



PENGARUH VARIASI JUMLAH *BLADE* TERHADAP PERFORMA *HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE* MENGGUNAKAN *QBLADE*

Muhammad Syaukani^{a*}, Fajar Sidik Sadono^a, Ilham Dwi Airohman^b, Devia G. C. Alfian^a, Abdul Muhyi^a, Naufal Ammar^a

^aProgram Studi Teknik Mesin, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365, Indonesia

^bProgram Studi Teknik Sistem Energi, Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Sumatera, Jl. Terusan Ryacudu, Way Huwi, Kec. Jati Agung, Kabupaten Lampung Selatan, Lampung 35365, Indonesia

*Corresponding authors at email: muhammad.syaukani@ms.ita.ac.id (M.Syaukani) Tel.: +62895-066-01990

ARTICLE INFO

Riwayat artikel:

Diajukan pada 07 November 2023

Direvisi pada 26 Desember 2023

Disetujui pada 11 Januari 2024

Tersedia daring pada 02 Maret 2024

Kata kunci:

HAWT, Jumlah Bilah, Koefisien Performa, Tenaga Mekanik

Keywords:

HAWT, number of blades, coefficient of performance, mechanical power.

ABSTRAK

Perubahan iklim mendorong kita untuk dapat melakukan transisi dari energi konvensional ke energi baru terbarukan (EBT). Energi angin merupakan salah satu dari sekian banyak jenis energi terbarukan yang dapat dimanfaatkan menggunakan wind turbine. *Wind Turbine* diklasifikasikan menjadi *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* dan *Vertical Axis Wind Turbine (VAWT)*. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui performa *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* terhadap variasi jumlah bilah 3, 5 dan 7. Pemodelan dan analisis menggunakan Q-Blade untuk memperoleh parameter performa seperti Coefficient of Performance (C_p), Daya mekanik, dan Torsi. Desain bilah HAWT menggunakan airfoil tipe NACA4412 dan panjang 1.2 m pada kecepatan angin 10 m/s dan TSR 7. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa performa terbaik pada TSR 7 adalah HAWT dengan jumlah 3 bilah dengan C_p , torsi, dan daya mekanik tertinggi secara berurutan yaitu 0,46; 21,89 Nm; 1,28 kW.

ABSTRACT

We are under increasing pressure to be able to make the switch from traditional energy sources to new forms of renewable energy. An example of a renewable energy source that can be harnessed through the use of wind turbines is wind energy. *Horizontal Axis Wind Turbines (HAWT)* and *Vertical Axis Wind Turbines (VAWT)* are the two categories that wind turbines fall under. The purpose of this research is to evaluate the effectiveness of the *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* with three, five, and seven different numbers of blades. Obtaining performance metrics such as the coefficient of performance (C_p), mechanical power, and torque through modelling and analysis with the help of Q-Blade. At wind speeds of 10 metres per second and a TSR of 7, the HAWT blade design makes use of a NACA4412 airfoil, and the length of the blade is 1.2 m. According to the findings, the HAWT configuration with three blades exhibited the best performance on the TSR 7 platform. The C_p , torque, and mechanical power values for this configuration were 0.46, 21.89 Nm, and 1.28 kW, respectively.

