

KARAKTERISASI TURBIN ANGIN SUDU FLAT BERBINGKAI DENGAN VARIASI LEBAR SUDU UNTUK PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA ANGIN

Bono, Gatot Suwoto, Margana, Sunarwo
Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Semarang
Jl. Prof. H. Sudarto, S.H., Tembalang, Kotak Pos 6199 SMS, Semarang 50329
Telp. 7473417, 7466420 (Hunting), Fax.7472396
E-mail : onobono61@yahoo.co.id

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan turbin angin sudu flat berbingkai dengan variasi lebar sudu. Penelitian diawali dengan membuat bingkai sudu sebanyak 6 buah, dengan lebar sudu masing masing sebesar 4 cm, 6 cm, dan 8 cm. Sudu dibuat dari bahan plat galvalum dengan model 4 buah bilah sudu di bingkai menjadi satu. Pengujian yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin, dimana kecepatan angin dibuat bervariasi antara 5 m/s sampai dengan 8 m/s. Hasil uji berupa grafik karakteristik turbin untuk masing-masing lebar sudu. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah kecepatan angin, putaran turbin, beban.turbin, arus dan tegangan listrik keluaran dari generator. Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah lebar sudu 4 cm, 6 cm, dan 8 cm. Beban turbin divariasikan dan setiap variasi dilakukan pencatatan terhadap parameter-parameter diatas. Pengujian dilakukan pada kondisi kecepatan angin konstan, pada sudut sudu 60^0 dengan 6 buah bingkai sudu, dan lebar sudu 4 cm, beban generator divariasikan. Selanjutnya dilakukan hal yang sama untuk lebar sudu sama kecepatan angin yang berbeda. Selanjutnya dilakukan pengujian dengan tahapan yang sama untuk lebar sudu 6 cm dan 8 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa daya generator tertinggi yang mampu dibangkitkan adalah sebesar 21,44 watt, pada kecepatan angin sebesar 8 m/s dengan putaran 203,14 rpm, sedangkan efisiensi sistem tertinggi sebesar 33,15 % terjadi pada kecepatan angin 5 m/s dengan putaran 164,43 rpm

Kata kunci : bingkai, lebar sudu, turbin angin

Abstract

This research aims to produce a flat-framed, wind turbine with variations in the width of the blade. The research begins by making a blade frame of 6 pieces, with the width of each blade of 4 cm, 6 cm, and 8 cm. The blade is made of galvalum plate material with 4 blades of blades on one frame. Tests performed include turbine characteristic tests, where wind speeds are made to vary between 5 m/s up to 8 m/s. The test result is a characteristic graph of turbine for each width of the blade. The parameters measured in the test are wind speed, turbine rotation, load turbine, current and output voltage of the generator. The parameters determined and the variables in this study are 4 cm, 6 cm, and 8 cm wide blades. Turbine loads are varied and each variation is recorded on the above parameters. The test is carried out under constant wind velocity conditions, at 60^0 blade angle with 6 blade frames, and 4 cm wide blade width, generator load varied. Further, the same thing is done for the width of the blade at different wind speeds. Further testing is done with the same stages for the blade width of 6 cm and 8 cm. The results showed that the highest generator power that can be generated is 21.44 watts, at wind speed of 8 m/s with rotation 203.14 rpm, while the highest system efficiency of 33.15% occurs at a wind speed of 5 m/s with rotation 164,43 rpm

Keywords: frame, width of blade, wind turbine

1. Pendahuluan

Selama ini, kebutuhan akan energi listrik di Indonesia masih terlalu bergantung pada energi minyak, gas bumi dan batubara yang berbasis fosil. Padahal, untuk minyak bumi, gas bumi dan batubara, jika dilakukan eksplorasi terus menerus maka akan habis cadangannya. Oleh karenanya diperlukan sumber energi alternatif yang terbarukan dan tersedia di lingkungan sekitar. Salah satu sumber energi alternatif tersebut adalah *angin atau bayu*. Angin merupakan energi baru terbarukan yang disediakan oleh

alam yang tidak akan habis dan sekaligus ramah lingkungan. Sumber energi angin dapat dimanfaatkan dengan cara mengubah energi angin ke dalam bentuk energi listrik melalui teknologi sistem pembangkit listrik tenaga angin yang terdiri dari komponen utama yaitu turbin angin alternator, inverter, dan instalasinya.

