

## UJI KARAKTERISTIK DAYA TERHADAP PERUBAHAN KETINGGIAN TURBIN ANGIN SUMBU VERTIKAL

Khairunnisa<sup>1</sup>, Edi Yohanes<sup>2</sup>, Jazuli Fadil<sup>3</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Banjarmasin<sup>1,2</sup>

khairunnisa@poliban.ac.id<sup>1</sup>

edi.yohanes@poliban.ac.id<sup>2</sup>

Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember<sup>3</sup>

fadil16@mhs.its.ac.id<sup>3</sup>

### ABSTRACT

*The present study tested the characteristics of a vertical axis wind turbine or so-called Vertical Axis Wind Turbine (VAWT) with three turbines in which all three turbines have different dimensions on turbine height. Based on Betz limit theory, the efficiency or the value of Coefficient Power (CP) wind turbine is not more than 59.3%. In this case CP is one of the main parameters for obtaining maximum power extracted through the turbine blades based on the design formed. For VAWT used is H-darrieus type, with height or height of the blade is 1 m, 1.5 m and 2 m, each wind turbine has 3 blades with water foil NACA 4412. Each wind turbine is tested at wind speed 0 till 12 m / s. The result shows the maximum power on the first turbine or with a height of 1 m is 356.46 watts then the second turbine with a height of 1.5 m is 623.98 watts and the third turbine with a height of 2 m is 898.45 watts. From this result can be proved that to get big mechanical power hence required swept area bigger by changing turbine high.*

**Keywords:** Wind Turbine, Vertical Axis, Mechanical Power, Turbine High

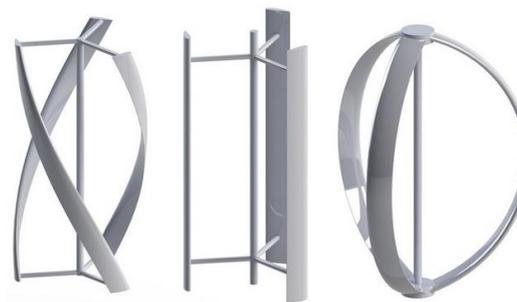
### ABSTRAK

Penelitian kali ini menguji karakteristik turbin angin sumbu vertikal atau yang biasa disebut *Vertikal Axis Wind Turbine* (VAWT) dengan tiga buah turbin dimana ketiga turbin memiliki dimensi yang berbeda pada tinggi turbin. Berdasarkan teori Betz limit, efisiensi atau nilai *Coefficient Power* (CP) turbin angin tidak lebih dari 59.3%. Dalam hal ini CP adalah salah satu parameter utama untuk mendapatkan daya maksimum yang di ekstrak melalui bilah turbin berdasarkan desain yang dibentuk. Untuk VAWT yang digunakan adalah tipe H-darrieus, dengan ketinggian atau tinggi bilah adalah 1 m kemudian 1,5 m dan 2 m, masing masing turbin angin memiliki 3 bilah dengan air foil NACA 4412. Tiap turbin angin diujikan pada kecepatan angin 0 sd 12 m/s. Hasilnya menunjukkan daya maksimum pada turbin pertama atau dengan ketinggian 1 m adalah 356,46 watt kemudian turbin kedua dengan ketinggian 1,5 m adalah 623,98 watt dan turbin ketiga dengan ketinggian 2 m adalah 898,45 watt. Dari hasil ini bisa dibuktikan bahwa untuk mendapatkan daya mekanik yang besar maka diperlukan *swept area* yang lebih besar dengan merubah tinggi turbin.

