

Effect of Attack Angle Configuration on Performance of Three-Angle Horizontal Wind Turbine Prototype

Illa Rizianiza^{1,*} dan Rachmat Miftakhul Huda¹

¹Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan - Balikpapan

*Korespondensi: rizianiza@itk.ac.id

Abstract. Energy in the wind can be converted into other forms of energy that is electric energy by using wind turbines. One of the most commonly used types of wind turbines as a power plant is the three-blade Horizontal Wind Turbine (TASH) Turbine. Setting the angle of the wind attack against the blade is very influential to the thrust force received by the blade so that the rotor can rotate. This study investigated regarding with the effect of angle of attack configuration on TASH prototype performance of three blades. The design of TASH prototype components is done with extruded deposition-based rapid prototyping technology that is printed using 3d printer design. The angle of attack (α) is varied between 5° , 10° dan 15° . The prototype was tested with two wind speed variations of 4.381 m/s and 4.828 m/s to determine trends in each test. Test results show the most optimal power is in the configuration with $\lambda = 4$ and $\alpha = 15^\circ$ with wind speed of 4.831 m/s ie 28.56 mW .

Abstrak. Energi pada angin dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain yaitu energi listrik dengan menggunakan turbin angin. Salah satu jenis turbin angin yang paling sering digunakan secara massal sebagai pembangkit listrik adalah Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) tiga sudu. Pengaturan sudut serang angin terhadap sudu sangat berpengaruh terhadap gaya dorong yang diterima oleh sudu sehingga rotor dapat berputar. Penelitian ini bertujuan melakukan investigasi mengenai pengaruh konfigurasi sudut serang terhadap performa prototipe TASH tiga sudu. Perancangan komponen prototipe TASH dilakukan dengan teknologi *extruded deposition-based rapid prototyping* yakni desain dicetak menggunakan *3d printer*. Sudut serang (α) divariasikan antara 5° , 10° dan 15° . Prototipe diuji dengan dua variasi kecepatan angin yakni $4,381\text{ m/s}$ dan $4,828\text{ m/s}$ untuk mengetahui kecenderungan di masing-masing pengujian. Hasil pengujian menunjukkan daya listrik paling optimal berada pada konfigurasi dengan $\lambda = 4$ dan $\alpha = 15^\circ$ dengan kecepatan angin $4,831\text{ m/s}$ yakni $28,56\text{ mW}$.

Kata kunci: TASH, tiga sudu, sudut serang, daya listrik, *rapid prototyping*

© 2017. BKSTM-Indonesia. All rights reserved

Pendahuluan

Menurut *blueprint* Pengelolaan Energi Nasional [1], sumber energi di Indonesia masih didominasi oleh energi fosil seperti minyak bumi, batu bara dan gas alam. Potensi energi angin di Indonesia berkisar $9,29\text{ GW}$ sementara kapasitas terpasang hingga tahun 2004 adalah $0,5\text{ MW}$. Hal ini menunjukkan bahwa pemanfaatan energi angin di Indonesia hingga tahun 2004 hanya sekitar $0,000053\%$.

Angin merupakan gerakan udara yang kekuatannya sangat bergantung pada gradien tekanan dan merupakan proses penting dalam perpindahan panas, kelembaban, uap air, mikroorganisme maupun material lainnya dari suatu tempat menuju tempat yang lain [2]. Pergerakan angin sering dikaitkan dengan penggunaan Hukum Newton II yakni tentang gerak dalam berbagai kerangka acuan. Angin yang bergerak akan senantiasa mengikuti laju perubahan momentum per satuan waktu.

Energi pada angin dapat dikonversi menjadi bentuk energi lain yaitu energi listrik dengan meng-

gunakan turbin angin. Oleh karena itu, turbin angin sering disebut sebagai Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Salah satu jenis turbin angin yang paling sering digunakan secara massal sebagai pembangkit listrik adalah Turbin Angin Sumbu Horizontal (TASH) tiga sudu. Turbin angin jenis ini mampu mengonversi energi dengan efisiensi paling besar karena baling-baling yang digunakan selalu bergerak tegak lurus dengan arah angin sehingga menerima daya melalui semua putaran.