Pada umumnya kecepatan angin yang dapat dimanfaatkan untuk menggerakkan turbin angin dibatasi dengan syarat-syarat tertentu. Sedangkan syarat-syarat dan kondisi angin yang dapat digunakan untuk menghasilkan energi listrik tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Kondisi Angin

Kondisi angin			
Kelas angin	Kecepatan angin (m/dtk)	Kecepatan angin (km/jam)	Kecepatan angin (knot/jam)
1	0,3 – 1,5	1 – 5,4	0,58 – 2,92
2	1,6 – 3,3	5,5 – 11,9	3,11 – 6,42
3	3,4 – 5,4	12,0 – 19,5	6,61 – 10,5
4	5,5 – 7,9	19,6 – 28,5	10,7 – 15,4
5	8,0 – 10,7	28,6 – 38,5	15,6 – 20,8
6	10,8 – 13,8	38,6 – 49,7	21 – 26,8
7	13,9 – 17,1	49,8 – 61,5	27 – 33,3
8	17,2 – 20,7	61,6 – 74,5	33,5 – 40,3
9	20,8 – 24,4	74,6 – 87,9	40,5 – 47,5
10	24,5 – 28,4	88,0 – 102,3	47,7 – 55,3
11	28,5 – 32,6	102,4 – 117,0	55,4 – 63,4
12	> 32,6	> 118	63,4

Sumber. [4]

Angin kelas 3 adalah batas minimum dan angin kelas 8 adalah batas maksimum energi angin yang dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik. Dengan melihat kondisi angin seperti pada Tabel 1, maka pantaslah apabila angin dapat dimanfaatkan sebagai pembangkit energi listrik yaitu dengan mengubah kecepatan angin menjadi energi generator oleh sudu-sudu turbin, kemudian dari poros turbin akan memutar alternator yang akan menghasilkan energi listrik.

Kendala yang dihadapi masyarakat untuk memanfaatkan potensi energi angin adalah teknologi pembuatan turbin angin yang kurang dipahami oleh masyarakat. Sementara pengetahuan masyarakat tentang teknologi turbin angin masih kurang memadai.

Dengan tersedianya energi terbarukan yang cukup memadai dalam bentuk energi angin, maka masyarakat dituntut untuk dapat memanfaatkan potensi energi angin tersebut. Salah satu bentuk pemanfaatan energi angin adalah mengubahnya menjadi energi listrik. Untuk mengatasi masalah tersebut, maka diupayakan pembuatan turbin angin yang cara pembuatannya sederhana dengan bahan yang mudah didapat di toko. Dengan demikian masyarakat dapat melakukan pembuatan turbin angin secara mandiri untuk memenuhi kebutuhan energi listrik.

Sudu turbin di buat dari plat Galvanis. Sudu turbin berfungsi mengubah energi angin menjadi energi mekanik berupa putaran sudu turbin. Sudu yang digunakan merupakan jenis *upwind*, dimana sudu berhadapan dengan arah angin. Sudu didesain tidak fleksibel dan diperlukan mekanisme yaw (ekor turbin) untuk menjaga sudu agar tetap berhadapan dengan arah angin.

Besarnya daya kinetis udara yang mengalir dengan laju aliran massa (\dot{m}) yang mengalir melalui suatu penampang dengan luasan (A) dengan kecepatan (V), dapat ditentukan dengan persamaan.

