

AERODYNAMIC PERFORMANCE ANALYSIS OF S809 AIRFOIL APPLICATION ON HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE BLADES

Oleh

Alpan Hadi

Program Studi Teknik Sistem Energi, Fakultas Teknik, Institut Teknologi Lombok
Dusun Lilir Desa Lenek Daya, Lenek, Lombok Timur, NTB, Indonesia

E-mail: [1alpanhadi@lit.ac.id](mailto:alpanhadi@lit.ac.id)

Article History:

Received: 27-06-2025

Revised: 23-07-2025

Accepted: 30-07-2025

Keywords :

Aerodynamic, BEMT, S809
airfoil, Power

Abstract: This study analyzes the aerodynamic effects of using the S809 airfoil on the blades of a horizontal-axis wind turbine (HAWT) type AWT-27. The S809 airfoil is designed for low-speed applications, making it aerodynamically suitable for optimizing wind turbine performance in regions with moderate to low wind speeds. Simulations were conducted using Blade Element Momentum Theory (BEMT) based software to evaluate power and power coefficient at various wind speeds. The results indicate that AWT-27 blades with the S809 airfoil deliver better aerodynamic performance at low wind speeds, ranging from 5 m/s to 8 m/s. However, the aerodynamic performance decreases at higher wind speeds, between 9 m/s and 25 m/s. Therefore, AWT-27 blades with the S809 airfoil profile can be an effective alternative for enhancing the performance of horizontal-axis wind turbines, particularly in regions with low wind speeds.

PENDAHULUAN

Indonesia, sebagai negara kepulauan dengan garis pantai yang panjang, memiliki potensi energi angin yang cukup besar. Berdasarkan data Geoportal ESDM, kecepatan angin di beberapa wilayah Indonesia diperkirakan mencapai 4 m/s hingga 6 m/s [1]. Selain itu, laporan dari Danish Energy Agency, Ea Energy Analyses, dan Dinas ESDM Provinsi NTB tahun 2023 menunjukkan bahwa Pulau Lombok memiliki potensi pembangkit listrik tenaga angin (PLT angin) *onshore* sebesar 938 MW [2]. Dari data-data tersebut, terlihat bahwa potensi pemanfaatan energi angin di Pulau Lombok cukup besar.

Seiring dengan meningkatnya perhatian terhadap transisi energi, pengembangan teknologi turbin angin terus mengalami kemajuan untuk meningkatkan efisiensi dan kinerja [3]. Turbin angin sumbu horizontal menjadi salah satu jenis turbin angin yang paling banyak digunakan karena kemampuannya menghasilkan daya optimal pada kecepatan angin tertentu [4]. Salah satu komponen utama yang memengaruhi kinerja turbin angin adalah desain bilah. Bilah turbin dirancang untuk memaksimalkan konversi energi kinetik angin menjadi energi mekanik melalui prinsip aerodinamika. Oleh karena itu, pemilihan dan analisis profil *airfoil* yang digunakan pada bilah turbin menjadi aspek penting dalam meningkatkan efisiensi turbin

angin [5][6].

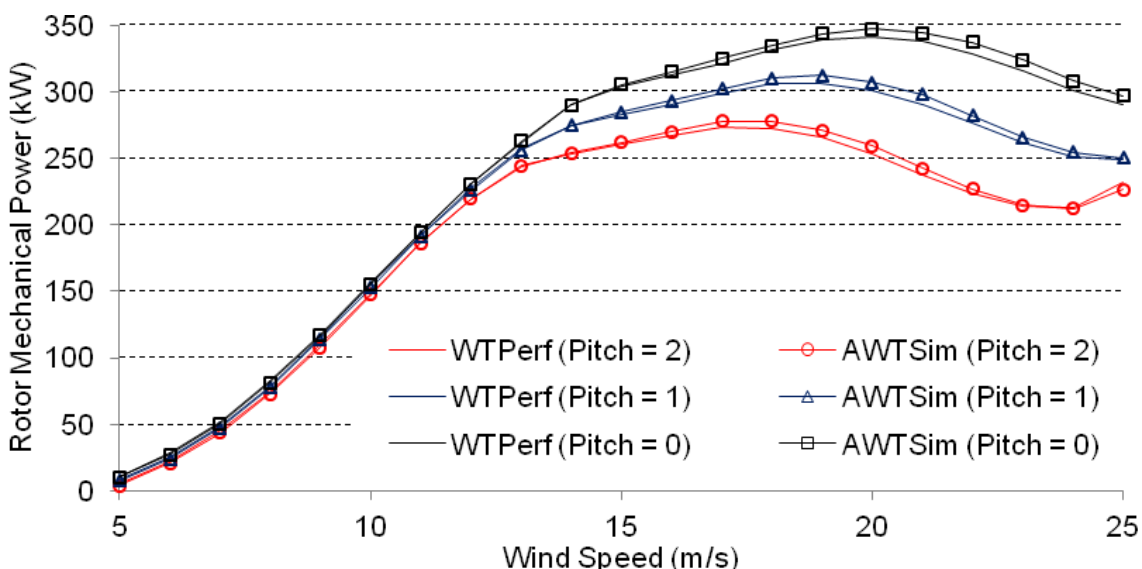
Salah satu tantangan utama adalah rendahnya kecepatan angin di banyak wilayah terpencil, khususnya di daerah pesisir dan pedesaan di Indonesia. Kecepatan angin di kawasan-kawasan tersebut umumnya berkisar antara 3 hingga 5 meter per detik. Hal ini memerlukan teknologi yang dapat memanfaatkan energi dari angin dengan kecepatan rendah serta desain yang lebih sesuai dan adaptif terhadap kondisi lingkungan setempat [7].

