

## PENGARUH PENAMBAHAN FLANGE TERHADAP KINERJA DIFFUSER AUGMENTED WIND TURBINE (DAWT)

Yiyin Klistafani<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> Dosen Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar

### ABSTRACT

Research development related to Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT) is very important, in order to optimize renewable energy sourced from wind energy. The purpose of the research conducted to determine the effect of adding flange to increase the performance of DAWT and to find out the optimal angle of the flange. The other aims of the research are discovering the fluid flow phenomenon that occurs in the curved diffuser augmented wind turbine which is equipped with flange. The method used in numerical simulations was Computational Fluid Dynamics (CFD) method. There were three procedures in this numerical research, namely pre-processing stage, solving stage and continued with the post-processing stage. The studies demonstrate that the addition of flange to the curved diffuser has positive impact on improving DAWT performance, because it can produce very significant wind speed increment compared to the curved diffuser without flange. Curved diffuser flange  $0^\circ$  has the best performance. It can increase wind velocity up to 103.76% in the midline axis of diffuser area with maximum wind velocity is 10.19 m/s. Based on visualization results, there is a very large vortex in the downstream area of curved diffuser flange  $0^\circ$  so it can enhanced the suction effect to generate the wind speed quality inside diffuser.

**Keywords:** CFD, diffuser, flange, wind turbine

### 1. PENDAHULUAN

Potensi energi terbarukan di Indonesia cukup besar dan sangat berpotensi untuk dikembangkan. Salah satu potensi energi terbarukan yang dapat memberikan kontribusi signifikan terhadap kebutuhan energi di Indonesia adalah energi angin [1]. Saat ini, pemanfaatan energi angin hanya 1% dari total energi yang digunakan di seluruh dunia. Banyak penelitian menunjukkan bahwa sesungguhnya potensi energi angin sangat besar hingga mencapai 20% [2].

Kecepatan angin di Indonesia berkisar antara 2 - 6 m/s dan dapat menghasilkan energi listrik 10 s.d. 100 KW untuk kapasitas kecil. Potensi energi angin di Indonesia umumnya berkecepatan lebih dari 5 m/s. Hasil pemetaan Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional pada 120 lokasi menunjukkan beberapa wilayah memiliki kecepatan angin di atas 5 m/s [3]. Salah satu kendala terbesar dalam pemanfaatan energi angin sebagai sumber energi alternatif adalah rendahnya kecepatan angin. Seperti yang diketahui bahwa turbin angin biasanya beroperasi pada saat rata-rata kecepatan angin berkisar 8 – 11 m/s [4]. Oleh karena itu pengembangan turbin angin sangat penting untuk dilakukan guna mengatasi permasalahan tersebut.

Salah satu pengembangan dalam inovasi turbin angin adalah konsep *DAWT (Diffuser Augmented Wind Turbine)* yang dilengkapi dengan selubung *diffuser* pada rotornya. Penggunaan *diffuser* tersebut dimaksudkan untuk menaikkan kecepatan efektif angin sehingga daya yang dihasilkan oleh turbin angin ikut meningkat. Telah banyak penelitian yang fokus terhadap inovasi turbin angin dalam meningkatkan kecepatan angin yang melaluinya [5-8]. Yadav dan Kumar [9] juga telah melakukan *review* terkait turbin angin berselubung dengan kecepatan angin yang rendah. Sebelumnya, Ohya et al [10] telah melakukan inovasi terhadap *DAWT* dengan menambahkan *flange* pada bagian *outlet diffuser*. Hasil yang didapatkan yaitu *diffuser augmented wind turbine* yang dilengkapi *flange* mampu meningkatkan kecepatan angin lebih besar dibandingkan *DAWT* tanpa flange. Selain itu *output power coefficient* juga mampu meningkat lima kali lebih besar dibandingkan dengan turbin angin konvensional.

Pengembangan penelitian terkait *DAWT* juga telah dilakukan oleh Klistafani et al [11] dengan memodifikasi geometri *diffuser* menjadi 4 macam, yaitu *flat diffuser*, *curved diffuser*, *flat diffuser with inlet shroud*, *curved diffuser with inlet shroud*. Hasil yang didapatkan yaitu *curved diffuser* merupakan geometri *diffuser* terbaik dalam meningkatkan kecepatan angin hingga 76,99% dengan kecepatan rata-rata angin maksimum 8,85 m/s (kecepatan *freestream* adalah 5 m/s).

