

PERHITUNGAN DAN ANALISIS *LOSSES*, DIAMETER EFEKTIF ROTOR, DAN PENYERAPAN DAYA DAN ENERGI PADA *DIFFUSER AUGMENTED WIND TURBINE (DAWT)*

Sulistyo Atmadi*), Ahmad Jamaludin Fitroh**)

*) Peneliti Pusat Teknologi Penerbangan

***) Peneliti Kepakaran Aerodinamika

e-mail: sulistyoa@aerospaceitb.org

Diterima 24 September 2011; Disetujui 29 November 2011

ABSTRACT

The use of diffuser in wind turbine (DAWT) is aimed at increasing the effective speed to produce a higher power. A bigger and heavier turbine results in difficulty in manufacturing the turbine orientation system. This research consists of three parts i.e. the calculation and analysis of the losses, determination of the effective diameter of the rotor, and the calculation and analysis of the absorbed energy by DAWT. The losses calculation and analysis is based on the friction between the airflow and wall. The diameter of the rotor is chosen in the diffuser area which has minimum turbulence flow produced by the wind angle. The calculation and analysis of the power is based on its rotor diameter. Then the power converted to become energy. In this research, DAWT is assumed to have no orientation system so that easily manufactured, i.e. the rotor is oriented at a single direction. Wind direction and frequency is selected in three configurations. In the first configuration, the wind direction comes from all the twelve wind source direction with the same frequency in the 24 hour period, producing 2 hourly periods for every wind direction. In the second configuration, wind from 90° and 270° or perpendicular to the axial turbine axes are eliminated, and hence producing 10 different wind directions at 2.4 hourly periods. In the third configuration, the turbine is set at the beach whereby the wind direction comes only at two direction; the sea and land wind directions. At these conditions, the wind is assumed to come at 0° , 30° , 150° , 180° , 210° , and 330° . The aim of this research is to calculate the energy absorption of the wind rotor, and comparing with those produced without the diffuser system in place. In this research, a 2m rotor diameter and 4m diffuser diameter is selected, power coefficient of 0.3, wind speed of 5m/sec, and these parameters are constant for the 24 period under analysis. The result of the calculation shows that there are losses near wall especially for high wind angle. The rotor diameter have chosen about 1,940 m. The energy absorption of the wind rotor without the diffuser is 6.231 kJ. The energy absorption values for the 1st, 2nd and 3rd configuration with the diffuser produce 54.361, 65.234, and 101.316 kJ respectively. It shows that the use of diffuser in the wind rotor could produce an increase of up to 9 to 16 times in the power absorption of the rotor.

Keywords: *Wind turbine, DAWT, Electrical energy, Losses*

ABSTRAK

Penggunaan difuser pada turbin angin (DAWT) adalah untuk menaikkan kecepatan efektif sehingga daya yang dihasilkan juga akan meningkat. Penelitian ini terdiri dari tiga bagian, yaitu perhitungan dan analisis *losses*, penentuan diameter efektif rotor, dan perhitungan dan analisis energi yang dapat diserap oleh DAWT. Perhitungan dan analisis *losses* didasarkan pada adanya gesekan antara aliran udara dan permukaan difuser. Diameter rotor didasarkan pada daerah dalam difuser yang menerima sedikit gangguan atau turbulensi akibat adanya sudut aliran masuk difuser.

Perhitungan dan analisis daya didasarkan pada diameter efektif rotor tersebut. Daya tersebut selanjutnya dikonversi menjadi energi. Dalam penelitian ini *DAWT* diasumsikan tidak mempunyai sistem orientasi sehingga rotor menghadap ke satu arah saja. Arah dan frekuensi angin dipilih dalam tiga kondisi. Pada kondisi pertama, angin datang dari dua belas mata angin secara bergiliran dengan frekuensi yang sama selama 24 jam sehingga setiap mata angin berdurasi dua jam sehari. Pada kondisi kedua, angin dari arah 90° dan 270° atau tegak lurus terhadap sumbu aksial turbin angin ditiadakan sehingga sepuluh mata angin lainnya berdurasi 2,4 jam sehari. Pada kondisi ketiga, turbin angin diasumsikan dipasang di pantai sehingga secara umum angin datang dari dua arah, yaitu angin darat dan angin laut. Pada kondisi tersebut, angin diasumsikan datang dari arah sudut 0° , 30° , 150° , 180° , 210° , dan 330° . Dalam penelitian ini dipilih diameter *inlet* difuser 4 m, diameter *exit* difuser 2 m, koefisien daya rotor 0,3, kecepatan angin 5 m/det dan berharga konstan selama 24 jam sehari. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa terjadi *losses* yang cukup besar di dekat permukaan difuser, khususnya pada kondisi sudut aliran masuk difuser yang besar. Diameter rotor ditetapkan sebesar 1,940 m. Hasil perhitungan energi menunjukkan bahwa energi yang diserap rotor dalam sehari pada kondisi tanpa difuser, menggunakan difuser pada kondisi pertama, kondisi kedua, dan kondisi ketiga, masing-masing sebesar 6.231, 54.361, 65.234, dan 101.316 kJ. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan difuser pada turbin angin dapat meningkatkan energi listrik sebesar 9 hingga 16 kali.

