

Perancangan Bilah Tipe *Taperless* dengan Menggunakan *Airfoil S2046*

Yogi Ardiansyah^{1)*}, Iwan Nugraha Gusniar²⁾, Oleh³⁾

¹⁾Program Studi Teknik Mesin Universitas Singaperbangsa Karawang
Kabupaten Karawang, Jawa Barat 41361

Email: yogiarr99@gmail.com

^{2,3)}Jurusan Teknik Mesin, Universitas Singaperbangsa Karawang
Kabupaten Karawang, Jawa Barat 41361

Email: iwan.qusniar@ft.unsika.ac.id oleh@staff.unsika.ac.id

doi: <https://doi.org/10.24843/METTEK.2022.v08.i02.p01>

Abstrak

Krisis kebutuhan energi mendorong masyarakat global untuk mengatasi dominasi pembangkit sumber energi berbahan bakar fosil. Salah satu upaya yang dilakukan dengan memanfaatkan sumber energi baru terbarukan yang dinilai memiliki sumber energi yang akan terus terbaharui. PT Lentera Bumi Nusantara terletak di pesisir Pantai Selatan Kabupaten Tasikmalaya merupakan salah satu perusahaan yang telah berhasil mengembangkan pembangkit listrik tenaga bayu skala mikro The Sky Dancer 500. Dengan jenis desain bilah yang digunakan oleh TSD 500, penelitian ini bertujuan untuk mendesain dan mengetahui karakteristik desain bilah dengan jenis NACA *airfoil* S2046. Dalam melakukan perancangan, digunakan metode studi literatur, pemilihan *airfoil*, menganalisis hasil simulasi performa *airfoil*, menentukan desain NACA *airfoil* yang terbaik dan dilakukan finalisasi dengan menggambar desain bilah dari NACA yang telah dianalisis. Perancangan dilakukan dengan menggunakan data kecepatan angin maksimum di PT LBN sebesar 12 m/s. Perancangan dan simulasi performa dilakukan menggunakan software Qblade dengan membandingkan hasil dari desain perancangan bilah menggunakan NACA *airfoil* S2046. Diperoleh hasil perangan dan simulasi NACA *airfoil* S2046 memiliki karakteristik titik TSR puncak pada 5.0.

Kata kunci: Bilah, *Airfoil*, S2046.

Abstract

The energy demand crisis has pushed the global community to overcome the dominance of fossil fuel energy sources. One of the efforts made is by utilizing new renewable energy sources which are considered to have energy sources that will continue to be renewed. PT Lentera Bumi Nusantara located on the southern coast of Tasikmalaya Regency is one of the companies that has succeeded in developing a micro-scale wind power plant The Sky Dancer 500. With the type of blade design used by the TSD 500, this study aims to design and determine the resulting performance of blade designs with different NACA airfoil types. In doing the design, the literature study method was used, airfoil selection, analyzed the results of the airfoil performance simulation, determined the best NACA airfoil design and finalized it by drawing the blade design of the analyzed NACA. The design is carried out using maximum wind speed data at PT LBN of 12 m/s. The design and performance simulation was carried out using Qblade software by comparing the results of the blade design using the NACA airfoil S2046. The results of the design and simulation of NACA airfoil S2046 have an efficiency value of 49%.

Keywords: Blade, *Airfoil*, S2046

1. PENDAHULUAN

Indonesia sebanyak 66% - 80% pembangkit listrik didominasi oleh pembangkit listrik berbahan bakar fosil. Sedangkan kebutuhan listrik di Indonesia diproyeksikan pada tahun 2050 akan meningkat 4,7% per tahun [1]. Hal ini disebabkan laju pertumbuhan baik ekonomi, penduduk dan pemerintahan dalam kelompok komersial, rumah tangga, transportasi dan industri yang semakin meningkat. Dengan adanya fakta kebutuhan energi listrik yang berbanding terbalik dengan ketersediaan energi, maka pemanfaatan energi baru terbarukan sebagai sumber energi pembangkit dapat menjadi jalan tengah untuk keterbatasan persediaan energi pembangkit berbahan bakar fosil atau yang tidak dapat diperbaharui [2].