Airfoil S809, yang dikembangkan oleh *National Renewable Energy Laboratory (NREL)*, dirancang khusus untuk aplikasi turbin angin. Profil ini dirancang untuk menghasilkan daya angkat (*lift*) yang tinggi dengan hambatan (*drag*) yang rendah, sehingga cocok dioperasikan pada berbagai kecepatan angin. Namun, performa S809 pada bilah turbin angin memerlukan analisis terperinci untuk menentukan efektivitasnya dalam berbagai kondisi pengoperasian [8].

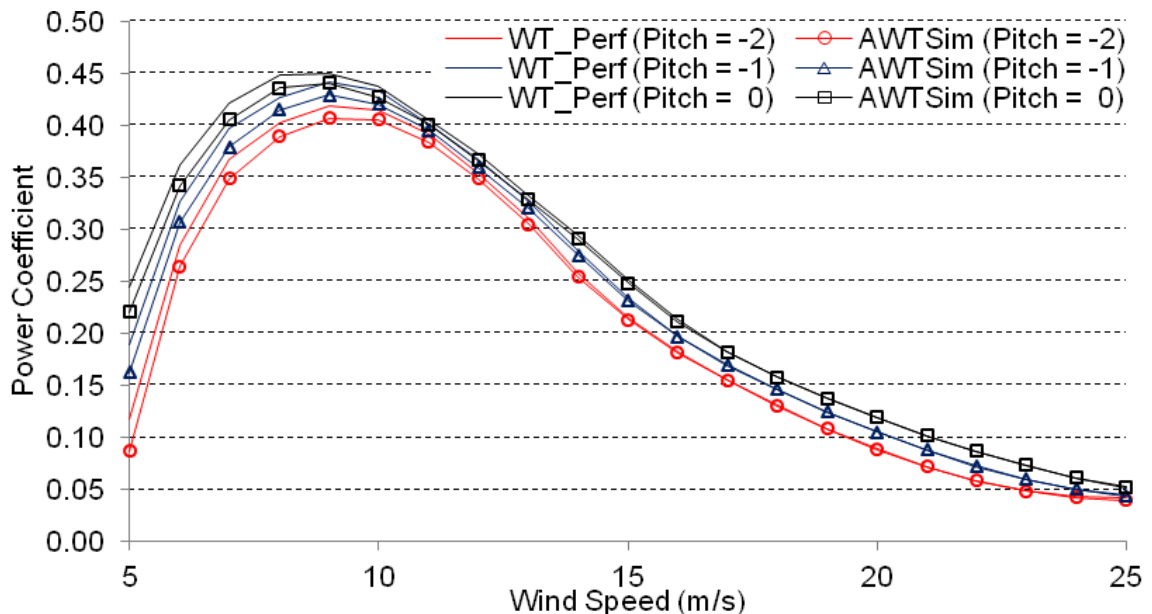
Penggunaan perangkat lunak QBlade untuk menguji performa bilah turbin angin sumbu horizontal dengan berbagai jenis *airfoil* telah banyak dilakukan. Hasil simulasi menggunakan QBlade terbukti cukup efektif dalam mendesain bilah turbin angin. Simulasi ini menunjukkan bahwa jenis *airfoil* memiliki peran penting dalam menentukan performa turbin angin pada berbagai kecepatan angin [9,10].

