

ANALISA PENGARUH SUDUT *PITCH*, UNTUK MEMPEROLEH DAYA OPTIMAL TURBIN ANGIN LPN-SKEA 50 KW PADA BEBERAPA KONDISI KECEPATAN ANGIN

Sulistyo Atmadi, Ahmad Jamaludin Fitroh
Peneliti Bidang Aerodinamika, LAPAN

ABSTRACT

Power curve is the main performance indicator of wind turbine. For a certain pitch setting, wind turbine has a certain power curve. A Wind turbine was designed to produce 50 kW of power for 10 m/s wind speed and 80 rpm rotational speed. By increasing pitch angle may produce a higher starting torque with a decrease in rotational speed, so the power will be smaller than expected. This research shows that by increasing pitch angle up to 10° , will decrease the power output from initial 50 kW to become 23.3 kW for 10 m/s of wind speed. By assuming a 3rd order polynomial power curve, a 50 kW power can be produced at a wind speed of 12.9 m/s.

Keywords: *Pitch angle, Power curve, Wind turbine 50 kW*

ABSTRAK

Kurva daya merupakan indikator utama prestasi sebuah turbin angin. Dengan sudut *pitch* tertentu, turbin angin mempunyai kurva daya yang tertentu juga. Rotor dirancang agar turbin angin LPN-SKEA 50kW dapat menghasilkan daya 50 kW pada kecepatan angin 10 m/det dan kecepatan putar 80 rpm. Penambahan sudut *pitch* biasanya dilakukan untuk menambah torsi awal rotor sehingga rotor menjadi lebih mudah berputar dari kondisi diam. Pengaruh penambahan sudut *pitch* adalah berkurangnya kecepatan putar rotor sehingga daya yang dihasilkan juga menjadi lebih kecil. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penambahan sudut *pitch* hingga 10° akan mengurangi daya dari 50 kW menjadi 23,3 kW pada kecepatan angin 10 m/det. Dengan penambahan sudut *pitch* yang sama dan dengan mengasumsikan bahwa kurva daya merupakan polinomial pangkat tiga, maka daya sebesar 50 kW dapat dicapai pada kecepatan angin 12,9 m/det.

Kata kunci: *Sudut pitch, Kurva daya, SKEA 50 kW*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Sebuah turbin angin dirancang agar dapat menghasilkan daya rancangan pada kecepatan angin tertentu. Demikian juga dirancang agar mempunyai kecepatan *start - up* dan *cut - in* yang serendah mungkin sehingga dapat menghasilkan listrik pada kecepatan angin yang rendah.

Salah satu komponen utama turbin angin adalah rotor. Fungsi utama rotor adalah mengubah energi kinetik angin menjadi energi kinetik putar yang selanjutnya diubah menjadi energi listrik

oleh generator. Dengan mempertimbangkan *losses* pada generator, rotor dirancang agar mampu menghasilkan daya rancangan pada kecepatan angin tertentu (*on-design*).

Dengan konfigurasi dan geometri tertentu, rotor diharapkan mampu menghasilkan daya sesuai rancangan. Dengan menyelaraskan torsi awal rotor dengan torsi awal generator, maka diperoleh kecepatan angin *start - up*. Apabila kecepatan angin *start - up* tersebut masih dianggap terlalu tinggi atau tidak sesuai dengan kondisi angin dimana turbin angin dipasang, maka perlu dilakukan modifikasi. Salah satu

modifikasi untuk menurunkan kecepatan angin *start - up* adalah dengan menambah sudut pasang (*pitch*) sudu. Kerugiannya adalah kecepatan putar rotor menjadi lebih kecil sehingga daya yang dihasilkan juga menjadi berkurang.

Sudu turbin angin LPN-SKEA 50kW LAPAN telah dirancang dan telah diperoleh kurva dayanya. Untuk menurunkan kecepatan angin *start - up* agar sesuai dengan kondisi angin rata - rata di Indonesia, dengan menambah sudut *pitch* sudu, diperlukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan sudut *pitch* terhadap kurva daya turbin angin, khususnya untuk SKEA 50 kW LAPAN.

