

BAB IV

HASIL dan PEMBAHASAN

4.1 Pengolahan Data

Pada penelitian ini variabel bebas yang digunakan adalah panjang diameter sapuan rotor turbin angin Darrieus type H yaitu 0.2; 0.24; 0.28; 0.32 m dengan kecepatan angin 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s, 7 m/s. Data yang diambil pada penelitian ini adalah putaran poros (rpm), tegangan (V) dan arus yang dihasilkan turbin angin. Data hasil penelitian dapat dilihat pada tabel 4.1; 4.2; 4.3 dan 4.4 di bawah ini.

Table 4.1 Diameter sapuan rotor 0.20 m

Perhitungan data dilakukan untuk mencari nilai besaran-besaran yang diperlukan untuk menentukan koefisien prestasi turbin angin Darrieus. Berikut ini adalah contoh perhitungan data hasil penelitian untuk jarak sudu 0.32 m dan dan kec angin 7 m/s. Contoh perhitungan:

Data yang diperoleh pada saat penelitian adalah sebagai berikut :

- Tinggi Turbin (h) = 0.4 m
- Efisiensi motor listrik (η) = 80%
- Efisiensi transmisi = 90%
- Kecepatan angin (U) dengan variasi = 3-7 m/s
- Temperatur udara ruangan (T) = 27° C
- Tahanan pada motor Listrik = 30 ohm

Dari temperatur udara pada 27° C tersebut didapatkan nilai massa jenis udara sebagai berikut (berdasar tabel viskositas dan massa jenis udara pada tekanan 1 atm White, 1986 : Appendix) :

Contoh perhitungan data :

- Kecepatan angin 7 m/s; massa jenis udara 1.18 kg/m³
- Luas diameter sapuan rotor (A)

Contoh diameter sapuan rotor 0.32 m

$$A = d h$$

$$= 0.32 \times 0.4 = 0.128 \text{ m}^2$$

- Daya angin yang tersedia

$$P_{\infty} = \frac{1}{2} \rho A U^3$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,18 \times 0.128 \times (7)^3$$

$$= 25.903 \text{ Watt}$$

- Daya poros (BHP)

$$BHP = \frac{V.I}{\eta_g \cdot \eta_T} = \frac{1.094 \times 0.109}{0.9 \times 0.8}$$

$$= 0.551 \text{ Watt}$$

- Daya turbin angin maksimal

$$P_t = \frac{1}{2} \rho C_p A U^3$$

$$= \frac{1}{2} \times 1,18 \times 0.59 \times 0.128 \times (7)^3$$

$$= 15.287 \text{ Watt}$$

- Efisiensi ideal turbin angin

$$\eta_{available} = \frac{P_t}{P_{\infty}} \times 100\% = \frac{15.287}{25.903} \times 100\% = 0.59$$

- Efisiensi Aktual Turbin Angin

$$\eta = \frac{BHP}{P_{\infty}} \times 100\% = \frac{0.551}{25.903} \times 100\% = 2.12 \%$$

4.2 Hasil Pengolahan Data

Tabel 4.1 Diameter sapuan rotor 0.20 m

Kec. angin (m/s)	Daya (Watt)		Efisiensi (%)
	Angin	Poros	
3	1.274	0.404	31.719
4	3.021	0.421	13.922
5	5.900	0.438	7.416
6	10.195	0.473	4.642
7	16.190	0.502	3.101

Tabel 4.2 Diameter sapuan rotor 0.24 m

Kec. Angin (m/s)	Daya (Watt)		Efisiensi (%)
	Angin	Poros	
3	1.529	0.412	26.964
4	3.625	0.446	12.308
5	7.080	0.455	6.430
6	12.234	0.483	3.946
7	19.428	0.522	2.689