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \dot{m} \cdot V^2 \quad (1)$$

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot V^3 \quad (2)$$

dimana: ρ adalah massa jenis udara (kg/m^3), A adalah luas sapuan rotor turbin (m^2), V adalah kecepatan angin (m/s), P_k adalah daya kinetik (Watt). [3]
 Besar daya mekanik turbin angin dapat dihitung dengan menggunakan persamaan:

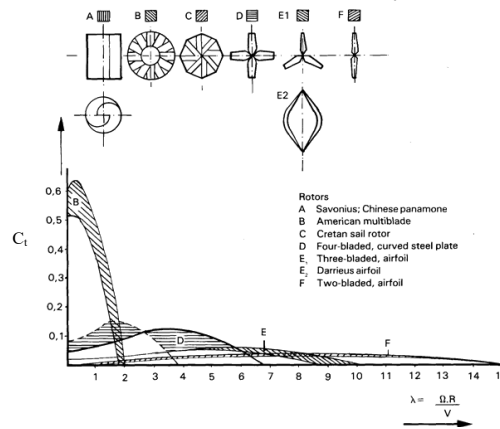
$$P_m = \frac{2\pi n T}{60} \tag{3}$$

dimana T adalah Torsi (Nm), n adalah kecepatan putaran rotor (rpm), P_m adalah daya mekanik (watt)

Efisiensi turbin angin ditunjukkan dalam kurva **coefficient of power (C_p)**, yang dapat dihitung dengan persamaan:

$$C_p = \frac{\text{Daya output}}{\text{Daya input}} \times 100\% \tag{4}$$

Pada umumnya turbin angin yang mempunyai jumlah sudu banyak (soliditas tinggi) akan mempunyai torsi yang besar. Turbin angin jenis ini banyak digunakan untuk keperluan mekanikal seperti pemompaan air, pengolahan hasil pertanian dan aerasi tambak. Sedangkan turbin angin dengan jumlah sudu sedikit, misalnya dua atau tiga, digunakan untuk keperluan pembangkitan listrik. Turbin angin jenis ini mempunyai torsi rendah tetapi putaran rotor yang tinggi. Gambar 1 memperlihatkan korelasi antara tip speed ratio ($TSR=\lambda$) dengan torsi (CQ). Gambar ini menjelaskan bahwa rotor dengan jumlah sudu banyak akan mempunyai torsi yang besar tetapi efisiensi tidak terlalu tinggi atau sebaliknya. [2].



Gambar 1 Torsi rotor untuk berbagai jenis turbin angin [6]

Jika dikaitkan dengan sumber daya angin, turbin angin dengan jumlah sudu banyak lebih cocok digunakan pada daerah dengan potensi energi angin yang rendah karena *rated wind speed*-nya tercapai pada putaran rotor dan kecepatan angin yang tidak terlalu tinggi. Sedangkan turbin angin dengan sudu sedikit (untuk pembangkitan listrik) tidak akan beroperasi secara efisien pada daerah dengan kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s.

Dengan demikian daerah-daerah dengan potensi energi angin rendah, yaitu kecepatan angin rata-rata kurang dari 4 m/s, lebih cocok untuk dikembangkan turbin angin keperluan mekanikal. Jenis turbin angin yang cocok untuk keperluan ini antara lain *Americantype multi blade*, *cretan sail* dan *savonius* [2].

Tip Speed Ratio ($TSR=\lambda$) adalah perbandingan antara kecepatan putar ujung sudu dengan kecepatan aliran udara bebas. Jika rotor turbin angin berputar lambat, berarti tip speed ratio-nya rendah, di sisi lain jika rotor turbin angin berputar cepat, ini menyiratkan bahwa rasio kecepatan tipnya tinggi (Talam K.E, Kainkwa R.M.,2013). Tip Speed Ratio dapat ditentukan dengan persamaan.:

$$TSR = \lambda = \frac{\omega R}{V} \tag{5}$$

Sedangkan

$$\omega = \frac{2\pi n}{60} \tag{6}$$

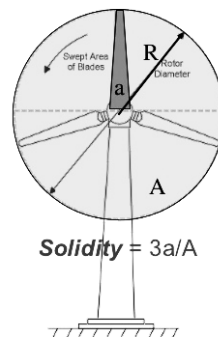
Sedangkan hubungan antara Tip Speed ratio (λ) dengan jumlah sudu dapat dilihat pada tabel 2.