1.2 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan sudut *pitch* terhadap kurva daya turbin angin, dan dapat diperoleh beberapa kurva daya dengan variasi sudut *pitch* untuk LPN-SKEA 50 kW LAPAN, serta prediksi kecepatan angin yang dibutuhkan untuk memperoleh daya 50 kW dengan sudut *pitch* tertentu. Dengan demikian dapat diperoleh turbin angin yang sesuai dengan kecepatan angin yang tersedia di lokasi.

1.3 Batasan Masalah

Penambahan sudut *pitch* dilakukan untuk menambah torsi awal sudu atau menurunkan kecepatan angin *start - up*. Dalam penelitian ini pengaruh penambahan torsi awal sudu akibat penambahan sudut *pitch* sudu tidak dibahas. Analisis hanya dilakukan terhadap perubahan kurva daya.

Kurva daya turbin angin merupakan perpaduan antara kurva daya rotor dan kurva daya generator.

Beberapa asumsi yang digunakan dalam penelitian ini antara lain:

- Koefisien daya, c_p rotor berharga konstan terhadap kecepatan sehingga kurva daya yang terbentuk merupakan polinomial pangkat tiga terhadap kecepatan angin,

- Rasio kecepatan (*Tip Speed Ratio*) berharga konstan terhadap kecepatan angin sehingga hubungan antara kecepatan angin dan kecepatan putar rotor adalah linier.

Beberapa parameter keadaan juga diasumsikan bersifat *steady*, misalnya kerapatan dan tekanan udara. Dalam perhitungan, tekanan udara dipilih pada kondisi permukaan laut yaitu sebesar satu atmosfer.

2 DASAR TEORI

Kurva daya turbin angin menggambarkan hubungan antara kecepatan angin dan daya yang dapat dihasilkan oleh turbin angin tersebut. Apabila koefisien daya, c_p berharga konstan terhadap parameter lainnya, maka daya merupakan fungsi dari kecepatan angin pangkat tiga. Hubungan tersebut dinyatakan dalam persamaan (2-1).

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

Keterangan:

P = daya (Watt)

ρ = kerapatan udara (kg/m³)

D = diameter rotor (m)

V = kecepatan angin (m/det)

Persamaan (2-1) diturunkan dari definisi c_p , yaitu perbandingan antara daya angin yang dapat diserap oleh rotor terhadap daya yang tersedia. Definisi c_p tersebut dinyatakan dalam persamaan (2-2) (De Renzo, D.J, 1979; Tony Burton, et al.).

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

Sesuai dengan persamaan (2-1), apabila koefisien daya, kerapatan udara, dan diameter rotor adalah konstan maka daya yang dihasilkan hanya bergantung pada kecepatan angin pangkat tiga. Apabila geometri rotor tidak berubah selama operasional, maka diameter rotor

adalah konstan. Kerapatan udara sangat dipengaruhi oleh kelembaban dan temperatur (Anderson, John D., Jr, 1985; Mc. Cormick, Barnes W., 1995). Koefisien daya secara langsung dipengaruhi oleh karakteristik aerodinamika sudu.

Penampang sudu biasanya berbentuk airfoil sehingga prestasi sudu secara langsung dipengaruhi oleh prestasi airfoil yang digunakan (De Renzo, D.J., 1979; Glauert, H., 1935; Larrabee, E. E., 1979; Mc. Cormick, Barnes W., 1995; Tony Burton, et al.). Sebuah airfoil dapat dikatakan mempunyai prestasi yang bagus apabila mempunyai harga c_l / c_d yang tinggi (Abbot, Ira H, Von Doenhoff, 1959; Anderson, John D., Jr., 1985). Harga c_l dan c_d dipengaruhi oleh kecepatan (*Mach number*) dan bilangan Reynolds (Abbot, Ira H, Von Doenhoff, 1959; Anderson, John D., Jr., 1985). Hubungan antara bilangan Mach dan bilangan Reynolds dinyatakan dalam persamaan (2-3) dan (2-4) (Abbot, Ira H, Von Doenhoff, 1959; Anderson, John D., Jr., 1985).