Tabel 4.3 Diameter sapuan rotor 0.28 m

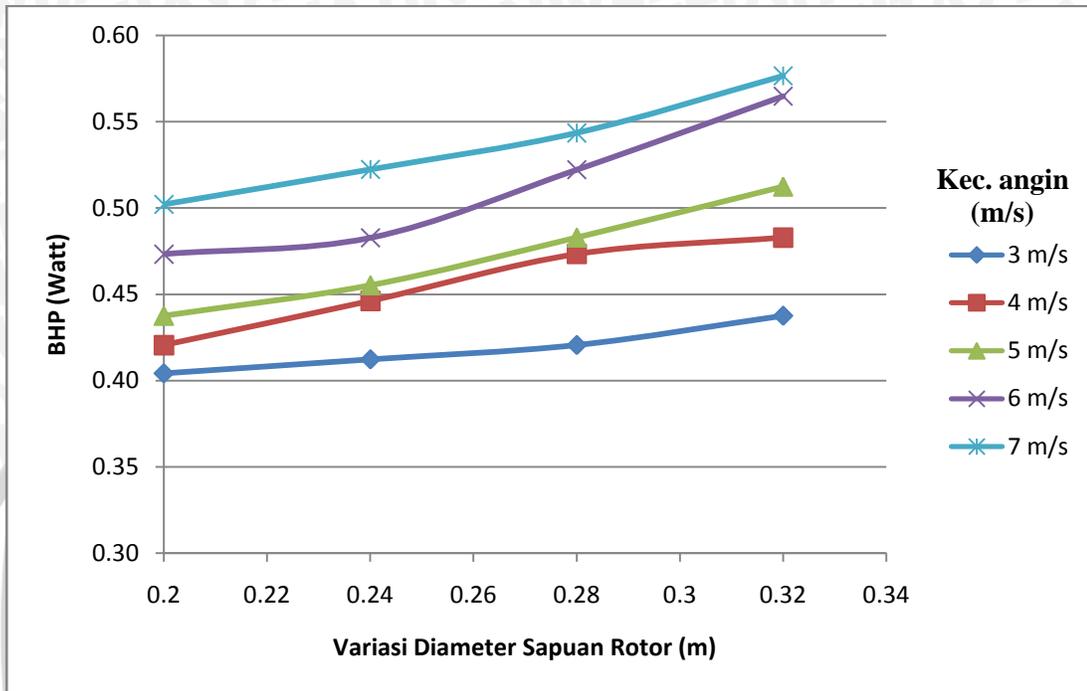
Kec. Angin (m/s)	Daya (Watt)		Efisiensi (%)
	Angin	Poros	
3	1.784	0.421	23.577
4	4.229	0.473	11.193
5	8.260	0.483	5.847
6	14.273	0.522	3.658
7	22.665	0.543	2.398

Tabel 4.4 Diameter sapuan rotor 0.32

Kec. Angin (m/s)	Daya (Watt)		Efisiensi (%)
	Angin	Poros	
3	2.039	0.438	21.463
4	4.833	0.483	9.990
5	9.440	0.512	5.428
6	16.312	0.565	3.462
7	25.903	0.577	2.226

