

KARAKTERISTIK MODEL TURBIN ANGIN *UNTWISTED* BLADE DENGAN MENGGUNAKAN TIPE AIRFOIL NREL S833 PADA KECEPATAN ANGIN RENDAH

Muhammad Fariedl Faqihuddin¹, Muhammad Nizam², Dominicus Danardono Dwi Prija Tjahjana²

¹Program Sarjana Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

²Staf Pengajar – Jurusan Teknik Mesin – Universitas Sebelas Maret

Keywords :

*Wind Turbine
Pitch angle
Power coefficient
Tip speed ratio
Untwisted blade*

Abstract :

Increasing energy needs from time to time lead to scarcity of energy in many countries. To overcome this energy shortages several countries race to generate energy from new sources of renewable energy. Wind is one of the renewable energy source that is environmentally friendly. In the area of low wind speed small scale wind turbines can be used to generate electrical energy.

This research was conducted to find out the characteristics of the wind turbine model working on low wind speed. Model of the wind turbine used is a three bladed horizontal axis wind turbine with a rotor diameter of 70 cm. The Wind turbine has untwisted blades, made of fiberglass and has a cross-section of airfoil NREL S833. The wind used in this study came from a fan that serves as the source of the wind with wind speed variation of 2,43 m/s, 2,98 m/s and 3,23 m/s.

The result of the study showed that the wind turbine model works the best at pitch angle of 10°. On the 10° pitch angle, the characteristics of the power to rotation speed and the power coefficient (c_p) to tip speed ratio (λ) for every wind speed variation were derived. The maximum power derived at wind speed of 2.43 m/s, 2.98 m/s and 3.23 m/s each is 0.605 W at 406 rpm by $c_p=0.18$ at $\lambda= 6.1$; 1.311 W at 513 rpm by $c_p=0.21$ at $\lambda=6.3$; and 1,673 W at 561 rpm by $c_p=0.21$, $\lambda = 6.3$.

PENDAHULUAN

Seiring dengan perkembangan zaman kebutuhan energi akan terus mengalami peningkatan. Untuk memenuhi kebutuhan energi yang terus meningkat tersebut maka harus diimbangi dengan pembangkitan energi dari berbagai sektor. Pada saat ini energi fosil masih merupakan sumber energi utama yang digunakan oleh umat manusia. Dalam penggunaan energi nasional di tahun 2004, penggunaan Bahan Bakar Minyak (BBM) sebesar 63%, batubara 18%, gas 17%, dan listrik 10%. Sementara BBM sendiri dalam hal ini digunakan untuk pembangkitan listrik sebesar 11% (Lungan, 2008).

Energi fosil merupakan sumber energi yang terbatas dan tidak dapat diperbarui, oleh sebab itu perlu dicari solusi alternatif energi lain yang ketersediaannya tidak terbatas dan dapat diperbarui. Alasan lainnya ialah untuk mengurangi dampak polusi yang ditimbulkan dari pemakaian energi fosil tersebut. Seperti yang telah kita ketahui bersama bahwa sumber polusi terbesar di dunia berasal dari gas buang/emisi bahan bakar fosil tersebut.

Adapun yang dimaksud dengan sumber energi terbarukan adalah sumber energi yang persediaannya tidak terbatas, dapat diperbarui dan atau dapat dibuat. Energi terbarukan mendapatkan energi dari aliran energi yang berasal dari proses alam yang

berkelanjutan seperti sinar matahari, angin, air yang mengalir, proses biologi dan geotermal. Angin sebagai sumber energi yang jumlahnya melimpah merupakan sumber energi yang terbarukan dan tidak menimbulkan polusi udara karena tidak menghasilkan gas buang yang dapat menyebabkan efek rumah kaca. Indonesia sebagai negara yang berada di daerah tropis memiliki kecepatan angin rata-rata tahunan 2-3 m/s (Wahab, 2003). Dengan potensi energi angin tersebut dapat dikembangkan turbin angin skala kecil untuk kecepatan angin rendah sebagai pembangkit listrik. Akan tetapi hal ini belum dimanfaatkan secara optimal karena minimnya penguasaan teknologi konversi energi angin.

