

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data dan Perhitungan Hasil Pengujian

4.1.1 Data Hasil Pengujian

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data sebagai berikut :

- Tabel 4.1 Data Tegangan, Kuat Arus dan Putaran Poros Turbin pada panjang lengkung Sudu 5/12 lingkaran

Panjang Lengkung 5/12		Kecepatan Angin (m/s)								
		3			5			7		
Pembebanan (Watt)		V (V)	I (A)	n (rpm)	V (V)	I (A)	n (rpm)	V (V)	I (A)	n (rpm)
	1,5	2.75	0.00	402.67	2.97	0.03	635.00	3.24	0.09	879.33
	3	2.60	0.01	383.33	2.88	0.04	614.00	3.17	0.09	840.00
	4,5	2.56	0.02	353.33	2.86	0.04	602.67	3.11	0.09	821.33
	6	2.52	0.02	322.33	2.84	0.05	596.67	3.07	0.10	804.67
	\bar{x}	2.61	0.013	365.42	2.88	0.039	612.08	3.15	0.093	836.33

- Tabel 4.2 Data Tegangan, Kuat Arus dan Putaran Poros Turbin pada Panjang Lengkung Sudu 6/12 lingkaran

Panjang Lengkung 6/12		Kecepatan Angin (m/s)								
		3			5			7		
Pembebanan (Watt)		V (V)	I (A)	N (rpm)	V (V)	I (A)	n (rpm)	V (V)	I (A)	n (rpm)
	1,5	2.76	0.01	354.33	3.20	0.06	607.67	3.39	0.10	809.67
	3	2.60	0.01	339.00	3.13	0.06	604.00	3.29	0.11	786.00
	4,5	2.57	0.01	331.33	3.06	0.07	596.67	3.21	0.11	779.00
	6	2.49	0.02	315.33	3.06	0.07	584.00	3.15	0.12	744.00
	\bar{x}	2.60	0.013	335.00	3.11	0.065	598.08	3.26	0.108	779.67

- Tabel 4.3 Data Tegangan, Kuat Arus dan Putaran Poros Turbin pada Panjang Lengkung Sudu 7/12 lingkaran.

Panjang Lengkung 7/12		Kecepatan Angin (m/s)								
		3			5			7		
Pembebanan (Watt)		V (V)	I (A)	N (rpm)	V (V)	I (A)	n (rpm)	V (V)	I (A)	n (rpm)
	1,5	2.67	0.00	342.67	3.00	0.04	559.00	3.29	0.09	777.33
	3	2.65	0.00	331.67	2.96	0.05	525.33	3.19	0.10	731.67
	4,5	2.54	0.01	316.00	2.94	0.05	506.67	3.13	0.10	718.33
	6	2.50	0.02	297.00	2.92	0.05	492.33	3.08	0.10	698.67
	\bar{x}	2.59	0.008	321.83	2.96	0.047	520.83	3.17	0.097	731.50

4.1.2 Perhitungan Hasil Pengujian

Perhitungan data hasil pengujian dilakukan untuk mencari nilai daya poros, torsi dan efisiensi turbin angin savonius dengan pengaruh jarak celah sudu. Berikut ini adalah data yang diperoleh pada saat penelitian :

- Tinggi sudu (h) : 27 cm = 0,27 m
- Diameter sudu (d) = 12,5 cm = 0,125 m
- Efisiensi generator listrik (η) : 80%
- Kecepatan angin yang digunakan saat pengujian : 3,5, dan 7 m/s
- Temperatur udara ruangan : 27°C

Dari temperatur udara sebesar 27°C, didapatkan nilai massa jenis udara (berdasarkan tabel viskositas dan massa jenis udara pada tekanan 1 atm, J.P. Holman, 1997 : 643) sebesar : 1,18 kg/m³.