$$M = \frac{u}{a} \quad (2-3)$$

$$Re = \frac{\rho u c}{\mu} \quad (2-4)$$

Keterangan:

M = bilangan Mach

u = kecepatan aliran bebas (*free stream*)

a = kecepatan suara, biasanya 340,9 m/det

Re = bilangan Reynolds

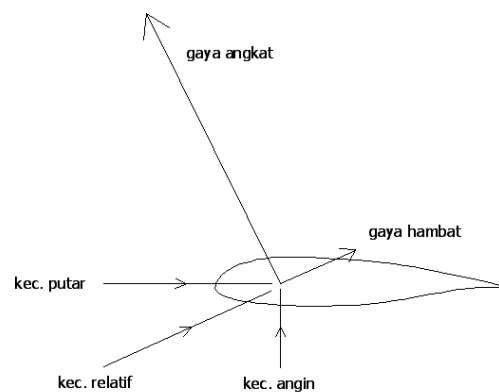
c = panjang chord airfoil

μ = viskositas udara

Secara umum perubahan harga c_l tidak signifikan terhadap perubahan bilangan Reynolds. Namun penurunan bilangan Reynolds yang signifikan menyebabkan kenaikan c_d yang juga signifikan. Dengan demikian penurunan bilangan Reynolds akan menyebabkan

penurunan harga c_l / c_d (Abbot, Ira H, Von Doenhoff, 1959).

Harga c_l / c_d airfoil sebagai penampang sudu sangat mempengaruhi besarnya torsi yang dapat dihasilkan. Gaya angkat airfoil merupakan sumber utama torsi. Di lain pihak refleksi gaya hambat dalam arah tangensial akan menghambat torsi sudu. Sketsa arah gaya-gaya yang bekerja pada penampang sudu disajikan dalam Gambar 2-1 (Glauert, H., 1935; Larrabee, E. E., 1979; Mc. Cormick, Barnes W., 1995).



Gambar 2-1: Sketsa gaya pada penampang sudu

Pada kecepatan angin lebih rendah dari kecepatan angin rancangan, kecepatan putar rotor secara langsung juga akan berkurang. Pengurangan kecepatan menyebabkan bilangan Reynolds juga berkurang, sesuai dengan persamaan (2-4). Bilangan Reynolds yang lebih kecil biasanya menyebabkan c_l / c_d menjadi lebih kecil sehingga torsi yang dihasilkan sudu juga menjadi lebih kecil. Dengan memasukkan pengurangan kecepatan dan daya ke dalam persamaan (2-2), maka harga c_p menjadi lebih kecil. Pengurangan harga c_p terhadap kecepatan angin menyebabkan kurva daya sedikit menyimpang dari bentuk polinomial pangkat tiga.

Perubahan sudut *pitch* secara tidak langsung mempengaruhi daya keluaran rotor. Dengan kecepatan angin dan putaran tertentu, maka setiap segmen sudu mempunyai sudut aliran yang dinyatakan dalam persamaan (2-5).

$$\tan \varphi = \frac{V}{\Omega r} \quad (2-5)$$

dengan

φ = sudut aliran

V = kecepatan angin

Ω = putaran

r = posisi atau jari – jari dihitung dari pangkal

Sudut aliran, φ merupakan penjumlahan antara sudut serang, α dan sudut *pitch*, β dinyatakan dengan persamaan sebagai berikut :

$$\varphi = \alpha + \beta \quad (2-6)$$

Dari persamaan (2-5) dan (2-6) untuk kecepatan angin dan putaran tertentu, semakin besar sudut *pitch* maka semakin kecil sudut serangnya. Penurunan sudut serang secara langsung mempengaruhi harga c_l dan c_d . Konversi kedua parameter tersebut menjadi gaya angkat dan gaya hambat dinyatakan dalam persamaan (2-7).

$$l = \frac{1}{2} \rho w^2 c c_l \quad (2-7a)$$

$$d = \frac{1}{2} \rho w^2 c c_d \quad (2-7b)$$

dengan w = resultan antara kecepatan angin dan putaran.

