

# SIMULASI PENGGUNAAN DIFFUSER PADA TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL UNTUK KENAIKAN DAYA

Sulistyo Atmadi\*), Ahmad Jamaludin Fitroh\*\*)

\*) Peneliti Pusat Teknologi Penerbangan, LAPAN

\*\*\*) Peneliti Kepekaran Aerodinamika, LAPAN

email: sulistyo@aerospaceitb.org

## ABSTRACT

One technique to improve the power output of a wind turbine is by implementing a diffuser, which is called the diffuser augmented wind turbine (DAWT). The area ratio between the inlet and outlet of the diffuser increases the flow rate inside the diffuser which in effect produces higher output power. In this research, a 2 meters rotor diameter was used. Diffuser diameter ratio variation of 2, 3, 4, and 5 were chosen which provides inlet diameter of 4, 6, 8, and 10 meter respectively. Power rotor coefficient is assumed to be constant of 0.30. Air speed distribution inside the diffuser is calculated using CFD method. The inlet speed to the diffuser is varied to give 4 different speeds. The wind angle at the inlet is also varied at 0°, 30° and 60°. The simulation result showed that at 0 degree angle, diffuser diameter ratio variation of 2, 3, 4, and 5 will increase the power output about 58, 622, 3169, and 11519 times respectively. It also showed that the increase in the output power for diameter diffuser ratio of 2 at 0° and 60° angle is 58 and 4 times respectively.

Keywords: *Wind turbine, Diffuser, CFD*

## ABSTRAK

Salah satu cara meningkatkan daya keluaran turbin angin adalah dengan menggunakan diffuser. Adanya rasio luas kedua lubang pada diffuser menghasilkan kenaikan kecepatan sehingga daya yang dihasilkan juga akan semakin besar. Dalam penelitian ini diameter rotor dipilih sebesar 2 meter. Rasio diameter lubang diffuser divariasikan sebesar 2, 3, 4, dan 5 kali sehingga diameter *inlet* diffuser masing-masing adalah 4, 6, 8, dan 10 m. Koefisien daya rotor diasumsikan konstan sebesar 0,30. Distribusi kecepatan aliran udara di dalam diffuser diperoleh dari simulasi menggunakan salah satu piranti lunak berbasis *CFD*. Udara masuk diffuser divariasikan dengan empat kecepatan yang berbeda. Sudut angin masuk diffuser divariasikan sebesar 0°, 30° dan 60°. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada sudut angin 0°, variasi rasio diameter lubang diffuser sebesar 2, 3, 4, dan 5 masing – masing menghasilkan kenaikan daya sebesar 58, 622, 3.169, dan 11.519 kali. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pada rasio diameter *diffuser* sama dengan dua, kenaikan daya pada sudut 0° dan 60° masing – masing sebesar sekitar 58 dan 4 kali.

Kata kunci: *Turbin angin, Diffuser, CFD*

## 1 PENDAHULUAN

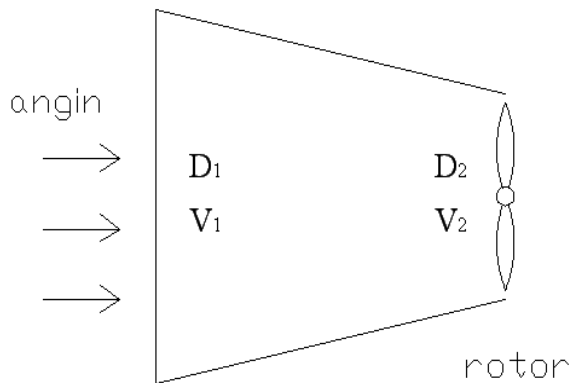
Kecepatan angin di Indonesia rata-rata lebih kecil dibandingkan beberapa negara di Eropa dan Amerika.

Kecepatan angin yang rendah menyebabkan daya yang dihasilkan

turbin angin menjadi lebih kecil dari yang diharapkan.

Untuk mengatasi kondisi tersebut dengan diameter rotor yang sama, tetapi diperoleh peningkatan daya keluaran turbin angin, salah satu cara adalah dengan meningkatkan kecepatan angin

yang melalui rotor. Cara tersebut dapat direalisasikan dengan menggunakan *diffuser* (D.G. Phillips, P.J. Richards, R. G. J. Flay; K.M. Foreman, 1980; Michael Moeller Jr dan Kenneth Visser, 2008). Sketsa *diffuser* disajikan dalam Gambar 1-1. Beberapa bentuk turbin angin menggunakan *Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT)* yang telah dipasang di negara lain disajikan dalam Gambar 1-2 (www.wind-works.org).



Gambar 1-1: Sketsa *diffuser*

Notasi  $D_1$ ,  $V_1$ ,  $D_2$ , dan  $V_2$  masing – masing berturut turut menyatakan diameter *diffuser*, kecepatan angin udara bebas, diameter rotor, dan kecepatan angin yang menerpa rotor.



Gambar 1-2a: Contoh *DAWT* bentuk standar



Gambar 1-2b: Contoh *DAWT* bentuk bunga

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui secara pasti kenaikan daya rotor akibat penggunaan *diffuser*, peningkatan daya dengan menggunakan *diffuser* ini tidak lepas dengan adanya rugi-rugi (*losses*) yang antara lain disebabkan adanya sudut arah angin terhadap sumbu aksial rotor.

## 2 TINJAUAN TEORI DAN BATASAN MASALAH

### 2.1 Tinjauan Teori

Berdasarkan hukum kekekalan massa, pemampatan luas penampang akan menghasilkan peningkatan kecepatan aliran seperti pada persamaan (2-1) (Anderson, John D., 1985). Pada kecepatan angin kurang dari 100 m/det, penurunan luas penampang akan berbanding terbalik dengan kenaikan kecepatan. Misalnya rasio antara luas *diffuser* dengan luas rotor adalah dua, maka kecepatan angin yang menerpa rotor akan menjadi dua kali kecepatan udara bebas.

