

Analisa Daya Turbin Angin Sumbu Horizontal *BladeTaperless* Berbahan Komposit *Hybrid* dengan *AirfoilBlade* Tipe NACA

Akmal, Mastariyanto Perdana^{*}, Rahmadani Saputra, Hendriwan Fahmi, Sulaiman

Teknik Mesin Institut Teknologi Padang, Indonesia

Jl. Gajah Mada Kandis Nanggalo Padang 25143

e-mail korespondensi : mastariyanto@itp.ac.id ^{*}

Received 09 Maret 2022 | Revised 29 November 2022 | Accepted 03 Desember 2022

ABSTRAK

Pemanfaatan angin sebagai pembangkit listrik di Indonesia masih mengalami beberapa kendala, diantaranya, kecepatan yang rendah, yaitu kisaran 2,5-6 m/s. Parameter utama yang perlu diperhatikan untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan turbin angin, diantaranya tipe blade, jenis airfoil, dan material yang digunakan. Pada penelitian ini digunakan blade yang berasal dari serat hibrid dengan komposisi 70% resin epoksi, 18% fiberglass dan 12% coir, dengan tipe taperless airfoil NACA 5513, 4712, 4412. Tujuan penelitian menganalisa daya yang diekstrak turbin pada 3-6 m/s serta memanfaatkan coir sebagai bahan pembuatan blade. Pengujian dilakukan dalam skala labor berbantuan terowongan angin, kecepatan angin divariasikan 3, 4, 5, dan 6 m/s, data yang diolah adalah tegangan listrik yang dibangkitkan generator serta arus listrik yang dibebani dengan lampu LED 10 W DC 12V diukur menggunakan multimeter, data diambil sebanyak 25 kali per variasi kecepatan angin dengan jeda waktu pengambilan data 30 detik. Hasil pengujian daya-kecepatan angin NACA 4412 pada kecepatan 4 m/s adalah sebesar 1,439 Watt, NACA 4712 adalah sebesar 0,425 W, NACA 5513 adalah sebesar 0,37 W. Pada angin dengan kecepatan 5 m/s NACA 4412 memperoleh daya pada angka 2,88 W, NACA 4712 sebesar 1,66 W, dan NACA 5513 sebesar 1,310 W. Pada kecepatan angin 6m/s NACA 4412 sebesar 3,62 W, NACA 4712 sebesar 2,772 W, dan NACA 5513 sebesar 1,79 W. Hasil penelitian menunjukkan tegangan dan daya blade NACA 4412 lebih tinggi dibandingkan blade NACA 4712 dan 5513.

Kata kunci: Turbin angin, airfoil NACA, kecepatan angin, komposit, rotasi

ABSTRACT

The use of wind as a power plant in Indonesia is still experiencing several obstacles, including the low speed, which is in the range of 2.5-6 m/s. To optimize the power generated by wind turbines, there are several main parameters that are considered such as the type of blade, the type of airfoil, and the material used. So that in this study the blade used came from hybrid fibers with a composition of 70% epoxy resin, 18% fiberglass and 12% coir, with taperless airfoil type NACA 5513, 4712, 4412. This research has a purpose to analyze the power extracted by wind turbines in wind of 3-6 m /s and use coir as material for making blades. The test was carried out on a labor scale assisted by a wind tunnel so that wind speeds could be varied by 3, 4, 5, and 6 m /s, the data processed were the mains voltage of the generator output and the electric current given a load of 10 W DC 12V LED lights was measured using a multimeter, data was taken as much as 25 times per wind speed variation with a data retrieval time interval of 30 seconds. The test results of the wind power-speed of NACA 4412 at a wind speed of 4 m/s of 1.439 Watts, NACA 4712 of 0,425 W, NACA 5513 of 0,37 W. In a wind speed of 5 m/s NACA 4412 obtained power of 2,88 W, NACA 4712 of 1,66 W, and NACA 5513 of 1,310 W. At wind speed of 6m/s NACA 4412 was 3,62 W, NACA 4712 was 2,772 W, and NACA 5513 was 1,79 W. Results showed that the voltage and power of the NACA 4412 blade were higher than the NACA 4712 and 5513 blades.

