

PENGARUH JENIS MATERIAL BLADE TURBIN ANGIN TERHADAP PUTARAN DAN DAYA LISTRIK YANG DIHASILKAN

Sulaiman¹⁾, Rahmat Alfurqan²⁾, Akmal³⁾, Mastariyanto Perdana⁴⁾

^{1),4)} Dosen, Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Padang

^{2),3)} Mahasiswa, Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Padang

*Corresponding Author Email: sulaemanali3@gmail.com

Abstract

The utilization of wind energy in Indonesia is still very small, either used to generate electrical energy or to drive mechanical equipment such as pumps or grain grinding machines. This is because the wind speed in Indonesia is generally relatively small. In addition to low wind speeds, the winds available in nature are not always there all the time. This small value of wind speed and its erratic availability is not capable enough to drive a wind turbine to get a large amount of power. But the utilization of wind energy on a small scale to generate electrical energy for household appliances still has considerable potential. In addition, certain areas such as coastal areas have considerable potential to utilize wind turbines as power plants on a small scale considering that Indonesia is an archipelago that has a long coastline. To optimize the power generated by wind turbines, there are several parameters that are considered such as blade type, attack angle, airfoil, and material used. In this study, the blade used was made of 70% epoxy resin, 18% fiberglass and 12% coir, with variations in attack angles of 0°, 6° and 12°. This study aims to determine the influence of the attack angle of 0°, 6°, 12° on the performance of the most optimal wind turbines, especially in the rotation of the blade and the amount of electrical power generated. Blade was designed using Qblade v0.96.3, and Solidworks 2020 software. Testing is carried out on a scale of wind tunnel-assisted labor so that wind speeds can be varied by 3, 4, 5, and 6 m/s, the data taken is the electric voltage of the generator output and the electric current given the load of LED lights 10 W DC 12V measured using a multimeter, data is taken as much as 25 times per variation of wind speed with a time lag of 30 seconds. The test results showed that the performance or performance of wind turbines with variations in attack angles greatly affected the maximum power generated by wind turbines where at an attack angle of 0° the highest power generated 0.037411804 watts at 503.68 rpm. At an attack angle of 6° power is generated of 4.352577 watts at 937.856 rpm. And at the attack angle 12° generated power of 1.978543354 watts at a rotation of 768.236 rpm.

Keywords: Wind Turbine, Angle Of Attack, Wind Speed, Composite, Rotation

Abstrak

Pemanfaatan energi angin di Indonesia masih sangat kecil, baik yang dimanfaatkan untuk membangkitkan energi listrik ataupun untuk menggerakkan peralatan mekanis seperti pompa ataupun mesin penggiling biji-bijian. Ini dikarenakan kecepatan angin di Indonesia umumnya relatif kecil. Selain kecepatan angin yang rendah, angin yang tersedia di alam tidak selalu ada sepanjang waktu. Nilai kecepatan angin yang kecil dan ketersediaannya yang tidak menentu ini tidak cukup mampu untuk menggerakkan turbin angin untuk mendapatkan daya dalam jumlah yang besar. Namun pemanfaatan energi angin dalam skala kecil untuk membangkitkan energi listrik untuk peralatan rumah tangga masih memiliki potensi yang cukup besar. Selain itu, beberapa daerah tertentu seperti daerah pantai memiliki potensi yang cukup besar untuk memanfaatkan turbin angin sebagai pembangkit listrik dalam skala kecil mengingat Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki garis pantai yang cukup panjang. Untuk mengoptimalkan daya yang dihasilkan turbin angin, ada beberapa parameter yang diperhatikan seperti tipe blade, sudut serang, airfoil, dan material yang digunakan. Pada penelitian ini blade yang digunakan terbuat dari 70% resin epoksi, 18% fiberglass dan 12% coir, dengan variasi sudut serang 0°, 6° dan 12°. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sudut serang 0°, 6°, 12° terhadap performa turbin angin yang paling optimal terutama pada putaran blade dan besar daya listrik yang dihasilkan. Blade didesain menggunakan software Qblade v0.96.3, dan Solidworks 2020. Pengujian dilakukan dalam skala labor berbantuan terowongan angin sehingga kecepatan angin dapat divariasikan 3, 4, 5, dan 6 m/s, data yang diambil adalah tegangan listrik keluaran generator dan arus listrik yang diberi beban lampu LED 10W DC 12V diukur menggunakan multimeter, data diambil sebanyak 25 kali per variasi kecepatan angin dengan jeda waktu pengambilan data 30 detik. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kinerja atau performansi turbin angin dengan variasi sudut serang sangat mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan turbin angin dimana pada sudut serang 0° dihasilkan daya tertinggi sebesar

0,037411804-watt pada putaran 503,68 rpm. Pada sudut serang 6° dihasilkan daya sebesar 4,352577 watt pada putaran 937,856 rpm. Dan pada sudut serang 12° dihasilkan daya sebesar 1,978543354 watt pada putaran 768,236 rpm.