Kata kunci : *Turbin angin, DAWT, Energi listrik, Losses*

1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pada penelitian sebelumnya telah dihitung kenaikan daya yang dihasilkan oleh rotor turbin angin akibat penggunaan difuser (*DAWT*) (Sulistyo Atmadi dan Ahmad Jamaludin Fitroh, 2011). Pada penelitian tersebut masih diasumsikan bahwa diameter *exit* difuser sama dengan diameter rotor. Namun pada kenyataan adanya *clearance* antara dinding difuser dan ujung sudu rotor menyebabkan diameter rotor harus lebih kecil dari diameter *exit* difuser. Dengan demikian perlu dihitung dan dianalisis efek *clearance* dan *losses* terhadap diameter rotor yang dapat digunakan.

Penggunaan difuser pada turbin angin dapat menaikkan daya hingga puluhan kali lipat. Namun konstruksinya yang lebih besar dan lebih berat akan menyulitkan dalam pembuatan sistem orientasinya sehingga beberapa *DAWT* tidak mempunyai sistem orientasi (K.M. Foreman, 1980; Michael Moeller Jr dan Kenneth Visser, 2008).

Dalam penelitian ini, perhitungan kenaikan daya tersebut dilanjutkan dengan perhitungan energi yang mampu diserap oleh rotor *DAWT*. Tentunya setelah memasukkan koreksi akibat adanya *clearance* dan *losses*. Tidak adanya sistem orientasi menyebabkan rotor hanya menyerap energi angin yang datang dari satu arah saja. Dengan demikian dalam penelitian kali ini akan dihitung apakah kenaikan daya akibat penggunaan difuser pada turbin angin akan sebanding dengan hilangnya kesempatan menyerap energi angin dari arah yang berbeda.

1.2 Tujuan

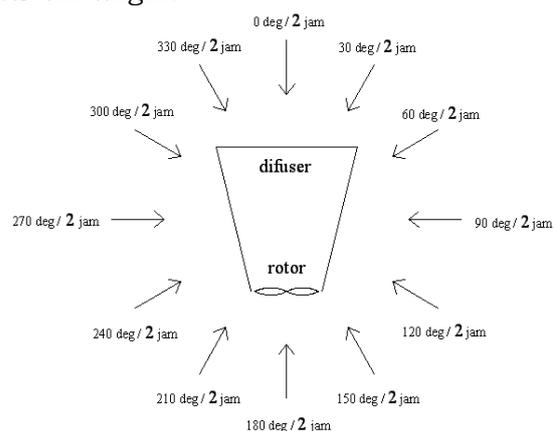
Penelitian ini mempunyai empat tujuan, yaitu untuk mengetahui *losses* dan *clearance*, menetapkan diameter rotor yang dapat digunakan, mendapatkan koreksi daya pada pengerjaan sebelumnya (Sulistyo Atmadi dan Ahmad Jamaludin Fitroh, 2011), dan mengetahui energi yang dapat diserap oleh *DAWT* pada beberapa kondisi angin tertentu. Hasil perhitungan energi tersebut selanjutnya dibandingkan dengan energi yang diserap jika tanpa menggunakan difuser.

1.3 Batasan Masalah

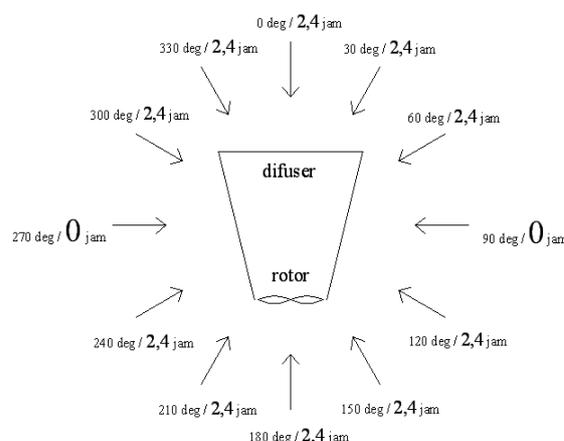
Dalam penelitian ini diameter rotor dipilih sebesar 2 m. Berdasarkan penelitian sebelumnya, diameter difuser dipilih sebesar dua kali diameter rotor sehingga diameter difuser menjadi 4 m. Perhitungan didasarkan pada kondisi permukaan laut sehingga kerapatan udara yang digunakan adalah $1,225 \text{ kg/m}^3$. Kecepatan angin disesuaikan dengan kondisi angin di Indonesia sehingga dipilih hanya sebesar 5 m/det. Koefisien daya rotor dipilih sebesar 0,3 (Sulistyo Atmadi dan Ahmad Jamaludin Fitroh, 2011).

