

# Perancangan Bilah Turbin Angin Skala Mikro Dengan Variasi *Mixed Airfoil*

Dina Mita<sup>1</sup>, dan Bayu Rudianto<sup>1</sup>

*Lab. Energi Terbarukan, Program Studi Teknik Energi Terbarukan, Politeknik Negeri Jember, Jalan Mastrip 164 Tegalgede, Jember 68121, Indonesia<sup>1)</sup>*

dinamita07344@gmail.com<sup>1</sup>  
bayu\_rudianto@polije.ac.id<sup>2</sup>

## Abstrak

Energi merupakan kebutuhan mendasar dalam pembangunan ekonomi. Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang melimpah, terutama potensi energi angin. Pada tahun 2019, Indonesia memiliki potensi energi angin sebesar 60,6 GW dan energi angin ini belum dapat dimaksimalkan. Sehingga diperlukan metode untuk dapat mengatasi hal tersebut, salah satunya dengan pemanfaatan energi baru terbarukan melalui turbin angin skala mikro. Turbin angin skala mikro sendiri memiliki beberapa keuntungan seperti instalasi yang lebih mudah dan dapat disesuaikan dengan potensi kecepatan angin di daerah tertentu. Bilah merupakan salah satu sistem turbin angin yang berfungsi merubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik. Tujuan dari penelitian ini adalah mengetahui bentuk desain, performa dan energi listrik bilah taper mixed airfoil NACA 4412, NACA 4415 dan NACA 4418. Pada penelitian ini digunakan turbin angin sumbu horisontal jumlah bilah 3 dengan jenis taper mixed airfoil yang dirancang dan dibuat menggunakan bahan dari kayu mahoni (*Swietenia macrophylla*) untuk turbin angin skala mikro kapasitas daya generator 500 Wp pada kecepatan angin maksimal 12 m/s dengan panjang jari-jari bilah 0,8 m, twist (pitch 7°) yaitu 6,55°-15,88° dan chord (0,044 m) yaitu 0,07 m – 0,12 m menggunakan *airfoil* NACA 4412, NACA 4415 dan NACA 4418. Pengujian bilah dilakukan selama 3 hari dan untuk waktu pengambilan data dilakukan selama 24 jam. Untuk performa bilah ( $C_p$ ) didapat pada nilai 51% di TSR 5 dengan perolehan total energi listrik yang dihasilkan pengujian hari pertama sebesar 549,97 Wh, hari kedua sebesar 560,68 Wh dan hari ketiga sebesar 375,54 Wh.

**Kata Kunci — Taper Mixed Airfoil, Performa Bilah, Energi.**

## Abstract

Energy is a fundamental need in economic development. Indonesia is a country with abundant natural resources potential, especially wind energy potential. In 2019, Indonesia has wind energy potential of 60,6 GW and wind energy is not yet maximized. So a method is needed to be able to overcome this, one of which is by utilizing renewable energy through micro-scale wind turbines. Micro-scale wind turbines themselves have several advantages such as easier installation and can be adjusted to the potential wind speed in certain areas. Blades are one of the wind turbine systems that serve to convert the kinetic energy of the wind into mechanical energy. The purpose of this study was to find out the design, performance and electrical energy of NACA 4412, NACA 4415 and NACA 4418 mixed airfoil taper blades. This study used horizontal axis wind turbine number of blades 3 with a type of taper mixed airfoil designed and made using materials of mahogany wood (*Swietenia macrophylla*) for micro-scale wind turbines generator power capacity 500 Wp at a maximum wind speed of 12 m / s with a blade radius of 0.8 m, twist (pitch 7°) is 6.55°-15.88° and chord (0.045 m) is 0.07 m – 0.12 m using airfoil NACA 4412, NACA 4415 and NACA 4418. Bar testing is conducted for 3 days and for data retrieval time is done for 24 hours. For blade performance ( $C_p$ ) was obtained at a value of 51% in TSR 5 with the acquisition of total electrical energy generated by the first day of testing of 549.97 Wh, the second day of 560.68 Wh and the third day of 375.54 Wh.

