



*EKSERGI* Jurnal Teknik Energi Vol.16 No. 3 September 2020; 128-135

## RANCANG BANGUN TURBIN ANGIN TIPE HORIZONTAL DOUBLE MULTIFLAT BLADE PLTB SKALA MIKRO

Mulyono\*, Teguh Harijono Mulud, Daffa N. H., Konita L., Nanda R.,

Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Semarang  
Jl. Prof. H. Soedarto S.H., Tembalang, Semarang, 50275  
\*E-mail: [mulyono.polines@gmail.com](mailto:mulyono.polines@gmail.com)

### Abstrak

Perancangan PLTB skala mikro di Gedung Magister lantai 3 Polines menggunakan menara dengan ketinggian 7000 mm dengan bentuk turbin angin tipe horizontal double multiflat blade menggunakan material berbahan sheet metal. Dilakukan pengujian untuk mengimplementasikan model turbin angin tipe horizontal double multiflat blade. Pengujian diawali dengan menggunakan udara yang dihembuskan peralatan blower dengan kecepatan angin 1 m/s; 2 m/s; 3 m/s; 4 m/s; dan 5 m/s. Energi listriknya digunakan untuk mengisi aki dengan tegangan 7,6 Volt setiap 15 menit. Pengujian selanjutnya dilakukan pada PLTB yang terpasang di menara untuk mengisi aki dengan tegangan 6 Volt. Hasil dari pengujian turbin angin menggunakan blower diperoleh nilai efisiensi tertinggi 2,946 % pada kecepatan angin 3,62 m/s dan nilai efisiensi terendah 0 % pada kecepatan angin 1,97 m/s. Sedangkan dari pengujian pada PLTB terpasang diperoleh nilai efisiensi tertinggi 2,857 % dan nilai efisiensi terendah 0 % pada kecepatan angin 1,08 m/s sampai dengan 1,98 m/s.

**Kata Kunci:** *PLTB, Tipe horizontal double multiflat blade, menara, sheet metal.*

### PENDAHULUAN

Salah satu tipe turbin angin adalah turbin angin poros horizontal. Kelebihan dari turbin angin poros horizontal yaitu efisiensinya lebih tinggi dibanding turbin angin poros vertikal karena sudu selalu bergerak lurus terhadap arah angin dan menerima daya sepanjang putaran. Pada tugas akhir kali ini, kami akan mengembangkan dan mengimplementasikan tugas akhir dari tahun 2018 yang berjudul “**Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Double Multiflat Blade**” yang disusun oleh Adityo Barik Akbar,dkk. Dari uji hasil karakteristik Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) dengan diameter turbin 0,83 meter, jumlah sudu 9 dan tinggi menara 1,205 meter dan sudut *blade* 40° didapatkan efisiensi tertinggi yaitu 11,73667 % pada kecepatan 9 m/s dengan beban 20 Watt. Pada bagian saran diketahui bahwa turbin angin poros horizontal *double multiflat blade* perlu dilakukan pengkajian lebih lanjut untuk jumlah sudu yang berbeda sesuai dengan kondisi angin, sehingga untuk mengimplementasikan turbin ini, kami akan merancang turbin dengan diameter turbin sebesar 1440 mm, dan jumlah sudu 15 buah, dengan tinggi menara

Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Horizontal..... Mulyono, dkk turbin ini sebesar 7000 mm. Penambahan tinggi menara dari turbin ini diketahui dapat meningkatkan potensi angin. Semakin tinggi menara turbin maka potensi angin akan lebih besar dikarenakan tidak adanya gangguan. Adapun penambahan jumlah sudu dari 9 menjadi 15 buah dibuat agar dapat menghasilkan listrik pada kondisi angin yang rendah.