Keywords: Wind turbine, NACA airfoil, wind speed, composite, rotation

1. Pendahuluan

Energi ramah lingkungan merupakan salah satu bahan pembicaraan dewasa ini. Hal ini karena teknologi yang menggunakan energi listrik semakin meningkat dan berkembang yang menyebabkan manusia terdorong dalam mencari potensi energi baru dan terbarukan sebagai alternatif energi konvensional yang sifatnya terbatas dan tidak bisa diperbarui. Energi ramah lingkungan merupakan alternatif solusi yang dapat dipilih untuk menjaga kelestarian bumi, karena energi konvensional seperti bahan bakar fosil bisa menimbulkan polusi dan pemanasan global. Energi ramah lingkungan menggambarkan energi yang non-polusi, seperti Energi Angin, karena energi angin termasuk sumber energi terbarukan yang tidak menimbulkan polusi udara. Pada dasarnya energi angin tidak dapat langsung dipakai, sebab itu dibutuhkan media yang bisa mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energi mekanik poros turbin yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik dengan memanfaatkan kinerja generator. Media tersebut diistilahkan sebagai Turbin Angin [1],[2]. Menurut Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG) Indonesiatahun 2018, Bahwa Indonesia memiliki angin dengan kecepatan yang rata-rata rendah, yaitu lebih dari 3 m/s. Ini mengindikasikan layak untuk dibangun Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan skala kecil di Indonesia. Pertimbangan itu menjadikan penelitian turbin angin di Indonesia banyak dikembangkan [3],[4]. Dalam upaya optimalisasi daya turbin angin yang dihasilkan, ada beberapa parameter yang harus diperhitungkan, diantaranya adalah bentuk *blade*, jenis *airfoil*, dan material yang digunakan.

Dalam beberapa pengujian yang pernah dilakukan, yaitu berupa simulasi dan pengujian lapangan turbin angin dengan *blade* NACA 4412 dan 4415 jenis *taper* dan *taperless*. Pengujiannya memperlihatkan bahwa NACA 4412 jenis *taperless* memberikan nilai kinerja yang lebih tinggi daripada jenis *taper*, ini ditunjukkan pada simulasi antara daya dan kecepatan angin. Pada kecepatan 12 m/s, *blade* jenis *taperless* menghasilkan daya sebesar 1.549,88 W sedangkan *blade* jenis *taper* menghasilkan daya sebesar 1.235,31 W [5],[6].

Penelitian lain yang telah dilakukan adalah mengkaji efek dari sudut serang terhadap kinerja turbin angin sumbu horizontal dengan jenis *blade airfoil* NACA 4412 melalui simulasi CFD (Computational Fluid Dynamic) dan *software* QBlade v0.96.3. Pengujian melalui simlasi ini dilakukan dengan variasi sudut serang 3°, 6°, dan 9°, 12°, 15°. Dari simulasi yang dilakukan, diperoleh koefisien performa turbin angin yang paling optimal adalah pada variasi sudut serang 3° dan 6° yaitu sebesar C_p 0,5. Turbin angin terbaik dari hasil simulasi adalah turbin angin dengan variasi sudut serang 6° karena pada angin 3 m/s sudah menghasilkan daya 12.5 W dengan kecepatan putar 161 rpm, sedangkan daya puncak 500 W dicapai pada kecepatan 10.1 m/s dan kecepatan putarnya adalah 500 rpm [7].

Desain Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan *airfoil* NACA memberikan nilai CL/CD yang relatif tinggi. Simulasi dalam penelitian ini menunjukkan bahwa desain *blade* Turbin Angin Sumbu Horizontal NACA 5513, jari-jari 0,9 m memberikan nilai CL/CD yang lebih tinggi yaitu sebesar 152,73 pada sudut $\alpha = 4^\circ$. Pada simulasi kecepatan angin ($P - v$), daya yang diperoleh mencapai 500 W dengan kecepatan angin 11 m/s dan kecepatan putar 263 - 1000 rpm [8].

Pada percobaan yang telah dilakukan pada turbin angin dengan NACA 4418, diameter *rotor* 56 cm, panjang *blade* 80 cm, dengan jumlah *blade* sebanyak 3 buah yang terbuat dari *fiberglass* didapatkan perbandingan kecepatan ujung bilah (*Tip Speed Ratio*) yang optimal pada angka 1,7, yang diperoleh pada sudut *blade* 10°, dengan kecepatan putar turbin 321 rpm dan kecepatan angin sebesar 5,42 m/s. Daya mekanik optimal dicapai pada *blade* dengan sudut 20°, dengan kecepatan putar turbin 381 rpm dan kecepatan angin 6,4 m/s. yaitu apa angka 19,4 W. Koesifiendaya (*Coefficient of Power*) optimal yang diperoleh pada *blade* dengan sudut 10°, dengan kecepatan putar turbin 198 rpm dan kecepatan angin 5,42 m/s, yaitu pada angka 0,202. Pada kondisi ini, didapatkan daya mekanik sebesar 8,5 W [9]. Penelitian turbin angin sumbu horizontal yang juga telah dilakukan adalah pengujian turbin angin dengan bilah yang tidak terpuntir (*untwisted blade*) dengan desain *airfoil* jenis NREL S833 dan diuji pada angin kecepatan rendah. Pada penelitian ini,

bilah turbin memiliki sudut *pitch* optimal sebesar 10° . Dari pengujian yang telah dilakukan diketahui bahwa dayamaksimal dan putaran *rotor* optimal dicapai pada sudut 10° . Pengujian yang dilakukan dengan variasi kecepatan angin 2,43 m/s, 2,98 m/s dan 3,23 m/s menghasilkan daya sebesar 0,605 W pada kecepatan putar rotor 406rpm, daya sebesar 1,311 W pada kecepatan putar rotor 513 rpm dan daya sebesar 1,673 W pada kecepatan putar rotor 561 rpm [3].

Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui kinerja turbin dan menganalisa daya listrik yang dapat diekstrak dari turbin angin dengan jenis *airfoil* NACA 5513, 4712, dan 4412 dan dibuat dari bahan komposit hibrid berbasis *fiberglass* dan *coir*. Pemilihan material yang dipakai untuk *blade* dalam penelitian ini didasari dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa komposit hibrid berbasis *fiberglass* dan serat kelapa (*coir*) dapat diaplikasikan sebagai material *blade* turbin angin, dengan perbandingan 70% resin epoksi, 18% *fiberglass* dan 12% *coir* [10],[11],[12]. Penggunaan komposit hibrid berbasis *coir* untuk material turbin angin diharapkan dapat mengurangi masalah lingkungan akibat penggunaan serat sintesis, karena *coir* bersifat lebih ramah lingkungan dan harganya lebih murah. Ketiga jenis *airfoil* yang diuji memiliki dimensi yang sama, yakni panjang *blade* 54 cm, lebar *chord* 9 cm. perbedaan yang dibuat dalam penelitian ini adalah pada *thickness* atau tebal *blade*, yaitu pada *airfoil* NACA 4412 dan 4712 tebal *blade* adalah 1,08 cm, sedangkan pada *airfoil* NACA 5513 tebal *blade* adalah 1,17 cm.

2. Metodologi

2.1. Material

Serat *coir* yang dipakai untuk membuat bilah turbin didapatkan dari daerah Pariaman, Sumatera Barat. *Coir* yang masih mengandung lignin dan kotoran dibersihkan menggunakan air bersih. Setelah *coir* dibersihkan, kemudian dilakukan perlakuan alkali pada *coir*. *Coir* direndam dalam larutan NaOH 20% selama 30 menit [11]. Selanjutnya *coir* direndam lagi dengan air bersih untuk menetralkannya dari efek NaOH. Kemudian *coir* dikeringkan tanpa sinar matahari langsung. *Fiberglass* yang dipakai pada penelitian adalah *fiberglass* yang susunan seratnya random. Bahan matrik yang digunakan adalah matrik jenis resin epoksi yang disuplai oleh Nusa Kimia.

2.2. Pembuatan *blade*

Komposit hibrid dibuat dengan metode cetak tekan dengan fraksi volume yang terdiri dari 70% resin epoksi, 18% *fiberglass* dan 12% *coir*. Komposit yang sudah dicetak selanjutnya dibentuk menjadi *blade* sesuai dengan jenis *airfoil* yang digunakan; NACA 4412, 4712, 5513.

