

Analisis variasi bilah blade terhadap *horizontal axis wind turbin* (HAWT) pembangkit listrik tenaga angin dengan software Q-Blade

Lies Banowati^{a,1}, Aditiya Vebo Suhendra^a, Moch. Daddy Ma'mun^a

^aProgram Studi Teknik Penerbangan, Universitas Nurtanio, Bandung

liesbano@gmail.com

ABSTRACT

Energy demand in Indonesia continues to increase, along with the addition of a larger population. Indonesia still depends on conventional energy sources such as coal and petroleum, which are limited in quantity and not environmentally friendly. Therefore, research was conducted to use micro-scale wind turbines that are useful for electricity needs to advance Renewable Energy in Indonesia. This research was conducted to obtain electricity needed to advance Renewable Energy in Indonesia; this research uses Q-Blade software, which has various aspects needed for the design, prototyping, simulation, and certification of wind turbines. This study was conducted to see power efficiency by comparing variations in airfoil types on taper blades, namely NACA 2412, NACA 4412, NACA 6412 and USA 40, with variations in the number of blades 3, 4 and 5. The conclusion of this study shows that NACA 4412 blades (airfoil) with the number of blades 3 are more efficient with a Coefficient Power of 53% compared to airfoil variations and the number of other blades that, on average, have a Coefficient Power of 50.2% (NACA 2412), 52.9% (NACA 6412) and 52.6% (USA 40). While at a wind speed of 12 m/s, the variation of the NACA 6412 airfoil type has the highest average power of 1.127 watts against a rotation speed of 1.003 RPM.

Keywords: Renewable energy, horizontal axis wind turbine, electricity output, coefficient power

Received 30 September 2023; **Presented** 5 Oktober 2023; **Publication** 27 Mei 2024

PENDAHULUAN

Pengembangan dan pemanfaatan energi terbarukan termasuk energi angin akan terus dikembangkan di Indonesia juga menjadi negara yang memiliki potensi energi angin yang besar. Pembangkit listrik yang menggunakan tenaga angin disebutkan sebagai jenis pembangkit energi, yang laju pertumbuhan termasuk cepat di dunia. Bahkan, kapasitas total pembangkit listrik yang berasal dari tenaga angin di seluruh dunia, jumlahnya berkisar 17,5 GW [1]. Di Indonesia, pembangkit listrik yang memakai tenaga angin berada di dua lokasi, yaitu di Sulawesi Selatan, yaitu Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) Sidrap di Kabupaten Sidenreng Rappang (Sidrap) dan PLTB Tolo di Kabupaten Jeneponto. Turbin angin terbagi menjadi 2 jenis yaitu *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) dan *Vertical Axis Wind Turbine* (VAWT). Dalam penelitian ini menggunakan turbin angin sumbu Horizontal yang umum digunakan dalam pembangkit listrik dikarenakan memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari turbin angin sumbu Vertikal, dikarenakan turbin angin jenis Horizontal ditempatkan pada tempat yang lebih tinggi sehingga aliran angin yang didapatkan sangat besar. Namun pada kecepatan angin rendah, VAWT lebih efektif digunakan dikarenakan turbin angin jenis ini

mampu menerima aliran angin dari arah mana-pun [2]. Hasil penelitian dari perbandingan dari HAWT dan VAWT dalam hal pembangkit listrik HAWT menghasilkan nilai yang lebih baik di bawah aliran angin yang stabil, disamping itu HAWT mampu menghasilkan energi yang jauh lebih tinggi dalam aliran angin yang stabil dan tinggi [3]. Jenis bilah yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis bilah *taper* karena memiliki keunggulan seperti *thrust* dan *drag* yang dihasilkan lebih kecil dan dapat dioperasikan pada kecepatan angin tinggi dan sedang [4].

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan mendapatkan kebutuhan listrik untuk memajukan *Renewable Energy* di Indonesia, penelitian ini menggunakan *software* Q-Blade yang merupakan *software* dengan berbagai aspek yang diperlukan untuk desain, pembuatan prototipe, simulasi, dan sertifikasi turbin angin.