## METODE PENELITIAN

Angin adalah salah satu bentuk energi terbarukan yang memiliki potensi untuk menambah pasokan energi nasional. Angin global disebabkan oleh perbedaan tekanan di permukaan bumi akibat pemanasan tidak merata bumi dengan radiasi matahari dan pengaruh rotasi bumi (Manwell, McGowan, & Rogers : 2002).

Secara umum angin dibagi menjadi beberapa kelas. Skala yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin baik di darat maupun laut adalah skala Beaufort. Skala Beaufort dimulai dari angka 0 untuk hembusan angin yang paling tenang hingga angka 12 yang bersifat berbahaya dan menghancurkan. Skala angin Beaufort tersebut ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Kecepatan angin

Nomor Beaufort	Keterangan	Kecepatan angin rata-rata (m/s)
0	Tenang	<0,277
1	Sedikit tenang	0,27-1,3
2	Sedikit hembusan angin	1,6-3,05
3	Hembusan angin pelan	3,33-5,27
4	Hembusan angin sedang	5,55-8,05
5	Hembusan angin sejuk	8,33-10,83
6	Hembusan angin kuat	11,11-13,88
7	Mendekati kencang	14,16-16,94
8	Kencang	17,22-20,55
9	Kencang sekali	20,83-24,16
10	Badai	24,44-28,05
11	Badai dahsyat	28,33-32,5

(Sumber : Stewart, 2008)

Cara kerja turbin angin yaitu ketika angin melewati sudu, menciptakan gaya angkat untuk menggerakkan sudu. Sudu yang berputar menggerakkan poros yang terhubung dengan *gearbox*. *Gearbox* akan meningkatkan kecepatan putaran hingga putaran tersebut dapat sesuai untuk generator, yang mana menggunakan medan magnet untuk mengkonversi

Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Horizontal..... Mulyono, dkk energi putaran menjadi energi listrik. Daya output akan menuju transformer *step up*, yang mana mengubah tegangan awal menjadi tegangan yang lebih besar (Anaya-Lara, Jenkins, Ekanayake, Cartwright, & Hughes : 2009).

Untuk mengukur daya kinetik (daya angin) menggunakan persamaan 1 .

$$P_{kin} = \frac{1}{2} \times \rho_u \times A \times v^3 \dots\dots\dots(1)$$

Keterangan :  $P_{kin}$  = Daya kinetik (Watt)

$\rho_u$  = Massa jenis udara ( $\text{kg/m}^3$ )

A = Luas sapuan sudu ( $\text{m}^2$ )

v = Kecepatan angin (m/s)

(Anaya-Lara, Jenkins, Ekanayake, Cartwright, & Hughes :2009)

Mendefinisikan *tip-speed ratio* ( $\lambda$ ) menggunakan persamaan 2.

$$\lambda = \frac{\omega R}{v} \dots\dots\dots(2)$$

$$\omega = \frac{2 \times \pi \times n}{60} \dots\dots\dots(3)$$

Keterangan:  $\lambda$  = *tip speed ratio*

$\omega$  = kecepatan sudut putar motor (rad)

R = Jari – jari dari rotor ke ujung sudu (m)

v = Kecepatan angin (m/s)

N = Putaran (rpm)

(Anaya-Lara, Jenkins, Ekanayake, Cartwright, & Hughes :2009)

Untuk mencari daya keluaran dari konverter atau daya *input* aki ( $P_i$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut :

$$P_i = Vi \times I \dots\dots\dots(4)$$

Keterangan:  $P_i$  = Daya *input* aki (Watt)

$Vi$  = Tegangan (Volt)

I = Arus (Ampere)

Efisiensi sistem PLTB ( $\eta_{sistem}$ ) merupakan hasil dari perbandingan antara daya kinetik dengan daya angin (daya kinetik), persamaannya sebagai berikut :

$$\eta_{sistem} = \frac{P_i}{P_{kin}} \times 100 \% \dots\dots\dots(5)$$

Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Horizontal..... Mulyono, dkk

