

Perancangan Prototipe Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudut Studi Kasus Institut Teknologi Kalimantan

Illa Rizianiza¹, Devy Setiorini², Alfian Djafar³

¹Program Studi Teknik Mesin/ Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: *rizianiza@itk.ac.id*

²Program Studi Teknik Mesin/ Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: *devy.setiorini@itk.ac.id*

³Program Studi Teknik Mesin/ Jurusan Teknologi Industri dan Proses, Institut Teknologi Kalimantan, Balikpapan. Email: *alfian.djafar@itk.ac.id*

Abstract

As a new institute where located in the middle of forest, Kalimantan Institute of Technology (ITK) need a new energy resource to fulfill the demand of electricity power as the increasing of students. Based on wind speed data collection from Meteorology, Climatology and Geophysics Agency (BMKG) in 2017, the average wind speed in Balikpapan ranges from 5 km/h - 18 km/h. Based on this data, a wind turbine becomes one of potential renewable energy that can be developed. In this study, horizontal axis wind turbine with three blades is used. The variation of angle of attack and wind speed will be observed to get the best combination of electricity power production. The variation of angel of attack are 5° , 10° , and 25° , while the wind speed varies from 3.8 m/s, 4.3 m/s, 5.8 m/s. The experiments demonstrate that the angle of attack 25° and wind speed 5.8 m/s produce the largest electric power with the number of 118.7 mW.

Keywords: angle of attack, horizontal, wind turbin

Abstrak

Institut Teknologi Kalimantan (ITK) merupakan salah satu perguruan tinggi negeri baru yang berlokasi di tengah hutan di Balikpapan. Berdasarkan data Badan Meteorologi, Klimatologi dan Geofisika, kecepatan angin rata-rata di sekitar ITK berkisar antara 5 km/h – 18 km/h. Potensi angin yang melimpah dapat dimanfaatkan untuk merancang turbin angin yang sesuai yaitu turbin angin tipe horizontal. Perancangan turbin angin sumbu horizontal dengan tiga sudu dilakukan dengan variasi besar sudut serang untuk menentukan tingkat efisiensi turbin angin. Variasi besar sudut serang adalah 5° , 10° , dan 25° . Pengujian turbin angin dilakukan pada beberapa tingkat kecepatan angin diantaranya 3.8 m/s, 4.3 m/s, 5.8 m/s. Hasil pengujian menunjukkan bahwa daya listrik terbesar dihasilkan pada pengujian turbin angin sumbu horizontal dengan variasi sudut serang 25° yaitu sebesar 118.7 mW.

Kata Kunci: horizontal, sudut serang, turbin angin

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara yang memiliki garis pantai terpanjang dan memiliki berbagai potensi alam yang dapat dimanfaatkan untuk pemenuhan energi. Berdasarkan *blueprint* Pengelolaan Energi Nasional yang dikeluarkan oleh Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral (ESDM) pada tahun 2005 tentang sumber energi fosil, cadangan minyak bumi di Indonesia pada tahun 2004 diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 18 tahun jika tidak dilakukan eksplorasi sumur baru. Sedangkan gas diperkirakan akan habis dalam kurun waktu 61 tahun dan batubara akan habis dalam kurun waktu 147 tahun. Untuk itu perlu dilakukan eksplorasi pada sumber energi non fosil. Berdasarkan data dari ESDM tahun 2005 tentang pemanfaatan sumber energi non fosil, pemanfaatan sumber energi angin masih sangat kecil. Potensi sumber energi angin di Indonesia sebesar 9.29 GW sedangkan kapasitas terpasang hanya 0.5 MW (ESDM, 2005).

ITK merupakan salah satu perguruan tinggi negeri baru yang mulai beroperasi pada tahun 2015 dan terletak pada $1^{\circ}09'01''\text{S}$ $116^{\circ}51'40''\text{E}$ yang berada di tengah hutan Balikpapan. Berdasarkan data BMKG tahun 2017, kecepatan angin rata-rata di ITK berkisar antara 5 km/h – 18 km/h dengan arah angin terbanyak ke arah Tenggara. ITK memiliki potensi angin yang cukup melimpah walaupun kecepatannya anginnya cukup rendah. Potensi (Huda, dkk., 2017) Sehingga pada penelitian ini dirancang turbin angin dengan memanfaatkan potensi angin di sekitar kampus ITK Balikpapan. Berdasarkan kecepatan angin, potensi arah angin dan desain struktur turbin angin, lebih cocok digunakan turbin angin tipe horizontal.

