

## **Analisa Aerodinamika Airfoil NACA 4412 Bentuk *SemiInverse-Tapper* Tipe HAWT (Horizontal Axis Wind Turbine)**

**April Tyas Amalia<sup>1</sup>, Risse Entikaria Rachmanita<sup>2</sup>, Bayu Rudianto<sup>3\*</sup>**

<sup>1,2,3</sup>*Prodi Teknik Energi Terbarukan, Jurusan Teknik, Politeknik Negeri Jember*

*\*bayu\_rudianto@polije.ac.id*

### **Abstract**

*Wind turbine blades are using to drive generator, in the blades there are airfoils that can produce lift force. One that affects the airfoil performance is angle of attack (AOA). This study was conducted to analyze the aerodynamics of the NACA 4412 semi inverse-tapper airfoil. The material is using PVC with an airfoil size (length 20 cm, a base chord 13.26 cm and a tip chord 12 cm) at wind speed 3 m/s, 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s and 12 m/s. The test was performed by experimental method by using wind tunnel and simulation with solidwork application, the results of two methods are compared for analysis. The results of research show that more fast the wind speed that strikes the airfoil, more greater the value of lift force and drag force, this is directly proportional to the value of lift coefficient and drag coefficient, the best angle of attack for airfoil type NACA 4412 semi inverse-tapper form angular position angle of attack 5 ° at wind speed 3 m/s.*

*Keywords : angel of attack, HAWT, NACA 4412, semi inverse-tapper*

### **Abstrak**

Bilah turbin angin digunakan untuk menggerakkan generator, dalam bilah tersebut terdapat airfoil yang dapat menghasilkan gaya angkat. Salah satu yang mempengaruhi kinerja airfoil yaitu sudut serang. Penelitian ini dilakukan untuk menganalisis aerodinamika airfoil NACA 4412 bentuk semi inverse-tapper. Bahan yang digunakan adalah PVC dengan ukuran airfoil yaitu panjang 20 cm, chord pangkal 13,26 cm dan chord ujung 12 cm pada kecepatan angin 3 m/s, 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s dan 12 m/s. Pengujian dilakukan dengan metode eksperimen menggunakan wind tunnel dan simulasi dengan solidwork, hasil dari dua metode tersebut dibandingkan untuk dianalisa. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kecepatan angin yang menumbuk airfoil maka semakin besar nilai lift force dan drag force, hal ini berbanding lurus dengan dengan nilai coefficient lift dan coefficient drag, sudut serang terbaik untuk airfoil tipe NACA 4412 bentuk semi inverse-tapper diposisi sudut serang 5° pada kecepatan angin 3 m/s.

*Kata kunci : angel of attack, HAWT, NACA 4412, semi inverse-tapper*

### **1. Pendahuluan**

Seiring menipisnya energi fosil di Indonesia, dibutuhkan sumber energi alternatif yang bersifat terbarukan. Salah satu energi alternatif yaitu energi angin bahwa kecepatan rata-rata energi angin di Indonesia yaitu 3-6 m/s[1]. Penentuan energi angin di suatu tempat didasarkan pada lama atau durasi kecepatan

angin produktif setiap harinya. Hal ini dikarenakan kecepatan angin yang cenderung fluktuatif. [2]

Energi angin terdiri dari beberapa komponen, salah satu komponen terpenting adalah bilah. Bilah merupakan komponen yang akan menerima tekanan angin secara berkelanjutan. Jenis bilah tapper dengan

kecepatan angin  $\pm 12$  m/s menghasilkan daya sebesar 1240 W dan jenis bilah *tapperless* dengan kecepatan angin  $\pm 8$  m/s menghasilkan daya sebesar 941 W [3]. Sedangkan jenis bilah *inverse-tapper* dengan kecepatan angin  $\pm 6$  m/s menghasilkan daya sebesar 350 W [4]. Pada bilah *tapper* dapat menghasilkan daya yang besar ketika kecepatan angin tinggi, tetapi pada kecepatan angin rendah bilah *tapper* tidak bisa menyerap angin lebih banyak karena ujung bilah yang kecil. Pada bilah *tapperless* daya yang dihasilkan besar ketika mendapat kecepatan angin tinggi, tetapi bilah *tapperless* mudah bergetar karena tekanan angin yang tinggi sehingga bilah tersebut tidak stabil. Sedangkan bilah *inverse-tapper* daya yang didapatkan besar, tetapi bilah *inverse-tapper* rawan patah karena ujungnya yang lebar dan pangkal yang kecil sehingga tidak seimbang.