Konversi gaya angkat dan gaya hambat dalam arah tangensial menghasilkan gaya putar sebagai berikut:

$$dF = l \sin \varphi - d \cos \varphi \quad (2-8)$$

Perkalian antara posisi, r dan gaya putar, dF menghasilkan torsi,

$$dQ = r dF \quad (2-9)$$

Akumulasi torsi dari setiap elemen sudu menghasilkan torsi total sudu,

$$Q = B \int dQ \quad (2-10)$$

dengan B = jumlah sudu

Daya keluaran sudu didapat dari perkalian antara Q dan Ω . Dengan

mengestimasi bentuk kurva daya, maka efek perubahan sudut *pitch* terhadap perubahan kurva daya dapat diperoleh.

3 HASIL PERHITUNGAN

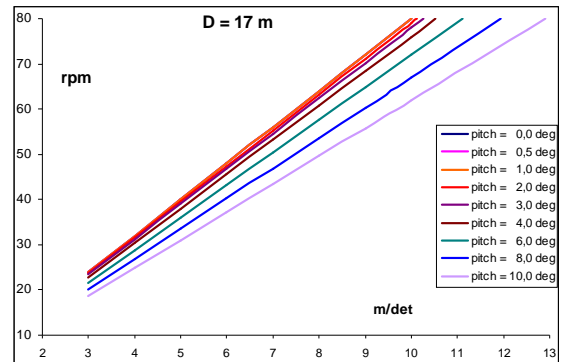
Rancangan rotor dilaksanakan paralel dengan rancangan generator, sehingga data riil kurva daya generator belum diperoleh, sehingga kurva daya turbin angin diasumsikan hanya dipengaruhi oleh prestasi aerodinamika sudu saja.

Dengan mengasumsikan bahwa harga koefisien daya, c_p berharga konstan terhadap kecepatan, maka kurva daya akan berbentuk polinomial pangkat tiga terhadap kecepatan angin. Dengan mengasumsikan bahwa *tip speed ratio* juga konstan terhadap kecepatan angin, maka hubungan antara kecepatan angin dan kecepatan putar rotor adalah linier. Kurva daya sebagai fungsi dari sudut pasang sudu (*pitch*) disajikan dalam Tabel 3-1 dan Gambar 3-1.

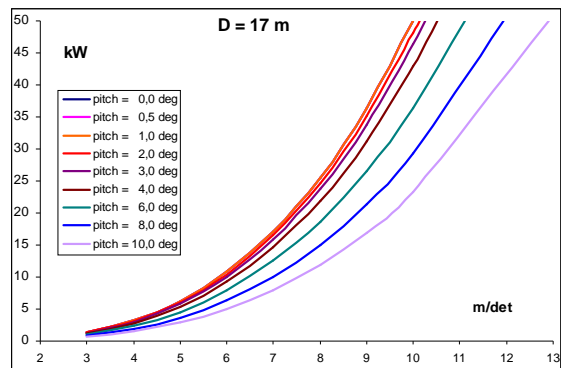
Tabel 3-1: KURVA DAYA

<i>Pitch</i> (derajat)	Kec.angin (m/det)	Putaran (rpm)	Daya (kW)	
0,0	3,0	24	1,4	
	4,0	32	3,2	
	5,0	40	6,3	
	6,0	48	10,8	
	7,0	56	17,2	
	8,0	64	25,6	
	9,0	72	36,5	
	10,0	80	50,0	
	0,5	3,0	24	1,4
		4,0	32	3,2
5,0		40	6,3	
6,0		48	10,8	
7,0		56	17,2	
8,0		64	25,6	
9,0		72	36,5	
10,0		80	50,0	
1,0		3,0	24	1,4
		4,0	32	3,2
	5,0	40	6,3	
	6,0	48	10,8	
	7,0	56	17,2	
	8,0	64	25,6	
	9,0	72	36,5	
	10,0	80	50,0	

