

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
HORIZONTAL AXIS WIND TURBINE PERFORMANCE***

Illa Rizianiza^{1*}, Devy Setiorini², Alfian Djafar³
^{1, 2, 3}Teknik Mesin, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan

**E-mail: rizianiza@itk.ac.id*

Diterima 07-08-2018	Diperbaiki 24-09-2018	Disetujui 05-11-2018
---------------------	-----------------------	----------------------

ABSTRAK

Angin merupakan salah satu energi baru terbarukan yang memiliki potensi besar untuk dimanfaatkan dalam membangkitkan energi listrik. Pengembangan teknologi angin terkendala oleh profil kecepatan angin yang tidak stabil dan mengalami perubahan dalam waktu yang relatif singkat. Turbin angin sumbu horizontal memiliki beberapa kelebihan diantaranya proses pembuatan sederhana, perawatan mudah, dan efisiensi yang tinggi yang disebabkan karena pada turbin angin sumbu horizontal, memiliki sudu yang selalu bergerak tegak lurus terhadap arah angin sehingga dihasilkan daya listrik yang stabil. Salah satu cara untuk memperoleh efisiensi yang tinggi maka dilakukan variasi besar sudut serang dan kecepatan angin. Pada penelitian ini digunakan variasi kecepatan angin 3.8 m/s, 4.3 m/s, 5.8 m/s dengan variasi sudut serang sebesar 5⁰, 10⁰, 15⁰, 20⁰, 25⁰, 30⁰. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin yang menumbuk sudu turbin maka kecepatan putaran juga semakin besar. Pada pengujian Turbin Angin Sumbu Horizontal dengan kecepatan 3.8 m/s diperoleh daya terbesar pada sudu 25⁰ yaitu 46.43 mW. Pada pengujian dengan kecepatan 4.3 m/s diperoleh daya listrik terbesar pada sudu 25⁰ yaitu 99.14 mW. Pada pengujian dengan kecepatan 5.8 m/s diperoleh daya terbesar 107.91 mW pada sudu 30⁰. Perhitungan Coefficient of power dilakukan pada pengujian terbaik yaitu pada konfigurasi kecepatan angin 5.8 m/s dan sudut serang 30⁰ yang menghasilkan nilai Coefficient of power sebesar 11.6%.

Kata kunci: coefficient of power, daya listrik, sudu, turbin angin sumbu horizontal

ABSTRACT

Wind energy is a new renewable energy which has great potential to produce electrical energy. Wind technology development is constrained by unstable wind speed. Horizontal wind turbine have several advantages: simple manufacturing processes, easy maintenance, high efficiency, and have blades which always move perpendicular to the direction of winds produces stable power. The efficiency can be improved with the variation of angle of attack and wind speed. This study using wind speeds 3.8 m/s, 4.3 m/s, and 5.8 m/s with angle of attack 5⁰, 10⁰, 15⁰, 20⁰, 25⁰, 30⁰. The test results shows that the higher wind speed will increase rotation speed. On Horizontal Axis Wind Turbine testing with wind speed 3.8 m/s, the largest power in the 250 angle of attack is 46.43 mW. The test with wind speed 4.3 m/s, the largest electrical power obtained at angle of attack 250 is 99.14 mW. While the largest power with wind speed 5.8 m/s at angle of attack 30⁰ is 107.91 mW. The best coefficient of Power is 11.6% with the wind speed 5.8 m/s and angle of attack 30⁰.

Keywords: coefficient of power, power, blade, horizontal axis wind turbine

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat diikuti dengan kebutuhan energi yang tinggi salah satunya energi listrik. Listrik merupakan kebutuhan manusia yang penting dalam kehidupan. Hampir semua kegiatan manusia membutuhkan listrik. Selama ini listrik dibangkitkan oleh pembangkit listrik yang didominasi oleh sumber daya alam tidak terbarukan yang ketersediaanya terbatas. Untuk memenuhi kebutuhan masa depan dilakukan rencana pembangunan yang berkelanjutan. Pembangunan berkelanjutan merupakan proses pembangunan yang memiliki prinsip pemenuhan kebutuhan masa sekarang tanpa mengorbankan pemenuhan kebutuhan masa depan. Salah satu hal yang penting dalam pembangunan berkelanjutan adalah pemanfaatan Energi Baru Terbarukan (EBT).