Berdasarkan latar belakang tersebut maka sangat menarik untuk dicermati bahwa desain *diffuser* menjadi salah satu faktor yang menentukan efektifitas penggunaan *Diffuser Augmented Wind Turbine*

<sup>1</sup> Korespondensi penulis: Yiyin Klistafani, Telp 085648965909, yiyin\_klistafani@poliupg.ac.id / klistafani@gmail.com

(DAWT). Pada penelitian kali ini dilakukan pengujian terhadap geometri *diffuser* interior lengkung (*curved diffuser*) yang ditambahkan dengan *flange* pada bagian outletnya. Hal ini dilakukan dengan harapan agar vortisitas yang terbentuk pada bagian *downstream diffuser* meningkat dan mampu menaikkan efek hisap pada sisi masuk *diffuser*, sehingga berdampak positif terhadap peningkatan kecepatan angin yang dihasilkan.

Tujuan dari penelitian yang dilakukan yaitu untuk mengetahui pengaruh penambahan *flange* terhadap peningkatan performa *curved diffuser augmented wind turbine*, mengetahui besar sudut optimal *flange* yang mampu menghasilkan performa terbaik dalam meningkatkan kecepatan angin dan juga untuk mengetahui fenomena aliran fluida yang terjadi di dalam *curved diffuser augmented wind turbine* yang dilengkapi dengan *flange* secara 2D melalui hasil visualisasi *software Ansys Fluent 2019 R1*.

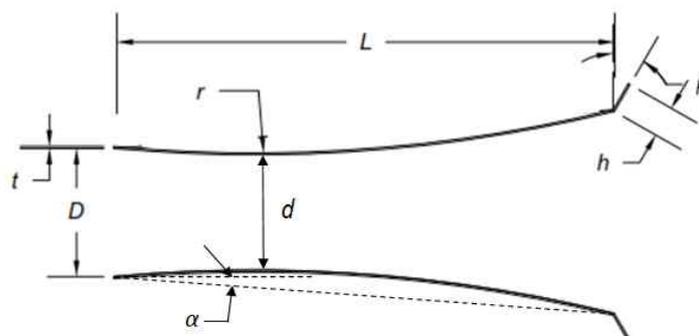
## 2. METODE PENELITIAN

Analisis pengaruh penambahan *flange* terhadap peningkatan kinerja *Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT)* merupakan Studi Numerik yang dilakukan dengan menggunakan metode *Computational Fluid Dynamics (CFD)* dengan *software Ansys Fluent 2019 R1*. Prosedur yang dilakukan pada penelitian numerik adalah tahap *pre-processing*, tahap *solving* dan dilanjutkan dengan tahap *post-processing*.

Tahap awal yang dilakukan adalah menetapkan dan mendesain geometri *diffuser* berupa *curved diffuser* yang kemudian ditambahkan *flange* pada bagian *outlet diffuser*. Desain geometri dikerjakan dengan menggunakan *software Ansys Workbench 2019 R1*. Dimensi *curved diffuser* yang digunakan (tabel 1) mengacu pada penelitian sebelumnya [11], dimana *curved diffuser* merupakan bentuk geometri yang mampu memberikan peningkatan performa terbaik bagi *DAWT* dibandingkan dengan *flat diffuser*. Selanjutnya Sudut *flange* didesain dan divariasikan sebagai berikut:  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $90^\circ$ . Panjang *flange* ( $h$ ) yang digunakan yaitu 0.2 m merujuk pada penelitian terdahulu [5, 8]. Contoh desain *curved diffuser* yang dilengkapi dengan *flange* dengan beberapa sudut tertentu dapat dilihat pada gambar 1.