Kata Kunci : Turbin Angin, Sudut Serang, Kecepatan Angin, Komposit, Putaran.

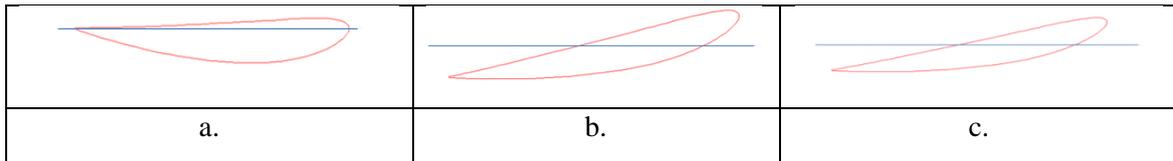
1. PENDAHULUAN

Tenaga listrik sebagai salah satu sistem energi mempunyai peranan yang sangat penting dalam pembangunan ekonomi suatu negara, terlebih pada masa sekarang ini muncul tantangan dan dimensi-dimensi baru yang dihadapi umat manusia sejalan dengan bertambahnya jumlah penduduk menyebabkan aspek-aspek kehidupan yang harus dipenuhi oleh pengadaan tenaga listrik semakin meningkat. Energi Listrik merupakan kebutuhan mendasar kehidupan manusia. Sejauh ini pemenuhannya dilakukan dengan pembangkitan yang secara dominan menggunakan bahan bakar fosil. Ketersediaan bahan bakar fosil yang semakin berkurang memerlukan upaya diversifikasi ke sumber daya lain. Angin adalah udara yang mengalir yang disebabkan oleh rotasi bumi serta perbedaan tekanan udara disekitarnya dalam jumlah besar. Arah angin mengalir dari daerah yang bertekanan tinggi menuju ke daerah yang bertekanan rendah. Energi ramah lingkungan (*Green Energy*) adalah salah satu topik utama yang mulai banyak dibahas pada saat ini. *Green Energy* merupakan alternatif solusi dalam melestarikan bumi, dikarenakan sumber energi seperti bahan bakar fosil dapat menyebabkan pemanasan global. Turbin angin merupakan alat untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik pada *blade*. Energi mekanik dari *blade* diteruskan ke poros rotor dan *generator* sehingga menghasilkan energi listrik. Energi angin dapat diubah menjadi energi listrik menggunakan turbin angin. Berdasarkan sumbu putar, turbin angin terdiri dari dua macam, yaitu turbin angin sumbu horizontal dan turbin angin sumbu vertical, menjelaskan Komposit Hibrid Berbasis Serat Gelas dan Coir menggunakan serat hibrid yang terdiri dari 60% fiberglass dan 40% coir. Fraksi volume antara serat hibrid dan epoksi adalah 30:70. Bisa diaplikasikan sebagai material turbin angin.

Adapun tujuan penelitian ini yaitu untuk mengetahui pengaruh sudut serang blade 0° , 6° , 12° terhadap performa turbin angin yang paling optimal terutama pada putaran *blade* dan besar daya listrik yang dihasilkan. Oleh karena itu pada penelitian ini, turbin angin yang akan dirancang menggunakan 3 variasi kemiringan sudut serang *blade*. Yaitu 0° , 6° , dan 12° . Material yang digunakan pada *blade* turbin yaitu resin epoksi/*fiberglass*/serat kelapa dan melakukan variasi kecepatan angin yaitu 3-6 m/s untuk mendapatkan angin yang konstan. Pada penelitian ini akan dilihat perbandingan daya yang dihasilkan dari setiap variasi sudut serang *blade*. Alasan pemilihan judul dari pengaruh Sudut Serang *blade* Pada turbin angin terhadap putaran rotor dan daya listrik yang dihasilkan adalah untuk mengetahui sudut serang manakah yang menghasilkan daya yang paling tinggi dengan kecepatan angin yang divariasikan dan mana yang layak digunakan.

2. METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan perancangan penyusun utama TASH diantaranya *blade* turbin, kipas angin, terowongan angin. Bentuk *airfoil blade* menggunakan tipe NACA 4412, dibentuk dengan metode manual (*hand made*). *Blade* dirancang dengan menggunakan *software* Qblade v.0.96.3 dan Solidwork 2020. Variabel dalam penelitian ini meliputi variabel kontrol, variabel independen dan variabel dependen. Variabel kontrol merupakan variabel yang sudah ditentukan, dalam hal ini adalah diameter rotor (*blade*) sebesar 54 cm, chord 9 cm, dan *tip speed ratio* (TSR) 7 serta *blade* tipe *taperless*.



Gambar 1. Sudut Serang a. 0° , b. 6° , dan c. 12°

Sudut serang a adalah Sudut serang dengan kemiringan 0° , sudut serang b adalah Sudut serang dengan kemiringan 6° , dan yang c adalah sudut serang dengan kemiringan 12° , variasi kecepatan angin yakni 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, dan 6 m/s. Variabel dependen pada penelitian ini adalah daya listrik yang dihasilkan. Pengujian dilakukan pada semua variasi kecepatan angin dan variasi material *blade*. Dari hasil pengujian diperoleh nilai kecepatan putaran yang diukur dengan tachometer, besar tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan diukur dengan multimeter. Sehingga akan diperoleh nilai daya listrik yang dihasilkan TASH dan dapat dihitung menggunakan persamaan berikut :

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

Data penelitian juga dihitung secara teoritis menggunakan persamaan-persamaan berikut.

Persamaan untuk menghitung besar daya angin yang tersedia sebelum diekstrak oleh turbin angin:

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

Persamaan untuk menghitung besar daya *output* turbin dari generator :

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

Persamaan untuk menghitung efisiensi total alat (η_t) :

$$\eta_t = C_p \times \eta_g \times \eta_c \quad (4)$$

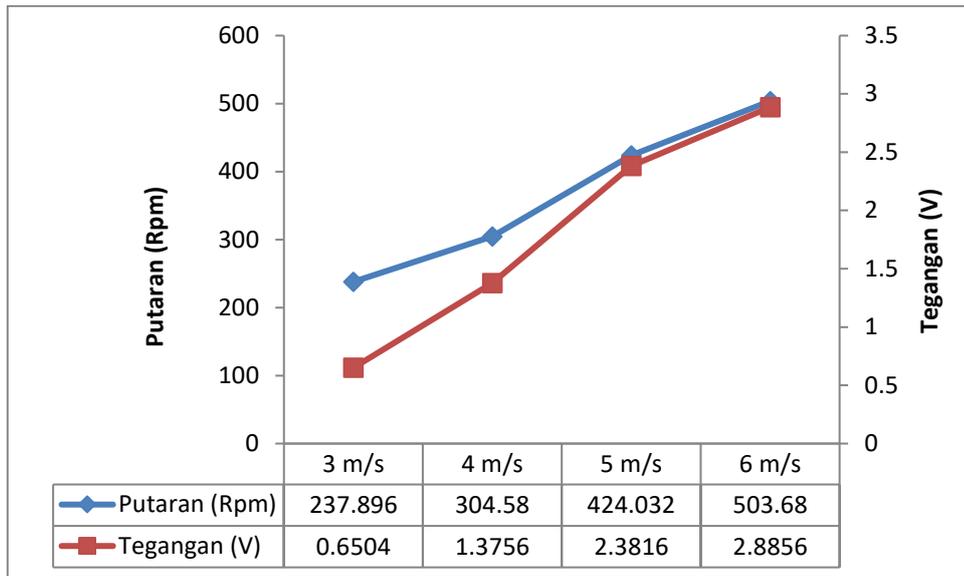
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil pengukuran turbin angin untuk masing-masing sudut dapat dilihat pada tabel 3.1 dibawah ini.