Berdasarkan bentuk rotor, turbin angin dibedakan menjadi dua tipe yaitu turbin angin horizontal dan turbin angin vertikal. Turbin angin vertikal mempunyai torsi awal yang besar dan membutuhkan energi untuk memulai berputar, sehingga cocok untuk digunakan ditempat yang memiliki kecepatan relatif besar dan konstan. Turbin angin horizontal memiliki torsi awal yang kecil karena desain sudu yang lebih aerodinamis, sehingga lebih cocok untuk daerah dengan kecepatan rendah. Turbin angin sumbu horizontal memiliki efisiensi paling besar karena sudu selalu bergerak tegak lurus dengan angin, menerima daya melalui semua putaran (Daryanto, 2007) Perancangan turbin angin sumbu horizontal dilakukan dengan tiga sudu karena jumlah sudu lebih dari tiga dapat meningkatkan kerja dari turbin angin, namun ketika daya dorong angin lebih besar maka sudu akan lebih banyak menerima tekanan dan dapat menyebabkan kerusakan. Jumlah sudu kurang dari tiga harus didesain dengan lekukan lebih rumit untuk mendapatkan tekanan angin yang mendekati besarnya jika menggunakan tiga sudu, selain itu magnet pembangkit yang digunakan harus lebih kuat.

Pada penelitian ini dirancang prototipe turbin angin horizontal dengan skala kecil, dimana desain sudu sangat berpengaruh terhadap daya yang dihasilkan (Kishore, dkk., 2013). Penampang melintang sudu menggunakan profil *airfoil* agar lebih bersifat aerodinamis. Beberapa faktor yang mempengaruhi daya yang dihasilkan adalah besar *tip speed ratio* (λ) dan besar sudut serang. Pada perancangan ini digunakan $\lambda = 3$ karena desain turbin angin menggunakan 3 sudu (Huda, dkk., 2017). Selain itu dirancang dengan menggunakan variasi 3 sudut serang yaitu 5° , 10° , dan 25° . Variasi sudut serang dilakukan untuk mengetahui hubungan antara pengaruh sudut serang terhadap daya yang dihasilkan serta untuk memperoleh nilai daya terbesar. Sedangkan untuk variasi pengujian kecepatan angin dilakukan untuk mengetahui hubungan antara kecepatan angin dengan daya listrik yang dihasilkan. Proses pembuatan sudu dilakukan dengan mendesain pada *software* CAD dan mencetak desain yang telah dibuat menggunakan kayu balsa. Hal ini dimaksudkan agar mengurangi *error* pada profil *airfoil* sudu dan kayu balsa bersifat kokoh namun ringan.

2. Metode Penelitian

Dalam perancangan prototipe turbin angin horizontal digunakan kayu balsa sebagai bahan sudu turbin. Kayu balsa memiliki sifat yang ringan, kuat serta tahan terhadap matahari dan hujan. Tahap penelitian turbin angin sumbu horizontal merupakan langkah-langkah yang dilakukan secara mendetail mulai dari menyiapkan alat dan bahan hingga mencatat hasil pengujian. Gambar 1 merupakan tahapan dalam melakukan perancangan turbin angin horizontal. Tahapan utama dalam perancangan ini adalah penentuan variabel, perancangan dan pengujian. Ketiga tahap akan dijelaskan pada subbab berikut ini.

2.1 Penentuan Variabel Penelitian

Beberapa variabel penelitian yang ditentukan adalah:

2.1.1 Variabel kontrol

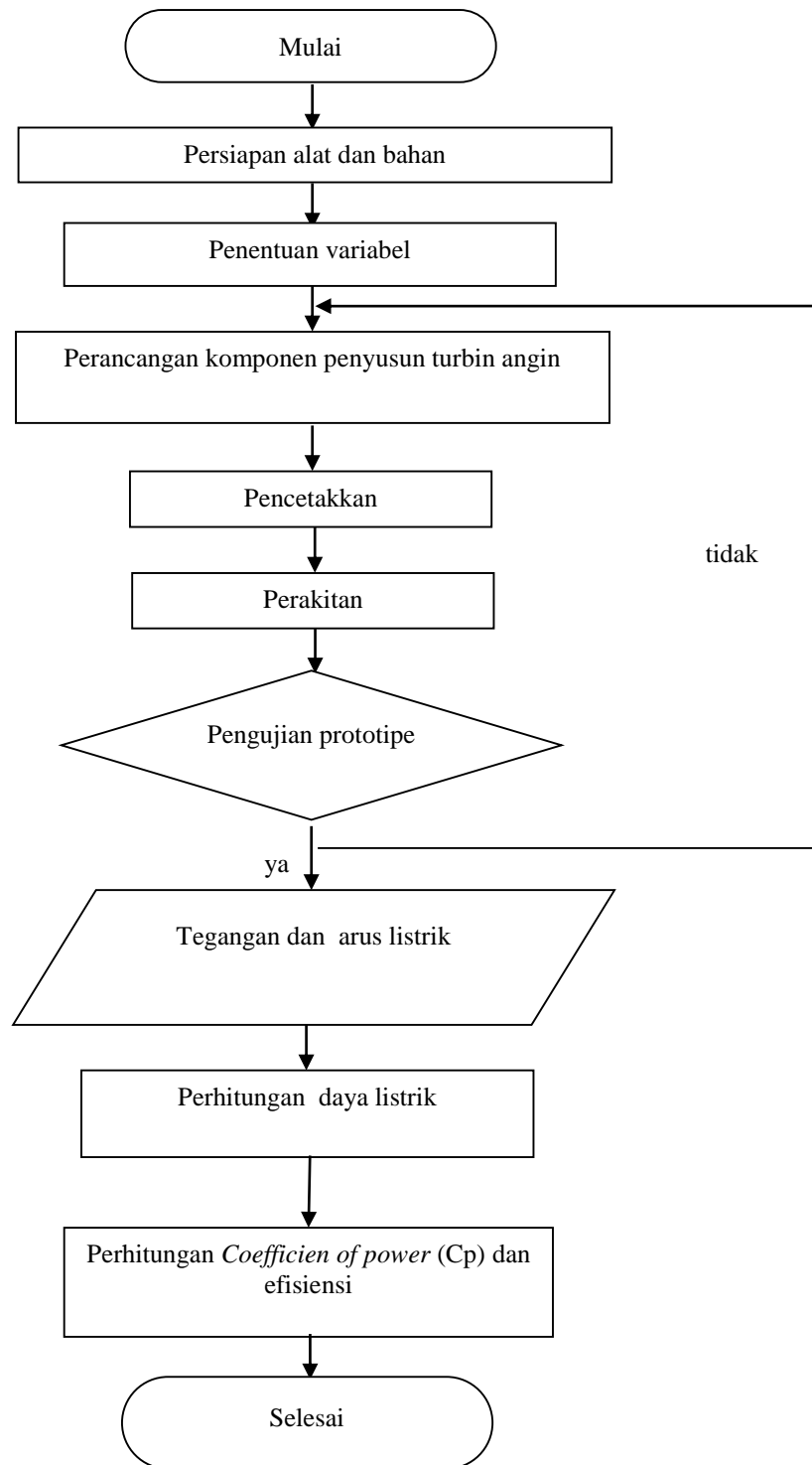
merupakan variabel yang ditetapkan konstan. Pada penelitian ini yang menjadi variabel kontrol adalah diameter rotor dengan panjang 920 mm dan $\lambda = 3$.

2.1.2 Variabel independen

merupakan variabel yang mempengaruhi variabel dependen. Variabel independen meliputi sudut serang dan kecepatan angin.

2.1.3 Variabel dependen atau variabel output

merupakan variabel yang nilainya akan berubah terhadap faktor tertentu. Pada penelitian ini variabel dependen adalah daya yang dihasilkan oleh turbin angin.



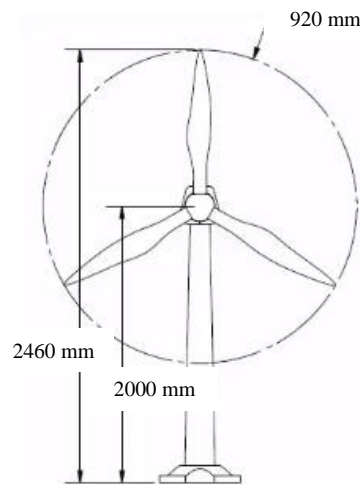
Gambar 1: Flowchart Perancangan Turbin Angin Sumbu Horizontal

2.2 Perancangan Turbin Angin Horizontal

Dalam pembuatan prototipe turbin angin sumbu horizontal dapat dibagi menjadi tujuh tahap. Ketujuh tahap tersebut adalah penentuan diameter rotor, perancangan sudu rotor, perancangan *hub*, perancangan tiang dan dasar, pemilihan poros, roda gigi dan generator, perancangan *nacelle* serta pemasangan komponen-komponen.