Besarnya energi yang terkandung pada angin juga tergantung pada kecepatan angin dan massa jenis udara yang bergerak tersebut. Semakin besar kecepatan angin yang menumbuk *airfoil*, semakin besar gaya yang didapatkan oleh *airfoil*. Selain dari kecepatan angin, *airfoil* akan bekerja maksimal jika penggunaannya sesuai dengan profil dan karakternya [5]. Salah satu yang sangat mempengaruhi dari kerja *airfoil* adalah sudut serang. Sudut serang (*Angel of attack*) adalah sudut yang dibentuk oleh tali busur sebuah *airfoil* dan arah aliran udara yang melewatinya (*relative wind*). Penelitian ini menggunakan *airfoil* NACA 4412, hal yang mendasari pemilihan NACA 4412 tersebut berdasarkan bahwa sudut serang  $0^\circ$  *airfoil non simetris* menimbulkan gaya angkat, *airfoil non simetris* terdiri dari tipe *flat bottom* (rata bawah) untuk kecepatan angin sedang dan *heavly cambered* (melengkung) untuk kecepatan angin rendah [6]. Setiap *airfoil* mengalami fenomena yaitu stall yang merupakan nilai *coefficient lift* menurun dan nilai *coefficient drag* semakin besar dengan sudut serang yang berbeda-beda.

Analisa aerodinamika tipe turbin angin HAWT menggunakan *airfoil* NACA 4412 dibandingkan dengan *airfoil* NACA Report No. 613 menyatakan bahwa *stall* terjadi pada

*airfoil* dengan sudut serang  $12^\circ$ , hal tersebut karena *lift force* mencapai titik yang paling tinggi [7]. Sedangkan penentuan sudut serang untuk mendapatkan gaya angkat maksimum menggunakan *airfoil* AG19. Karakteristik aerodinamika antara data eksperimen dan simulasi, selisih *Cl/Cd* tertinggi pada kecepatan angin 8 m/s. Hal tersebut terjadi karena *airfoil* sudah kehilangan gaya angkat tetapi gaya hambat semakin besar [5].

Penelitian ini dilakukan menggunakan tipe *airfoil* NACA 4412 dengan bilah jenis semi *inverse-tapper*, bilah jenis ini merupakan perpaduan antara bilah jenis *tapperless* dan *inverse-tapper*. Bilah jenis *semi inverse-tapper* memiliki ujung bilah yang lebih lebar dibandingkan dengan pangkal, namun rasio perbesarannya tidak terlalu besar.

## 2. Metoda Penelitian

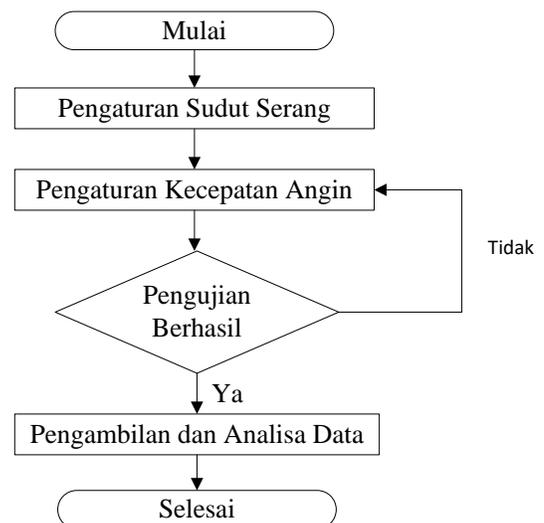
### 2.1. Alat dan Bahan

Objek yang diujikan pada dimensi *blade* dibuat dengan panjang 20 cm, *chord* pangkal 13,26 cm dan *chord* ujung 12 cm. Alat yang digunakan untuk penelitian ini terdiri *wind tunnel* untuk pengujian eksperimen dan *Solidwork* 2016 untuk pengujian simulasi.