Tabel .2 Hubungan λ dengan jumlah blade (B)

λ	B
1	6 - 20
2	4 - 12
3	3 - 6
4	2 - 4
5 - 8	2 - 3
8 - 15	1 - 2

Sumber. [5]

Soliditas adalah perbandingan antara jumlah luasan sudu dengan luas sapuan total. Turbin dengan soliditas rendah (0,1), memiliki putaran tinggi dengan tosi yang kecil. Demikian pula sebaliknya, turbin dengan soliditas tinggi (>0,8), memiliki putaran rendah dengan tosi yang besar. Pemahaman tentang soliditas dapat dilihat pada gambar 2.

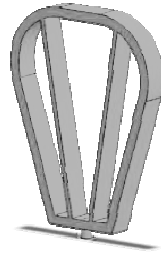


Gambar 2. Soliditas turbin angin

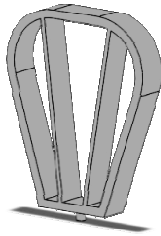
Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan turbin angin sudu flat berbingkai dengan lebar sudu yang terbaik, serta mendapatkan karakteristik dari turbin angin tersebut. Aspek utama yang diteliti pada penelitian ini adalah besaran lebar sudu yang dapat menghasilkan efisiensi terbaik pada turbin tersebut

2. Metode Penelitian

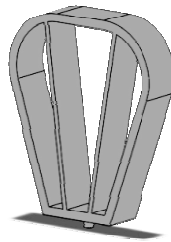
Penelitian ini diawali dengan membuat turbin angin sudu flat berbingkai yang terdiri dari runner turbin, poros, ekor, dan kerangka. Desain runner turbin dibuat dengan 6 buah bingkai sudu, dengan masing-masing bingkai terdiri atas 4 bilah sudu flat, serta sudu dibuat dari bahan plat galvalum. Pada penelitian ini digunakan lebar sudu yang bervariasi. Penggunaan lebar sudu yang bervariasi ini merupakan pengembangan dari turbin angin sebelumnya yang mempunyai lebar sudu 6 cm (Bono, dkk, 2015). Sehingga untuk mengetahui seberapa besar pengaruh lebar sudu terhadap kinerja turbin, maka dibuat lebar sudu yang bervariasi, yang nilainya lebih kecil dan lebih besar dari lebar sudu turbin angin terdahulu, yaitu 4 cm, 6 cm, 8 cm, seperti terlihat pada Gambar 3. Bingkai sudu dipasangkan pada piringan putar dengan cara dibaut, serta piringan putar dan sudu dapat dibongkar-pasang, seperti terlihat pada Gambar 4. instalasi pengujian terdiri dari komponen utama blower, turbin angin, generator listrik sebagai beban turbin, dan alat ukur pengujian meliputi anemometer, tachometer, thermometer, voltmeter, dan amperemeter.



a

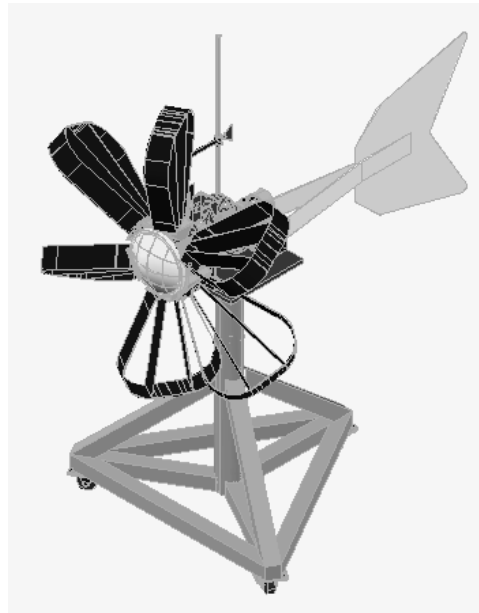


b



c

Gambar 3. Model bingkai sudu flat yang direncanakan, (a) bingkai sudu dengan lebar sudu 4 cm, (b) bingkai sudu dengan lebar sudu 6 cm, (c) bingkai sudu dengan lebar sudu 8 cm