2.2.1 Penentuan diameter rotor

Diameter rotor yang ditentukan sebesar 920 mm. Panjang jari-jari rotor terdiri dari total panjang satu sudu ditambah jarak sudu ke titik pusat *hub*. Diameter rotor yang akan digunakan ditunjukkan pada Gambar 2.

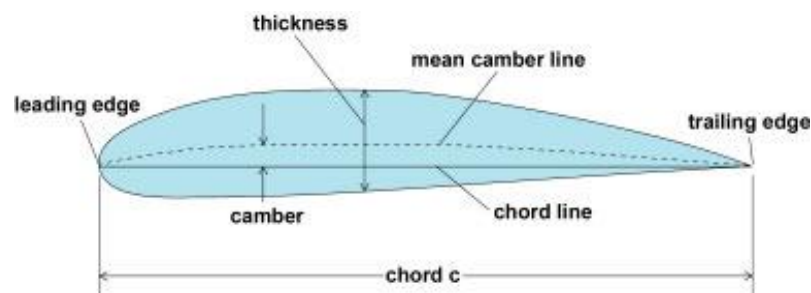


Gambar 2: Diameter Rotor

2.2.2 Perancangan sudut rotor

Desain sudu turbin angin menggunakan penampang sudu berupa *airfoil* NACA 4412. Agar mempermudah mendesain sudu, maka perlu mendesain tiap *layer* dari *airfoil* dan kemudian menyatukan desain *layer* tersebut. Dengan diameter rotor yaitu 920 mm dapat dibuat beberapa *layer* yang tiap lapisannya terdiri atas desain *airfoil* beserta ukuran yang meliputi tebal dan lebar sudu dari sisi *leading edge* (Manwell, dkk., 2002). Penentuan *tip speed ratio* dilakukan penentuan diameter rotor. *Tip speed ratio* merupakan perbandingan antara kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin (Ingram, 2011). Dalam penelitian ini, *tip speed ratio* menjadi variabel kontrol dengan nilai sebesar 3. Pada penelitian ini menggunakan sudu jenis *airfoil* NACA 4412 yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4. NACA 4412 mempunyai arti sebagai berikut :

- Angka pertama menunjukkan persentase *chamber* maksimum pada *chord* sebesar 4%.
- Angka kedua menunjukkan jarak *chamber* maksimum dari *leading edge* sebesar 40%.
- Angka ketiga dan keempat menunjukkan persentase ketebalan maksimum *airfoil* pada *chord* sebesar 12%.



Gambar 3: Penampang Airfoil



Gambar 4: Desain CAD Sudu

2.2.3 Perancangan hub

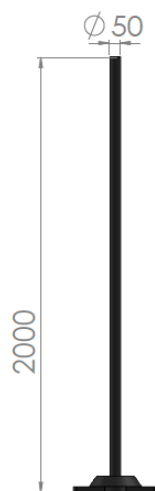
Hub merupakan salah satu bagian dari turbin angin yang berfungsi sebagai penghubung rotor dan menjadi pusat rotasi. Selain itu juga mampu mengurangi tahanan turbin angin terhadap angin, melindungi komponen yang menempel pada *hub*, dan sebagai kunci dari *balancing* rotor. *Hub* yang berbentuk setengah bola menjaga aliran udara yang menerpa *hub* agar tetap laminar dan meminimalisir turbulensi yang terjadi (Gipe, 2010). Bentuk *hub* yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5: Bentuk dan Dimensi *Hub* yang Digunakan

2.2.4 Perancangan tiang dan dasar

Pada penelitian ini dilakukan perancangan tiang untuk menahan beban yang pada turbin angin. Beban tersebut merupakan beban keseluruhan mencakup beban komponen-komponen lain diantaranya sudu, *hub*, *nacelle* dan komponen di dalamnya serta beban yang timbul dikarenakan terjangan angin. Perancangan tiang dalam penelitian ini dibagi menjadi dua, yakni tiang atas (*upper mast*) yang berhubungan dengan *nacelle* dan tiang bawah (*bottom mast*) yang berhubungan dengan *base*. Karena yang akan dibuat adalah sebuah prototipe, maka dudukan atau dasar untuk tiang turbin angin dapat didesain dan dipasangkan dengan tiang. Bentuk tiang dan dasar yang digunakan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 6.