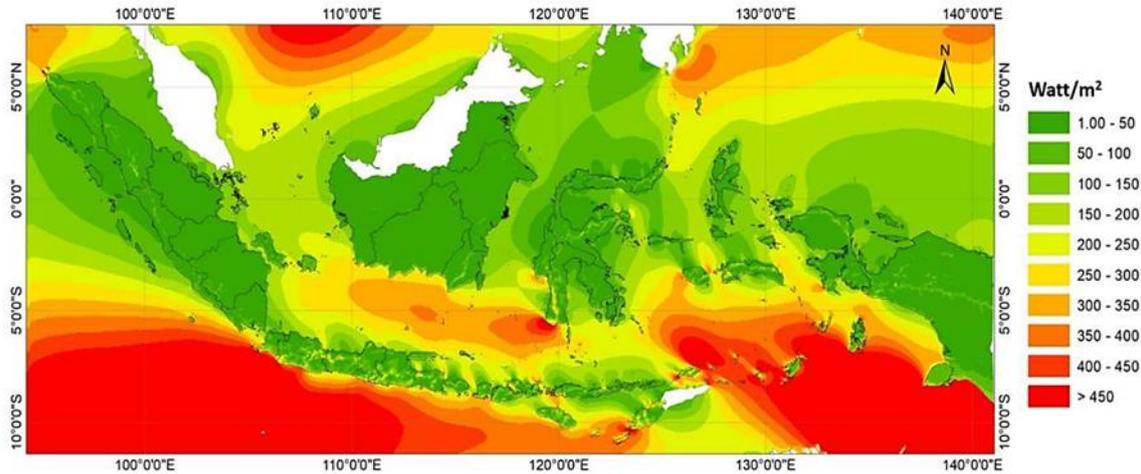
1. PENGANTAR

Energi angin merupakan sumber energi terbarukan yang sangat potensial untuk membantu mengurangi ketergantungan energi terhadap bahan bakar fosil dan mengurangi perubahan iklim akibat polusi lingkungan (Fonseca & Carvalho, 2022; Ghanem dkk., 2022). Seiring meningkatnya permintaan energi angin, salah satu cara untuk memanfaatkan energi angin sebagai pembangkit adalah dengan menggunakan turbin angin yang memiliki prinsip kerja sederhana yaitu mengubah energi mekanik menjadi energi listrik.

1.1 Turbin Angin

Indonesia termasuk salah satu negara dengan ekonomi dan populasi yang terus berkembang pesat sehingga menyebabkan kenaikan permintaan energi. Namun, ada beberapa tantangan yang dihadapi dalam memenuhi permintaan ini karena Indonesia masih mengalami ketergantungan yang tinggi pada bahan bakar fosil serta akses listrik yang terbatas di beberapa daerah. Pada tahun 2017, kapasitas terpasang pembangkit energi baru terbarukan (EBT) hanya 12% dari total 60,8 GW dan terdapat 35 lokasi yang berpotensi untuk instalasi pembangkit dari energi angin dengan rata-rata kecepatan angin 3,5-5 m/s (Wijaya, Hindarto, & Tiyono, 2017) (Siahaya, Setiati, & Malinda, 2021). Potensi energi angin di Indonesia seperti yang terlihat pada Gambar 1, berdasarkan data dari Badan Meteorologi dan Klimatologi, OGIMET, Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Hal ini disebabkan oleh letak geografisnya yang memiliki garis pantai yang

panjang dan daerah dataran tinggi. Daerah pesisir dan dataran tinggi terbuka cenderung memiliki angin yang lebih kuat dan stabil, menjadikannya lokasi potensial untuk pembangkitan tenaga angin. Gambar 1 menggambarkan distribusi kerapatan daya angin rata-rata pada ketinggian 50 meter. Kerapatan daya angin di wilayah Sukabumi, Pandeglang, bagian selatan Yogyakarta, Kupang, Sulawesi Selatan, dan Maluku mencapai 400-500 watt/m². Sementara di wilayah lepas pantai Banten, Sukabumi, Kupang, Pulau Wetar, Jeneponto, dan Kepulauan Tanimbar, kerapatan daya angin mencapai 500-600 watt/m² (Hesty dkk., 2022). Meskipun memiliki potensi yang cukup besar, efektifitas pemanfaatan energi angin menggunakan turbin angin masih belum optimal. Hal ini dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kecepatan angin, densitas, temperatur, kelembapan, dan yang paling utama adalah geometri, aerodinamika bilah turbin angin yang digunakan (Fattal, 2018). Untuk mengatasi tantangan ini, Indonesia telah mengeksplorasi sumber energi terbarukan seperti tenaga angin. Para peneliti telah banyak mempelajari teknologi turbin angin dan sistem kontrol untuk meningkatkan efisiensi dan mengurangi biaya (Pandey & Singh, 2020).