Untuk mempermudah perhitungan, arah angin datang disesuaikan dengan jumlah mata angin. Dengan demikian energi dihitung pada kondisi dua belas mata angin. Namun demikian frekuensi angin yang berasal dari dua belas mata angin tersebut belum tentu seragam. Dalam penelitian ini dipilih tiga kondisi frekuensi arah angin. Pada kondisi pertama, angin datang dari dua belas mata angin secara bergiliran dengan frekuensi yang sama selama 24 jam sehari (Asumsi 24 jam untuk memudahkan analisa, bisa digunakan asumsi lain, namun kecenderungan analisis tetap sama) sehingga setiap mata angin berdurasi dua jam sehari. Pada kondisi kedua, angin dari arah 90° dan 270° atau tegak lurus terhadap sumbu aksial turbin angin ditiadakan sehingga sepuluh mata angin lainnya berdurasi 2,4 jam sehari. Pada kondisi ketiga, turbin angin diasumsikan dipasang di pantai sehingga secara umum angin datang dari dua arah, yaitu angin darat dan angin laut. Pada kondisi tersebut, angin diasumsikan datang dari arah sudut 0° , 30° , 150° , 180° , 210° , dan 330° . Sketsa ketiga kondisi tersebut disajikan dalam Gambar 1-1 dan Tabel 1-1. Notasi α dalam Tabel 1-1 menyatakan

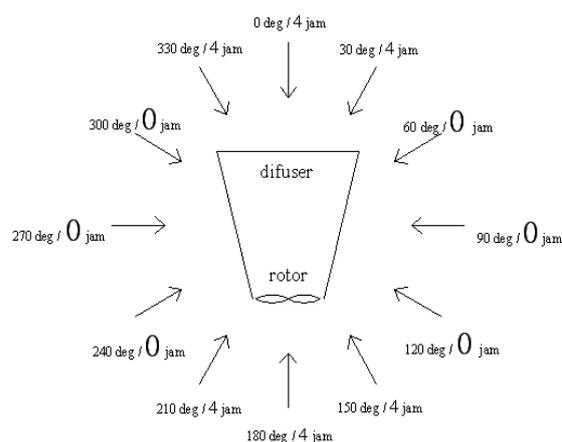
sudut angin terhadap sumbu aksial turbin angin.



Gambar 1-1-a : Kondisi - 1



Gambar 1-1-b : Kondisi - 2



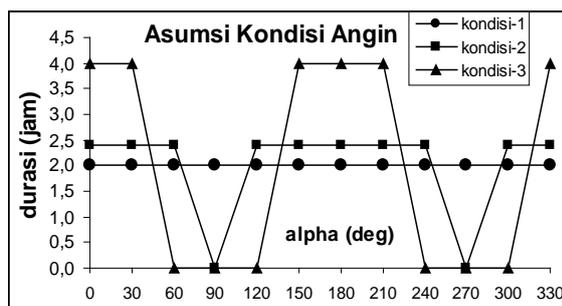
Gambar 1-1-c : Kondisi - 3

Selain disajikan dalam bentuk tabel, asumsi kondisi angin juga dapat disajikan dalam bentuk kurva seperti pada Gambar 1-2. Durasi pada $\alpha = 360^\circ$ tidak disajikan dalam Tabel 1-1 dan

Gambar 1-2 karena mempunyai harga yang sama dengan $\alpha = 0^\circ$.

Tabel 1-1: ASUMSI KONDISI ANGIN

α (deg)	Durasi (jam)		
	Kondisi - 1	2	3
0	2,0	2,4	4,0
30	2,0	2,4	4,0
60	2,0	2,4	0,0
90	2,0	0,0	0,0
120	2,0	2,4	0,0
150	2,0	2,4	4,0
180	2,0	2,4	4,0
210	2,0	2,4	4,0
240	2,0	2,4	0,0
270	2,0	0,0	0,0
300	2,0	2,4	0,0
330	2,0	2,4	4,0



Gambar 1-2 : Asumsi kondisi angin

Kondisi pertama mengasumsikan bahwa turbin angin dipasang di tengah dataran luas dimana angin seolah-olah datang dari segala penjuru arah dengan frekuensi yang merata. Kondisi kedua mengasumsikan bahwa turbin angin dipasang dengan posisi tertentu pada daerah tertentu sehingga seolah-olah tidak ada angin yang datang dari arah samping. Pada kondisi ketiga, turbin angin diasumsikan dipasang di pantai dengan posisi tertentu sehingga hanya menerima angin dari dua arah saja, yaitu angin laut dan angin darat.