### 2.2. Prosedur Pengujian

#### a. Pengujian Airfoil Metode Eksperimen

Adapun prosedur pengujian eksperimen seperti berikut:



Gambar 1. Diagram Alir Pengujian Eksperimen

Airfoil diletakkan padaudukan kerja yaitu *holder* untuk mengatur sudut serang yang akan diuji. Kemudian melakukan kalibrasi timbangan agar data yang didapat lebih akurat, dengan posisi timbangan 0 newton. Apabila timbangan sudah terkalibrasi maka menghidupkan blower dan melakukan pengaturan kecepatan angin. Pengaturan kecepatan angin menggunakan motor, apabila kecepatan angin rendah nilai frekuensi pada motor diturunkan. Jika kecepatan angin tinggi maka nilai frekuensi pada motor dinaikkan. Pengujian eksperimen jika sudah sesuai memenuhi parameter keberhasilan, maka dilanjutkan pengambilan data. Indikator keberhasilan pengujian eksperimen yaitu nilai *lift force* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *drag force*.

b. Pengambilan Dan Analisa Data

Proses pengambilan data dilakukan dengan memvariasikan sudut serang dan kecepatan angin. Parameter sudut serang yang ditentukan yaitu 0°, 5°, 10°, 15° dan 20°, sedangkan kecepatan angin yang digunakan yaitu 3 m/s, 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s dan 12 m/s. Data yang diambil dari pengujian eksperimen ini meliputi nilai *lift force* dan nilai *drag force*, data didapatkan berdasarkan timbangan di *wind tunnel* seperti gambar 3. Setelah melakukan pengambilan data kemudian menganalisa data, data yang didapatkan kemudian dihitung nilai *coefficient drag* dan nilai *coefficient lift* seperti persamaan berikut:

$$C_D = (2 \cdot F_D) / (\rho \cdot v^2 \cdot c \cdot l)$$

$$C_L = (2 \cdot F_L) / (\rho \cdot v^2 \cdot c \cdot l)$$

Keterangan :

$P$  = Densitas udara (kg/m<sup>3</sup>)

$V$  = Kecepatan angin (m/s)

$A$  = Reference area (m<sup>2</sup>)

$c$  = Panjang *chord* (m)

$l$  = Lebar airfoil (m)

$C_d$  = Coefisien drag

$C_l$  = Coefisien lift

$F_D$  = Drag Force (N)

$F_L$  = Lift Force (N)



(a)

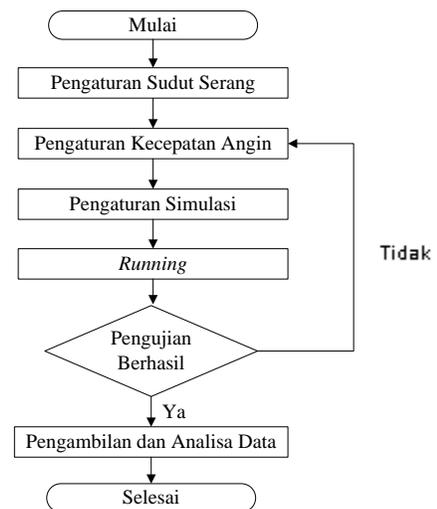


(b)

Gambar 2.(a) Nilai *Drag Force* dan (b) Nilai *Lift Force*

c. Pengujian Airfoil Metode Simulasi

Adapun prosedur pengujian simulasi sebagai berikut:



Gambar 3. Diagram Alir Pengujian Simulasi

Proses simulasi dimulai apabila semua parameter telah selesai dilakukan, kemudian *run* untuk melakukan simulasi. Setelah *run* hasil simulasi bisa ditampilkan yaitu nilai *drag force*, *lift force*, *coefficient drag*, dan *coefficient lift*. Data tersebut secara otomatis akan tersimpan pada folder dengan format penyimpanan *notepad*. Kelebihan dari pengujian simulasi yaitu bisa melakukan pengujian distribusi tekanan dan kecepatan

angin sepanjang permukaan airfoil. Distribusi ini dilakukan dengan cara melakukan paramater *countour* pada menu *cut plots*, setelah di *run* maka akan tampil distribusi tekanan. Apabila ingin mengetahui distribusi kecepatan angin dengan cara mengganti pada menu yang ada di ujung depan airfoil.