Gambar 1: Distribusi potensi energi angin di Indonesia

1.2 Konsep perancangan turbin angin

Dalam merancang sebuah turbin angin hal yang paling pertama dilakukan adalah survei tempat atau lokasi yang ingin di bangun turbin angin, data yang harus diambil dari survei lapangan tersebut adalah data kecepatan angin rata-rata di daerah tersebut serta kebutuhan energi listrik. Dari hasil survei tersebut maka akan disimpulkan jenis desain bilah yang akan dirancang, jari-jari bilah, nilai twist dan chord optimum, serta jumlah bilah yang diizinkan dan jumlah turbin angin yang harus dibangun (Zhang, dkk., 2019). Jumlah bilah dalam turbin angin sumbu horizontal (HAWT) memiliki dampak signifikan pada kinerjanya dan dinamika wake yang dihasilkan (Jiahao, 2023). Meningkatnya jumlah bilah mengakibatkan aliran turbulensi yang lebih luas di sekitar turbin, penurunan kecepatan pusaran yang lebih cepat, serta meningkatnya intensitas turbulensi di sekitar turbin (Zhang dkk., 2022; Wen dkk., 2023). Jumlah bilah yang tepat sangat penting untuk mengoptimalkan kinerja dan efisiensi keseluruhan turbin, karena terlalu sedikit atau terlalu banyak bilah dapat mengakibatkan efisiensi yang buruk atau peningkatan bobot dan biaya produksi (Abdel, 2021).

Masih terdapat beberapa tantangan yang perlu diatasi dalam pengembangan teknologi turbin angin, salah satunya adalah terkait biaya. Mengembangkan model turbin angin yang cukup akurat dengan harga terjangkau memerlukan langkah-langkah inovatif yang dapat diadopsi secara luas. Berdasarkan persoalan tersebut maka penelitian ini dilakukan untuk menentukan variasi jumlah bilah turbin angin khususnya pada jenis turbin angin sumbu horizontal yang diperuntukkan untuk *offshore*. Kemudian, variasi jumlah bilah ini dibandingkan performanya untuk mendapatkan desain yang terbaik. Parameter performa yang dianalisis melalui simulasi numerik yaitu *coefficient of power* (C_p) serta performansi daya mekanik turbin menggunakan software Qblade (Zhang, dkk., 2019).

2. METODE PENELITIAN

2.1 Spesifikasi Desain Bilah HAWT

Penentuan parameter desain bilah HAWT berdasarkan kebutuhan dari turbin angin yang akan dirancang. Pada penelitian ini ditentukan beberapa parameter desain HAWT mengacu pada Tabel 1 (Geofisika, 2020).

Tabel 1: Design Parameters of HAWT

Parameter	Value
<i>Airfoil</i>	NACA 4412
<i>Blade Length</i>	1.2 m
<i>Wind Speed</i>	10 m/s
<i>TSR</i>	7
<i>Number of Blade Elements</i>	10
<i>Number of Blades</i>	3, 5, dan 7

Perancangan dan pemodelan performa HAWT hanya dilakukan dengan metode simulasi secara numerik menggunakan *open source software* Qblade. Qblade menggunakan konsep *Blade Element Momentum* (BEM). Profil airfoil yang digunakan yaitu NACA 4412 dengan karakteristik performa airfoil berupa CL/CD, CL, dan CD terhadap *angle of attack* (α). Kemudian geometri bilah dirancang dengan

menginputkan nilai twist dan chord untuk membuat bilah HAWT dengan variasi jumlah bilah 3, 5 dan 7. Masing-masing HAWT disimulasikan pada TSR 1-10 untuk memperoleh parameter performa turbin yaitu torsi, *coefficient of performance* (C_p) dan daya mekanik.

2.2 Performance Parameters of HAWT

Berikut ini adalah beberapa persamaan 1 parameter yang digunakan untuk merancang bilah HAWT (Zahrah, 2014).

$$r = 0,22 + \left[\left(\frac{R-0,22}{n} \right) \times \text{jumlah elemen} \right] \quad (1)$$

Jari-jari parsial (r) jarak atau posisi elemen bilah dari titik pangkal. Sedangkan R merupakan panjang bilah yang digunakan dalam meter, n adalah jumlah bilah pada persamaan 2.

