

# **STUDI AWAL PENGARUH JUMLAH SUDU TERHADAP DAYA KELUARAN TURBIN ANGIN TIPE HORIZONTAL BERDIAMETER 1,6 METER SEBAGAI SUMBER PENYEDIA LISTRIK PADA PROYEK RUMAH DC DI FMIPA UNJ**

Puji S<sup>1\*)</sup>, Satwiko S<sup>2)</sup>, Taufik<sup>3)</sup>

<sup>1,2</sup>Universitas Negeri Jakarta, Jalan Pemuda 10 Rawamangun, Jakarta Timur, Indonesia 13220

<sup>3</sup>California Polytechnic State University, San Luis Obispo, California, USA 93407

<sup>\*)</sup> Email: [harmasuharmanto@yahoo.com](mailto:harmasuharmanto@yahoo.com)

[Sidopekso61@yahoo.com.au](mailto:Sidopekso61@yahoo.com.au)

## **Abstrak**

Dengan bantuan turbin angin, energi angin dikonversikan menjadi energi listrik. Pada umumnya turbin angin menggunakan 3 sudu, merupakan salah satu sumber penyedia arus listrik. Pengaruh jumlah sudu terhadap daya keluaran yang dihasilkan oleh turbin angin tipe horizontal berdiameter 1,6 meter pada proyek rumah DC. Perbandingan nilai efisiensi energi listrik yang dihasilkan dari dua turbin angin identik dengan variasi jumlah sudu yang berbeda.

**Kata Kunci:** *Turbin angin, Rumah DC, Efisiensi*

## **Abstract**

With wind turbines, wind energy can be converted into electrical energy. In general, wind turbines typically use 3 blades, wind turbine is one source of electricity providers. Influence the number of blades on the output power generated by wind turbines of type horizontal diameter of 1.6 meters in DC home projects. Comparison of the energy efficiency of electricity generated from two identical wind turbine blade with a number of different variations.

**Keywords:** *Wind turbines, DC house, Efficiency*

## **1. Pendahuluan**

Indonesia, sebagai negara kepulauan yang 2/3 wilayahnya meliputi lautan sehingga memiliki garis pantai terpanjang di dunia yaitu  $\pm 80.791,42$  km merupakan wilayah potensial untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin (bayu). Angin merupakan salah satu sumber energi terbarukan yang dapat diperbarui (renewable energy) dan dapat dimanfaatkan menjadi energi mekanik atau energi listrik melalui Sistem Konversi Energi Angin (SKEA). Pemanfaatan angin menjadi sumber energi telah dilakukan sejak abad ke-17 oleh para petani di beberapa negara Eropa seperti Belanda, Denmark dan negara-negara Eropa lainnya untuk memenuhi kebutuhan para petani dalam melakukan penggilingan padi dan irigasi, kemudian istilah pemanfaatan ini dikenal dengan *windmill*.

Pemanfaatan energi angin merupakan pemanfaatan energi terbarukan paling berkembang sekarang. Berdasarkan data dari WWEA (*World Wind Energy Association*) sampai dengan tahun 2007 perkiraan energi listrik dihasilkan oleh turbin angin mencapai 93.85 GigaWatts (GW), mampu menghasilkan lebih dari 1% dari total kelistrikan secara global. Amerika Serikat, Spanyol dan China merupakan negara-negara terdepan dalam

pemanfaatan energi angin baik secara teknologi maupun ilmu pengetahuan.

Saat ini pemanfaatan akan potensi energi angin tersebut belum optimal. Di tengah potensi angin melimpah di kawasan pesisir Indonesia, Indonesia hanya baru memiliki total kapasitas terpasang dalam sistem konversi energi angin saat ini kurang dari 800 kiloWatt (kW). Di seluruh Indonesia, baru terdapat lima unit kincir angin pembangkit listrik berkapasitas masing-masing 80 kiloWatt yang sudah dibangun. Tahun 2007, tujuh unit dengan kapasitas sama menyusul dibangun di empat lokasi, masing-masing di Pulau Selayar tiga unit, Sulawesi Utara dua unit, dan Nusa Penida, Bali, serta Bangka Belitung, masing-masing satu unit. Merujuk pada kebijakan energi nasional, maka pembangkit listrik tenaga bayu (PLTB) ditargetkan mencapai 250 MegaWatt (MW) pada tahun 2025.