Energi angin merupakan salah satu energi baru terbarukan yang tersebar di Indonesia dan dapat dimanfaatkan sebagai energi pembangkit suatu pembangkit listrik [3]. Pemanfaatan energi angin sebagai pembangkit dapat dilakukan dengan turbin angin. Turbin angin dapat mengubah energi kinetik angin menjadi energi listrik dengan bantuan generator. Persebaran turbin angin di Indonesia di dominasi oleh turbin angin skala mikro. Turbin angin skala mikro merupakan turbin angin dengan kapasitas turbin tidak lebih dari 40 kW, berdiameter bilah kurang dari 12 meter dan memiliki luas sapuan kurang dari 200 m² [4]. Turbin angin skala mikro dianggap cocok dengan karakteristik angin di Indonesia berkisar 4-12 m/s. Selain itu, turbin angin skala kecil dipilih karena nilai investasinya relatif kecil dan pembangunannya relatif mudah bila dibandingkan dengan turbin angin skala besar [5].

Bilah merupakan salah satu komponen turbin angin yang berfungsi sebagai alat permanen energi angin untuk diubah menjadi energi kinetik. Perancangan bilah juga dapat menentukan performa turbin angin, sehingga dapat dijumpai berbagai macam model rancangan turbin angin terutama pada bagian bilah. Dalam perancangan bilah, diperlukan penggunaan berbagai macam parameter, seperti parameter geometri, radius, *airfoil*, TSR, *cord*, *setting angle*, *angel of attack*, *flow angel* dan jumlah bilah dalam satu turbin angin. Selain parameter, bilah pada turbin angin memiliki tiga klasifikasi model, diantaranya taper, taperless dan inverse taper [5]. Dalam penelitian sebelumnya, Kuntara [6] merancang bilah *Horizontal Axis Wind Turbine* (HAWT) menggunakan *airfoil* NACA 4412 dengan kecepatan angin 10 m/s dan nilai *coefficient power* maksimum 0,53%. Bilah jenis invers taper pada *tip speed ratio* 4,5 diperoleh energi listrik sebesar 5246,15 Wh. Bilah jenis taper pada *tip speed ratio* 7 diperoleh energi listrik sebesar 3596,7 Wh. Dan bilah jenis taperless pada *tip speed ratio* 5 diperoleh energi listrik sebesar 2619,87 Wh.

Proses desain bilah turbin angin dapat dilakukan dengan menggunakan simulasi *software* Qblade. *Software* Qblade memiliki fitur yang dapat mengestimasi hasil performa perancangan bilah tidak jauh dari berbeda dengan hasil di lapangan. Oktaviani [7] merancang bilah HAWT pada kecepatan angin 9 m/s dengan membandingkan hasil koefisiensi dari *airfoil* NACA yang berbeda. Pada *airfoil* NACA 6412 diperoleh koefisiensi 0,41%, *airfoil* NACA 6415 diperoleh koefisiensi 0,40% dan *airfoil* NACA 4415 diperoleh koefisiensi 44%. Penggunaan variasi jenis NACA dilakukan untuk mendapatkan jenis *airfoil* NACA yang sesuai dengan kondisi lapangan dan mengukur efisiensi yang akan diperoleh.

Turbin angin skala kecil dipilih karena nilai investasinya relatif kecil dan pembangunannya relatif mudah bila dibandingkan dengan turbin angin skala besar. Saat ini, turbin angin modern mengaplikasikan prinsip aerodinamis pada bilah sehingga konversi energi menjadi lebih efisien. Di PT Lentera Bumi Nusantara ini tipe *airfoil* yang biasa di pakai yaitu tipe Clark y, NACA 4412, NACA 4415 Dan NACA 3610, oleh karena itu pada perancangan ini akan menggunakan *Airfoil* S2046 dengan menggunakan bilah tipe taperless.

2. METODE

2.1. Definisi angin



Gambar 1. Peta sebaran potensi angin di Indonesia

Angin adalah udara yang dapat berpindah-pindah karena adanya perbedaan tekanan, angin berpindah dari tempat bertekanan tinggi ke tekanan rendah.