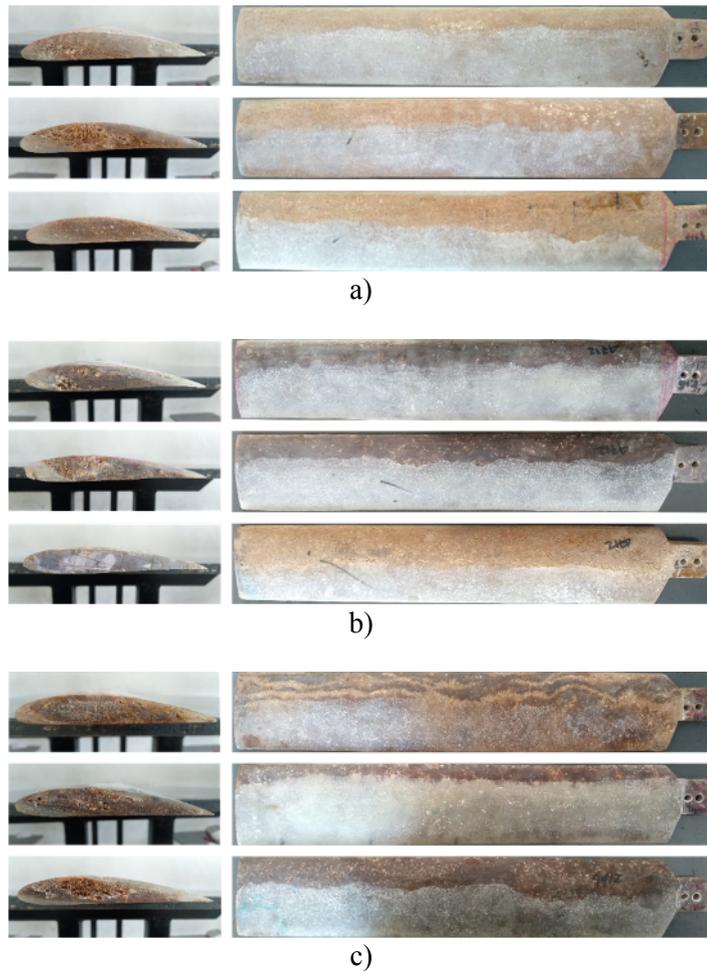
2.3. Prosedur Pengujian

Kemampuan masing-masing desain *blade* komposit untuk menghasilkan daya listrik diuji dalam skala laboratorium. Untuk melihat besar daya yang bisa diekstrak oleh *blade* maka digunakan terowongan angin sebagai alat bantu dan tempat pengujian yang akan mengarahkan aliran angin dari kipas (sumber angin) ke *blade* uji. Kecepatan angin yang digunakan dalam pengujian dibuat dengan variasi 3, 4, 5, dan 6 m/s yang diukur menggunakan anemometer. Setelah kecepatan angin stabil, dilakukan pengukuran putaran rotor, yaitu pada putaran generator dengan menggunakan Tacho meter mekanik. Setelah itu diukur tegangan keluaran generator dengan menggunakan multimeter digital. Selain menggunakan multimeter digital, tegangan keluaran generator juga diukur dengan menggunakan beban, yaitu dengan menggunakan sebuah lampu LED 12V DC. Besar arus dan daya listrik diperoleh dari hasil pengalihan besar tegangan keluaran generator dengan besar arus listrik yang mengalir. Pengujian dilakukan sebanyak 25 kali untuk tiap 1 variasi kecepatan angin pada setiap jenis *airfoil blade* uji.

2.4. Variabel Pengujian

Variabel pada pembahasan ini mencakup variabel kontrol, variabel dependen dan variabel independen. Variabel kontrol adalah variabel yang ditentukan, seperti jumlah *blade* 3 buah dalam 1 rangkaian turbin angin dengan tipe *taperless*, diameter *rotor(blade)* 54cm, lebar *chord* 9 cm, dan *tip speed ratio* (TSR) 7, nilai TSR ini digunakan pada proses perancangan. Sedangkan variabel independen yaitu variasi kecepatan angin terhadap 3 variasi *airfoil* NACA. Variasi *airfoil*

NACA adalah 5513, 4712, dan 4412. Turbin angin diuji pada kecepatan angin sebesar 3m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Gambar *blade* turbin angin pada bahasan ini ditampilkan dalam gambar 1.



Gambar 1.

a) blade NACA 5513 b) blade NACA 4712 c) blade NACA 4412

Variabel dependen dalam bahasan ini adalah daya listrik yang diekstrak turbin angin. Daya listrik yang diperoleh dihitung menggunakan persamaan berikut :

$$P = V \times I \quad (1)$$

Secara teoritis data lapangan dapat dihitung menggunakan persamaan di bawah ini; Persamaan dalam menghitung besar daya angin yang tersedia sebelum diekstrak oleh turbin angin:

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

Persamaan dalam menghitung besar daya keluaran turbin dari generator:

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

Persamaan dalam menghitung area sapuan rotor (A):

$$A = \pi r^2 \quad (4)$$

Persamaan dalam menghitung efisiensi total alat (η_t) :

$$\eta_t = C_p \times \eta_g \times \eta_c \tag{5}$$

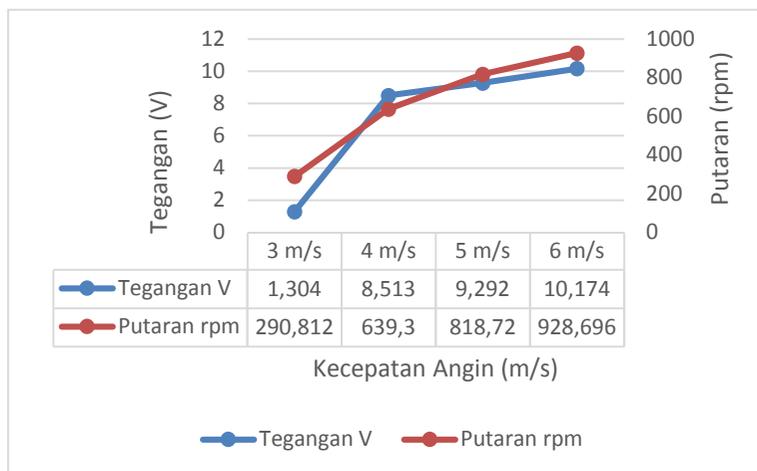
3. Hasil dan Pembahasan

Pengujian dan pengukuran kinerja yang dilakukan pada turbin angin dengan 3 variasi blade jenis airfoil NACA memberikan hasil sebagaimana yang disajikan pada Tabel 1.