4.3 Grafik dan Pembahasan

4.3.1 Pengaruh Variasi Diameter Sapuan Rotor Terhadap Daya Poros



Gambar 4.1 Grafik Pengaruh Variasi Diameter Sapuan Rotor Terhadap Daya Poros

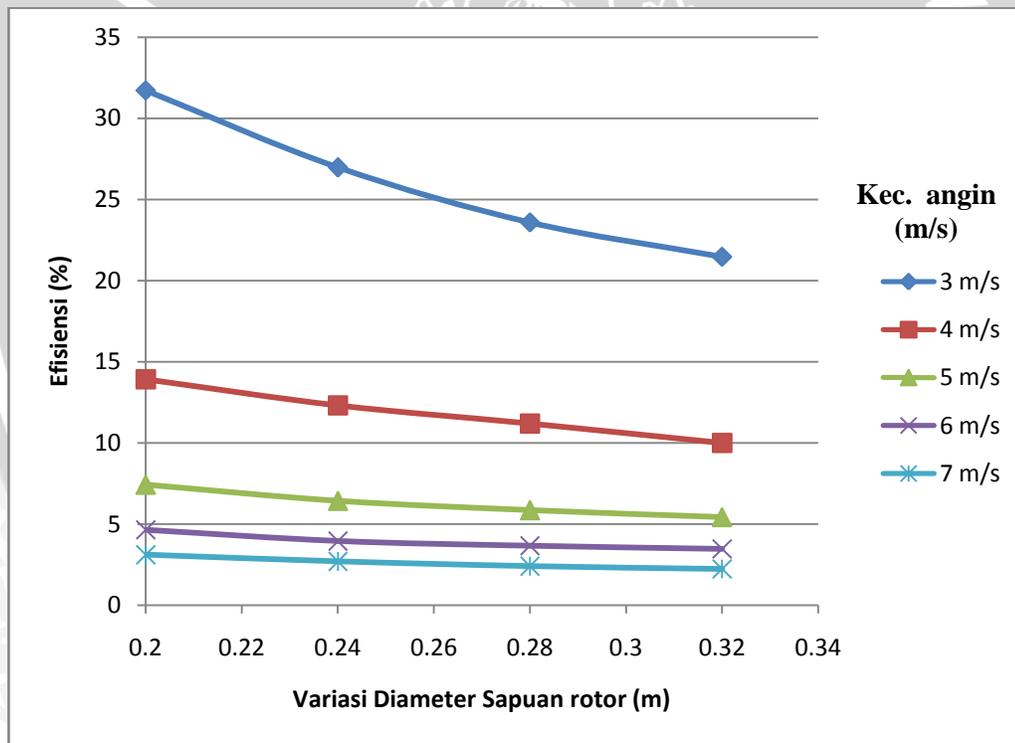
Pada grafik di atas dapat terlihat bahwa pada kecepatan angin yang sama, peningkatan diameter sapuan rotor berbanding lurus dengan peningkatan dengan daya poros yang dihasilkan. Daya poros maksimal dihasilkan pada kecepatan angin 7 m/s dengan panjang diameter sapuan rotor 0.32 m yaitu sebesar 0.438 Watt. Sedangkan daya poros yang paling kecil terjadi pada kecepatan angin 3 m/s dengan diameter sapuan rotor 0.2 m. Tren grafik yang terjadi sudah sesuai dengan teori di mana semakin meningkatnya diameter sapuan rotor maka daya poros yang dihasilkan akan semakin meningkat pula.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan, peningkatan diameter sapuan rotor akan menyebabkan meningkatnya putaran yang dihasilkan oleh turbin. Semakin meningkat putaran turbin maka voltase yang dihasilkan akan semakin besar pula. Peningkatan voltase yang dihasilkan oleh turbin berbanding lurus dengan daya poros

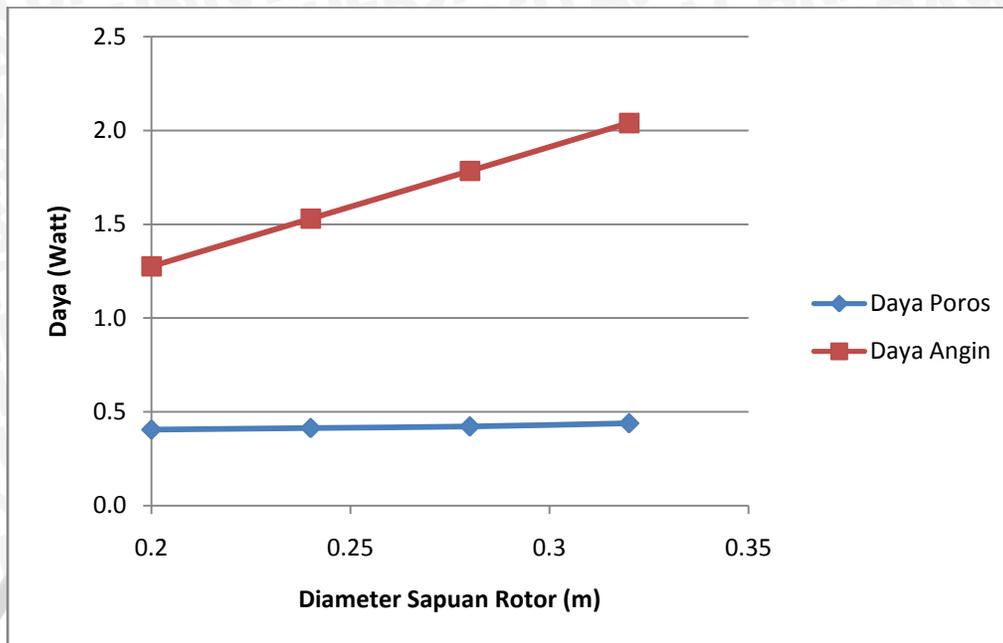
yang dihasilkan. Hal ini dapat dilihat pada persamaan $BHP = \frac{V \cdot I}{\eta_g \cdot \eta_T}$, di mana V = Voltase yang dihasilkan; dan BHP = daya poros yang dihasilkan.