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda_R \quad (2)$$

λ_r adalah TSR parsial yang ditentukan dengan persamaan 3.

$$C_r = \frac{16\pi \times R \times \frac{R}{r}}{9\lambda^2 \times n \times C_L} \quad (3)$$

C_r adalah lebar chord yang dihitung dari jumlah bilah yang digunakan dan C_L dari hasil simulasi karakteristik airfoil pada persamaan 4.

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \quad (4)$$

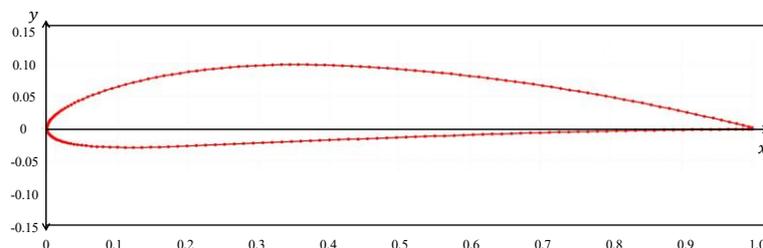
ϕ adalah flow angle, merupakan parameter yang akan digunakan untuk menentukan twist (β) bilah HAWT pada persamaan 5.

$$\beta = \phi - \alpha \quad (5)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Geometri Airfoil NACA 4412

Airfoil yang digunakan adalah tipe NACA 4412. Airfoil ini memiliki koordinat yang diinputkan pada software QBlade dalam bentuk file berekstensi .dat sehingga terbentuk profil seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2. Selanjutnya airfoil ini perlu untuk diteliti lebih lanjut terkait performanya sebelum dijadikan geometri dasar untuk merancang bilah HAWT. Analisis performa ini dilakukan menggunakan kode XFOil direct analysis pada software QBlade. Kode ini umumnya digunakan secara luas dan mampu memprediksi performa airfoil dengan hasil yang akurat (Zhang dkk., 2019).



Gambar 2: Skema geometri airfoil naca 4412

3.2 Karakteristik Airfoil NACA 4412 untuk Desain Bilah HAWT

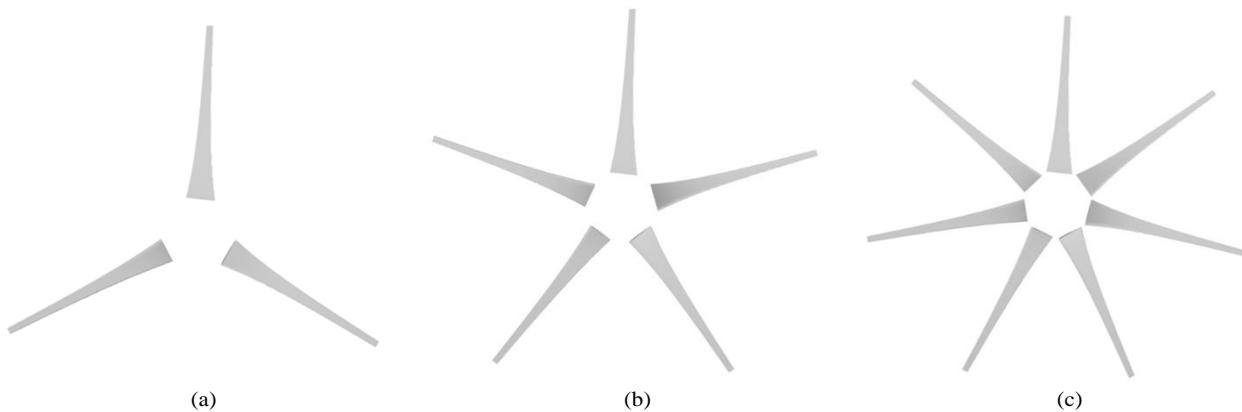
Ketika sebuah benda apapun bergerak melalui sebuah fluida, suatu interaksi antara benda dengan fluida terjadi. Gaya resultan dengan arah yang sama (sejajar) kecepatan hulu disebut sebagai gaya hambat (*drag*), D , dan gaya resultan yang tegak lurus terhadap arah kecepatan hulu disebut sebagai gaya angkat (*lift*), L . Untuk turbin angin bertipe horizontal membutuhkan gaya angkat (*lift*) yang besar dan sebisa mungkin membuat gaya hambat (*drag*) kecil. Sedangkan untuk turbin angin bertipe vertikal dilakukan hal sebaliknya (Fonseca & Carvalho., 2022).