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (2-1)$$

Notasi  $\rho_1$ ,  $A_1$ ,  $\rho_2$ , dan  $A_2$  pada persamaan (2-1) masing-masing berturut turut menyatakan kerapatan udara bebas, luas *diffuser*, kerapatan udara tepat di depan rotor, dan luas rotor. Pada kondisi aliran inkompresibel, harga  $\rho_1$  dan  $\rho_2$  dianggap sama. Dengan demikian jika diameter *diffuser* adalah dua kali diameter rotor, maka kecepatan angin yang menerpa rotor ( $V_2$ ) menjadi empat kali kecepatan udara bebas ( $V_1$ ).

Jika koefisien daya,  $c_p$  berharga konstan, maka kenaikan daya yang dihasilkan adalah pangkat tiga dari kenaikan kecepatan angin. Hal tersebut sesuai dengan persamaan (2-2) (David M Eggleston & Forrest S Stoddard, 1897; Erich Hau, 2006 ; Tony Burton, et. al., 2001; Badawy MTS, Aly M E, 2000). Notasi P dalam persamaan tersebut menyatakan daya rotor.

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

Jika diameter *diffuser* adalah dua kali diameter rotor, maka kecepatan anginnya akan meningkat menjadi empat kali. Dengan demikian secara teoritis daya yang dihasilkan rotor menjadi 64 kali dari daya rotor tanpa *diffuser*. Hal tersebut dapat dicapai pada kondisi arah angin sejajar atau pada sudut 0 derajat terhadap sumbu aksial rotor. Jika arah angin membentuk sudut terhadap sumbu aksial rotor, maka kecepatan angin yang dapat secara langsung dikonversi menjadi daya adalah kecepatan angin dalam arah aksial saja sehingga peningkatan daya yang dihasilkan menjadi tidak optimal.

**2.2 Batasan Masalah**

Dalam penelitian ini diameter rotor dipilih sebesar 2 m. Rasio diameter *diffuser* terhadap diameter rotor divariasikan berturut turut sebesar 2, 3, 4, dan 5 kali sehingga diameter *diffuser* masing-masing menjadi 4, 6, 8, dan 10 m. Panjang *diffuser* dipilih sama dengan diameter *diffuser*. Variasi diameter *diffuser* tersebut akan disimulasi hanya pada sudut aliran 0 derajat. Variasi sudut aliran akan disimulasi hanya pada diameter *diffuser* 4 m. Dengan demikian hasil pengerjaan ini nantinya akan dianalisis dalam dua kelompok, yaitu analisis efek rasio diameter *diffuser* dan analisis efek sudut aliran terhadap kenaikan daya rotor. Variasi geometri selanjutnya disusun ulang dalam Tabel 2-1. Notasi  $D_{rotor}$ ,  $D_{diffuser}$ ,  $L_{diffuser}$ , dan  $\alpha$  masing-masing berturut turut menyatakan

diameter rotor, diameter *diffuser*, panjang *diffuser*, dan sudut aliran. Bentuk *diffuser* sebagai obyek penelitian ini adalah kerucut sempurna.

Tabel 2-1a: VARIASI GEOMETRI

$D_{rotor}$ (m)	$D_{diffuser}$ (m)	$L_{diffuser}$ (m)
2	4	4
	6	6
	8	8
	10	10

Tabel 2-1b: VARIASI SUDUT ALIRAN

$D_{rotor}$ (m)	$D_{diffuser}$ (m)	$\alpha$ (derajat)
2	4	0
		30
		60

Simulasi dengan memvariasikan diameter *diffuser* dilakukan dengan seting kecepatan pada *exit diffuser* atau kecepatan angin menerpa rotor sama dengan 18 m/det. Meskipun dipilih seting kecepatan tersebut, nantinya pasti ada pengurangan kecepatan karena adanya *losses*. Simulasi dengan memvariasikan sudut aliran dilakukan pada *diffuser* dengan diameter 4 m dengan kecepatan pada *exit diffuser* diseting berturut turut 6, 9, 12, 15, dan 18 m/det.

Simulasi dilakukan dengan empat kecepatan yang berbeda. Perhitungan daya rotor didasarkan pada kondisi permukaan laut, yaitu pada kerapatan udara 1,225 kg/m<sup>3</sup>. Kenaikan daya dihitung dengan mengasumsikan koefisien daya berharga konstan sebesar 0,3.

Distribusi kecepatan angin di dalam *diffuser* diperoleh dari simulasi menggunakan salah satu piranti lunak berbasis *CFD*. Untuk mempercepat waktu iterasi perhitungan, maka dalam pengerjaan ini geometri *diffuser* dimodelkan dengan skala diperkecil 10x.

Persamaan aliran yang digunakan hanya persamaan kekekalan massa dan

momentum saja. Persamaan energi tidak dilibatkan dalam perhitungan *CFD*.

Persamaan kekekalan massa secara langsung dapat menggunakan persamaan (2-1). Persamaan kekekalan momentum yang diambil dari persamaan Navier-Stokes ditulis dalam persamaan (2-3). Notasi  $\rho$ ,  $D/Dt$ ,  $v$ ,  $f$ , dan  $\mathbb{P}$  masing-masing berturut turut menyatakan kerapatan udara, derivatif substantif, kecepatan udara, gaya, dan tensor yang menyatakan gaya-gaya pada permukaan.

$$\rho \frac{D\mathbf{v}}{Dt} = \nabla \cdot \mathbb{P} + \rho \mathbf{f} \tag{2-3}$$

Notasi  $\mathbb{P}$  secara umum dirumuskan seperti pada persamaan (2-4). Notasi  $\sigma$  dan  $\tau$  masing menyatakan tegangan normal dan tegangan geser.

$$\mathbb{P} = \begin{pmatrix} \sigma_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_{zz} \end{pmatrix} \tag{2-4}$$

Persamaan kekekalan momentum pada persamaan (2-3) sebenarnya merupakan kumpulan tiga persamaan dengan satu persamaan untuk satu dimensi. Persamaan tersebut tidak dapat diselesaikan secara langsung. Persamaan tersebut dapat diselesaikan dengan cara menambahkan beberapa persamaan bantu, yaitu persamaan kekekalan massa dan beberapa kondisi batas.