Proses terjadinya angin melibatkan 3 langkah khusus:

1. Terjadinya perbedaan penyinaran oleh matahari
2. Terjadinya pemuaiian udara
3. Terjadinya perpindahan udara

Energi angin adalah salah satu jenis sumber energi terbarukan yang potensial untuk menghasilkan energi listrik maupun mekanik melalui proses konversi ke mekanik dan selanjutnya ke listrik, energi kinetik yang terdapat pada angin dapat diubah menjadi energi mekanik pengolahan selanjutnya dari energi mekanik yaitu untuk memutar generator yang dapat menghasilkan listrik.

$$P = \frac{1}{2} \rho AV^3 \dots\dots\dots(1)$$

P = Daya atau Energi Angin (Watt)

A = Luas area yang dilewati

V = Kecepatan Angin (m/s)

ρ = Kerapatan udara (pada keadaan 1 atm,

$$\rho = 1,225 \text{ kg/m}^3)$$

Turbin angin adalah alat yang digunakan untuk mengkonversi energi kinetik menjadi ke dalam bentuk energi lain seperti mekanik dan energi listrik. Turbin angin juga biasa disebut dengan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA).

Berdasarkan jenisnya turbin angin dibedakan menjadi dua jenis:

Turbin angin sumbu vertikal/tegak (TASV) merupakan turbin angin yang sumbu putarnya tegak lurus dengan arah aliran angin atau permukaan tanah. Kelebihan turbin ini yaitu memiliki torsi tinggi sehingga dapat berputar pada kecepatan angin rendah, cocok dioperasikan pada daerah yang berkecepatan rendah-sedang

Turbin angin sumbu horizontal merupakan turbin angin yang mempunyai sumbu putar yang terletak sejajar dengan permukaan tanah dan sumbu putar rotor yang searah dengan arah angin. Pada turbin ini, putaran rotor terjadi karena adanya gaya lift. Turbin ini cocok digunakan pada tipe angin sedang dan tinggi dan banyak digunakan sebagai pembangkit

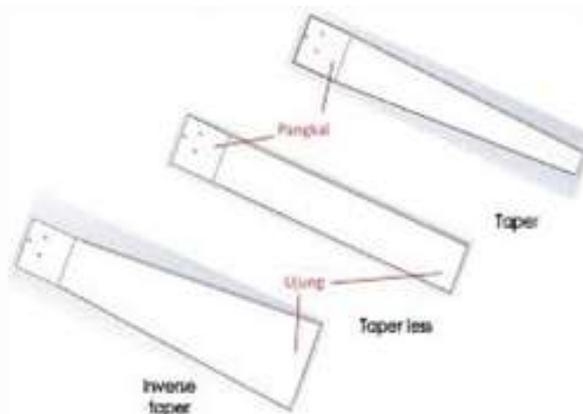
listrik skala besar. Kelebihan dari turbin angin sumbu horizontal memiliki efisiensi yang lebih tinggi dibandingkan dengan sumbu vertikal karena sudu selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin.



Gambar 2. Turbin angin sumbu vertikal dan horizontal

Adapun komponen-komponen yang terdapat pada turbin angin *The Sky Dancer 500* yaitu, sebagai berikut :

Bilah merupakan alat konversi energi angin. Energi angin yang memutar bilah akan diteruskan untuk memutar shaft pada generator sehingga dapat menghasilkan listrik. Tipe bilah yang digunakan pada turbin angin *The Sky Dancer 500* ada tiga tipe, yaitu tipe taper (mengecil ke ujung), tipe taperless (dari pangkal hingga ujung bilah memiliki lebar yang sama), dan tipe invertaper (melebar ke ujung).



Gambar 3 Tipe-tipe pada bilah

Generator yang digunakan pada TSD-500 adalah generator AC 3-phase permanent magnet (*Coggingless technology*), 160 V, 3 A, 500 W, 1000 rpm. Perbedaan generator pada TSD-500 dibandingkan dengan generator turbin lainnya adalah generator ini memiliki teknologi *cogging-less*. Torsi cogging didefinisikan sebagai daya tarik atau interaksi kutub magnet rotor terhadap core pada stator yang menyebabkan suatu hentakan yang dapat mengurangi efisiensi generator.