**Keywords — Taper Mixed Airfoil, Blade Performance, Energy.**

## I. PENDAHULUAN

Energi merupakan kebutuhan mendasar dalam pembangunan ekonomi dan sosial. Kenaikan jumlah populasi didunia dan pesatnya laju ekonomi maka dapat dipastikan kebutuhan energi akan semakin meningkat, terutama energi listrik. Pemerintah mendorong upaya pengembangan tentang ketersediaan energi listrik dari sumber energi terbarukan. Indonesia merupakan negara dengan potensi sumber daya alam yang melimpah, terutama potensi energi angin yang dimana menjadi salah satu energi terbarukan. Berdasarkan data Kementerian ESDM pada tahun 2019, Indonesia memiliki potensi energi angin sebesar 60,6 GW. Energi angin dapat dimanfaatkan di Indonesia, karena kecepatan angin rata-rata di Indonesia berkisar antara 3 - 5 m/s. Akan tetapi minimnya pemanfaatan EBT untuk ketenagalistrikan ini disebabkan masih relatif tingginya harga dari produksi pembangkit yang bersumber EBT, sehingga sulit untuk bersaing dengan pembangkit yang bersumber bahan fosil terutama batu bara. Selain itu, kurangnya dukungan industri dalam negeri yang berkaitan dengan komponen pembangkit EBT serta masih sulitnya mendapatkan pendanaan berbunga rendah, beberapa hal inilah yang menyebabkan terhambatnya pengembangan EBT di Indonesia [4][9]. Energi angin dijadikan sebagai media untuk memutar bilah, dimana energi mekanik yang dihasilkan akan digunakan untuk memutar generator sehingga menghasilkan energi listrik. Turbin angin terbagi atas dua jenis yaitu HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*) dan VAWT (*Vertical Axis Wind Turbine*). Dalam penelitian ini menggunakan turbin angin sumbu horisontal yang umum digunakan dalam pembangkit listrik karena memiliki efisiensi yang lebih tinggi dari turbin angin sumbu vertikal. Turbin angin horisontal memiliki bermacam-macam bilah sesuai dengan pemanfaatan dan kecepatan angin disuatu daerah tertentu. Bilah sumbu horisontal terdiri dari atas tiga tipe yaitu *taper*, *taperless*, dan *inversed taper*. Jenis bilah yang digunakan pada penelitian ini adalah bilah tipe *taper* karena bilah jenis ini memiliki keunggulan seperti thrust dan drag yang dihasilkan lebih kecil dan dapat dioperasikan pada kecepatan angin tinggi dan sedang [6].

Ali, Irfan (2017), melakukan penelitian rotor menggunakan sudu *mixed airfoil* primary airfoil NREL S812 dan rotor menggunakan sudu *mixed airfoil* pada root: NREL S814, mid: NREL S812, dan pada tip: NREL S813 dengan variasi sudut serang yang berbeda-beda pada sudut 0°, 5°, 10°, 15°, 20°, 25°, 30°, dan 35°. Dari hasil pengujian dengan beban lampu 3 Watt didapat bahwa kedua model rotor mempunyai sudut serang optimal 5°. Rotor *uniform airfoil* menghasilkan tegangan rata-rata tertinggi sebesar 2,72 V dan daya rata-rata tertinggi sebesar 0,38 W. Rotor *mixed airfoil* menghasilkan tegangan rata-rata tertinggi sebesar 3,23 V dan daya rata-rata tertinggi sebesar 0,46 W. Dari hasil pembahasan disimpulkan bahwa rotor *mixed airfoil* mempunyai performa yang lebih baik dari rotor *uniform airfoil* pada sudut serang optimal [1].

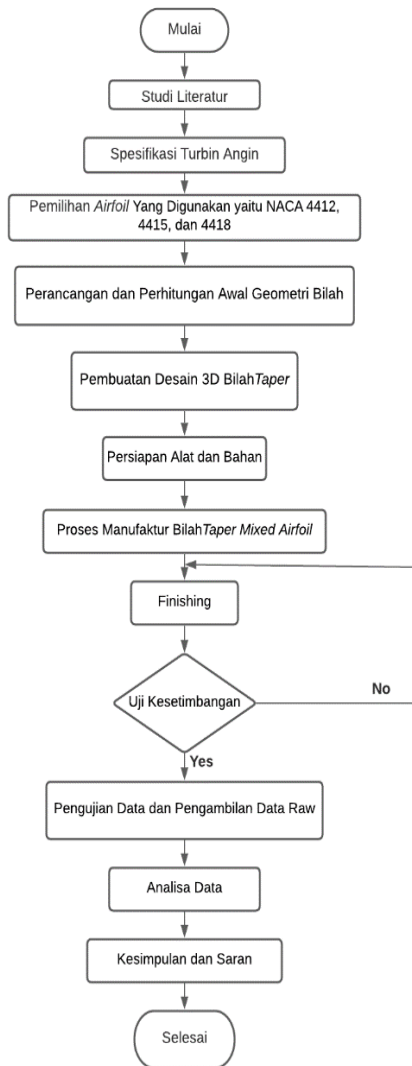
Gupta Rohit Kumar, dkk. (2017), melakukan penelitian menganalisis dan membandingkan bilah *taper mixed airfoil* SG6050 dan SG6043 dengan bilah *taper mixed airfoil* E555 dan E216, didapatkan bahwa torsi yang dihasilkan oleh *mixed airfoil* tipe SG lebih besar daripada *mixed airfoil* tipe E [3].

Suprianto, dkk (2013), melakukan penelitian untuk mendapatkan parameter-parameter desain untuk turbin angin poros horisontal yang meliputi rotor radius, *chord length* dan *twist* dengan menggunakan metode *Blade Element Momentum* (BEM). *Coefficient of performance* (Cp) dari perhitungan dibandingkan terhadap *tip speed ratio* (TSR) serta perubahan profil *blade* baik secara linearisasi maupun mengganti dari segi komposisi dan konfigurasi *airfoil* yang digunakan. Nilai TSR yang digunakan adalah bernilai 4 hingga 10. Berdasarkan dari hasil penelitian, konfigurasi yang menghasilkan *Coefficient of performance* (Cp) terbaik adalah dari *Mixed ideal blade* dengan nilai 47,6% pada TSR 8 [11].