Berdasarkan pergerakan partikelnya, jenis aliran digolongkan menjadi aliran laminar dan aliran turbulen. Untuk mengantisipasi terjadinya aliran turbulen, maka dalam perhitungan aliran diasumsikan akan menjadi sebagian atau sepenuhnya aliran turbulen.

Terdapat beberapa jenis model turbulensi. Oleh karena aliran udara bergerak dari diameter besar ke diameter kecil, maka diprediksi aliran udara akan mempunyai tingkat turbulensi yang rendah. Dengan demikian dalam

perhitungan ini model turbulensi yang digunakan adalah model turbulensi dengan satu persamaan saja, yaitu model turbulensi *Spalart Allmaras*.

Dalam penyelesaian persamaan – persamaan fluida secara numerik (*CFD*), terdapat parameter kestabilan iterasi, yaitu *under relaxation factor*. Parameter tersebut dipilih sebesar mungkin asalkan kestabilan iterasi tetap terjaga. Dalam penelitian ini dipilih *under relaxation factor* sebesar 0,6.

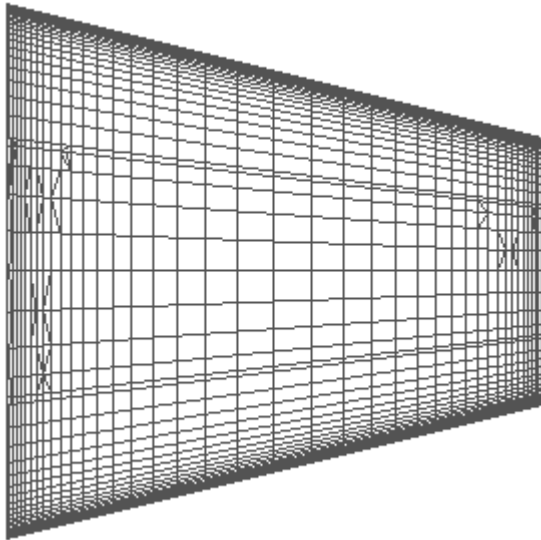
### 3 HASIL DAN ANALISIS

Distribusi kecepatan angin diperoleh dari simulasi menggunakan salah satu piranti lunak berbasis *CFD*. Bentuk *mesh* yang digunakan untuk geometri *diffuser* dengan rasio diameter sama dengan dua disajikan dalam Gambar 3-1. Bentuk *mesh* untuk rasio diameter yang lain serupa dengan gambar tersebut namun tentunya dengan jumlah *grid* yang sedikit lebih banyak. Seperti yang telah disebutkan dalam paragraf sebelumnya bahwa untuk mempercepat iterasi perhitungan, maka dalam pengerjaan ini geometri *diffuser* dimodelkan dengan skala diperkecil 10x. Dengan demikian jumlah *grid* yang diperlukan menjadi lebih sedikit. Jumlah *grid* selengkapnya disajikan dalam Tabel 3-1.

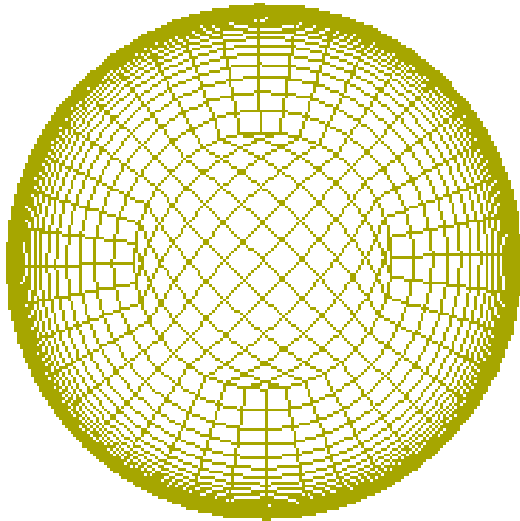
Tabel 3-1: JUMLAH *GRID*

Diameter <i>Diffuser</i> (m)	Jumlah <i>Grid</i> (nodal)
4	36.000
6	54.000
8	72.000
10	90.000

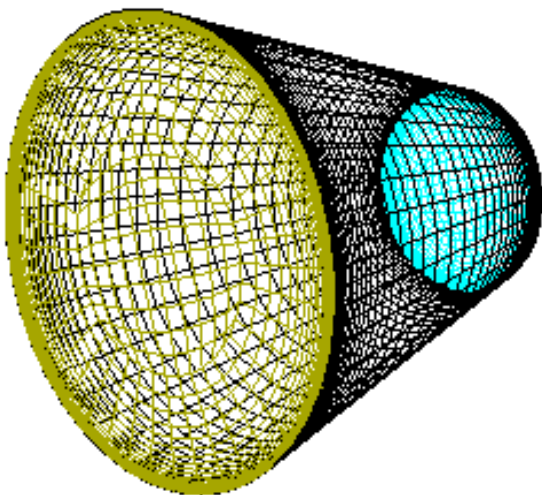
Hasil simulasi berupa kontur kecepatan aliran udara disajikan dalam dua kelompok perbandingan, yaitu kelompok perbandingan variasi diameter *diffuser* dan kelompok perbandingan sudut aliran. Kedua kelompok tersebut masing-masing disajikan dalam Gambar 3-2 dan 3-3. Kontur kecepatan selengkapnya disajikan dalam Lampiran.