Tabel 1: Karakteristik Airfoil NACA 4412

Parameter	Value	α (°)
$C_L/C_D - \alpha$	132,6	6
$C_L - \alpha$	1,62	15
$C_D - \alpha$	1,66	90

Langkah awal penelitian yaitu melakukan simulasi untuk menentukan karakteristik airfoil NACA 4412 yang akan digunakan pada HAWT. Hal ini berguna sebagai acuan dalam merancang bilah turbin angin. Parameter yang penting untuk menganalisis karakteristik airfoil adalah *Coefficient of Lift* (C_L) dan *Coefficient of Drag* (C_D). C_L sangat bergantung pada *angle of attack* (α) yang merupakan arah datangnya aliran fluida relatif terhadap airfoil atau sering disebut sebagai sudut serang. Tabel 2 menunjukkan hasil simulasi airfoil NACA 4412 dengan nilai C_L/C_D tertinggi yaitu 132,6 pada α sebesar 6°. Sedangkan Nilai

CL terbesar adalah 1,62 pada α bernilai 15° . Sedangkan nilai CD pada airfoil yang disimulasikan tertinggi adalah 1,66 dengan α bernilai 90° . Dari data tersebut airfoil NACA 4412 memiliki karakteristik yang baik, hasil ini mirip dengan penelitian Sarjito (2018) dimana menunjukkan bahwa nilai lift NACA 4412 yang besar dan drag yang lebih kecil untuk perancangan bilah HAWT (Sarjito, 2018).

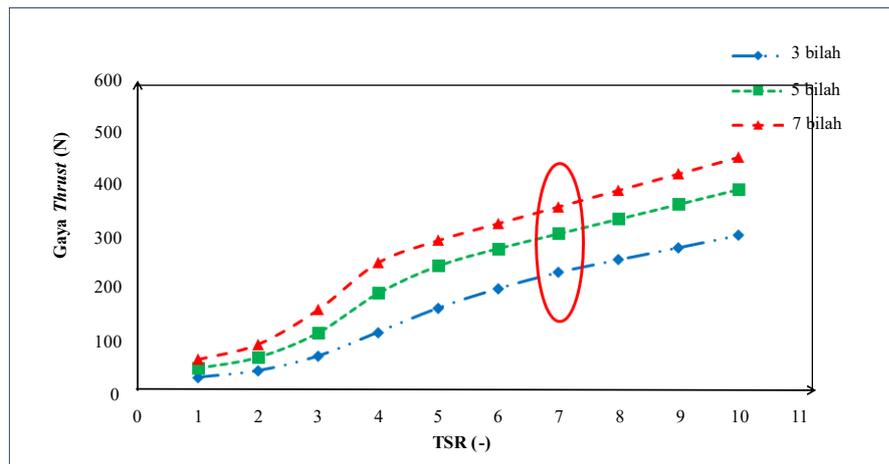


Gambar 3: Desain bilah HAWT: (a) 3 bilah, (b) 5 bilah, dan (c) 7 bilah.

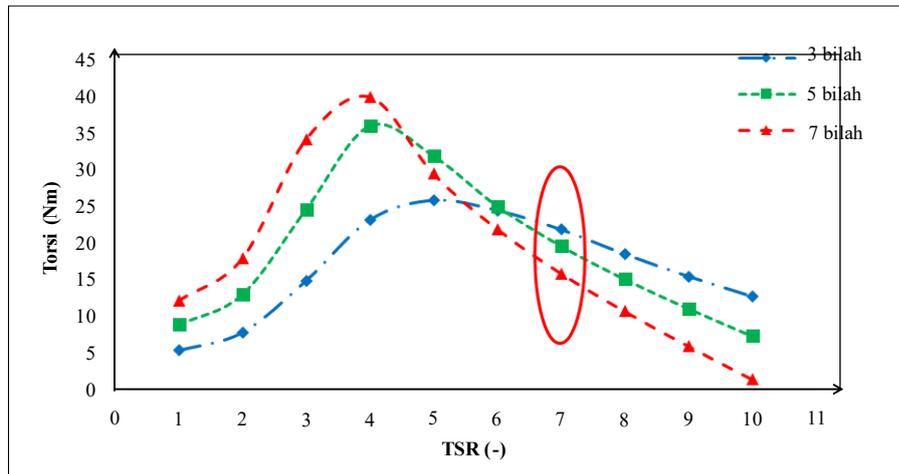
Langkah selanjutnya adalah melakukan optimasi bilah. Proses optimasi dilakukan agar membuat bentuk bilah lebih proporsional dan lebih rasional untuk diaplikasikan pada HAWT. Parameter bilah yang dioptimasi yaitu *twist* dan *chord* pada nilai C_L/C_D tertinggi serta menggunakan persamaan Betz pada setiap elemen untuk memperoleh geometri bilah yang optimal. Gambar 3 merupakan desain bilah HAWT yang telah di optimasi dengan variasi 3, 5 dan 7 bilah.