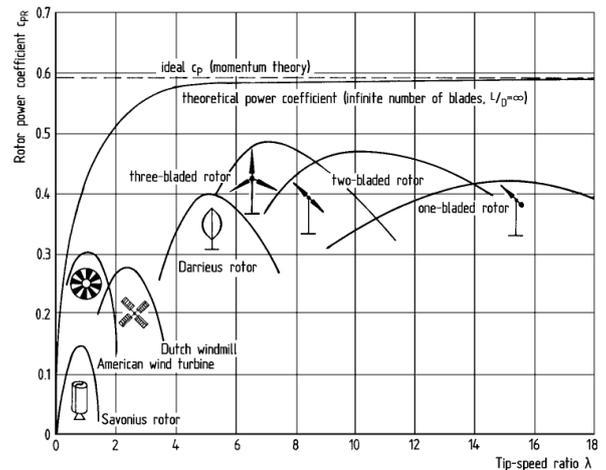
Salah satu energi yang dapat dimanfaatkan adalah energi angin. Berdasarkan Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025 pada Tabel 1. potensi energi angin di Indonesia adalah setara dengan 9.29 GW sementara *plant* yang terpasang masih kecil sekali yaitu sebesar 0.5 GW [1]. Salah satu permasalahan EBT energi angin di Indonesia adalah profil kecepatan angin yang rendah, fluktuatif dan arah angin yang berubah-ubah. Berdasarkan data dari Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika (BMKG), Indonesia memiliki kecepatan angin berkisar antara 5-26 km/jam [2]. Sehingga perlu dilakukan pengembangan Sistem Konversi Energi Angin (SKEA) sesuai dengan kondisi angin di Indonesia.

Tabel 0. Potensi energi non fosil nasional

Jenis Energi	Sumber Daya	Setara	Kapasitas Terpasang
Air	845 x 10 ⁶ BOE	75,67 GW	4,2 GW
Panas Bumi	219 x 10 ⁶ BOE	27 GW	0,8 GW
Mikrohidro	458,75 MW	458,75 MW	84 MW
Biomassa	49,81 GW	49,81 GW	302,4 MW
Tenaga Surya	4,8 kWh/m ² /hari	4,8 kWh/m ² /hari	8 MW
Angin	9,29 GW	9,29 GW	0,5 MW

Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) merupakan salah satu jenis turbin angin yang banyak digunakan di Indonesia. TASH merupakan salah satu jenis turbin angin yang memiliki kemampuan untuk mengonversi energi dengan efisiensi paling besar karena baling-baling selalu bergerak tegak lurus dengan angin, menerima daya melalui semua putaran [3].

TASH memiliki bervariasi jumlah sudu. Penentuan jumlah sudu didasarkan pada tingkat efisiensi turbin. TASH dengan jumlah sudu lebih dari tiga dapat meningkatkan kerja dari turbin angin, tetapi ketika daya dorong angin yang menumbuk turbin angin lebih besar maka sudu akan lebih banyak menerima tekanan, dan jika tekanan terlalu kuat maka bisa menyebabkan kerusakan [5]. Jika TASH memiliki jumlah sudu kurang dari tiga maka harus dilakukan desain profil sudu dengan lekukan lebih rumit untuk memperoleh tekanan angin yang hampir sama dengan tiga sudu. Selain itu juga magnet pembangkit yang digunakan harus lebih kuat.