2 METODE

2.1 Clearance dan Losses

Simulasi untuk mendapatkan distribusi kecepatan aliran dalam difuser

dilakukan menggunakan salah satu piranti lunak berbasis CFD. Kemudian distribusi kecepatan tersebut difokuskan pada daerah di sekitar permukaan difuser.

Simulasi dilakukan dengan mengasumsikan bahwa aliran bersifat viskos. Dengan demikian kecepatan aliran tepat pada permukaan ($y=0$) akan sama dengan nol dan akan meningkat pada posisi menjauhi permukaan. Adanya kondisi tersebut menyebabkan kecepatan rata-rata pada *exit* difuser menjadi lebih kecil dibandingkan kondisi ideal. Pengurangan kecepatan tersebut yang nantinya dihitung sebagai *losses*. Dengan demikian *losses* dihitung berdasarkan pengurangan kecepatan akibat gesekan antara aliran udara dan permukaan bagian dalam difuser.

Jarak *clearance* merupakan jarak antara permukaan bagian dalam difuser dan ujung sudu rotor. Dalam penelitian ini jarak *clearance* berbeda dengan tebal lapisan batas. Jarak *clearance* diambil pada posisi dimana kecepatan aliran mulai mendekati kecepatan aliran di sumbu difuser sehingga efek turbulensi di ujung sudu rotor menjadi minimal.

2.2 Penentuan Diameter Rotor

Seperti yang telah dijelaskan pada Batasan Masalah bahwa perhitungan dan analisis dalam penelitian ini dilakukan pada beberapa sudut angin. Dengan demikian setiap sudut angin akan menghasilkan jarak *clearance* yang berbeda.

Diameter rotor merupakan diameter *exit* difuser dikurangi jarak *clearance* seperti pada persamaan (2-1). Notasi D_r , D_d , dan ΔR masing-masing menyatakan diameter rotor, diameter *exit* difuser, dan jarak *clearance*.

$$D_r = D_d - 2\Delta R \quad (2-1)$$

Jika setiap sudut angin menghasilkan jarak *clearance* yang berbeda, maka akan menghasilkan diameter rotor yang berbeda-beda pula. Dalam penelitian

ini dipilih diameter rotor yang paling kecil.

2.3 Perhitungan Daya dan Koreksinya

Pada penelitian sebelumnya daya telah dihitung dengan mengasumsikan bahwa diameter *exit* difuser sama dengan diameter rotor (Sulistyo Atmadi dan Ahmad Jamaludin Fitroh, 2011). Dengan adanya *clearence* pada penelitian ini maka diameter rotor lebih kecil dari diameter *exit* difuser.

Daya angin yang dikonversi rotor menjadi daya listrik dihitung menggunakan persamaan (2-2) (David M Eggleston & Forrest S Stoddard, 1897; Erich Hau, 2006 ; Tony Burton, et. al., 2001). Notasi P , ρ , D , V , dan c_p masing-masing menyatakan daya, kerapatan udara, diameter rotor, kecepatan angin, dan koefisien daya.

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

Pada penelitian sebelumnya daya yang dihasilkan *DAWT* juga dihitung menggunakan persamaan (2-2) namun dengan mengganti P menjadi P' , D menjadi D_d , dan V menjadi V' . Notasi P' dan V' masing-masing menyatakan daya *DAWT* dan kecepatan aliran di *exit* difuser.

Dengan adanya *clearence*, maka harga D_d diganti menjadi D_r dari persamaan (2-1). Dengan demikian persamaan daya rotor menggunakan difuser dengan memasukkan efek *clearence* adalah sebagai berikut:

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

Selanjutnya akan dibandingkan harga P , P' , dan P'' . Harga P' akan jauh lebih besar daripada P karena V' lebih besar dari V . Harga P'' akan sedikit lebih kecil daripada P' karena D_r sedikit lebih kecil dari D_d .

2.4 Perhitungan Energi Tanpa Difuser

Sebuah turbin angin tanpa difuser biasanya mempunyai sistem orientasi

sehingga memungkinkan rotor untuk selalu menghadap ke arah datangnya angin. Dengan demikian diasumsikan turbin angin akan menghasilkan listrik selama 24 jam per hari.

Energi listrik diperoleh dari perkalian antara daya listrik dan durasi seperti pada persamaan (2-4). Notasi E dan t masing-masing menyatakan energi dan waktu.

$$E = P t \quad (2-4)$$

Harga P diperoleh dari persamaan (2-2). Harga t dalam hal ini berarti 24 jam.