3.3 Parameter Performa HAWT

Beberapa parameter penting untuk mengevaluasi performa turbin angin yaitu Gaya *thrust*, Torsi, Cp, dan Daya Mekanik HAWT. Gaya *thrust* merupakan gaya dorong yang mampu dihasilkan oleh suatu turbin angin tipe HAWT. Gaya *thrust* muncul akibat adanya perbedaan tekanan pada bilah turbin yang dipengaruhi oleh aliran angin yang melalui rotor. Pada Gambar 3 merupakan hubungan antara Gaya *thrust* terhadap TSR pada variasi 3, 5 dan 7 bilah pada HAWT. Gaya *thrust* terbesar yaitu pada turbin yang memiliki jumlah 7 bilah sebesar 354,54 N pada TSR 7 tertinggi. Kemudian, Nilai tertinggi selanjutnya diikuti oleh variasi bilah dengan jumlah 5 dan 3 berturut-turut sebesar 303,09 N dan 228,72 N pada TSR 7. Gaya *thrust* berpengaruh terhadap performa turbin angin. Semakin besar gaya *thrust* yang dihasilkan maka semakin besar pula daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin tersebut. Namun, hal tersebut bergantung pada desain turbin yang optimal, kecepatan angin, dan faktor-faktor lainnya yang mempengaruhi performa turbin angin.