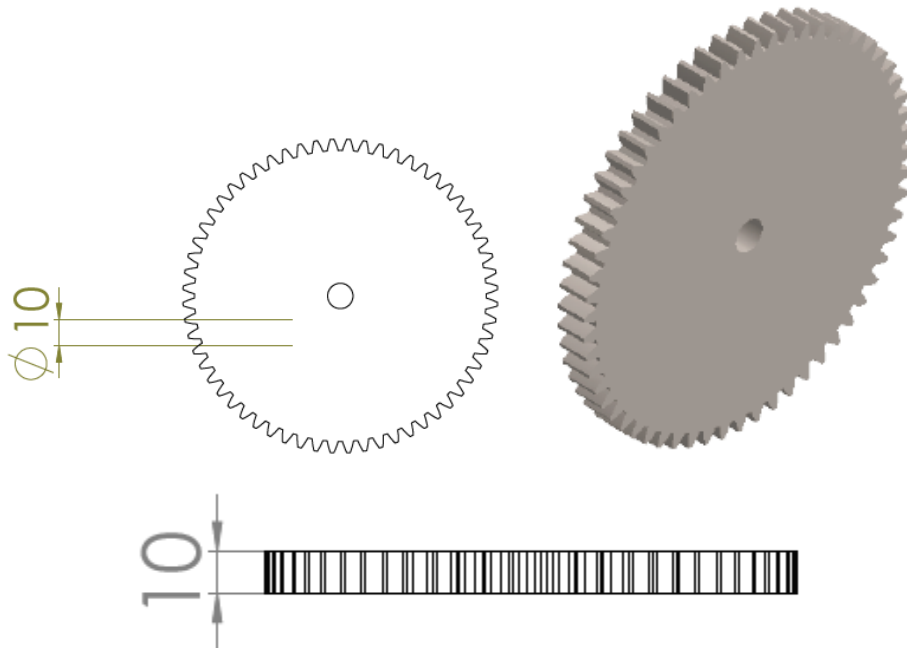


Gambar 6: Desain Tiang dan Dasar yang Digunakan

2.2.5 Pemilihan poros, roda gigi dan generator

Rasio transmisi roda gigi adalah 1:3, yang berarti bahwa jika kecepatan putaran pada rotor 1 rpm akan ditransmisikan menjadi 3 rpm untuk generator. Roda gigi yang digunakan merupakan roda gigi tipe

spur gear dengan jumlah gigi sebanyak 60, *pressure angle* 20° dan pitch diameter sebesar 120 mm. *Spur gear* memiliki bentuk konstruksi silindris, dengan gigi sekelilingnya, bentuknya lurus dan sejajar dengan poros sumbunya (lubang). Pada umumnya roda gigi tipe ini digunakan untuk mentransmisikan daya atau putaran antara dua poros yang posisinya sejajar atau paralel. Pemilihan generator yang ukurannya sesuai dengan besar prototipe. Generator berfungsi sebagai alat yang mengubah energi mekanik menjadi energi kinetik. Generator yang digunakan adalah *permanent magnet generator* yang memiliki spesifikasi tegangan *output* sebesar 12-18 VDC; arus listrik 15A dan kecepatan 500-1000 rpm. Perancangan roda gigi yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 7.



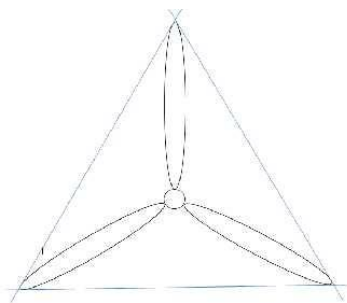
Gambar 7: Rasio pada Transmisi Roda Gigi

2.2.6 Perancangan nacelle

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

2.2.7 Pemasangan komponen turbin angin

Perakitan dilakukan pada semua komponen turbin angin sumbu horizontal. Penyambungan *hub* dengan sudu-sudu dengan mengatur sudu serang, kemudian pusat *hub* disambung dengan poros rotor putaran rendah. Poros rotor putaran rendah dihubungkan dengan roda gigi berdiameter besar dan roda gigi berdiameter kecil dihubungkan dengan poros generator. Tiang atas disambung dengan tiang bawah dan *base* serta tiang atas dengan *nacelle* ditambahkan perekat agar lebih kuat. Pemasangan sudu dengan *hub* juga dilakukan penyetaraan jarak antar ujung sudu yang ditunjukkan pada Gambar 8.



Gambar 8: Proses Penyetaraan Jarak Sudu

2.2.8 Pengujian prototipe

Pengujian dilakukan apabila semua komponen dirangkai menjadi satu kesatuan turbin angin. Pengujian dilakukan pada 3 variasi kecepatan angin yaitu 3.8 m/s, 4.3 m/s, 5.8 m/s. Selain kecepatan angin, sudut serang juga divariasikan agar diperoleh daya yang optimal. Perpaduan variasi antara kecepatan angin dan sudut serang akan menghasilkan perbedaan pada daya keluaran generator. Pada pengujian turbin angin, diperoleh data kecepatan putaran rotor, tegangan dan arus listrik keluaran dari generator.