Turbin angin ini dapat ditingkatkan efisiensinya untuk mendapat daya keluaran yang maksimal. Salah satunya mungkin dengan penggunaan sudu berjumlah banyak. Sudu yang dipakai adalah tiga sudu dan empat sudu. Tulisan ini bertujuan sebagai kajian awal mengenai cara meningkatkan efisiensi turbin angin melalui variasi jumlah sudunya dan penggunaan turbin angin

sebagai sumber penyedia listrik pada rumah DC. Kemudian tentunya pengukuran dilakukan pada turbin angin identik.

## 2. Energi kinetik angin sebagai fungsi dari kecepatan angin

Atmosfer yang menyelimuti bumi mengandung berbagai macam molekul gas yang tersusun atas beberapa lapisan. Lapisan atmosfer yang paling rendah adalah troposfer yang sangat tipis dibandingkan dengan diameter bumi. Bumi memiliki diameter 12.000 km sedangkan troposfer memiliki tebal sekitar 11 km. Semua peristiwa cuaca terjadi pada lapisan troposfer, termasuk angin.

Energi angin adalah energi yang terkandung dalam massa udara yang bergerak. Energi angin berasal dari energi matahari, pemanasan bumi oleh sinar matahari menghasilkan angin. Hampir semua energi terbarukan (kecuali energi pasang surut dan panas bumi) bahkan energi fosil berasal dari energi matahari. Matahari meradiasikan  $1,74 \times 10^{17}$  Joule energi ke permukaan bumi pada setiap detiknya. Sekitar 1% hingga 2% dari energi yang datang dari matahari diubah menjadi bentuk energi angin.

Energi kinetik adalah energi yang dimiliki suatu benda akibat gerakannya.

$$\text{Energi kinetik} = \text{Kerja (W)} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (v)^2 \quad (1)$$

Dimana:  $m$  = massa yang bergerak  
 $v$  = kecepatan benda yang bergerak

Angin yang menggerakkan sudu merupakan udara yang bergerak dan mempunyai massa, sehingga dapat dituliskan sebagai berikut :

$$m = \text{berat jenis } (\rho) \times \text{volume (Luas area } \times \text{ distance)}$$

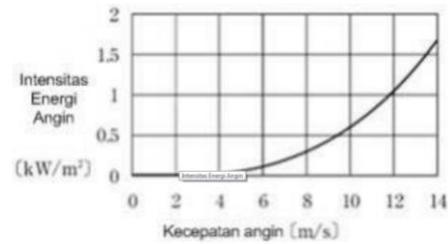
$$= \rho \times A \times d = (\text{kg/m}^3) \cdot (\text{m}^2) \cdot (\text{m}) = \text{kg} \quad (2)$$

Energi kinetik angin yang dapat masuk ke dalam area efektif turbin angin dapat dihitung berdasarkan persamaan (1) berikut :

$$P = \frac{mv^2}{2} = \frac{(\rho Av)v^2}{2} = \frac{\rho Av^3}{2} \quad (3)$$

dimana pada persamaan tersebut dapat kita lihat bahwa energi angin ( $P$  ; Watt) bergantung terhadap faktor-faktor seperti aliran massa angin ( $m$  ; kg/s), kecepatan angin ( $v$  ; m/s), densitas udara ( $\rho$  ; kg/m<sup>3</sup>), luas permukaan area efektif turbin ( $A$  ; m<sup>3</sup>). Di akhir persamaan, secara jelas dapat disimpulkan bahwa energi angin akan meningkat 8 kali lipat apabila kecepatan angin meningkat 2 kali lipatnya, atau dengan kata lain apabila kecepatan angin yang masuk ke dalam daerah efektif turbin memiliki perbedaan sebesar 10% maka energi kinetik angin akan meningkat sebesar 30%. Gambar 1 merupakan kurva intensitas energi

kinetik angin berdasarkan fungsi dari kecepatan angin.



Gambar 1. Intensitas Energi Angin

## 3. Hubungan daya (power) dengan energi listrik yang dihasilkan

Energi adalah ukuran kesanggupan benda melakukan usaha.

$$\text{Force (F)} = \text{massa (m)} \times \text{percepatan (a)} \quad (4)$$

(Pounds, Newtons)

$$\text{Energi} = \text{kerja (W)} = \text{gaya (F)} \times \text{jarak (d)} \quad (5)$$

Daya adalah usaha yang dilakukan per satuan waktu.