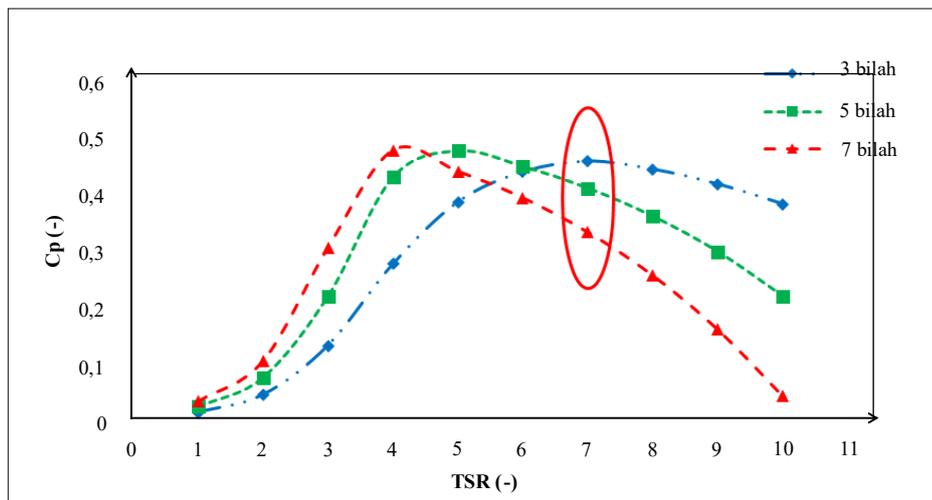


Gambar 4: Gaya *thrust* vs TSR pada 3 variasi jumlah bilah

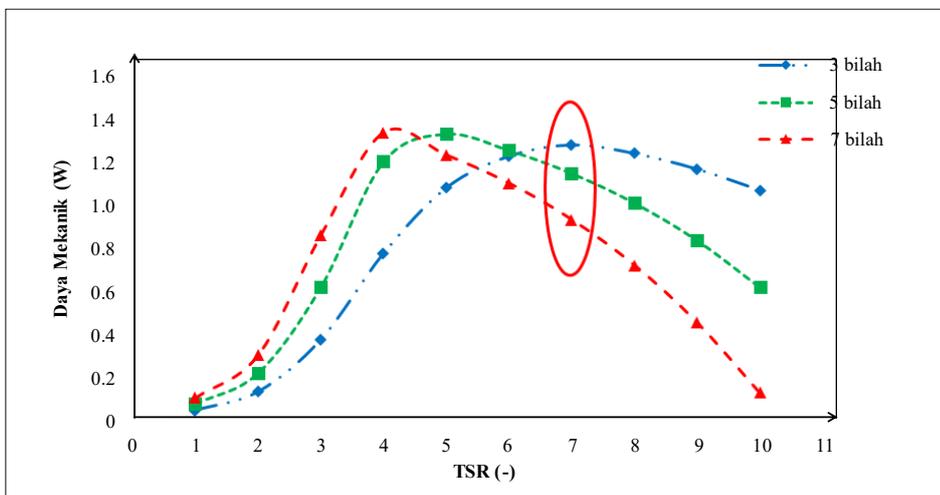


Gambar 5: Torsi vs TSR pada 3 variasi jumlah bilah

Torsi merupakan gaya yang menyebabkan suatu objek berputar atau bergerak secara melingkar. Besarnya torsi yang dihasilkan akan sangat menentukan performa akhir dari turbin angin tersebut. Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan antara torsi terhadap TSR pada variasi jumlah bilah 3, 5 dan 7 pada HAWT. Turbin angin dengan jumlah 3 bilah memiliki nilai torsi terbesar pada TSR 7 yaitu 21,89 Nm. Sedangkan torsi yang terkecil terjadi pada jumlah 7 bilah bernilai 15,95 Nm. Namun, turbin dengan jumlah 7 bilah akan memiliki torsi terbesar pada TSR 4 yaitu bernilai 39,98 Nm. Hal ini menunjukkan semakin banyak jumlah bilah, pada kondisi kecepatan angin tertentu torsi yang dihasilkan tidak optimal sehingga mengakibatkan performa turbin tersebut akan menurun.