3. Hasil dan Pembahasan

Dalam pengujian turbin angin diperlukan variasi kecepatan angin. Namun perlu memperhatikan kekuatan dari turbin angin yang akan diuji. Pada prototipe turbin angin horizontal digunakan bahan kayu balsa yang bersifat ringan dan kuat, sehingga mampu diujikan pada kondisi kecepatan angin yang cukup kencang. Pada saat pengujian turbin angin, tachometer dipasang terlebih dahulu pada roda gigi untuk pengujian kecepatan putaran. Pemasangan sudu dilakukan sesuai dengan variasi sudut serang yaitu 5° , 10° , dan 25° . Pengujian dilakukan pada variasi kecepatan 3.8 m/s, 4.3 m/s, 5.8 m/s. Besar kecepatan angin mempengaruhi kecepatan putaran sudu turbin sehingga berpengaruh terhadap daya listrik yang dihasilkan. Energi potensial yang terdapat pada angin dapat memutar sudu turbin, dimana sudu ini terhubung dengan poros dan memutar poros yang telah terhubung dengan generator sehingga menimbulkan arus listrik.

Pengambilan data dilakukan ketika putaran turbin angin dalam kondisi *steady*. Variabel yang diperoleh dari hasil pengujian adalah kecepatan angin, kecepatan putaran, kuat arus (I) dan tegangan listrik (V). Nilai daya listrik (P) diperoleh dengan menggunakan persamaan (1).

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

Nilai daya listrik diperoleh berdasarkan perhitungan dari data hasil pengujian menggunakan persamaan (1). Tabel 1 menunjukkan tentang kecepatan putaran turbin angin sumbu horizontal. Semakin besar kecepatan angin, maka semakin besar putaran yang dihasilkan. Kecepatan putaran yang paling besar dihasilkan pada pengujian sudut serang 25° dengan kecepatan angin 5.8 m/s yaitu sebesar 254.7 rpm. Sedangkan putaran terkecil dihasilkan pada pengujian turbin angin dengan kecepatan angin 3.8 m/s dan sudut serang 5° . Semakin besar kecepatan putaran rotor maka besar daya listrik yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini disebabkan karena angin dengan kecepatan tertentu menabrak rotor yang memiliki performa sudu. Dalam model turbin angin sederhana, dimana memungkinkan Newtonian mechanics digunakan, aliran diasumsikan *steady* dan mendatar, udara diasumsikan *incompressible* dan *inviscid*, dan aliran *downstream* (aliran setelah melalui rotor) diasumsikan konstan. Berdasarkan teori momentum elementer Betz, pemodelan aliran dua dimensi angin yang mengenai rotor menjelaskan prinsip konversi energi angin pada turbin angin. Kecepatan aliran udara berkurang dan garis aliran membelok ketika melalui rotor dipandang pada satu bidang. Berkurangnya kecepatan aliran udara disebabkan sebagian energi kinetik angin diserap oleh rotor turbin angin. Pada kenyataannya, putaran rotor menghasilkan perubahan kecepatan angin pada arah tangensial yang mengurangi jumlah total energi angin.

Tabel 1: Kecepatan Putaran

Sudut Serang	Kecepatan Angin (m/s)	Kecepatan Putaran (rpm)
5°	3.8	92.5
	4.3	119.1
	5.8	145.3
10°	3.8	106.3
	4.3	149.1
	5.8	168.0
25°	3.8	147.9
	4.3	192.2
	5.8	254.7

Perbedaan sudut serang dan kecepatan angin mengakibatkan daya listrik yang dihasilkan juga berubah. Hal ini ditunjukkan pada hasil pengujian prototipe turbin angin pada Tabel 2. Daya listrik terbesar dihasilkan pada perancangan turbin angin dengan sudut serang 25^0 yaitu sebesar 118.7 mW. Sedangkan nilai daya listrik terendah diperoleh pada perancangan turbin angin dengan sudut serang sebesar 5^0 yaitu 17.8 mW. Nilai daya listrik yang dihasilkan ini, selain dipengaruhi oleh kecepatan angin juga dipengaruhi oleh rasio roda gigi. Pada perancangan ini menggunakan perbandingan rasio roda gigi 1:3. Roda gigi mengubah kecepatan putaran menjadi tiga kali lebih cepat sehingga momen gaya menjadi lebih kecil yang sesuai dengan kebutuhan generator terpasang. Salah satu parameter untuk mengetahui kinerja dari roda gigi adalah dengan menghitung nilai efisiensi transmisi roda gigi. Efisiensi transmisi roda gigi dan *bearing* bisa mencapai 95% sedangkan efisiensi generator mencapai 80% (Pikatan, 1999).