Gambar 0. Perbandingan efisiensi per tip speed ratio pada tiap jenis turbin angin [4]

TASH dengan tiga sudu memiliki *coefficient of power* tinggi yang ditunjukkan pada Gambar 1. *Coefficient of power* pada TASH dengan tiga sudu hampir mendekati batas efisiensi maksimum pada turbin angin [6]. Sehingga pada penelitian ini digunakan TASH dengan tiga sudu yang dirancang dalam skala kecil. Perancangan dilakukan dengan mendesain komponen penyusun TASH yaitu sudu turbin, *hub*, tiang, *base* dan roda gigi. Setelah merancang kemudian desain dicetak menggunakan *3D printer* dengan menggunakan bahan filamen *polylactic*

acid(PLA). PLA merupakan bahan dari plastik organik yang memiliki kelebihan dapat terdegradasi secara alami di alam, sehingga lebih ramah lingkungan jika dibandingkan dengan plastik konvensional yang terbuat dari petroleum [7].Selanjutnya dilakukan perakitan antar komponen hingga menjadi TASH 3 sudu.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan tiga variasi kecepatan dan variasi besar sudu turbin. Variasi sudu turbin dilakukan untuk memperoleh nilai performansi terbaik karena besar sudu pada TASH merupakan salah satu variabel yang berpengaruh terhadap performansi turbin.

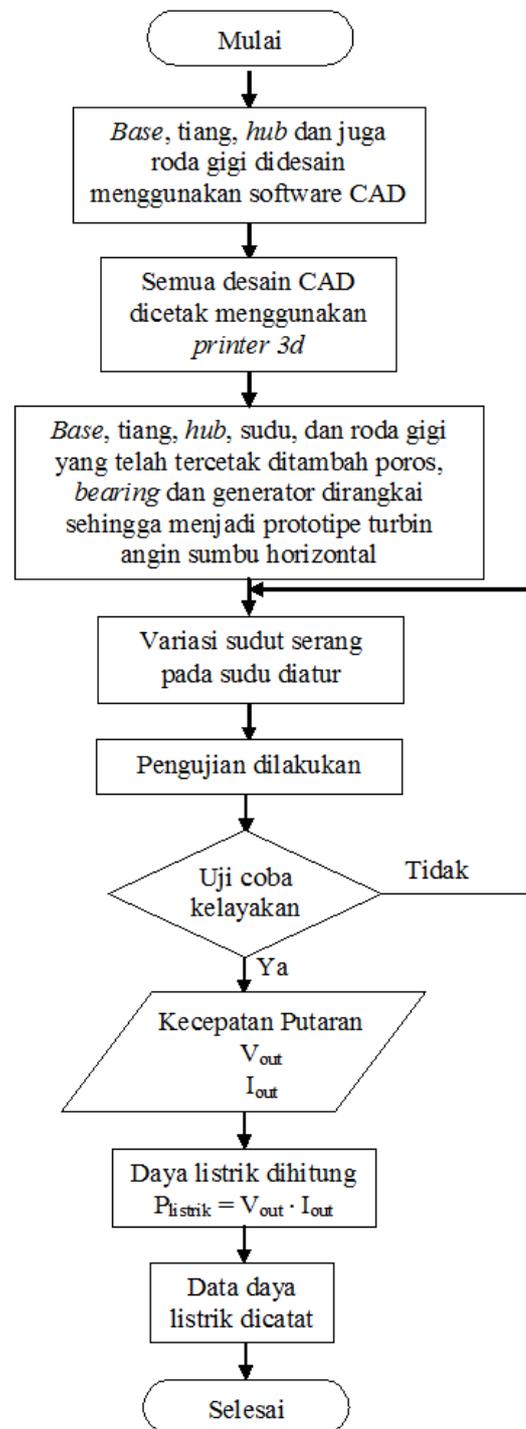
METODOLOGI

Pada penelitian ini dilakukan perancangan penyusun utama TASH diantaranya sudu turbin, *hub*, tiang, *base* dan roda gigi. Sudu turbin yang dibuat dari filament PLA dengan menggunakan *3D printer*. Sudu turbin dirancang dengan menggunakan desain NACA 4412. NACA merupakan *airfoil* yang dikembangkan oleh National Advisory Committee For Aeronautics. Beberapa bentuk *airfoil* yang sering digunakan baik untuk sayap terbang maupun sudu turbin angin adalah *airfoil* tipe NACA 4412, NACA 4415, NACA 4418. Salah satu karakteristik dari NACA 4412 adalah memiliki bentuk yang lebih ramping jika dibandingkan dengan NACA 4415 dan NACA 4418. Penggunaan tipe *airfoil* NACA 4412 lebih sering digunakan terutama untuk sudu turbin angin [8].