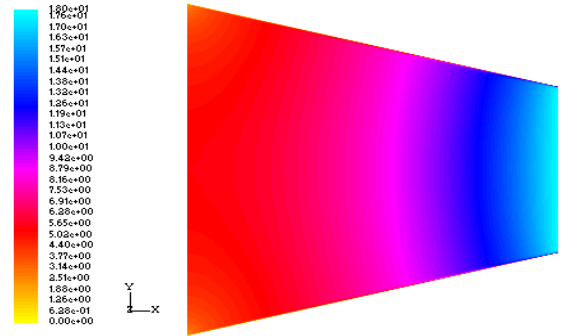
Gambar 3-1a: Bentuk *mesh* udara dalam *diffuser* (tampak samping)



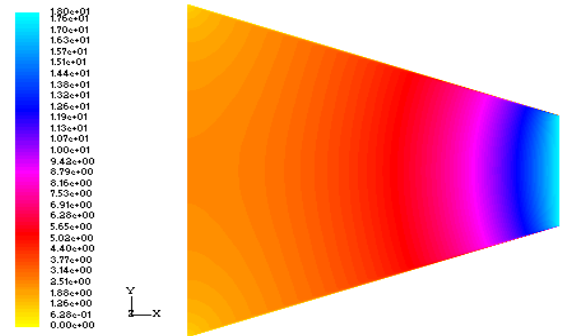
Gambar 3-1b: Bentuk *mesh* udara dalam *diffuser* tampak depan



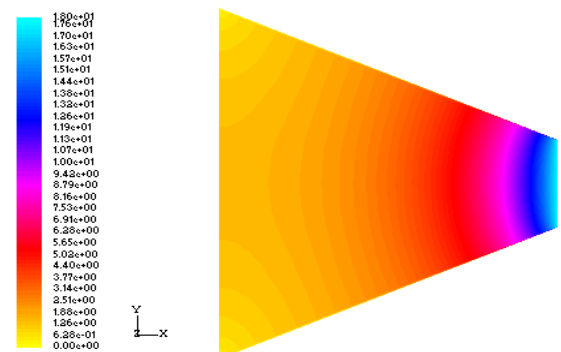
Gambar 3-1c: Bentuk *mesh* udara dalam *diffuser* tampak miring



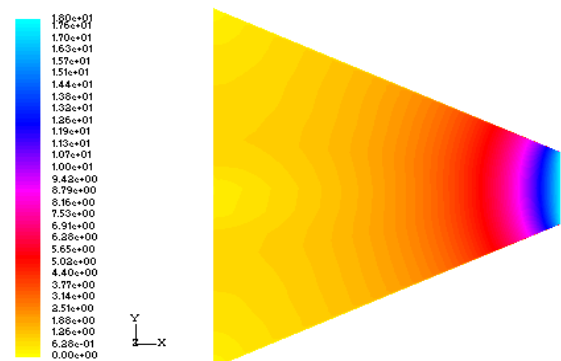
Gambar 3-2a: Distribusi kecepatan pada sudut  $0^{\circ}$  pada rasio diameter = 2



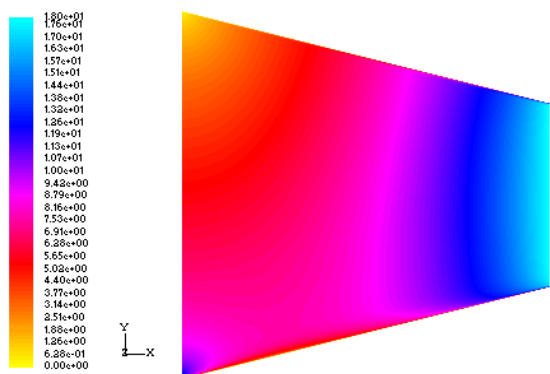
Gambar 3-2b: Distribusi kecepatan pada sudut  $0^{\circ}$  pada rasio diameter = 3



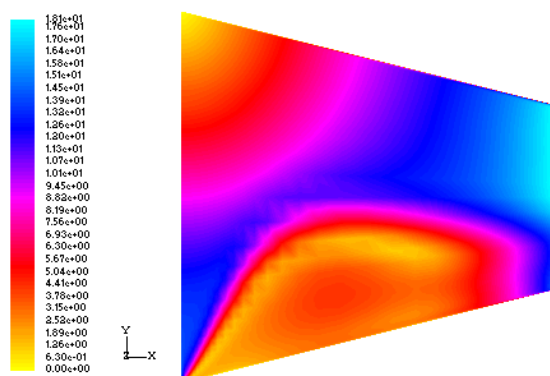
Gambar 3-2c: Distribusi kecepatan pada sudut  $0^{\circ}$  pada rasio diameter = 4



Gambar 3-2d: Distribusi kecepatan pada sudut  $0^{\circ}$  pada rasio diameter = 5



Gambar 3-3a: Distribusi kecepatan pada rasio diameter = 2 dan sudut aliran = 30°



Gambar 3-3b: Distribusi kecepatan pada rasio diameter = 2 dan sudut aliran = 60°

Gambar 3-3b menyajikan kontur kecepatan dalam *diffuser* pada kondisi sudut aliran 60 derajat. Dalam gambar tersebut dapat dilihat bahwa kecepatan aliran di permukaan bawah sangat kecil. Hal ini menunjukkan bahwa terjadi separasi aliran di daerah tersebut.

Selain disajikan dalam bentuk kontur kecepatan, hasil simulasi dapat juga disajikan secara kuantitatif dalam Tabel 3-2 dan 3-3. Tabel 3-2 menyajikan efek rasio diameter terhadap kenaikan kecepatan, kenaikan daya rotor, dan *losses*. Tabel 3-3 menyajikan efek sudut aliran terhadap parameter yang sama dengan Tabel 3-2 namun hanya untuk rasio diameter sama dengan dua. Notasi  $V_{x1}$  dan  $V_{x2}$  masing-masing menyatakan kecepatan angin dalam arah aksial di *diffuser* dan di rotor. Notasi  $p_{01}$  dan  $p_{02}$  masing-masing menyatakan tekanan total angin di *diffuser* dan di rotor. Notasi  $\alpha$  menyatakan sudut aliran. Notasi P dan P' masing-masing menyatakan daya rotor

sebelum dan sesudah menggunakan *diffuser*.