Dalam pembuatan turbin angin tidak terlepas dari rugi-rugi yang ditimbulkan dari faktor-faktor tertentu, salah satunya adalah rugi mekanis dan rugi elektris. Rugi mekanis merupakan rugi yang ditimbulkan dari mekanisme pergerakan contohnya adalah rugi pada transmisi, rugi pada *bearing* dan rugi pada poros. Sedangkan rugi elektris yaitu rugi yang ditimbulkan oleh komponen elektrikal pada turbin angin yakni generator. Rugi mekanis dan rugi elektris pada turbin angin tidak dapat dihindari namun dapat dikurangi dengan mengoptimalkan perancangan prototipe dan pemilihan generator. Perhitungan efisiensi ditunjukkan pada persamaan 2 (Huda, dkk., 2017).

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

Dimana :

η : efisiensi mekanis dan elektris

P_{in} : daya *input* atau daya angin (Watt)

C_p : *coefficient of power*

ρ : massa jenis udara (kg/m^3)

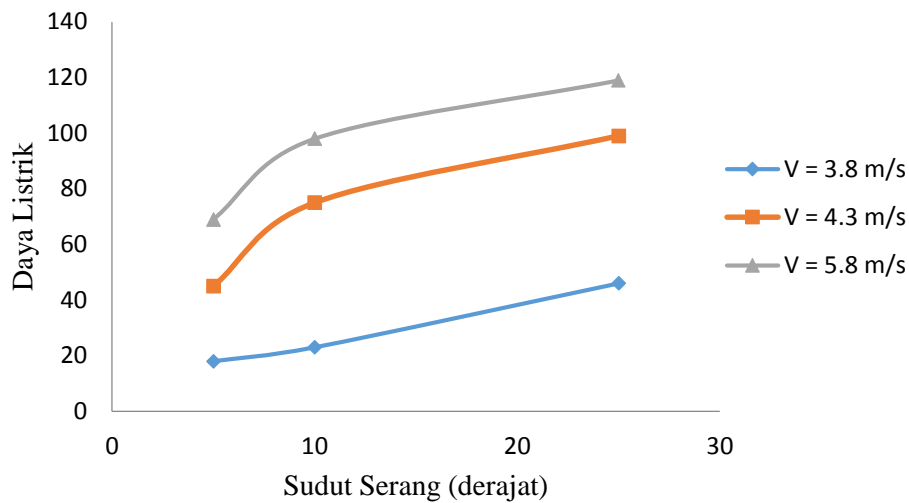
A : luas penampang (m^2)

V_i : kecepatan angin (m/s)

Pada penelitian ini diperoleh nilai efisiensi sebesar 0.45. Nilai ini perbandingan efisiensi mekanis dan efisiensi elektris dari turbin angin. Menurut Grant Ingram (2011), efisiensi mekanis dan efisiensi elektris bisa mencapai 90%. Sehingga jika dibandingkan dengan efisiensi maksimum, efisiensi yang didapat dari hasil pengujian masih jauh dari optimal dan masih dapat ditingkatkan. Penyebab efisiensi yang rendah antara lain dikarenakan pergerakan transmisi roda gigi yang tidak halus. Hal ini disebabkan oleh pembuatan sudu yang kurang akurat, 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.

Tabel 2: Daya Listrik

Sudut Serang	Kecepatan Angin (m/s)	Daya Listrik (mW)
5^0	3.8	17.8
	4.3	45.1
	5.8	68.9
10^0	3.8	23.6
	4.3	75.2
	5.8	98.7
25^0	3.8	46.4
	4.3	99.1
	5.8	118.7



Gambar 9: Grafik Hubungan antara Sudut Serang dengan Daya Listrik

Variasi sudut serang dilakukan untuk mengetahui pengaruh sudut serang terhadap daya listrik yang dihasilkan. Variasi sudut serang yang diuji yaitu pada 5° , 10° , 25° . Besarnya sudut serang akan mempengaruhi momentum pergerakan sudu turbin angin. Secara teoritis, momentum akan lebih besar apabila kecepatan semakin 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. Dari ketiga variasi sudut serang, pada penelitian ini dihasilkan daya listrik terbesar pada sudut serang 25° yaitu 118.7 mW. Hal ini selaras dengan hasil penelitian lain yang sama menyatakan bahwa daya listrik terbesar dilakukan pada pengujian sudut serang 25° (Singh, dkk., 2012).