2,0	3,0	24	1,3
	4,0	32	3,1
	5,0	39	6,0
	6,0	47	10,4
	7,0	55	16,5
	8,0	63	24,7
	9,0	71	35,1
	10,0	79	48,1
	10,1	80	50,0
	3,0	3,0	23
4,0		31	3,0
5,0		39	5,8
6,0		47	10,0
7,0		55	15,9
8,0		62	23,7
9,0		70	33,8
10,0		78	46,3
10,3		80	50,0
4,0		3,0	23
	4,0	30	2,7
	5,0	38	5,4
	6,0	46	9,3
	7,0	53	14,7
	8,0	61	21,9
	9,0	68	31,3
	10,0	76	42,9
	10,5	80	50,0
	6,0	3,0	22
4,0		29	2,3
5,0		36	4,6
6,0		43	7,9
7,0		50	12,5
8,0		58	18,7
9,0		65	26,6
10,0		72	36,5
11,1		80	50,0
8,0		3,0	20
	4,0	27	1,9
	5,0	33	3,7
	6,0	40	6,3
	7,0	47	10,1
	8,0	54	15,0
	9,0	60	21,4
	10,0	67	29,4
	11,9	80	50,0
	10,0	3,0	19
4,0		25	1,5
5,0		31	2,9
6,0		37	5,0
7,0		43	8,0
8,0		50	11,9
9,0		56	17,0
10,0		62	23,3
12,9		80	50,0



Gambar 3-1a: Kurva Kecepatan angin terhadap putaran



Gambar 3-1b: Kurva daya

Hasil perhitungan di atas menunjukkan bahwa penambahan sudut *pitch* hingga 10° akan mengurangi daya turbin angin dari 50 kW menjadi 23,3 kW pada kecepatan angin 10 m/det. Pada penambahan sudut *pitch* yang sama, daya turbin angin sebesar 50 kW dapat dicapai pada kecepatan angin 12,9 m/det.

4 PEMBAHASAN

Turbin angin dirancang agar mampu mulai menghasilkan listrik pada kecepatan angin yang sekecil mungkin.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa penambahan sudut *pitch* hingga 1° tidak mempengaruhi kurva daya. Pada daerah sudut *pitch* tersebut harga c_l maupun c_d relatif sama sehingga prestasi sudu juga hampir sama.

Penambahan sudut *pitch* lebih dari 1° mengakibatkan sudut serang efektif berubah cukup signifikan sehingga harga c_l / c_d juga berubah. Penambahan sudut *pitch* menyebabkan sudut serang efektif menjadi lebih kecil sehingga harga c_l / c_d juga semakin kecil. Penurunan

harga c_l/c_d menyebabkan torsi yang dapat dihasilkan oleh sudu juga berkurang sehingga daya yang dihasilkan juga menjadi berkurang.

Pada kecepatan angin rancangan sebesar 10 m/det, penambahan sudut *pitch* sebesar 6° menyebabkan penurunan daya hingga menjadi 36,5 kW. Dengan mengasumsikan bahwa koefisien daya, c_p dan *Tip Speed Ratio* berharga konstan, maka hubungan antara kecepatan putar dan daya merupakan polinomial pangkat tiga. Dengan demikian daya sebesar 36,5 kW diperoleh dengan kecepatan putar 72 rpm. Dengan mempertahankan bentuk kurva daya sebagai polinomial pangkat tiga, maka turbin angin akan mampu menghasilkan daya sebesar 50 kW pada kecepatan angin 11,1 m/det. Dengan generator yang sama daya tersebut dicapai pada 80 rpm.