Salah satu jenis turbin angin yang biasa digunakan untuk penelitian adalah *Aerodynamic Wind Turbine 27 (AWT-27)*. Salah satu program yang sudah dikembangkan untuk meneliti jenis turbin ini adalah AWTsim, yaitu sebuah program analisis untuk menilai performa aerodinamis dari desain bilah turbin angin menggunakan Teori *Blade Element Momentum (BEM)* [11]. Teori *Blade Element Momentum* digunakan untuk memodelkan karakteristik aerodinamis antara turbin dan aliran fluida maupun sebagai alat bantu dalam desain bilah turbin angin [12].

AWTsim telah divalidasi dengan *analysis tools* dari *National Renewable Energy Laboratory (NREL)* yaitu WT_Perf. Adapun hasil validasi ditunjukkan pada gambar 1 dan gambar 2.



Gambar 1. Validasi AWTsim versus WT_Perf untuk perhitungan daya [11]



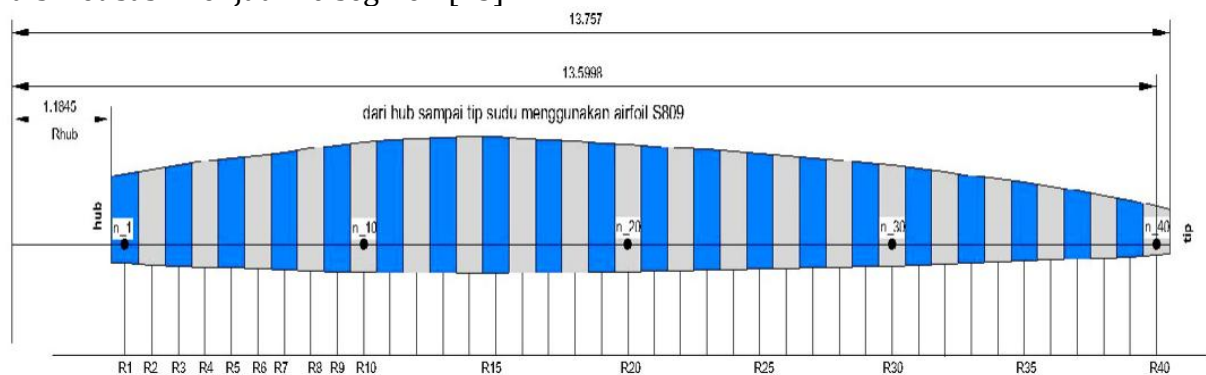
Gambar 2. Validasi AWTsim versus WT_Perf untuk perhitungan koefisien daya [11]

Validasi AWTsim menunjukkan bahwa perangkat lunak tersebut memiliki akurasi tinggi dalam menganalisis kinerja aerodinamis suduturbin angin. Oleh karena itu, AWTsim layak digunakan untuk optimasi desain bilah turbin angin [11].

Penelitian ini bertujuan *untuk* menganalisis performa profil *airfoil* S809 ketika digunakan pada bilah rotor turbin angin sumbu horizontal. Kajian ini mencakup evaluasi daya dan koefisien daya pada berbagai kecepatan angin berdasarkan Teori *Blade Element Momentum* dengan menggunakan *software* analisis AWTsim. Hasil analisis ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan desain bilah turbin angin yang lebih efisien dan mendukung pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi bersih dan ramah lingkungan khususnya di Pulau Lombok Provinsi Nusa Tenggara Barat.

LANDASAN TEORI

Studi literatur digunakan untuk memahami karakteristik bilah AWT-27 dan *airfoil* S809. Topologi bilah AWT-27 meliputi distribusi jari-jari (r), *chord* (c), dan *pretwist* (β_0) yang didiskretisasi menjadi 40 segmen [13]



Gambar 3. Topologi sudu AWT -27 dalam 40 segmen

Airfoil S809 memiliki ketebalan maksimum ($t_{\max}$) 21% dari panjang *chord* airfoil, serta koefisien lift (C_L), drag (C_D) yang disajikan pada tabel 1. Data ini digunakan untuk menghitung parameter aerodinamis seperti gaya thrust (T), torsi (M), dan daya (P) [13–15].