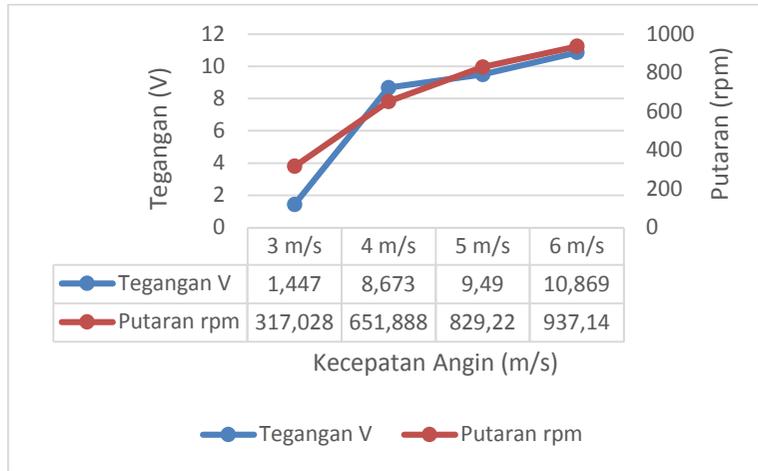
Tabel 1.
Data hasil pengukuran kecepatan angin, putaran rotor, tegangan, dan arus untuk tiap variasi blade tipe NACA

Tipe NACA	Kecepatan angin (m/s)	Putaran rotor (rpm)	Tegangan DC (Volt)	Arus DC (A)	Daya angin (W)	Daya turbin (W)	Daya listrik (W)
5513	3	290,812	1,304	0,000	15,148	5,756	0,000
	4	639,300	8,513	0,044	35,907	13,645	0,375
	5	818,720	9,292	0,141	70,131	26,649	1,310
	6	928,696	10,174	0,176	121,187	46,051	1,791
4712	3	317,028	1,447	0,000	15,148	5,756	0,000
	4	651,888	8,673	0,049	35,907	13,645	0,425
	5	829,220	9,490	0,175	70,131	26,649	1,661
	6	937,140	10,869	0,255	121,187	46,051	2,772
4412	3	546,588	3,512	0,000	15,148	5,756	0,000
	4	712,096	9,288	0,155	35,907	13,645	1,439
	5	943,456	11,303	0,255	70,131	26,649	2,882
	6	1241,156	13,132	0,276	121,187	46,051	3,624

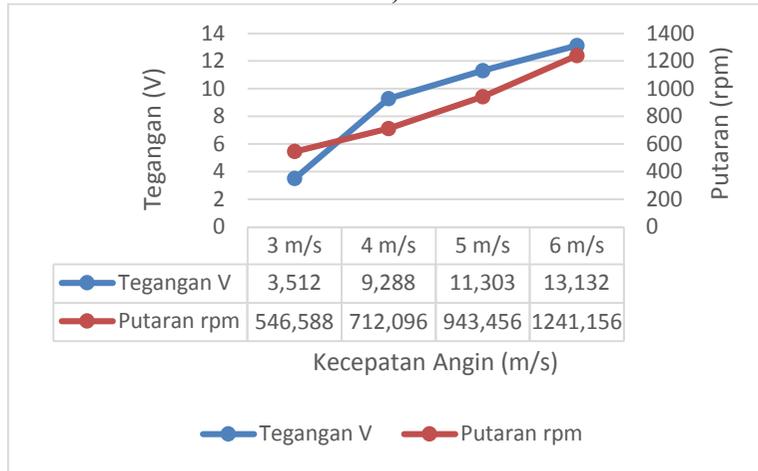
Dari perhitungan yang sudah dilakukan dan hasilnya dapat dilihat pada tabel 1. memperlihatkan bahwa kecepatan angin yang makin besar menerpa bilah turbin akan memberikan efek kepada peningkatan kecepatan putar rotor serta kenaikan tegangan listrik yang dapat dibangkitkannya. Sedemikian hingga dayakeluaran pembangkit listrik akan semakin besar pula baik secara teori maupun aktual di lapangan.



a)