Indikator keberhasilan dari pengujian simulasi tidak berbeda dengan pengujian eksperimen yaitu nilai *lift force* lebih besar dibandingkan dengan nilai *drag force*. Apabila pada pengujian pertama telah berhasil, maka bisa melakukan pengujian selanjutnya sampai selesai. Pengujian simulasi yang pertama pada sudut serang  $0^\circ$  dengan kecepatan angin yang berbeda yaitu 3 m/s, 5 m/s, 7 m/s, 9 m/s dan 12 m/s, begitu seterusnya sampai dengan sudut serang  $20^\circ$ .

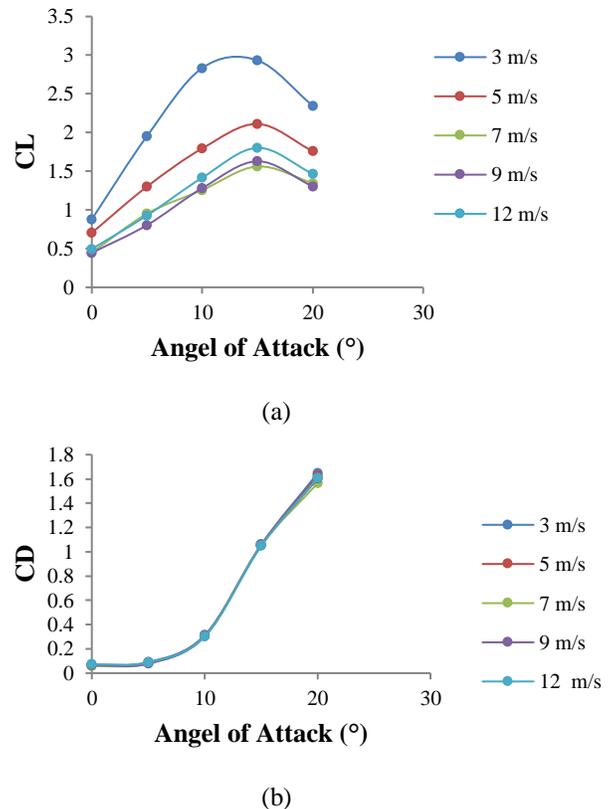
#### d. Analisa Data Keseluruhan

Data yang diperoleh dari pengujian secara metode eksperimen dan metode komputasi. Metode eksperimen menggunakan *wind tunnel* data yang didapat adalah *lift force* dan *drag force* dengan memvariasikan kecepatan angin dan sudut serang. Sedangkan metode komputasi menggunakan *software (SolidWork)* data yang didapat pada pengujian komputasi sama dengan data pada metode eksperimen. Data aktual dan data simulasi kemudian divalidasi dengan cara membandingkan kedua data tersebut untuk mengetahui faktor yang mempengaruhi perbedaan yang terjadi pada data pengujian.

### 3. Hasil Penelitian

#### 3.1. Data Pengujian Eksperimen

Pengujian yang dilakukan menghasilkan data yang disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:



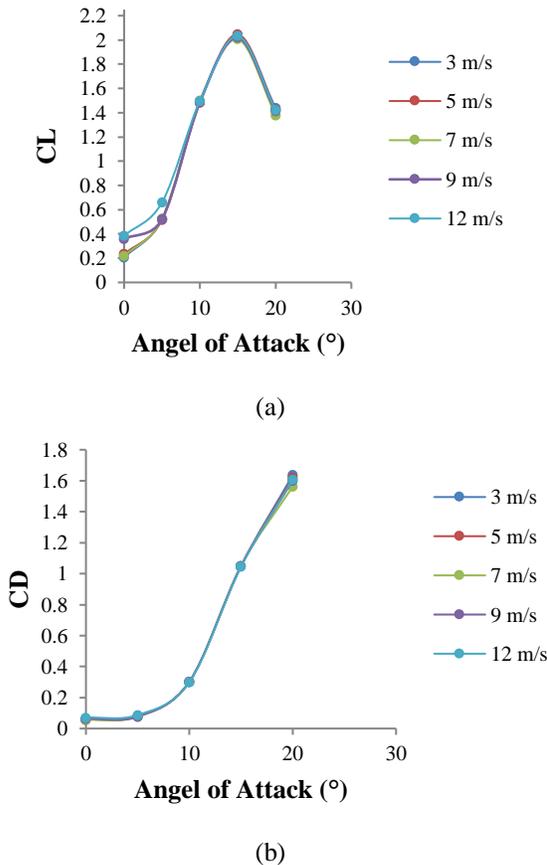
Gambar 4. (a) Sudut Serang Terhadap *Coeffisient Lift*,  
(b) Sudut Serang Terhadap *Coeffisient Drag*.