Gambar 4. Turbin Angin sudu flat dengan 6 bingkai sudu

Pengujian yang dilakukan meliputi uji karakteristik turbin, dimana lebar sudu divariasikan, sedangkan kecepatan angin bervariasi mulai dari 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s, dan 8 m/s. Hasil uji berupa grafik karakteristik turbin untuk masing-masing lebar sudu. Parameter yang diukur dalam pengujian adalah kecepatan angin, putaran turbin, arus, dan tegangan yang dihasilkan generator. Parameter yang ditentukan dan merupakan variabel dalam penelitian ini adalah lebar sudu, yaitu 4 cm, 6 cm, dan 8 cm. Beban turbin divariasikan dan setiap variasi dilakukan pencatatan terhadap parameter-parameter di atas.

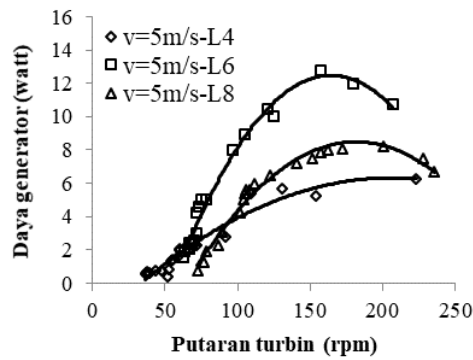
Data hasil pengujian diolah untuk mendapatkan debit aliran udara, daya kinetik udara, daya generator, dan efisiensi sistem. Hasil pengolahan kemudian direpresentasikan dalam bentuk grafik karakteristik turbin. Analisis akan menghasilkan kesimpulan pada turbin dengan lebar sudu tertentu yang mempunyai unjuk kerja terbaik.

3. Hasil dan Analisis

Piringan putar (*runner*) turbin angin yang digunakan dalam penelitian ini mempunyai 6 bingkai sudu, dengan tinggi sudu 30 cm. Diameter piringan putar terkecil 20 cm, diameter piringan putar terbesar 80 cm. Grafik hubungan antara daya generator, efisiensi sistem terhadap putaran turbin pada berbagai lebar sudu dan sudut sudu, serta pada berbagai kecepatan angin dapat dilihat pada gambar 5 sampai gambar 12.

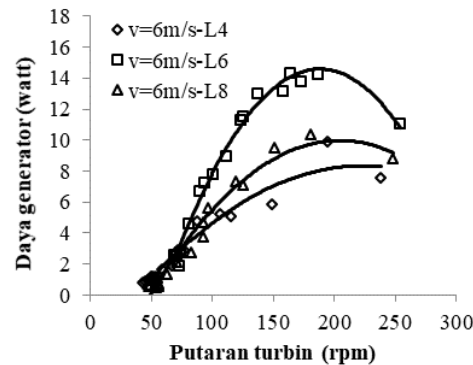
3.1 Hubungan antara Daya Generator terhadap Putaran pada Setiap Lebar Sudu untuk Masing-masing Kecepatan Angin

Dari hasil pengujian, hubungan putaran turbin dengan daya generator sesuai dengan posisi lebar sudu dan pada berbagai harga kecepatan angin dapat dilihat pada gambar 5 sampai dengan gambar 8. Dari gambar tersebut terlihat bahwa daya generator meningkat seiring dengan bertambahnya kecepatan turbin. Sampai pada putaran tertentu daya generator akan mencapai maksimum, selanjutnya daya mekanik akan semakin berkurang meskipun putaran turbin terus bertambah besar.