2.5 Perhitungan Energi dengan Difuser

Perhitungan energi listrik yang dihasilkan *DAWT* pada prinsipnya sama dengan perhitungan energi listrik tanpa difuser. Namun karena daya listrik yang dihasilkan berbeda untuk setiap sudut angin, maka persamaan (2-4) harus disesuaikan menjadi persamaan (2-5).

$$E'' = \int P'' dt \quad (2-5)$$

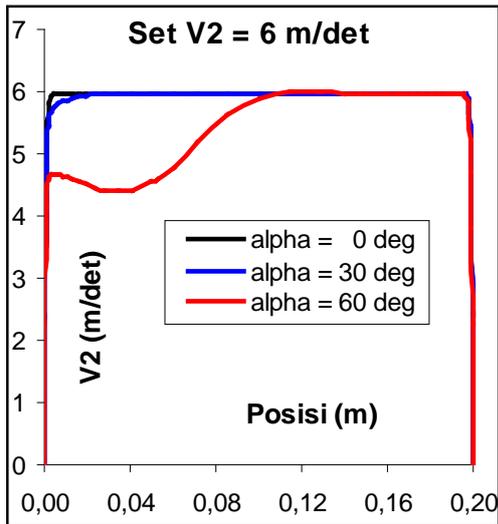
Persamaan (2-5) adalah persamaan yang bersifat kontinum. Dalam Batasan Masalah telah dijelaskan bahwa perhitungan energi didasarkan pada 12 arah angin, yaitu dimulai dari 0° dengan kelipatan 30° . Dengan demikian persamaan (2-5) harus diubah menjadi bentuk diskrit seperti pada persamaan (2-6)

$$E'' = \sum_{\alpha=0^\circ}^{330^\circ} P'' \Delta t \quad (2-6)$$

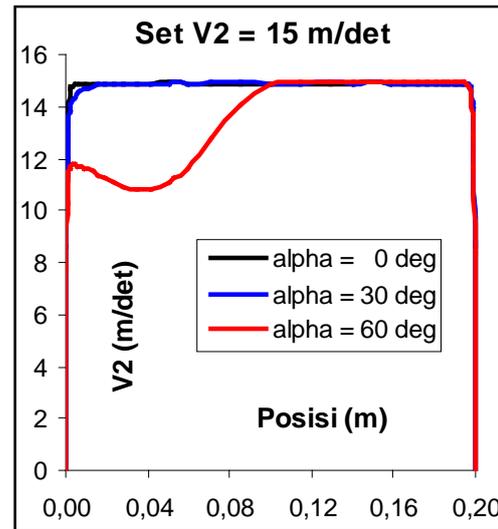
3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Clearence dan Losses

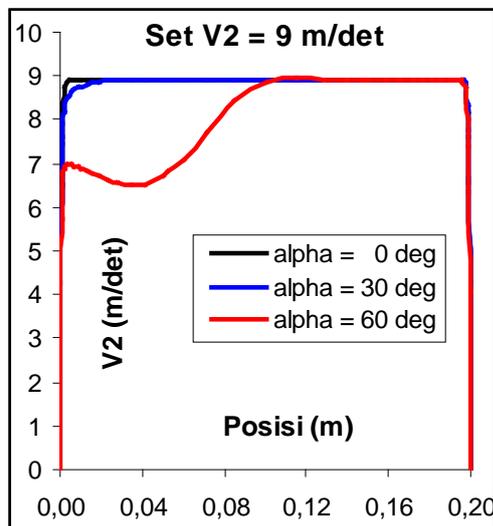
Distribusi kecepatan di *exit* difuser diperoleh dari simulasi menggunakan salah satu piranti lunak berbasis *CFD*. Hasilnya disajikan berupa kurva dalam Gambar 3-1 hingga 3-5. Notasi V_2 menyatakan seting kecepatan di *exit* difuser.



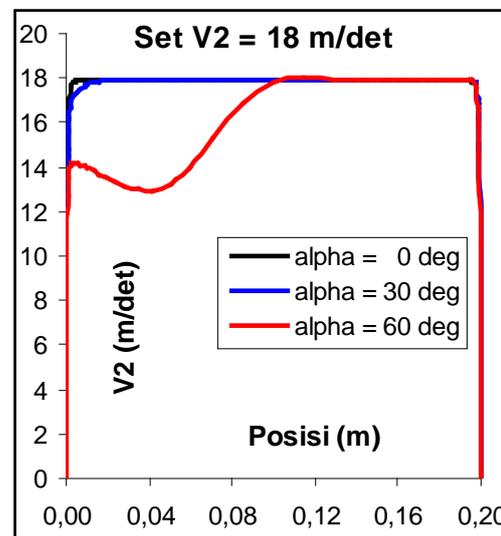
Gambar 3-1: Kurva Distribusi kecepatan pada $V_2 = 6$ m/det



