

# RANCANGAN SISTEM ORIENTASI EKOR TURBIN ANGIN 50 kW

Suiistyo **Atmadi**, **Ahmad Jamaludin** Fitroh  
Peneliti Pusat Teknologi Terapan, LAPAN

## ABSTRACT

A fin orientation system for wind turbine with a maximum capacity of 50 kW has been designed. The fin system is designed with for the yawing motion. The method used is based on the moment equilibrium criteria. Eccentricity distance of 10 cm was selected for the design. The location of the fin control is placed at the connection between the generator and the fin bar. The design produces a fin bar of 6m, with the fin area of 25 m<sup>2</sup>. The centre of the fin force is located at 3 m from the nose. Whereas the fin angle to the centre of the turbine axis is 21.9 degrees.

Keywords : *Wind turbin, Fin, Orientation*

## ABSTRAK

Telah dilakukan rancangan sistem orientasi ekor untuk turbin angin berkapasitas maksimum 50 kW. Sistem ekor dirancang dengan orientasi arah gerakan horisontal (*yaw*). Metode yang digunakan adalah kesetimbangan momen. Jarak eksentrisitas dipilih sebesar 10 cm. Pengatur sudut ekor dipilih berada pada posisi sambungan antara generator dan batang ekor. Rancangan menghasilkan batang ekor sepanjang 6 m dengan luas daun ekor 25 m<sup>2</sup>, posisi titik tangkap gaya pada daun ekor 3 m dari ujung depan, dan sudut ekor terhadap poros turbin sebesar 21,9 derajat.

Kata kunci: *Turbin Angin, Ekor, Orientasi*

## 1 PENDAHULUAN

Sebuah turbin angin pada umumnya terdiri dari 5 komponen utama, yaitu sudu, generator, ekor dan orientasi, menara, dan sistem pengisian. Sudu berfungsi mengubah energi kinetik angin menjadi energi kinetik putar. Generator berfungsi mengubah energi kinetik putar menjadi energi listrik. Ekor dan orientasi berfungsi untuk mengatur arah sumbu rotor. Menara berfungsi sebagai penyangga sudu, generator, dan ekor. Sistem pengisian mengatur pemasukan listrik dari generator ke beban atau penyimpanan energi listrik.

Ekor dan orientasi berfungsi sebagai pengatur arah sumbu rotor. Pada umumnya ekor dirancang sedemikian rupa agar sumbu rotor selalu menghadap arah angin. Dengan demikian daya angin yang dapat diserap oleh sudu akan maksimal.

Sistem orientasi biasanya dirancang juga sebagai pengaman terhadap terjadinya putaran yang terlalu tinggi (*over speed*). Pada kondisi kecepatan angin di atas kecepatan angin rancangan (*rated*), putaran atau RPM sudu dan generator akan melebihi putaran rancangan sehingga terjadi *over speed*. Kondisi tersebut tidak diinginkan karena dapat merusak sudu dan generator. Dengan demikian sistem orientasi dirancang sedemikian rupa sehingga pada kondisi kecepatan angin di atas kecepatan angin *rated*, ekor dan orientasi mulai membelok. Pada kondisi tersebut kecepatan angin efektif yang diterima sudu akan berkurang sehingga *over speed* dapat dihindari.

Gerak ekor dan orientasi secara umum dapat digolongkan menjadi 2, yaitu :

- Gerakan horisontal (*yaw oriented*),

- Gabungan gerakan vertikal dan horisontal (*pitch - yaw oriented*).

Gerakan berbasis *yaw oriented* berarti ekor bergerak memutar ke kanan dan ke kiri. Perpaduan antara keduanya disebut sebagai *pitch-yaw oriented*.

Ekor dan orientasi berbasis *yaw oriented* juga dapat dibagi menjadi 2 golongan, yaitu dengan dan tanpa pegas atau peredam kejut. Ekor pada sistem orientasi yang menggunakan peredam kejut akan selalu menghadap arah angin. Arah sumbu rotor terhadap arah angin sangat dipengaruhi oleh tekanan dan sudut peredam kejut. Ekor pada sistem orientasi tanpa peredam kejut akan selalu searah dengan sumbu rotor. Arah sumbu rotor terhadap arah angin dipengaruhi oleh jarak eksentrisitas, yaitu jarak antara sumbu menara dan titik berat generator.