**Kata Kunci:** Turbin Angin, Sumbu Vertikal, Daya Mekanik, Tinggi Turbin

## PENDAHULUAN

Pembangkit listrik tenaga angin adalah satu pembangkit energi baru yang terus dikembangkan oleh para peneliti hingga saat ini dengan memanfaatkan potensi angin yang berlimpah. Energi angin bisa dirubah menjadi energi listrik melalui turbin angin. Dengan semakin terbatasnya energi fosil yang terus menipis sementara itu ledakan populasi jumlah penduduk saat ini terus meningkat yang menyebabkan kapasitas energi antara supply dan demand menjadi tidak seimbang. Pemanfaatan dan implementasi sumber energi terbarukan adalah salah satu solusi untuk menjawab tantangan ini. Hingga saat ini ada tiga jenis turbin angin yang terus dikembangkan oleh para peneliti yaitu turbin angin sumbu horizontal (HAWT), sumbu vertical (VAWT) dan *blade less* atau tanpa bilah. Masing-masing dari turbin angin ini memiliki keunggulan namun untuk *wind farm* yang terhubung ke grid pada umumnya menggunakan turbin angin sumbu horisontal. Sedangkan untuk vertikal biasanya digunakan untuk sistem yang stand alone, untuk prinsip kerjanya VAWT memiliki banyak keunggulan dari HAWT [1]. Diantaranya adalah generator bisa ditempatkan lebih dekat dengan tanah karena posisinya vertikal, kemudian bisa menangkap angin dari semua arah serta instalasinya lebih mudah. Yang membedakan antara turbin vertikal dan horizontal adalah pada posisi swept area atau luas sapuan bilah. Untuk tipe horizontal luas sapuan bilah adalah luas lingkaran yang dibentuk oleh bilah dimana panjang bilah merupakan jari-jari dari swept area dalam satuan  $m^2$ . Sedangkan untuk sumbu vertikal panjang bilah adalah tinggi dari turbin dikali diameter rotor menjadi swept area dalam satuan  $m^2$ . Pada penelitian kali ini kami membahas performa dari VAWT dengan swept area yang berbeda pada masing-masing turbin untuk mendapatkan daya optimum. Berdasarkan Betz limit nilai CP dari turbin angin saat ini adalah 59.3% [2]. Pada masing masing turbin ini daya yang diproduksi dipengaruhi oleh bentuk swept area [4]. Maksudnya adalah untuk mendapatkan daya yang besar maka dibutuhkan ukuran swept area yang lebih besar [3].



Helical

H-Type

Darrieus

Gambar 1. Variandari turbin angin sumbu vertikal (VAWT)

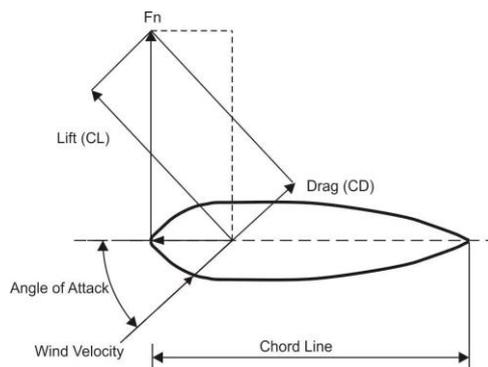
(Victor Bujoreanu)

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan merancang blade atau bilah masing masing turbin dengan panjang bilah yang berbeda yaitu

ada tiga buah turbin sumbu vertikal dengan masing-masing swept area adalah  $1\text{ m}^2$ ,  $2\text{ m}^2$  dan  $3\text{ m}^2$ . Masing masing bilah ini memiliki air foil yang sama yaitu NACA 4412 dan diameter turbin yang sama. Pengamatan ini dilakukan untuk mengetahui nilai atau keluaran daya maksimum turbin angin [9]. Untuk melihat keluaran daya yang terbaik di ujikan dengan variable kecepatan angin [7]. Ada banyak varian turbin angin sumbu vertikal, pada pengamatan ini turbin angin yang kami rancang untuk tipe VAWT adalah tipe straight blade atau H-darrieus.

### METODE PENELITIAN

Berdasarkan persamaan daya keluaran turbin angin nilai yang fix adalah parameter masa jenis udara, swept area dan koefisien daya. Dimana nilai koefisien daya dan swept area ini ditentukan pada desain blade atau bilah dengan melakukan seleksi tipe air foil yang sesuai untuk VAWT dengan air foil yang memiliki nilai koefisien daya angkat (CL) lebih besar dari daya dorong (CD)[8]. Air foil mempunyai kurva antara CL/CD terhadap *angle of attack* ( $\alpha$ ) atau sudut serang.



Gambar 2. Force Diagram of airfoil [1]

Agar turbin bisa berputar terhadap sumbunya maka dibutuhkan gaya angkat (CL) dan bukan gaya dorong (CD). Dalam menentukan tipe airfoil ini dipilih rasio airfoil terbesar CL/CD. Sudut serang merupakan sudut antara arah kecepatan angin dan garis *chord* bilah seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.