Didasari oleh latar belakang dan permasalahan yang ada maka dalam penelitian ini akan diuraikan mengenai tentang proses perancangan dan pembuatan bilah *taper* dengan menggunakan variasi *mixed airfoil* tip: NACA 4412, mid: 4415 dan root: 4418. *Airfoil* NACA umum digunakan dalam pembuatan bilah hal ini dikarenakan NACA terutama NACA 44XX memiliki koefisien maksimum angkat yang tinggi dengan minimum gaya hambat dan momen pitching rendah [2]. Diharapkan dengan penelitian ini bilah akan berputar secara maksimal pada kecepatan angin yang tinggi dan menghasilkan energi listrik yang optimal.

## II. METODOLOGI

Metode yang digunakan pada penelitian adalah metode eksperimental, yaitu dengan melakukan percobaan dengan menguji pengaruh desain baru yakni bilah tipe *taper* dengan menggunakan variasi *mixed airfoil*. Metode perancangan dan prediksi performa bilah *taper mixed airfoil* menggunakan *Blade Element Momentum* (BEM) atau *software Qblade*. Kegiatan ini meliputi perancangan, pengujian, analisa data, dan pembahasan.

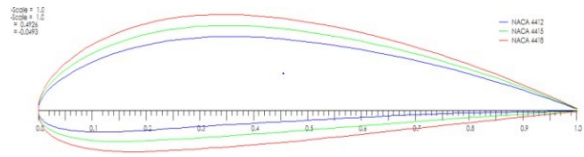


Gbr 1. Diagram alir penelitian

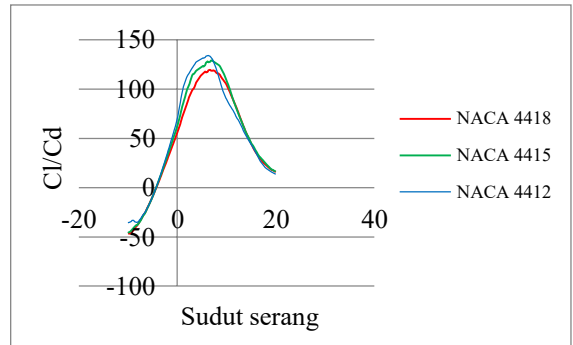
### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pemilihan Airfoil

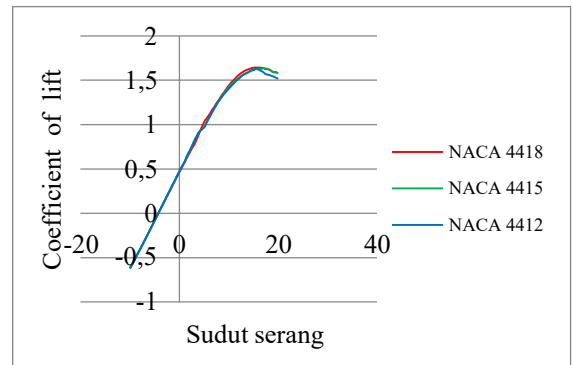
*Airfoil* NACA seri 4 digit yaitu 44xx dan seri 5 digit dan 230xx memiliki *coefficient of lift* yang tinggi dengan *coefficient of drag* yang kecil dan moment pitching rendah [7]. Analisis *airfoil* menggunakan suhu udara pada 1 atm dengan *air density*  $1.225 \frac{kg}{m^3}$  untuk nilai dari  $N_{crit}$  disesuaikan dengan kondisi lingkungan wind tunnel yaitu 9 dan untuk bilangan Reynold digunakan sesuai dengan tempat pengujian secara lapangan terbuka yaitu bernilai  $10^6$ . Berikut adalah Gambar dari masing-masing *airfoil* dan hasil grafik dari simulasi *software Qblade*.



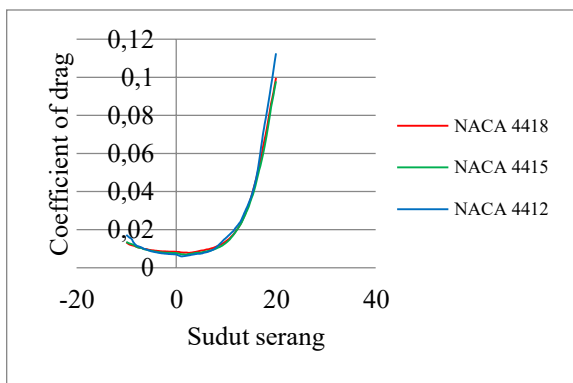
Gbr 2. Airfoil NACA



Gbr 2. Cl/Cd - Sudut serang



Gbr 3. Coefficient of lift- Sudut serang



Gbr 4. Coefficient of drag- Sudut serang

Berdasarkan dari hasil simulasi diatas bahwasannya *airfoil* yang diposisikan pada bagian *tip* berurutan kebagian *root* adalah NACA 4412, 4415 dan 4418 posisi ini ditentukan

berdasarkan nilai *Coefficient of lift/coefficient of drag*-Sudut serang optimal. Pengaruh *Coefficient of lift/coefficient of drag*-Sudut serang ini pada bilah adalah dikarenakan keberadaan gaya *coefficient of drag* yang dimana memberikan pengaruh yang berlawanan dengan gaya *Coefficient of lift*. Gaya *drag* sendiri akan menurunkan torsi pada bilah turbin angin sedangkan gaya *lift* akan menaikkan torsi bilah turbin angin. Agar dapat menghasilkan torsi yang maksimum untuk memutar bilah maka sudu bilah dibuat dalam bentuk yang menghasilkan rasio *Coefficient of lift/coefficient of drag*-Sudut serang yang maksimum [10].

