

STUDI EKSPERIMENTAL MODEL TURBIN ANGIN SUMBU HORIZONTAL 3 (TIGA) SUDU

Ismail, Budhi M Suyitno, Razivky F Anshari
Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Pancasila, Jagakarsa Jakarta Selatan 12640
Ismail2k7@gmail.com

Abstrak

Turbin angin sumbu horizontal merupakan salah satu tipe turbin angin yang dapat dimanfaatkan untuk membangkitkan listrik. Studi eksperimental model turbin angin dilakukan dengan penekanan kepada kemampuan model turbin angin dengan NACA airfoil 4421 untuk mengekstraksi energi angin secara optimal dengan melakukan pengujian performansi model turbin angin. Metode yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan melakukan eksperimen model turbin angin di dalam terowongan angin. Hasil dari eksperimen yang dilakukan pada model turbin angin di dalam terowongan angin, didapatkan hasil daya maksimum turbin untuk pada kecepatan 7 m/s adalah 3.967 W, efisiensi turbin sebesar 30% dan Tip Speed Ratio sebesar 1.233. Data perbandingan daya turbin berdasarkan kecepatan angin antara data teoritis dan pengujian dapat dinyatakan kehilangan energi dari perbandingan tersebut sebesar $\pm 25\%$ untuk desain Airfoil NACA 4421 dengan sudu di twist.

Kata Kunci : Airfoil, Energi Angin, Turbin Angin, NACA.

LATAR BELAKANG MASALAH

Energi alternatif sangat dibutuhkan pada zaman sekarang ini. Angin dapat dimanfaatkan untuk menghasilkan energi terbarukan [1]. Ada dua jenis utama dari turbin angin, yakni dengan sumbu vertikal dan dengan sumbu horizontal. Turbin angin dapat digunakan untuk menghasilkan listrik dalam jumlah besar baik di darat dan di lepas pantai..

Di Indonesia, kecepatan angin menurut Data Badan Pusat Statistik (BPS) dari tahun 2007-2010 di seluruh Indonesia berada pada angka terendah ± 3 m/s sampai angka tertinggi ± 8 m/s [2]. Potensi kecepatan angin di Indonesia umumnya berkecepatan rata-rata ± 5 m/s. Hal ini tidak terlepas karena Indonesia merupakan negara kepulauan terbesar di dunia dengan 17.504 pulau dan luas perairan laut 5.8 juta km² (terdiri dari luas laut teritorial 0.3 juta km², luas perairan kepulauan 2.95 juta km², dan luas Zona Ekonomi Eksklusif Indonesia (ZEEI) 2,55 juta km²) [3]. Hal ini merupakan wilayah yang potensial untuk pengembangan turbin angin.

Melihat dari potensi yang ada, energi angin dapat dimanfaatkan dengan menggunakan turbin angin. Penelitian ini dilakukan pada model turbin angin sumbu horizontal 3 (tiga) sudu. Studi eksperimen

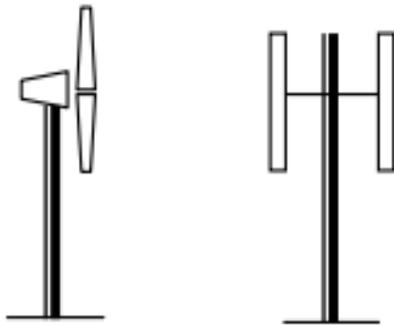
pada model turbin angin dilakukan dengan penekanan kepada kemampuan turbin angin untuk mengekstraksi energi angin secara optimal.

Turbin Angin

Turbin angin merupakan salah satu konverter energi. Turbin angin mempunyai aplikasi yang independen atau tidak membutuhkan sumber energi lain. Jenis atau desain rinci semua turbin angin memiliki kesamaan bahwa turbin angin mengubah energi kinetik dari massa udara yang mengalir menjadi energi mekanik rotasi. Daratan Asia, pertama kali kincir angin bersumbu vertikal dikembangkan. Lalu bangsa Eropa mulai mengembangkan kincir angin bersumbu horizontal setelah kincir angin sumbu vertikal dikembangkan di Asia [4]. Dapat dilihat pada Gambar 1 yang merupakan model turbin angin hasil dari model horizontal dan vertikal.