Tabel 1. Parameter geometri VAWT

Wind Turbine	1 <sup>st</sup> Vertical Axis	2 <sup>nd</sup> Vertical Axis	3 <sup>rd</sup> Vertical Axis
Blade Height (m)	1	1.5	2
Number of Blade	3	3	3
Radius (m)	0.5	0.5	0.5
Chord Length (mm)	200	200	200
Airfoil	NACA 4412	NACA 4412	NACA 4412

Pada HAWT biasanya ditentukan nilai twist ( $\beta$ ) pada tiap elemen bilah dan harus di linierisasi, tapi pada VAWT tipe H-Darrieus tidak ada perubahan

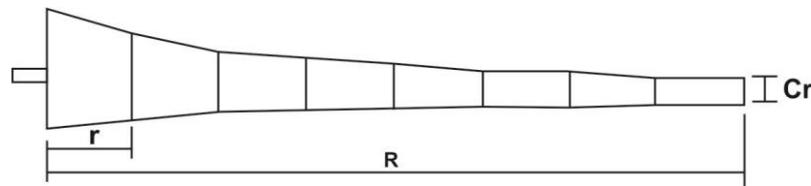
signifikan pada nilai twist begitu juga dengan HAWT tipe *tapper less*. Untuk menentukan twist harus ditentukan *flow angle* ( $\phi$ ) masing-masing elemen. Twist bisa di tentukan dengan persamaan

$$\beta = \phi - \alpha \quad (1)$$

Untuk flow Angle tiap elemen adalah

$$\phi = \frac{2}{3} \tan^{-1} \frac{1}{\lambda_r} \quad (2)$$

$\lambda_r$  adalah perbandingan kecepatan angin linier elemen bilah pada elemen  $r_1, r_2, r_3 \dots r_n$  yang mempunyai nilai berbeda.



Gambar 3. Blade elements

Untuk geometri bilahlainnya adalah lebar bilah atau *chord*. Chord ( $C_r$ ) dapat didefinisikan dalam masing-masing elemen bilah sebagai berikut

$$C_r = \frac{16\pi * R * (\frac{R}{r})}{9\lambda^2 * B * C_L} \quad (3)$$

Untuk VAWT tipe H-Darrieus nilai chord dari pangkal bilah sampai elemen terakhir memiliki nilai yang sama.

Turbin yang dihubungkan dengan generator akan menghasilkan energi listrik. Jumlah energi kinetik ( $KE$ ) bisa diketahui dengan rumus berikut [6],

$$KE = \frac{1}{2}mv^2 \quad (4)$$

Untuk daya ( $P$ ) berupa kecepatan angin  $v$  yang melalui daerah sapuan bilah adalah

$$P = \frac{Energy}{Time} = \frac{1}{2} \left( \frac{Energy}{Time} \right) v^2 \quad (5)$$

Tingkat aliran massa atau berat ( $m$ ) yang melewati sapuan bilah turbin atau swept area ( $A$ ) adalah produk dari kerapatan udara ( $\rho$ ) dan kecepatan dengan persamaan sebagai berikut,

$$m = \rho.A.v^2 \quad (6)$$

Sehingga daya bisa ditentukan sebagai berikut,

$$P_{available} = \frac{1}{2} \rho.A.v^3 \quad (7)$$

Dimana  $P_{available}$  adalah daya mekanik dalam Watt dengan  $v^3$  adalah kecepatan angin dalam m/s, kerapatan udara  $\rho$  dalam  $kg/m^3$ .  $A$  adalah swept area dalam  $m^2$ , swept area mengacu pada area dari dimensi bilah atau turbin ketika udara

bergerak melewatinya [5], Untuk swept area dari VAWT dapat di ekspresikan sebagai berikut :

$$A=h.D \tag{9}$$

Dimana  $D$  adalah diameter dari turbine and  $h$  adalah tinggi bilah. Ketika bilah dilewati angin dan dikonversi menjadi daya mekanik  $P_m$  maka persamaannya adalah sebagai berikut :

$$P_m = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p(\theta, \lambda) \tag{10}$$

$$T_m = \frac{P_m}{\omega_m} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 \cdot C_p(\theta, \lambda)}{\omega_m} \tag{11}$$

Dimana  $C_p(\theta, \lambda)$  adalah koefisien performa bilah dan fungsi dari sudut pitch  $\theta$  dan rasio kecepatan ujung bilah atau tip speed ratio (TSR)  $\lambda$ , Persamaan (7) dan (10) adalah untuk menghitung daya turbin [10]. Rasio kecepatan tip adalah rasio antara kecepatan ujung bilah dengan kecepatan angin yang masuk [11].  $T_m$  adalah torsi mekanik turbin dalam  $N.m$ , dan  $\omega_m$  adalah kecepatan sudut mekanis turbin dalam  $rad/s$  [12]