Fin atau ekor turbin angin berfungsi mengarahkan arah angin. Ukuran ekor perlu disesuaikan dengan turbin angin sehingga mampu mendorong badan turbin ke arah angin. Teknologi ini disebut dengan teknologi *furling*. TSD-500 memiliki sirip ekor yang terbuat dari bahan fiber dan batang ekornya terbuat dari besi. Dengan teknologi *furling* akan memaksimalkan proses konversi energi atau melawan kecepatan angin yang sangat tinggi atau ekstrim. Teknologi *furling* pada TSD 500 digunakan sebagai rem sehingga turbin angin TSD 500 tidak memerlukan rem karena fin akan berputar menjauhi arah datangnya angin

ketika angin datang di atas kecepatan maksimal

Baterai berperan sebagai media penyimpanan energi listrik. Pada baterai terjadi reaksi elektrokimia charging dan discharging. Proses *charging* ini bekerja saat baterai berfungsi sebagai beban dan sumber energinya dari generator, sementara itu proses *discharging* adalah ketika baterai menjadi sumber energi untuk pengisian beban lainnya.

Inverter berfungsi sebagai alat konversi listrik DC dari baterai (12/24 V) menjadi listrik AC (220 V) sehingga bisa digunakan untuk peralatan listrik AC, seperti peralatan rumah tangga sehari-hari yaitu lampu, televisi kulkas,dll.

Airfoil adalah salah satu bentuk bodi aerodinamika sederhana yang berguna untuk memberikan gaya angkat tertentu terhadap suatu bodi dengan bantuan penyelesaian matematis sangat memungkinkan untuk memperkirakan berapa besarnya gaya angkat yang dihasilkan oleh suatu bodi *Airfoil*. Geometri *Airfoil* memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap karakteristik aerodinamika dengan parameter penting yaitu koefisien *lift* C_l .

Bagian-bagian *airfoil* terdiri dari :

1. Permukaan atas (*Upper Surface*)
2. Permukaan bawah (*Lower Surface*)
3. *Mean camber line* adalah tempat kedudukan titik-titik atas dan bawah *Airfoil* yang diukur tegak lurus.
4. *Leading Edge* adalah titik paling depan pada *mean camber line*.
5. *Camber* adalah jarak maksimum antara *mean camber line* dan garis *chord* yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*.
6. *Thickness* (ketebalan) adalah jarak antara permukaan atas dan permukaan bawah yang diukur tegak lurus terhadap garis *chord*

2.2. Diagram Alir Perhitungan dan Perancangan



3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Perhitungan

Tipe turbin angin yang akan dianalisis pada kerja praktek adalah *Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT)* dengan 3 dan menggunakan bilah tipe taperless dengan lebar 0,12 m dan daya maksimal dihasilkan generator 500 Watt pada kecepatan angin 12 m/s. Bilah dianalisis menggunakan persamaan aerodinamis dan bantuan perangkat lunak seperti Microsoft Excel untuk menentukan parameter dan *software* Qblade untuk mengetahui karakteristik dan performa dari bilah.

A. Perancangan awal

Sebelum melakukan perancangan ada baiknya yang dilakukan terlebih dahulu adalah dengan menentukan parameter bilah yang akan dibuat menggunakan Microsoft Excel

1. Efisiensi Turbin Angin

Efisiensi generator, transmisi, dan controller yang disarankan adalah 0,9.

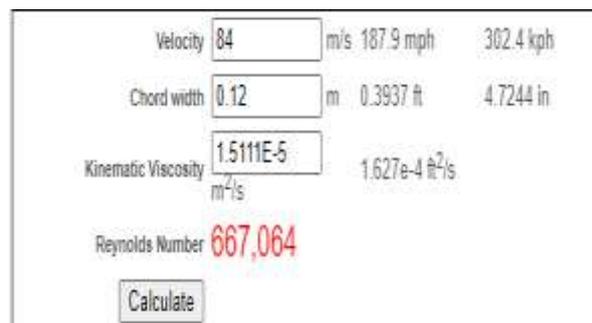
Maka, $K = \eta_{bilah} \cdot \eta_{Transmisi} \cdot \eta_{Generator} \cdot \eta_{Controller}$