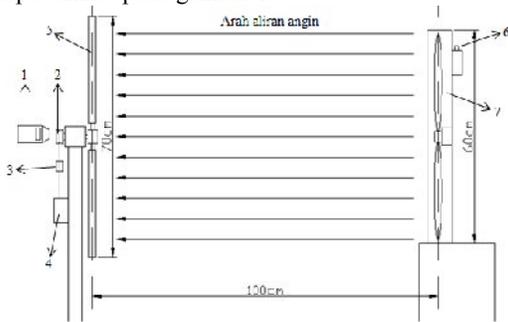
Dengan alasan tersebut maka penelitian tentang penggunaan turbin angin di Indonesia terus dilakukan. Ada beberapa cara untuk menambah unjuk kerja dari turbin angin, antara lain mengubah kecepatan putar rotor, mengubah sudut *pitch*, memasang *vortex generator* pada permukaan sudu dan sebagainya (Khalfallah, 2007). Pada penelitian ini akan menyelidiki karakteristik model turbin angin *untwisted blade* dengan menggunakan airfoil tipe NREL S833 pada kecepatan angin rendah.

Sudut *pitch* adalah sudut antara garis *chord* dengan bidang putar turbin angin. Perubahan sudut

pitch sangat berpengaruh pada daya keluaran turbin angin karena berkaitan dengan kinerja aerodinamika rotor turbin angin. Dengan mengatur sudut *pitch* pada kondisi optimal maka akan didapat daya yang maksimal. Dengan mempertimbangkan pengaruh sudut *pitch* tersebut diharapkan unjuk kerja turbin angin skala kecil pada kecepatan rendah dapat ditingkatkan.

METODE PENELITIAN

Skema alat pengujian karakteristik model turbin angin untwisted blade dengan menggunakan tipe airfoil NREL S833 pada kecepatan angin rendah dapat dilihat pada gambar 1.



Gambar 1. Skema instalasi alat penelitian

Keterangan gambar 1:

1. Tachometer
2. Puli
3. Beban pemberat
4. Timbangan digital
5. Model turbin angin
6. Tombol kecepatan angin
7. Kipas angin

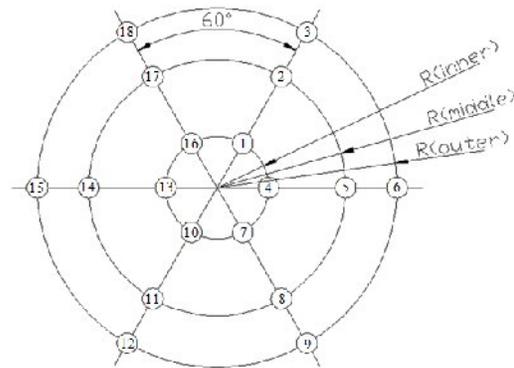
Rotor model turbin angin memiliki diameter 70 cm. Sudu rotor terbuat dari bahan fiberglass dan menggunakan airfoil tipe S833. Tipe airfoil tersebut merupakan airfoil yang direkomendasikan oleh *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) untuk turbin angin yang memiliki diameter 1-3 meter pada kecepatan angin rendah.



Gambar 2. Profil airfoil NREL S833

Sumber angin pada penelitian ini didapat dari kipas angin yang memiliki diameter 60 cm. Posisi model turbin angin diletakkan di depan kipas angin dengan jarak 100 cm. Kipas angin yang digunakan memiliki tiga kecepatan angin. Pengukuran kecepatan angin dilakukan di beberapa titik pada

bidang putar model turbin angin menggunakan anemometer digital. Titik pengukuran kecepatan angin pada bidang putar model turbin angin dapat dilihat pada gambar 3. Tiga kecepatan angin rata-rata yang didapat dari pengukuran titik-titik kecepatan angin adalah 2,43 m/s, 2,98 m/s dan 3,23 m/s.