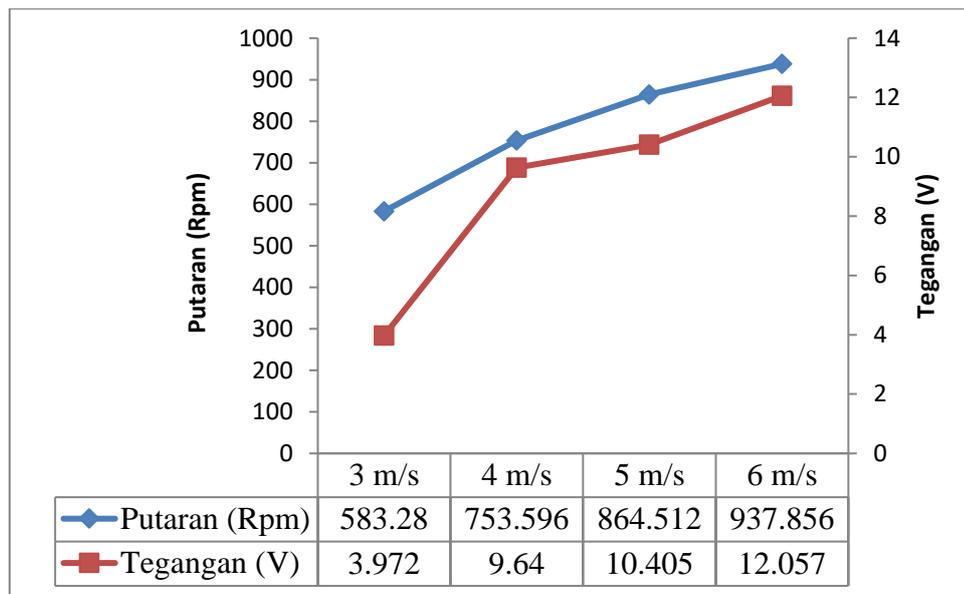
Tabel 1. Hasil Pengolahan Data Pengujian Blade Turbin Angin

Sudut Serang	Kecepatan Angin	Putaran (rpm)	Tegangan (V)	Arus (A)	P (W)
0°	3 m/s	237,896	0,6504	0,005089	0,00331
	4 m/s	304,58	1,3756	0,008338	0,011475
	5 m/s	424,032	2,3816	0,010174	0,024229
	6 m/s	503,68	2,8856	0,012965	0,037411
6°	3 m/s	583,28	3,972	0,031	0,125
	4 m/s	753,596	9,64	0,122	1,178
	5 m/s	864,512	10,405	0,204	2,131
	6 m/s	937,856	12,057	0,361	4,354
12°	3 m/s	455,632	2,4712	0,010518	0,025982
	4 m/s	661,956	8,4416	0,03207	0,270709
	5 m/s	744,376	9,61	0,121186	1,170179
	6 m/s	768,236	10,2852	0,192368	1,977884

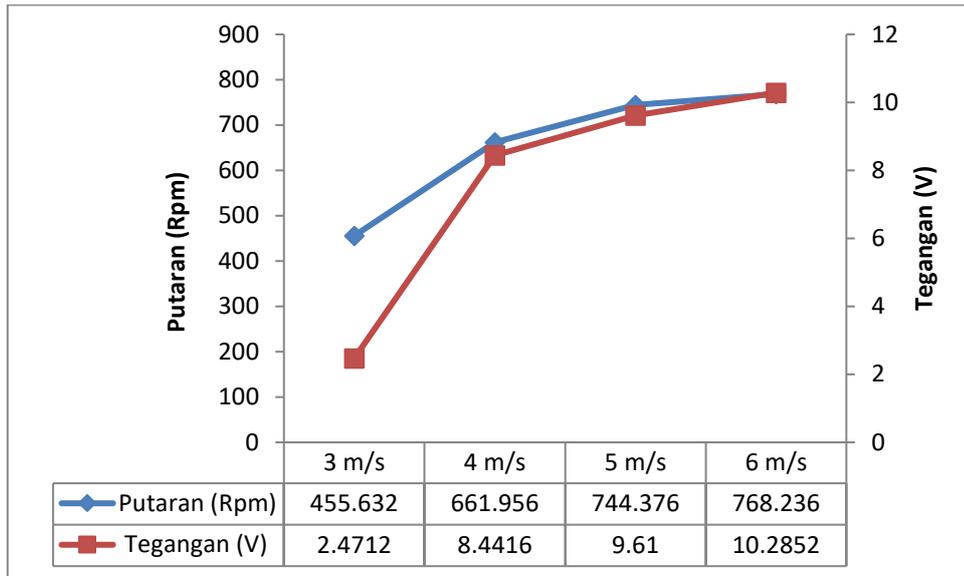
Hubungan Kecepatan Angin Dengan Tegangan Pada Tiap Tipe Sudut Serang