Tabel 1. Dimensi Geometri *Diffuser* 2D

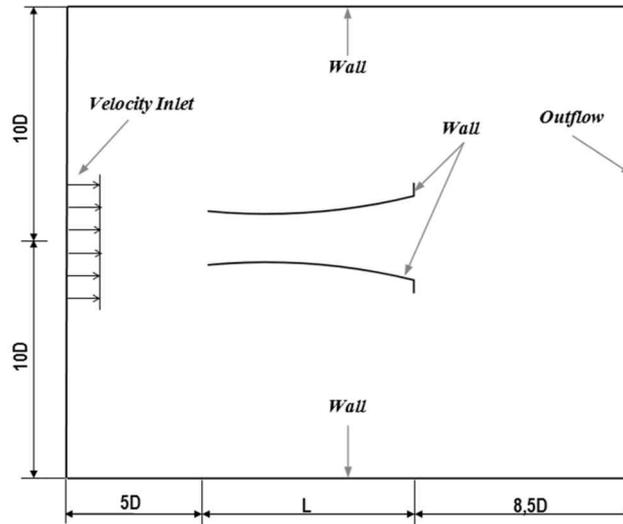
Spesifikasi	Dimesi
Diameter inlet ( $D$ )	0,40 m
Panjang <i>diffuser</i> ( $L$ )	3,08 m
Tebal <i>diffuser</i> ( $t$ )	0,0125 m
Sudut bukaan <i>diffuser</i> ( $\alpha$ )	$4^\circ$
Jari-jari kelengkungan ( $r$ )	10 m
Diameter terkecil <i>diffuser</i> ( $d$ )	0,339 m
Panjang <i>flange</i> ( $h$ )	0,2 m
Sudut <i>flange</i> ( $\beta$ )	$0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$



Gambar 1. Desain *Curved Diffuser* yang dilengkapi dengan *flange*  $30^\circ$

Kondisi batas komputasi dapat dilihat pada Gambar 2. Kecepatan aliran angin yang di *set-up* sebesar 5 m/s pada lokasi *inlet* dengan *boundary condition* adalah *velocity inlet*. Sedangkan *boundary condition* untuk

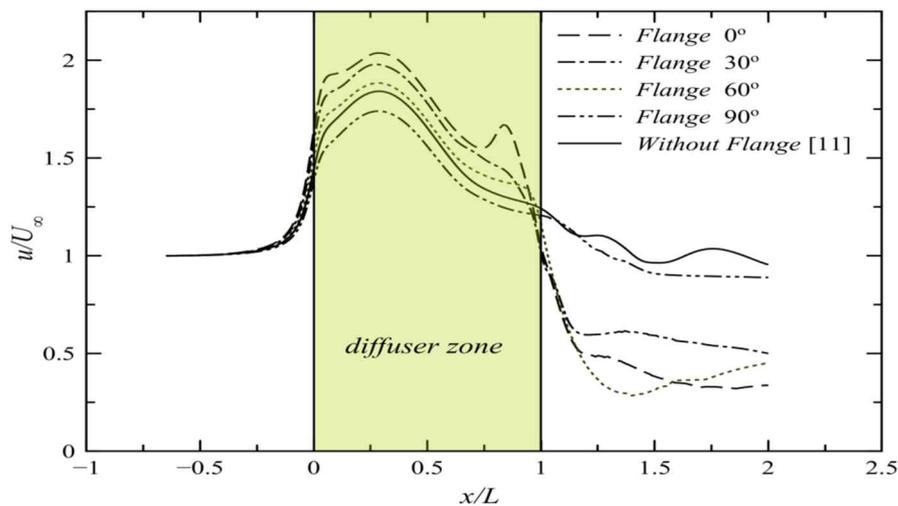
outlet adalah *outflow*. Aliran fluida diasumsikan *steady* dan *incompressible*. *Turbulence model* yang digunakan adalah *SST k- $\omega$*  merujuk Menter [12]. Model turbulensi tersebut sangat bagus dalam memprediksi aliran pada daerah dengan *adverse pressure gradient* yang besar seperti yang didemonstrasikan oleh Hu and Wang [13] dan Jost et al. [14]. *Pressure velocity coupling* menggunakan metode SIMPLE dan semua variabel diselesaikan menggunakan *second order discretization*. Komputasi dilakukan hingga 1000 iterasi, dimana konvergensi tercapai ketika *residual momentum* mencapai  $10^{-6}$ .



Gambar 2. Kondisi batas (*Boundary Condition*) simulasi *curved diffuser* yang dilengkapi dengan *flange 0°*

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Distribusi *streamwise velocity*,  $u/U_\infty$ , disepanjang *midline axis* untuk seluruh geometri *diffuser* dapat dilihat pada Gambar 3. Terlihat pada Gambar 3 bahwa *curved diffuser* dengan penambahan *flange* mampu memberikan peningkatan kecepatan angin secara signifikan pada *diffuser zone* dibandingkan *curved diffuser* tanpa *flange*, khususnya pada *flange* dengan sudut  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ , dan  $60^\circ$ . Sedangkan penambahan *flange* dengan sudut  $90^\circ$ , justru membuat peningkatan kecepatan angin lebih rendah dibandingkan performa *diffuser* tanpa *flange*. Penambahan *flange* dengan sudut  $0^\circ$  dapat memberikan performa terbaik yaitu dengan menghasilkan peningkatan kecepatan angin paling tinggi dibandingkan sudut *flange* yang lain. Berdasarkan gambar 3 diperoleh hasil bahwa semakin besar sudut *flange* pada *diffuser* maka tidak memberikan peningkatan kecepatan angin yang lebih baik.