Tabel 1. Efisiensi Turbin Angin

Kapasitas Daya Listrik (We)	Efisiensi					Daya Angin	V Max	Luas Sapuan	Jari-Jari (R)	Jari-Jari yang Digunakan
	Bilah	Transmisi	Generator	Controller	Sistem					
500	0,3	1	0,9	0,9	0,243	2057,61317	12	1,94407896	0,78685	0,8
	0,4				0,324	1543,20988		1,45805922		

2. Bilangan Reynolds

Bilangan Reynold merupakan salah satu bilangan tak berdimensi yang paling penting dalam mekanika fluida dan digunakan, seperti halnya dengan bilangan tak berdimensi lain, untuk memberikan kriteria untuk menentukan *dynamic similitude*. Bilangan Reynold yang digunakan pada perancangan ini adalah sebesar 667,064.



Gambar 5. Kalkulasi hasil perhitungan Reynolds number

3. Jari-Jari Parsial

Jari – jari Parsial adalah panjang setiap ukuran dari tiap elemen pada bilah yang akan dirancang. Rumus dari jari-jari parsial adalah:

$$r = r_0 + \left[\left(\frac{R - r_0}{n} \right) \times Elemen \right]$$

Keterangan:

- r = Jari – jari Parsial
- r_0 = Jari – Jari awal Parsial
- R = Jari – jari Bilah
- n = Jumlah Elemen

Tabel 2. Hasil Perhitungan Jari-Jari Parsial

Elemen	r
0	0,17
1	0,233
2	0,296
3	0,359
4	0,422
5	0,485
6	0,548
7	0,611
8	0,674
9	0,737
10	0,8

4. Coefficient Lift

Gaya angkat bermanfaat untuk memutar generator listrik yang terhubung dengan poros rotor turbin angin. Nilai koefisien lift (Cl) untuk tiap elemen bilah menggunakan persamaan seperti berikut.

$$C_l = \frac{16\pi \cdot R \cdot \left(\frac{R}{r}\right)}{9\lambda \cdot B \cdot C_r}$$

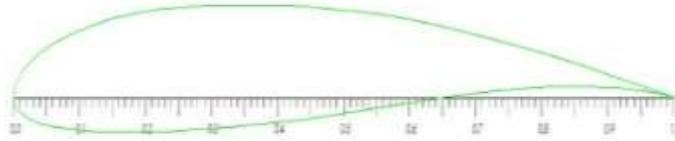
- C_l = Coefficient lift
- r = Jari-jari elemen
- λ = Tip Speed Ratio
- B = Jumlah Bilah
- C_r = Chord
- R = Jari-jari bilah

Tabel 3. Hasil Perhitungan Coefficient Lift

r	TSR Parsial	Cl
0,17	1,4875	1,191350614
0,233	2,03875	0,86922577
0,296	2,59	0,684221637
0,359	3,14125	0,564149316
0,422	3,6925	0,479927973
0,485	4,24375	0,41786813
0,548	4,795	0,36957957
0,611	5,3462	0,331472348
0,674	5,8975	0,300489027
0,737	6,44875	0,27480272
0,8	7	0,253162006

B. Analisis Karakteristik *Airfoil*

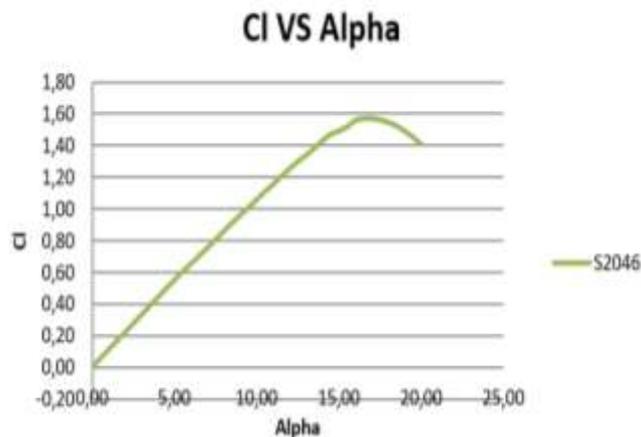
Pada tahap ini, dilakukan analisa karakteristik *airfoil* menggunakan *software Q-Blade*. Karakteristik yang dianalisa yaitu grafik perbandingan gaya angkat dan gaya hambat terhadap sudut serang $\frac{C_l}{C_d} - \alpha$ serta grafik *lift force* terhadap sudut serang ($C_l - \alpha$).