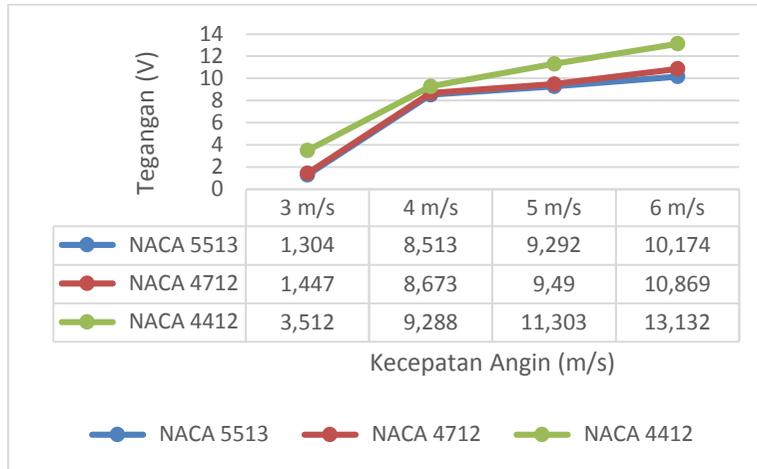
b)



c)

Gambar 2.
Hubungan kecepatan angin dengan tegangan dan putaran
a) NACA 5513 b) NACA 4712 c) NACA 4412

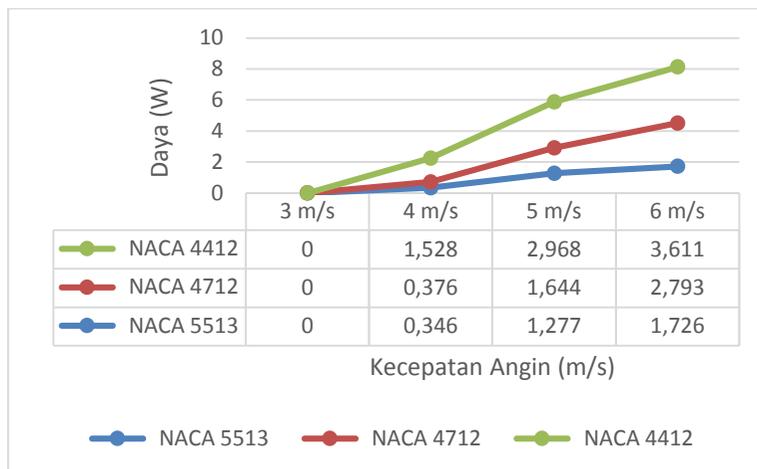
Gambar 2. menampilkan grafik antara hubungan kecepatan angin, voltase dan putaran *blade* turbin angin NACA 5513, 4712, 4412, dari gambar 2. Grafik tersebut memperlihatkan bahwa peningkatan kecepatan angin sebanding dengan kenaikan kecepatan putar rotor turbin dan tegangan yang dibangkitkan. Dengan kata lain semakin kencang angin yang menerpa bilah turbin, maka putaran rotor turbin akan semakin cepat. Semakin tinggi energi angin yang diberikan ke turbin maka energi yang bisa diekstrak menjadi voltase listrik akan semakin besar, sebab poros *generator* yang berputar akan menimbulkan perubahan fluks pada *stator* dan pada gilirannya akan membangkitkan arus dan tegangan dengan besar tertentu. Besar arus dan tegangan listrik yang dihasilkan tentunya akan sebanding dengan kecepatan angin. Atau dapat dikatakan bahwa daya listrik yang diperoleh dari *generator* sebanding dengan kecepatan putaran *generator* [13].



Gambar 3. Grafik voltase terhadap kecepatan angin pada 3 jenis bilah NACA

Grafik dalam gambar 3 memperlihatkan hubungan antara kecepatan angin dengan tegangan DC yang dibangkitkan *generator*, diukur pada keluaran *converter* di tiap jenis bilah NACA. *Generator* bekerja dengan prinsip memanfaatkan kaedah kaedah Faraday’s Law, yakni gaya gerak listrik (GGL) induksi akan terbangkitkan di ujung-ujung penghantar jika penghantar tersebut digerakkan dalam suatu medan magnet. Jika ke-2 ujung penghantar dihubungkan kepada beban, misalkan sebuah lampu, maka arus listrik akan mengalir dan akan timbul daya listrik [14].

Pada gambar 3. dapat diamati bahwa tegangan terbesar yang diperoleh dari *blade* NACA 4412 adalah 13,132 Volt pada kecepatan angin sebesar 6 m/s. Voltase terkecil dihasilkan dari penggunaan *blade* NACA 5513, yaitu sebesar 1,304 Volt. Gambar 3. juga memperlihatkan bahwa tegangan yang dibangkitkan dengan kecepatan angin 4 m/s adalah sebesar 3 kali lipat dari voltase yang dibangkitkan dengan kecepatan angin 3 m/s. Kemampuan *blade* mengalami penurunan karena adanya kehilangan kesetimbangan yang terjadi pada kecepatan hembusan angin antara 5 sampai 6 m/s, ini ditunjukkan dengan angka pembangkitan voltase yang tidak lebih besar daripada voltase yang dapat dibangkitkan dengan kecepatan hembusan angin sebesar 4 m/s.