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 sebesar 428 mm dan *tip speed ratio* (TSR) 3. Penetapan diameter rotor ini didasari oleh batas kemampuan *3D printer* dalam melakukan pencetakan. Sedangkan variabel independen adalah variasi sudut serang terhadap tiga variasi kecepatan angin. Variasi sudut serang adalah 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° , sedangkan variasi kecepatan angin yakni 3.8 m/s, 4.3 m/s, 5.8 m/s. Variabel dependen pada penelitian ini adalah daya listrik yang dihasilkan. Sedangkan nilai *Coefficient of power* (Cp) dapat dihitung dari perbandingan antara daya rotor dengan daya angin maksimum pada saat pengujian [9].

Perancangan TASH ditunjukkan pada Gambar 2. Perancangan meliputi perancangan desain *base*, tiang, *hub* dan roda gigi. Pengujian dilakukan pada semua variasi

kecepatan angin dan variasi sudut serang. Dari hasil dimulasi diperoleh nilai kecepatan putaran, besar tegangan listrik dan arus listrik yang dihasilkan. Sehingga akan diperoleh nilai daya listrik yang dihasilkan. Selain itu juga dilakukan analisa tentang *Coefficient of power* dari TASH.



Gambar 2. Diagram alir perancangan turbin angin sumbu horizontal

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian turbin angin dilakukan pada variasi kecepatan angin. Tetapi dalam menentukan kecepatan angin untuk pengujian perlu diperhatikan kekuatan dari turbin angin yang akan diuji. Prototipe turbin angin terbuat dari bahan PLA yang tidak cukup kuat jika diterpa angin dengan kekuatan kencang, sehingga dipilihlah sumber angin dengan kekuatan lemah yang berasal dari kipas angin. Pemilihan variasi kecepatan juga didasarkan pada pilihan kecepatan pada kipas angin. Ketiga pilihan kecepatan pada kipas angin digunakan sebagai variasi untuk mengetahui kecepatan minimal dan kecepatan optimal turbin angin dapat berputar.

Selain kecepatan angin, dilakukan variasi sudut serang untuk memperoleh data tentang pengaruh sudut serang terhadap daya keluaran. Variasi sudut serang yang diuji adalah 5° , 10° , 15° , 20° , 25° , 30° . Semakin kecil rentang yang digunakan maka semakin banyak data yang didapatkan dan akan mempermudah dalam penentuan kondisi optimal turbin angin pada kecepatan tersebut. Secara teoritis, momentum akan lebih besar jika kecepatan juga besar. Namun jika permukaan yang ditumbuk memiliki sudut, nilai momentum akan sangat tergantung dengan besar sudutnya. Sehingga menyebabkan gaya dorong sudu bervariasi berdasarkan besar sudut.

Data hasil pengujian ditunjukkan pada pada Tabel 2, Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 2. Data pengujian turbin angin pada kecepatan 3.8 m/s

TSR 3				
Sudut serang	Kecepatan putaran	Kuat arus	Tegangan	Daya listrik
α ($^{\circ}$)	N (rpm)	I (mA)	V (Volt)	(mW)
0	72.4	13.6	1.02	13.87
5	92.5	16.19	1.10	17.81
10	106.3	18.14	1.31	23.76
15	120.2	20	1.51	30.2
20	137.8	287	1.56	44.77
25	147.9	29.2	1.59	46.43
30	145.1	27.1	1.70	46.07