Gambar 3. Titik-titik pengukuran kecepatan angin Untuk mendapatkan sudut *pitch* optimal dilakukan pengukuran kinerja model turbin angin pada variasi sudut *pitch* 0°-40° dengan interval 5°.

Perhitungan Data

1. Daya total

Daya total adalah daya yang terkandung dalam angin, dapat dihitung dengan persamaan:

$$P_t = \frac{1}{2} \rho v^3 A \tag{1}$$

2. Torsi

Sistem *prony brake* digunakan untuk mengukur torsi yang dihasilkan model turbin angin. Sistem *prony brake* terdiri dari poros *prony brake*, timbangan digital, tali nilon dan beban pemberat. Torsi didapat dari selisih beban yang terukur pada timbangan digital dan beban pemberat dikalikan dengan gaya grafitasi kemudian dikalikan dengan jari-jari poros *prony brake*.

$$T = F \times R \tag{2}$$

3. Daya mekanik

Daya mekanik rotor adalah daya yang terkandung dalam angin yang dapat dikonversi oleh rotor, dihitung dengan persamaan:

$$P = \frac{2\pi NT}{60} \tag{3}$$

4. Koefisien daya (c_p)

Koefisien daya merupakan perbandingan antara daya mekanik rotor dan daya total dalam angin, dapat dihitung dengan persamaan:

$$c_p = \frac{P}{P_t} \tag{4}$$

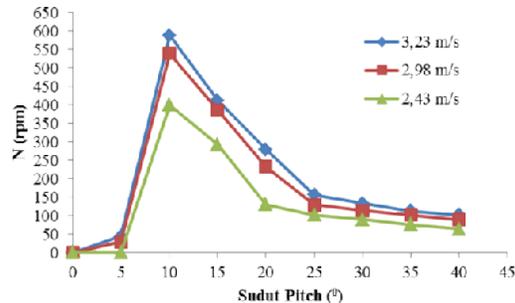
5. *Tip speed ratio* (TSR)

Tip speed ratio adalah rasio kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin bebas

$$\lambda = \frac{\pi DN}{60v} \tag{5}$$

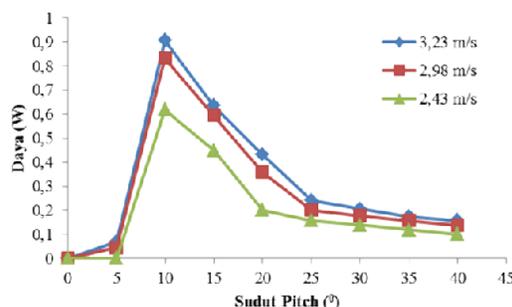
HASIL DAN PEMBAHASAN

Unjuk kerja model turbin angin dapat dilihat dari beberapa data yang telah diambil. Data yang dapat dijadikan acuan unjuk kerja model turbin angin adalah putaran poros dan daya rotor terhadap sudut *pitch* pada kecepatan angin yang bervariasi.



Gambar 4. Grafik hubungan kecepatan putar poros dan sudut *pitch* pada variasi kecepatan angin

