

Designing a Tapperless Blade with an S-4320 Airfoil on a Micro-Scale Horizontal Axis Wind Turbine (Case Studies at PT Lentera Bumi Nusantara)

Perancangan Bilah Tapperless dengan Airfoil S-4320 pada Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Mikro (Studi Kasus di PT Lentera Bumi Nusantara)

Reza Simatupang^{1*}, Deddy Supriatna¹

Abstract

This article aims to design a taperless blade in a micro-scale wind turbine in medium wind speed, a case study at PT Lentera Bumi Nusantara. The methodology used in this research is quantitative research methods. Based on the test results in calculating the data using Microsoft Excel software and the blade airfoil design simulation using Qblade software, the use of the S-4320 airfoil in the application of the taperless blade design has research results that show that the airfoil design of the blade produces mechanical power at moderate wind speeds. It can be concluded that this blade design shows that the taperless blade with S-4320 airfoil can be applied to medium wind speeds in micro-scale horizontal axis wind turbines.

Keywords

Airfoil, Wind Turbine, Blade

Abstrak

Artikel ini bertujuan untuk merancang bilah jenis taperless pada turbin angin skala mikro dalam kecepatan angin sedang, studi kasus pada PT Lentera Bumi Nusantara. Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan metode penelitian kuantitatif. Berdasarkan hasil pengujian dalam perhitungan data menggunakan software Microsoft Excel dan simulasi perancangan desain airfoil bilah menggunakan software Qblade, penggunaan airfoil S-4320 dalam pengaplikasian desain bilah jenis taperless memiliki hasil penelitian yang menunjukkan bahwa desain airfoil bilah tersebut menghasilkan tenaga mekanik pada kecepatan angin sedang. Dapat disimpulkan dalam desain bilah ini menunjukkan bahwa bilah jenis taperless dengan airfoil S-4320 dapat diterapkan pada kecepatan angin sedang pada turbin angin sumbu horizontal skala mikro.

Kata Kunci

Airfoil, Turbin Angin, Bilah

¹ *Jurusan Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Fakultas Keguruan dan Ilmu Pendidikan, Kampus Ciwaru, Serang, Banten, Indonesia*

*rsimatupang@gmail.com

Submitted : December 30, 2020. Accepted : January 30, 2021. Published : January 31, 2021.

PENDAHULUAN

Turbin angin adalah pembangkit listrik yang berasal dari pemanfaatan energi angin. Energi angin yang terdapat di alam semesta kemudian dikonversi menjadi energi mekanik oleh bilah akibat dari sapuan angin yang menerjang bilah sehingga menggerakkan bilah untuk berputar, selanjutnya dari energi mekanik tersebut kemudian diteruskan untuk menggerakkan putaran generator turbin angin sehingga turbin angin dapat memperoleh energi listrik. Energi listrik yang diperoleh dari turbin angin kemudian disimpan dalam baterai.

Turbin angin sumbu horizontal pada umumnya memiliki tiga jenis tipe bilah, yaitu: bilah jenis taper, bilah jenis taperless, dan bilah jenis inverse taper. Ketiga jenis bilah tersebut memiliki kegunaan di masing-masing klasifikasi kecepatan angin. Bilah jenis taper memiliki ciri-ciri mengecil ke ujung daripada pangkalnya biasanya digunakan untuk kecepatan angin tinggi, bilah jenis taperless memiliki ciri-ciri ujung dan pangkalnya memiliki lebar yang sama biasanya digunakan untuk kecepatan angin sedang, dan bilah jenis inverse taper memiliki ciri-ciri membesar ke ujungnya daripada pangkalnya biasanya digunakan untuk kecepatan angin yang rendah. Karena putarannya yang rendah, maka torsi yang didapatkan akan tinggi.[1]

Dalam desain bilah untuk turbin angin sangat bergantung pada karakteristik aerodinamis dari airfoil yang digunakan di turbin angin. Geometri dari sebuah airfoil sangat mempengaruhi secara langsung terhadap gaya angkat dan gaya hambat selama putaran bilah di turbin angin berlangsung dan juga mempengaruhi pada jumlah energi yang dihasilkan oleh turbin angin.[2]

Oleh karena itu penulis melakukan penelitian sebuah perancangan desain bilah jenis taperless dengan airfoil S-4320 pada turbin angin sumbu horizontal skala mikro, studi kasus di PT Lentera Bumi Nusantara.