Tabel 1. Koefisien Lift (C_L) dan Koefisien Drag (C_D) pada berbagai sudut serang [13]

α	C_L	C_D	α	C_L	C_D
-18	-0.67	0.40	12	0.95	0.04
-16	-0.79	0.38	14	1.00	0.08
-14	-0.82	0.08	16	1.01	0.12
-12	-0.69	0.04	18	0.86	0.15
-10	-0.63	0.02	20	0.66	0.19
-8	-0.56	0.01	22	0.70	0.22
-6	-0.6	0.01	24	0.79	0.26
-4	-0.41	0.01	26	0.87	0.31
-2	-0.19	0.01	28	0.96	0.37
0	0.04	0.01	30	10.46	0.41
2	0.30	0.01	32	1.12	0.46
4	0.53	0.01	34	11.77	0.51
6	0.77	0.01	36	1.19	0.56
8	0.89	0.01	38	1.23	0.62
10	0.93	0.0.	40	1.25	0.67

Dalam penelitian ini, parameter yang digunakan mengacu pada spesifikasi AWT-27, antara lain: jari-jari rotor (r) sebesar 13,757 m, sudut inflow (ϕ) sebesar 7° , dan jumlah bilah (B) adalah 2. *Pitch* bilah diatur pada $-1,2^\circ$ dan kecepatan putaran rotor (Ω) pada kondisi stall adalah 53,333 rpm. Kecepatan angin yang digunakan dalam simulasi dimulai pada 5 m/s (V_{start}) dan berakhir pada 25 m/s (V_{end}), dengan setiap langkah simulasi kecepatan angin meningkat sebesar 1 m/s (V_{step}). Kerapatan udara (ρ_{udara}) yang diterapkan adalah $1,225 \text{ kg/m}^3$, dan simulasi menggunakan 40 segmen (n_{segment}) [14]. Adapun alur penelitian secara umum diperlihatkan pada gambar 4.

Rumus-rumus utama Teori *Blade Element Momentum* yang digunakan meliputi [14] [16] [17]:

Thrust (T):

$$T = \frac{1}{2} \rho V^2 c (C_L \sin \phi + C_D \cos \phi) \quad (1)$$

Torsi (M):

$$M = \frac{1}{2} \rho V^2 c r (C_L \cos \phi - C_D \sin \phi) \quad (2)$$

Daya (P):

$$P = \Omega M \quad (3)$$

Koefisien Daya (C_p):

$$C_p = P / 0.5 \rho A V^3 \quad (4)$$

Sudut Inflow (ϕ_i):

$$\phi_i = \tan^{-1} \left(\frac{V_{ij} \cos \delta \cdot \cos \gamma (1 - \alpha)}{r_i \Omega (1 + \alpha') - V_{ij} \sin \gamma \sin \psi_j \cos \delta} \right) \quad (5)$$

Local speed ratio (λ_{ri}):

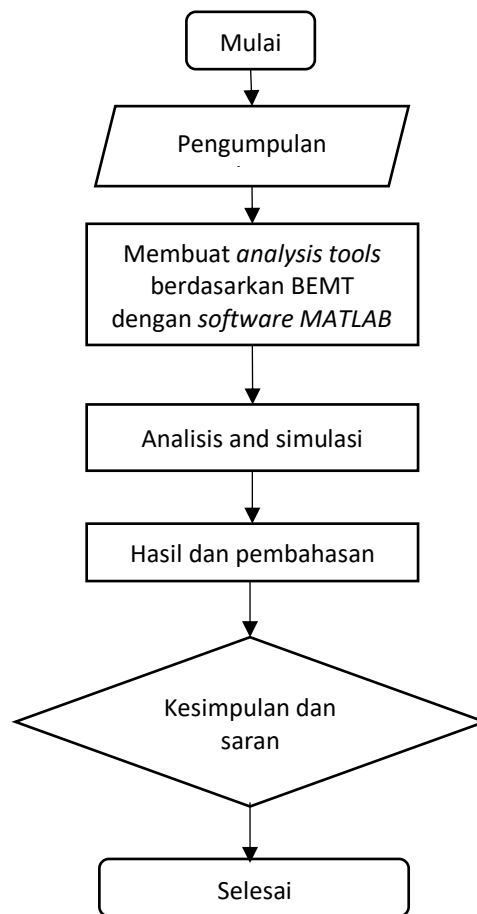
$$\lambda_{ri} = r_i \Omega / V_{ij} \quad (6)$$