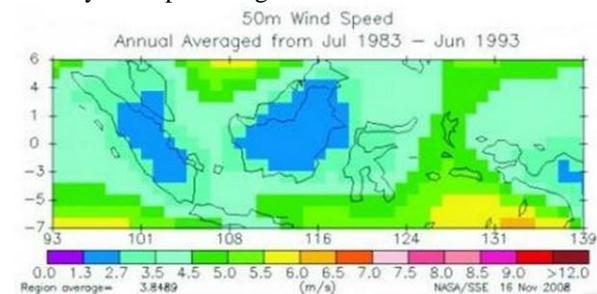
$$\text{Power} = P = W / \text{time (t)} \quad (6)$$

(kilowatts, Watts, Horsepower)

$$\text{Power} = \text{Torque (Q)} \times \text{Rotational Speed } (\Omega) \quad (7)$$

## 4. Potensi energi angin di Indonesia

Berikut ini adalah peta potensi energi angin di Indonesia yang dapat digunakan sebagai referensi dalam mengembangkan pembangkit listrik tenaga angin di Indonesia. Perbedaan kecepatan udara terlihat dari perbedaan warnanya. Biru menyatakan kecepatan udara rendah, sedangkan hijau, kuning, merah dan sekitarnya menyatakan semakin besarnya kecepatan angin.



Gambar 2. Peta persebaran kecepatan angin di Indonesia

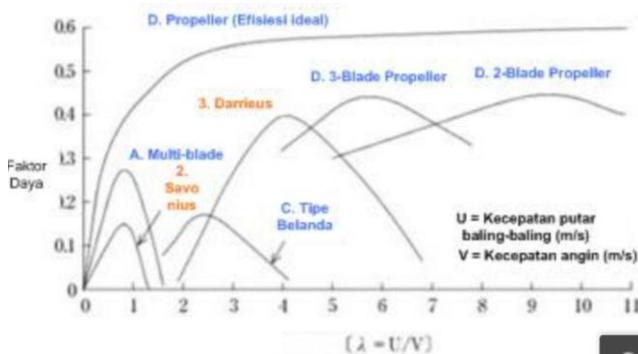
Sebagian besar wilayah Sumatera dan Kalimantan memiliki potensi kecepatan angin yang cukup rendah yaitu antara 1,3 m/s – 2,7 m/s. Pulau Jawa dan Sulawesi memiliki potensi kecepatan angin antara 2,7 m/s – 5 m/s. Sebagian besar wilayah Maluku dan Nusa Tenggara memiliki potensi kecepatan angin 4,5 m/s -5,5 m/s.

**5. Sistem pembangkit listrik tenaga angin/bayu (PLTB)**

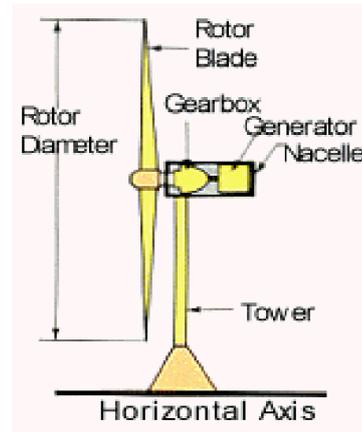
Secara umum kincir angin dapat di bagi menjadi dua, yaitu kincir angin yang berputar dengan sumbu horizontal, dan yang berputar dengan sumbu vertikal. Gambar 3 menunjukkan jenis-jenis kincir angin berdasarkan bentuknya. Sedangkan gambar 4 menunjukkan karakteristik setiap kincir angin sebagai fungsi dari kemampuannya untuk mengubah energi kinetik angin menjadi energi putar turbin untuk setiap kondisi kecepatan angin. Dari gambar 4 dapat disimpulkan bahwa kincir angin jenis *multi-blade* dan *Savonius* cocok digunakan untuk aplikasi turbin angin kecepatan rendah. Sedangkan kincir angin tipe *Propeller*, paling umum digunakan karena dapat bekerja dengan lingkup kecepatan angin yang luas.



Gambar 3. Jenis-jenis kincir angin



Gambar 4. Karakteristik kincir angin



Gambar 5. Turbin angin tipe horizontal secara umum

Prinsip dasar kerja dari turbin angin adalah mengubah energi mekanis dari angin menjadi energi putar pada kincir, selanjutnya putaran kincir digunakan untuk memutar generator, yang akhirnya akan menghasilkan listrik. Berikut adalah komponen-komponen turbin angin tipe horizontal pada umumnya, yaitu:

- Gearbox

Alat ini berfungsi untuk mengubah putaran rendah pada kincir menjadi putaran tinggi. Biasanya *Gearbox* yang digunakan sekitar 1:60.