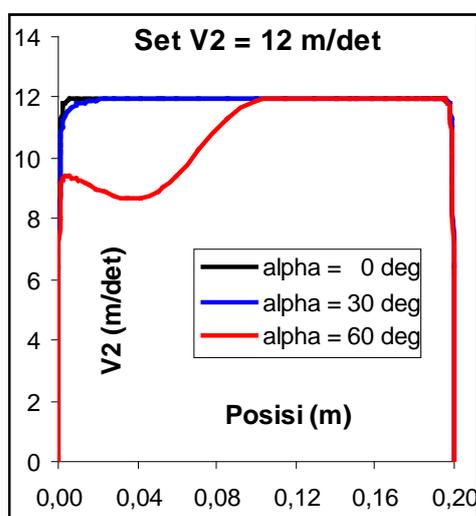
Gambar 3-4: Kurva Distribusi kecepatan pada $V_2 = 15$ m/det



Gambar 3-2: Kurva Distribusi kecepatan pada $V_2 = 9$ m/det



Gambar 3-5: Kurva Distribusi kecepatan pada $V_2 = 18$ m/det



Gambar 3-3: Kurva Distribusi kecepatan pada $V_2 = 12$ m/det

Berdasarkan hasil simulasi di atas dapat dilihat bahwa untuk α yang sama, variasi harga V_2 menghasilkan pola distribusi kecepatan yang sama. Hal tersebut dikarenakan variasi V_2 masih dalam regim kecepatan yang sama, yaitu *low subsonic*.

Distribusi kecepatan pada $\alpha = 60^\circ$ di *exit* difuser tidak simetris. Hal tersebut dikarenakan efek ulakan (*wake*) akibat separasi aliran di *inlet* difuser masih ada hingga ke *exit* difuser.

Distribusi kecepatan dalam Gambar 3-1 sampai dengan 3-5 kemudian diolah untuk mendapatkan *clearance* untuk setiap variasi V_2 dan α . Hasil perhitung-

an tersebut kemudian disajikan dalam Tabel 3-1.

Tabel 3-1: HASIL PERHITUNGAN CLEAR- ENCE

V ₂ (m/det)	α (deg)	Clerarence	
		atas (m)	bawah (m)
6	0	0,006	0,006
	30	0,010	0,010
	60	0,010	0,006
9	0	0,006	0,006
	30	0,010	0,014
	60	0,010	0,006
12	0	0,010	0,010
	30	0,010	0,014
	60	0,014	0,010
15	0	0,014	0,014
	30	0,010	0,020
	60	0,014	0,006
18	0	0,014	0,014
	30	0,010	0,027
	60	0,014	0,006

Berdasarkan hasil perhitungan *clearence* di atas dapat dilihat bahwa *clearence* terbesar adalah sebesar 0,027 m. Untuk mempermudah perhitungan selanjutnya, maka *clearence* tersebut dibulatkan menjadi 0,030 m. Angka tersebut nantinya digunakan untuk menghitung diameter rotor yang dapat dimasukkan dalam difuser.

3.2 Diameter Rotor

Diameter rotor dihitung menggunakan persamaan (2-1). Harga D_d diperoleh dari Batasan Masalah. Harga ΔR diperoleh dari hasil perhitungan *clearence*. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa diameter rotor yang dapat digunakan adalah sebesar 1,940 m.

3.3 Daya

Daya rotor tanpa difuser dihitung menggunakan persamaan (2-2). Daya rotor pada DAWT dengan mengasumsikan bahwa diameter rotor sama dengan diameter *exit* difuser telah dihitung pada penelitian sebelumnya (Sulistyo Atmadi dan Ahmad Jamaludin Fitroh, 2011). Daya rotor pada DAWT dengan diameter rotor lebih kecil dari diameter *exit* difuser

karena adanya *clearence* dihitung menggunakan persamaan (2-3). Hasil ketiga macam daya tersebut disajikan dalam Tabel 3-2. Notasi V_1 menyatakan kecepatan angin dalam m/det.

Tabel 3-2: HASIL PERHITUNGAN DAYA

V ₁	V ₂	α	P	P'
1,53	5,93	0	2	116
2,06	5,92	30	5	115
3,52	5,65	60	25	99
2,26	8,85	0	7	386
3,06	8,84	30	17	384
5,31	8,44	60	87	328
3,02	11,86	0	16	928
4,11	11,85	30	40	925
7,14	11,32	60	210	791
3,77	14,81	0	31	1.805
5,14	14,79	30	78	1.797
8,93	14,13	60	411	1.539
4,54	17,80	0	54	3.137
6,19	17,78	30	137	3.124
10,75	17,00	60	716	2.676

V ₁	V ₂	α	P''	P''/P
1,53	5,93	0	109	53
2,06	5,92	30	108	21
3,52	5,65	60	93	4
2,26	8,85	0	363	55
3,06	8,84	30	361	22
5,31	8,44	60	309	4
3,02	11,86	0	874	55
4,11	11,85	30	870	22
7,14	11,32	60	745	4
3,77	14,81	0	1.698	55
5,14	14,79	30	1.691	22
8,93	14,13	60	1.448	4
4,54	17,80	0	2.951	55
6,19	17,78	30	2.940	21
10,75	17,00	60	2.518	4

Harga P dalam tabel di atas hanya merupakan fungsi dari V_1 . Semakin tinggi V_1 maka semakin besar P. Dengan mengasumsikan bahwa rotor tanpa difuser selalu menghadap arah angin, maka harga P tidak dipengaruhi oleh α.

