

PENGARUH VARIASI SUDUT SERANG SUDU PADA PRESTASI TURBIN ANGIN

Sullstyo Atmadi*, Ahmad Jamaludin Filtroh", Firman Hartono")
•ipeneliti Pusat Teknologi Dirgantara Terapan, LAPAN
"iPeneliti Teknik Penerbangan ITB

ABSTRACT

Research on variations of angle of attack turbine blade has been conducted to investigate their correlation with wind turbine performances, and for these purposes, AEROFOIL LS (1)-0417 MOD has been selected with 4 angle variations. The first variation is selected with constant slipstream, the second with C_{lmax} of 0.3, while the third and fourth variations with C_{lmax} of 0.5 and 0.7 respectively. Based on blade element and momentum theory for obtaining efficiency, the following results for all the four variations are 18,15 %, 16,46%, 16,15 % and 16,26 %. Hence, it can be concluded that, a highest efficiency is obtained with a constant slipstream as in case 1. In practice, to achieve such configuration, a more accurate blade fabrication process is required to obtain the highest efficiency.

Telah dilakukan penelitian pengaruh variasi sudut serang sudu pada turbin angin. Dipilih *aerofoil* AEROFOIL LS (1J-0417 MOD dengan empat variasi sudut serang, sudu pertama dengan variasi sudut serang dengan *slip stream* konstan, sudu kedua dengan c_{lmax} pada 0,3 dan sudu ketiga dan keempat dengan c_{lmax} masing masing berturut-turut 0,5 dan 0,7. Dengan menggunakan metoda *Blade Element* dan *Momentum Theory*, diperoleh efisiensi berturut turut untuk sudu 1,2,3 dan 4 adalah 18,15 %, 16,46%, 16,15 % dan 16,26 %. Dengan demikian diperoleh kesimpulan bahwa dengan membuat *slip stream* konstan seperti pada sudu 1, maka diperoleh efisiensi yang paling tinggi, namun demikian dalam pelaksanaan pembuatan sudu diperlukan ketelitian yang lebih tinggi untuk memperoleh hasil yang diinginkan.

Kata kunci: *Sudu, Sudut serang*

1 PENDAHULUAN

Sudu merupakan komponen turbin angin yang paling penting, karena fungsinya sebagai pengubah energi angin menjadi energi mekanik yang memutar generator untuk dijadikan listrik, atau keperluan lainnya seperti pemompaan air.

Dengan demikian maka konfigurasi/prestasi sudu yang optimal merupakan kriteria yang harus dipenuhi dalam merancang turbin angin, tentunya dengan mengoptimalkan juga proses pembuatan yang memungkinkan untuk bentuk sudu yang diperoleh dari rancangan.

Dalam rancangan ini dibandingkan sudu dengan *slip stream* konstan dengan sudu yang tidak konstan, terhadap beberapa variasi c_{lmax} -

Sudu dengan *slip stream* konstan dalam proses pembuatannya memerlukan ketelitian yang tinggi, maka diperlukan penelitian seberapa besar pengaruhnya terhadap prestasi turbin angin tersebut, yang akan mempengaruhi pengambilan keputusan bentuk sudu yang bagaimana yang akan dibuat.

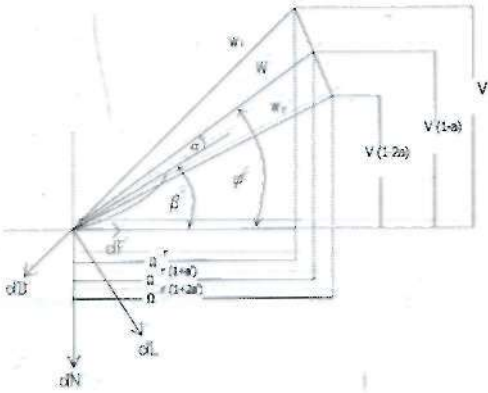
2 TEORI

Teori yang digunakan untuk merancang sudu dan kemudian memban-

dingkannya adalah *Blade Element Theory* dan *Momentum Theory*, yaitu dengan menerapkan hukum kekekalan massa dan momentum.

2.1 Blade Element Theory

Persamaan-persamaan pada *Blade Element Theory*, didasarkan pada arah dan gaya yang terjadi pada sudu seperti terlihat pada Gambar 2-1.