METODE PENELITIAN

Dalam penelitian kali ini dilakukan analisis variasi blade terhadap HAWT menggunakan *Software* Q-Blade guna mengetahui efektifitas dan efisiensi dari performance HAWT tersebut. Hasil analisis yang didapatkan untuk mengetahui karakteristik turbin angin yang efektif dan

efisien yang akan digunakan sebagai acuan pembuatan HAWT. Penelitian ini dilakukan untuk melihat efisiensi *power* dengan membandingkan variasi blade terhadap *horizontal axis wind turbine* (HAWT) pembangkit listrik tenaga angin dengan software Q-Blade dengan variasi jumlah *blade taper* 3, 4, dan 5 dan jenis airfoil NACA 2412, 4412, 6412, dan USA 40. Simulasi yang dilakukan menggunakan *software* Q-Blade merupakan metode komputasi numerik yang dilakukan untuk memperoleh hasil perhitungan awal terhadap suatu rancangan secara cepat dan akurat. Tahapan selanjutnya dilakukan simulasi untuk menerapkan Boundary Condition pada model atau objek yang akan disimulasikan. Kondisi Boundary Condition yang diberikan pada permodelan geometri berfungsi untuk merepresentasikan simulasi Turbin angin. Pembuatan blade dilakukan menggunakan software Solid-work yang berfungsi untuk memperlihatkan blade secara 3D dengan melakukan input dari geometri excel yang telah dilakukan sebelumnya. Data yang diperoleh dari simulasi berupa grafik hasil tenaga yang diperoleh dari sebuah Turbin angin Horizontal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan daya angin menggunakan persamaan dibawah ini [5]:

$$Pl = Pa \times K \quad (1)$$

$$Pa = \frac{1}{2} \rho A v^3 \quad (2)$$

Keterangan:

Pa = Daya angin yang dibutuhkan (watt)

Pl = Daya listrik yang ingin dihasilkan (watt)

K = Efisiensi Sistem

ρ = Densitas udara (kg/m^3)

A = Luas sapuan blade (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)

Perhitungan efisiensi sistem kincir angin (K) menggunakan persamaan dibawah ini [5].

$$K = \eta_b \times \eta_g \times \eta_t \times \eta_k \quad (3)$$

Keterangan:

η_b = Efisiensi blade

η_g = Efisiensi generator

η_t = Efisiensi transmisi

η_k = Efisiensi kontroler

Perhitungan Tip Speed Ratio (TSR) dengan persamaan dibawah ini [6].

$$\lambda = (\omega \times R) / v \quad (4)$$

Keterangan:

λ = Tip Speed Ratio

ω = Kecepatan sudut (rad/s)

R = Jari-jari blade (m)

Luas Sapuan menggunakan persamaan berikut [7].

$$A = 2 Pa / \rho (v)^3 \quad (5)$$

Keterangan:

A = Luas sapuan blade (m^2)

v = Kecepatan angin (m/s)

Pa = Daya angin yang dibutuhkan (watt)

ρ = Densitas udara (kg/m^3)

Sedangkan jari-jari blade menggunakan persamaan dibawah ini [6].

$$R = \sqrt{A / \pi} \quad (6)$$

Keterangan:

A = Luas sapuan blade (m^2)

R = Jari-jari blade (m)

Perhitungan jari-jari p arisial menggunakan persamaan berikut [7].

$$r = 0.17 + \left(\frac{R-0.17}{n} \right) x \text{ elemen} \quad (7)$$

Keterangan:

r = Jari - jari parsial (m)

n = Jumlah elemen

TSR parsial merupakan perbandingan antara kecepatan linear elemen *blade* terhadap kecepatan angin pada elemen yang berbeda beda dengan persamaan yang ditunjukkan sebagai berikut [7].

$$\lambda_p = \frac{r}{R} \lambda \quad (8)$$

Keterangan:

λ_p = TSR parsial

r = Jari - jari parsial

R = Jari-jari blade (m)

λ = Tip Speed Ratio

Nilai chord untuk tiap elemen blade menggunakan persamaan sebagai berikut [8]:

Chord Tiap Elemen (Cr)

$$C_r = \frac{16\pi \times R \times (R/r)}{9\lambda^2 \times B \times C_l} \quad (9)$$

Keterangan:

C_l = Koefisien lift

B = Jumlah blade

C = Lebar blade / chord (meter)

r = Jari - jari parsial

R = Jari-jari blade (m)

λ = TSR Blade

Flow angle untuk masing-masing elemen didapat dari persamaan [9] sebagai berikut :

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_p} \quad (10)$$

Keterangan:

ϕ = Flow angle (degrees)

λ_p = TSR parsial

Twist untuk masing masing elemen didapat dengan persamaan [10] sebagai berikut :

$$\beta = \phi - a \quad (11)$$

Keterangan:

β = Twist (°)

ϕ = Flow angle (°)

a = Sudut serang (°)