Local solidity ratio (σ_{ri}):

$$\sigma_{ri} = Bc_i / 2\pi r_i \quad (7)$$

METODE PENELITIAN

Penelitian ini berbentuk analisis dan simulasi untuk mengevaluasi kemampuan aerodinamis (termasuk daya, koefisien daya, dan daya rata-rata) antara bilah AWT-27 (Baseline) dan bilah AWT-27 menggunakan profil *airfoil* S809 yang seragam sepanjang bilah. Analisis dan simulasi dilakukan dengan menggunakan alat analisis yang dikembangkan berdasarkan Teori *Blade Element Momentum (BEM)* menggunakan *software* MATLAB. Hasil analisis dan simulasi dari kedua jenis bilah tersebut kemudian dibandingkan untuk melihat perbedaan kinerjanya.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil analisa dan simulasi dengan program AWTsim didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil analisa dan simulasi daya (P) pada masing – masing kecepatan angin

Kecepatan Angin (m/s)	Daya (KW)		Keterangan
	Baseline	S809	
5	7.12	11.01	

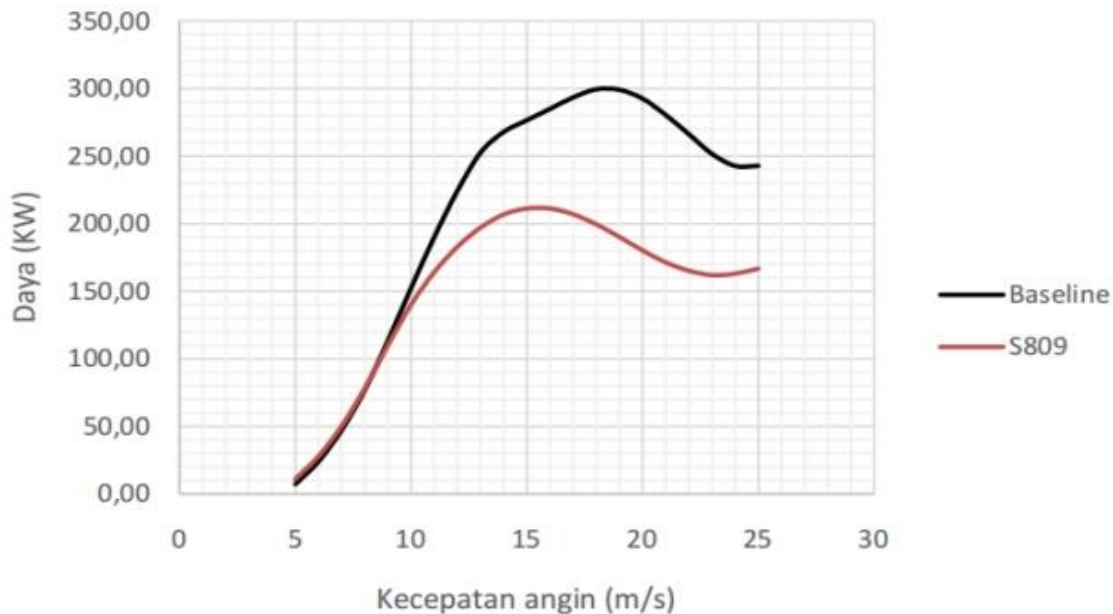
6	23.99	27.88
7	47.29	50.24
8	76.96	78.28
9	113.52	99.47
10	152.49	164.11
11	190.19	164.11
12	224.37	197.06
13	252.68	197.06
14	267.96	206.74
15	276.63	211.19
16	285.01	211.17
17	293.53	206.89
18	299.54	199.43
19	299.16	190.10
20	292.21	180.09
21	280.48	171.31
22	266.26	164.26
23	251.71	161.93
24	242.80	162.96
25	242.84	166.66

Stall

Stall

Berdasarkan data yang ditampilkan dalam tabel dan grafik, terlihat dengan jelas bahwa terdapat perbedaan signifikan antara daya yang dihasilkan oleh kedua desain bilah yang dianalisis, termasuk kondisi *stall*-nya. Hal ini terjadi ketika sudut serang, yakni sudut antara bilah dan arah datangnya angin melewati batas tertentu, menyebabkan aliran udara tidak lagi mengalir mulus di sepanjang permukaan bilah. Bilah *baseline* AWT-27 mampu mencapai kondisi *stall* pada daya sebesar 299,54 kW (dibulatkan menjadi sekitar 300 kW) pada kecepatan angin 18 m/s. Sementara itu, bilah AWT-27 yang menggunakan profil *airfoil* S809 mengalami *stall* pada daya 211,17 kW (dibulatkan menjadi sekitar 211 kW) dengan kecepatan angin yang lebih rendah, yaitu 15 m/s. *Stall* pada turbin angin merupakan kondisi di mana bilah kehilangan gaya angkat akibat perubahan karakteristik aliran udara di sekitarnya.