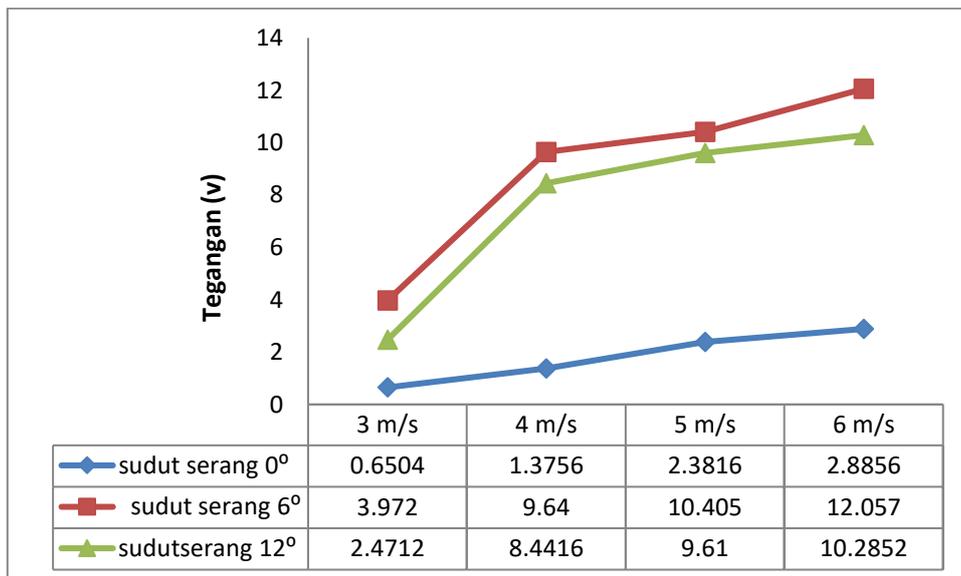
Gambar 2. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Tegangan Dan Putaran Pada Sudut Serang 0°



Gambar 3. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Tegangan Dan Putaran Pada Sudut Serang 6°



Gambar 4. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Tegangan Dan Putaran Pada Sudut Serang 12°

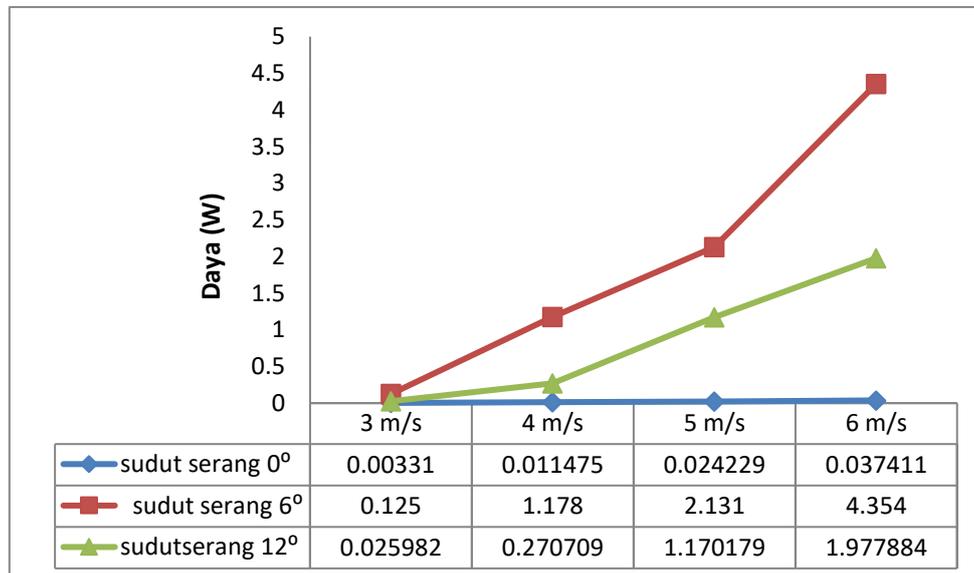


Gambar 5. Hubungan Kecepatan Angin Dengan Tegangan Pada Tiap Tipe *Blade* NACA 4412

Gambar 5 diatas menunjukkan bahwa turbin variasi sudut serang 6° memiliki tegangan listrik tertinggi diantara 2 variasi sudut serang lainnya. Pada kecepatan 3 m/s turbin variasi ini menghasilkan tegangan listrik 3,972 Volt yang bahkan lebih tinggi dari 2 variasi turbin lainnya pada titik maksimal tegangan yang dihasilkan. Tegangan listrik tertinggi dihasilkan pada kecepatan 6 m/s dengan nilai 12,057 Volt.