Penambahan sudut *pitch* hingga 10° menyebabkan penurunan daya yang cukup signifikan, yaitu dari 50 kW menjadi 23,3 kW. Hal tersebut dikarenakan penurunan sudut serang efektif yang signifikan sehingga penurunan harga c_l/c_d yang terjadi menyebabkan torsi yang dihasilkan juga berkurang. Pengurangan torsi yang signifikan secara langsung menyebabkan penurunan daya yang cukup signifikan juga. Daya turbin angin sebesar itu bersesuaian dengan kecepatan putar generator 62 rpm. Pada sudut *pitch* tersebut, turbin angin diharapkan mampu menghasilkan 50 kW pada kecepatan angin 12,9 m/det.

5 KESIMPULAN

Hasil perhitungan yang disajikan dalam Tabel 3-1 dan Gambar 3-1 menunjukkan efek penambahan sudut *pitch* terhadap penurunan kecepatan putar dan daya. Hasil perhitungan disusun berdasarkan asumsi bahwa kurva daya berbentuk polinomial pangkat tiga. Untuk membuat kurva daya yang sebenarnya, maka karakteristik generator harus

dimasukkan ke dalam analisis sebagai penyempurnaan rancangan.

Beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari hasil perhitungan, antara lain:

- Semua hasil perhitungan disusun berdasarkan aspek aerodinamika saja. Dengan memperhitungkan data karakteristik generator setelah diperoleh, akan menghasilkan perhitungan yang lebih akurat,
- Penambahan sudut *pitch* secara umum mengakibatkan penurunan kecepatan putar dan daya,
- Penambahan sudut *pitch* hingga 1° tidak menyebabkan perubahan kurva daya,
- Pada kecepatan angin rancangan sebesar 10 m/det, penambahan sudut *pitch* sebesar 6° mengakibatkan penurunan kecepatan putar dari 80 rpm menjadi 72 rpm dan penurunan daya dari 50 kW menjadi 36,5 kW. Daya turbin angin sebesar 50 kW dapat dicapai pada kecepatan angin 11,1 m/det,
- Penambahan sudut *pitch* hingga 10° menyebabkan penurunan kecepatan putar menjadi 62 rpm dan penurunan daya hingga menjadi hanya 23,3 kW. Daya rancangan dapat dicapai pada kecepatan angin 12,9 m/det,
- Dengan melakukan pengujian turbin angin di lapangan, kurva daya hasil pengujian dengan pembebanan dapat digunakan untuk koreksi sudut *pitch*, kondisi pembebanan akan mempengaruhi kurva daya generator. Variasi jenis dan besar pembebanan akan menentukan karakteristik turbin angin sehingga diperoleh rancangan yang tepat,
- Pengaruh perubahan sudut *pitch* terhadap keluaran daya dapat digunakan sebagai masukan untuk pengaturan sudut *pitch*, bila turbin angin menggunakan *variable pitch* untuk sistem rotornya.

DAFTAR RUJUKAN

- Abbot, Ira H, Von Doenhoff, Albert E, 1959. *Theory of Wing Section*, Dover Publications Inc., New York.
- Anderson, John D., Jr, 1985. *Fundamentals of Aerodynamics*, Mc. Graw Hill company, Singapore.
- De Renzo, D.J., 1979. *Wind Power (Recent Development)*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- Glauert, H., 1935. *Airplane Propellers*. Div. Vol IV of Durand's *Aerodynamics Theory*, Dover Publications, New York.
- Gostelow, 1984. *Cascade Aerodynamics*, Pergamon Press, Sidney.
- Larrabee, E. E., 1979. *Design of Propellers for Motorsoares*, NASA CP-2085, Part I.
- Mc. Cormick, Barnes W., 1995. *Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Performance*, John Wiley & Sons, Canada.
- Tony Burton, et al., *Wind Energy Hand Book*, John Wiley & Sons.