Perbedaan daya yang dihasilkan pada saat *stall* antara kedua desain bilah ini mencapai 88,35 kW, yang menunjukkan penurunan signifikan pada daya maksimum yang mampu dicapai oleh bilah dengan *airfoil* S809. Namun demikian, bilah AWT-27 dengan *airfoil* S809 memiliki keunggulan dalam menghasilkan daya yang lebih baik pada kecepatan angin rendah, yaitu pada rentang kecepatan angin 5 m/s hingga 8 m/s. Pada rentang tersebut, efisiensi bilah dengan *airfoil* S809 memberikan kontribusi yang lebih optimal dibandingkan dengan bilah *baseline*.



Gambar 5. Grafik perbandingan daya (P) pada masing – masing kecepatan angin

Sebaliknya, pada kecepatan angin yang lebih tinggi, yaitu mulai dari 9 m/s hingga 25 m/s, bilah AWT-27 dengan *airfoil* S809 menunjukkan penurunan daya yang signifikan jika dibandingkan dengan bilah *baseline*. Hal ini mengindikasikan bahwa desain bilah dengan *airfoil* S809 memiliki keterbatasan dalam mempertahankan kinerja optimal pada kondisi kecepatan angin tinggi, meskipun memberikan keuntungan pada kecepatan rendah.

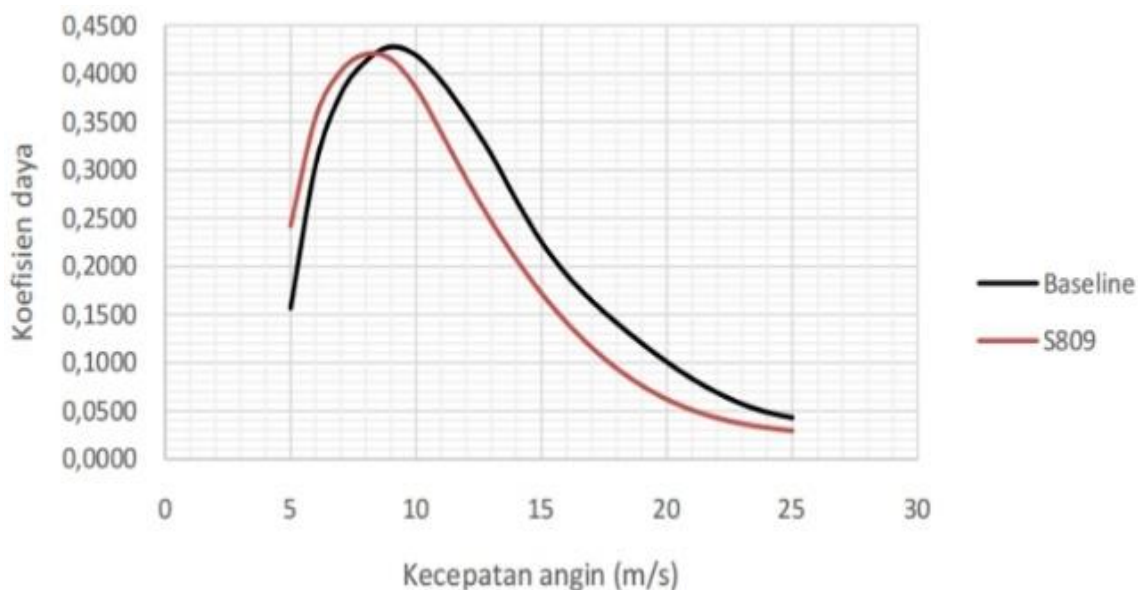
Analisis ini memberikan wawasan penting dalam memilih desain bilah yang sesuai untuk aplikasi tertentu, terutama jika mempertimbangkan rentang kecepatan angin dominan di lokasi operasi turbin angin.

Tabel 3. Hasil analisa dan simulasi koefisien daya (Cp) pada masing – masing kecepatan angin

Kecepatan Angin (m/s)	Daya (KW)		Keterangan
	Baseline	S809	
5	0.1564	0.2420	
6	0.3051	0.3547	
7	0.3788	0.4024	
8	0.4130	0.4200	CP Maksimum.
9	0.4278	0.4149	CP Maksimum.
10	0.4190	0.3849	
11	0.3926	0.3388	
12	0.3567	0.2907	
13	0.3160	0.2464	
14	0.2683	0.2070	
15	0.2252	0.1717	
16	0.1641	0.1157	
17	0.1282	0.0939	