Gambar 2-1: Arah kecepatan dan gaya pada elemen sudu

Komponen gaya normal dan gaya putar diperlihatkan pada persamaan 2-1 dan 2-2 sbb:

$$dN = B \frac{1}{2} \rho w^2 c c_l \cos \varphi \left(1 + \frac{c_d}{c_l} \tan \varphi \right) dr \quad (2-1)$$

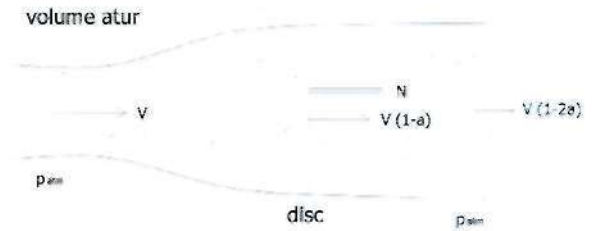
$$dF = B \frac{1}{2} \rho w^2 c c_l \sin \varphi \left(1 - \frac{c_d}{c_l} \cot \varphi \right) dr \quad (2-2)$$

dengan

- D = gaya hambat (N/m)
- N = gaya normal (N/m)
- L = gaya angkat (N/m)
- F = gaya putar (N/m)
- Ω = kecepatan putar (rad/s)
- r = jarak dari ke hub ke elemen sudu (m)
- a = slip stream
- V = kecepatan angin (m/s)
- w = kecepatan relatif (m/s)
- β = sudut pasang sudu / twist (deg)
- α = sudut serang (deg)
- φ = sudut aliran (deg)
- B = jumlah sudu
- c = chord (m)
- c_l = koefisien gaya angkat
- ρ = kerapatan udara (kg/m^3)

2.2 Momentum Theory

Persamaan untuk *Momentum Theory* didasarkan pada volume atur seperti terlihat pada Gambar 2-2 :



Gambar 2-2: Volume atur pada teori momentum

Persamaan-persamaan tersebut adalah sebagai berikut:

$$dN = 4 \rho V^2 \pi r (1-a) a \dots \dots \dots \text{no losses} \quad (2-3)$$

$$dN = 4 \rho V^2 \pi r (1-a) a \left(1 + \frac{c_d}{c_l} \tan \varphi \right) dr \quad (2-4)$$

Persamaan tambahan yang diperlukan,

$$dQ = r dF \quad (2-5)$$

$$Q = \int dQ \quad (2-6)$$

dengan

$$Q = \text{torsi (N.m)}$$

sehingga *power* yang dihasilkan oleh turbin angin adalah

$$P_{av} = \Omega Q \quad (2-7)$$

Efisiensi sebuah turbin angin dapat diformulasikan sebagai perbandingan antara *power* yang dapat diserap oleh turbin angin terhadap *power* yang dibawa oleh angin, atau secara matematik dapat dituliskan sebagai berikut:

$$\eta = \frac{P_{av}}{\frac{1}{2} \rho V^2 \frac{1}{4} \pi D^2 V} = \frac{P}{\frac{1}{8} \rho \pi D^2 V^3} \quad (2-8)$$

3 DATA SUDU

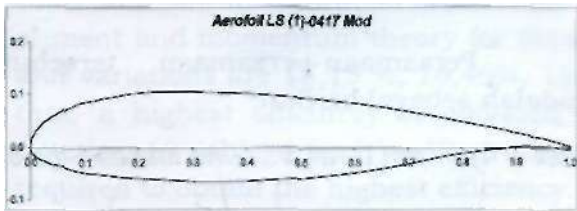
Sudu yang digunakan untuk penelitian mempunyai karakteristik sebagai berikut :

Aerofoil yang dipilih : AEROFOIL LS (1J-0417 MOD dengan 4 variasi distribusi sudut serang sebagai berikut:

- Sudu dengan *slip stream* konstan.
- Sudu dengan *cl/cd* diusahakan konstan pada 0,3.
- Sudu dengan *cl/cd* diusahakan konstan pada 0,5.
- Sudu dengan *cl/cd* diusahakan konstan pada 0,7.

Panjang sudu 5 m.