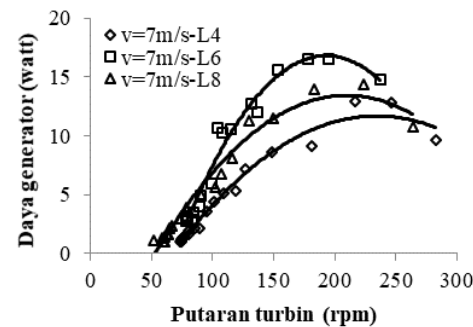
Gambar 5. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 5 m/s

Daya generator tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, daya generator tertinggi 12,59 watt, dicapai pada putaran 165 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, daya generator tertinggi 8,51 watt terjadi pada putaran 181,9 rpm. Selanjutnya, pada lebar sudu 4 cm, daya generator tertinggi 6,38 watt terjadi pada putaran 206,98 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 5 m/s ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 6. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 6 m/s

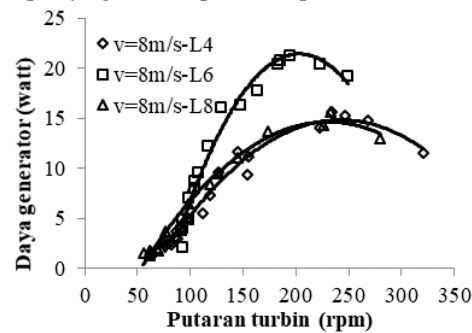
Daya generator tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, daya generator tertinggi 14,58 watt, dicapai pada putaran 188,17 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, daya generator tertinggi 10,02 watt terjadi pada putaran 205,04 rpm. Selanjutnya, pada lebar sudu 4 cm, daya generator tertinggi 8,43 watt terjadi pada putaran 225,35 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 6 m/s ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 7. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 7 m/s

Daya generator tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, daya generator tertinggi 16,63 watt, dicapai pada putaran 192,32 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, daya generator tertinggi 13,29 watt terjadi pada putaran 208,37 rpm.

Selanjutnya, pada lebar sudu 4 cm, daya generator tertinggi 11,66 watt terjadi pada putaran 234,08 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 7 m/s ditunjukkan pada Gambar 7.

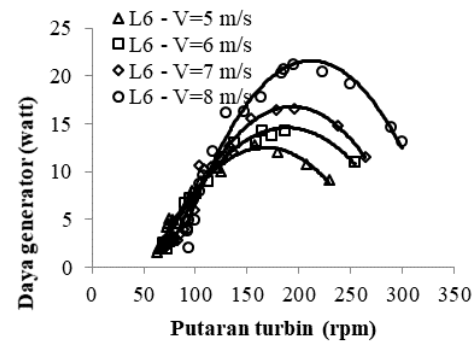


Gambar 8. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 8 m/s

Daya generator tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, daya generator tertinggi 21,44 watt, dicapai pada putaran 203,14 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, daya generator tertinggi 14,55 watt terjadi pada putaran 229,27 rpm. Selanjutnya, pada lebar sudu 4 cm, daya generator tertinggi 14,81 watt terjadi pada putaran 242,22 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada kecepatan 8 m/s ditunjukkan pada Gambar 8.

Jika diperhatikan pada gambar 5 sampai dengan 8, terlihat bahwa daya terbesar pada berbagai kecepatan dihasilkan oleh sudu dengan lebar 6 cm. Jika masing masing daya tersebut digambarkan dalam bentuk grafik hubungan, maka akan diperoleh hasil seperti pada gambar 9.

Pada gambar 9 terlihat bahwa daya generator tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan lebar sudu 6 cm, dan secara berturut-turut terjadi pada kecepatan 8 m/s, 7 m/s, 6 m/s, dan 5 m/s.