## 2 BATASAN MASALAH

Penelitian dilakukan untuk turbin angin kapasitas 50 kW dengan spesifikasi umum, mempunyai 3 buah sudu *upwind* dengan diameter rotor 15m dan dengan kecepatan angin rancangan 10 m/det.

Pada penelitian ini ekor dan orientasi turbin angin 50 kW dirancang untuk *yaw oriented*. Dengan demikian berat sudu dan ekor tidak diperhitungkan.

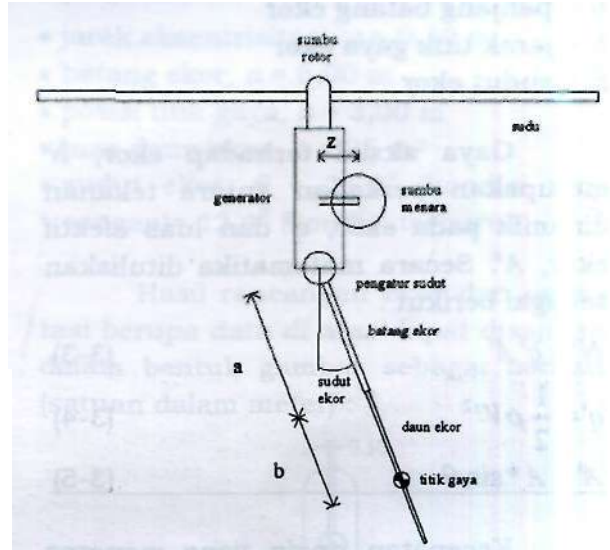
Penelitian dilakukan dalam 2 tahap, yaitu :

- Dengan mengasumsikan bahwa sudu dapat beroperasi sesuai dengan rancangan, yaitu pada kecepatan angin 10 m/det sudu akan berputar pada 100 RPM dan menghasilkan daya 50 kW,
- Dengan mengasumsikan bahwa sudu tidak dapat beroperasi dengan baik. Pada kondisi tersebut sudu diasumsikan hanya menghasilkan 20 kW pada kecepatan angin rancangan, yaitu 10 m/det. Pada kondisi tersebut kecepatan putar sudu bersesuaian dengan 60 RPM.

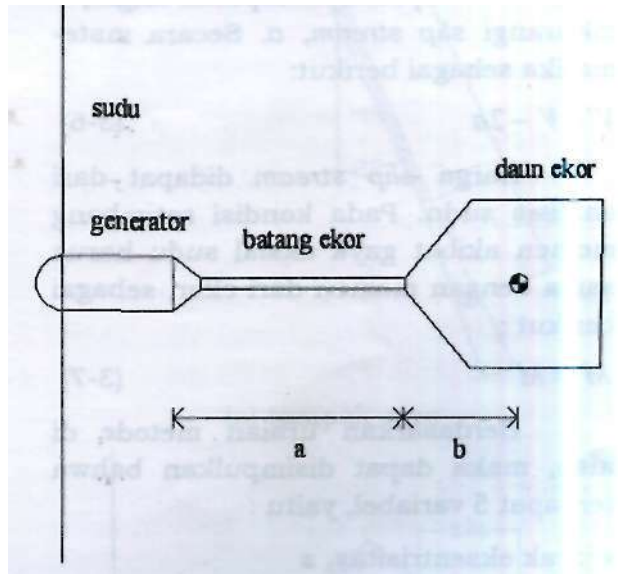
Kedua tahap tersebut akan menghasilkan jarak eksentrisitas, panjang batang ekor, bentuk dan dimensi ekor yang sama. Yang membedakan adalah sudut ekor.