Gambar 4. Grafik daya output generator

Dalam gambar 4. terlihat grafik daya *output generator* terhadap kecepatan angin, atau dengan nama lain *power output of turbine*, dimana daya yang dibangkitkan *generator* diberi beban satu unit lampu LED 10 Watt DC 12 Volt dengan nilai yang berbanding lurus. Hal ini dilakukan mengingat bahwa peningkatan kecepatan hembusan angin akan diiringi dengan kenaikan daya listrik yang dibangkitkan. Kenaikan daya listrik yang dibangkitkan juga merupakan efek dari putaran *rotor*, yang mana saat poros *generator* berputar maka akan mengakibatkan terjadinya

perubahan fluks dalam *stator* hingga membangkitkan tegangan dan arus tertentu.

Jenis *blade* NACA yang menghasilkan daya terbesar adalah *blade* NACA 4412, kemudian *blade* NACA 4712, dan *blade* NACA 5513 yang dapat disebabkan oleh nilai TSR (Tip Speed Ratio) yang digunakan pada saat mendesain *blade*. TSR merupakan perbandingan nilai kecepatan angin terhadap besarnya kecepatan *blade*. Nilai TSR umumnya dipengaruhi jumlah bilah turbin. Jumlah bilah turbin yang dipakai dalam penelitian ini adalah sebanyak 3 buah. Nilai TSR untuk turbin dengan jumlah bilah sebanyak 3 buah berada pada kisaran angka 6 sampai dengan 8. Dalam penelitian ini, angka TSR yang dipakai adalah 7 untuk semua *blade* [5]. Hasil pengujian yang memperlihatkan kemiripan menunjukkan bahwa penggunaan *blade* NACA 4412 memberikan hasil yang baik, berarti semakin besar TSR maka semakin tinggi kecepatan angin yang dibutuhkan, sebaliknya jika TSR besar maka kecepatan angin yang dihembuskan relatif kecil. Berdasarkan hasil desain Q-Balade pada *airfoil* NACA 4412 menunjukkan nilai C_p sebesar 0.52 dan nilai TSR sebesar 7. *Blade* sesuai dengan desain pada Q-Blade yang menunjukkan *blade* terbaik adalah desain *airfoil* NACA 4412 karena selain hasil TSR yang sesuai dengan TSR perancangan data awal, juga nilai koefisiensi performansi (C_p) paling tinggi, sehingga dapat menyerap energi angin lebih besar dan energi listrik yang dihasilkan akan menjadi lebih besar. Dalam penelitian lain menyebutkan bahwa turbin angin dengan *airfoil* NACA 4412 memiliki nilai C_p maksimum sebesar 0,48 atau 48% pada rentang TSR 5,4 sampai 7 sedangkan pada NACA 4712 memiliki C_p maksimum 0,46 atau 46% pada rentang TSR 5,3 sampai 6,8 [15]. Berdasarkan hasil desain *blade* NACA 5513 dan simulasi *airfoil* yang telah dilakukan menghasilkan nilai C_p hanya mencapai 0,2 atau 20% pada TSR 2-10. Sementara itu, simulasi kecepatan tenaga angin menghasilkan daya mencapai 500 W pada kecepatan angin 11 m/s ketika kecepatan sudu *blade* adalah 263 - 1000 rpm [8].

4. Kesimpulan

Kesimpulan yang bisa diperoleh dari penelitian turbin angin sumbu horizontal adalah bahwa pemilihan desain *blade* dalam sistem *wind turbine* adalah bagian terpenting untuk dikaji, sebab komponen utama yang akan mengkonversi energi angin menjadi energi mekanik adalah *blade*. Desain *blade* terbaik pada penelitian ini adalah *airfoil blade* NACA 4412, sebab mampu mengekstrak potensi angin lebih besar menjadi listrik dibandingkan *airfoil* yang lain. Daya keluaran terbesar didapatkan pada kecepatan angin sebesar 6 m/s dengan tipe *airfoil* NACA 5513, yaitu sebesar 1,791 W dengan putaran 928,696 rpm. Pada *blade* 4712 dihasilkan daya sebesar 2,772 W dengan putaran 937,140 rpm. Daya sebesar 3,642 W dihasilkan pada putaran 1241,256 rpm, yaitu dengan *blade* NACA 4412. *Blade airfoil* NACA 4412 menghasilkan daya paling besar dibandingkan dengan *blade airfoil* NACA 5513 dan 4712.