Kecepatan angin sangat dipengaruhi oleh ketinggiannya dari permukaan tanah. Semakin mendekati permukaan tanah, kecepatan angin semakin rendah karena adanya gaya gesek antara permukaan tanah dengan angin. Untuk alasan ini, PLTB biasanya dibangun dengan menggunakan menara yang tinggi atau dipasang diatas bangunan. Berikut adalah rumus bagaimana cara mengukur kecepatan angin berdasarkan ketinggiannya dan jenis permukaan tanah sekitarnya. Untuk mengukur kecepatan angin pada ketinggian z menggunakan persamaan 6.

$$v_0 = v_1 \times \left(\frac{z}{z_1}\right)^\alpha \dots\dots\dots (6)$$

Keterangan :  $v_0$  = Kecepatan angin pada ketinggian z

$v_1$  = Kecepatan angin pada ketinggian  $z_1$

$\alpha$  = Power law exponent

dimana  $\alpha = 0,096\log_{10}(Z_0) + 0,016(\log_{10}Z_0)^2 + 0,24$

z = Index kekasaran panjang

(Danish Wind Power Association,2003)

Energi listrik yang dihasilkan oleh pembangkit listrik tenaga angin merupakan fungsi dari kecepatan angin dan luas bidang sapuan udara pada sudu - sudu angin (*turbine blade*). Untuk pembangkit listrik tenaga angin berskala kecil (*small wind Power*) dengan daya 20 – 500 watt, umumnya membutuhkan kecepatan angin minimal 4,0 – 4,5 m/s (Clark, 2003). Secara umum sebagian besar turbin angin mulai menghasilkan daya listrik pada kecepatan angin 4 m/s dan akan berhenti tidak menghasilkan energi pada kecepatan angin 25 m/s (Sarkar dan Bahera, 2012).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengambilan data Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro yang sudah terpasang pada Gedung Megister Terapan Lantai 3 Polines untuk mendapatkan nilai efisiensi PLTB. Menara turbin setinggi 7000 mm dan beban yang digunakan adalah aki 12V 45Ah dengan tegangan aki awal sebesar 6 Volt. Pengambilan data dilakukan pada tanggal 6 Agustus 2019 pukul 14.43 – 16.00 WIB. Besarnya massa jenis udara untuk Tdb = 31,9 °C,  $P_{atm} = 100,8$  kPa dan RH = 30 % adalah 1,15 kg/m<sup>3</sup>. Perhitungan massa jenis udara ( $\rho_u$ ) menggunakan bantuan aplikasi *aRhoAir*. Tabel 2 menunjukkan hasil data pengamatan. Data dari tabel 1 selanjutnya dipergunakan untuk perhitungan.

Besarnya daya kinetik atau daya angin ( $P_{kin}$ ) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (1).

$$\begin{aligned}
 P_{kin} &= \frac{1}{2} \times \rho \text{ udara} \times A \times v^3 \\
 &= \frac{1}{2} \times 1,12 \times 1,627776 \times (2,42)^3 \\
 &= 11,388 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Perhitungan daya keluaran dari konverter sama dengan daya *input* aki ( $P_i$ ) yang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (4).

$$\begin{aligned}
 P_i &= V_i \times I \\
 &= 6,2 \times 0,01 \\
 &= 0.062 \text{ Watt}
 \end{aligned}$$

Nilai efisiensi dari sistem PLTB ( $\eta_{sistem}$ ) ini dapat dihitung dengan menggunakan persamaan (5).

