

# PENGEMBANGAN METODE PENENTUAN KARAKTERISTIK RANCANGAN AWAL ROTOR TURBIN ANGIN

Sulistyo Atmadi  
Ahmad Jamaludin Fitroh  
Peneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN

## ABSTRACT

A method for determining design characteristics of a wind turbine rotor has been developed. Given the desired power and operational wind speed, the approximate design diameter and rotor rpm can then be determined. The size of the rotor diameter is governed by the blade performance, in which is normally given as power coefficient  $C_p$ ; designed rotor speed can be known after calculating the tip speed ratio. Using this method, the blade and rotor characteristics can be designed quickly as a preliminary design parameter.

## ABSTRAK

Telah dikembangkan metode penentuan karakteristik rancangan awal rotor turbin angin. Dengan daya dan kecepatan angin rancangan tertentu, maka kisaran diameter dan RPM rotor dapat diketahui. Besarnya diameter rotor sangat dipengaruhi oleh prestasi sudu yang dinyatakan dalam bentuk koefisien daya,  $C_p$ , kecepatan putar rotor rancangan diketahui setelah harga *tip speed ratio* ditentukan. Dengan metode ini maka dapat ditentukan dengan cepat karakteristik sudu/rotor yang akan dirancang, sebagai rancangan awal.

Kata kunci: *Rancangan awal, Koefisien daya, Tip speed ratio*

## 1 PENDAHULUAN

Metode ini dikembangkan sebagai panduan cepat dalam merancang sudu turbin angin.

Dalam perancangan sebuah rotor atau sudu turbin angin, terdapat beberapa parameter yang dibutuhkan sebagai *requirement*. Diantaranya adalah daya kehiaran sudu yang diinginkan, kecepatan angin rancangan, diameter rotor, dan RPM.

Daya dan kecepatan angin rancangan merupakan parameter yang dapat ditentukan dengan bebas, yang merupakan masukan dari permintaan kebutuhan. Diameter rotor dipengaruhi oleh prestasi sudu, yang dinyatakan dalam bentuk koefisien daya,  $C_p$ . Dalam merancang sudu, diinginkan diameter rotor yang sekecil mungkin, untuk menghemat biaya pembuatan, serta

memudahkan pembuatan dan pemasangan.

Penampang sudu pada umumnya berupa *aerofoil*. Sebuah *aerofoil* biasanya akan menghasilkan prestasi yang optimum pada sudut serang tertentu. Secara umum sudut serang dibentuk dari kecepatan angin dan kecepatan putar. Oleh karena itu untuk mendapatkan prestasi yang optimum, maka sudu dirancang pada RPM tertentu.

## 2 DASARTEORI

Turbin angin merupakan alat yang berfungsi untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik maupun energi listrik. Angin dengan kecepatan tertentu bertiup dan kemudian memutar sudu-sudu turbin angin. Putaran sudu selanjutnya menjadi putaran generator sehingga timbul tegangan dan arus listrik.

Semakin tinggi kecepatan angin, maka daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Secara umum, untuk kecepatan angin tertentu, semakin besar diameter akan mampu menyerap energi angin yang semakin besar pula.

Koefisien daya sudu sangat bergantung pada profil penampang sudu, baik berupa *aerofoil* ataupun *circular arc*. Semakin besar harga  $c_l/c_d$  *aerofoil* penampang sudu, maka semakin besar pula koefisien daya sudu. Pada umumnya koefisien daya maksimum sudu bisa mencapai 55%. Koefisien daya sudu tidak bisa mencapai mendekati 100% karena adanya gaya hambat di sepanjang penampang bilah. Sudu turbin angin yang dirancang pada umumnya mempunyai koefisien daya antara 30% hingga 55%, tergantung dari bentuk penampang yang digunakan.