Pada diameter 0.20 m dan kecepatan angin 3 m/s, daya poros (BHP) yang dihasilkan sangat kecil yaitu 0.404 Watt. Diameter sapuan rotor yang kecil, akan berimbas pada luas sapuan dari turbin yang dikenai angin. Hal ini berakibat pada kecilnya jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin. Dengan kecilnya jumlah putaran yang dihasilkan oleh turbin maka voltase yang dihasilkan pun kecil pula, yaitu 0.93 V. Hal ini menyebabkan daya poros yang dihasilkan oleh turbin angin dengan variasi diameter sapuan rotor ini sangat rendah

4.3.2 Pengaruh Variasi Diameter Sapuan Rotor Terhadap Efisiensi



.Gambar 4.2 Grafik Pengaruh Variasi Diameter Sapuan Rotor Terhadap Efisiensi

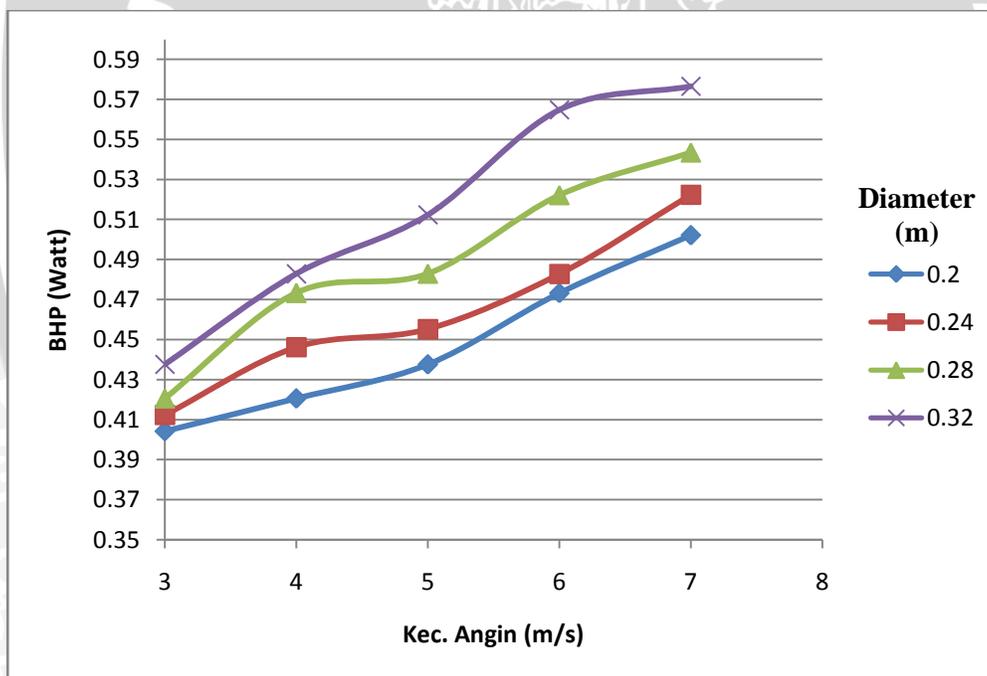


Gambar 4.3 Grafik perbandingan peningkatan daya poros dan daya angin pada kecepatan angin 3 m/s