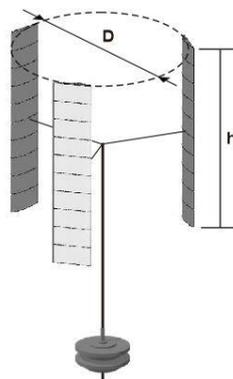
Tip speed ratio bisa dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$\lambda = \frac{r\omega}{v_w} \tag{12}$$

dimana  $r$  adalah panjang bilah atau jari-jari rotor turbin,  $v_w$  adalah kecepatan angin dan  $\omega$  adalah kecepatan putaran turbin. Kecepatan sudut mekanis dapat ditunjukkan dengan persamaan berikut:

$$J \frac{d\omega_m}{dt} = T_s - T_m - B \cdot \omega_m \tag{13}$$

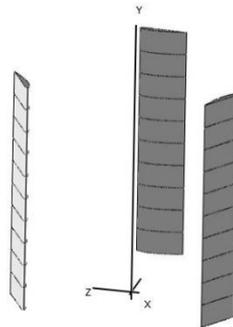
Dimana  $J$  adalah gabungan inersia turbin angin dan rotor dalam  $kg.m^2$ ,  $T_e$  adalah torsi elektromagnetik dalam  $N.m$ , dan  $B$  adalah friksi dalam  $N.m.s/rad$ . Untuk area luas sapuan bilah dan kerapatan udara merupakan nilai yang konstan. Untuk memaksimalkan output daya mekanik pada kecepatan angin spesifik hanya ada satu kecepatan rotor optimal yang memiliki nilai  $C_p$  maksimum dengan *tip speed ratio* optimum [12].



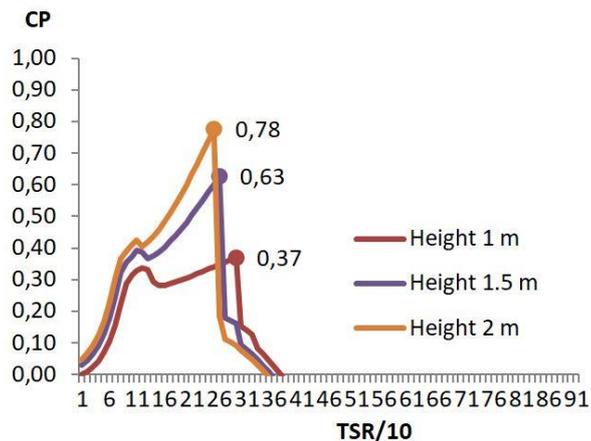
Gambar 4. VAWT swept area

Gambar 4 menunjukkan model geometri VAWT tipe H-darrieus atau straight blade yang mampu berputar dari semua arah angin saat mencapai rasio antara kecepatan bilah dan kecepatan angin masuk.

Untuk VAWT pada desain ini CP maksimum untuk tinggi turbin 1 m adalah 0,37 untuk tinggi 1,5 m adalah 0,63 dan 2 m adalah 0,78. Untuk turbin angin modern biasanya berkisar antara 0,2 sampai 0,5 yang merupakan fungsi dari jumlah bilah dan kecepatan rotasi [11]. Berdasarkan hukum Betz nilai koefisien daya maksimum adalah 0,59.



Gambar 5. Model dari VAWT



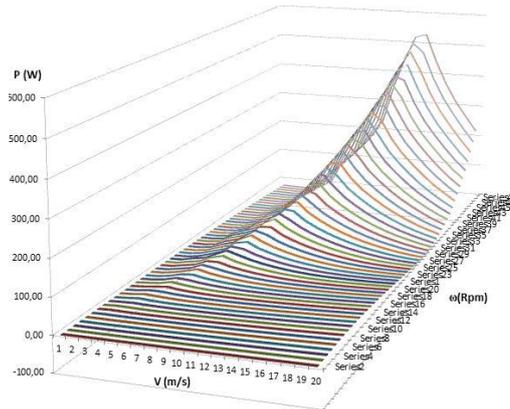
Gambar 6. Kurva CP

Terdapat perbedaan terhadap hukum betz untuk nilai maksimum CP pada turbin dengan tinggi blade 1,5 m dan 2 m yaitu sebesar 0,78 dan 0,63. Namun dalam hal ini interval nilai maksimum ketika melewati nilai maksimum turbin dengan tinggi 1,5 m dan 2 m nilai CP turun sangat curam. Pengecualian untuk turbin dengan tinggi 1 m nilai CP maksimum masih berada dalam batas Betz limit dengan nilai CP adalah 0,37. Sebagai catatan bahwa perubahan yang dilakukan terhadap dimensi turbin ini hanya pada tinggi blade saja dengan nilai diameter sumbu ketiga turbin adalah sama.