Penentuan jumlah sudu pada turbin memiliki keunggulan dan keterbatasan masing-masing, sehingga agar hasil dapat optimal maka penggunaannya berdasarkan pada fluida yang mengaliri turbin. TASH dengan penggunaan jumlah sudu lebih dari tiga menghasilkan torsi yang besar sehingga dapat meningkatkan kinerja turbin angin, namun ketika kecepatan angin sangat besar maka rotor akan menerima dorongan yang besar pula dan dapat menyebabkan kerusakan terutama pada rotor. Jumlah sudu kurang dari tiga harus didesain dengan

lekukan lebih rumit untuk menghadapi tekanan angin yang mendekati besarnya jika menggunakan tiga sudu, selain itu magnet generator yang digunakan harus lebih kuat dan membutuhkan dana yang lebih besar. TASH tiga sudu memiliki *coefficient of power* (*Cp*) atau efisiensi tertinggi yaitu hampir mendekati *Betz Limit* atau batas efisiensi daya maksimum pada turbin angin [3].

Salah satu klasifikasi turbin angin berdasarkan ukuran diameter rotor adalah turbin angin skala kecil. Turbin angin skala kecil biasa digunakan untuk bahan penelitian karena proses pembuatannya yang lebih mudah. Kishore, dkk telah melakukan penelitian mengenai turbin angin skala kecil dengan tiga sudu [4]. Prototipe dengan diameter rotor 394 mm menghasilkan daya mekanis maksimum 1,25 W dan daya listrik 0,83 W saat kecepatan 5 m/s. Hirahara, dkk melakukan studi mengenai kinerja dari turbin angin skala kecil dengan empat sudu. Diameter rotor prototipe yakni sebesar 500 mm diuji dengan kecepatan angin 8-12 m/s dan menghasilkan *Cp* maksimum yakni 0,4 saat *tip speed ratio* sebesar 2,7 [5].

Berdasarkan prinsip aerodinamis, TASH mengalami gaya *lift* jauh lebih besar dibanding gaya *drag*. Gaya *lift* diakibatkan oleh perbedaan tekanan pada bagian atas dan bawah sudu turbin sehingga TASH lebih dikenal dengan turbin angin tipe *lift*. Optimisasi pada konfigurasi TASH dapat memaksimalkan daya yang dihasilkan. Salah satu langkah untuk memaksimalkan daya adalah dengan mengatur sudut serang (α).

Metode Penelitian

Pada penelitian ini terdapat beberapa variabel yaitu variabel kontrol, variabel independen dan dependen. Variabel kontrol merupakan variabel yang ditetapkan yaitu diameter rotor dengan panjang 428mm dan *tip speed ratio* 4. *Tip speed ratio* merupakan perbandingan kecepatan ujung rotot terhadap kecepatan angin. Penentuan *tip speed ratio* berpengaruh terhadap jumlah sudu turbin angin. Turbin angin sumbu horizontal dengan jumlah sudu antara 1 sampai 3 memiliki *tip speed ratio* lebih dari 4 [6]. Variabel independen adalah desain sudu, sudut serang dan kecepatan angin. Sedangkan variabel dependen adalah daya yang dihasilkan oleh turbin.

Tahapan perancangan TASH meliputi :

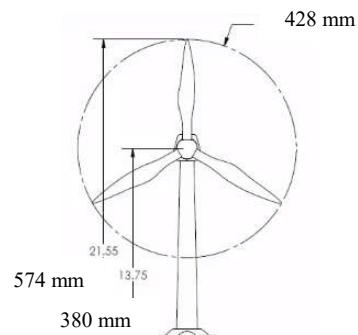
- Penentuan diameter rotor

Diameter rotor yang digunakan adalah 428 mm yang ditunjukkan pada gambar 1.

- Perancangan sudu rotor

Tipe airfoil yang digunakan adalah NACA 4412. Tipe ini memiliki profil lebih ramping jika dibandingkan dengan tipe NACA 4415 dan

NACA 4418. Bentuk yang ramping akan berpengaruh terhadap massa sudu yang semakin ringan tanpa mengabaikan efisiensi aerodinamik dari *airfoil* NACA 4412. Pada penelitian ini digunakan desain TASH dengan *tip speed ratio* 4 yang ditunjukkan pada gambar 2.



Gambar 1. Diameter rotor



Gambar 2. Desain CAD Sudu

- Perancangan hub

Hub berfungsi sebagai penghubung rotor dan menjadi pusat rotasi. *Hub* memiliki fungsi diantaranya adalah mengurangi tahanan turbin angin terhadap angin, melindungi komponen yang menempel pada *hub*, dan sebagai kunci dari *balancing* rotor. *Hub* yang berbentuk setengah bola menjaga aliran udara yang menerpa *hub* agar tetap laminar dan meminimalisir turbulensi yang terjadi seperti desain yang ditunjukkan pada gambar 3.