### 3.2 Perancangan dan Perhitungan Geometri Bilah

Dalam menentukan jari-jari bilah (R) turbin angin yang akan dibuat disesuaikan dengan turbin angin yang digunakan yaitu generator *The sky dancer* (TSD) – 500 Wp pada kecepatan angin 12 m<sup>2</sup>. Untuk nilai efisiensi bilah, generator, dan *controller* merupakan nilai batas dari sistem turbin angin skala mikro di PT. Lentera Bumi Nusantara yaitu efisiensi bilah diasumsikan batas atas 0,4 dan batas bawah 0,3, masing-masing efisiensi generator dan *controller* yaitu 0,9, hal ini diakibatkan oleh adanya gaya dorong (*drag*) aerodinamika. Gaya dorong ini akan mendorong bilah kebelakang dengan membuang sebagian tenaga yang seharusnya ditangkap dari angin. Bahkan desain *airfoil* terbaik pun akan mengalami rugi-rugi (*losses*) sekitar 10% akibat gaya *drag* ini [8]. Didapatkan hasil efisiensi sistem sebesar batas atas 0,32 pada efisiensi bilah 0,4 dan untuk batas bawah 0,24 pada efisiensi bilah 0,3 dengan menggunakan persamaan berikut [7]:

$$K = \eta_{Bilah} \times \eta_{Transmisi} \times \eta_{Generator} \times \eta_{Controller} \quad (1)$$

Dimana :

- K : Efisiensi sistem
- $\eta_{Bilah}$  : Efisiensi bilah
- $\eta_{Transmisi}$  : Efisiensi transmisi
- $\eta_{Generator}$  : Efisiensi generator
- $\eta_{Controller}$  : Efisiensi *controller*

Menghitung daya angin yang dibutuhkan ( $W_a$ ) untuk memenuhi sistem turbin angin dan didapatkan hasil sebesar 1543,21 W pada efisiensi bilah 0,4 dan sebesar 2057,61 W pada efisiensi bilah 0,3. Jadi, semakin besar efisiensi bilah maka daya elektrik yang dibutuhkan akan semakin sedikit. Mencari energi angin yang dibutuhkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [7]:

$$W_a = \frac{W_e}{K} \quad (2)$$

Dimana :

- $W_a$  : Daya angin yang dibutuhkan (Watt)
- $W_e$  : Daya listrik yang dihasilkan (Watt)
- K : Efisiensi sistem

Kemudian menghitung luas sapuan bilah (A) yang didapat yaitu sebesar 1,46 m<sup>2</sup> pada efisiensi bilah 0,4 dan 1,94 m<sup>2</sup> pada efisiensi bilah 0,3. Mencari luas dari sapuan bilah (A) dengan menggunakan persamaan berikut [7]

$$A = \frac{2W_a}{\rho V_{max}^3} \quad (3)$$

Dimana :

- A : Luas sapuan bilah (m<sup>2</sup>)
- P : Densitas udara pada fluids (1,225 kg/m<sup>3</sup>)
- V : Kecepatan angin (m/s)

Menghitung dan menentukan jari-jari bilah (R) didapat yaitu sebesar 0,7 m pada efisiensi bilah 0,4 dan 0,8 m pada efisiensi bilah 0,3. Untuk jari-jari bilah yang digunakan adalah 0,8 m. Panjang bilah tersebut diperuntukan untuk turbin angin skala mikro yang dimana untuk diameter bilah 1,6 m – 2 m memiliki jari-jari 0,7 m – 1 m untuk tipe generator TSD-500 Wp [5]. Menentukan jari-jari bilah (R) yang akan digunakan menggunakan persamaan berikut [7].

$$R = \sqrt{\frac{A}{\pi}} \quad (4)$$

Dimana :

- R : Jari-jari bilah (m)
- $\pi$  : 3,14

Tabel 1.  
Penentuan spesifikasi parameter perancangan awal bilah

SPESIFIKASI									
Kapasitas Daya Generator	Efisiensi				Daya Angin	Kecepatan Angin Maksimal	Luas Sapuan Bilah	Jari-Jari	Jari-Jari yang Digunakan
	Bilah	Generator	Controller	Sistem					
$W_e$	$\eta$	$\eta$	$\eta$	K	$W_a$	V max	A	R	R
Watt	%	%	%	%	Watt	m/s	m <sup>2</sup>	Meter	Meter
500	0,3	0,9	0,9	0,24	2057,61	12	1,94	0,8	0,80
	0,4			0,324			1543,21	1,46	

Selanjutnya untuk menentukan geometri bilah *taper mixed airfoil* yang harus dilakukan adalah menentukan *Tip Speed Ratio* (TSR). Bilah dengan jumlah sudu 3 pada memiliki rentan *Tip Speed Ratio* (TSR) generator 5-8 [8]. Pada

perancangan bilah ini TSR akan diestimasi 7 namun pada akhir simulasi nanti nilai dari TSR tersebut akan berubah [7].