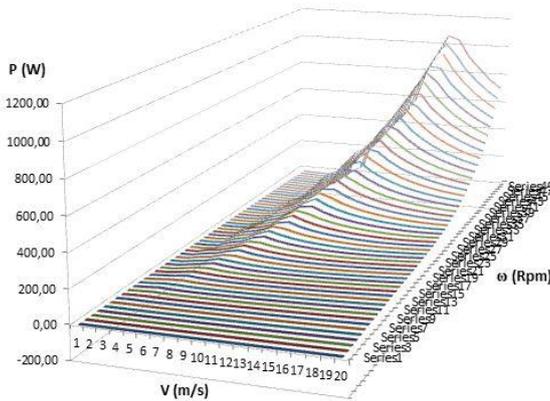
## HASIL DAN PEMBAHASAN

Desain ketiga buah turbin ini menunjukkan hasil yang signifikan terhadap keluaran daya mekanik dimana semakin besar dimensinya maka semakin besar daya keluaran yang dihasilkan seperti yang ditunjukkan gambar berikut ini.

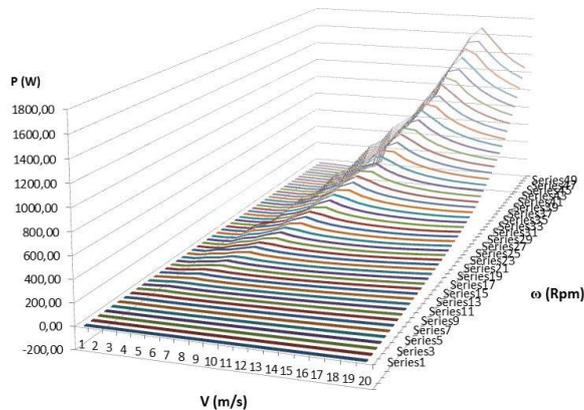
Gambar 7 dengan tinggi turbin 1 meter menunjukkan bahwa, daya maksimum yang dihasilkan oleh VAWT yaitu sebesar 529,16 Watt, daya ini dihasilkan pada kecepatan maksimum yaitu 500 Rpm sedangkan pada gambar 8 dengan tinggi turbin 1,5 meter menunjukkan bahwa daya maksimum yang dihasilkan VAWT ini adalah 1060,63 W dengan kecepatan turbin maksimum mencapai 500 Rpm.