Grafik gambar 4 menunjukkan bahwa saat penambahan sudut serang nilai *coefficient drag* dan *coefficient lift* meningkat. Nilai *coefficient lift* penambahannya yang signifikan berhenti pada sudut serang  $15^\circ$ , sedangkan nilai *coefficient drag* penambahannya yang lebih konstan pada setiap sudut serang. Agar bilah berputar dengan baik didasari pada nilai *coefficient lift* (Cl) yang lebih besar dari nilai *coefficient drag* (Cd) atau perbandingan Cl/Cd yang tinggi. Nilai *coefficient lift* menurun pada sudut serang di atas  $15^\circ$ , hal ini terjadi karena nilai *lift force* sudah kehilangan gaya akibat aliran udara bebas. Besarnya nilai *coefficient drag* dan *coefficient lift* berbanding lurus dengan gaya yang dihasilkan, hal tersebut sesuai dengan persamaannya bahwa semakin besar nilai gaya yang dihasilkan maka semakin besar pula nilai *coefficient drag* dan *coefficient lift* yang dihasilkan. Akan tetapi pada angin kecepatan yang lebih tinggi dan sudut serang lebih besar nilai *coefficient lift* menurun sedangkan nilai *coefficient drag* semakin

besar. Hal ini terjadi karena nilai *lift force* dan *drag force* tidak sebanding dengan yang dihasilkan oleh airfoil.

### 3.2. Data Pengujian Simulasi

Hasil analisa data disajikan dalam bentuk grafik sebagai berikut:

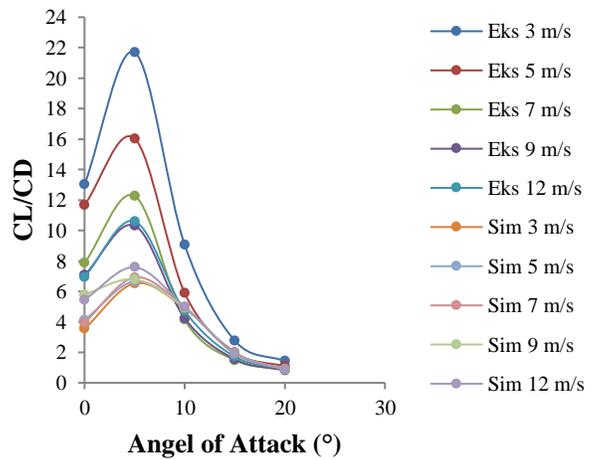


Gambar 5. (a) Sudut Serang Terhadap *Coeffisient Lift*,  
(b) Sudut Serang Terhadap *Coffisient Drag*.

Gambar 5 menunjukkan bahwa hampir tidak ada perbedaan nilai *coefficient drag* dan *coefficient lift* pada kecepatan angin 3, 5, 7, 9, 12 (m/s). Hal ini karena besarnya nilai *drag force* dan *lift force* meningkat dua kali lipat setiap menaikkan kecepatan angin. Apabila menaikkan kecepatan angin maka nilai pembagi semakin besar, sehingga nilai *drag force* dan *lift force* sebagai penentu dari besarnya nilai *coefficient drag* dan *coefficient lift*. Apabila peningkatan nilai *drag force* dan *lift force* tidak sampai dua kali lipat, maka besarnya nilai *coefficient drag* dan *coefficient lift* semakin kecil ketika menaikkan kecepatan angin.