Gambar 6: Coefficient of Performance (Cp) vs TSR pada 3 variasi jumlah bilah



Gambar 7: Daya mekanik vs TSR pada 3 variasi jumlah bilah

Coefficient of Performance (C_p) merupakan sebuah rasio yang ditentukan berdasarkan daya yang dihasilkan oleh turbin angin dengan daya kinetik yang mengalir melaluinya. Gambar 6 menunjukkan grafik hubungan C_p terhadap TSR pada variasi jumlah bilah HAWT. Nilai C_p tertinggi dihasilkan oleh turbin angin dengan variasi 3 bilah yaitu sebesar 0,46. Kemudian, turbin angin dengan variasi jumlah 7 bilah memiliki C_p terendah bernilai 0,34. Penelitian lain menunjukkan kecenderungan yang sama, pada turbin angin dengan 3 bilah, 5 bilah, dan 6 bilah masing-masing memberikan C_p 0,45; 0,2; dan 0,4 masing-masing (Eltayesh, dkk., 2021). Hal ini menunjukkan bahwa semakin banyak jumlah bilah dapat menurunkan performa dari turbin angin pada kondisi kecepatan angin tertentu. Tujuan utama dari desain turbin angin adalah untuk menghasilkan energi yang optimal. Semakin banyak energi yang dihasilkan maka akan semakin baik performa dari turbin angin. Pada variasi jumlah bilah HAWT diperoleh bahwa turbin yang berjumlah 3 bilah dapat menghasilkan daya mekanik terbesar pada TSR 7 yaitu 1,28 kW. Sedangkan turbin dengan variasi jumlah 7 bilah menghasilkan daya terkecil pada TSR 7 yaitu sekitar 0,93 kW. Namun, turbin 7 bilah akan menghasilkan daya tertinggi dibandingkan dengan lainnya ketika TSR 4 sebesar 1,33 kW. Sedangkan turbin 5 bilah mampu menghasilkan daya terbesar yaitu 1,33 kW pada TSR 5.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian disimpulkan bahwa HAWT dengan jumlah 3 bilah memiliki performa terbaik pada TSR 7, yaitu C_p sebesar 0,46; Torsi bernilai 21,89 Nm serta daya mekanik sebesar 1,28 kW. Dengan demikian, performa HAWT tidak selalu linear terhadap jumlah bilah. Meskipun demikian, tidak ada jumlah optimum tentang penggunaan jumlah bilah yang optimum untuk mendapatkan performa HAWT yang terbaik. Hal ini dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu kondisi lingkungan seperti kecepatan angin, lokasi instalasi, design airfoil, serta material dan struktur pada HAWT tersebut. Penambahan jumlah bilah akan mempengaruhi performa dan daya yang dihasilkan. Namun performa turbin akan menurun ketika jumlah bilah telah melewati batas optimum sehingga pengaruh dari gaya drag akan semakin signifikan. Selain itu, dengan bertambahnya jumlah bilah akan membutuhkan daya yang lebih dikarenakan beban dari setiap bilah turbin tersebut.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Institut Riset dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM), Institut Teknologi Sumatera (ITERA), atas pemberian dana melalui Dana Hibah ITERA 2023 dengan nomor kontrak 631aw/IT9.2.1/PT.01.03/2023.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelgalil Eltayesh, F. C.-B. (2021). Experimental and numerical investigation of the effect of blade number on the aerodynamic performance of a small-scale horizontal axis wind turbine. *Alexandria Engineering Journal*.
- Fattal, T. (2018). Increasing Wind Turbine Efficiency. *International Journal of Technology and Engineering Studies*.
- Fonseca, L., & Carvalho, M. (2022). Greenhouse gas and energy payback times for a wind turbine installed in the Brazilian Northeast. *Frontiers in Sustainability*.
- Geofisika, B. M. (2020). *Kecepatan Angin Maksimum, Minimum dan Rata-Rata Menurut Bulan*. Badan Pusat Statistik.
- Ghanem, S., Fandi, G., Kyncl, J., & Müller, Z. (2022). A novel scheme for control by active and reactive power utilized in gearless variable speed wind turbine system with PMSG connected to the grid. *Electrical Engineering & Electromechanics*.
- Hesty, N. W. (2022). Estimasi Potensi Energi Angin Indonesia Menggunakan Model Weather Research and Forecast - Four Dimension Data Assimilation (WRF-FDDA). *Jurnal Sains Dirgantara*.
- Hongfu Zhang, J. W. (2022). Effects of blade number on the aerodynamic performance and wake characteristics of a small horizontal-axis wind turbine. *Energy Conversion and Management*.
- Jiahao Wen, L. Z. (2023). Mode interpretation of blade number effects on wake dynamics of small-scale horizontal axis wind turbine. *Energy*.
- Pandey, D., & Singh, S. (2020). Introduction and Controlling of Wind Turbine in Wind Energy Conversion System. *Computer Science, Engineering*.
- Sarjito. (2018). Studi Karakteristik Airfoil NACA 2410 dan NACA 0012 Pada Berbagai Variasi Angle of Attack. *Media Mesin, 11*(ISSN 1411-4348), 15-22.
- Siahaya, A., Setiati, R., & Malinda, M. (2021). The Opportunities and Constraints of Wind Energy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*.
- Wijaya, F., Hindarto, A., & Tiyono. (2017). The development of wind energy resources as wind turbine grid tied using SCIG in Bantul South Java Island. *9th International Conference on Information Technology and Electrical Engineering (ICITEE)*.
- Zahrah, I. (2014). *Dasar-dasar perancangan Bilah, Bahan Materi Pembelajaran*. Indonesia: PT. Lentera Angin Nusantara.
- Zhang, D.-H., Ding, L., Huang, B., Chen, X.-M., & Liu, J.-T. (2019). Optimization Study on the Blade Profiles of A Horizontal Axis Tidal Turbine Based on BEM-CFD Model. *China Ocean Engineering, 33*(4), 436–445.