Inovasi baru dan potensi dalam model turbin angin secara terus menerus dieksploitasi, terutama terkonsentrasi pada bagian sudu, di mana sudu dibentuk agar lebih ringan dengan fitur aerodinamis yang lebih baik. Selain itu, sistem pengendalian pada turbin angin pun terus dikembangkan untuk mendapatkan hasil energi listrik. Salah satu pengendalian utama untuk memaksimalkan kinerja dari turbin angin ialah

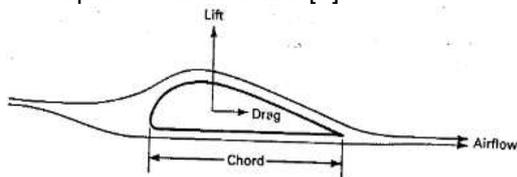
dengan mengendalikan sudut kerja dari sudut turbin angin.



Gambar 1. Turbin angin tipe horizontal dan vertikal [5].

Secara keseluruhan, industri energi angin mencapai kemajuan yang sangat pesat dalam dua dekade terakhir ini dan hal ini akan memainkan peran penting dalam tujuan dari turbin angin untuk meningkatkan produksi listrik dari sumber energi terbarukan.

Aliran udara yang mengenai turbin angin dipengaruhi peran dari *airfoil* dari sudut turbin. Aliran udara di atas *airfoil* stasioner menghasilkan dua kekuatan, sebuah gaya angkat tegak lurus terhadap aliran udara dan gaya tarik ke arah aliran udara, seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Gaya angkat tergantung pada aliran laminar yang mengalir di atas *airfoil*, yang berarti bahwa udara mengalir lancar di kedua sisi *airfoil*. Jika aliran turbulen ada daripada aliran laminar, akan ada sedikit gaya angkat atau tidak akan ada gaya angkat sama sekali. Udara yang mengalir di atas *airfoil* dapat dipercepat karena jarak yang lebih besar untuk melakukan perjalanan dan peningkatan kecepatan menyebabkan sedikit penurunan tekanan. Perbedaan tekanan di *airfoil* ini menghasilkan gaya angkat, yang tegak lurus terhadap arah aliran udara [6].

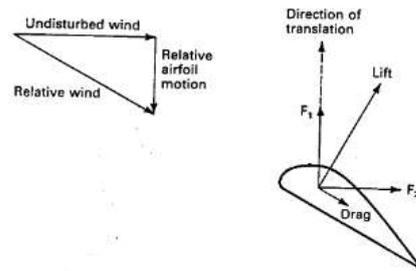


Gambar 2. Gaya angkat dan gaya tarik pada *airfoil* stasioner [6].

Udara yang bergerak di atas *airfoil* juga menghasilkan gaya tarik ke arah aliran udara. Ini adalah istilah rugi dan harus diminimalkan sebanyak mungkin dalam turbin angin kinerja tinggi. Kedua gaya angkat dan gaya tarik harus berbanding lurus dengan densitas

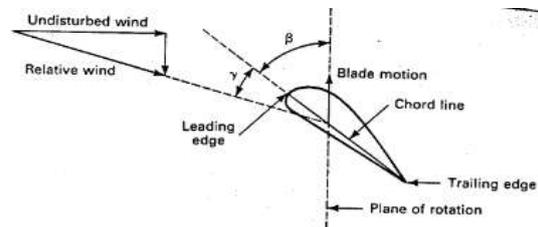
udara, daerah *airfoil* dan kuadrat dari kecepatan angin [6].