Energi Angin

Energi angin merupakan wujud secara tidak langsung pada energi matahari karena proses terjadinya angin disebabkan oleh adanya pemanasan yang tidak merata pada permukaan bumi oleh matahari dan perputaran bumi pada porosnya.[3]

Turbin Angin

Turbin angin adalah mesin konversi energi angin menjadi energi listrik. Turbin angin dibedakan menjadi dua jenis, yaitu: Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) dan Vertikal Axis Wind Turbine (VAWT). Perbedaan kedua jenis turbin angin tersebut terdapat pada posisi bilah yang digunakan di turbin angin, posisi letak generator yang digunakan, dan juga posisi poros utama pada turbin angin. [2]

Bilah

Bilah adalah benda penggerak di turbin angin, bilah dapat berputar karena tersapu oleh angin. Desain bilah turbin angin merupakan perpaduan yang seimbang antara aerodinamis dan pertimbangan struktural. Dalam pertimbangan aerodinamis bilah turbin angin biasanya mendominasi desain dua pertiga bagian luar bilah, sedangkan pertimbangan struktural lebih mengutamakan desain sepertiga bagian dalam bilah. [4]

Airfoil

Karakteristik airfoil terdapat persyaratan aerodinamis dan juga struktural. Parameter terpenting dari desain airfoil bilah turbin angin adalah ketebalan airfoil maksimum dan akornya lokasi ketebalan maksimum. Ketebalan profil harus dapat menampung struktur tersebut untuk kekuatan dan kekakuan bilah turbin angin. [5]