Efisiensi prototipe turbin angin diketahui dari perhitungan nilai *Coefficient of Power* (C_p). C_p merupakan ukuran yang menandakan sebuah efisiensi daya pada turbin angin. C_p adalah perbandingan antara daya *output* atau daya rotor dengan daya *input* atau daya angin (Pudjanarsa, 2013). Dalam skala yang lebih besar, C_p merupakan total dari seluruh efisiensi yang diterima turbin angin termasuk efisiensi mekanis dan efisiensi listrik. Perhitungan nilai C_p dilakukan dengan menghitung gaya aksial dari turbin angin. 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. Dari hasil perhitungan C_p diperoleh nilai C_p sebesar 0.351. Nilai C_p yang diperoleh masih optimum. Hal ini sesuai dengan penelitian turbin angin dengan menggunakan tip speed ratio 5 yang diperoleh nilai C_p maksimal 0.4 (Freere, dkk., 2010).

4. Kesimpulan

Pada perancangan turbin angin sumbu horizontal dengan tiga sudu, dihasilkan daya listrik terbesar 118.7 mW yang diujikan pada kecepatan angin 5.8 m/s. Nilai tersebut dihasilkan pada pengujian turbin angin dengan konfigurasi sudu jenis *airfoil* NACA 4412, sudut serang sebesar 25° dan nilai *tip speed ratio* $\lambda = 3$. Daya listrik yang dihasilkan masih rendah. Hal ini disebabkan oleh beberapa faktor diantaranya kecepatan dan arah angin pada saat pengujian. Pada saat pengujian arah angin tidak konstan, sehingga mempengaruhi perputaran sudu turbin. Berdasarkan pengujian yang telah dilaksanakan, dapat disimpulkan bahwa semakin besar sudut serang maka besar daya listrik yang dihasilkan juga semakin besar. Hal ini sebanding dengan pengujian turbin angin pada kecepatan angin yang besar. Semakin besar kecepatan angin, maka daya listrik yang dihasilkan juga semakin besar. Namun perlu diperhatikan juga material yang digunakan agar turbin angin tidak mengalami kerusakan. Sedangkan untuk perhitungan nilai C_p , diperoleh nilai C_p yang masih rendah yaitu 0.351, sehingga perlu dilakukan perbaikan dalam perancangan turbin angin terutama pada perancangan sudu turbin.

Daftar Pustaka

- Daryanto, Y. (2007) *Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu*, Yogyakarta: Balai PPTAGG – UPT – LAGG.
- Departemen ESDM. (2005) *Blueprint Pengelolaan Energi Nasional 2005-2025*, Jakarta
- Freere, P., Sacher, M., Derricott, J., dan Hanson B. (2010) “A Low Cost Wind Turbine and Blade Performance”, *Wind Engineering*, Vol. 34, No. 3, Hal 289-302.
- Gipe, P. (2010) *Plus Energy Building: Wind Energy, Small Wind, & Wind Community*, Minnesota: Carleton.
- Huda, R.M., dkk. (2017) ‘Effect of Tip Speed Ratio on Power Generated Prototype of Horizontal Axis Wind Turbine with Three Blades’, *Prosiding SNTTM XVI*, hal: (126-129).
- Ingram, G. (2011) *Wind Turbine Blade Analysis using the Blade Element Momentum Method, Version 1.1*, Durham: Durham University.
- Singh, K.R., dkk., (2011) ‘Blade Design And Performance Testing Of A Small Wind Turbine Rotor For Low Wind Speed Applications’, *Conference World Renewable Energy Congress – Asia*, Vol. 4, No.2.
- Pikatan, Sugata. (1999) *Konversi Energi Angin*, Surabaya : Departemen Mipa Universitas Surabaya.
- Pudjanarsa, A. (2013) *Mesin Konversi Energi*. Yogyakarta: C.V ANDI OFFSET.
- Kishore, R.A., Coudron, T., Priya S., (2013) ‘Small-scale wind energy portable turbine (SWEPT)’, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 116, Hal. 21-31.
- Manwell, J.F., dkk. (2002) ‘Wind Energy Explained – Theory, Design and Application’, John Wiley & Sons Ltd, Chichester