Gambar 5 menunjukkan hubungan kecepatan angin dengan tegangan DC yang dihasilkan oleh generator yang diukur pada keluaran converter pada setiap tipe blade NACA dengan sudut serang yang diuji. Prinsip kerja generator memakai kaidah Hukum Faraday, yaitu apabila sebuah penghantar digerakkan di dalam sebuah medan magnet, maka kedua ujung penghantar tersebut akan timbul gaya gerak listrik (GGL) induksi. Bila kedua ujungnya dihubungkan dengan beban, misalnya sebuah lampu, maka akan mengalir arus listrik dan timbul daya listrik (Sumiati dan Amri, 2014). Dapat dilihat bahwa tegangan tertinggi yang dihasilkan adalah pada blade NACA 4412 dengan sudut serang 0° yaitu 13,132 Volt degan kecepatan angin 6 m/s, dan tegangan terendah yang dihasilkan adalah pada blade NACA dengan sudut serang 12° yaitu sebesar 3,1732 Volt. Gambar 4.5 juga

menunjukkan bahwa pada setiap kecepatan angin 6 m/s pada setiap tipe *blade* NACA dengan sudut serang didapatkan putaran *rotor blade* yang lebih besar dibandingkan dengan putaran *rotor blade* pada kecepatan 5, 4, 3 m/s.



Gambar 6. Hubungan Sudut Serang Terhadap Daya Yang Dihasilkan Turbin Angin

Gambar 6 merupakan grafik hubungan sudut serang terhadap daya yang dihasilkan turbin angin oleh *generator* atau disebut juga daya turbin *output* dengan beban lampu LED 10 W DC 12 Volt. Besar daya yang dihasilkan *generator* merupakan hasil dari perkalian antara arus listrik (I) dan tegangan listrik (V) yang diketahui dari hasil pengukuran dan perhitungan yang mana nilai dari arus dan tegangan listrik tersebut berbanding lurus dengan putaran *rotor*, semakin tinggi putaran maka daya listrik dari *generator* yang dihasilkan juga semakin besar. Perubahan sudut serang menyebabkan gaya *lift* dan *drag* yang bekerja pada *blade* berubah. Dengan sudut serang yang maksimal akan dapat menghasilkan daya turbin yang lebih besar. Untuk mengoptimalkan turbin sebuah sudut serang harus diperhatikan karena hal ini akan meningkatkan torsi dan menghilangkan gaya yang tidak produktif, hal ini untuk memperlancar gaya selama torsi turbin bekerja. Kinerja turbin angin dipengaruhi oleh gaya yang bekerja pada *blade*. Dengan perubahan sudut serang akan merubah gaya *lift* dan *drag* yang bekerja pada *blade*.

Pada sudut serang 0° dapat dilihat bahwa turbin memiliki putaran yang rendah jika dibandingkan dengan turbin variasi sudut serang 6° dan 12°, hal ini disebabkan karena terdapat resultan gaya yang membantu turbin berputar dan adapula gaya yang menghambat turbin untuk berputar, sehingga secara keseluruhan gaya yang memutar turbin lebih sedikit dan maka putaran turbin menjadi rendah. Gaya hambat (*drag force*) merupakan gaya aerodinamik horisontal yang bekerja pada *airfoil*, gaya hambat ini terjadi karena lebih tingginya tekanan udara pada bagian depan *airfoil* dibanding tekanan udara pada bagian belakang *airfoil* sehingga arah gaya yang terjadi adalah kebagian belakang *airfoil* (Teddy Nurcahyadi, 2008).

Pada sudut serang 6° memiliki nilai koefisien *lift* cenderung meningkat dibandingkan 0°. Menunjukkan perbedaan kecepatan aliran dibagian atas dan bawah *airfoil*, hal ini menunjukkan tekanan dibawah *airfoil* lebih besar dibandingkan tekanan diatas *airfoil*. Tekanan turbin menghasilkan tegangan listrik yang besar hal ini yang mempengaruhi nilai gaya *drag* yang lebih kecil dibandingkan gaya *lift* nya (Jakataru David Embang, 2016).