18	0.1198	0.0761
19	0.0832	0.0508
20	0.0687	0.0426
21	0.0537	0.0366
22	0.0483	0.0324
23	0.0427	0.0293
24	0.0375	0.0254
25	0.0342	0.0213

Berdasarkan data yang disajikan dalam tabel, dapat dianalisis bahwa koefisien daya (C_p) maksimum yang dihasilkan oleh masing-masing desain bilah menunjukkan perbedaan yang mencolok. Bilah AWT-27 (*baseline*) mampu mencapai koefisien daya maksimum sebesar 0,4278 pada kecepatan angin 9 m/s. Sementara itu, bilah AWT-27 dengan profil *airfoil* S809 menghasilkan koefisien daya maksimum sebesar 0,42 pada kecepatan angin yang lebih rendah, yaitu 8 m/s.



Gambar 6. Grafik perbandingan koefisien daya pada masing – masing kecepatan angin

Koefisien daya (C_p) ini merepresentasikan efisiensi bilah dalam mengonversi energi kinetik angin menjadi daya mekanik pada rotor turbin angin. Dengan kata lain, bilah AWT-27 (*baseline*) mampu mengubah sebesar 42,78% dari total energi kinetik angin yang ditangkap oleh rotor menjadi daya listrik pada kecepatan angin 9 m/s. Sedangkan bilah AWT-27 dengan *airfoil* S809 dapat mengonversi sebesar 42,00% dari total energi kinetik angin yang ditangkap pada kecepatan angin 8 m/s.

Jika dilihat lebih rinci, bilah AWT-27 dengan *airfoil* S809 memiliki keunggulan dalam hal efisiensi aerodinamis pada kecepatan angin rendah, yaitu dalam rentang kecepatan 5 m/s hingga 8 m/s. Pada rentang ini, koefisien daya bilah AWT-27 dengan *airfoil* S809 lebih tinggi dibandingkan dengan bilah *baseline*. Hal ini menunjukkan bahwa *airfoil* S809 dirancang untuk memaksimalkan kinerja pada kondisi kecepatan angin rendah, sehingga lebih cocok

untuk lokasi dengan kecepatan angin yang relatif kecil.

Namun, situasi ini berubah pada kecepatan angin yang lebih tinggi, yaitu mulai dari 9 m/s hingga 25 m/s. Dalam rentang kecepatan ini, bilah *baseline* AWT-27 menunjukkan performa yang lebih baik, dengan koefisien daya yang lebih tinggi dibandingkan dengan bilah yang menggunakan *airfoil* S809. Penurunan efisiensi aerodinamis bilah dengan *airfoil* S809 pada kecepatan angin tinggi mengindikasikan bahwa desain *airfoil* ini memiliki keterbatasan dalam menangani aliran angin yang lebih deras, sehingga menghasilkan performa yang kurang optimal dibandingkan dengan desain *baseline*.

Berdasarkan analisis daya yang dihasilkan serta koefisien daya masing-masing bilah, dapat disimpulkan bahwa bilah AWT-27 dengan *airfoil* S809 memiliki keunggulan aerodinamis yang lebih baik pada kecepatan angin rendah, khususnya pada rentang 5 m/s hingga 8 m/s. Namun, pada kecepatan angin yang lebih tinggi, yaitu 9 m/s hingga 25 m/s, kemampuan aerodinamis bilah dengan *airfoil* S809 cenderung lebih buruk dibandingkan bilah *baseline* AWT-27.

KESIMPULAN

Bilah AWT-27 dengan *airfoil* S809 memiliki keunggulan dalam efisiensi aerodinamis pada kecepatan angin rendah, yaitu antara 5 m/s hingga 8 m/s, di mana koefisien daya yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan bilah *baseline* AWT-27. Hal ini menunjukkan bahwa *airfoil* S809 lebih efektif dalam mengonversi energi kinetik angin menjadi daya listrik pada kecepatan angin yang relatif rendah. Namun, pada kecepatan angin lebih tinggi (9 m/s hingga 25 m/s), *airfoil* S809 menunjukkan penurunan performa yang signifikan, dengan daya yang lebih rendah dibandingkan dengan bilah *baseline*. Penurunan ini mengindikasikan bahwa desain *airfoil* S809 memiliki keterbatasan dalam mempertahankan kinerja optimal pada kecepatan angin tinggi. Oleh karena itu, meskipun *airfoil* S809 memberikan keuntungan pada kondisi angin lemah, desain ini kurang efektif untuk menangani kecepatan angin yang lebih tinggi.