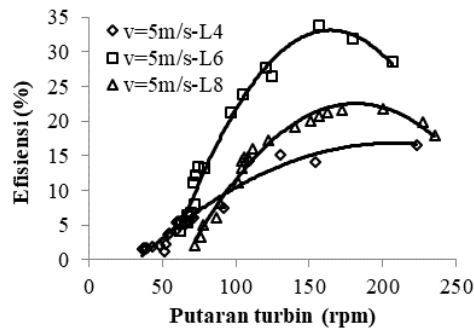


Gambar 9. Pengaruh putaran poros terhadap daya generator pada berbagai kecepatan angin

3.2. Hubungan antara Efisiensi Sistem terhadap Putaran pada Setiap Lebar Sudu untuk Masing-masing Kecepatan Angin.

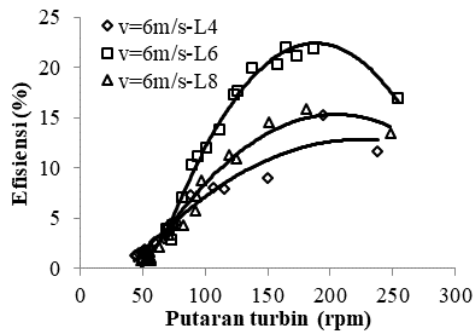
Dari hasil pengujian, hubungan putaran turbin dengan efisiensi yang dihasilkan jika digambarkan sesuai dengan lebar sudu dan pada berbagai harga kecepatan angin dapat dilihat pada gambar 10 sampai dengan gambar 13.

Seperti pada daya generator, hal yang sama juga terjadi pada efisiensi sistem, yaitu efisiensi sistem semakin bertambah besar seiring dengan bertambahnya kecepatan turbin, sampai pada putaran tertentu efisiensi sistem akan mencapai Maksimum. Selanjutnya efisiensi sistem akan semakin berkurang meskipun putaran turbin terus bertambah besar.



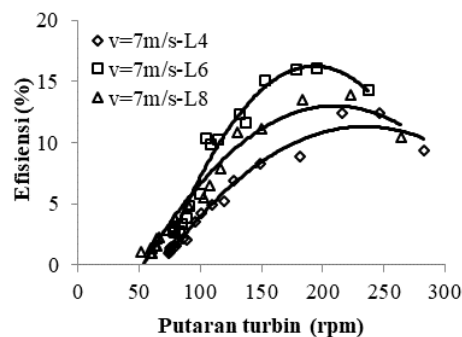
Gambar 10. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 5 m/s

Efisiensi tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, efisiensi tertinggi 33,15 %, dicapai pada putaran 164,43 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, efisiensi tertinggi 22,4 %, terjadi pada putaran 181,4 rpm. Selanjutnya, pada lebar sudu 4 cm, efisiensi tertinggi 16,66 % terjadi pada putaran 205,98 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 5 m/s ditunjukkan pada Gambar 10.



Gambar 11. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 6 m/s

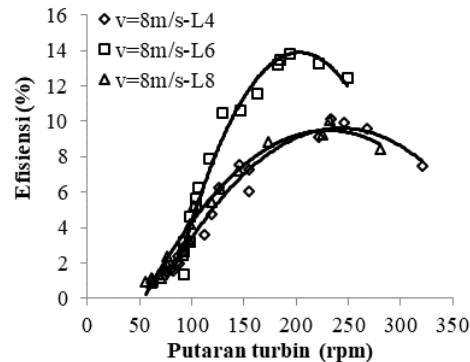
Efisiensi tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, efisiensi tertinggi 22,26 %, dicapai pada putaran 187,63 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, efisiensi tertinggi 15,38 %, terjadi pada putaran 204,94 rpm. Selanjutnya, pada lebar sudu 4 cm, efisiensi tertinggi 12,87 % terjadi pada putaran 224,5 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 6 m/s ditunjukkan pada Gambar 11.



Gambar 12. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 7 m/s

Efisiensi tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, efisiensi tertinggi 16,25 %, dicapai pada putaran 193,16 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, efisiensi tertinggi 12,44 %, terjadi pada putaran 209,14 rpm. Selanjutnya, pada lebar sudu 4

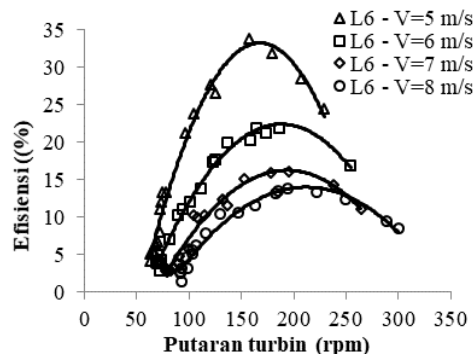
cm, efisiensi tertinggi 11,07 % terjadi pada putaran 231,93 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 7 m/s ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 13. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 8 m/s