- Generator

Ini adalah salah satu komponen terpenting dalam pembuatan sistem turbin angin. Generator ini dapat mengubah energi gerak menjadi energi listrik. Prinsip kerjanya dapat dipelajari dengan menggunakan teori medan elektromagnetik. Singkatnya, (mengacu pada salah satu cara kerja generator) poros pada generator dipasang dengan material ferromagnetik permanen. Setelah itu disekeliling poros terdapat stator yang bentuk fisisnya adalah kumparan-kumparan kawat yang membentuk loop. Ketika poros generator mulai berputar maka akan terjadi perubahan fluks pada stator yang akhirnya karena terjadi perubahan fluks ini akan dihasilkan tegangan dan arus listrik tertentu. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan ini disalurkan melalui kabel jaringan listrik untuk akhirnya digunakan oleh masyarakat. Tegangan dan arus listrik yang dihasilkan oleh generator ini berupa AC (alternating current) yang memiliki bentuk gelombang kurang lebih sinusoidal.

- Rotor blade

Rotor blade atau sudu adalah bagian rotor dari turbin angin. Rotor ini menerima energi kinetik dari angin dan dirubah ke dalam energi gerak putar.

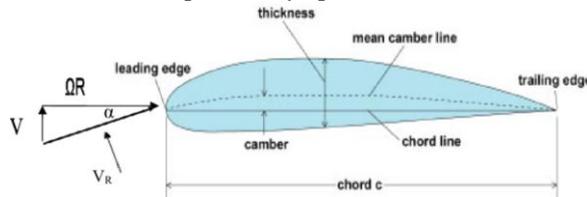
- Tower

Tower atau tiang penyangga adalah bagian struktur dari turbin angin horizontal yang memiliki fungsi sebagai struktur utama penopang dari

komponen sistem terangkai sudu, poros, dan generator.

## 6. Prinsip – prinsip sudu

Turbin angin menggunakan prinsip aerodinamika seperti halnya pesawat.



Gbr 6. Penamaan bagian-bagian sudu

Keterangan :

$\alpha$  = sudut kontak = sudut antara garis tengah – cord line dan arah dari angin,  $V_R$

$V_R$  = kecepatan angin yang terdeteksi oleh sudu (vektor jumlah dari  $V$  (aliran angin) dan  $\Omega_R$  (kecepatanujung– ujung sudu)).

## 7. Rumah DC (DC House)

Rumah DC secara garis besar adalah suatu sistem pengaliran listrik ke rumah-rumah atau dalam suatu rumah menggunakan metode DC (*direct current*). Atau listrik dalam suatu rumah memakai daya dari DC. Listrik bisa dibangkitkan dari banyak sumber dan disimpan, misal dalam sebuah baterai, untuk selanjutnya dipakai untuk mengoperasikan peralatan elektronik. Dengan demikian, kebutuhan listrik tidak lagi tergantung pada sistem transmisi jarak jauh dari sumber yang dibangkitkan pembangkit raksasa.

Selama ini, pengaliran listrik dilakukan dengan AC (*alternating current*) untuk mengalirkan listrik tegangan tinggi dari PLTA, PLTU, atau pembangkit sejenis. Namun, ketika listrik hendak masuk ke peralatan elektronik, AC diubah menjadi DC oleh adaptor. Konversi ini tidak efisien sehingga banyak energi terbuang. Menurut riset, sekitar 1 triliun Kwh terbuang akibat inefisiensi itu.

Dengan rumah DC (*DC house*), konversi AC ke DC tidak diperlukan karena listrik dari DC House bisa langsung digunakan. Dengan demikian, *DC House* menawarkan efisiensi dalam pengaliran listrik. Dengan *DC House*, efisiensi pengaliran listrik bisa ditingkatkan hingga sebesar 5-10 persen.

Satu keuntungan utama *DC House* lain adalah fleksibilitas. Dalam rancangan dasarnya, *DC House* didesain mampu menerima listrik dari sumber apapun, seperti angin, air, surya bahkan orang yang mengayuh sepeda. Jadi, suatu daerah bisa memanfaatkan potensi sumber listrik yang paling melimpah. Turbin angin merupakan salah satu sumber penyedia energi listrik pada *DC house*.