Pada grafik di atas dapat kita lihat bahwa pada kecepatan angin yang sama, peningkatan diameter sapuan rotor mengakibatkan penurunan pada efisiensi yang dihasilkan oleh turbin angin. Pada grafik di atas terlihat bahwa efisiensi maksimal dihasilkan oleh diameter sapuan rotor 0.20 m dengan kecepatan angin 3 m/s. Sedangkan efisiensi terendah terdapat pada diameter 0.32 m dengan kecepatan angin 7 m/s. Efisiensi adalah besarnya daya poros yang dihasilkan oleh turbin dibagi dengan besarnya daya angin yang tersedia. Seiring dengan peningkatan diameter sapuan rotor maka besarnya daya angin yang tersedia juga akan semakin meningkat. Namun peningkatan dari daya angin yang tersedia tidak seimbang dengan peningkatan daya poros yang terjadi. Kurangnya voltase dan arus listrik yang dihasilkan menyebabkan kenaikan daya poros pada setiap peningkatan diameter rotor tidak terlalu signifikan. Kita ambil contoh pada variasi diameter sapuan rotor 0.20 m dan 0.24 m pada kecepatan angin 4 m/s. Kenaikan daya poros yang terjadi pada dua variasi ini adalah sebesar 0.042 Watt sedangkan kenaikan daya anginnya sebesar 0.44 Watt. Tidak seimbangna peningkatan antara daya poros dan daya angin yang

tersedia ini dapat menyebabkan efisiensi turbin angin menurun. Selain itu jika ditinjau dari segi mekanika fluida, fenomena ini terjadi karena turbulensi udara di dalam wind tunnel. Turbulensi ini disebabkan karena adanya perubahan profil secara tiba – tiba pada wind tunnel, yaitu pada titik di mana turbin angin berada. Adanya turbulensi akan menyebabkan perubahan *angle of attack* pada sudu turbin angin. *Angle of attack* angin akan bergeser menjauhi *leading edge* yang mana merupakan titik di mana akan dihasilkannya putaran optimal turbin. Hal ini akan menyebabkan turbin tidak dapat menghasilkan putaran secara maksimal sehingga efisiensinya menurun. Grafik yang menggambarkan perbandingan peningkatan daya poros dan daya angin dapat dilihat pada gambar 4.3 di atas.

4.3.3 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Daya Poros



Gambar 4.4 Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Daya Poros

Pada grafik di atas terlihat bahwa pada diameter sapuan rotor yang sama, peningkatan kecepatan angin akan meningkatkan besarnya daya poros yang dihasilkan oleh turbin angin. Daya poros maksimal dihasilkan oleh turbin dengan

diameter 0.32 m dengan kecepatan angin 7 m/s. Sedangkan daya poros yang terendah dihasilkan oleh turbin angin dengan diameter 0.20 m pada kecepatan angin 3 m/s. Hal ini sesuai dengan teori yang ada di mana peningkatan kecepatan angin akan meningkatkan besarnya putaran yang dihasilkan oleh turbin angin. Semakin besar putaran, maka semakin besar pula voltase yang dihasilkan oleh turbin angin.

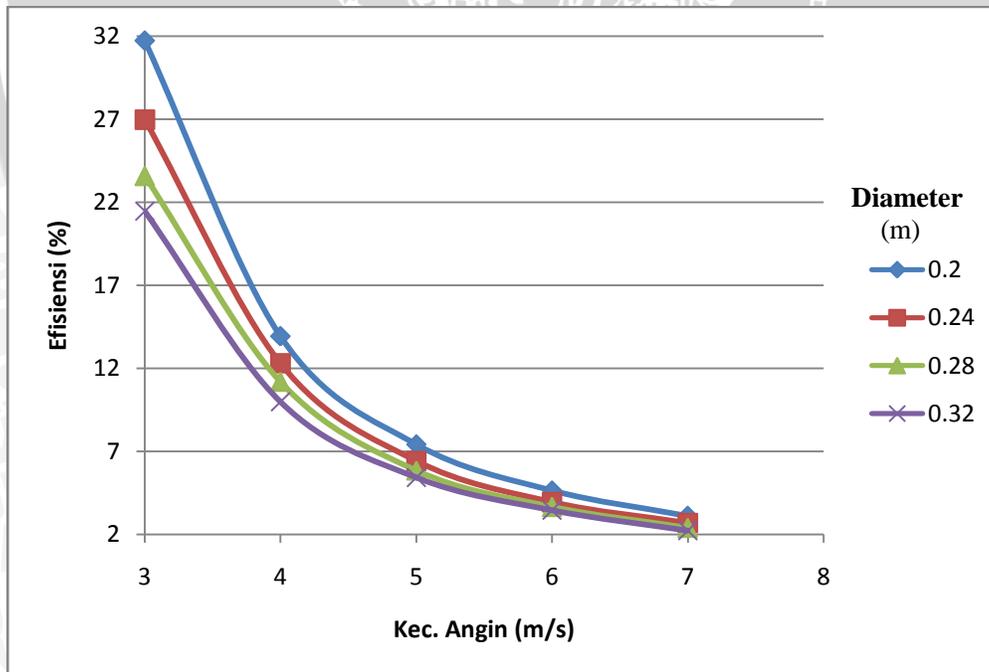
Berdasarkan persamaan :