Gambar 4 menunjukkan grafik hubungan putaran poros terhadap sudut *pitch* pada kecepatan angin 3,23 m/s, 2,98 m/s dan 2,43 m/s. Perbedaan sudut *pitch* dan kecepatan angin akan menghasilkan putaran poros yang berbeda pula. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa rotor tidak berputar pada sudut *pitch* 0° pada semua kecepatan angin tersebut. Ketika sudut *pitch* dinaikkan 5° rotor belum berputar pada kecepatan angin 2,43 m/s. Rotor mulai berputar hingga dicapai keadaan *steady* sebesar 44,33 rpm pada kecepatan angin 3,23 m/s dan 29 rpm pada kecepatan angin 2,98 m/s. Pada sudut *pitch* 10° rotor mencapai putaran maksimal pada seluruh kecepatan angin, yaitu 588,33 rpm pada 3,23 m/s, 593 rpm pada 2,98 m/s dan 400 rpm pada 2,43 m/s. Putaran poros mulai mengalami penurunan pada seluruh kecepatan angin ketika sudut *pitch* dinaikkan menjadi 15° yaitu 412 rpm pada 3,23 m/s, 385 rpm pada 2,98 m/s dan 292 rpm pada 2,43 m/s. Penurunan putaran poros terus berlanjut hingga sudut *pitch* 40° .



Gambar 5. Grafik hubungan daya poros dan sudut *pitch* pada variasi kecepatan angin

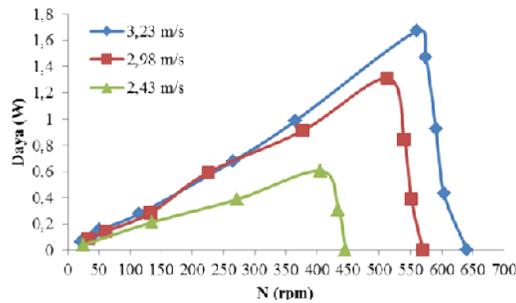
Gambar 5 menunjukkan grafik hubungan daya poros terhadap sudut *pitch* pada kecepatan angin 3,23 m/s, 2,98 m/s dan 2,43 m/s. Daya diperoleh dari perkalian antara putaran poros yang didapat dikalikan dengan torsi yang terukur sesuai dengan persamaan 3. Dari grafik tersebut dapat dilihat

bahwa rotor tidak menghasilkan daya pada sudut *pitch* 0° . Hal ini disebabkan pada sudut *pitch* 0° rotor tidak berputar. Daya belum dihasilkan pada sudut *pitch* 5° untuk kecepatan angin 2,43 m/s karena pada kecepatan tersebut rotor belum berputar. Namun daya sudah didapat pada kecepatan angin 3,23 m/s dan 2,98 m/s yaitu 0,068 W dan 0,045 W. Daya maksimal pada seluruh kecepatan angin dicapai ketika sudut *pitch* 10° , yaitu 0,906 W pada 3,23 m/s, 0,831 W pada 2,98 m/s dan 0,617 W pada 2,43 m/s. Hal ini disebabkan pada sudut *pitch* 10° dicapai putaran poros maksimal. Daya mengalami penurunan pada sudut *pitch* 15° , yaitu sebesar 0,635 W pada 3,23 m/s, 0,594 W pada 2,98 m/s dan 0,45 W pada 2,43 m/s. Penurunan daya terus berlanjut seiring dengan penambahan sudut *pitch* hingga 40° .

Pada penelitian ini didapat bahwa sudut *pitch* optimal berada pada sudut 10° dimana pada sudut tersebut model turbin angin menunjukkan kinerja maksimal. Dari gambar 4 dapat diperoleh hubungan bahwa jika kecepatan angin bertambah maka putaran poros juga akan mengalami kenaikan. Jika putaran poros naik maka daya yang dihasilkan juga akan mengalami kenaikan sebagaimana ditampilkan pada gambar 5.

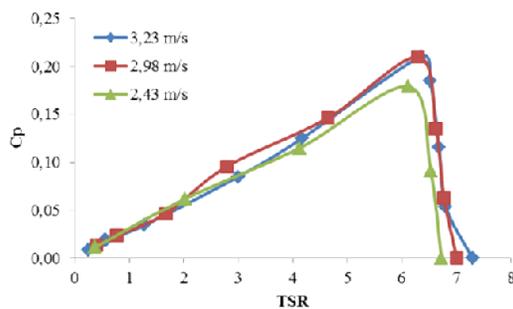
Dari gambar 4 diketahui bahwa pada sudut *pitch* 5° putaran poros sangat lambat bahkan tidak berputar pada kecepatan angin paling rendah. Hal ini disebabkan pada sudut *pitch* yang kecil torsi awal yang didapat juga kecil sehingga tidak mampu melawan momen inersia rotor (Andriyanto, 2008). Setelah dicapai sudut *pitch* optimal maka penambahan sudut *pitch* menyebabkan putaran rotor mengalami penurunan. Jika kecepatan putar rotor mengalami penurunan maka daya yang dihasilkan juga akan mengalami penurunan sebagaimana ditampilkan pada gambar 5.