Contoh perhitungan data pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran pada kecepatan angin 5 m/s :

- Luas penampang sudu (A)

$$\begin{aligned} A &= d \times h \\ &= 0,125 \text{ m} \times 0,27 \text{ m} \\ &= 0,03375 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

- Daya Angin (P_{angin})

Pada kecepatan angin (v) = 5m/s

$$\begin{aligned} P_{\text{angin}} &= \frac{1}{2} \rho A v^3 \\ &= \frac{1}{2} \times 1,18 \text{ kg/m}^3 \times 0,03375 \text{ m}^2 \times (5 \text{ m/s})^3 \\ &= 2,489 \text{ Watt} \end{aligned}$$

- Daya poros (BHP)

Pada kecepatan angin 5 m/s dan panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran, didapat :

Tegangan listrik (V) = 2,88 Volt, dan Arus (I) = 0,039 Ampere.

$$\text{BHP} = \frac{P_{\text{generator listrik}}}{\eta_{\text{generator listrik}}}$$

$$= \frac{V \times I}{\eta_{\text{generator listrik}}}$$

$$= 0,141 \text{ Watt}$$

- Torsi (T)

$$T = \frac{P_{\text{generator listrik}}}{2 \pi \frac{n_{\text{generator listrik}}}{60}}$$

$$= 0,0022 \text{ Nm}$$

- Efisiensi (η)

$$\eta = \frac{BHP}{P_{\text{angin}}} \times 100\%$$

$$= 5,67 \%$$

Dari data yang di dapat pada tabel 4.1, 4.2, dan 4.3 dapat diolah menghasilkan data daya poros, data torsi, dan data efisiensi, menggunakan cara seperti contoh perhitungan diatas. Hasilnya dapat dilihat pada tabel berikut :

- Tabel 4.4 Data Hasil Perhitungan Daya Poros, Torsi, Efisiensi dan Daya Angin pada panjang lengkung sudu 5/12 Lingkaran

Kecepatan Angin (m/s)	Panjang Lengkung 5/12			
	BHP	T	η	P_{angin}
3	0.043	0.00113	8.08	0.54
5	0.141	0.00220	5.67	2.49
7	0.364	0.00416	5.33	6.83

- Tabel 4.5 Data Hasil Perhitungan Daya Poros, Torsi, Efisiensi dan Daya Angin pada Panjang Lengkung Sudu 6/12 Lingkaran

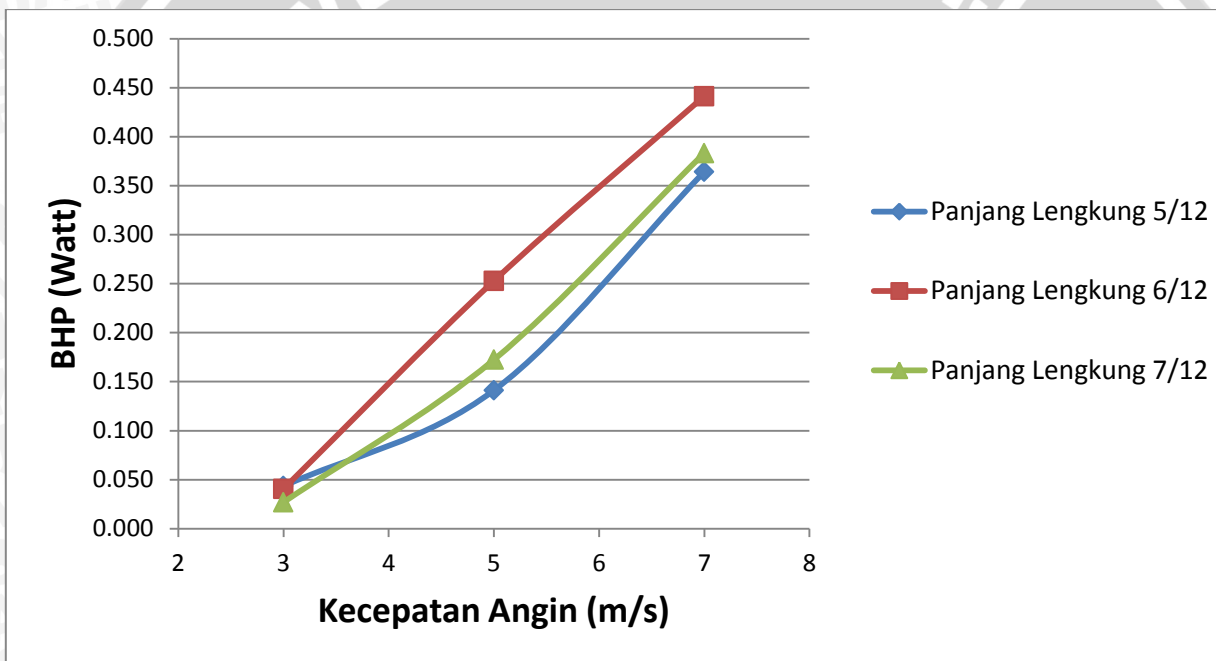
Kecepatan Angin (m/s)	Panjang Lengkung 6/12			
	BHP	T	η	P_{angin}
3	0.041	0.00116	7.57	0.54
5	0.253	0.00404	10.16	2.49
7	0.441	0.00540	6.46	6.83