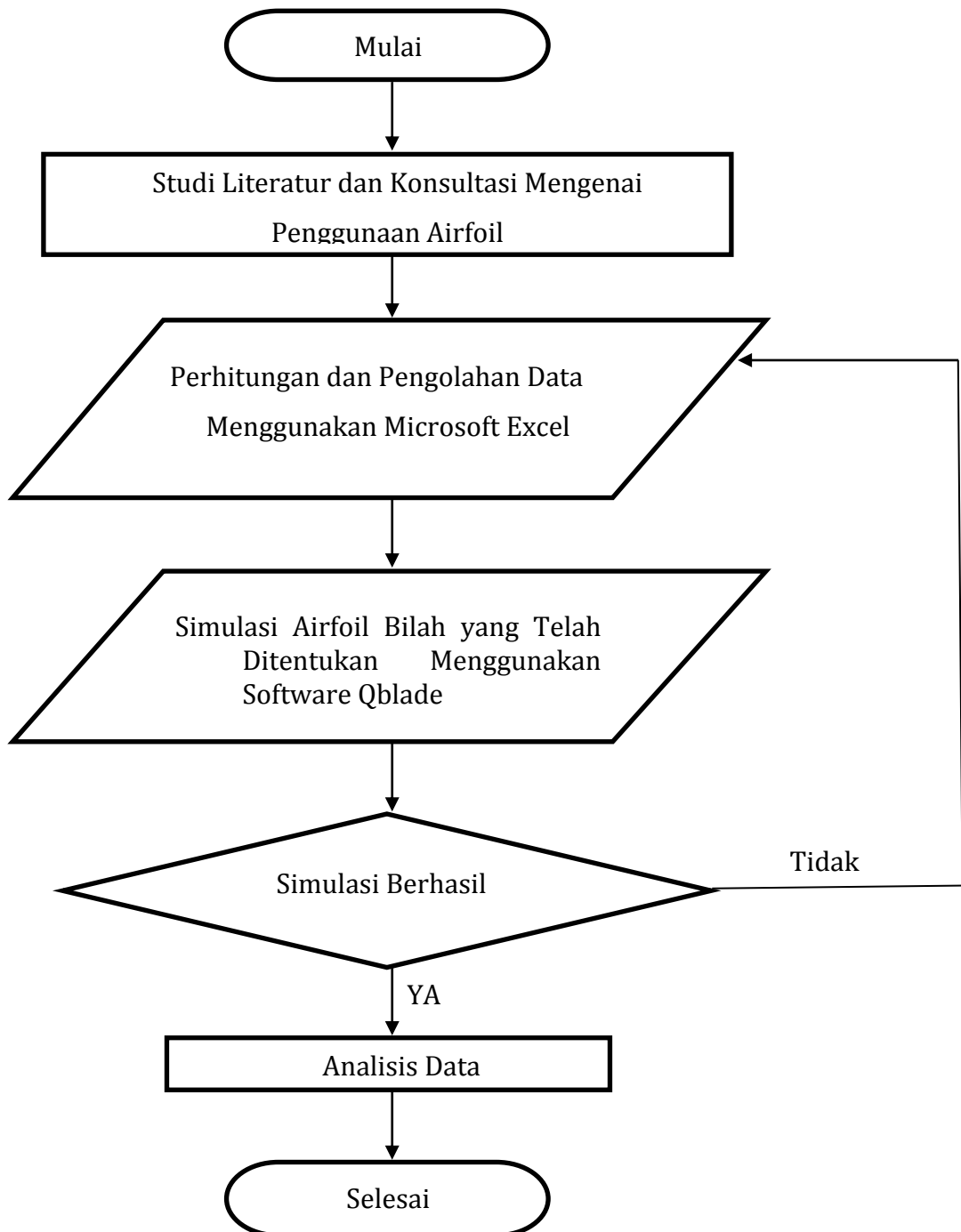
Penelitian Relevan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, dalam penelitian yang telah dilakukan dengan judul penelitian yaitu Airfoil Selection Methodology for Small Wind Turbines. Hasil penelitian tersebut menjelaskan bahwa setiap airfoil yang digunakan pada

bilah turbin angin memiliki karakteristik yang berbeda pada penggunaannya dan juga kecocokan pada tipe kecepatan angin tertentu.[6]. Tipe kecepatan angin yang dimaksud adalah, yaitu: kecepatan angin tinggi, kecepatan angin sedang, dan kecepatan angin rendah.

METODA

Metode penelitian yang digunakan adalah dengan metode kuantitatif. Metode riset dengan karakteristik sistematis dan juga matematis. Teknik dalam melakukan pengumpulan data pada penulisan artikel ini adalah dengan metode studi kasus. Berikut ini langkah kerja dalam proses penelitian yang dilakukan tertera pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram alir langkah kerja

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Hasil penelitian pada desain bilah jenis taperless dengan airfoil S-4320 pada turbin angin sumbu horizontal skala mikro, studi kasus di PT Lentera Bumi Nusantara. Diawali dengan proses penentuan parameter perancangan bilah, penentuan geometri bilah, dan mensimulasikan desain bilah di software Qblade untuk mengetahui hubungan torsi dengan tip speed ratio, hubungan efisiensi dengan tip speed ratio, dan hubungan daya dengan kecepatan rotor.

Perancangan Parameter Bilah

Dalam perancangan desain bilah jenis taperless, membutuhkan parameter yang telah ditetapkan dan juga yang akan dihitung. Parameter ini yang digunakan untuk perhitungan rancangan geometri bilah turbin angin sebagai dasar desain pada bilah tersebut.