Penelitian lebih mendalam diperlukan untuk memahami dan mengoptimalkan penggunaan *airfoil* S809 pada kecepatan angin rendah, baik pada bilah turbin angin poros horizontal maupun vertikal. Studi eksperimental dan simulasi berbasis *Computational Fluid Dynamics* (CFD) sangat penting dilakukan untuk menganalisis performa aerodinamis secara mendalam.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sekretariat Jendral Dewan Energi Nasional, "Outlook Energi Indonesia 2023," Jakarta, Dec. 2023.
- [2] Danish Energy Agency, Ea Energy Analyses, and Dinas ESDM Provinsi NTB, "NTB Energy Masterplan Propelling West Nusa Tenggara to Lead Indonesia's Energy Transition Acknowledgements," 2023.
- [3] J. F. Manwell, J. G. McGowan, and A. L. Rogers, "Wind Energy Explained: Theory, Design and Application," 2010.
- [4] H. Eftekhari, A. Sh Mahdi Al-Obaidi, and S. Eftekhari, "Aerodynamic Performance of Vertical and Horizontal Axis Wind Turbines: A Comparison Review," *Indonesian Journal of Science & Technology*, vol. 7, no. 1, pp. 65–88, 2022, doi: 10.17509/ijost.v7i1.

- [5] T. Tahzib, M. A. Hannan, Y. A. Ahmed, and I. Z. M. Kamal, "Performance Analysis of H-Darrieus Wind Turbine with NACA0018 and S1046 Aerofoils: Impact of Blade Angle and TSR," *CFD Letters*, vol. 14, no. 2, pp. 10–23, Feb. 2022, doi: 10.37934/cfdl.14.2.1023.
- [6] W. Hu *et al.*, "Uncertainty quantification of aerodynamic characteristics of wind turbine blade airfoils," *Renew Energy*, vol. 248, p. 123151, Aug. 2025, doi: 10.1016/J.RENENE.2025.123151.
- [7] B. Harianto and M. Karjadi, "Pengembangan Turbin Angin Skala Kecil untuk Energi Terbarukan untuk Daerah Terpencil," *R2J*, vol. 7, no. 1, 2024, doi: 10.38035/rrj.v7i1.
- [8] D. M. Somers, "Design and Experimental Results for the S809 Airfoil Work performed under task number WE71111 0," 1997.
- [9] A. Dwi Sapto and H. Pandu Rumakso, "Uji Coba Performa Bentuk Airfoil Menggunakan Software Qblade Terhadap Turbin Angin Tipe Sumbu Horizontal," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 10, no. 1, 2021.
- [10] R. Samosir, K. Turnip, B. Putra, and M. Sebo, "Simulasi Turbin Angin dengan Beberapa Tipe Airfoil Menggunakan Software Qblade," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 11, no. 2, p. 72, 2022.
- [11] I. K. Wiratama, "Validation of AWTsim as aerodynamic analysis for design wind turbine blade," in *Applied Mechanics and Materials*, 2014, pp. 105–110. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMM.493.105.
- [12] J. Ledoux, S. Rizzo, J. Salomon, and A. Rizzo, "Analysis of the Blade Element Momentum Theory," *Analysis of the Blade Element Momentum Theory. SIAM Journal on Applied Mathematics*, vol. 2021, no. 6, doi: 10.1137/20M133542Xi.
- [13] I. Kade Wiratama, "Aerodynamic Design of Wind Turbine Blades Utilising Nonconventional Control Systems," Newcastle, Nov. 2012.
- [14] K. Gharali and D. A. Johnson, "Numerical modeling of an S809 airfoil under dynamic stall, erosion and high reduced frequencies," *Appl Energy*, vol. 93, pp. 45–52, May 2012, doi: 10.1016/J.APENERGY.2011.04.037.
- [15] R. Belamadi, A. Djemili, A. Ilinca, and R. Mdouki, "Aerodynamic performance analysis of slotted airfoils for application to wind turbine blades," *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, vol. 151, pp. 79–99, Apr. 2016, doi: 10.1016/J.JWEIA.2016.01.011.
- [16] R. Reuss, R. M. J. Hoffmann, and G. M. Gregorek, "Effects of Grit Roughness and Pitch Oscillations on the S809 Airfoil Airfoil Performance Report, Revised (12/99)."
- [17] U. Boatto, P. A. Bonnet, F. Avallone, and D. Ragni, "Assessment of Blade Element Momentum Theory-based engineering models for wind turbine rotors under uniform steady inflow," *Renew Energy*, vol. 214, pp. 307–317, Sep. 2023, doi: 10.1016/J.RENENE.2023.04.050.