$$BHP = \frac{V.I}{\eta_g \cdot \eta_T};$$

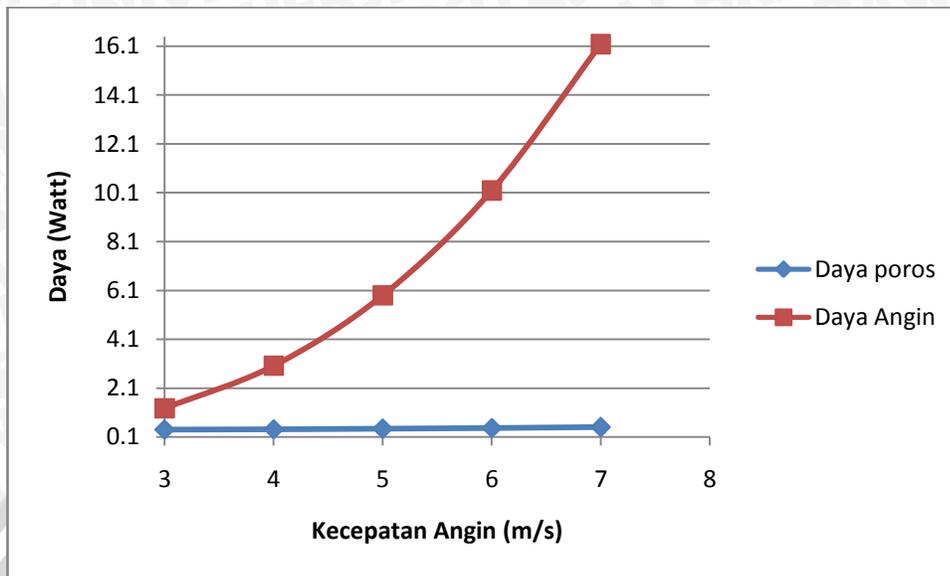
diketahui bahwa besarnya voltase berbanding lurus dengan besarnya daya poros. Sehingga semakin besar voltase maka semakin besar pula daya poros yang dihasilkan.

Pada grafik di atas terlihat bahwa pada tiap variasi diameter sapuan rotor terjadi peningkatan daya poros seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Hal ini berarti tidak banyak penyimpangan yang terjadi.

4.3.4 Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi



Gambar 4.5 Grafik Pengaruh Variasi Kecepatan Angin Terhadap Efisiensi



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan peningkatan daya poros dan daya angin pada kecepatan angin 3 m/s

Dari grafik di atas dapat terlihat bahwa pada variasi diameter sapuan rotor yang sama, terjadi penurunan efisiensi turbin angin seiring dengan meningkatnya kecepatan angin. Efisiensi tertinggi dihasilkan oleh turbin angin dengan diameter 0.20 m pada kecepatan angin 3 m/s. Sedangkan efisiensi terendah dihasilkan oleh turbin angin dengan diameter 0.32 m dengan kecepatan angin 7 m/s. Efisiensi ditentukan oleh besarnya daya poros yang dihasilkan dan daya angin yang tersedia.