Pada Tabel 1 menunjukkan parameter perhitungan dan Tabel 2 adalah penentuan parameter awal bilah

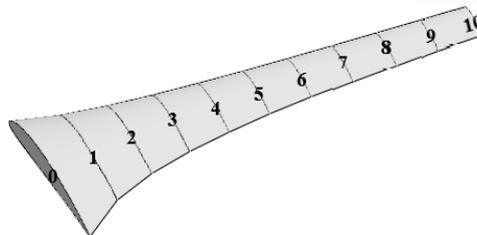
Tabel 1 Penentuan parameter awal bilah

Kapasitas Daya Generator	Efisiensi				
	Blade	Generator	Transmisi	Controller	Sistem
P_t	η	η	η	η	K
Watt	%	%	%	%	%
500	0,3	0,9	0,9	0,9	0,22
	0,4				0,29

Tabel 2 Penentuan parameter awal bilah

Daya angin	Kecepatan Angin Maksimal	Massa jenis udara	Luas sapuan	Jari-jari	Jari-jari yang digunakan
P_a	V_{max}	ρ	A	R	R
(watt)	(m/s)	(kg/m ³)	(m ²)	(m)	(m)
2.286,24	12	1,225	2,16	0,83	0,8
1.714,68			1,62	0,72	

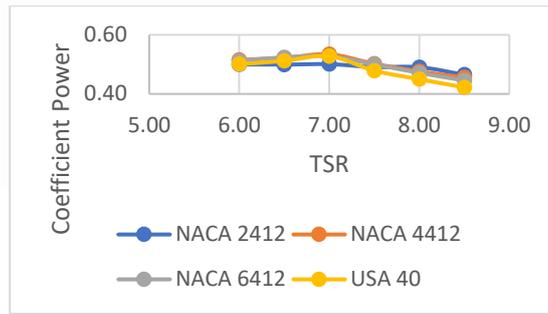
Pada Gambar 1 menunjukkan elemen pada bilah.



Gambar 1. Elemen pada bilah

Grafik pada Gambar 2 di bawah ini menggambarkan hasil simulasi dari HAWT

variasi jumlah blade 3 terhadap Coefficient Power-TSR:

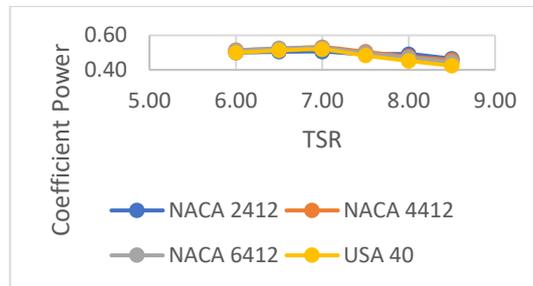


Gambar 2. Grafik Cp-Tip Speed Ratio variasi jumlah 3 Blade

Pada grafik Gambar 2 di atas, menunjukkan bahwa variasi pada jumlah blade 3 di setiap jenis airfoil memiliki Cp tertinggi sebesar 53.4% pada TSR 7 pada NACA 4412 sedangkan Cp terkecil pada 50% di TSR 7 pada NACA 2412.

Grafik pada Gambar 3 di bawah ini menggambarkan hasil simulasi dari HAWT variasi jumlah blade 4 terhadap Cp-TSR

:

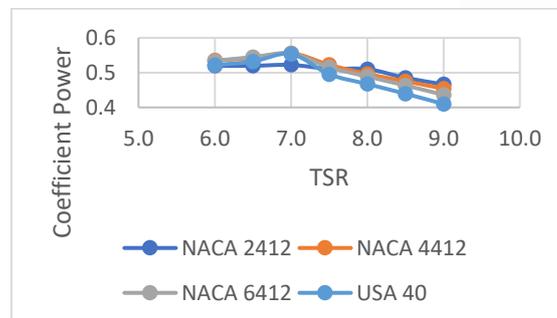


Gambar 3. Grafik Cp- Tip Speed Ratio variasi jumlah 4 blade

Grafik pada Gambar 3 antara Power-Rotation Speed di antara menunjukkan bahwa variasi pada jumlah blade 4 di setiap jenis airfoil memiliki Power terbesar 1,130 watt dengan Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 4412 sedangkan Power-Rotation Speed terkecil sebesar 1,075 watt pada Rotation

Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 2412.