Daftar Notasi

P	Daya listrik	[Watt]
P_a	Daya angin	[Watt]
P_t	Daya turbin	[Watt]
ρ	Massa jenis angin, 1,225	[kg/m ³]
v	Kecepatan angin	[m/s]
A	Luas area sapuan rotor	[m ²]
V	Tegangan listrik	[Volt]
I	Arus listrik	[Amper]
r	Jari-jari rotor	[m]
η_g	Efisiensi generator, asumsi 0,8	
η_c	Efisiensi converter, asumsi 0,8	
C_p	<i>Power coefficient</i> , betz 0,593	
η_t	Efisiensi total turbin	

5. Ucapan Terima Kasih

Terlaksananya penelitian ini adalah hasil bantuan/kontribusi dari berbagai pihak, salah satunya adalah Institut Teknologi Padang. Selaku penulis kami sangat berterima kasih kepada Lembaga

Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat - Institut Teknologi Padang yang membantu support moril maupun materil dalam kegiatan penelitian ini.

6. Daftar Pustaka

- [1] Wardoyo. 2016. Hubungan Daya Turbin Angin Berbentuk Propeller 5 Blade Terhadap Beban Tower Penyangganya Wardoyo. *Jurnal Konversi Energi Dan Manufaktur UNJ*. no.1.p.1–6.
- [2] Rachman, A. 2019. Design and Performance Horizontal Axis Wind Turbine Taper Type. *Teknik Mesin Institut Teknologi Padang*. Vol.9 no.2.p.58–63.
- [3] Faqihuddin, M. F. 2014. Karakteristik Model Turbin Angin Untwisted Blade Dengan Menggunakan Tipe Airfoil NREL S833 Pada Kecepatan Angin Rendah. *Mekanika*. Vol.12 no.2.p.84–88.
- [4] Haryanto, I., Labib, M. N., dan Utomo, M. T. S. 2009. Pengembangan Perancangan Airfoil Sudu Turbin Angin Kecepatan Rendah Berbasis Komputasi Cerdas. *Rotasi*. Vol.11 no.4.p.32–39.
- [5] Dahlan, B. 2016. *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)*, Tesis Master, Institut Teknologi sepuluh Nopember.
- [6] Latif, M., Nazir, R., dan Reza, H. 2013. Analisa Proses Charging Akumulator Pada Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Di Pantai Purus Padang. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*. Vol.2 no.1.p.1–8.
- [7] Sholichan. 2020. Pengaruh Sudut Serang Terhadap Koefisien Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Mikro NACA 4412. *Chasis Jurnal Teknik Mesin*. Vol.1 no.1.p.1–11.
- [8] Yohana, E., Sinaga, N., Haryanto, I., Taufik, V. R. I., dan Dharmawan, E. 2020. Taperless Type Blade Design with Naca 5513 Airfoil for Wind Turbine 500 TSD. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol.448 no.1.p.1–9.
- [9] Herlambang, Y. D., Prasetyo, B., Supriyo, dan Wahyono. 2019. Model Turbin Angin Airfoil NACA 4418 Terhadap Variasi Buka-an Sudut Sudu Pada Kecepatan Angin Berbeda. *Integrasi*. Vol.11 no.2.p97–102.
- [10] Perdana, M. 2013. Pengaruh Moisture Content Dan Thermal Shock Terhadap Sifat Mekanik Dan Fisik Komposit Hibrid Berbasis Serat Gelas Dan Coir. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol.3 no.1.p.1–7.
- [11] Perdana, M. 2015. Fracture Surface Pada Komposit Hibrid Berbasis Fiberglass dan Coir Akibat Pengaruh Moisture Content. *Momentum*. Vol.17 no.1.p.29–33.
- [12] Perdana, M. 2016. Effect of Dynamic Load on the Stiffness of Fiberglass and Coir-Based Hybrid Composite. *Teknik Mesin ITP*. Vol.6 no.1.p.1–5.
- [13] Latif, M. 2013. Analisa Proses Charging Akumulator Pada Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Di Pantai Purus Padang. *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, Vol.2 no.1.p.1–8.
- [14] Sumiati, R., & Amri, K. 2014. Rancang bangun micro turbin angin pembangkit listrik untuk rumah tinggal di daerah kecepatan angin rendah. *Jurnal Teknik Mesin*. Vol. no.p.1–5.
- [15] Susilo, B. D. 2019. *Analisis Karakteristik Turbin Angin Sumbu Horizontal Menggunakan Airfoil NACA 4712*. Skripsi. Universitas jember.