Tabel 3-2a: KENAIKAN KECEPATAN TOTAL PADA  $\alpha = 0^\circ$

$D_1/D_2$	$V_1$ (m/det)	$V_2$ (m/det)	$V_1/V_2$
2,0	4,54	17,80	3,92
3,0	2,03	17,66	8,70
4,0	1,1	17,66	15,12
5,0	0,76	17,72	23,26

Hasil dalam Tabel 3-2a di atas menunjukkan bahwa harga  $V_2$  tidak mencapai 18 m/det. Hal tersebut disebabkan *losses* dalam *diffuser*.

Tabel 3-2b: KENAIKAN KECEPATAN AKSIAL PADA  $\alpha = 0^\circ$

$D_1/D_2$	$V_{x1}$ (m/det)	$V_{x2}$ (m/det)	$V_{x1}/V_{x2}$
2,0	4,54	17,58	3,87
3,0	2,03	17,33	8,53
4,0	1,17	17,15	14,69
5,0	0,76	17,19	22,58

Hasil dalam Tabel 3-2b menunjukkan bahwa  $V_{x2}$  lebih kecil dari  $V_2$ . Hal tersebut disebabkan bentuk *diffuser* sebagai kerucut yang mempunyai tiga komponen kecepatan.

Tabel 3-2c: EFEK RASIO DIAMETER TERHADAP *LOSSES* PADA  $\alpha = 0^\circ$

$D_1/D_2$	$p_{01}$ (bar)	$p_{02}$ (bar)	<i>losses</i> (%)
2,0	101.523	101.523	0,000
3,0	101.523	101.518	0,005
4,0	101.523	101.517	0,006
5,0	101.523	101.519	0,004

Hasil dalam Tabel 3-2c menunjukkan bahwa *losses* yang dihasilkan sangat kecil, yaitu sekitar 0,005 %. Hal tersebut disebabkan bentuk *diffuser* yang mengerucut sehingga tidak ada

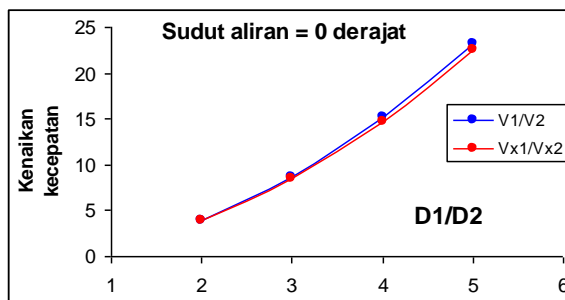
separasi aliran. Dengan demikian losses yang dihasilkan hanya dari gesekan.

Tabel 3-2d: KENAIKAN DAYA PADA  $\alpha = 0^\circ$

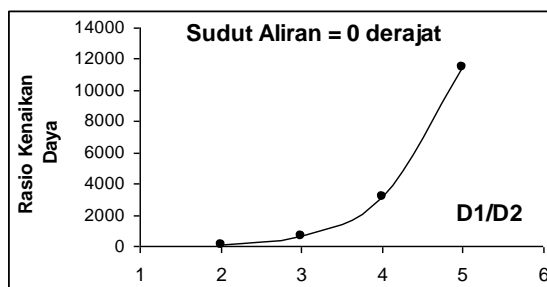
$D_1/D_2$	<b>P</b> (Watt)	<b>P'</b> (Watt)	<b>P'/P</b>
2,0	53,9	3136,5	58,2
3,0	4,8	3004,1	621,7
4,0	0,9	2912,4	3169,1
5,0	0,3	2929,9	11518,5

Hasil dalam tabel di atas menunjukkan bahwa rasio kenaikan daya yang dihasilkan sangat pesat. Berdasarkan persamaan (2-1), secara teoritis rasio diameter menghasilkan kenaikan rasio kecepatan secara kuadratik. Berdasarkan persamaan (2-2), secara teoritis kenaikan rasio kecepatan akan menghasilkan kenaikan daya pangkat tiga. Dengan demikian rasio kenaikan diameter *diffuser* secara teoritis akan menghasilkan kenaikan daya pangkat enam.

Selain dalam bentuk tabel, hasil simulasi dalam Tabel 3-2 dapat juga disajikan dalam bentuk grafik. Hasilnya disajikan dalam Gambar 3-4.



Gambar 3-4a: Efek  $D_1/D_2$  terhadap kenaikan kecepatan



Gambar 3-4b: Efek  $D_1/D_2$  terhadap rasio kenaikan daya

Tabel 3-3a: KENAIKAN KECEPATAN TOTAL PADA  $D_1/D_2 = 2$

$\alpha$ (deg)	<b>V<sub>1</sub></b> (m/det)	<b>V<sub>2</sub></b> (m/det)	<b>V<sub>2</sub>/V<sub>1</sub></b>
0	1,53	5,93	3,87
	2,26	8,85	3,92
	3,02	11,86	3,93
	3,77	14,81	3,93
	4,54	17,80	3,92
30	2,06	5,92	2,87
	3,06	8,84	2,89
	4,11	11,85	2,88
	5,14	14,79	2,88
	6,19	17,78	2,87
60	3,52	5,65	1,60
	5,31	8,44	1,59
	7,14	1,32	1,58
	8,93	14,13	1,58
	10,75	17,00	1,58

Tabel 3-3b: KENAIKAN KECEPATAN AKSIAL PADA  $D_1/D_2 = 2$

$\alpha$ (deg)	<b>V<sub>x1</sub></b> (m/det)	<b>V<sub>x2</sub></b> (m/det)	<b>V<sub>x2</sub>/V<sub>x1</sub></b>
0	1,53	5,85	3,82
	2,26	8,74	3,87
	3,02	11,72	3,88
	3,77	14,62	3,88
	4,54	17,58	3,87
30	1,81	5,85	2,83
	2,69	8,73	3,25
	3,61	11,70	3,24
	4,51	14,60	3,24
	5,43	17,56	3,24
60	1,93	5,55	1,58
	2,91	8,29	2,85
	3,90	11,11	2,85
	4,87	13,87	2,85
	5,85	16,68	2,85

Tabel 3-3c: EFEK  $\alpha$  TERHADAP LOSSES PADA  $D_1/D_2 = 2$

$\alpha$ (deg)	<b>p<sub>01</sub></b> (Pa)	<b>p<sub>02</sub></b> (Pa)	<b>losses</b> (%)
0	101.347	101.347	0,000
	101.374	101.374	0,000
	101.413	101.413	0,000
	101.462	101.462	0,000