Tabel 2.  
Parameter perancangan bilah Turbin angin

TAPER BLADE MIXED AIRFOIL					
Tip Speed Ratio	Airfoil	Cl/Cd	Angle of Attack	Coefisien Lift	Jumlah Bilah
$\lambda$			$\alpha$ Derajat	Cl	B
7	4418	119,34	6,5	1,15	3
	4415	129,064	6,5	1,17	
	4412	133,61	5,5	1,07	

Pada umumnya pembagian elemen dari bilah (n) pada sebuah perancangan bilah berkisar antara 10-20 elemen. Pada perancangan bilah kali ini elemen akan dibagi menjadi 12 atau dihitung dari elemen 0-11. Untuk menentukan nilai jari-jari parsial bilah didapat menggunakan persamaan berikut [7]

$$Innermost\ station = 0,170 + \left[ \frac{(R-0,170)}{n} \times elemen \right] \quad (5)$$

Dimana :

R : Jari-jari bilah (m)  
n : Jumlah dari elemen

Akan tetapi terlebih dahulu pada elemen 1 atau pangkal bilah disesuaikan dengan dimensi generator TSD-500 Wp yaitu (r) 0,17 m.

Menghitung TSR parsial ( $\lambda_r$ ) dengan menggunakan persamaan sebagai berikut [12]

$$\lambda_r = \frac{r}{R} \times \lambda_R \quad (6)$$

Dimana :

$\lambda_r$  : TSR parsial  
r : Jari-jari parsial setiap elemen bilah (m)  
R : Jari-jari bilah (m)

Untuk nilai TSR parsial ( $\lambda_r$ ) pada elemen ke-11 harus sama dengan nilai asumsi dari TSR ( $\lambda$ ) yaitu yaitu 7.

Nilai dari sudut angin relatif/*Inflow angle* ( $\phi$ ) yang dialami oleh *airfoil* pada setiap elemen dicari menggunakan persamaan sebagai berikut [12]

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \quad (7)$$

Dimana :

$\phi$  : Nilai *inflow angle* (deg)

$\lambda_r$  : *Local design Tip Speed Ratio*

Nilai dari pada sudut puntir (*twist*) diperoleh dengan persamaan sebagai berikut [12]

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

Dimana :

$\beta$  : *Twist* (deg)

$\phi$  : *Inflow angle* (deg)

Selanjutnya untuk menentukan nilai dari lebar bilah (*chord*) pada setiap elemen menggunakan persamaan berikut [8].

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

Dimana :

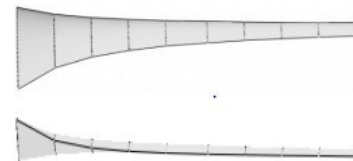
Cl : *Coefficient of lift*

B : Jumlah bilah

$\lambda$  : TSR yang digunakan

$\pi$  : 3.14

Hasil dari perhitungan didapatkan sudut puntir (*twist*) dan *chord* dengan bentuk yang tidak linear dan lebar pada elemen ke-0 tidak sesuai dengan kebutuhan perancang. Nilai pada elemen ke-0 ini disesuaikan dengan bentuk diameter generator yang digunakan. Dengan bentuk yang tidak linear tersebut akan mempersulit dari pada proses manufaktur dan bilah akan rentan mengalami patah. Bentuk bilah yang tidak linear dapat dilihat pada Gambar 5 berikut.



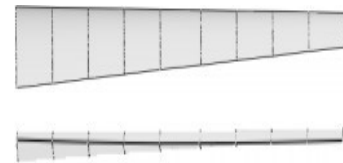
Gbr 5. Bilah sebelum dilinearisasikan

Tabel 3. Data Geometri Desain Bilah *taper mixed airfoil*

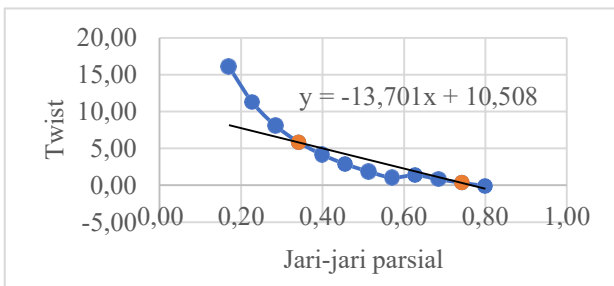
GEOMETRI BLADE											
Elemen Bilah	Jari-Jari Parsial	TSR Parsial	Inflow Angle	Twist	Chord	Twist Linear	Twist Linear + Pitch 0	Chord Linear	Chord Linear	Chord Linear + 0.044	Twist Linear + Pitch 7
N	R	$\lambda_r$	$\phi$	B	Cr	B	$\beta$	Cr	Cr	Cr	B
	Meter	Meter	Derajat	Derajat	Meter	Derajat	Derajat	Meter	Meter	Meter	Derajat
0	0,17	1,49	22,61	16,11	0,124		8,18		0,075	0,119	15,18
1	0,23	1,99	17,80	11,30	0,093		7,39		0,071	0,115	14,39
2	0,28	2,49	14,59	8,09	0,074		6,61		0,066	0,110	13,61
3	0,34	2,99	12,32	5,82	0,062	5,82	5,82	0,062	0,062	0,106	12,82
4	0,40	3,49	10,65	4,15	0,052		5,04		0,057	0,101	12,04
5	0,46	3,99	9,37	2,87	0,046		4,26		0,053	0,097	11,26
6	0,51	4,49	8,36	1,86	0,040		3,47		0,048	0,092	10,47
7	0,57	5,00	7,55	1,05	0,036		2,69		0,044	0,088	9,69
8	0,63	5,50	6,87	1,37	0,036		1,90		0,040	0,084	8,90
9	0,69	6,00	6,31	0,81	0,033		1,12		0,035	0,079	8,12
10	0,74	6,50	5,83	0,33	0,031	0,33	0,33	0,031	0,031	0,075	7,33
11	0,80	7,00	5,42	-0,08	0,028		-0,45		0,026	0,070	6,55