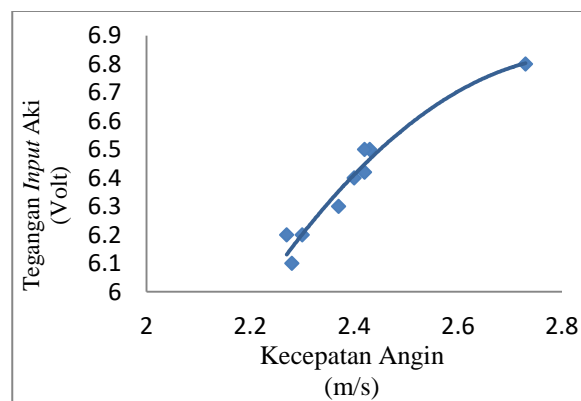
$$\eta_{sistem} = \frac{P_i}{P_{kin}} \times 100\% = \frac{0.062}{11.388} \times 100\% = 0,544 \%$$

Tabel 2. Tegangan dan arus aki pada kecepatan angin tertentu

$v$ (m/s)	V (Volt)		$I$ (Ampere)
	Aki	Input Aki	
1,98	6	5	0
2,42	6	6,42	0,01
2,4	6	6,4	0,02
2,3	6	6,2	0,01
1,29	6	5	0
1,08	6	3	0
1,31	6	5,5	0
1,21	6	4	0
1,25	6	5	0
2,73	6	6,8	0,08
1,17	6	4	0
1,21	6	4,8	0
2,12	6	5,9	0
1,15	6	4,2	0
2,06	6	5,9	0
0,62	6	1,5	0
1,37	6	5,7	0
1,08	6	3	0
1,09	6	3,5	0
1,05	6	3	0

$v$ (m/s)	V (Volt)		I (Ampere)
	Aki	Input Aki	
1,24	6	4,8	0
2,07	6	5,9	0
1,2	6	4,7	0
1,12	6	3,5	0
1,19	6	4,5	0
2,43	6	6,5	0,05
2,27	6	6,2	0,01
2,37	6	6,3	0,02
2,42	6	6,5	0,03
2,28	6	6,1	0,03
1,21	6	4,9	0
1,17	6	4	0

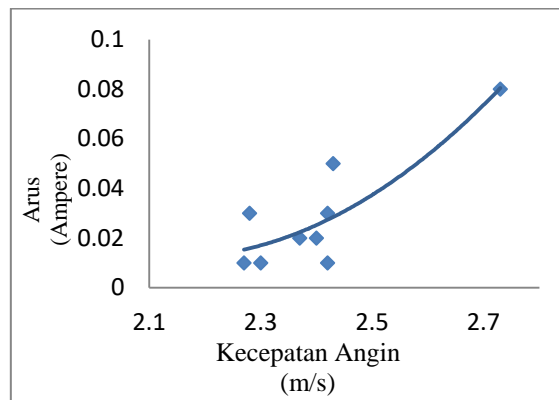
Berdasarkan hasil perhitungan akan dibuat grafik dan dapat dianalisis. PLTB yang sudah bisa untuk mengisi Aki. Analisis ini akan menjelaskan *trend* pengaruh kecepatan angin terhadap tegangan *input* aki , arus, dan efisiensi sistem PLTB. Gambar 1 merupakan grafik hubungan antara tegangan *input* aki dengan kecepatan angin Pembangkit Listrik Tenaga Bayu skala mikro.



**Gambar 1. Grafik kecepatan angin terhadap tegangan turbin**

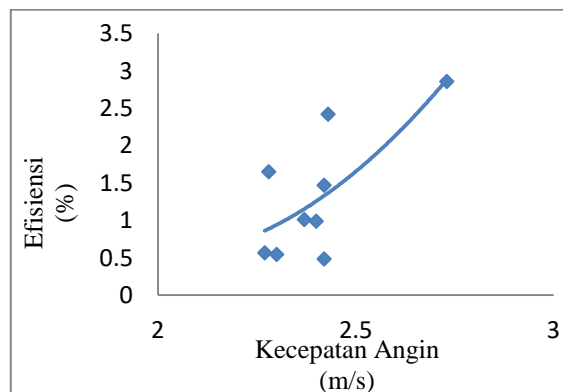
Berdasarkan kurva tegangan *input* aki memiliki tegangan terbesar yaitu 6,8 Volt dengan kecepatan angin sebesar 2,73 m/s. Berdasarkan grafik tersebut dapat diketahui bahwa tegangan *input* aki berbanding lurus dengan kecepatan angin, semakin besar kecepatan angin maka tegangan *input* aki yang diperoleh maka akan semakin besar. Tegangan *input* yang kurang dari 6 Volt tidak dapat mengalirkan arus untuk kecepatan angin di bawah 2,0 m/s. Kecepatan angin juga mempengaruhi nilai arus yang masuk untuk