Penurunan efisiensi dari turbin angin ini disebabkan oleh peningkatan yang tidak terlalu signifikan sedangkan daya angin mengalami peningkatan yang signifikan. Efisiensi turbin angin adalah perbandingan antara besarnya energi yang dihasilkan, dalam hal ini adalah daya poros dengan besarnya energi yang masuk, dalam hal ini adalah daya angin tersedia. Jika peningkatan daya poros untuk masing-masing variasi kecepatan angin jauh lebih kecil dari peningkatan daya angin yang tersedia, maka hal ini dapat menyebabkan penurunan efisiensi yang dihasilkan turbin angin. Kecilnya peningkatan dari daya poros turbin ini salah satunya disebabkan kecilnya peningkatan dari putaran yang dihasilkan oleh turbin. Selain itu jika ditinjau dari segi mekanika fluida, fenomena ini terjadi karena turbulensi yang dialami oleh

angin di dalam wind tunnel. Turbulensi ini disebabkan karena adanya perubahan profil secara tiba – tiba pada wind tunnel, yaitu pada titik di mana turbin angin berada. Adanya turbulensi akan menyebabkan perubahan *angle of attack* pada sudu turbin angin. *Angle of attack* angin akan bergeser menjauhi *leading edge* yang mana merupakan titik di mana akan dihasilkannya putaran optimal turbin. Hal ini akan menyebabkan turbin tidak dapat menghasilkan putaran secara maksimal sehingga efisiensinya menurun. Grafik perbandingan antara kenaikan daya poros dan daya angin dapat dilihat pada gambar 4.6 di atas.

4.4 Analisa Statistik

Dari data pengujian dapat dianalisa apakah faktor-faktor dalam pengujian ini seperti variasi panjang sudu dan kecepatan angin memiliki pengaruh terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H atau tidak. Pada setiap pengambilan data daya poros turbin angin Darrieus tipe-H, kedua faktor di atas tercakup di dalamnya. Oleh karena itu, analisa statistik yang dilakukan adalah analisis varian dua arah (*two way ANOVA*).

4.4.1 Analisis Varian Dua Arah (*Two Way ANOVA*)

Untuk mengetahui berpengaruh atau tidaknya variasi panjang sudu dan kecepatan angin terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H perlu dilakukan analisis varian dua arah. Apabila nilai F_{hitung} lebih besar daripada F_{tabel} maka faktor yang diuji berpengaruh secara nyata. Namun, bila nilai F_{hitung} lebih kecil atau sama dengan F_{tabel} maka faktor yang diuji tidak berpengaruh secara nyata.

1. Formulasi Hipotesis :

$$1) H_0 : \alpha_1 = \alpha_2 = \dots = \alpha_b = 0$$

(Tidak ada pengaruh diameter sapuan rotor terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H)

H_1 : Sekurang-kurangnya satu ukuran diameter sapuan rotor berpengaruh terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H.

$$2) H_0 : \beta_1 = \beta_2 = \dots = \beta_k = 0$$

(Tidak ada pengaruh kecepatan angin terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H)

H_1 : Sekurang-kurangnya satu ukuran kecepatan angin berpengaruh terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H.

$$3) H_0 : (\alpha.\beta)_1 = (\alpha.\beta)_2 = \dots = (\alpha.\beta)_{ij} = 0$$

(Tidak ada pengaruh diameter sapuan rotor dan kecepatan angin terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H)

H_1 : Sekurang-kurangnya satu ukuran diameter sapuan rotor dan kecepatan angin berpengaruh terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H.

2. Taraf Nyata dan Nilai F_{tabel}

$$\alpha = 0,05$$

$$\text{Untuk baris } F_{\text{tabel}} = F_{(0,05; 4; 30)} = 2,6896$$

$$\text{Untuk kolom } F_{\text{tabel}} = F_{(0,05; 2; 30)} = 3,3158$$

$$\text{Untuk interaksi } F_{\text{tabel}} = F_{(0,05; 8; 30)} = 2,2662$$

3. Menentukan Kriteria Pengujian

a. Untuk Baris :

$$H_0 \text{ diterima jika } F_{\text{hitung}} \leq 2,6896$$

$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{\text{hitung}} > 2,6896$$

b. Untuk Kolom :

$$H_0 \text{ diterima jika } F_{\text{hitung}} \leq 3,3158$$

$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{\text{hitung}} > 3,3158$$

c. Untuk Interaksi :

$$H_0 \text{ diterima jika } F_{\text{hitung}} \leq 2,2662$$

$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{\text{hitung}} > 2,2662$$

$$H_0 \text{ ditolak jika } F_{\text{hitung}} > 2,2662$$

4. Membuat Analisis Varians dalam Bentuk Tabel ANOVA

Tabel 4.5 Perhitungan *Two Way-Anova*

Perlakuan		DIAMETER SAPUAN ROTOR				Total
		P1	P2	P3	P4	
KECEPATAN	K1	0	0	0	25,471	25,471
	K2	0	0	29,795	46,816	76,611
	K3	0	26,147	50,129	69,778	146,055
	K4	0	49,517	66,166	73,200	188,884
	K5	23,958	66,476	92,019	108,577	291,031
	K6	459,830	73,792	101,473	115,426	750,522
	Total	483,788	215,934	339,583	439,269	