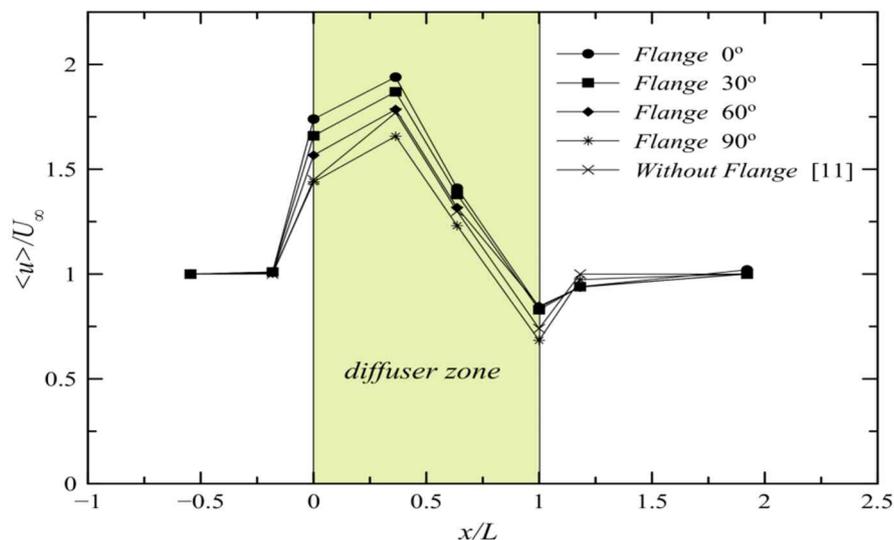
Gambar 3. Distribusi *streamwise velocity* pada *midline axis*

Pada *entrance section* ( $x/L = 0$ ) dapat dilihat bahwa *curved diffuser* dengan sudut *flange*  $0^\circ$  memiliki kecepatan angin  $8,20$  m/s. Namun kecepatan angin maksimum terjadi sesaat setelah melalui *entrance section* yaitu pada *section*  $x/L = 0,28$ , dengan kecepatan angin mencapai  $10,19$  m/s atau mengalami peningkatan sebesar  $103,76\%$  dari kecepatan *freestream* ( $5$  m/s). Hal menarik yang perlu dicermati adalah penambahan *flange* pada *curved diffuser* tidak selalu memberikan peningkatan performa *DAWT*. Seperti yang terlihat pada tabel 2, bahwa penambahan *flange* dengan sudut  $80^\circ$  dan  $90^\circ$  justru menghasilkan peningkatan kecepatan angin lebih rendah dibandingkan *curved diffuser* tanpa *flange*. Oleh karena itu penambahan *flange* memang mampu memberikan dampak positif terhadap peningkatan performa *DAWT* namun dengan tetap memperhitungkan besar sudut *flange*.

Tabel 2. Kecepatan angin pada *midline axis* untuk *curved diffuser* dengan dan tanpa *flange*

Nilai	Curved Diffuser with flange				Curved Diffuser without Flange [11]
	$0^\circ$	$30^\circ$	$60^\circ$	$90^\circ$	
Kecepatan angin di sisi <i>entrance</i> , $x/L = 0$ (m/s)	8.20	7.88	7.49	6.92	7.20
Kecepatan maksimum angin (m/s)	10.19	9.90	9.42	8.70	9.21
Peningkatan kecepatan (%)	103.76	97.94	88.41	74.03	84.18

Kecepatan angin pada *midline axis* (Gambar 3 dan Tabel 2) tentunya tidak mampu mewakili kondisi kecepatan rata-rata angin pada setiap *section* ( $x/L$ ) di dalam diffuser. Hal ini dikarenakan setiap *section* memiliki variasi nilai kecepatan angin, dimana kecepatan maksimum tidak selalu berada pada *midline axis* diffuser. Oleh karena itu perlu dilakukan analisis peningkatan kecepatan rata-rata angin di setiap *section*, seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.