Berdasarkan hasil simulasi, elemen terbaik untuk melakukan linearisasi sudut puntir pada bilah jenis *taper mixed airfoil* didapatkan pada elemen ke-3 dan elemen ke-10 bagian *tip*: NACA 4412 dan *root*: NACA 4418 sedangkan untuk linearisasi *chord* didapat pada elemen yang sama yaitu bagian *tip*: NACA 4412 dan *root*: NACA 4418. Persamaan linear untuk sudut puntir yaitu  $\beta = -13.701 r + 10.508$ . Sedangkan persamaan linear untuk *chord* yaitu  $Cr = -0.0779 r + 0.0885$ . Berikut hasil yang didapat dari linearisasi dilihat pada Gambar 6 dan 7 berikut.

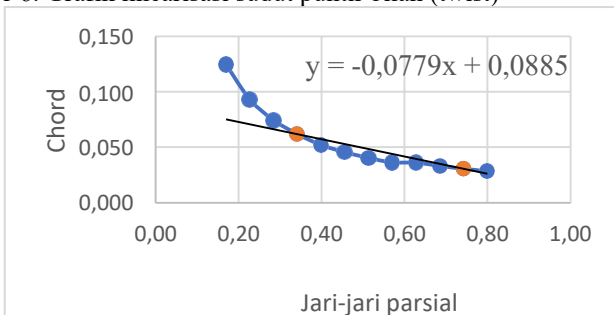
Hasil dari linearisasi didapatkan lebar *chord* bilah pada pangkal belum sesuai dengan kebutuhan perancangan oleh sebab itu perlu adanya penambahan lebar sebesar 0,044 meter sehingga didapatkan lebar bilah pangkal yang sesuai.



Gbr 8. Bilah setelah dilinearisasikan

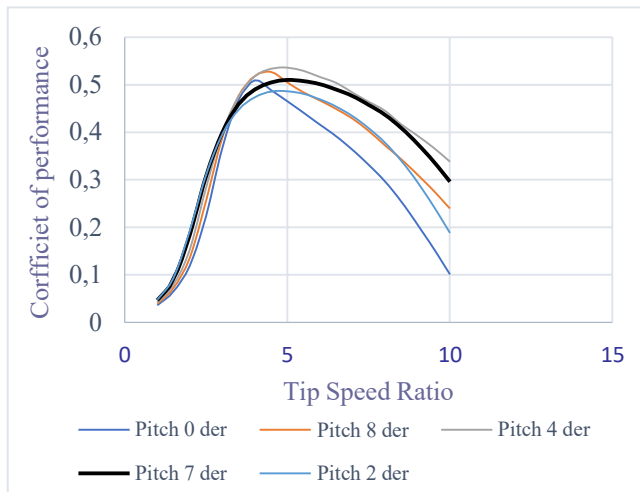


Gbr 6. Grafik linearisasi sudut puntir bilah (twist)



Gbr 7. Grafik linearisasi lebar bilah (*chord*)

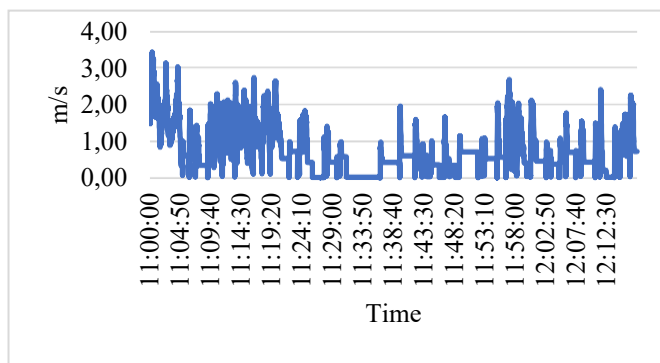
Penambahan sudut puntir ini pada bilah *taper* dilakukan dengan tujuan untuk menemukan nilai performa bilah ( $C_p$ ) yang lebih optimum dengan bentuk kurva  $C_p$  terhadap TSR yang relatif lebih landai. Hasil dari simulasi penambahan sudut puntir terbaik didapatkan pada penambahan *pitch* (*fixed pitch*) dengan nilai 7 derajat, karena pada nilai tersebut didapatkan nilai performa maksimum ( $C_p$ ) yang paling tinggi terhadap *tip speed ratio* (TSR) dengan bentuk kurva yang relatif lebih landai yaitu pada performa maksimum ( $C_p$ ) 0,51 atau 51% pada *tip speed ratio* (TSR) 5. Dapat dilihat Gambar 9 grafik hasil dari simulasi  $C_p$  terhadap TSR.