Penurunan unjuk kerja tersebut terjadi karena dengan menambah sudut *pitch* mengakibatkan sudut serang efektif berubah. Jika sudut serang efektif berubah maka gaya lift juga berubah. Penambahan sudut *pitch* menyebabkan sudut serang menjadi lebih kecil sehingga gaya lift juga semakin kecil. Penurunan gaya lift menyebabkan torsi yang dapat dihasilkan oleh sudu juga berkurang sehingga putaran poros yang dihasilkan juga berkurang. Pengurangan putaran poros tersebut akan menurunkan daya mekanik yang dihasilkan oleh turbin angin (Zhang, 2008).



Gambar 6. Grafik hubungan daya dan putaran poros pada sudut $pitch 10^0$

Gambar 6 menunjukkan hubungan daya dan putaran poros pada sudut $pitch 10^0$ dengan variasi kecepatan angin 2,43 m/s, 3,98 m/s dan 3,23 m/s. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa daya mekanik meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan angin. Hal ini disebabkan peningkatan kecepatan angin menyebabkan putaran poros juga meningkat. Akan tetapi peningkatan putaran poros saja tidak serta merta meningkatkan daya mekanik yang dihasilkan. Kecepatan putar rotor ketika turbin angin menghasilkan daya maksimal disebut kecepatan putar optimal. Dari grafik tersebut dapat dilihat bahwa daya maksimal dicapai pada titik tertentu sesuai dengan putaran poros optimal. Daya maksimal dan putaran rotor optimal pada sudut 10^0 pada variasi kecepatan angin 2,43 m/s, 2,98 m/s dan 3,23 m/s masing-masing adalah 0,605 W pada 406 rpm, 1,311 W pada 513 rpm dan 1,673 W pada 561 rpm.



Gambar 7. Grafik hubungan c_p dan TSR pada sudut $pitch 10^0$

Gambar 7 menunjukkan hubungan antara koefisien daya (c_p) dan *Tip speed ratio* (TSR) pada sudut $pitch 10^0$ dengan variasi kecepatan angin 2,43 m/s, 3,98 m/s dan 3,23 m/s. Dari grafik dapat dilihat bahwa pada kondisi awal koefisien daya meningkat seiring dengan meningkatnya TSR. Setelah mencapai titik maksimal koefisien daya menurun. Hal ini dapat dijelaskan bahwa pada TSR rendah rotor model turbin angin berputar sangat pelan dan hampir seluruh aliran angin hanya melewati rotor tanpa banyak daya yang dapat ditangkap oleh rotor. Disisi lain, ketika nilai TSR terlalu besar rotor turbin angin berputar terlalu kencang. Hal ini menyebabkan nilai koefisien daya menurun karena rotor yang berputar terlalu cepat bersifat seperti piringan pejal sehingga

udara yang melewati rotor diblok secara sempurna (Kishore, 2013). Jadi koefisien daya maksimal juga dicapai pada nilai TSR optimal. Nilai koefisien daya maksimal dan TSR optimal yang dicapai pada sudut $pitch 10^0$ pada variasi kecepatan angin 2,43 m/s, 2,98 m/s dan 3,23 m/s sesuai gambar 7 berturut-turut adalah $c_p=0,18$ pada $TSR=6,1$, $c_p=0,21$ pada $TSR=6,3$ dan $c_p=0,21$ pada $TSR=6,3$.