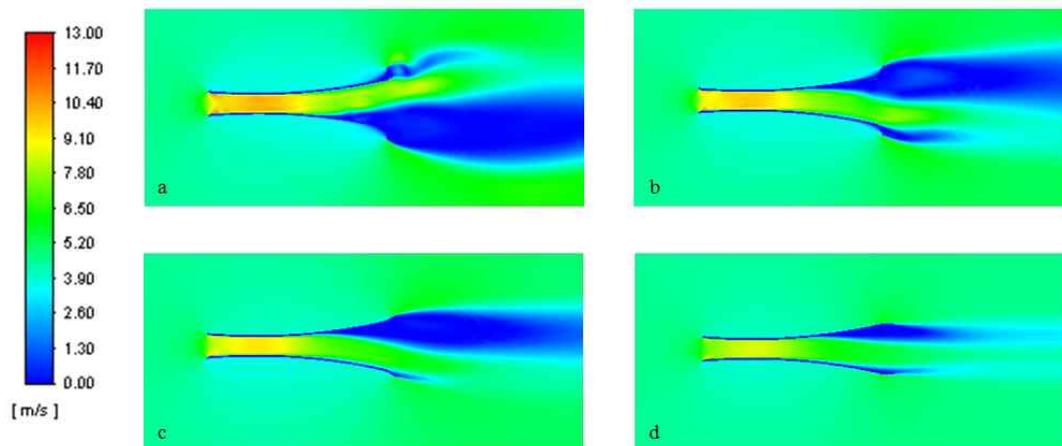


Gambar 4. Distribusi kecepatan rata-rata angin di setiap *section*

Senada dengan hasil analisis sebelumnya yaitu *diffuser* dengan *flange*  $0^\circ$  memang memiliki performa terbaik dibandingkan dengan *diffuser* dengan sudut *flange* lainnya maupun *diffuser* tanpa *flange*. Berdasarkan gambar 3, kecepatan rata-rata angin tertinggi yang dihasilkan oleh *diffuser* dengan sudut *flange*  $0^\circ$  yaitu

sebesar 9,7 m/s dengan nilai peningkatan kecepatan angin sebesar 93,96%. Peningkatan kecepatan rata-rata angin tertinggi yang dihasilkan tersebut terjadi di dalam *diffuser zone* yaitu pada *section*  $x/L = 0,36$ .

Kemampuan *curved diffuser* dalam meningkatkan performa DAWT telah dibahas oleh klistafani et al.[11] yaitu karena adanya efek hisap yang ditimbulkan akibat adanya *vortex* pada *downstream zone* mampu memberikan dampak positif terhadap kualitas kecepatan angin di dalam *diffuser*. Pada penelitian ini penambahan *flange* rupanya mampu lebih meningkatkan kualitas kecepatan angin yang masuk ke dalam *diffuser*. Hal tersebut tidak lepas dari peran *flange* dalam memberbesar vortisiti aliran pada daerah *downstream*, sehingga efek hisap angin yang masuk ke dalam *diffuser* lebih kuat dibandingkan *diffuser* tanpa *flange*. Hasil visualisasi kontur kecepatan untuk keempat *curved diffuser* dengan sudut *flange* yang berbeda dapat dilihat pada Gambar 5. *Curved diffuser* dengan *flange*  $0^\circ$  memiliki vortisiti aliran yang sangat besar (ditandai dengan warna biru) pada daerah *downstream* dibandingkan *curved diffuser* dengan sudut *flange* lainnya. Efek hisap yang kuat inilah yang mengakibatkan nilai kecepatan angin yang masuk di dalam *diffuser* (pada *entrance region*) meningkat (warna jingga).



Gambar 5. Kontur kecepatan pada *curved diffuser* dengan sudut *flange*:

a.  $0^\circ$ ; b.  $30^\circ$ ; c.  $60^\circ$ ; d.  $90^\circ$

#### 4. KESIMPULAN

Simulasi numerik telah dilakukan pada *curved diffuser* dengan sudut *flange*  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  dan  $90^\circ$  untuk diaplikasikan pada *Diffuser Augmented Wind Turbine (DAWT)*. Beberapa kesimpulan utama yang didapatkan dari penelitian ini yaitu sebagai berikut:

- 1) Penambahan *flange* pada *curved diffuser* mampu memberikan dampak positif terhadap peningkatan performa DAWT karena dapat menghasilkan peningkatan angin yang sangat signifikan dibandingkan *curved diffuser* tanpa *flange*, namun dengan tetap memperhatikan besar sudut *flange*.
- 2) *Curved diffuser flange*  $0^\circ$  memiliki performa paling bagus karena mampu meningkatkan kecepatan angin hingga mencapai 103,76% pada daerah *midline axis diffuser* dengan nilai kecepatan angin maksimal yaitu 10,19 m/s.
- 3) *Curved diffuser flange*  $0^\circ$  juga mampu meningkatkan kecepatan rata-rata angin sebesar 103,76% pada *section*  $x/L = 0,36$  dengan nilai kecepatan rata-rata angin maksimal yaitu 9,7 m/s.
- 4) *Curved diffuser flange*  $0^\circ$  memiliki vortex yang sangat besar pada daerah *downstream* dibandingkan *curved diffuser* dengan sudut *flange* lainnya. Sehingga efek hisap yang kuat akibat vortisiti aliran tersebut mampu meningkatkan kualitas kecepatan angin yang masuk di dalam *diffuser*.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Irawan, "Analisis dan Simulasi Penggunaan Diffuser pada Turbin Angin Daerah Pemukiman dengan Berbagai Variasi Geometri," Skripsi, Teknik Mesin, Universitas Indonesia, 2012.
- [2] A.Y. Qasim, R. Usubamatov, Z.M. Zain, G. A. Quadir, "The Parameters Affect Coefficient Vertical Axis Wind Turbine," IIUM Engineering Journal, 13 (1), pp. 59-66, 2012.
- [3] LIPI, "Pengembangan Energi Angin Memungkinkan," dalam kompas 23 April, 2007.

- [4] G. Bangga, T. Lutz, E. Jost, E. Krämer, “CFD studies on rotational augmentation at the inboard sections of a 10 MW wind turbine rotor,” *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, vol. 9, no. 2, 023304, 2017.
- [5] T.S. Kannan, S. A. Mutasher, Y.H.K. Lau, “Design and Flow Velocity Simulation of Diffuser Augmented Wind Turbine Using CFD,” *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 8, no. 4, pp. 372-384, 2013.
- [6] M. Lipian, M. Karczewski, K. Olasek, “Sensitivity Study of Diffuser Angle and Brim Height Parameters for The Design of 3kW Diffuser Augmented Wind Turbine,” *Open Engineering*, vol. 5, pp. 280-286, 2015.
- [7] M. Lipian, M. Karczewski, J. Molinski, K. Jozwik, “Numerical simulation methodologies for design and development of Diffuser-Augmented Wind Turbines – analysis and comparison,” *Open Engineering*, vol. 6, pp. 235-240, 2016.
- [8] T. A. Khamlaj, M.P. Rumpfkeil, “Analysis and Optimization of Ducted Wind Turbines,” *Energy*, 2018.
- [9] A.K. Yadav, D. Kumar, “Review of a Shrouded Wind Turbine for Low Wind Speeds,” *International Digital Library of Technology & Research*, vo. 1, issue 5, 2017.
- [10] Y. Ohya, T. Karasudani, A. Sakurai, K. Abe, M. Inoue, “Development of a Shrouded Wind Turbine with Flanged Diffuser,” *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics* 96, pp. 524-539, 2008.
- [11] Y. Klistafani, M.I. Mukshen, G. Bangga, “Assessment of Various Diffuser Structures to Improve the Power Production of a Wind Turbine Rotor,” *Technische Mechanik*, vol. 38, issue 3, pp. 256-266, 2018.
- [12] F.R. Menter, “Two-equation eddy-viscosity turbulence models for engineering applications,” *AIAA Journal*, vol. 32, no. 8, pp. 1598-1605, 1994.
- [13] J. Hu, W. Wang, “Upgrading a shrouded wind turbine with a self adaptive flanged diffuser,” *Energies*, vol. 8, pp. 5319-5337, 2015.
- [14] E. Jost, A. Fischer, G. Bangga, T. Lutz, E. Krämer, “An investigation of unsteady 3-D effects on trailing edge flaps”, *Wind Energy Science*, vol. 2, no.1, pp. 241-256, 2017.

## 6. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada unit Penelitian dan Pengabdian Pada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Ujung Pandang yang telah memberikan hibah dana PNB/DIPA 2019 Politeknik Negeri Ujung Pandang kepada penulis sehingga penelitian ini dapat dilaksanakan dan diselesaikan dengan baik.