Tabel 1. Parameter Perancangan Bilah

Daya Listrik (watt)	Efisiensi					Daya Angin (Watt)	V Max (m/s)	Luas Sapuan (m ²)	Jari-jari (m)
	Bilah	Transmisi	Generator	Controller	Sistem				
500	0,3	1	0,9	0,9	0,243	1543,2	12	1,94	0,80
	0,4				0,324	1543,2		1,46	

Berikut adalah persamaan parameter yang dihitung:

Efisiensi bilah adalah sebesar 0,3-0,4, efisiensi transmisi dengan hasil 1, efisiensi generator dengan hasil 0,9, dan efisiensi controller dengan hasil 0,9. Kemudian didapatkan efisiensi sistem secara keseluruhan dengan hasil 0,243-0,324.

$$\eta_{sistem} = \eta_{bilah} \times \eta_{transmisi} \times \eta_{generator} \times \eta_{kontroler}$$

Dimana:

η_{sistem} : Efisiensi Sistem

η_{bilah} : Efisiensi Bilah

$\eta_{transmisi}$: Efisiensi Transmisi

$\eta_{generator}$: Efisiensi Generator

$\eta_{kontroler}$: Efisiensi Kontroler

Daya angin yang dibutuhkan untuk menghasilkan daya listrik sebesar 500 Watt dengan efisiensi sistem yang telah diketahui adalah dengan menggunakan persamaan sebagai berikut,

$$P_a = \frac{P_e}{\eta_{sistem}} \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

P_a : Daya Angin yang Dibutuhkan (Watt)

P_e : Daya Listrik yang Dihasilkan (Watt)

Kecepatan angin maksimum, pada penelitian ini kecepatan angin yang digunakan sebesar 12 m/s.

Luas sapuan bilah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$A = \frac{2 P_a}{\rho V_{max}^3} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

A : Luas Sapuan (m²)

ρ : Massa Jenis Udara (1,225 kg/m³)

Jari-jari bilah dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

A : Luas Sapuan (m²)

π : Jari- jari (m)

Sebelum perhitungan geometri bilah terlebih dahulu menentukan airfoil yang digunakan dan mencari hasil gaya angkat dan gaya hambat pada simulasi menggunakan software Qblade. Parameter yang telah ditentukan adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Parameter perancangan bilah

TSR	Airfoil	Cl/Cd	Cr	Jumlah Bilah
7	S-4320	55,65	0,12	3

Penentuan Geometri Bilah

Dalam tahap ini adalah tahap yang menentukan jumlah elemen pada bilah untuk desain bilah pada turbin angin.

Tabel 3. Elemen-elemen bilah

Elemen	r Parsial	TSR Parsial	Flow Angle (deg)	cl	Alpha	Twist (beta)	Twist Linear 75%	twist linier 75%
0	0,17	1,49	22,61	1,19	6,6	16,01		10,69
1	0,233	2,04	17,42	0,87	3,7	13,72		10,35
2	0,296	2,59	14,07	0,68	1,9	12,17		10,00
3	0,359	3,14	11,77	0,56	0,7	11,07		9,65
4	0,422	3,69	10,10	0,48	0	10,10		9,31
5	0,485	4,24	8,84	0,42	-0,5	9,34		8,96
6	0,548	4,80	7,85	0,37	-0,9	8,75		8,61
7	0,611	5,35	7,06	0,33	-1,2	8,26	8,26	8,26
8	0,674	5,90	6,42	0,30	-1,5	7,92	7,92	7,92
9	0,737	6,45	5,88	0,27	-1,7	7,58		7,57
10	0,8	7,00	5,42	0,25	-1,9	7,32		7,22

Pada Tabel 3, kolom satu merupakan pembagian elemen pada perancangan bilah yang dibagi menjadi 10 elemen. Pada kolom kedua merupakan bagian nilai innermost station atau jarak dari pusat hub ke bagian bilah, misal 0,170 meter. Pada elemen ke 0, jari-jari parsial ditentukan sesuai bagian bilah yang tidak akan menempel ke generator, namun pada elemen selanjutnya, nilai jari-jari parsial dihitung menggunakan rumus:

$$r = 0,170 + \left[\left(\frac{R-0,170}{n} \right) \times (\text{elemen}) \right] \dots\dots\dots (4)$$

$$r = 0,170 + \left[\left(\frac{0,800-0,170}{10} \right) \times (1) \right]$$

$$r = 0,170 + [0,063]$$

$$r = 0,233 \text{ m}$$

Kemudian pada kolom ketiga, merupakan nilai TSR parsial untuk tiap elemen bilah.