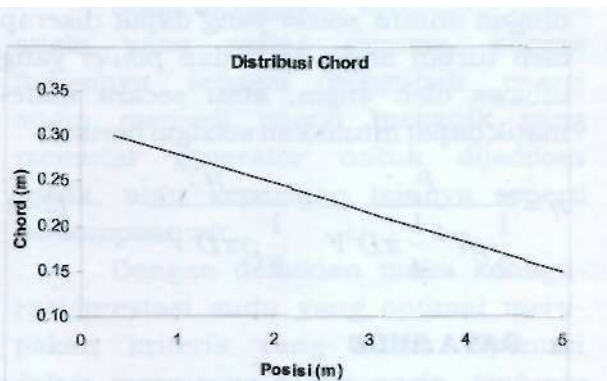
Sudu di uji pada kecepatan angin 5 m/det.



Gambar 3-1: Aerofoil LS (1)-0417

Tabel 3-1: DISTRIBUSI *CHORD* SUDU (M)

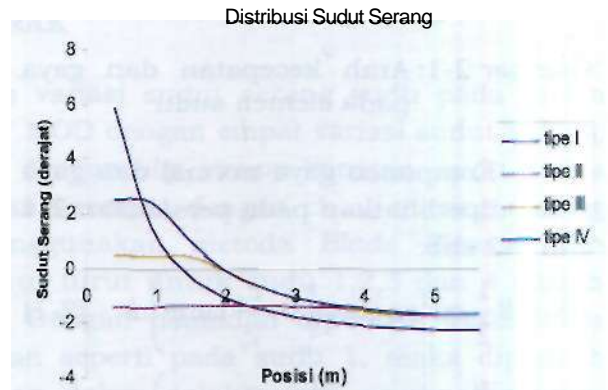
Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	0.300	0.300	0.300	0.300
0.815	0.285	0.285	0.285	0.285
1.280	0.270	0.270	0.270	0.270
1.745	0.255	0.255	0.255	0.255
2.210	0.240	0.240	0.240	0.240
2.675	0.225	0.225	0.225	0.225
3.140	0.210	0.210	0.210	0.210
3.605	0.195	0.195	0.195	0.195
4.070	0.180	0.180	0.180	0.180
4.535	0.165	0.165	0.165	0.165
5.000	0.150	0.150	0.150	0.150



Gambar 3-2: Grafik Distribusi *chord* sudu

Tabel 3-2: DISTRIBUSI SUDUT SERANG (DERAJAT)

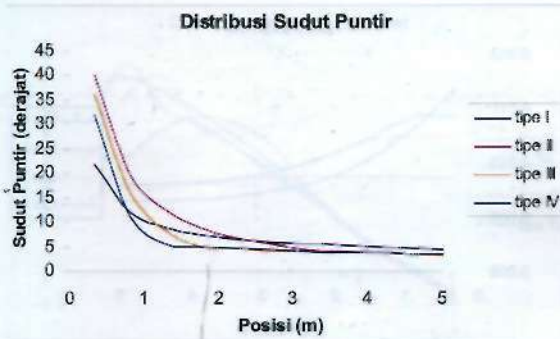
Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	5.94	-1.32	0.56	2.55
0.815	1.63	-1.35	0.56	2.51
1.280	-0.11	-1.31	0.55	1.20
1.745	-0.96	-1.29	0.04	0.04
2.210	-1.44	-1.31	-0.61	-0.61
2.675	-1.73	-1.35	-1.01	-1.01
3.140	-1.93	-1.34	-1.27	-1.28
3.605	-2.05	-1.48	-1.44	-1.44
4.070	-2.13	-1.57	-1.54	-1.54
4.535	-2.16	-1.63	-1.59	-1.60
5.000	-2.17	-1.63	-1.60	-1.60



Gambar 3-3: Grafik Distribusi sudut serang

Tabel 3-3: DISTRIBUSI SUDUT PUNTIR (DERAJAT)

Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	21.76	40.06	36.29	31.99
0.815	12.31	19.96	16.26	11.64
1.280	9.24	12.74	8.62	5.80
1.745	7.71	9.15	5.13	5.24
2.210	6.79	7.06	4.79	4.79
2.675	6.16	5.72	4.40	4.47
3.140	5.70	4.50	4.22	4.29
3.605	5.34	4.14	4.07	4.01
4.070	5.05	3.84	3.82	3.82
4.535	4.78	3.75	3.64	3.73
5.000	4.54	3.51	3.49	3.49



Gambar 3-4: Grafik distribusi sudut puntir

Sudu tipe 1:



Sudu tipe 2:



Sudu tipe 3:



Sudu tipe 4:



Gambar 3-5: Posisi penampang aerofoil pada pangkal (aerofoil besar) dan aerofoil pada ujung (aerofoil kecil).