Gambar 3. Desain hub yang digunakan

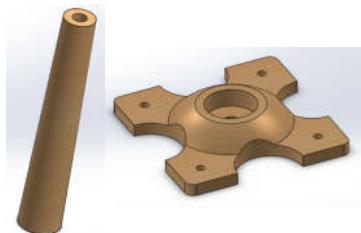
- Perancangan tiang dan dasar

Tiang berfungsi sebagai penopang untuk menahan beban yang pada turbin angin. Beban yang dimaksud adalah beban keseluruhan mencakup beban komponen-komponen seperti sudu, *hub*, *nacelle* dan komponen di dalamnya serta beban yang timbul dikarenakan terjangan angin.

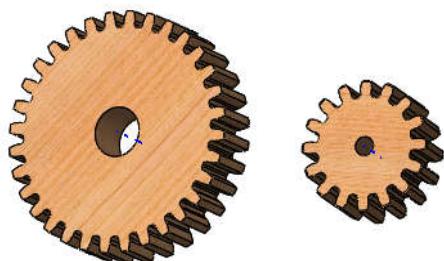
- Pemilihan poros, roda gigi dan generator

Sebelum merancang *nacelle*, dilakukan pemilihan poros dan bantalan. Setelah diameter

poros didapatkan, roda gigi didesain menggunakan acuan diameter dalam dari poros dan motor. Setelah itu roda gigi dicetak menggunakan printer tiga dimensi. Rasio transmisi roda gigi adalah sekitar 1:2, dengan maksud jika kecepatan putaran pada motor 1 rpm akan ditransmisikan menjadi 2 rpm untuk generator seperti pada gambar 5.



Gambar 4. Desain tiang dan dasar yang digunakan



Gambar 5. Bentuk roda gigi lurus dengan rasio 1:2

- Perancangan nacelle

Nacelle merupakan rumah bagi komponen-komponen penting dalam turbin angin seperti generator, bantalan, poros ros, serta roda gigi. Pada perancangan ini, *nacelle* yang dirancang hanya merupakan turbin angin sederhana yang tidak menggunakan rem dan kopling, sistem yaw dan ekor.

- Perakitan komponen TASH

Perakitan dilakukan pada semua komponen TASH.

Metode Pengujian

Persiapan pengujian dilakukan terlebih dahulu yakni dengan memasang reflektor *tachometer* untuk pengambilan data kecepatan putaran, menyesuaikan sudut serang pada saat pemasangan sudu, tiang sebagai pondasi dipastikan kokoh, memastikan arah angin sejajar terhadap sumbu pusat rotor. Pengambilan data dilakukan ketika putaran turbin angin telah *steady* agar data yang diperoleh tidak memiliki selisih yang besar ketika dilakukan iterasi pengujian. Pengulangan dilakukan sebanyak tiga kali pada tiap pengujian lalu diambil nilai rata-rata agar data yang didapat signifikan.

Data kuat arus dan juga tegangan listrik yang telah diukur lalu diolah agar mendapatkan nilai daya

listrik keluaran generator. Rumus daya listrik dapat dilihat pada pers. 1.

$$P_{\text{listrik}} = V_{\text{out}} \cdot I_{\text{out}} \quad (1)$$

Hasil dan Pembahasan

Nilai daya listrik dihitung dari data pengujian yang telah didapat. Hasil perhitungan menggunakan pers. 1 dapat ditinjau pada tabel 1. Pada pengujian juga diukur kecepatan putaran dari rotor yang dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel 1. Daya listrik

Sudut Serang	Kecepatan angin (m/s)	Daya listrik (mW)
5°	4,381	5,884
	4,828	12,476
10°	4,381	12,234
	4,828	22,4
15°	4,381	13,146
	4,828	28,56