KESIMPULAN

Sudut $pitch$ optimal model turbin angin pada penelitian ini adalah sebesar 10^0 . Pada sudut $pitch$ tersebut daya maksimal turbin angin dicapai. Daya maksimal dan putaran rotor optimal pada sudut 10^0 pada variasi kecepatan angin 2,43 m/s, 2,98 m/s dan 3,23 m/s masing-masing adalah 0,605 W pada 406 rpm, 1,311 W pada 513 rpm dan 1,673 W pada 561 rpm. Koefisien daya maksimal dan TSR pada sudut $pitch 10^0$ pada variasi kecepatan angin 2,43 m/s, 2,98 m/s dan 3,23 m/s masing-masing adalah $c_p=0,18$ pada $TSR=6,1$, $c_p=0,21$ pada $TSR=6,3$ dan $c_p=0,21$ pada $TSR=6,3$.

NOTASI

A	= luas sapuan rotor (m^2)
F	= gaya (N)
c_p	= koefisien daya
D	= diameter rotor (m)
N	= kecepatan putar rotor (rpm)
P	= daya mekanik rotor (W)
P_0	= daya total yang tersedia dalam angin (W)
T	= torsi (Nm)
v	= kecepatan angin (m/s)
ρ	= massa jenis udara (kg/m^3)
λ	= tip speed ratio

DAFTAR PUSTAKA

- Andriyanto, A., 2008, *Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Berdiameter 3,5 Meter*, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Chen, T.Y., and Liou, L. R., 2011, *Blokage Correction in Wind Tunnel Test of Small Horizontal Axis Wind Turbines*, *Experimental Thermal and Fluid Science*, Vol. 35, pp. 565-569.
- Guntoro, W., 2008, *Studi Pengaruh Panjang dan Jumlah Baling-Baling Terhadap Efisiensi Daya Listrik Pada Pembangkit Listrik Tenaga Angin*, Jurusan Fisika Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Habibie, M.N., 2011, *Kajian Potensi Energi angin di Wilayah Sulawesi dan Maluku*, Puslitbang BMKG, Jakarta.
- Hau, E., 2006, *Wind Turbines : Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Springer, New York.
- Khalfallah, M. G., 2007, *Suggestions for Improving Wind Turbines Power Curves*, *Desalination*, Vol. 209, pp. 221-229.

- Kishore, R. A., Coudron, T., and Priya, S., 2013, *Small Scale Wind Energy Portable Turbine (SWEPT)*, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 116, pp. 21-31.
- Lungan, F., 2008, *Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Berdiameter 3,5 Meter Dengan Modifikasi Pemotongan dan Pengaturan Sudut Pitch*, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Manwell, J.F., 2002, *Wind Energy Explained*, John Willey & Sons Ltd, England.
- Morris, Alan S., 2001, *Measurement & Instrumentation Principles*. Butterworth-Heinemann, Oxford.
- Somers, D. M., 2002, *The S833, S834, and S835 Airfoils*, National Renewable Energy Laboratory, USA.
- Sucipto, 2008, *Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin Aksial Sumbu Horizontal Dua Sudu Dengan Diameter 3,5 Meter*, Fakultas Teknik Mesin dan Dirgantara, Institut Teknologi Bandung, Bandung.
- Thumtae, C., 2009, *Optimal Angle of Attack for Untwisted Blade Wind Turbine*, *Renewable Energy*, Vol. 34, pp. 1279-1284.
- Wahab, A. A., and Tong, C. W., 2003, *Development of An Indoor Testing Facility for Low Wind Speed Wind Turbine Research Activities*, *Proceedings of The 2nd Regional Conference on Energy Technology Towards a Clean Environment*.
- Wood, D., 2011, *Small Wind Turbines : Analysis, Design and Application*, Springer, New York.
- Zhang, J., 2008. *Pitch Angle Control for Variable Speed Wind Turbines*, Nanjing, China.