Pada sudut serang 12° ini dapat dilihat tidak menghasilkan putaran turbin yang tinggi jika dibandingkan dengan sudut serang 6°, ini terjadi karena pengaruh dari fenomena aerodinamis yang dikenal sebagai *Stall*. *Stall* harus dipertimbangkan secara hati-hati dalam mendesain *blade* turbin. *Stall* biasanya terjadi pada sudut serang yang besar tergantung pada desain *airfoil*. Ketika *angle of*

attack meningkat dan melampaui batasan *critical point* maka akan mengurangi gaya angkat (*lift*) dan meningkatkan gaya hambat (*drag*). Kondisi ini dianggap berbahaya dalam penerbangan dan umumnya dihindari. Namun, untuk turbin angin dapat digunakan untuk membatasi *output* daya maksimum untuk mencegah generator *overload* dan tegangan yang berlebihan pada baling-baling selama kecepatan angin ekstrim (Schubel & Crossley, 2012).

Pada gambar 6 dapat juga dilihat bahwa daya listrik yang dihasilkan (aktual) akan lebih kecil jika dibandingkan dengan daya listrik teoritis angin, faktor yang mempengaruhi diantaranya adalah faktor gesekan yang terjadi pada turbin, efisiensi transmisi dan efisiensi generator, dan sudut serang blade yang digunakan, oleh karena itu daya yang dihasilkan oleh turbin angin tersebut menjadi lebih kecil. Pada penelitian ini daya yang terbesar dihasilkan oleh *blade* dengan sudut serang 6°, pembentukan *airfoil* juga berpengaruh pada sudut serang anginnya. Dimana sudut serang angin akan menghantam bagian bawah *airfoil* dan menimbulkan gaya angkat.

4. KESIMPULAN

Sudut serang *blade* pada turbin angin merupakan hal yang penting karena *blade* merupakan komponen utama yang menangkap angin untuk kemudian dikonversikan menjadi gerakan mekanik. Daya *output* maksimum yang dihasilkan oleh turbin angin adalah pada Sudut Serang 6° dengan daya sebesar 4,352577 Watt pada kecepatan angin 6 m/s putaran *blade* 937,856 rpm. Dan daya terendah turbin angin dihasilkan pada Sudut Serang 0° yaitu sebesar 0,003309886 watt pada kecepatan angin 3 m/s putaran *blade* 237,896 rpm. Pengujian *blade airfoil* NACA 4412 dengan Sudut serang 0°, 6°, dan 12° yang telah dilakukan diperoleh bahwa daya *output* turbin angin yang paling besar dihasilkan oleh Sudut Serang 6°, hal ini disebabkan oleh putaran *blade* NACA 4412 dengan sudut serang 6° lebih tinggi dibandingkan dengan *blade* NACA 4412 dengan sudut serang 0° dan 12° pada setiap variasi kecepatan angin, dan juga akibat dari putaran *generator* yang dihasilkan tinggi maka energi listrik yang dihasilkan pun semakin besar. Kinerja atau performansi turbin angin dengan variasi sudut serang sangat mempengaruhi daya maksimum yang dihasilkan turbin angin poros horizontal dimana pada sudut serang 0° dihasilkan daya tertinggi sebesar 0,037411804 watt pada putaran 503,68 rpm. Dan pada sudut serang 6° dihasilkan daya sebesar 4,352577 watt pada putaran 937,856 rpm. Dan pada sudut serang 12° dihasilkan daya sebesar 1,978543354 watt pada putaran 768,236 rpm.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <http://eprints.ums.ac.id/40483/1/NASKAH%20PUBLIKASI.pdf>
- [2] Al-Shemmeri, T. (2010). Wind Turbine. In *bookboon.com* (Vol. 4, Issue 3). Ventus Publishing ApS. <http://marefateadyan.nashriyat.ir/node/150>
- [3] Andi Susanto, Aklis, N., & Subroto. (2015). *STUDI EKSPERIMEN PENGARUH SUDUT SERANG TERHADAP PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL NACA 4415*. 151, 10–17.
- [4] Aryanto, F., Mara, M., & Nuarsa, M. (2013). Pengaruh Kecepatan Angin Dan Variasi Jumlah Sudu Terhadap Unjuk Kerja Turbin Angin Poros Horizontal. *Dinamika Teknik Mesin*, 3(1), 50–59. <https://doi.org/10.29303/d.v3i1.88>
- [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)*.
- [6] Damanik, R. P., Agustina, D., & Martin, A. (2020). RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL DENGAN TIPE BILAH INVERSE TAPER BERBAHAN DASAR KOMPOSIT SERAT TANDAN. *JOM FTEKNIK*, 7(1), 1–6.
- [7] Han, E. S., & goleman, daniel; boyatzis, Richard; Mckee, A. (2019). Definisi Turbin Angin. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- [8] Madi. (2016). *Laporan Kerja Praktek Studi Perancangan Horizontal Axis Wind Turbine Dengan Perbedaan Desain Air Foil Pada Bilah Jenis Taper Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin Laut Di Pantai Ciheras* (Vol. 2016).