- Tabel 4.6 Data Hasil Perhitungan Daya Poros, Torsi, Efisiensi dan Daya Angin pada Panjang Lengkung Sudu 7/12 Lingkaran

Kecepatan Angin (m/s)	Panjang Lengkung 7/12			
	BHP	T	η	P_{angin}
3	0.027	0.00080	5.02	0.54
5	0.172	0.00316	6.93	2.49
7	0.383	0.00500	5.61	6.83

4.2 Pembahasan

4.2.1 Hubungan Antara Kecepatan Angin Terhadap Daya Poros (BHP)



Gambar 4.1 Grafik Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Daya Poros (BHP)

Dari grafik (gambar 4.1) dapat kita ketahui bahwa kecepatan angin berpengaruh terhadap daya poros yang dihasilkan. Pada awal sampai akhir grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap daya poros pada jumlah sudu yang sama mengalami kecenderungan yang meningkat. Semakin meningkatnya kecepatan angin akan menyebabkan semakin besar momentum angin yang menumbuk turbin setiap detik, maka perbedaan tekanan antara bagian depan sudu dan bagian belakang sudu meningkat,

sehingga gaya drag yang dihasilkan semakin meningkat pula, dimana gaya drag berbanding lurus dengan torsi

$$T = F \cdot s$$

Dari persamaan diatas kita dapat melihat bahwa semakin meningkatnya gaya mengakibatkan torsinya juga akan semakin meningkat, dan meningkatnya torsi juga akan meningkatkan BHP, dimana