## 3 METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan adalah kesetimbangan momen dalam arah *yaw*. Perhatikan sketsa berikut:



(a) tampak atas



(b) tampak samping

Gambar 3-1: Sketsa turbin angin

Pusat kesetimbangan momen dapat dipilih pada sumbu menara. Momen akibat gaya aksial dari sudu dituliskan sebagai berikut:

$$M = N_z \quad (3-1)$$

Keterangan:

AT = gaya aksial sudu

z = jarak eksentrisitas

Momen penyeimbang dari ekor dituliskan sebagai berikut :

$$M' = N'(a + b) \cdot \sin \theta \quad (3-2)$$

Keterangan: |

$N'$  = gaya aksial terhadap ekor

$a$  = panjang batang ekor

$b$  = jarak titik gaya ekor

$\theta$  = sudut ekor

Gaya aksial terhadap ekor,  $N'$  merupakan perkalian antara tekanan dinamik pada ekor,  $q'$  dan luas efektif ekor,  $A'$ . Secara matematika dituliskan sebagai berikut:

$$N' = q' A' \quad (3-3)$$

$$(3-4)$$

$$A' = A \cdot \sin \theta \quad (3-5)$$

Kecepatan angin yang menimpa ekor,  $V$  merupakan kecepatan angin,  $V$  dikurangi *slip stream*,  $a$ . Secara matematika sebagai berikut:

$$V' = V - 2a \quad (3-6)$$

Harga *slip stream* didapat dari analisis sudu. Pada kondisi setimbang momen akibat gaya aksial sudu harus sama dengan momen dari ekor, sebagai berikut :

$$M = M' \quad (3-7)$$

Berdasarkan uraian metode di atas, maka dapat disimpulkan bahwa terdapat 5 variabel, yaitu :

- jarak eksentrisitas,  $z$
- panjang batang ekor,  $a$
- posisi titik gaya ekor,  $b$
- luas daun ekor,  $A$
- sudut ekor,  $\theta$

Semua variabel di atas bersesuaian satu sama lain. Misalnya apabila  $z$ ,  $a$ ,  $b$ , dan  $A$  ditentukan, maka  $\theta$  dihitung.

## 4 HASIL PENELITIAN

Pada penelitian ini semua variabel divariasikan kecuali sudut ekor  $\theta$ , sehingga harga  $\theta$  harus dihitung. Bentuk daun ekor dipilih sama dengan Gambar 3-1. Variasi keempat variabel tersebut adalah:

- $z = 0,05 - 0,20$  m
- $a = 6,00 - 8,00$  m
- $b = 3,00 - 4,19$  m
- $A = 25,0 - 35,0$  m

Harga  $b$  didapat setelah harga  $A$  dipilih atau dihitung.

Seperti yang telah dijelaskan pada Bab Batasan Masalah bahwa penelitian dilakukan dalam 2 tahap, yaitu:

- Sudu diasumsikan dapat berputar pada kondisi rancangan, yaitu pada kecepatan angin 10 m/det sudu dapat berputar dengan kecepatan 100 RPM.
- Sudu diasumsikan beroperasi pada kondisi terburuk, yaitu pada kecepatan angin 10 m/det sudu hanya berputar pada kecepatan 60 RPM.

Kedua kondisi tersebut menghasilkan gaya aksial sudu sebagai berikut:

Tabel 4-1: GAYA AKSIAL SUDU

Kondisi	Gaya Aksial (N)
rancangan	7427
terburuk	4124

Besarnya *slip stream* rata-rata pada kedua kondisi tersebut tentunya juga berbeda, yaitu :

Tabel 4-2 SLIP STREAM

Kondisi	Slip Stream
rancangan	0,188
terburuk	0,098

Variasi hasil rancangan ekor dan orientasi disajikan dalam tabel berikut:

Tabel 4-2 : VARIASI HASIL RANCANGAN

r (m)	a (m)	b (m)	A m <sup>2</sup>	Sudut Ekor (derajat)	
				Kondisi Rancangan	Kondisi Terburuk
0,05	6,00	3,00	25	15,2	8,7
		3,59	30	13,4	7,7
		4,19	35	12,0	6,9
	7,00	3,00	25	14,4	8,3
		3,59	30	12,8	7,3
		4,19	35	11,5	6,6
	8,00	3,00	25	13,8	7,9
		3,59	30	12,2	7,0
		4,19	35	11,0	6,3
0,10	6,00	3,00	25	21,9	12,4
		3,59	30	19,2	10,9
		4,19	35	17,2	9,8
	7,00	3,00	25	20,7	11,8
		3,59	30	18,2	10,4
		4,19	35	16,3	9,4
	8,00	3,00	25	19,7	11,2
		3,59	30	17,3	9,9
		4,19	35	15,7	9,0
0,15	6,00	3,00	25	27,0	15,2
		3,59	30	23,8	13,5
		4,19	35	21,2	12,0
	7,00	3,00	25	25,6	14,4
		3,59	30	22,4	12,8
		4,19	35	20,2	11,5
	8,00	3,00	25	24,2	13,8
		3,59	30	21,5	12,2
		4,19	35	19,3	11,0
0,20	6,00	3,00	25	31,7	17,7
		3,59	30	27,8	15,6
		4,19	35	24,7	14,0
	7,00	3,00	25	30,0	16,8
		3,59	30	26,3	14,8
		4,19	35	23,5	13,3
	8,00	3,00	25	28,4	16,0
		3,59	30	25,0	14,2
		4,19	35	22,5	12,7

Pada umumnya batang ekor dipilih sependek mungkin dan daun ekor dipilih sekecil mungkin. Hal tersebut dikarenakan supaya batang dan daun ekor menjadi lebih ringan sehingga mempermudah pemasangan.

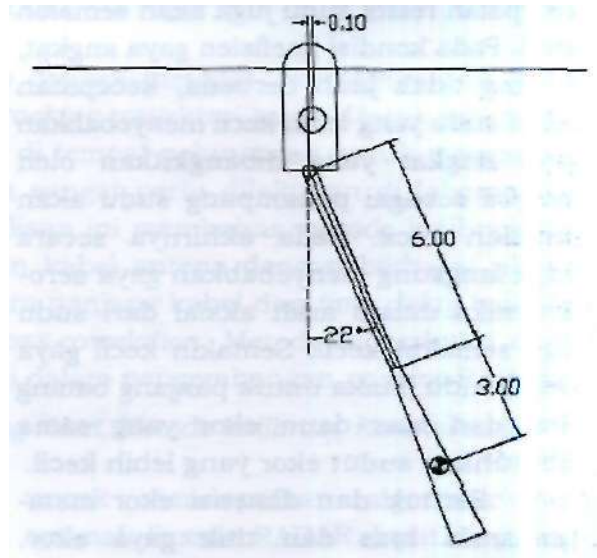
Untuk daya dan sudu rancangan yang sama, pemilihan batang dan daun ekor yang sekecil mungkin akan meng-

hasilkan sudut ekor yang lebih besar, demikian juga sebaliknya.

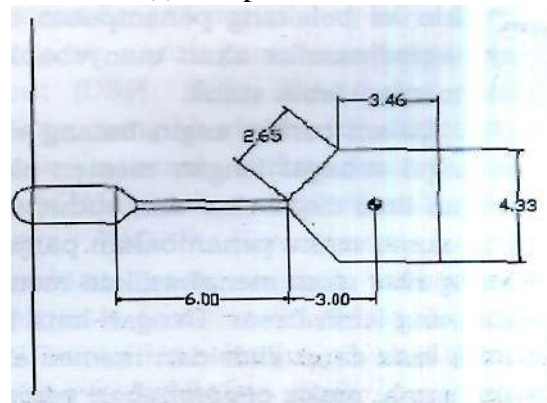
Dalam penelitian ini sudut ekor dipilih tidak lebih dari 25 derajat. Batang ekor dipilih sependek mungkin, yaitu sepanjang 6 m. Kedua batasan tersebut bersesuaian dengan jarak eksentrisitas sebesar 0,10 m, posisi titik gaya ekor berjarak 3,00 m, dan daun ekor seluas 25 m<sup>2</sup>. Hasil rancangan tersebut adalah sebagai berikut:

- jarak eksentrisitas,  $z = 0,10$  m
- batang ekor,  $a = 6,00$  m
- posisi titik gaya,  $b = 3,00$  m
- luas daun ekor,  $A = 25$  m<sup>2</sup>
- sudut ekor,  $\theta - 21,9^\circ$  (kondisi rancangan) =  $12,4^\circ$  (kondisi terburuk)

Hasil rancangan ekor dan orientasi berupa data di atas dapat disajikan dalam bentuk gambar sebagai berikut (satuan dalam meter) :



(a) tampak atas



(b) tampak samping

Gambar 4-1: Hasil rancangan



Perlu ditekankan kembali bahwa sudut ekor sebesar 21,9 derajat merupakan sudut ekor rancangan. Apabila kecepatan putar sudu kurang dari rancangan, maka sudut ekor harus dikurangi. Misalnya pada kondisi kecepatan angin 10 m/det dan kecepatan putar sudu hanya 60 RPM, maka sudut ekor harus dikurangi menjadi 12,4 derajat.