Gambar 7. Kurva Daya dengan tinggi turbin 1 m

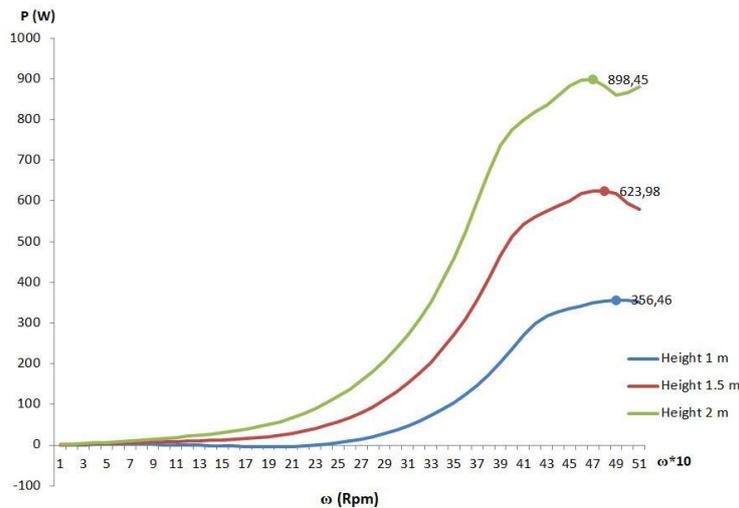


Gambar 8. Kurva Daya dengan tinggi turbin 1.5 m



Gambar 9. Kurva Daya dengan tinggi turbin 2 m

Pada gambar 9 dengan tinggi turbin 2 meter menunjukkan bahwa daya maksimum VAWT ini adalah 1677,60 W dengan kecepatan turbin maksimum adalah 500 Rpm. Pada gambar 10, ketiga turbin dengan ketinggian (*height*) 1 m, 1.5 m dan 2 m daya maksimum ketika ketiga turbin tersebut di uji dengan kecepatan angin 12 m/s menunjukkan perbedaan yang cukup signifikan yaitu pada turbin pertama dengan ketinggian 1 m daya yang dihasilkan adalah 356,46 W, untuk turbin kedua dengan ketinggian 1,5 m daya yang dihasilkan adalah 623,98 W dan turbin yang ketiga dengan ketinggian 2 m adalah 898,45 W.



Gambar 10. Kurva Daya P vs  $\omega$  pada saat kecepatan angin mencapai 12 m/s

## KESIMPULAN

Performa turbin angin sumbu vertikal dengan tinggi turbin yang berbeda sangat berpengaruh terhadap keluaran daya mekanik, dalam pengujian performa ini hanya merubah tinggi turbin dengan nilai radius masing masing turbin adalah sama. Berdasarkan persamaan daya mekanik nilai CP adalah tetap artinya nilai CP tergantung dari manufaktur atau desain awal turbin sedangkan untuk nilai yang berubah seperti kecepatan angin tentunya turbin harus ditempatkan di area yang lebih tinggi. Ketika ketiga turbin di ujikan pada kecepatan angin yang sama yaitu 12 m/s juga menunjukkan bahwa turbin dengan tinggi 2 meter hasil keluaran daya jauh lebih besar yaitu 898,45 Watt.

## DAFTAR PUSTAKA

- Hiren Tala, Sandip patel “Simulations of Small Scale Straight Blade Darrieus Wind Turbine Using Latest CAE Techniques to get Optimum Power Output”. International Journal of Advance Foundation and Research in Science & Engineering (IJAFRSE), Vol 1, Issue 5, 2014
- Himani Kala, K.S. Sandhu, “Effect of Change in Power Coefficient on The Performance of wind Turbines With Different Dimensions” Microelectronics, Computing and Communications (MicroCom), IEEE, 2016

- Xiongwei Liu, Lin Wang, Xinzi Tang “Optimized linearization of chord and twist angle profiles for fixed-pitch fixed-speed wind turbine blades” *Renewable Energy* 57 (2013) 111-119, 2013
- Jazuli Fadil, Mochamad Azhari, Soedibyo “Performance Analysis of Vertical Axis Wind Turbine with Variable Swept Area” *International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, ITS Surabaya 2017*
- Jazuli Fadil, Soedibyo, Mochamad Ashari “Performance Comparison of Vertical Axis and Horizontal Axis Wind Turbines To Get Optimum Power Output”, *International Conference on QIR, Universitas Indonesia 2017*
- Gilbert M. Masters, "Renewable and Efficient Electric Power Systems" *Stanford University, 2004*
- Eftichios Koutroulis, Kostas Kalaitzakis “Design of a Maximum Power Tracking System for Wind-Energy-Conversion Applications” *IEEE Transactions On Industrial Electronics, Vol. 53, NO. 2, 2006*
- BP. D Abd. Aziz, A. K. R Mohamad, F.Z Hamidon, N. Mohamad, N. Salleh, N. Mohd Yunus ricky “A Simulation Study on Airfoils Using VAWT Design for Low Wind Speed Application” *IEEE, pp.105 – 109, 2014*
- Dan-Yong Li, Wen-Chuan Cai, Peng Li, Zi-Jun Jia, Yong-Duan Song, Hou-Jin Chen “Neuro-Adaptive Variable Speed Control of Wind Turbine with Wind Speed Estimation” *IEEE Transactions On Industrial Electronics, pp.7754-7764, 2016*
- G.M Hasan Shahariar, Mohammad Rashedul Hasan “Design & Construction of a Vertical Axis Wind Turbine” *IEEE, pp.326 – 329, 2014*
- Bin Wu, Yongqiang Lang, Navid Zargari, Samir Kouro. “Power Conversion and Control of Wind Energy Systems”, *IEEE Press on Power Engineering, 2011*
- Dipesh Kumar, Kalyan Chatterjee “A review of conventional and advanced MPPT algorithms for wind energy systems”, *Renewable and Sustainable Energy Review, Elsevier, pp 957-970, 2016*