$$BHP = \omega T$$

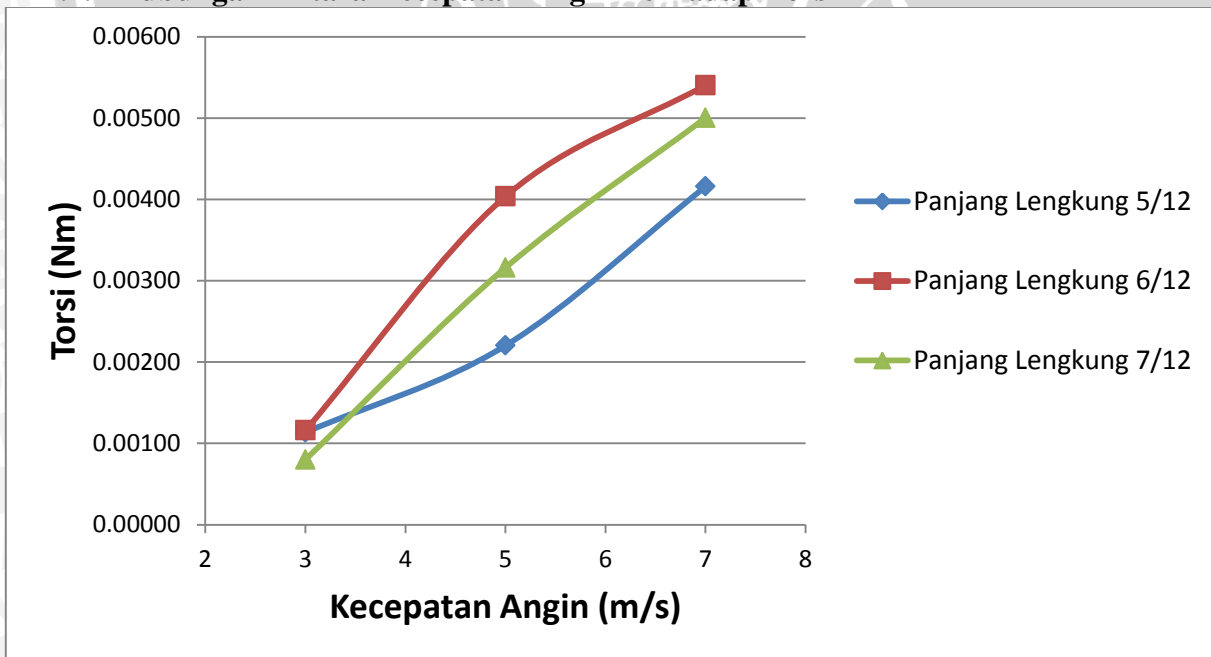
Dari grafik dapat dilihat bahwa BHP tertinggi dimiliki turbin dengan panjang lengkung sudu 6/12 Lingkaran dengan kecepatan 7 m/s yaitu sebesar 0,441 Watt, pada kecepatan yang sama yaitu 7 m/s panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran mempunyai nilai BHP sebesar 0,364 Watt, angka ini lebih kecil di bandingkan dengan panjang lengkung sudu 7/12 lingkaran, hal ini di karenakan arah angin keluar sudu tidak kembali lagi menumbuk atau mendorong sudu yang arah hadapnya terbalik dengan arah aliran angin, dengan bentuk profil sudu yang dikurangi sebesar 30° dari panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran hal ini memungkinkan arah aliran angin keluar lewat celah yang dikurangi tersebut, sedangkan pada panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran, arah angin yang keluar sudu berbalik arah dan menumbuk sudu yang arah hadapnya terbalik dengan arah aliran angin seperti ditunjukkan oleh gambar 2.4, hal ini menyebabkan rotor mengalami gaya dorong tambahan yang searah dengan arah putar rotor tersebut.

Untuk panjang lengkung sudu 7/12 lingkaran pada kecepatan 7 m/s memiliki nilai BHP sebesar 0,383 Watt. Nilai ini lebih kecil dibandingkan panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran hal ini dikarenakan panjang lengkung sudu ditambahakn 30° sehingga angin yang akan masuk dan menambahkan gaya dorong rotor pada celah tersebut terhalang oleh penambahan panjang lengkung sehingga angin yang masuk menjadi lebih sedikit, dan gaya dorongnya juga lebih kecil dibandingkan dengan sudu dengan panjang lengkung 6/12 lingkaran.

Pada kecepatan 3 m/s panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran mempunyai nilai BHP tertinggi yaitu 0,043 Watt. Nilai ini lebih tinggi dari pada panjang lengkung 6/12 lingkaran yaitu 0,041 Watt dan lebih tinggi dari pada panjang lengkung sudu 7/12 lingkaran yaitu 0,027 Watt hal ini dikarenakan pada kecepatan 3 m/s angin belum bisa memutar turbin secara maksimal, karena pengaruh momen inersia dari sudu dan beban dari motor.

Pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran mempunyai momen inersia lebih kecil dibandingkan dengan panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran dan panjang lengkung sudu 7/12 lingkaran, hal ini sangat berpengaruh pada kecepatan angin rendah sebesar 3 m/s. Pada keadaan kecepatan angin 3 m/s BHP sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin masuk hal ini dikarenakan kecepatan angin keluar sudu lebih kecil dibandingkan kecepatan angin masuk, pada kecepatan angin 3 m/s gaya drag yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan 5 m/s dan 7 m/s, hal ini dikarenakan gaya drag berbanding lurus dengan kecepatan angin, dengan gaya drag yang rendah tersebut, maka gaya drag dari angin keluar sudu masih belum optimal untuk mendorong momen inersia benda tersebut. Pada kecepatan angin masuk sendiri dipengaruhi oleh luasan daerah masuk atau daerah lengkung sudu yang menghadap dengan arah angin, pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran daerah lengkung sudu yang menghadap dengan arah angin lebih besar dibandingkan dengan daerah lengkung sudu 6/12 lingkaran dan 7/12 lingkaran, sehingga nilai BHP pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran pada kecepatan 3 m/s lebih tinggi dari panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran dan 7/12 lingkaran.

4.2.2 Hubungan Antara Kecepatan Angin Terhadap Torsi



Gambar 4.2 Grafik Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Torsi

Dari grafik (gambar 4.2) dapat kita ketahui bahwa kecepatan angin berpengaruh terhadap Torsi yang dihasilkan. Pada awal sampai akhir grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap daya poros pada jumlah sudu yang sama mengalami kecenderungan yang meningkat. Semakin meningkatnya kecepatan angin akan menyebabkan semakin besar momentum angin yang menumbuk turbin setiap detiknya, maka perbedaan tekanan antara bagian depan sudu dan bagian belakang sudu meningkat, sehingga gaya drag yang dihasilkan semakin meningkat pula, dimana gaya drag berbanding lurus dengan torsi

$$T = F.s$$

Dari persamaan diatas kita dapat melihat bahwa semakin meningkatnya gaya mengakibatkan torsinya juga akan semakin meningkat.

Dari grafik dapat dilihat bahwa Torsi tertinggi dimiliki turbin dengan panjang lengkung sudu 6/12 Lingkaran dengan kecepatan 7 m/s yaitu sebesar 0,00540 Nm, pada kecepatan yang sama yaitu 7 m/s panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran mempunyai nilai torsi sebesar 0,00416 Nm, angka ini lebih kecil di bandingkan dengan panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran, hal ini di karenakan arah angin keluar sudu tidak kembali lagi menumbuk atau mendorong sudu yang arah hadapnya terbalik dengan arah aliran angin, dengan bentuk profil sudu yang dikurangi sebesar 30° dari panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran hal ini memungkinkan arah aliran angin keluar lewat celah yang dikurangi tersebut, sedangkan pada panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran, arah angin yang keluar sudu berbalik arah dan menumbuk sudu yang arah hadapnya terbalik dengan arah aliran angin seperti ditunjukkan oleh gambar 2.4, hal ini menyebabkan rotor mengalami gaya dorong tambahan yang searah dengan arah putar rotor tersebut.