Untuk kecepatan angin, diameter, dan putaran sudu tertentu, semakin besar koefisien daya sudu, maka daya yang dapat dihasilkan akan semakin besar. Hubungan antara daya, kecepatan angin, koefisien daya, dan diameter diformulasikan sebagai berikut:

$$D = \left( \frac{P}{\frac{1}{8} \rho \pi V^3 C_p} \right)^{0.5} \quad (2-1)$$

Keterangan:

D = diameter (m)

P = daya (Watt)

$\rho$  = kerapatan udara ( $\text{kg/m}^3$ )

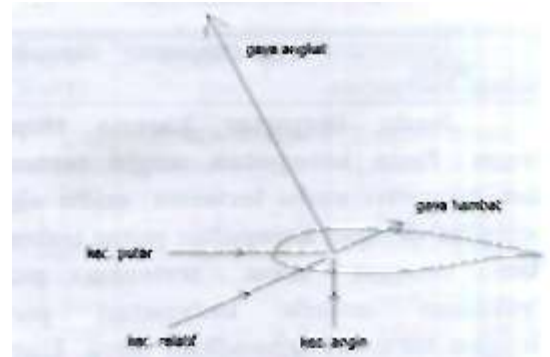
V = kecepatan angin (m/det)

$C_p$  = koefisien daya

Penurunan persamaan di atas disajikan dalam lampiran.

Sudu berputar dengan kecepatan tertentu ketika ditiup angin dengan kecepatan tertentu sehingga pada saat beroperasi sudu menerima 2 kecepatan yang saling tegak lurus, yaitu kecepatan angin dan kecepatan putar sudu. Vektor kecepatan dan gaya aerodinamika yang bekerja pada *aerofoil*

penampang sudu disajikan dalam sketsa berikut;



Gambar 2-1 : Vektor gaya dan kecepatan

Setiap penampang sudu mempunyai 2 kecepatan yang saling tegak lurus, yaitu kecepatan angin dalam arah aksial dan kecepatan putar dalam arah tangensial. Resultan kedua kecepatan tersebut adalah kecepatan relatif. Sudut antara kecepatan relatif dan arah tangensial didefinisikan sebagai sudut serang.

Penampang sudu yang dikenai kecepatan relatif tertentu dengan sudut serang tertentu akan menghasilkan gaya angkat dan gaya hambat. Gaya angkat adalah gaya yang arahnya tegak lurus dengan kecepatan relatif, sedangkan gaya hambat adalah gaya yang searah dengan kecepatan relatif. Resultan konversi gaya angkat dan gaya hambat dalam arah tangensial akan menjadi torsi penggerak sudu sekaligus sebagai sumber daya.

Pada kondisi on-desain, yaitu pada *rated wind speed* dan daya tertentu, sudu mempunyai daerah kerja sudut serang tertentu, yaitu secara aerodinamika sudu akan menghasilkan daya yang optimum pada daerah sudut serang tertentu juga.

Sudut serang terbentuk dari kecepatan angin dan kecepatan putar. Biasanya sudu akan optimal pada *velocity tip ratio*, A antara 6 sampai dengan 10. *Velocity tip ratio* adalah perbandingan antara kecepatan tangensial di ujung sudu terhadap kecepatan angin. Kecepatan putar rotor yang biasanya dinyatakan dengan RPM dapat diformulasikan sebagai berikut:

$$RPM = 60^{XV} \quad (2-2)$$

Penurunan persamaan disajikan dalam lampiran.

Sudu berputar karena tiupan angin. Pada kecepatan angin tertentu dan geometri sudu tertentu, sudu akan berputar dengan kecepatan putar tertentu dan dengan torsi tertentu pula. Perkalian antara kecepatan putar dengan torsi menghasilkan daya. Untuk kecepatan putar yang sama, semakin besar torsi yang diberikan sudu, maka akan semakin besar daya yang dapat diserap, demikian juga sebaliknya. Hubungan antara torsi terhadap daya dan kecepatan putar (RPM) diformulasikan sebagai berikut :

$$T = \frac{30P}{\pi RPM} \quad (2-3)$$

Penurunan persamaan disajikan dalam lampiran.