Gambar 3-6: Sudu tipe 1 terpasang pada hub-nya

4 ANALISA DAN HASIL

Dari analisa dengan kondisi sebagai berikut :

Kecepatan angin, $V = 5 \text{ m/s}$

Diameter hub, $D_{\text{hub}} = 0.7 \text{ m}$

Kondisi operasional = sea level

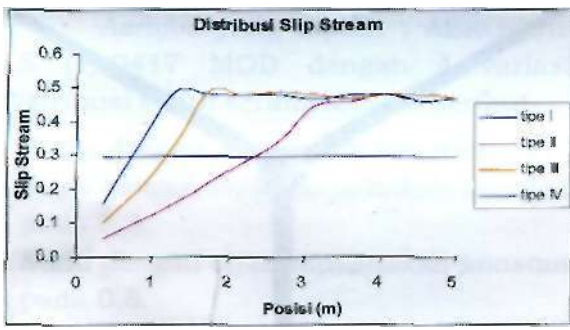
Jumlah sudu, $B = 3$

Sudu = AEROFOIL LS (1)-0417 MOD

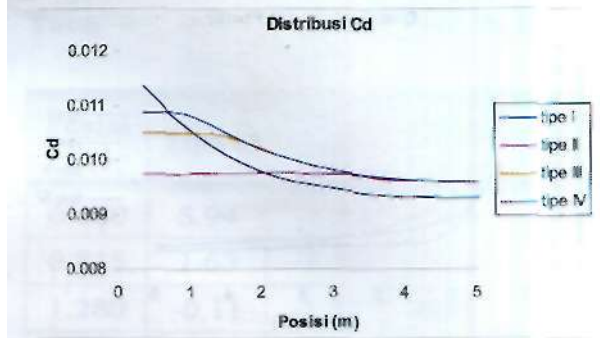
Diperoleh hasil penelitian sebagai berikut :

Tabel 4-1: DISTRIBUSI SLIPSTREAM

Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	0.300	0.058	0.103	0.156
0.815	0.300	0.104	0.194	0.322
1.280	0.300	0.160	0.330	0.490
1.745	0.300	0.220	0.490	0.480
2.210	0.300	0.280	0.480	0.480
2.675	0.300	0.340	0.490	0.480
3.140	0.300	0.440	0.480	0.470
3.605	0.300	0.460	0.470	0.480
4.070	0.300	0.480	0.480	0.480
4.535	0.300	0.460	0.480	0.460
5.000	0.300	0.470	0.470	0.470



Gambar 4-1:Grafik Distribusi *slip stream*



Grafik 4-3: Distribusi Cd

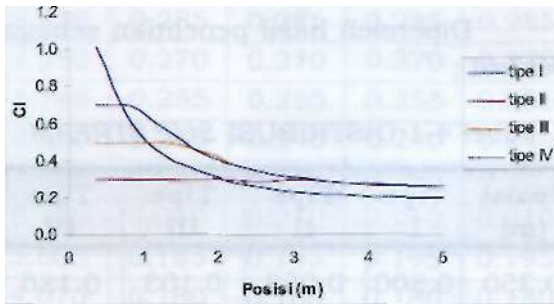
Tabel 4-2: DISTRIBUSI CI

Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	1.02	0.30	0.50	0.70
0.815	0.61	0.30	0.50	0.70
1.280	0.43	0.30	0.50	0.57
1.745	0.34	0.30	0.45	0.45
2.210	0.29	0.30	0.38	0.38
2.675	0.26	0.30	0.34	0.34
3.140	0.23	0.30	0.31	0.31
3.605	0.22	0.28	0.29	0.29
4.070	0.21	0.27	0.28	0.28
4.535	0.21	0.27	0.27	0.27
5.000	0.21	0.27	0.27	0.27