## 5 ANALISIS HASIL PENELITIAN

Pada kondisi rancangan sudu dapat berputar dengan kecepatan 100 RPM. Apabila prestasi sudu tidak sesuai dengan rancangan atau kondisi operasional sudu tidak sesuai dengan kondisi operasional generator, maka putaran sudu akan lebih lambat dari rancangan. Untuk kecepatan angin yang sama, semakin lambat putaran sudu maka kecepatan relatif sudu juga akan semakin kecil. Pada kondisi keefisien gaya angkat,  $c_l$ : yang tidak jauh berbeda, kecepatan relatif sudu yang lebih kecil menyebabkan gaya angkat yang dibangkitkan oleh *aerofoil* sebagai penampang sudu akan semakin kecil. Pada akhirnya secara tidak langsung menyebabkan gaya aerodinamika dalam arah aksial dari sudu juga semakin kecil. Semakin kecil gaya aksial sudu, maka untuk panjang batang ekor dan luas daun ekor yang sama dibutuhkan sudut ekor yang lebih kecil.

Bentuk dan dimensi ekor mempengaruhi luas dan titik gaya ekor. Untuk luas daun ekor yang sama, semakin ke belakang penempatan titik gaya aerodinamika akan menyebabkan ekor menjadi lebih stabil.

Dalam turbin angin batang ekor berfungsi sebagai lengan momen ekor. Dengan luas daun ekor dan sudut ekor yang sama, maka penambahan panjang batang ekor akan menghasilkan momen ekor yang lebih besar. Dengan kata lain untuk luas daun ekor dan momen ekor yang sama, maka penambahan panjang batang ekor akan menyebabkan sudut ekor yang dibutuhkan menjadi lebih kecil.

Jarak eksentrisitas sangat mempengaruhi kestabilan orientasi. Perkaliian antara gaya aksial sudu dan jarak eksentrisitas menghasilkan momen sumbu rotor. Semakin besar momen sumbu rotor, maka sudut ekor yang diperlukan untuk kesetimbangan juga semakin besar.

## 6 KKSIMPULAN

- Untuk sistem orientasi dan ekor yang sederhana seperti *yaw oriented* tanpa pegas atau peredam kejut dapat digunakan pada turbin angin 50 kW, dengan jarak eksentrisitas dipilih sebesar 10 cm. Pengatur sudut ekor dipilih berada pada posisi sambungan antara generator dan batang ekor. Rancangan menghasilkan batang ekor sepanjang 6 m dengan luas daun ekor 25 m<sup>2</sup>, posisi titik tangkap gaya pada daun ekor 3 m dari ujung depan, dan sudut ekor terhadap poros turbin sebesar 21,9 derajat.
- Untuk menambah kestabilan orientasi, dapat ditambahkan peredam kejut, yang dapat pula memperkecil daun ekor serta memperpendek batang ekor.
- Untuk sistem orientasi yang optimal dapat dilakukan dengan sistem orientasi berbasis *pitch - yaw oriented*, yang juga memperhitungkan berat batang dan daun ekor.

## DAFTAR RUJUKAN

- Anderson, John D., 1985. *Fundamentals of Aerodynamics*, McGraw Hill Company, Singapore.
- De Renzo, D. J., 1979. *Wind Power [Recent Development]*, Noyes Data Corporation, Park Ridge, New Jersey, U.S.A.
- Desire Le Gourieres, 1982. *Wind Power Plants, Theory and Design*, Pergamon Press.
- L.L. Freris, 1990. *Wind Energy Conversion System*, Prentice Hall, UK.
- Tony Burton, et. al. 2001. *Wind Energy Hand Book*, John Wiley & Sons.