### 3 HASIL PERHITUNGAN

Hasil perhitungan dengan menggunakan metode ini disajikan dalam bentuk tabel-tabel di bawah ini :

Tabel 3-1 : DAYA 100 – 5.000 WATT

Daya (Watt)	Kec. Angin (m/det)	Diameter (m)	RPM
100	3	3,7 - 5,1	68 - 153
	5	1,7 - 2,4	243 - 549
	8	0,9 - 1,2	788 - 1.779
	10	0,6 - 0,8	1.377 - 3.107
	13	0,4 - 0,6	2.653 - 5.988
	15	0,3 - 0,5	3.794 - 8.563
300	3	6,5 - 8,8	39 - 88
	5	3,0 - 4,1	141 - 317
	8	1,5 - 2,0	455 - 1.027
	10	1,1 - 1,4	795 - 1.794
	13	0,7 - 1,0	1.532 - 3.457
	15	0,6 - 0,8	2.191 - 4.944
500	3	8,4 - 11,3	30 - 69
	5	3,9 - 5,3	109 - 246
	8	1,9 - 2,6	353 - 795
	10	1,4 - 1,9	616 - 1.390
	13	0,9 - 1,3	1.187 - 2.678
	15	0,7 - 1,0	1.679 - 3.829

1.000	3	11,8-16,0	21 - 48
	5	5,5-7,4	77 - 174
	8	2,7-3,7	249 - 562
	10	1,9-2,6	435 - 983
	13	1,3-1,8	839 - 1.893
	15	1,1-1,4	1.200 - 2.708
3.000	3	20,5-27,8	12 - 28
	5	9,5-12,9	44 - 100
	8	4,7-6,4	144 - 325
	10	3,4-4,6	251 - 567
	13	2,3-3,1	484 - 1.093
	15	1,8-2,5	693 - 1.563
5.000	3	26,5-35,8	10 - 22
	5	12,3-16,7	34 - 78
	8	6,1-8,2	111 - 252
	10	4,3-5,9	195 - 439
	13	2,9-4,0	375 - 847
	15	2,4-3,2	537 - 1.211

Tabel 3-2 : DAYA 10.000 - 500.000 WATT

Daya (Watt)	Kec. Angin (m/det)	Diameter (m)	RPM
10.000	3	37,4 - 50,7	7 - 15
	5	17,4 - 23,6	24 - 55
	8	8,6 - 11,6	79 - 178
	10	6,1 - 8,3	138 - 311
	13	4,1 - 5,6	265 - 599
	15	3,3 - 4,5	379 - 856
30.000	3	64,8 - 87,8	4 - 9
	5	30,1 - 40,8	14 - 32
	8	14,9 - 20,2	46 - 103
	10	10,7 - 14,4	79 - 179
	13	7,2 - 9,7	153 - 346
	15	5,8 - 7,9	219 - 494
50.000	3	83,7 - 113,3	3 - 7
	5	38,9 - 52,7	11 - 25
	8	19,2 - 26,0	35 - 80
	10	13,8 - 18,6	62 - 139
	13	9,3 - 12,6	119 - 268
	15	7,5 - 10,1	170 - 383
100.000	3	118,3 - 160,2	2 - 5
	5	55,0 - 74,5	8 - 17
	8	27,2 - 36,8	25 - 56
	10	19,4 - 26,3	44 - 98
	13	13,1 - 17,8	84 - 189
	15	10,6 - 14,3	120 - 271
300.000	3	205,0 - 277,5	1 - 3
	5	95,3 - 129,0	4 - 10
	8	47,1 - 63,7	14 - 32
	10	33,7 - 45,6	25 - 57
	13	22,7 - 30,8	48 - 109
	15	18,3 - 24,8	69 - 156
500.000	3	264,6 - 358,3	1 - 2
	5	123,0 - 166,5	3 - 8
	8	60,8 - 82,3	11 - 25
	10	43,5 - 58,9	19 - 44
	13	29,3 - 39,7	38 - 85
	15	23,7 - 32,0	54 - 121



#### 4 ANALISIS

Berdasarkan hasil perhitungan di atas, dapat dilihat bahwa semakin tinggi kecepatan angin rancangan (*rated wind speed*), maka diameter rotor yang diperlukan akan semakin kecil. Hal tersebut dikarenakan untuk daya yang sama, maka semakin tinggi kecepatan angin rancangan diperlukan luas rotor yang lebih kecil.