Tabel 3. Data pengujian turbin angin pada kecepatan 4.3 m/s

TSR 3				
Sudut serang	Kecepatan putaran	Kuat arus	Tegangan	Daya listrik
α ($^{\circ}$)	N (rpm)	I (mA)	V (Volt)	(mW)
0	95.8	20	1.26	25.2
5	119.1	28.5	1.58	45.03
10	149.1	30	1.8	54
15	164.9	39	1.93	75.27
20	178.9	39.9	2.21	88.18
25	192.2	40.8	2.43	99.14
30	189.4	36.9	2.57	94.83

Tabel 4. Data pengujian turbin angin pada kecepatan 5.8 m/s

TSR 3				
Sudut serang	Kecepatan putaran	Kuat arus	Tegangan	Daya listrik
α ($^{\circ}$)	N (rpm)	I (mA)	V (Volt)	(mW)
0	118.7	23.3	1.49	34.71
5	135.3	34.4	1.78	61.23
10	158	41.6	2.07	86.11
15	183.1	48.3	2.19	105.78
20	203.5	42.3	2.47	104.48
25	214.7	46.8	2.72	127.30
30	232.8	37.6	2.87	107.91

1. Hubungan antara kecepatan angin terhadap daya listrik yang dihasilkan

Berdasarkan Tabel 4.1, 4.2 dan 4.3 kecepatan putaran yang memiliki nilai terbesar adalah pada saat kecepatan angin 5.8 m/s. Semakin besar kecepatan angin maka kecepatan putaran motor juga semakin besar. Sehingga semakin besar energi yang diberikan angin kepada sudu turbin maka semakin besar pula energi yang dikonversikan turbin menjadi putaran rotor. Hal ini linier dengan daya listrik yang dihasilkan. Semakin besar putaran yang dihasilkan maka semakin pula daya listrik yang dihasilkan.

Pada pengujian dengan kecepatan 5.8 m/s pada sudut serang 30^0 dihasilkan kecepatan putaran sebesar 232,8 rpm, sedangkan pada sudut serang yang sama dan diuji pada kecepatan 3.8 m/s dihasilkan kecepatan sebesar 145.1 rpm dan pada pengujian dengan kecepatan 4.3 m/s dihasilkan kecepatan putaran sebesar 189.4 rpm.

Kecepatan putaran sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin yang memberikan energi pada sudu turbin. Selain itu juga dipengaruhi oleh penempatan turbin angin yang berpengaruh langsung terhadap energi angin yang menumbuk sudu turbin. Lokasi strategis untuk penempatan turbin angin adalah pada daerah yang mempunyai kecepatan angin konstan dan arah angin tidak berubah-ubah dalam waktu yang singkat [10].

Angin yang melewati sudu turbin angin menyebabkan rotor berputar sehingga generator ikut berputar. Pada generator, angin diubah menjadi energi listrik. Pada daerah yang kecepatan anginnya tidak konstan, maka perlu ditambahkan pengatur tegangan agar generator dapat difungsikan dalam waktu yang lama.

2. Hubungan antara sudut serang dengan daya listrik yang dihasilkan

Pengujian turbin angin sumbu horizontal ini dilakukan pada variasi sudut serang 5^0 , 10^0 , 15^0 , 20^0 , 25^0 , 30^0 dengan kecepatan 3.8 m/s, 4.3 m/s, 5.8 m/s. Berdasarkan Tabel 1 ditunjukkan bahwa turbin angin diujikan pada kecepatan 3.8 m/s dihasilkan nilai putaran terbesar pada konfigurasi sudut serang sebesar 25^0 . Pada variasi sudut serang 0^0 sampai 25^0 terjadi kenaikan putaran tetapi pada sudut serang 30^0 mengalami penurunan. Perilaku ini juga terjadi pada pengujian turbin angin dengan kecepatan angin 4.3 m/s. Tetapi pada kecepatan paling tinggi yaitu 5.8 m/s nilai kecepatan putaran terbesar terjadi pada pengujian turbin angin dengan konfigurasi 30^0 .