30	101.523	101.523	0,000
	101.347	101.347	0,000
	101.374	101.374	0,000
	101.413	101.413	0,000
	101.462	101.462	0,000
60	101.523	101.523	0,000
	101.347	101.345	0,002
	101.374	101.370	0,004
	101.413	101.407	0,006
	101.462	101.452	0,010
	101.523	101.509	0,014

Tabel 3-3d: KENAIKAN DAYA PADA  $D_1/D_2 = 2$

$\alpha$ (deg)	P (Watt)	P' (Watt)	P'/P	(rata-rata)
0	2	116	55,9	57,8
	7	386	58,1	
	16	929	58,6	
	31	1805	58,4	
	54	3137	58,1	
30	5	115	22,8	22,9
	17	384	23,2	
	40	925	23,0	
	78	1797	22,9	
	137	3124	22,8	
60	25	98	3,9	3,8
	87	328	3,8	
	210	791	3,8	
	411	1539	3,7	
	716	2676	3,7	

Hasil simulasi dalam Tabel 3-3 dapat disajikan dalam bentuk yang lain, yaitu secara langsung hubungan antara sudut aliran terhadap kenaikan performa untuk setiap harga seting  $V_2$ . Hasilnya disajikan dalam Tabel 3-4.

Tabel 3-4a: EFEK  $\alpha$  TERHADAP V PADA  $D_1/D_2 = 2$

$\alpha$ (deg)	$V_1$ (m/det)	$V_2$ (m/det)	$V_2/V_1$
0	1,53	5,93	3,87
30	2,06	5,92	2,87
60	3,52	5,65	1,60

0	2,26	8,85	3,92
30	3,06	8,84	2,89
60	5,31	8,44	1,59
0	3,02	11,86	3,93
30	4,11	11,85	2,88
60	7,14	11,32	1,58
0	3,77	14,81	3,93
30	5,14	14,79	2,88
60	8,93	14,13	1,58
0	4,54	17,80	3,92
30	6,19	17,78	2,87
60	10,75	17,00	1,58

Tabel 3-4b: EFEK  $\alpha$  TERHADAP  $V_x$

$\alpha$ (deg)	$V_{x1}$ (m/det)	$V_{x2}$ (m/det)	$V_{x2}/V_{x1}$
0	1,53	5,85	3,82
30	1,81	5,85	2,83
60	1,93	5,55	1,58
0	2,26	8,74	3,87
30	2,69	8,73	3,25
60	2,91	8,29	2,85
0	3,02	11,72	3,88
30	3,61	11,70	3,24
60	3,90	11,11	2,85
0	3,77	14,62	3,88
30	4,51	14,60	3,24
60	4,87	13,87	2,85
0	4,54	17,58	3,87
30	5,43	17,56	3,24
60	5,85	16,68	2,85

Tabel 3-4c: EFEK  $\alpha$  TERHADAP LOSSES

$\alpha$ (deg)	$p_{01}$ (Pa)	$p_{02}$ (Pa)	losses (%)
0	101.347	101.347	0,000
30	101.347	101.347	0,000
60	101.347	101.345	0,002
0	101.374	101.374	0,000
30	101.374	101.374	0,000
60	101.374	101.370	0,004



0	101.413	101.413	0,000
30	101.413	101.413	0,000
60	101.413	101.407	0,006
0	101.462	101.462	0,000
30	101.462	101.462	0,000
60	101.462	101.452	0,010
0	101.523	101.523	0,000
30	101.523	101.523	0,000
60	101.523	101.509	0,014

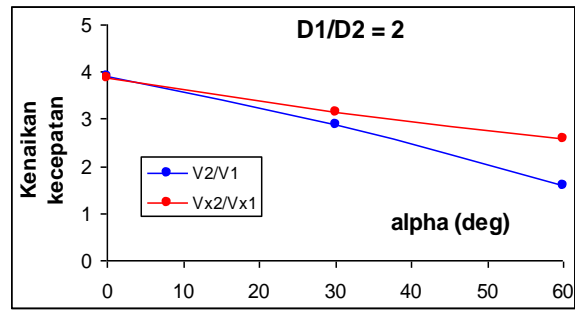
Tabel 3-4d: EFEK  $\alpha$  TERHADAP KENAIKAN DAYA

$\alpha$ (deg)	P (Watt)	P' (Watt)	P'/P
0	2,1	115,8	55,9
30	5,1	115,3	22,8
60	25,2	98,5	3,9
0	6,6	385,6	58,1
30	16,6	383,8	23,2
60	86,6	328,2	3,8
0	15,9	928,8	58,6
30	40,2	924,7	23,0
60	210,4	791,2	3,8
0	30,9	1804,8	58,4
30	78,4	1797,4	22,9
60	410,8	1538,9	3,7
0	54,0	3136,5	58,1
30	136,8	3124,1	22,8
60	715,8	2675,7	3,7

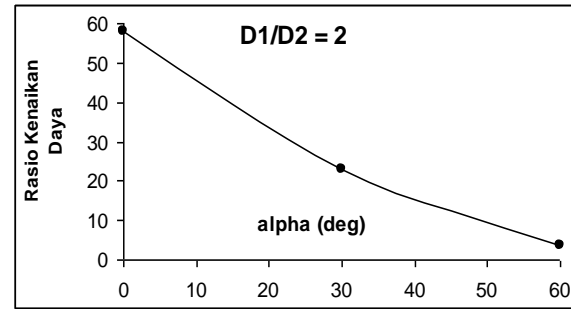
Hasil simulasi dalam Tabel 3-3 dan 3-4 selanjutnya dirangkum dalam bentuk rata-rata sehingga menjadi lebih sederhana. Hasilnya disajikan dalam Tabel 3-5 dan Gambar 3-5.