Besarnya RPM rotor secara langsung dipengaruhi oleh kecepatan angin rancangan dan diameter. Seperti yang telah dijelaskan pada paragraf di atas bahwa untuk daya yang sama, maka semakin tinggi kecepatan angin rancangan diperlukan diameter rotor yang semakin kecil. Untuk *tip speed ratio* yang sama, maka semakin tinggi kecepatan angin rancangan akan bersesuaian dengan kenaikan kecepatan tangensial ujung rotor. Untuk kecepatan tangensial ujung rotor yang sama, maka pengecilan diameter akan secara langsung mengakibatkan kenaikan RPM. Dengan demikian kenaikan kecepatan angin rancangan akan bersesuaian dengan kenaikan RPM rancangan.

Penentuan karakteristik rancangan awal rotor sangat dipengaruhi oleh tempat atau daerah dimana turbin angin akan dipasang, yang mempunyai kecepatan angin yang berbeda. Pada umumnya rotor buatan Amerika atau Eropa dirancang pada kecepatan angin 12-14 m/det. Hal tersebut dikarenakan kecepatan angin rata-ratanya relatif lebih tinggi dibandingkan di negara-negara Asia. Untuk kecepatan angin 13 m/det, maka hubungan antara daya, diameter, dan RPM rancangan rotor turbin angin Amerika/Eropa dituiiskan kembali dalam Tabel 4-1.

Kecepatan angin rata-rata di Indonesia relatif lebih kecil dibandingkan di Amerika maupun di Eropa. Oleh karena itu kecepatan angin rancangan rotor turbin angin diharapkan lebih kecil dari 12 m/det.

Tabel 4-1: ROTOR TURBIN ANGIN UNTUK KONDISI ANGIN DI AMERIKA/EROPA

Daya (Watt)	Diameter (m)	RPM
100	0,4 - 0,6	2.653 - 5.988
300	0,7 - 1,0	1.532 - 3.457
500	0,9 - 1,3	1.187 - 2.678
1.000	1,3 - 1,8	839 - 1.893
3.000	2,3 - 3,1	484 - 1.093
5.000	2,9 - 4,0	375 - 847
10.000	4,1 - 5,6	265 - 599
30.000	7,2 - 9,7	153 - 346
50.000	9,3 - 12,6	119 - 268
100.000	13,1 - 17,8	84 - 89
300.000	22,7 - 30,8	48 - 09
500.000	29,3 - 39,7	38 - 85

Penentuan kecepatan angin rancangan untuk rotor turbin angin Indonesia juga masih dipengaruhi oleh tempat atau daerah dimana turbin angin akan dipasang. Secara umum daerah pemasangan turbin angin dapat dibagi menjadi 2, yaitu daerah daratan dan daerah pantai. Pada umumnya daerah pantai mempunyai kecepatan angin rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan daerah daratan.

Pemilihan kecepatan angin rancangan 10 m/det untuk rotor turbin angin yang akan dipasang di daerah pantai dianggap cukup masuk akal mengingat kecepatan angin di pantai memang cukup kencang. Rotor turbin angin yang akan dipasang di daerah daratan Indonesia dapat dirancang pada kecepatan angin rancangan 5 m/det s.d 8 m/det. Berdasarkan hasil perhitungan pada Tabel 3-1 dan 3-2, dapat dilihat bahwa untuk daya yang sama, kecepatan angin rancangan 5 m/det akan membutuhkan diameter rotor yang jauh lebih besar. Dengan demikian pemilihan kecepatan angin rancangan 8 m/det untuk daerah daratan Indonesia juga dianggap cukup masuk akal. Hubungan antara daya, diameter, dan RPM rancangan rotor turbin angin daratan Indonesia dan daerah pantai Indonesia juga dapat dituiiskan kembali dalam Tabel 4-2 dan 4-3.