*DC house* kesempatan untuk berpartisipasi untuk kepentingan kemanusiaan, terutama pemenuhan listrik di wilayah pedalaman. DC House bisa menjadi solusi bagi 1,6 miliar penduduk di pedalaman yang masih hidup tanpa listrik.

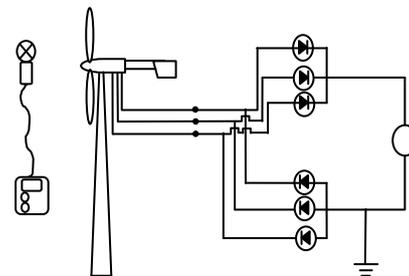
## 8. Alat dan bahan

Alat-alat pada penelitian ini terdiri dari :

- Turbin angin tipe horizontal tiga sudu
- Turbin angin tipe horizontal empat sudu
- Kabel penghubung 20 meter
- Seperangkat komputer
- Control unit
- Mikrokontroler
- Anemometer
- Multimeter
- Rangkaian pembagi tegangan
- Sensor arus

## 9. Desain alat penelitian

Pada penelitian ini digunakan turbin angin tipe horizontal tiga sudu, dimana setiap sudu berukuran delapan puluh sentimeter (80 cm), turbin angin diletakkan pada sebuah pipa berukuran tiga meter diatas atap gedung FMIPA UNJ. Rangkaian pengukuran arus dan tegangan dapat digambarkan sebagai berikut :



Gambar 7. Desain rancangan alat pengukur turbin angin

## 10. Prosedur penelitian

- Mendirikan tower turbin angin, setelah sebelumnya merangkai turbin angin sesuai susunannya.
- Membuat rangkaian pengukuran seperti gambar 7. Mengukur tegangan dan arus keluaran turbin angin dengan menggunakan multimeter untuk mengukur arus dan tegangannya, dan mengukur kecepatan angin dengan anemometer.
- Mengukur tegangan, arus, daya keluaran dari masing masing turbin angin identik berbeda sudu, dan kecepatan angin.
- Membuat grafik hubungan antara daya keluaran pada turbin angin 3 sudu dan 4 sudu.

- e. Melakukan pengolahan data, menganalisa dan membahas penelitian, serta mengambil kesimpulan.

## 11. Pembahasan

Penggunaan turbin angin sebagai salah satu cara utama untuk dapat mengonversi energi angin menjadi energi mekanik kemudian menjadi energi listrik.

Berdasarkan sumber referensi yang ada bahwa layaknya seperti mesin pada umumnya, setiap turbin angin memiliki nilai efisiensi yang berbeda-beda dan hal ini ditentukan oleh bentuk sudu, sudut sudu, bentuk ekor, material bahan pembuat turbin angin, bentuk puli, dan jumlah sudu. Dalam penelitian ini, penulis akan melakukan penelitian mengenai pengaruh jumlah sudu terhadap daya keluaran pada turbin angin tipe horizontal berdiameter 1,6 meter. Variasi jumlah sudu yang digunakan pada penelitian ini adalah tiga sudu dan empat sudu, kemudian tentunya digunakan dua turbin angin identik bersistem 24 Volt dan berkapasitas 300 watt. Yang nantinya akan dicari perbandingan nilai efisiensi turbin angin yang berbentuk data daya keluaran dari masing-masing turbin angin tiga sudu dan empat sudu, kemudian dari data daya keluaran tersebut akan didapat nilai energi yang dihasilkan tiap-tiap turbin angin tiga sudu dan empat sudu dengan menggunakan hubungan rumus seperti yang telah dipaparkan di atas.

Bersumber dari data energi yang dihasilkan oleh turbin angin 3 sudu dan 4 sudu maka dapat dianalisis turbin angin manakah yang memiliki nilai penghasil energi yang terbesar dalam rentang waktu pengukuran yang sama. Dari analisis tersebut maka didapat perbandingan nilai efisiensi dari kedua turbin angin tersebut. Besarnya nilai energi yang dihasilkan berbanding lurus dengan nilai efisiensi dari sebuah turbin angin.

Turbin angin ini merupakan salah satu sumber penyedia energi listrik pada rumah DC (*DC House*). Turbin angin ini akan menghasilkan arus DC bersama sumber penyedia listrik lainnya seperti panel surya, mikro hidro, dan sumber lainnya, kemudian bisa langsung disambungkan pada penyimpan energi listrik (baterai) dan jika baterai sudah terisi penuh maka listrik akan langsung masuk pada alat-alat elektronik.