Grafik pada Gambar 4 di bawah ini menggambarkan hasil simulasi dari HAWT variasi jumlah blade 5 terhadap Cp-TSR:



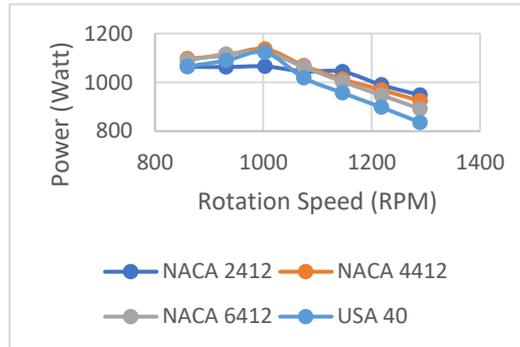
Gambar 4. Grafik Cp- Tip Speed Ratio variasi jumlah 5 blade

Pada grafik di atas, menunjukkan bahwa variasi pada jumlah blade 5 di setiap jenis airfoil memiliki Cp tertinggi sebesar 53.6 % pada TSR 7 pada NACA 4412 sedangkan Cp terkecil pada 50 % di TSR 7 pada NACA 2412.

Pada grafik pertama yaitu variasi jumlah blade 3 didapat Cp terbesar pada 53.4% dengan TSR 7. Sedangkan pada variasi jumlah blade 4 Cp terbesar sebesar 53% pada TSR 7, dan yang

terakhir yaitu variasi jumlah blade 5 Cp terbesar ialah 53.6% pada TSR 7.

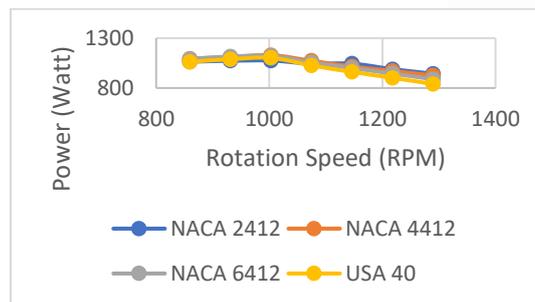
Pada Gambar 5, 6 dan 7 adalah grafik hubungan antara daya (watt) dengan rotation speed (RPM) yang dihasilkan oleh turbin angin



Gambar 5. Grafik Power-Rotation Speed 3 Blade

Pada grafik di atas, menunjukkan bahwa variasi pada jumlah blade 3 di setiap jenis airfoil memiliki Power terbesar 1,137 watt dengan Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis

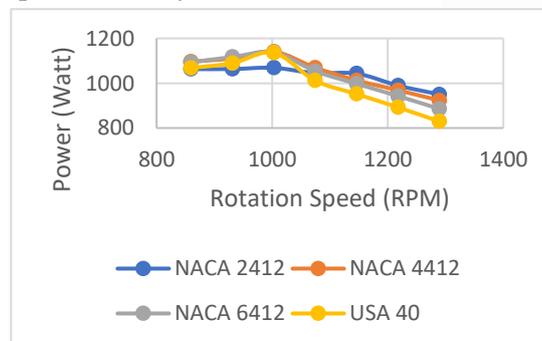
airfoil NACA 4412 sedangkan Power-Rotation Speed terkecil sebesar 1,065 watt pada Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 2412.



Gambar 6. Grafik Power-Rotation Speed 4 Blade

Grafik pada gambar di atas antara Power-Rotation Speed di antara menunjukkan bahwa variasi pada jumlah blade 4 di setiap jenis airfoil memiliki Power terbesar 1,130 watt dengan Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis

airfoil NACA 4412 sedangkan Power-Rotation Speed terkecil sebesar 1,075 watt pada Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 2412.



Gambar 7. Grafik Power-Rotation Speed 5 Blade

Grafik pada gambar di atas antara Power-Rotation Speed di antara menunjukkan bahwa variasi pada jumlah blade 5 di setiap jenis airfoil memiliki Power terbesar 1,141 watt dengan

Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 4412 sedangkan Power-Rotation Speed terkecil sebesar 1,068 watt pada Rotation

Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 2412.

Pada variasi jenis airfoil dengan variasi jumlah blade 3 didapat daya sebesar 1,137 watt dengan Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 4412. Pada grafik yang kedua ialah variasi jenis airfoil dengan jumlah blade 4 didapat dengan Power terbesar 1,130 watt dengan Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 4412, ketiga yaitu grafik jenis airfoil pada jumlah blade 5 daya Power terbesar 1,141 watt dengan Rotation Speed 1,003 RPM pada variasi jenis airfoil NACA 4412.