Tabel 3-5: EFEK  $\alpha$  PADA  $D_1/D_2 = 2$

$\alpha$ (deg)	$V_2/V_1$ (rata2)	$V_{x2}/V_{x1}$ (rata2)	losses (%)	P'/P (rata2)
0	3,91	3,87	0,000	57,8
30	2,88	3,16	0,000	22,9
60	1,59	2,60	0,007	3,8



Gambar 3-5a: Efek  $\alpha$  terhadap kenaikan kecepatan



Gambar 3-5b: Efek  $\alpha$  terhadap rasio kenaikan daya

Hasil dalam Tabel 3-5 dan Gambar 3-5 menunjukkan bahwa semakin besar sudut aliran, maka rasio kecepatan yang dihasilkan juga semakin kecil. Dengan demikian rasio kenaikan daya yang dihasilkan juga menjadi berkurang.

#### 4 KESIMPULAN

Penggunaan *diffuser* dapat menghasilkan kenaikan kecepatan angin dan daya rotor. Kenaikan daya rotor yang dihasilkan secara langsung dipengaruhi oleh rasio diameter *diffuser* dan sudut aliran.

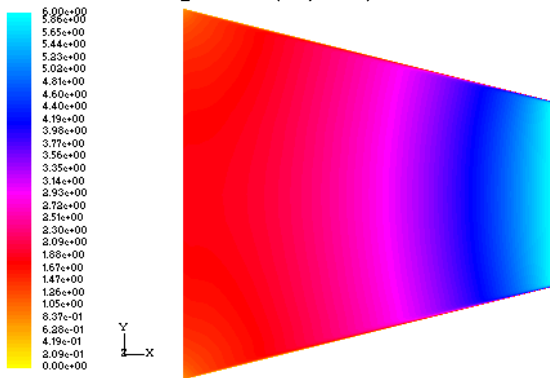
Hasil simulasi dan perhitungan menunjukkan bahwa pada sudut angin 0°, variasi rasio diameter lubang *diffuser* sebesar 2, 3, 4, dan 5 masing-masing menghasilkan kenaikan daya sebesar 58, 622, 3.169, dan 11.519 kali. Hasil simulasi juga menunjukkan bahwa pada rasio diameter *diffuser* sama dengan dua, kenaikan daya pada sudut 0° dan 60° masing-masing sebesar sekitar 58 dan 4 kali. Dengan demikian sebaiknya adanya sudut aliran dihindari agar kenaikan daya menjadi maksimum.

## DAFTAR RUJUKAN

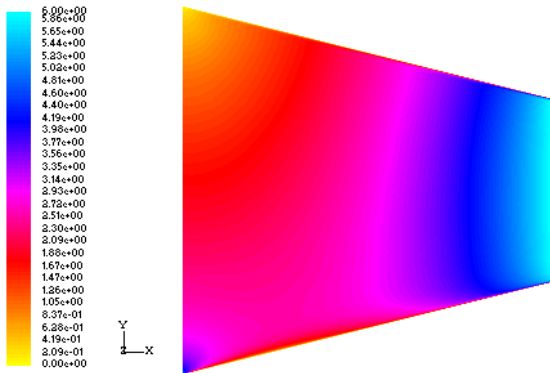
- Anderson, John D., 1985. *Fundamentals of Aerodynamics*, Mc. Grawhill company, Singapore.
- Badawy MTS, Aly M E, 2000. *Gas Dynamics Analysis of The Performance of Diffuser Augmented Wind Turbine*, Mechanical Engineering Department, National Research Center, Dokki, Cairo, Egypt.
- D.G. Phillips, P.J. Richards, R.G.J. Flay, *Diffuser Development for a Diffuser Augmented Wind Turbine Using Computational Fluid Dynamics*, Department of Mechanical Engineering, The University of Auckland, New Zealand.
- 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.
- Manual *FLUENT*
- Michael Moeller Jr dan Kenneth Visser, 2008. *Analysis of Diffuser Augmented Wind Turbine*, Department of Mechanical and Aeronautical Engineering, Clarkson University.
- Tony Burton, et. al., 2001. *Wind Energy Hand Book*, John Willey & Sons.
- [www.wind-works.org](http://www.wind-works.org).

**LAMPIRAN**

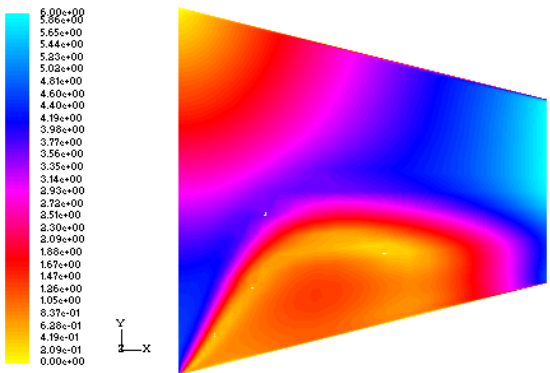
**Kontur Kecepatan (m/det)**



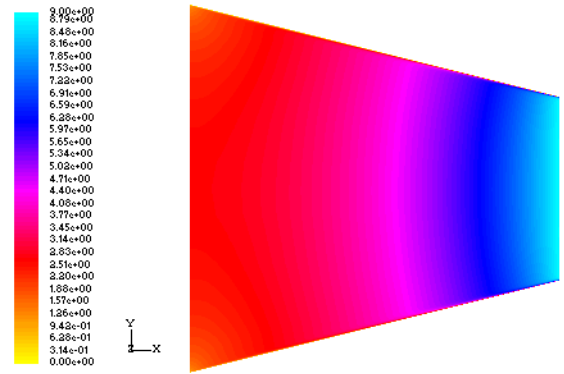
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 6 m/det  
 Sudut aliran = 0°