Mencari nilai TSR parsial menggunakan rumus:

$$\lambda r = \frac{r}{R} \times \lambda R \dots\dots\dots (5)$$

$$\lambda r = \frac{0,233}{0,800} \times 7$$

$$\lambda r = 0,29125 \times 7$$

$$\lambda r = 2,04$$

Dimana:

λR : Nilai TSR yang digunakan

Kemudian, nilai flow angel (sudut alir) didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda r} \dots\dots\dots(7)$$

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{2,04}$$

$$\phi = \frac{2}{3} \times 26,104$$

$$\phi = 17,42^\circ$$

Nilai twist (sudut puntir) didapatkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$\beta = \phi - \alpha \dots\dots\dots (8)$$

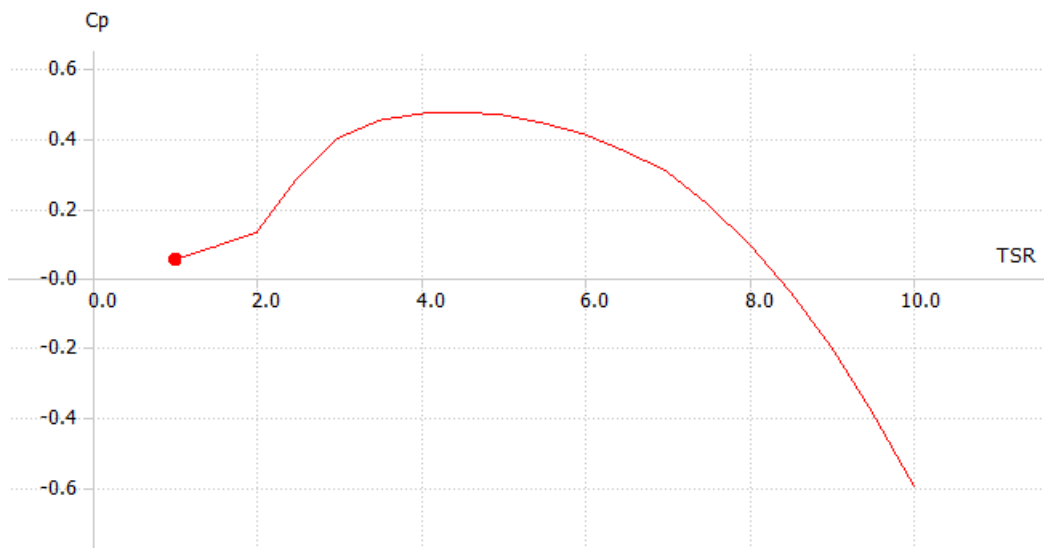
$$\beta = 17,42^\circ - 3,7$$

$$\beta = 13,72^\circ$$

Twist sangat memengaruhi proses pembuatan bilah pada kayu. Untuk sudut puntir yang tidak linear, maka perlu dilinearisasi dan dimodifikasi untuk memudahkan pembuatan bilah kayu pada turbin angin.