## 12. Hal yang sudah dilakukan

Hal yang sudah dilakukan adalah membuat modifikasi variasi untuk jumlah sudu 4, beserta puli sudu, dan kemudian mempersiapkan segala kebutuhan teknis instalasi alat beserta kajian pustaka. Gambar 8. alat-alat yang sudah jadi.



arus searah. Melalui penelitian ini akan didapatkan data empiris apakah jumlah sudu berpengaruh pada nilai efisiensi dari suatu turbin angin identik.



**Gambar 8.** Alat-alat yang telah siap digunakan

### 13. Hal yang akan dilakukan

Hal yang akan dilakukan selanjutnya adalah instalasi desain alat penelitian, kemudian instalasi 2 turbin angin identik tersebut pada 2 lokasi yang berdekatan dan tinggi yang sama agar mendapat angin yang sama pada saat yang sama. Namun harus diatur agar tidak sampai saling merusak diantara keduanya. Setelah itu mulai dilakukan penelitian sesuai dengan prosedur penelitian yang telah dipaparkan di atas.

### 14. Rangkuman

Melalui turbin angin, energi angin dapat dimanfaatkan dan dikonversikan menjadi energi mekanik kemudian menjadi energi listrik. Pengembangan energi angin sebagai sumber energi listrik di Indonesia merupakan salah satu hal yang tepat mengingat Indonesia yang memiliki garis pantai terpanjang di dunia berarti memiliki potensi energi angin yang cukup baik. Turbin angin dapat ditingkatkan efisiensinya dalam menghasilkan energi listrik. Pada tulisan ini dibahas mengenai studi awal pengaruh jumlah sudu terhadap daya keluaran dari dua turbin angin identik namun diberi variasi sudu yang berbeda dikeduanya. Kemudian mencari perbandingan nilai efisiensi yang didapat dari nilai daya keluaran turbin yang telah diolah menjadi nilai energi yang dihasilkan oleh masing-masing turbin. Turbin angin merupakan salah satu sumber penyedia energi listrik pada rumah DC yaitu rumah dengan menggunakan sistem listrik

### Ucapan Terima Kasih

Kepada seluruh jajaran Laboratorium Energi Baru Terbarukan Departemen Fisika Universitas Negeri Jakarta.

### Daftar Acuan

- [1]. Nanda Andika, Markus.2008.*Kincir Angin Sumbu Horizontal Bersudu Banyak*. Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Universitas Sanata Dharma.
- [2]. Resmi, Citra, dkk. 2010. Studi Eksperimental Sistem Pembangkit Listrik Pada Vertical Axis Wind Turbine Skala Kecil. Teknik Fisika-FTI-ITS : Surabaya.
- [3]. Fatmawati, Iis.2012.*Studi Karakteristik Turbin Angin Tipe Horizontal Tiga Sudu Berdiameter 1,6 Meter di FMIPA UNJ*. Skripsi, Program Studi Fisika, Universitas Negeri Jakarta.
- [4]. Arismunandar, W. Penggerak Mula Turbin. Bandung: ITB PRESS
- [5]. Andriyanto, Adi.2008.*Perancangan dan Pembuatan Turbin Angin Sumbu Horizontal Tiga Sudu Berdiameter 3,5 Meter*. Skripsi, Program Studi Teknik Mesin, Institut Teknologi Bandung.
- [6]. Burton, Tony, dkk. 2001. Wind Energy Handbook. Chichester : John Wiley & Sons.
- [7]. Hau, Erich.2005.Wind Turbines Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2nd Edition, Horst von Renouard, Springer, Germany.
- [8]. J.F.Manwell, J.G.Mc Gowan, 2002. Wind Energy Explained, Theory, Design and Application, A.L. Rogers, Jhon Wiley and Sons, Ltd.
- [9]. MS, Soeripno, Malik Ibrochim. Analisa Potensi Energi Angin dan Estimasi Output Turbin Angin di Lebak Banten. Jurnal Teknologi Dirgantara Vol.7 No.1 Juni 2009. 51:59.
- [10]. Mukund R. Patel, Phd. 1999. Wind and Solar Power Systems P.E. U.S Merchant Marine Academy Kings Point, New York, CRC Press.