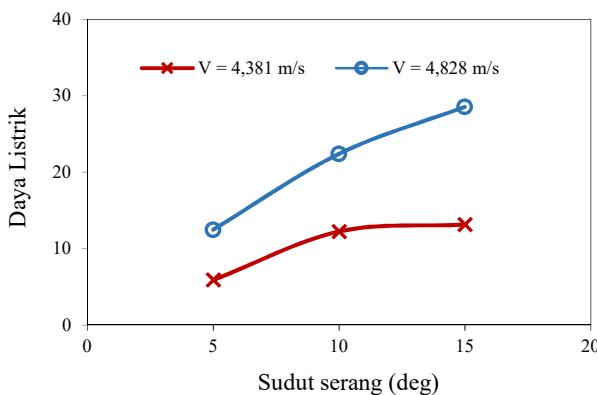
Tabel 2. Kecepatan putaran

Sudut Serang	Kecepatan angin (m/s)	Kecepatan putaran (rpm)
5	4,381	58,2
	4,828	73,4
10	4,381	71,6
	4,828	91,8
15	4,381	77,8
	4,828	114,1

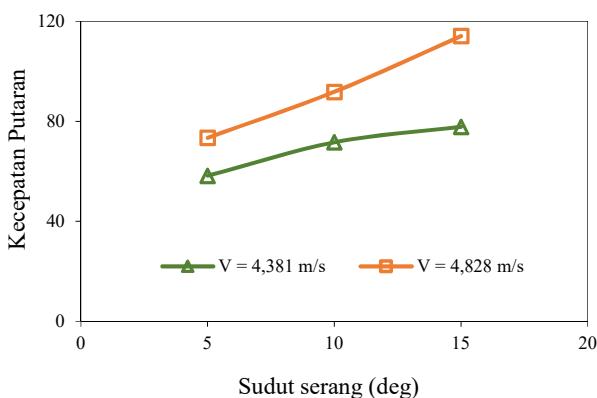
Hasil pengujian pada tabel 1 dan 2 ditampilkan dalam bentuk grafik agar kecenderungan penelitian dapat terlihat. Grafik perbandingan daya listrik terhadap variasi sudut serang ditunjukkan oleh gambar 6, sedangkan grafik perbandingan kecepatan putaran terhadap sudut serang ditunjukkan oleh gambar 7.

Variasi yang beragam pada pengujian sudut serang memberikan kecenderungan yang beragam pula pada daya listrik yang dihasilkan generator. Tampak pada gambar 6 dan tiap kenaikan sudut serang maka semakin besar pula daya yang dihasilkan. Hal ini dikarenakan kombinasi antara kecepatan angin dan lebar sudu yang juga mempengaruhi daya listrik yang dihasilkan.

Saat pengujian dengan sudut serang kecil, rotor akan mengalami kesulitan saat awal berputar atau dapat dikatakan membutuhkan *starting torque* yang cukup besar. Akan tetapi ketika sudah berputar dan cukup *steady*, daya keluaran akan mengalami kenaikan yang cukup drastis. Oleh karena itu pengambilan data dilakukan dengan menunggu hingga rotor berputar dengan stabil agar data yang didapat signifikan.



Gambar 6. Grafik perbandingan daya listrik keluaran generator



Gambar 7. Grafik perbandingan kecepatan putaran rotor

Terdapat kecenderungan yang sama antara nilai kecepatan putaran dengan daya listrik yang dihasilkan. Semakin besar kecepatan putaran akan menimbulkan daya listrik yang besar pula. Semua pengujian menunjukkan kenaikan kecepatan putaran rotor yang stabil. Ketika daya turbin besar maka nilai C_p yang dihasilkan juga besar. Hal inilah yang diharapkan dalam sebuah perancangan turbin angin, yaitu bisa menghasilkan C_p yang optimum.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian pada penelitian ini adalah daya terbesar dihasilkan pada pengujian suhu dengan $\lambda = 4$ dengan sudut serang 15° saat kecepatan angin $4,828 \text{ m/s}$. Daya listrik yang dihasilkan yakni $28,56 \text{ mW}$. Kecepatan putaran yang dihasilkan adalah $114,1 \text{ rpm}$.

Referensi

- [1] Departemen ESDM, 2005. Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025, Jakarta.
- [2] Ahrens, C.D., 2007. Meteorology Today, Cengage Learning, USA.

[3] Strong, S.J., 2008. Design of a Small Wind Turbine, University of Southern Queensland, Toowoomba.

[4] Kishore, R.A. dkk., 2013. Small-scale wind energy portable turbine (SWEPT), Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, Vol. 116 Hal. 21-31.

[5] Hirahara, H. Et al., 2005. Testing basic performance of a very small wind turbine designed for multi-purposes, Renewable Energy. Vol. 30 Hal. 1279-1297.

[6] Bumby, J.R. dkk., 2006. A Permanent Magnet Generator for Small Scale Wind Turbines, Durham University, Durham.