Perbedaan perilaku hasil pengujian dengan variasi kecepatan dan variasi sudut serang ini disebabkan karena pada saat kecepatan 5.8 m/s arah angin tidak stabil sehingga mengakibatkan energi angin yang melewati sudu turbin menjadi berubah-ubah. Putaran sudu turbin menjadi tidak konstan sehingga mempengaruhi putaran rotor dan generator. Jika kecepatan angin yang menumbuk sudu turbin besar maka momentum yang dihasilkan juga besar. Tetapi jika

permukaan sudu yang ditumbuk oleh angin memiliki sudut, maka besar momentum akan dipengaruhi oleh besar sudutnya. Sehingga menyebabkan gaya dorong sudu menjadi berubah-ubah tergantung dari besar sudutnya.

3. Hubungan antara sudut serang dan kecepatan angin terhadap performansi turbin

Pada perancangan protipe turbin angin sumbu horizontal ini dilakukan perhitungan tentang *coefficient of power*. *Coefficient of power* menunjukkan tentang efisiensi daya turbin angin akan bekerja. Pada penelitian ini dilakukan perhitungan *Coefficient of power* pada kecepatan terbesar yaitu 5.8 m/s pada sudut serang 30^0 . Dalam menghitung *coefficient of power* diperlukan nilai gaya aksial dari turbin angin. Namun sebelum menghitung gaya aksial, terlebih dahulu mengukur data-data yang dibutuhkan yakni diameter rotor, kecepatan angin sebelum melewati rotor dan kecepatan angin setelah melewati rotor yang sesuai dengan persamaan:

Pehitungan gaya aksial turbin dengan menggunakan persamaan 1 dihasilkan gaya aksial sebesar 0.41 N. Dimana F merupakan gaya aksial, T adalah torsi, r adalah jari-jari, ρ adalah massa jenis udara, D adalah diameter rotor, N adalah jumlah putaran tiap satuan waktu, V_i adalah kecepatan angin sebelum melewati sudu dan V_e adalah kecepatan angin setelah melewati sudu.

$$F = \frac{\pi}{8g_c} \cdot \rho D^2 (V_i^2 - V_e^2) \quad (1)$$

Telah mendapatkan besar gaya, selanjutnya adalah mencari gaya keliling atau torsi pada rotor turbin angin. Nilai torsi dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 2 dan diperoleh torsi sebesar 0,087 Nm.

$$T = Fr \quad (2)$$

Perhitungan daya kincir angin didasarkan pada persamaan 3 dan diperoleh nilai 1.28 Watt. Nilai ini diperoleh dari perkalian antara torsi dengan kecepatan sudu pada poros 141.5 rpm.

$$P_{out} = T \cdot \omega \quad (3)$$

Tahap selanjutnya adalah mencari daya angin sesuai dengan persamaan 4. Luas penampang pada persamaan didapatkan dari π dikalikan dengan jari-jari rotor turbin angin.

Setelah perhitungan didapatkan P_{in} sebesar 9,71 Watt.

$$P_{in} = \frac{1}{2} \rho A V_i^3 \quad (4)$$

Perhitungan *coefficient of power* menggunakan persamaan 5. Setelah membandingkan antara daya kincir terhadap daya angin, hasil yang didapat adalah 0.13.

$$C_p = \frac{P_{out}}{P_{in}} \quad (5)$$

Perhitungan persentase rugi-rugi yang dihasilkan menggunakan persamaan 6. Persentase rugi atau efisiensi mekanis dan elektrik seharusnya tidak lebih besar dari 80%. Jika kurang dari 80% dapat dikatakan bahwa perancangan alat kurang maksimal [11].

$$\eta = \frac{2 P_{in}}{C_p \cdot \rho \cdot A \cdot V_i^3} \quad (6)$$

Perbandingan yang diperoleh yaitu 11,6% merupakan efisiensi mekanis dan efisiensi elektrik dari turbin angin. Turbin angin memiliki efisiensi mekanis dan efisiensi elektrik [11]. Nilai efisiensi mekanis dan elektrik bisa mencapai 90%. Jika dibandingkan dengan efisiensi maksimum, efisiensi yang diperoleh dari hasil pengujian masih sangat kecil sehingga perlu ditingkatkan.