Tabel 4-2: ROTOR TURBIN ANGIN PANTAI INDONESIA •

Daya (Watt)	Diameter (m)	RPM
100	0,6 – 0,8	1.377– 3.107
300	1,1 – 1,4	795 – 1.794
500	1,4 – 1,9	616 – 1.390
1.000	1,9 – 2,6	435 – 983
3.000	3,4 – 4,6	251 – 567
5.000	4,3 – 5,9	195 – 439
10.000	6,1 – 8,3	138 – 311
30.000	10,7 – 14,4	79 – 179
50.000	13,8 – 18,6	62 – 139
100.000	19,4 – 26,3	44 – 98
300.000	33,7 – 45,6	25 – 57
500.000	43,5 – 58,9	19 – 44

Tabel 4-3: ROTOR TURBIN ANGIN DARATAN INDONESIA

Daya (Watt)	Diameter (m)	RPM
100	0,9 – 1,2	788 – 1.779
300	1,5 – 2,0	455 – 1.027
500	1,9 – 2,6	353 – 795
1.000	2,7 – 3,7	249 – 562
3.000	4,7 – 6,4	144 – 325
5.000	6,1 – 8,2	111 – 252
10.000	8,6 – 11,6	79 – 178
30.000	14,9 – 20,2	46 – 103
50.000	19,2 – 26,0	35 – 80
100.000	27,2 – 36,8	25 – 56
300.000	47,1 – 63,7	14 – 32
500.000	60,8 – 82,3	11 – 25

Berdasarkan Tabel 4-2 dan 4-3, dapat dilihat bahwa turbin angin yang akan dipasang di daerah daratan

umumnya akan membutuhkan diameter rotor yang lebih besar. Hal tersebut dikarenakan kecepatan angin rata-rata di daerah daratan umumnya lebih rendah dibandingkan di daerah pantai.

## 5 KESIMPULAN

Beberapa kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

- Telah dikembangkan sebuah metode penentuan karakteristik rancangan awal rotor turbin angin.
- Penentuan daerah pemasangan turbin angin dan kecepatan angin rancangan merupakan langkah awal yang harus dilakukan untuk menentukan diameter dan RPM rotor rancangan.
- Dengan menggunakan metode ini maka dapat dilakukan penentuan karakteristik rancangan awal sudu secara cepat, untuk memudahkan rancangan komponen-komponen turbin angin lainnya.

## DAFTAR RUJUKAN

- Anderson, John D., 1985. *Fundamentals of Aerodynamics*, Mc. Grawhill company, Singapore.
- De Renzo, D. J., 1979. *Wind Power (Recent Development)*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- Freris L.L., 1990. *Wind Energy Conversion Systems*, Prentice Hall, UK.
- Tony Burton, et. al. 2001. *Wind Energy Hand Book*, John Wiley 85 Sons.

## Lampiran : Penurunan Persamaan Persamaan Hubungan Antara Daya, Koefisien Daya, Kecepatan Angin, dan Diameter Rotor (2-1)

$$\text{koefisien daya, } C_p = \frac{\text{daya yang diserap rotor}}{\text{daya angin}}$$

$$\text{koefisien daya, } C_p = \frac{\text{daya yang diserap rotor}}{\text{tek. dinamik} * \text{luas lingkaran} * \text{kec. angin}}$$

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{2} \rho V^2 * \frac{1}{4} \pi D^2 * V}$$

$$C_p = \frac{P}{\frac{1}{8} \rho \pi D^2 V^3}$$

$$D = \left( \frac{P}{\frac{1}{8} \rho \pi V^3 C_p} \right)^{0,5}$$

### Persamaan Kecepatan Putar Rotor (2-2)

$$\text{tip speed ratio} = \frac{\text{kecepatan tan gensial di ujung sudu}}{\text{kecepatan angin}}$$

$$\lambda = \frac{V_{tip}}{V}$$

$$V_{tip} = \lambda V$$

$$\pi * D * RPS = \lambda * V$$

$$\pi * D * \frac{RPM}{60} = \lambda * V$$

$$RPM = 60 \frac{\lambda V}{\pi D}$$

### Persamaan Torsi (2-3)

$$\text{daya} = \text{torsi} * \text{kecepatan putar}$$

$$P = T \omega$$

$$P = T \frac{V_{tip}}{R}$$

$$P = T \frac{2 V_{tip}}{D}$$

$$P = T \frac{2 \pi D RPS}{D}$$

$$P = T \frac{2 \pi D RPM}{60 D}$$

$$T = \frac{30 P}{\pi RPM}$$