- [9] Multazam, T., & Mulkan, A. (2019). Rancang Bangun Turbin Angin Sumbu Horizontal Pada Kecepatan Angin Rendah Untuk Meningkatkan Performa Permanent Magnet Generator. *Jurnal Serambi Engineering*, 4(2), 616–624. <https://doi.org/10.32672/jse.v4i2.1446>
- [10] Nayiroh, N. (n.d.). *TEKNOLOGI MATERIAL KOMPOSIT*.
- [11] Perdana, M. (2013). Pengaruh Moisture Content Dan Thermal Shock Terhadap Sifat Mekanik Dan Fisik Komposit Hibrid Berbasis Serat Gelas Dan Coir. *Jurnal Teknik Mesin*, 3(1), 1–7.
- [12] Puriza, M. Y., & Latief, M. (2018). Pemilihan Bahan Sudu Untuk Perancangan Dan Pembuatan Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal. *Jurnal ECOTIPE*, 5(2), 37–41. <https://doi.org/10.33019/ecotipe.v5i2.664>
- [13] Ragheb, M. (2021). *Aerodynamics of Rotor Blades*.
- [14] Rizianiza, I., Setiorini, D., & Djafar, A. (2018). Perancangan Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Studi Kasus Institut Teknologi Kalimantan. *SPECTA Journal of Technology*, 2(3), 21. <https://doi.org/10.35718/specta.v2i3.7>
- [15] Rizianiza, I., Setiorini, D., Djafar, A., & Mesin, T. (2018). *P-8 PENGARUH VARIASI SUDUT SERANG DAN KECEPATAN ANGIN TERHADAP PERFORMANSI TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL THE EFFECT OF ANGLE OF ATTACK AND WIND SPEED TO*.
- [16] Saputra, S. F., & Agustian, S. (2018). Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin ANALISA PENGARUH PUTARAN BLADE DAN ARAH SUDUT SERANG TERHADAP KOEFISIEN DRAG DAN LIFT PADA MODEL PROTOTIPE AIRFOIL NACA 0012 DENGAN MENGGUNAKAN ALAT UJI WIND TUNNEL OPEN CIRCUIT UNTUK SARANA. *Publikasi Online Mahasiswa Teknik Mesin*, 1(1), 1–8.
- [17] SAYOGO, A. (2016). *Perancangan dan pembuatan kincir angin tipe HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE (HAWT) UNTUK DAERAH PANTAI SELATAN JAWA*.
- [18] Schubel, P. J., & Crossley, R. J. (2012). Wind Turbine Blade Design. *Energies*, 3425–3449. <https://doi.org/10.3390/en5093425>
- [19] Sidik, J., & Wachid, N. (2020). *PENGARUH SUDUT SERANG TERHADAP KOEFISIEN PERFORMA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL SKALA MIKRO NACA 4412 Sholichan Abstrak*. 1(1), 1–11.
- [20] Syahyuniar, R. (2016). Rancang Bangun Pembuatan Turbin Angin Type Horizontal Berdiameter 2,8 Meter Dan Output Daya Listrik 1000 Watt. *Elemen : Jurnal Teknik Mesin*, 3(1), 30. <https://doi.org/10.34128/je.v3i1.13>
- [21] Ulinuha, A., & Widodo, W. A. (2018). Rancang Bangun Pembangkit Listrik Tenaga Angin Skala Mikro Untuk Keperluan Penerangan Jalan. *The 7th University Research Colloquium*, 128–135. <http://repository.urecol.org/index.php/proceeding/article/view/27/24>
- [22] Wahyudi, S. N. (2020). Pengaruh Jenis Dan Jumlah Bilah Naca 3612 Terhadap Performa Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH).
- [23] Yahya, N. (2017). Analisis Profil Wake Pada Cascade Computational Fluid Dynamics.