Efisiensi yang rendah disebabkan karena beberapa hal. Salah satunya adalah adanya pergerakan transmisi roda gigi yang tidak halus. Hal ini disebabkan karena hasil *print 3D* meluber pada awal pencetakan, sehingga ketika kedua roda gigi disambungkan akan menyebabkan pertemuan antar gigi tidak mulus. Selain itu pada poros yang digunakan terdapat lendutan yang mengakibatkan *unbalance* pada poros. Lendutan pada poros disebabkan oleh pembubutan yang kurang sempurna.

KESIMPULAN

Adapun kesimpulan yang dihasilkan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Variasi yang beragam pada pengujian sudut memberikan kecenderungan yang beragam pula pada daya listrik yang dihasilkan. Semakin besar sudut serang maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Sudut serang optimal pada tiap pengujian pun berbeda. Hal ini dikarenakan kombinasi antara kecepatan angin dan lebar sudu juga mempengaruhi daya yang dihasilkan. Pada pengujian

TASH dengan kecepatan 3.8 m/s diperoleh daya terbesar pada sudu 25° yaitu 46.43 mW. Pada pengujian dengan kecepatan 4.3 m/s diperoleh daya listrik terbesar pada sudu 25° yaitu 99.14 mW. Pada pengujian dengan kecepatan 5.8 m/s diperoleh daya terbesar 107.91 mW pada sudu 30° .

2. Untuk menghasilkan daya yang optimal maka perlu mengombinasikan antara kecepatan angin, sudut serang dan perancangan sudu yang tepat. Konfigurasi yang tepat untuk turbin angin sumbu horizontal skala kecil adalah dengan merancang sudu lebar menggunakan *tip speed ratio* 3, sudut serang 30° dan kecepatan angin 5.8 m/s.

SARAN

Dalam membuat prototipe turbin angin diperlukan bahan yang kuat dan ringan terutama dalam pembuatan sudu. Selain itu juga perlu diperhatikan penempatan pada saat pengujian turbin angin terutama pada daerah yang kecepatan anginnya tidak stabil.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Avérous, L. *Polylactic Acid: Syntethesis, Properties and Aplication*, Elsevier Ltd, Amsterdam (2008).
- [2] Badan Meterologi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG). *Data angin periode 2016-2017*, Balikpapan (2018).
- [3] Gipe, P. *Plus Energy Building: Wind Eney, Small Wind, & Wind Comunity*. Minnesota: Carleton. (2010).
- [4] Hirahara, H., Hossain, M.Z., Kawahashi, M., dan Nonomura, Y., "Testing basic performance of a very small wind turbine designed for multi-purposes", *Renewable Energy*, 30 (2005): 1279-1297.
- [5] Ingram, G. *Wind Turbine Blade Analysis using the Blade Element Momentum Method Version 1.1*, Durham University, Durham. (2011).
- [6] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia (ESDM). *Blueprint pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*, Jakarta (2005)
- [7] Kishore, R.A., Coudron, T., Priya S., "Small-scale wind energy portable turbine (SWEPT)", *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 116 (2013): 21-31.

- [8] Manwell, J.F., McGowan, dan Rogers A.L., *Wind Energy Explained – Theory, Design and Application*, John Wiley & Sons Ltd, Chichester (2002).
- [9] Revan M. dan Hangan H. “Aerodynamic Performance of a Small Horizontal Axis Wind Turbine”, *Journal of Solar Energy Engineering*, 134 (2012).
- [10] Singh, R.K. dan Ahmed M.R., “Blade design and performance testing of a small wind turbine rotor for low wind speed applications”, *Renewable Energy*, 50 (2013): 812-819.
- [11] Strong, Simon J. *Design of a Small Wind Turbine*, University of Southern Queensland: Toowoomba. (2008)