Semakin tinggi kecepatan angin, maka daya rotor yang dihasilkan juga semakin besar. Semakin besar sudut angin, maka ulakan (*wake*) yang terjadi semakin besar sehingga *losses* juga

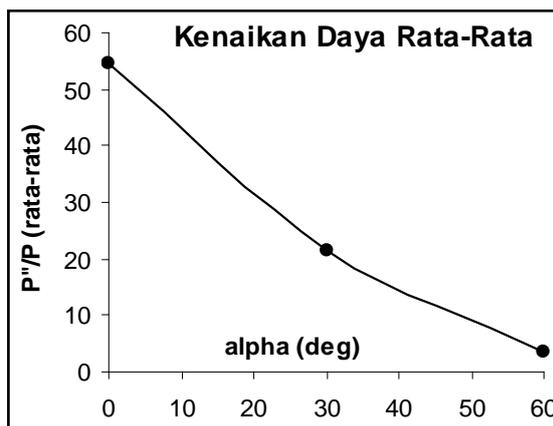
semakin besar yang menyebabkan daya rotor menjadi berkurang.

Dengan adanya *clearence*, maka diameter rotor lebih kecil dari diameter *exit* difuser. Pada kecepatan yang sama, harga P'' akan lebih kecil dari P' .

Pada sudut angin yang sama, harga P''/P adalah hampir sama. Dengan demikian untuk α yang sama, dapat dibuat harga rata-rata untuk P''/P . Hasilnya disajikan dalam Tabel 3-3 dan Gambar 3-6.

Tabel 3-3: KENAIKAN DAYA RATA-RATA

α (deg)	V_2 (m/det)	P''/P	
			(rata2)
0	5,93	52,6	54,4
	8,85	54,7	
	11,86	55,1	
	14,81	54,9	
	17,80	54,7	
30	5,92	21,4	21,6
	8,84	21,8	
	11,85	21,6	
	14,79	21,6	
	17,78	21,5	
60	5,65	3,7	3,6
	8,44	3,6	
	11,32	3,5	
	14,13	3,5	
	17,00	3,5	

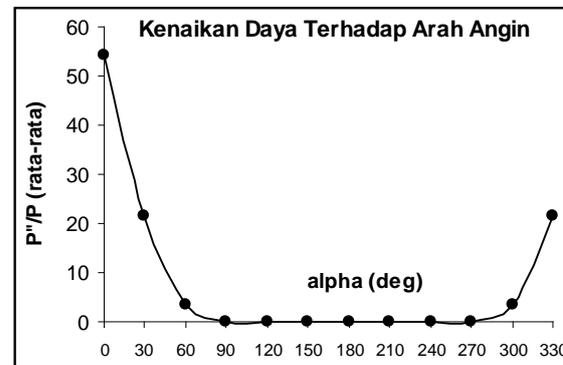


Gambar 3-6: Kenaikan daya rata-rata

Hasil dalam Tabel 3-3 merupakan hasil simulasi sehingga hanya dipilih tiga harga α . Hasil tersebut kemudian disesuaikan dengan sketsa mata angin dalam Gambar 1-1 dan hasilnya disajikan dalam Tabel 3-4 dan Gambar 3-7.

Tabel 3-4: KENAIKAN DAYA TERHADAP ARAH ANGIN

α (deg)	P''/P (rata - rata)
0	54,4
30	21,6
60	3,6
90	0,0
120	0,0
150	0,0
180	0,0
210	0,0
240	0,0
270	0,0
300	3,6
330	21,6



Gambar 3-7: Kenaikan daya terhadap arah angin

Mengulang kembali bahwa kenaikan daya rata-rata tersebut dapat digunakan untuk berbagai kecepatan di *exit* difuser dalam regim subsonik. Jika melebihi regim kecepatan tersebut, maka perlu perhitungan lebih detail karena adanya efek kompresibilitas.

3.4 Energi Tanpa Difuser

Energi yang mampu dihasilkan turbin angin tanpa difuser dihitung menggunakan persamaan (2-4). Durasi waktunya adalah 24 jam per hari. Kecepatan angin yang dipilih adalah 5 m/det. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa energi yang dihasilkan adalah sebesar 6.231 kJ/hari. Hasil selengkapnya disajikan dalam Tabel 3-5.

Tabel 3-5: ENERGI TANPA DIFUSER

V_1	t		P	E
(m/det)	(jam)	(det)	(W)	(kJ/hari)
5	24	86.400	72	6.231

Kecepatan angin dipilih sebesar 5 m/det karena kecepatan angin tersebut banyak ditemui di beberapa daerah di Indonesia. Selain itu kecepatan angin 5 m/det termasuk dalam regim kecepatan subsonik sehingga hasil perhitungan daya dalam Tabel 3-4 masih dapat digunakan.