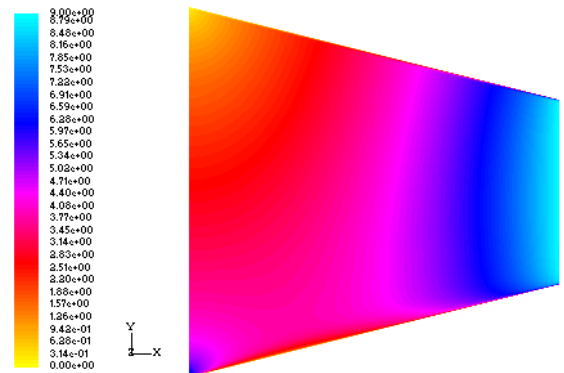
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 6 m/det  
 Sudut aliran = 30°



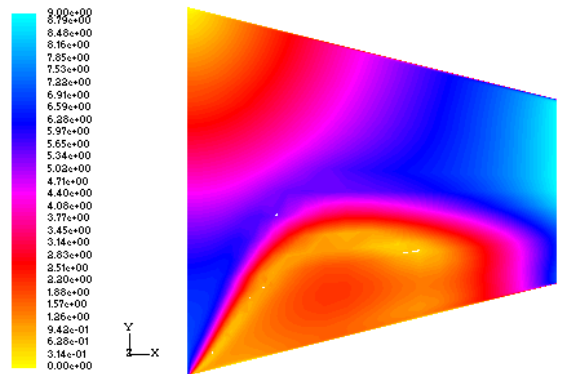
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 6 m/det  
 Sudut aliran = 60°



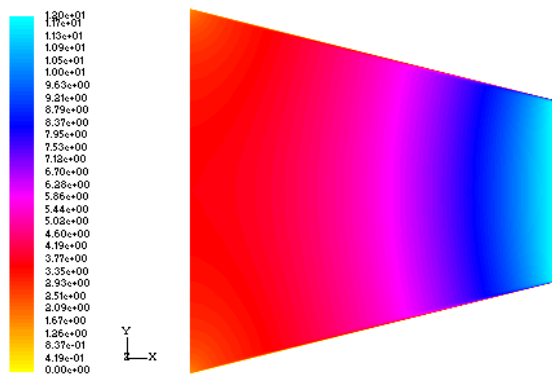
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 9 m/det  
 Sudut aliran = 0°



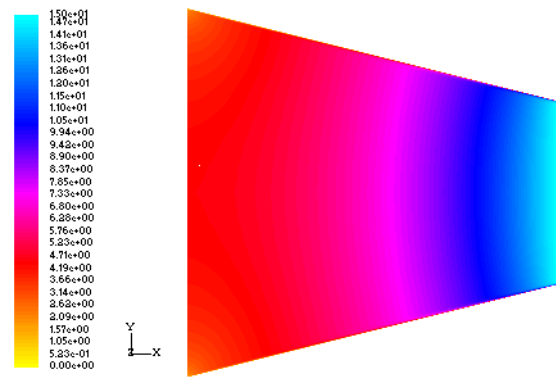
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 9 m/det  
 Sudut aliran = 30°



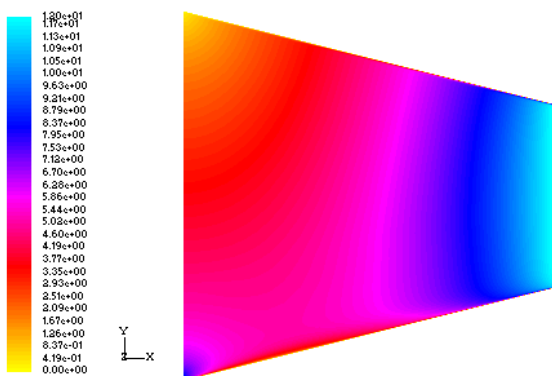
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 9 m/det  
 Sudut aliran = 60°



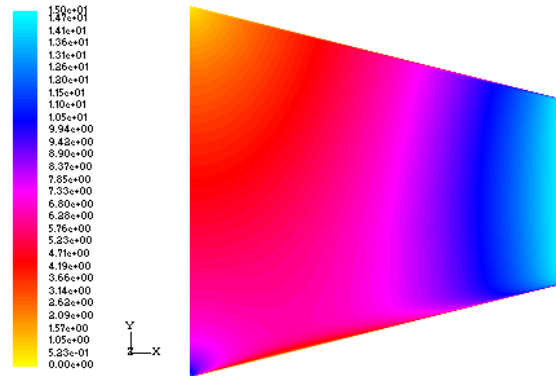
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 12 m/det  
 Sudut aliran = 0°



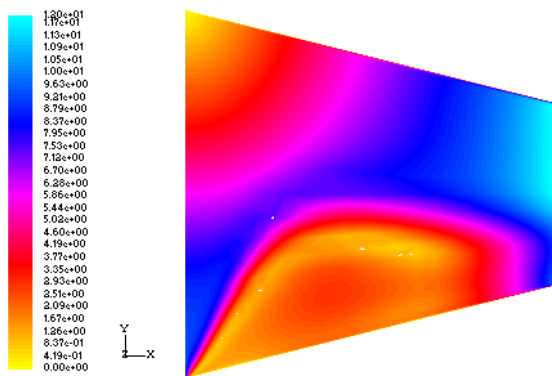
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 15 m/det  
 Sudut aliran = 0°



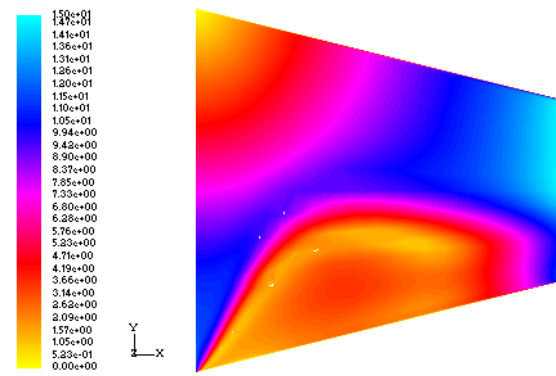
Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 12 m/det  
 Sudut aliran = 30°



Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 15 m/det  
 Sudut aliran = 30°



Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 12 m/det  
 Sudut aliran = 60°



Rasio diameter = 2  
 Seting kecepatan *exit diffuser* = 15 m/det  
 Sudut aliran = 60°