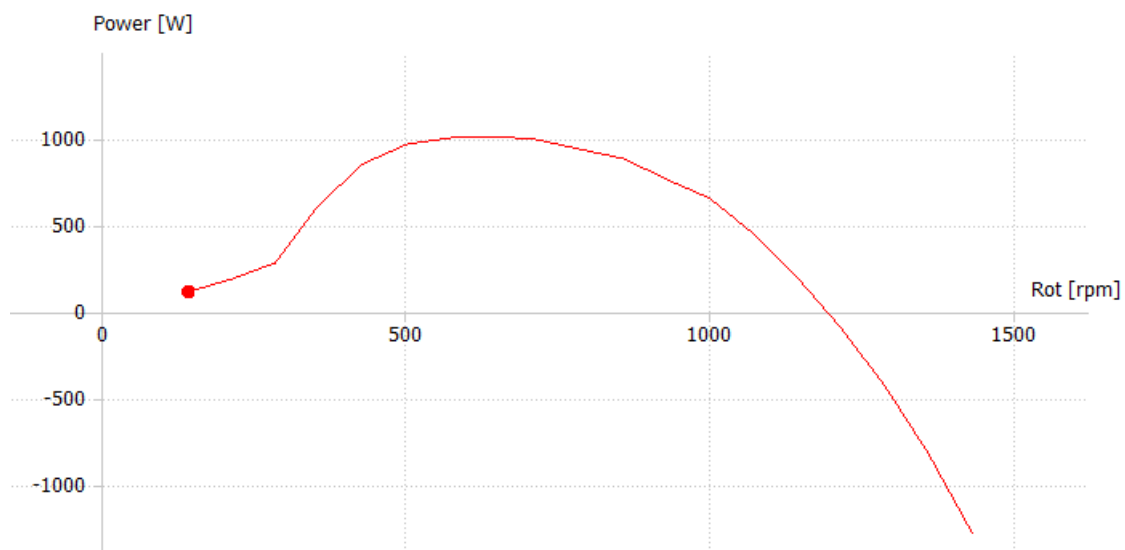
Setelah didapatkan panjang chord dan sudut twist yang akan digunakan, kemudian dilakukannya simulasi menggunakan software Qblade. Simulasi dilakukan untuk mengetahui hasil hubungan torsi dengan tip speed ratio, hubungan efisiensi dengan tip speed ratio, dan hubungan daya dengan kecepatan rotor pada desain yang telah dirancang.