### 3.3. Data Pengujian CL/CD

Perbandingan  $C_L/C_D$  menunjukkan sejumlah *lift force* yang dihasilkan dibagi dengan *drag force* yang muncul akibat gesekan. Semakin baik nilai  $C_L/C_D$  maka semakin baik, sehingga perbandingan  $C_L/C_D$  menjadi salah satu faktor penentu performa airfoil. Berdasarkan data yang dihasilkan dari perbandingan  $C_L/C_D$  didapatkan bahwa pengujian eksperimen nilai  $C_L/C_D$  lebih besar dibandingkan dengan pengujian simulasi. Untuk memudahkan dalam analisa, maka data disajikan berupa grafik seperti gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Perbandingan CL/CD

Berdasarkan perbandingan  $C_L/C_D$  pada gambar 6 menunjukkan bahwa nilai  $C_L/C_D$  pada sudut sudut serang 5° tertinggi dibandingkan dengan sudut serang lainnya. Hal ini disebabkan karena nilai  $C_L$  dan  $C_D$  mengalami peningkatan pada sudut serang 10° sampai 20° sehingga menurunkan perbandingan  $C_L/C_D$ . Hasil eksperimen nilai  $C_L/C_D$  lebih tinggi daripada simulasi, perbedaan tersebut dikarenakan oleh beberapa faktor yang mempengaruhi pengujian. Dengan demikian sudut serang yang terbaik pada airfoil NACA 4412 bentuk semi *inverse-tapper* yaitu sudut serang 5°, karena semakin besar nilai  $C_L/C_D$  maka semakin baik performa bilah yang dihasilkan.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan pada airfoil NACA 4412 bentuk semi *inverse-tapper* dengan kecepatan angin yang telah divariasikan, sehingga semakin besar kecepatan angin yang menumbuk airfoil maka semakin besar nilai *lift force* dan *drag force*, hal tersebut berbanding lurus dengan nilai *coefficient lift* dan *coefficient drag*. Semakin besar Cl/Cd maka semakin baik performa bilah yang digunakan, nilai Cl/Cd terbesar pada kecepatan angin 3 m/s sehingga sudut serang terbaik untuk airfoil NACA 4412 tipe semi *inverse-tapper* diposisi sudut serang 5°.

#### 5. Saran

Diperlukan adanya penelitian lebih lanjut penggunaan airfoil NACA 4412 tipe *semi inverse taper* dengan sudut serang 15°, sebelum diterapkan langsung pada turbin angin, selain itu diperlukan juga uji kekerasan bahan pada airfoil.

#### 6. Daftar Pustaka

- [1] ESDM. 2012. *Kajian Supply Demand Energi*. Pusat Data Dan Informasi Energi Dan Sumber Daya Mineral Kementerian Energi Dan Sumber Daya Mineral.
- [2] Tim Lentera Angin Nusantara. 2014. *Pengenalan Teknologi Pemanfaatan Energi Angin*. Tasikmalaya, Jawa Barat.
- [3] Dahlan, B. 2016. *Rancang Bangun Baling-Baling Kincir Angin Menggunakan NACA 4412 Dan 4415 Dari Bahan Kayu Mahoni (Swietenia macrophylla) Dan Pinus (Pinus merkusii)*. Tesis. Program Magister. Institut Teknologi Sepuluh November.
- [4] Hatta, M., A. Martin. 2017. Perancangan Bilah Tipe *Inverse Tapper* Pada Turbin Angin Berdasarkan Kondisi Angin Di Pekanbaru. Jom FTEKNIK. Vol. 4. No. 1.
- [5] Shofiuddin. 2016. *Penentuan Sudut Serang (Angle Of Attack) Pada Airfoil Blade Kincir Angin Tipe AG19 Untuk Mendapatkan Gaya Angkat Maksimum*. Skripsi. Program Sarjana. Politeknik Negeri Jember.
- [6] Ai Lin, C. 2012. Aerodynamics of an Unmanned Aerial Vehicle. *In partial fulfillment of the requirement for Degree of Bachelor of Engineering National University of Singapore*. Mechanical Engineering University of Singapore. Singapore.
- [7] Natayuda, G. 2017. *Analisa Aerodinamika dan Kinerja Turbin Angin Tipe Sumbu Horizontal Menggunakan Computational Fluid Dynamics*. Skripsi. Program Sarjana. Universitas Jenderal Achmad Yani.
- [8] Nugroho R., Pambudi A., Febriyanto R., Wibowo K. M., Setyawan N. D., Wardani N. S., Saw L. H., Rudiyanto B., *The Performance of Shrouded Wind Turbine at Low Wind Speed Condition*, Energy Procedia, Volume 158, February 2019, Pages 260-265.