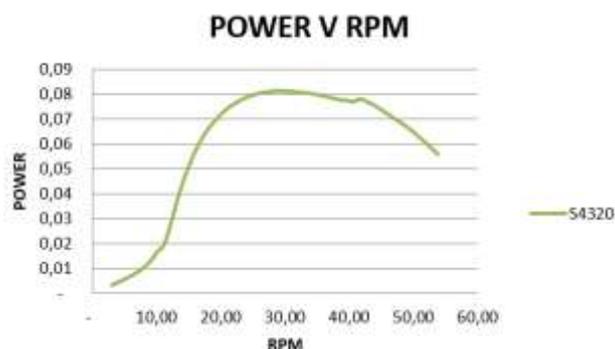
Gambar 8. Bentuk *Airfoil* S2046

Nilai tersebut didapatkan dari hasil simulasi menggunakan *software Q-Blade v0.963*. Sudut serang sendiri merupakan sudut datangnya tumbukan angin terhadap *airfoil*, *coefficient lift* (C_l) sendiri merupakan nilai koefisiensi gaya angkat pada bilah. Untuk dapat berotasi nilai gaya angkat harus lebih besar dibanding gaya hambatnya (*coefficient drag*).

Dari hasil simulasi *Q-Blade* terlihat bahwa sudut serang yang optimal pada grafik seri S2046 *coefficient lift* akan naik ketika α naik.



Gambar 9. Grafik hasil simulasi *airfoil* S2046



Gambar 10. Grafik hasil simulasi *airfoil* S2046

Dari hasil data diatas dapat di lihat perbandingan grafik *power* terhadap rpm pada *airfoil* S2046

4. SIMPULAN

Dari perhitungan dan analisis *Horizontal Axial Wind Turbine* (HAWT) pada setiap model *airfoil* dengan menggunakan 3 bilah dengan parameter daya yang dibutuhkan sebesar 500 Watt, kecepatan angin 12 m/s, *Tip Speed Rasio* 7 untuk desain NACA *airfoil* S2046 didapatkan karakteristik *Cl* terhadap *angel of attack* sebesar 16,7 dengan nilai koefisien power tertinggi pada 29,4. Hal ini membuktikan bahwa *airfoil* S2046 mempunyai efisiensi yang baik dalam segi bentuk dan grafik perhitungan *airfoil*.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agency for the Assessment and Application of Technology, *OUTLOOK ENERGI INDONESIA 2021 Perspektif Teknologi Energi Indonesia: Tenaga Surya untuk Penyediaan Energi Charging Station*. 2021.
- [2] B. Dahlan, “RANCANG BANGUN BALING-BALING KINCIR ANGIN KAYU MAHONI (*Swietenia Macrophylla*) DAN PINUS DESIGN OF WIND TURBINE BASED ON THE NACA 4412 AND 4415 USING MAHOGANY (*Swietenia macrophylla*) DAN PINES WOOD (*Pinus merkusii*),” 2016.
- [3] Peraturan Presiden RI, “Perpres No. 22 Tahun 2017 tentang Rencana Umum Energi Nasional.” p. 6, 2017.
- [4] D. Ginting, “Analisis Desain , Teknologi Dan Prestasi Turbin Angin 10 KW,” pp. 32–40.
- [5] Lentera Bumi Nusantara, “Pengenalan turbin angin skala mikro,” pp. 1–64, 2019.
- [6] Y. Kuntara, “Rancang Bangun Bilah Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Mikro,” 2021.
- [7] S. D. Oktaviani, “Perancangan Bilah Turbin Angin Horizontal Jenis Taperless Pesisir Cirebon Menggunakan Software Qblade,” Universitas Singaperbangsa Karawang, 2021.