3(1), 7–12. <https://doi.org/10.35970/accurate.v3i1.1509>
- Didane, D. H., Bajuri, M. N. A., Boukhari, M. I., & Manshoor, B. (2022). Performance Investigation of Vertical Axis Wind Turbine with Savonius Rotor using Computational Fluid Dynamics (CFD). *CFD Letters*, 14(8), 116–124. <https://doi.org/10.37934/cfdl.14.8.116124>
- Eftekhari, H., Mahdi Al-Obaidi, A. S., & Eftekhari, S. (2022). Aerodynamic Performance of Vertical and Horizontal Axis Wind Turbines: A Comparison Review. *Indonesian Journal of Science and Technology*, 7(1), 65–88. <https://doi.org/10.17509/ijost.v7i1.43161>
- Hermanses, J. F., Rumbayan, M., & Sugiarto, B. A. (2020). Animasi Interaktif Pembelajaran Energi Listrik Turbin Angin. 9(3), 171–180.
- Maulana, E., & Djatmiko, E. (2021). Perancangan Pembangkit Listrik Tenaga Angin dengan Turbin Angin Savonius Tipe-U untuk Kapasitas 100 W The Design of Wind Power Plant with a U-Type Savonius Turbine. 3, 183–190.
- Muhamad, E., Mulyono, S., Handaya, D., & Assagaf, I. (2022). Analisis Struktur Rangka Mounted Floor Frame Menggunakan Ansys Workbench. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Mesin Politeknik Negeri Jakarta*, 1194–1201. <http://prosiding.pnj.ac.id>
- Siregar, I. H., Effendy, M., & Rasyid, A. H. A. (2023). Pengaruh Jumlah Bilah Pengarah Angin Jenis Omnidirectional Terhadap Kinerja Model Turbin Angin Savonius. *Otopro*, 18(2), 65–70. <https://doi.org/10.26740/otopro.v18n2.p65-70>
- Studi, P. D., Permesinan Kapal - Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, T., Aurel Fadiilah, R., Santoso, M., Abu Jami, M., Endri Kusuma, G., Sukoco, D., Teknik Permesinan Kapal, J., Perkapalan Negeri Surabaya, P., & Teknik Kelistrikan Kapal, J. (2021). *Proceeding 6 th Conference on Mechanical Engineering and its Application Optimasi Konversi Daya Turbin Angin Melalui Pengaturan Tsr (Tip Speed Ratio) dan Jenis Turbin*. 2655, 1–6.
- This is a repository copy of Aerodynamic investigation of the start-up process of H-type vertical axis wind turbines using CFD . White Rose Research Online URL for this paper : Version : Accepted Version Article : Celik , Y ., Ma , L ., Ingham , D . et al. (2020).*