3.5 Energi DAWT

Energi yang dihasilkan DAWT dihitung menggunakan persamaan (2-6). Seperti yang telah dijelaskan dalam Batasan Masalah bahwa perhitungan energi DAWT dilakukan untuk tiga kondisi. Hasil perhitungan disajikan dalam Tabel 3-6 dan Gambar 3-8.

Tabel 3-6a: ENERGI PADA KONDISI-1

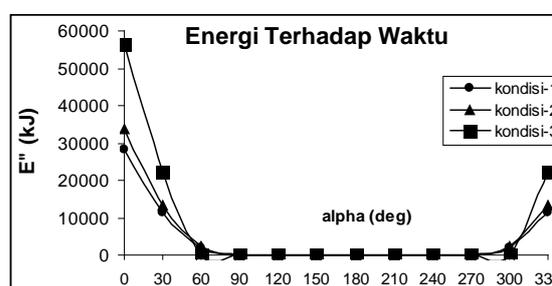
α	t	E''	
(deg)	(jam)	(kJ)	(kJ/hari)
0	2,0	28.238	54.361
30	2,0	11.210	
60	2,0	1.852	
90	2,0	0	
120	2,0	0	
150	2,0	0	
180	2,0	0	
210	2,0	0	
240	2,0	0	
270	2,0	0	
300	2,0	1.852	
330	2,0	11.210	

Tabel 3-6b: ENERGI PADA KONDISI-2

α	t	E''	
(deg)	(jam)	(kJ)	(kJ/hari)
0	2,4	33.885	65.234
30	2,4	13.452	
60	2,4	2.222	
90	0,0	0	
120	2,4	0	
150	2,4	0	
180	2,4	0	
210	2,4	0	
240	2,4	0	
270	0,0	0	
300	2,4	2.222	
330	2,4	13.452	

Tabel 3-6c: ENERGI PADA KONDISI-3

α	t	E''	
(deg)	(jam)	(kJ)	(kJ/hari)
0	4,0	56.476	101.316
30	4,0	22.420	
60	0,0	0	
90	0,0	0	
120	0,0	0	
150	4,0	0	
180	4,0	0	
210	4,0	0	
240	0,0	0	
270	0,0	0	
300	0,0	0	
330	4,0	22.420	



Gambar 3-8: Energi terhadap waktu

Hasil perhitungan dalam Tabel 3-6 menunjukkan bahwa energi listrik yang dihasilkan rotor DAWT pada kondisi 1, 2, dan 3 dalam sehari masing-masing sebesar 54.361, 65.234, dan 101.316 kJ. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kondisi-3 memberikan energi yang paling besar. Hal tersebut dikarenakan kondisi-3 memberikan durasi yang lebih lama untuk arah angin yang menghadap rotor.

Energi yang dihasilkan turbin angin tanpa difuser adalah sebesar 6.231 kJ/hari. Dibandingkan dengan turbin angin yang menggunakan difuser dengan rasio diameter sama dengan 2, maka penggunaan difuser pada turbin angin dapat meningkatkan energi listrik sebesar sekitar 9 hingga 16 kali.

4 KESIMPULAN

Dengan adanya *clearence* antara dinding difuser dan ujung sudu, maka difuser dengan diameter *exit* sebesar 2 m dapat menggunakan rotor dengan diameter 1,940 m. Adanya penurunan diameter

rotor tersebut menghasilkan penurunan kenaikan daya akibat penggunaan difuser.

Kondisi frekuensi, durasi dan arah angin mempengaruhi energi listrik yang dihasilkan turbin angin. Penggunaan difuser pada turbin angin (DAWT) dengan rasio diameter sama dengan 2 dapat meningkatkan energi listrik sebesar sekitar 9 hingga 16 kali.

DAFTAR RUJUKAN

- David M. Eggleston & Forrest S Stoddard, 1897. *Wind Turbine Engineering Design*, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Erich Hau, 2006. *Wind Turbine Fundamentals, Technologies, Application, Economics*, Springer, Berlin.
- K.M. Foreman, 1980. *Preliminary Design and Economic Investigation of Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT)*, Research Department, Grumman Aerospace Corporation, Bethpage, New York.
- Michael Moeller Jr dan Kenneth Visser, 2008. *Analysis of Diffuser Augmented Wind Turbine*, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, Clarkson University.
- Sulistyo Atmadi dan Ahmad Jamaludin Fitroh, 2011. *Simulasi Penggunaan Difuser Pada Turbin Angin Sumbu Horisontal Untuk Kenaikan Daya*, Jurnal Teknologi Dirgantara edisi Juni, LAPAN.
- Tony Burton, et. al., 2001. *Wind Energy Hand Book*, John Willey & Sons.