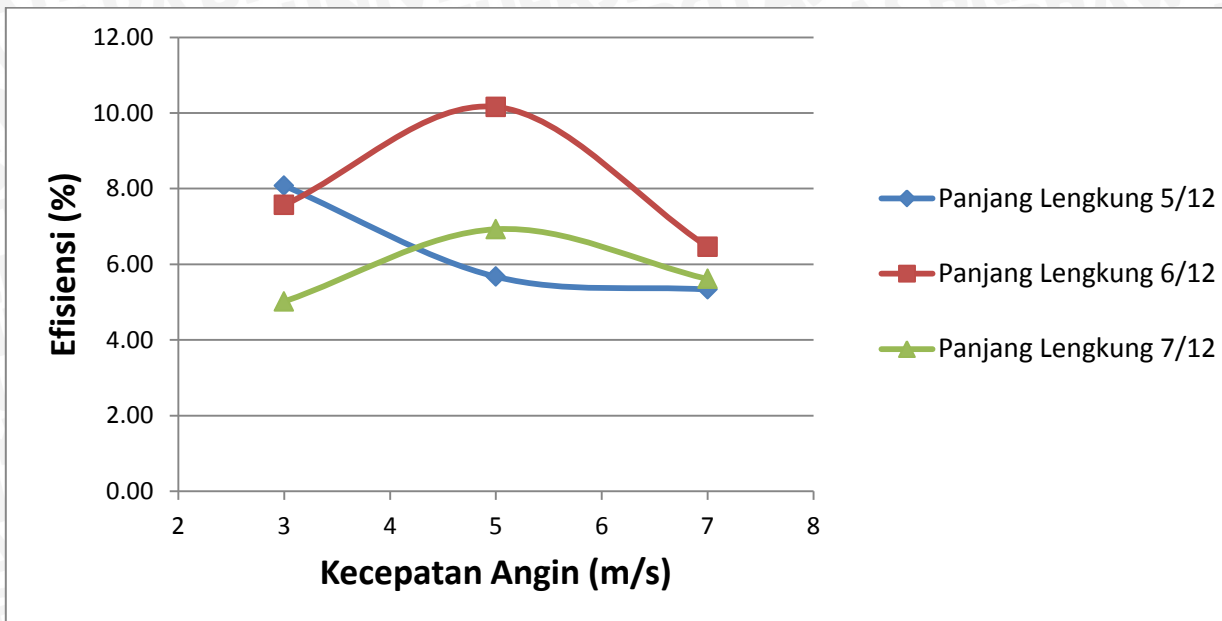
Untuk panjang lengkung sudu 7/12 lingkaran pada kecepatan 7 m/s memiliki nilai Torsi sebesar 0,005 Nm. Nilai ini lebih kecil dibandingkan panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran hal ini dikarenakan panjang lengkung sudu ditambahkn 30° sehingga angin yang akan masuk dan menambahkan gaya dorong rotor pada celah tersebut terhalang oleh penambahan panjang lengkung sehingga angin yang masuk menjadi lebih sedikit, dan gaya dorongnya juga lebih kecil dibandingkan dengan sudu dengan panjang lengkung 6/12 lingkaran.

Pada kecepatan 3 m/s panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran mempunyai nilai Torsi 0,00113 Nm, nilai Torsi ini lebih tinggi dari pada panjang lengkung sudu 7/12

lingkaran yaitu sebesar 0,0008 Nm, hal ini dikarenakan pada kecepatan 3 m/s angin belum bisa memutar turbin secara maksimal, karena pengaruh momen inersia dari sudu dan beban dari motor. Pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran mempunyai momen inersia lebih kecil dibandingkan dengan panjang lengkung sudu 7/12 lingkaran, hal ini sangat berpengaruh pada kecepatan angin rendah sebesar 3 m/s. Pada keadaan kecepatan angin 3 m/s Torsi sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin masuk, hal ini dikarenakan kecepatan angin keluar sudu lebih kecil dibandingkan kecepatan angin masuk. Pada kecepatan angin 3 m/s gaya drag yang dihasilkan lebih kecil jika dibandingkan dengan kecepatan 5 m/s dan 7 m/s, hal ini dikarenakan gaya drag berbanding lurus dengan kecepatan angin, dengan gaya drag yang rendah tersebut, maka gaya drag dari angin keluar sudu masih belum optimal untuk mendorong momen inersia benda tersebut. Pada kecepatan angin masuk sendiri dipengaruhi oleh luasan daerah masuk atau daerah lengkung sudu yang menghadap dengan arah angin, pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran daerah lengkung sudu yang menghadap dengan arah angin lebih besar dibandingkan dengan daerah lengkung 7/12 lingkaran, sehingga nilai Torsi pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran pada kecepatan 3 m/s lebih tinggi dari panjang lengkung sudu 7/12 lingkaran, sedangkan pada kecepatan 3 m/s untuk panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran mempunyai nilai Torsi lebih tinggi dari pada panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran hal ini dikarenakan panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran pada kecepatan 3 m/s mempunyai nilai putaran rata-rata paling besar yaitu 402,67 rpm, nilai ini lebih tinggi jika dibandingkan dengan panjang lengkung sudu 6/12 lingkaran yang memiliki nilai rata-rata kecepatan putar 335 rpm. Hal ini mengakibatkan nilai Torsi yang dimiliki oleh panjang lengkung sudu 5/12 lingkaran lebih kecil, dimana Torsi berbanding terbalik dengan putaran turbin, sesuai dengan rumus:

$$T = \frac{P_{\text{generator listrik}}}{2\pi \frac{n_{\text{generator listrik}}}{60}}$$

4.2.3 Hubungan Antara Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi



Gambar 4.3 Grafik Hubungan Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi

Dari grafik (gambar 4.3) hubungan antara kecepatan angin terhadap efisiensi, dapat dilihat bahwa semakin meningkatnya kecepatan angin maka kenaikan daya poros semakin besar. Hal ini dikarenakan efisiensi merupakan perbandingan antara daya poros dengan daya angin, seperti yang telah dijelaskan pada pembahasan grafik (4.1) sehingga nilai efisiensi yang dihasilkan semakin meningkat. Hal ini sesuai dengan persamaan berikut yaitu :

$$\eta = \frac{BHP}{P \text{ angin}} \cdot 100\%$$

Pada gambar 4.3 grafik hubungan antara kecepatan angin terhadap efisiensi mengalami tren grafik berbentuk parabolik, dimana efisiensi optimum diperoleh pada saat kecepatan angin mencapai 5 m/s dan seiring dengan bertambahnya kecepatan angin maka grafik tersebut mengalami penurunan. Hal ini dikarenakan, kenaikan daya poros tidak sebanding dengan daya angin yang peningkatannya semakin besar seiring peningkatan kecepatan angin dan luas bidang terima.

Pada gambar 4.3 terlihat bahwa grafik turbin dengan panjang lengkung sudu $6/12$ lingkaran mempunyai efisiensi yang paling tinggi jika dibandingkan dengan turbin dengan panjang lengkung sudu $5/12$ lingkaran dan panjang lengkung sudu $6/12$ lingkaran. Pada turbin dengan panjang lengkung sudu $6/12$ lingkaran, efisiensi tertinggi ada pada kecepatan angin 5 m/s yaitu sebesar $10,16 \%$ dan efisiensi terendah pada kecepatan angin 7 m/s yaitu sebesar $6,46 \%$. Hal ini dikarenakan perbandingan daya poros dan daya angin pada tiap kecepatan angin berbeda-beda. Sama halnya yang terjadi pada turbin dengan panjang lengkung sudu $7/12$ lingkaran. Pada panjang lengkung sudu $5/12$ lingkaran didapatkan efisiensi tertinggi pada kecepatan 3 m/s yaitu sebesar $8,08 \%$ setelah itu menurun pada kecepatan 5 m/s dan 7 m/s , hal ini dikarenakan daya poros panjang lengkung sudu $5/12$ lingkaran pada kecepatan 3 m/s lebih besar dari pada daya poros pada panjang lengkung sudu $6/12$ dan $7/12$ lingkaran, sedangkan daya angin pada kecepatan yang sama memiliki nilai yang sama.

Penurunan nilai efisiensi juga disebabkan semakin meningkatnya intensitas gesekan pada generator seiring bertambahnya kecepatan putar turbin, meningkatnya intensitas gesekan ini akan menyebabkan kenaikan nilai *BHP* menurun sedangkan nilai daya angin terus naik, akibatnya kerugian akibat gesekan tiap satuan waktu semakin besar, sehingga efisiensi terlihat menurun.