Rancang Bangun Turbin Angin Tipe Horizontal..... Mulyono, dkk mengisi aki, dapat dilihat pada grafik hubungan antara arus dengan kecepatan angin Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro.



**Gambar 2. Grafik kecepatan angin terhadap arus pengisian**

Gambar 2 merupakan grafik hubungan antara arus dengan kecepatan angin pada saat pengujian Pembangkit Listrik Tenaga Bayu skala mikro. Berdasarkan kurva arus memiliki arus terbesar yaitu 0,8 Ampere dengan kecepatan angin sebesar 2,73 m/s. Berdasarkan grafik ini diketahui bahwa arus mulai masuk ke aki pada kecepatan angin 2,27 m/s yaitu sebesar 0,01 Ampere. Hasil pengukuran dengan kecepatan angin tidak disajikan dalam grafik karena pada kecepatan angin 1,08 m/s sampai dengan 1,98 m/s belum ada arus yang masuk ke aki. Kecepatan angin juga berpengaruh pada efisiensi sistem PLTB ditunjukkan pada grafik hubungan antara efisiensi sistem dengan kecepatan angin Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Skala Mikro.



**Gambar 3. Grafik kecepatan angin terhadap efisiensi**

Gambar 3 merupakan grafik hubungan antara efisiensi sistem dengan kecepatan angin Pembangkit Listrik Tenaga Bayu skala mikro. Berdasarkan kurva efisiensi sistem memiliki efisiensi sistem tertinggi sebesar 2,857 % dengan kecepatan angin sebesar 2,73 m/s. Efisiensi sistem merupakan perbandingan antara daya listrik dengan daya kinetik, nilainya relatif naik pada saat kecepatan angin semakin besar.

Berdasarkan data hasil pengujian dan analisis, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Hasil pengambilan data turbin angin double multiflat blade yang telah terpasang pada Gedung Magister Terapan Lantai 3 Polines membuktikan kecepatan angin 2,27 m/s baru bisa mengisi aki 6 Volt dengan arus sebesar 0,01 Ampere dan tegangan yang dihasilkan generator sebesar 6,2 Volt.
2. Hasil pengambilan data turbin angin double multiflat blade yang telah diimplementasikan pada Gedung Magister Terapan Lantai 3 Polines membuktikan bahwa efisiensi sistem PLTB tertinggi sebesar 2,857% dengan kecepatan angin sebesar 2,73 m/s dan efisiensi sistem PLTB terendah sebesar 0 % pada kecepatan angin 1,08 m/s sampai dengan 1,98 m/s.

#### **DAFTAR PUSTAKA**

- [1] Akbar, Adityo Barik, et al. 2017. "Rancang Bangun Turbin Angin Poros Horizontal Double Multiflat Blade". Politeknik Negeri Semarang.
- [2] Anaya-Lara, O., et al. 2009. Wind Energy Generation Modelling and Control. West Sussex : UK.
- [3] Manwell, J., et al. 2002. Wind Energy Explained: Theory Design and Application, John Wiley & Sons. Chichester : England.
- [4] Manwell, J., et al. 2010. Wind Energy Explained: Theory Design and Application Second Edition. John Wiley & Sons. Chichester : England.
- [5] Stewart, R. H. 2008. Introduction To Physical Oceanography. Department of Oceanography Texas A & M University : Texas.