Dari grafik hubungan Power terhadap Rotation Speed diatas menunjukkan bahwa daya keluaran terbesar masing masing variasi blade dan kecepatan angin 12 m/s. Urutan daya terbesar didapat pada variasi jumlah blade 5, variasi jumlah blade 3, dan variasi jumlah blade 4. Pengaruh kerapatan antar blade membuat daya yang dihasilkan turbin angin juga semakin besar, artinya semakin tinggi jumlah blade daya yang dihasilkan juga akan semakin meningkat tetapi memiliki kekurangan dimana manufaktur yang akan dilakukan jika blade semakin banyak maka biaya yang akan dibuat sangat banyak tetapi dengan perbandingan yang sedikit selisihnya maka blade NACA 4412 dengan jumlah blade 3 adalah turbin angin yang baik jika dilakukan manufaktur.

KESIMPULAN

1. Pada analisis yang telah dilakukan dapat menyimpulkan bahwa HAWT dengan jenis blade taper pada variasi jumlah bilah 3,4, dan 5 pada kecepatan angin 12 m/s memiliki Coefficient Power pada variasi jumlah bilah 5 memiliki C_p rata rata sebesar 52.7% pada Tip Speed Ratio 7 sedangkan pada jumlah bilah 3 memiliki C_p rata-rata sebesar 52.3% pada Tip Speed Ratio 7 dan pada variasi jumlah bilah 4 memiliki C_p rata-rata sebesar 52% pada Tip Speed Ratio 7.
2. Pada analisis yang telah dilakukan dapat menyimpulkan bahwa HAWT dengan jenis blade taper pada variasi jenis airfoil NACA 2412, NACA 4412, NACA 6412, dan USA 40 pada kecepatan angin 12 m/s variasi jenis airfoil NACA 2412 memiliki Power rata-rata sebesar 1,070 watt pada Rotation Speed 1,003 RPM, pada NACA 4412 Power rata-rata yang didapatkan sebesar 1,136 watt pada Rotation Speed 1,003 RPM, variasi jenis airfoil NACA 6412 Power rata rata yang

didapatkan rata-rata sebesar 1,127 watt terhadap Rotation Speed sebesar 1,003 RPM, sedangkan pada jenis airfoil USA 40 Power rata-rata yang didapatkan sebesar 1,109 watt terhadap Rotation Speed 1,003 RPM.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kabar Harian, "Energi Alternatif Angin: Sumber Energi yang Tersedia di Bumi," *Tekno & Sains*, 2021
- [2] D. N. Ramadhani, "Desain Dan Simulasi Turbin Angin Sumbu Vertikal Dengan Sudu Rotor Naca 0021," *Senasains*, vol. 1, no. 1, p. 6, 2021.
- [3] M. K. Johari, M. A. A. Jalil, and M. F. M. Shariff, "Comparison of horizontal axis wind turbine (HAWT) and vertical axis wind turbine (VAWT)," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 7, no. 4, pp. 74–80, 2018, doi: 10.14419/ijet.v7i4.13.21333.
- [4] M. J. F. M. J.G., and A.L. Rogers, *Wind Energy Explained_ Theory, Design and Application*, Second Edition. 2009
- [5] F. Aryanto, I. M. Mara, and M. Nuarsa, "PENGARUH KECEPATAN ANGIN DAN VARIASI JUMLAH SUDU TERHADAP UNJUK KERJA TURBIN ANGIN POROS HORIZONTAL," *Din. Tek. Mesin*, vol. 3, no. 1, pp. 50–59, 2013.
- [6] M. C. Renteria, D. S. Martin, A. Lent, and C. Ramos, "IET Renewable Power Gen - 2020 - Carpintero-Renteria - Wind turbine power coefficient models based on neural networks." 2020, doi: 10.1049/iet-rpg.2019.1162.
- [7] M. A. Alfaridzi and R. Setiawan, "Analisis Performa Bilah Taperless Dengan Airfoil NACA 4412 Pada Horizontal Axis Wind Turbine TSD 500 Di PT Lentera Bumi Nusantara," 2020. <http://journal2.um.ac.id/index.php/jttmp>.
- [8] J. P. Innovation in Wind Technology. UK: A John Wiley & Sons, Ltd, 2011.
- [9] Y. El-Okda, K. Adref, M. Chikhalsouk, and H. Al Hajjar, "Design of a Small Horizontal Axis Wind Turbine," 2019 *Adv. Sci. Eng. Technol. Int. Conf. ASET 2019*, pp. 1–7, 2019, doi: 10.1109/ICASET.2019.8714319.