Hubungan Efisiensi dengan Tip Speed Ratio



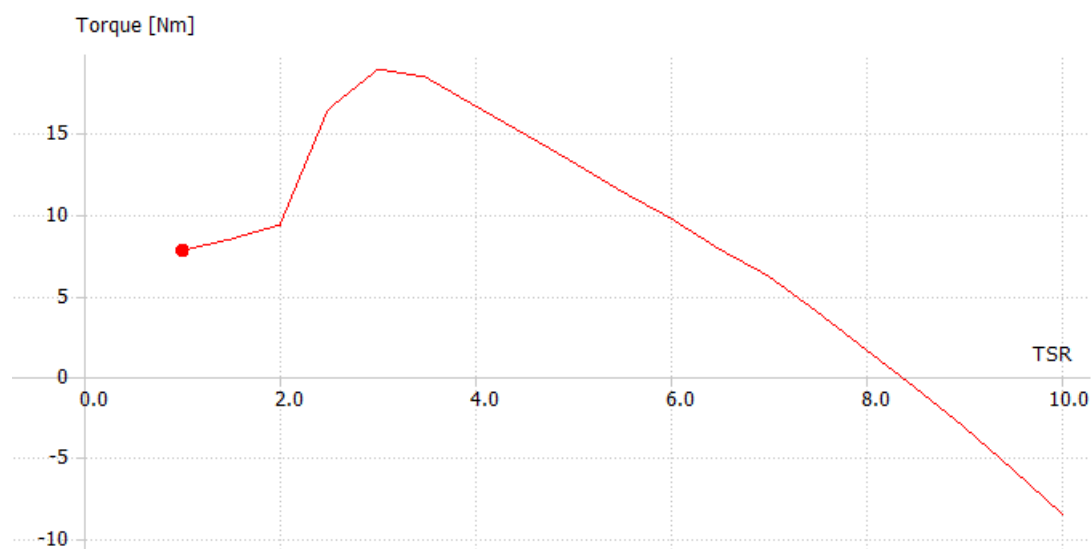
Gambar 3. Grafik cp dan tip speed ratio

Hubungan Daya dengan Kecepatan Rotor



Gambar 4. Grafik daya dan rotor

Hubungan Torsi dengan Tip Speed Ratio



Gambar 5. Grafik torsi dan tip speed ratio

Ketiga grafik tersebut merupakan hasil dari simulasi rancangan bilah jenis taperless menggunakan software Qblade. Simulasi dilakukan dengan cara memasukkan data perhitungan dan penentuan geometri bilah pada software Qblade.

Pembahasan

Setiap airfoil pada pengaplikasian bilah turbin angin, baik itu bilah jenis taper, bilah jenis taperless, dan bilah jenis inverse taper memiliki karakteristik yang berbeda-beda pada setiap hasil yang dilakukan dalam simulasi di software Qblade. Jadi faktor utama dalam efisiensi aerodinamis sebuah bilah yang digunakan pada turbin angin adalah airfoil yang digunakan.

Sesuai dengan hasil penelitian yang ingin dicapai untuk merancang aerodinamis sebuah airfoil pada pengaplikasian bilah turbin angin sumbu horizontal skala mikro terkait gaya angkat dan gaya hambat yang dihasilkan. Untuk pengujian penelitian ini dilakukan pada simulasi software Qblade dalam merancang desain airfoil pada bilah turbin angin. Berdasarkan hasil pengujian torsi, daya, dan efisiensi pada simulasi Qblade. Pengujian

menunjukkan bahwa adanya hasil yang berdampak baik terhadap aerodinamis penggunaan airfoil S-4320 pada turbin angin sumbu horizontal skala mikro, studi kasus di PT Lentera Bumi Nusantara.

SIMPULAN DAN SARAN

Simpulan

Desain bilah jenis taperless telah dihasilkan. Hasil penentuan geometri bilah menunjukkan bahwa bilah yang dihasilkan memiliki jari-jari bilah 0,8 m, panjang bilah 0,77 m, lebar bilah 0,12 m. Sudut puntir dari pangkal keujung sekitar $10,69^\circ$ sampai $7,22^\circ$. Hasil ini memperlihatkan bahwa penerapan bilah taperless pada turbin angin sumbu horizontal skala mikro sesuai untuk kecepatan angin yang ada di lokasi wilayah pesisir pantai Tasikmalaya dalam kisaran 7-12 m/s dengan nilai C_p maksimum 0,47.

Saran

Meskipun airfoil yang dipilih sangat efisien secara aerodinamis, kekuatan mekanik dan proses pembuatan bilah adalah proyek penelitian berikut untuk menggunakannya dalam produksi turbin angin sumbu horizontal.

DAFTAR RUJUKAN

- [1] Nuraini, A., & Abadi, C. S. (2019). Analisis Perbandingan Bilah Turbin Angin Jenis Taper dengan Taperless pada Turbin Angin Skala Mikro di PT . Lentera Bumi Nusantara, 138–146.
- [2] Chen, X., Katz, N., & Peters, D. (2014). Optimization of Wind Turbine Airfoils / Blades and Wind Farm Layouts.
- [3] Pudjanarsa, A., & Nursuhud, D. (2012). *Mesin Konversi Energi*. Surabaya: ANDI.
- [4] Nijssen, R., & Povl, B. (2013). *Advances f For now focus has been made here on two parts production strategies. Development* (Vol. 134).
- [5] Grasso, F. (2011). Usage of numerical optimization in wind turbine airfoil design. *Journal of Aircraft*, 48(1), 248–255. <https://doi.org/10.2514/1.C031089>
- [6] Salgado, V., Troya, C., Moreno, G., & Molina, J. (2016). Airfoil selection methodology for Small Wind Turbines. *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(4), 1410–1415.