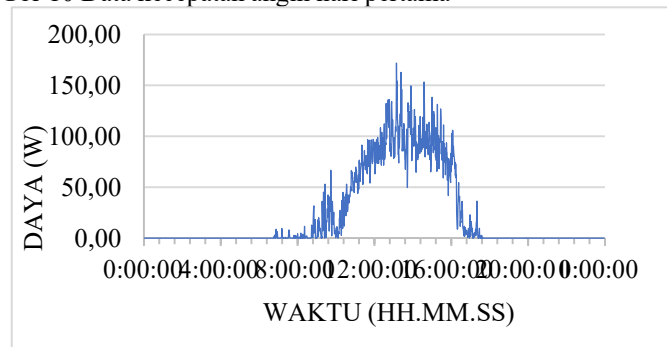
Gbr 9. Grafik performa TSR bilah *Taper mixed airfoil*

### 3.3 Pengujian Dan Hasil Data Bilah

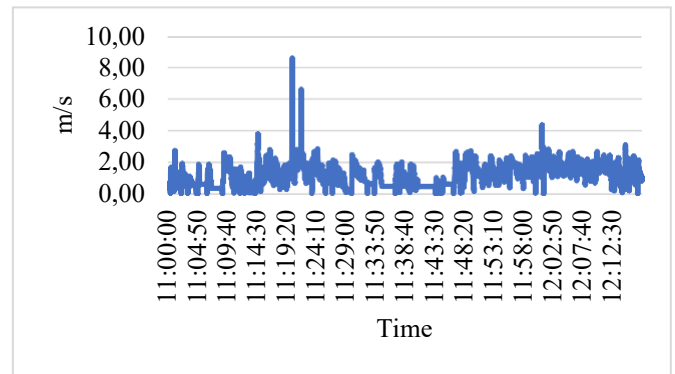
Pengujian bilah dilakukan pada generator 3-fase *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* kapasitas 500 Wp dengan kondisi generator dihubungkan ke baterai sebagai beban. Pengujian dilaksanakan di PT. Lentera Bumi Nusantara yang berlokasi di pesisir pantai Ciheras, Kecamatan Cipatujah, Kabupaten Tasikmalaya. Pengujian dilakukan di lapangan yang terbuka selama 3 hari yang dimana data yang direkam adalah data kecepatan angin, arus dan tegangan.



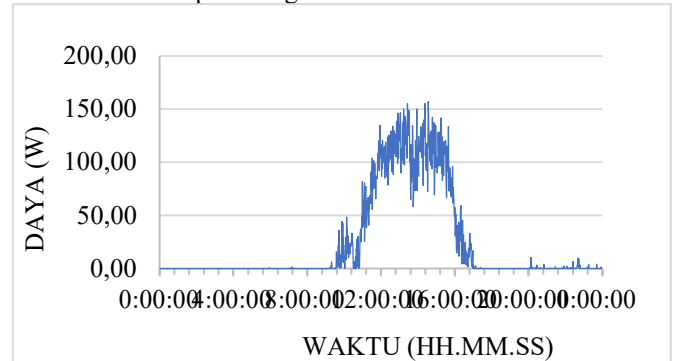
Gbr 10 Data kecepatan angin hari pertama



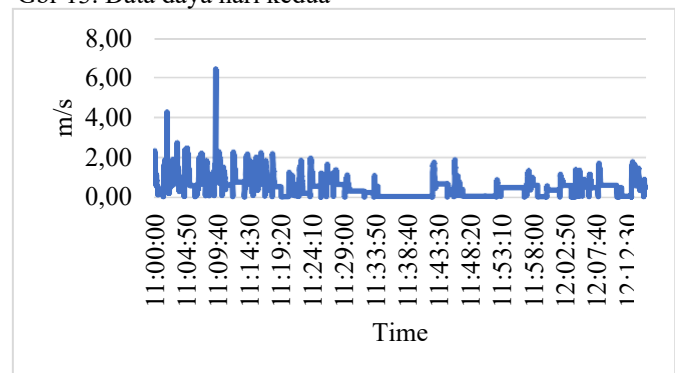
Gbr 11. Data daya hari pertama



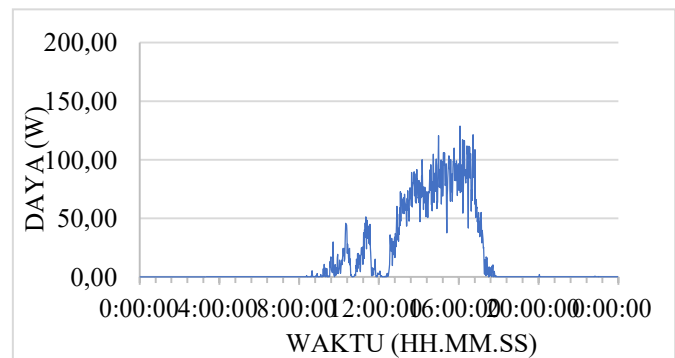
Gbr 12 Data kecepatan angin hari kedua



Gbr 13. Data daya hari kedua



Gbr 14 Data kecepatan angin hari ketiga



Gbr 15. Data daya hari ketiga

Dari hasil pengujian hari pertama Gambar 10 didapatkan data kecepatan angin rata-rata sebesar 2,5 m/s – 3 m/s pada jam 11:00 – 12:00 WIB dengan rata-rata arus pengisian sebesar 6,25 A dengan rata-rata daya pengisian sebesar 31,89 W dan maksimum daya pengisian sebesar 171,92 W dan untuk total energi listrik yang diperoleh pada hari pertama sebesar 549,97 Wh yang dapat dilihat pada Gambar 11.