Diketahui : r = baris, c = kolom, n = ulangan percobaan

$$\begin{aligned}
 JKT &= \sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c \sum_{k=1}^n x_{ijk}^2 - \frac{T^2 \dots}{rcn}, & (\text{Walpole, 1995: 410}) & (4.1) \\
 &= 0^2 + 0^2 + \dots + (1,414 \cdot 10^3)^2 - \frac{(1,04 \cdot 10^3)^2}{72} \\
 &= 2,636 \cdot 10^4 - 1,503 \cdot 10^4 = 1,133 \cdot 10^4
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JKP &= \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{cn} - \frac{T^2 \dots}{rcn}, & (\text{Walpole, 1995: 410}) & (4.2) \\
 &= \frac{(2,061 \cdot 10^3)^2 + (4,663 \cdot 10^4)^2 + (1,153 \cdot 10^5)^2}{18} - \frac{(1,04 \cdot 10^3)^2}{72} \\
 &= 4,804 \cdot 10^4,
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 JKK &= \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rn} - \frac{T^2 \dots}{rcn}, & (\text{Walpole, 1995: 410}) & (4.3) \\
 &= \frac{(6,488 \cdot 10^2)^2 + (5,869 \cdot 10^3)^2 + (2,133 \cdot 10^4)^2 + \dots + (9,743 \cdot 10^4)^2}{12} - \frac{(1,04 \cdot 10^3)^2}{72} \\
 &= 5,44 \cdot 10^3
 \end{aligned}$$

$$JK(PK) = \frac{\sum_{i=1}^r \sum_{j=1}^c T_{ij}^2}{n} - \frac{\sum_{i=1}^r T_i^2}{cn} - \frac{\sum_{j=1}^c T_j^2}{rn} + \frac{T^2 \dots}{rcn}, \quad (\text{Walpole, 1995: 410}) \quad (4.4)$$

$$= \frac{0^2 + 0^2 + \dots + (1,332 \cdot 10^4)^2}{3} - 4,804 \cdot 10^4 - 5,44 \cdot 10^3 + \frac{(1,04 \cdot 10^3)^2}{72} =$$

$$= 9,775 \cdot 10^2$$

JKG = JKP - JKK - JK(PK) (Walpole, 1995: 410) (4.5)

$$= 4,804 \cdot 10^4 - 5,44 \cdot 10^3 - 9,775 \cdot 10^2 = 95,42$$

Tabel 4.6 ANOVA

Sumber Variasi	db	JK	KT	Fhit	Ftabel	Notasi
					$\alpha = 0.05$	
Perlakuan						
P	3	4803,620	1601,206	805,462	2,79	*
K	5	5443,589	1088,717	547,663	2,40	*
PK	15	977,462	65,164	32,779	1,83	
GALAT	48	95,420	1,987			
Total	71	11333,949				

5. Kesimpulan

- 1) Untuk baris : karena $F_{hitung} > F_{(0,05; 3; 48)}$ yaitu $805,462 > 2,79$, maka H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa sekurang-kurangnya satu ukuran kecepatan angin berpengaruh terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H.
- 2) Untuk kolom : karena $F_{hitung} > F_{(0,05; 5; 48)}$ yaitu $547,633 > 2,40$, maka H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa sekurang-kurangnya satu ukuran diameter sapuan rotor berpengaruh terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H.
- 3) Untuk interaksi : karena $F_{hitung} > F_{(0,05; 15; 48)}$ yaitu $32,779 > 1,83$, maka H_0 ditolak dan disimpulkan bahwa sekurang-kurangnya satu ukuran diameter sapuan rotor dan kecepatan angin berpengaruh terhadap daya poros turbin angin Darrieus tipe-H.