Tabel 4-4: DISTRIBUSI CI/Cd

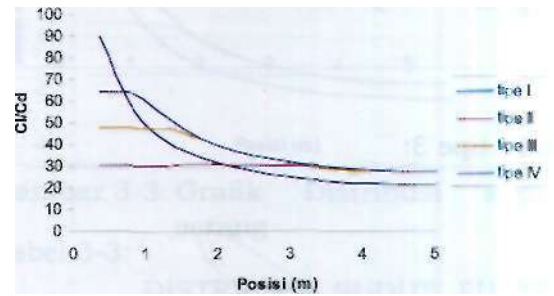
Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	90	31	48	65
0.815	57	31	48	64
1.280	42	31	48	53
1.745	34	31	43	43
2.210	30	31	38	38
2.675	27	31	34	34
3.140	25	31	31	31
3.605	23	29	30	30
4.070	23	28	29	29
4.535	22	28	28	28
5.000	22	28	28	28

Distribusi CI



Gambar 4-2:Grafik distribusi CI

Distribusi CI/Cd



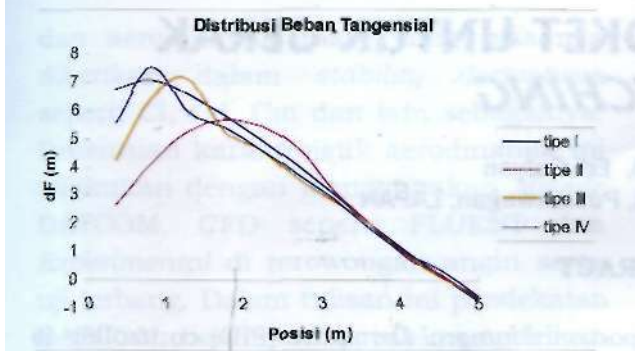
Gambar 4-4: Grafik distribusi CI/Cd

Tabel 4-3: DISTRIBUSI Cd

Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	0.0114	0.0098	0.0105	0.0109
0.815	0.0108	0.0098	0.0105	0.0109
1.280	0.0103	0.0098	0.0105	0.0107
1.745	0.0099	0.0098	0.0104	0.0104
2.210	0.0097	0.0098	0.0101	0.0101
2.675	0.0096	0.0098	0.0099	0.0099
3.140	0.0095	0.0098	0.0098	0.0098
3.605	0.0094	0.0097	0.0097	0.0097
4.070	0.0094	0.0096	0.0097	0.0097
4.535	0.0093	0.0096	0.0096	0.0096
5.000	0.0093	0.0096	0.0096	0.0096

Tabel 4-5: Distribusi beban tangensial N/m

Posisi (m)	Tipe I	Tipe II	Tipe III	Tipe IV
0.350	6.75	2.63	4.21	5.54
0.815	7.06	4.13	6.41	7.52
1.280	6.57	5.22	7.11	5.94
1.745	5.85	5.67	5.26	5.39
2.210	4.98	5.45	4.59	4.59
2.675	4.02	4.68	3.56	3.69
3.140	3.01	3.12	2.76	2.89
3.605	1.99	1.95	1.94	1.82
4.070	1.00	0.79	0.90	0.90
4.535	0.09	0.17	0.06	0.30
5.000	-0.71	-0.70	-0.56	-0.56



Gambar 4-5: Grafik distribusi beban tangensial

Tabel 4-6: PERBANDINGAN PRESTASI SUDU

Tipe Bilah	Diameter (m)	RPM	Torsi (Nm)	Daya (Watt)	Efisiensi i (%)	$V \ll \ll (W_G)$
I	10	160.1	65.05	1091	18.15%	2.93
II	10	154.4	61.18	989	16.46%	2.97
III	10	153.3	60.46	971	16.15%	3.24
IV	10	153.7	60.72	978	16.26%	3.33

5 KESIMPULAN

Dari analisis dan penelitian tersebut di atas, dapat dibuat beberapa kesimpulan sebagai berikut.

- Aerofoil yang dipilih sebagai penampang sudu adalah AEROFOIL LS (1)-0417 dengan modifikasi.
- Dari keempat konfigurasi sudu, ternyata sudu dengan *slip stream* konstan mempunyai prestasi yang paling baik, yaitu efisiensi 18,15 %, ini sesuai dengan kondisi Betz.
- Untuk pembuatan sudu dengan *slip stream* konstan diperlukan ketelitian yang tinggi.

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 Grawhill company, Singapore.
- Kueth, Arnold M; Chow, Chuen yen, *Foundations of Aerodynamics: Bases of Aerodynamic Design*, John Wiley & Sons, Inc, New York.