Dari hasil pengujian hari kedua Gambar 12 didapatkan data kecepatan angin rata-rata sebesar 3 m/s pada jam 11:00 – 12:00 WIB dengan rata-rata arus pengisian sebesar 5,73 A dengan rata-rata daya pengisian sebesar 32,53 W dan maksimum daya pengisian sebesar 157,14 W dan untuk total energi listrik yang diperoleh pada hari kedua sebesar 560,68 Wh yang dapat dilihat pada Gambar 13.

Dari hasil pengujian hari ketiga Gambar 14 didapatkan data kecepatan angin rata-rata sebesar 2 m/s – 2,5 m/s pada jam 11:00 – 12:00 WIB dengan rata-rata arus pengisian sebesar 4,73 A dengan rata-rata daya pengisian sebesar 21,79 W dan maksimum daya pengisian sebesar 128,88 W dan untuk total energi listrik yang diperoleh pada hari ketiga sebesar 375,54 Wh. Energi listrik yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan hari pertama dan kedua pengujian. Hal ini dikarenakan kondisi baterai yang sudah mulai penuh maka daripada itu daya yang diserap tidak optimum atau *discharge* kondisi baterai penuh.

#### IV. KESIMPULAN (PENUTUP)

Penelitian Rancang bangun bilah jenis *taper mixed airfoil* turbin angin skala mikro ini menghasilkan kesimpulan yaitu :

1. Hasil dari perancangan geometri bilah jenis taper mixed airfoil dengan NACA 4412, NACA 4415 dan NACA 4418 memiliki panjang jari-jari bilah (R) 0,8 m, chord (Cr) linierisasi yang telah ditambahkan 0.044 m sebesar 0,07 m – 0,12 m, dan twist angle ( $\beta$ ) linierisasi penambahan pitch  $7^\circ$  sebesar  $6,55^\circ - 15,18^\circ$ .
2. Didapatkan dari hasil perancangan dan simulasi bilah jenis taper mixed airfoil dengan NACA 4412, NACA 4415 dan NACA 4418 penambahan sudut twist pitch  $7^\circ$  memiliki nilai performa ( $C_p$ ) maksimum 0,51 atau 51% pada tip speed ratio (TSR) 5.
3. Hasil pengujian lapangan bilah jenis taper mixed airfoil NACA 4412, NACA 4415 dan NACA 4418 yang dilakukan selama 3 hari berturut-turut yaitu 2 - 4 juli 2021 dengan data yang direkam selama 24 jam menghasilkan data pada hari pertama yaitu total energi listrik yang diperoleh sebesar 549,97 Wh. Pengujian yang dilakukan pada hari kedua total energi listrik yang diperoleh sebesar

560,68 Wh. Untuk pengujian pada hari ketiga total energi listrik yang diperoleh sebesar 375,54 Wh.

#### REFERENSI

- [1] Ali, I., Nur Akli., (2017). Rancang Bangun dan Pengujian Performa Rotor Turbin Angin dengan Sudu Uniform dan Mixed Airfoil Pada Beberapa Variasi Sudut Serang (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Surakarta)
- [2] Bai, C. J., & Wang, W. C. (2016). Review of computational and experimental approaches to analysis of aerodynamic performance in horizontal-axis wind turbines (HAWTs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 63, 506-519.
- [3] Gupta, R. K., Warudkar, V., Purohit, R., & Rajapurohit, S. S. (2017). Modeling and aerodynamic analysis of small scale, mixed airfoil horizontal axis wind turbine blade. *Materials Today: Proceedings*, 4(4), 5370-5384.
- [4] KESDM. (2015). Rencana Strategis Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral 2015-2019.
- [5] Lentera Angin Nusantara, (2014), Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin. Tasikmalaya: Lentera Angin Nusantara..
- [6] Manwell, J. F., McGowan, J. G., & Rogers, A. L. (2009). *Wind Energy Explained: Theory, Design and Application*. John Wiley & Sons., Ltd., 2002.
- [7] N. Zahra, Inayah (2016), “Dasar-Dasar Perancangan Bilah”, Lentera Bumi Nusantara.
- [8] Piggott, H, (1997), *Windpower Workshop*. Centre of Alternative Energy.
- [9] SJDEN. (2019). *Outlook Energi Indonesia*. Jakarta: Kepala Biro Fasilitas Kebijakan Energi dan Persidangan.
- [10] Sinaga, Nazarudin. (2017). “Analisis aliran pada rotor turbin angin sumbu horizontal menggunakan pendekatan komputasional”. *Jurnal Teknik Energi, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro*, 84-91.
- [11] Suprianto, Fandi, D, dkk. (2013). “Peningkatan Kualitas Penelitian untuk Mencapai Sumber Daya Manusia yang Kompeten di Bidang Teknik Mesin”. Seminar Nasional Teknik Mesin. Fakultas Teknologi Industri. Universitas Kristen Petra.
- [12] Y. Nishizawa, M. Suzuki, H. Taniguchi and I. Ushiyama, An Experimental Study of the Shapes of Blade for a Horizontal – Axis Small Wind Turbine “Optimal Shape for Low Design Tip Speed of Rotor, *JSME-B*, Vol.75, No.751, (2009), pp547-549