Efisiensi tertinggi yang dihasilkan turbin untuk masing masing lebar sudu dijelaskan pada uraian berikut. Untuk lebar sudu 6 cm, efisiensi tertinggi 14,06 %, dicapai pada putaran 204,09 rpm. Untuk lebar sudu 8 cm, efisiensi tertinggi 9,67 %, terjadi pada putaran 232,73 rpm. Selanjutnya, pada lebar sudu 4 cm, efisiensi tertinggi 9,87 % terjadi pada putaran 245,88 rpm. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada kecepatan 8 m/s ditunjukkan pada Gambar 13.

Demikian juga dengan efisiensi sistemnya. Jika diperhatikan pada gambar 10 sampai dengan 13, terlihat bahwa efisiensi tertinggi pada berbagai kecepatan dihasilkan oleh sudu dengan lebar 6 cm. Jika efisiensi tersebut digabungkan, maka akan diperoleh gambar 14.



Gambar 14. Pengaruh putaran poros terhadap efisiensi pada berbagai kecepatan angin

Pada gambar 14, efisiensi sisten tertinggi dihasilkan oleh turbin dengan lebar sudu 6 cm, dan secara berurutan terjadi pada kecepatan angin 5m/, 6 m/s, 7 m/s, dan 8 m/s.

4. Kesimpulan

Dari hasil pengujian dan analisis turbin angin sudu flat berbingkai dengan variasi lebar sudu, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Daya generator yang dihasilkan dipengaruhi oleh kecepatan angin. Semakin besar kecepatan angin semakin besar pula daya generator yang dihasilkan. Daya generator tertinggi yang mampu dibangkitkan adalah sebesar 21,44 Watt, dengan putaran 203,14 rpm, terjadi pada kecepatan angin sebesar 8 m/s.
2. Efisiensi sistem tertinggi terjadi pada kecepatan angin 5 m/s, pada lebar sudu 6 cm, yaitu sebesar 33,15 %, terjadi pada putaran turbin 164,43 rpm.
3. Nilai efisiensi tertinggi untuk masing masing lebar sudu, terjadi pada kecepatan angin 5 m/s yang nilainya adalah lebar sudu 4 cm, efisiensi sebesar 16,66%, lebar sudu 6 cm, efisiensi sebesar 33,15%, lebar sudu 8 cm, efisiensi sebesar 22,40%,

Daftar Pustaka

- [1] Bono dkk, "Pengembangan Desain Turbin Angin Sudu Flat Berbingkai Tipe Poros Horizontal Untuk Pembangkit Listrik Tenaga Angin," Polines, Semarang, 2015.
- [2] Daryanto, "Kajian Potensi Angin untuk Pembangkit Listrik Tenaga Bayu," Balai PPTAGG – UPT-LAGG, Yogyakarta, 2007.
- [3] Hau E., Wind Turbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2nd ed., Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2006.
- [4] Anonim, "Karakteristik angin," 21 Oktober 2017. [Online]. Available: GET-STT-PLN karakteristik angin.htm.
- [5] Lysen E., Introduction to Wind Energy, 2nd ed., Amersfoort, Netherlands: Consultancy Services Wind Energy Developing Countries, 1983.
- [6] Marton Ors, "Maximum Power Point Tracking for Small Scale Wind Turbine With Self-Excited Induction Generator," *Control Engineering And Applied Informatics (CEAI)*, vol. XI, no. 2, pp. 30-34, 2009.
- [7] K. R. Talam K.E., "Performance Characteristics of Some Small Scale Wind Turbines Fabricated in Tanzania," *International Journal of Mathematical, Computational, Natural and Physical Engineering*, vol. VII, no. 11, 2013.