Misalkan dibiarkan *airfoil* untuk bergerak ke arah gaya angkat. Gerakan ini akan menggabungkan gerak udara untuk menghasilkan arah angin relatif ditunjukkan pada Gambar 3. *Airfoil* akan terorientasi untuk mempertahankan gaya angkat yang baik untuk rasio gaya dorong [6].



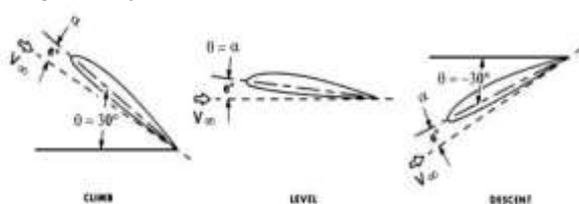
Gambar 3. Gaya angkat dan gaya tarik pada *airfoil* [6].

Salah satu parameter penting dari sudut adalah *pitch angle*, yaitu sudut antara *chord line* sudu dan bidang rotasi. *Angle of attack* seperti ditunjukkan pada Gambar 4. *Chord line* adalah garis lurus yang menghubungkan tepi terdepan dan terbelakang dari *airfoil* [6].



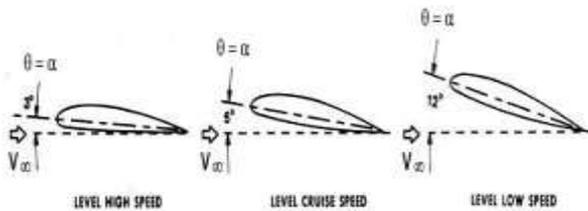
Gambar 4. *Pitch angle* β dan *angle of attack* γ [6].

Beberapa contoh lebih lanjut juga diberikan untuk menggambarkan perbedaan utama antara kedua sudut penting ini. Contoh pertama menunjukkan tiga *airfoil* pada *angle of attack* yang sama namun pada *pitch angle* yang berbeda. Situasi ini menunjukkan bahwa *airfoil* dapat dengan mudah berada pada *angle of attack* yang sama seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5.



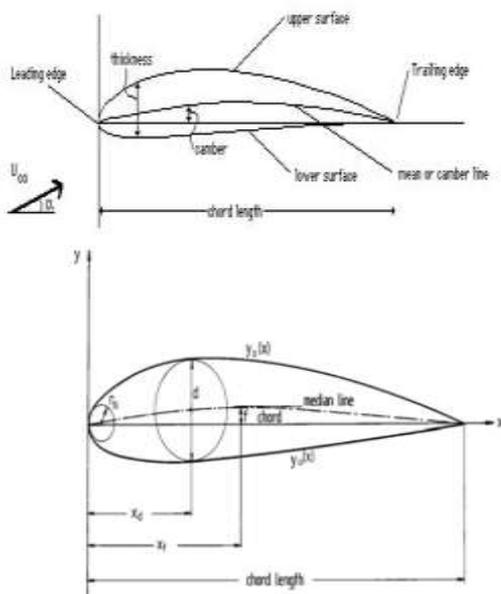
Gambar 5. *Airfoil* pada sudut serang konstan tetapi berbeda sudut *pitch* [7].

Contoh kedua menunjukkan *airfoil* pada berbagai *angle of attack* yang selalu sama dengan *pitch angle*. Seperti yang dijelaskan pada persamaan gaya angkat, jika kecepatan angin berkurang maka *angle of attack* harus meningkat untuk mempertahankan gaya angkat yang dapat dilihat pada Gambar 6.



Gambar 6. *Angle of attack* yang selalu sama dengan *pitch angle* [7].

NACA (*National Advisory Committee for Aeronautics*) merupakan salah satu referensi pemilihan *airfoil* yang paling populer pada saat ini. Pengujian-pengujian yang dilakukan oleh NACA lebih sistematis dengan membagi pengaruh dari efek kelengkungan dan distribusi ketebalan (*thickness*) serta pengujian-pengujian yang dilakukan pada berbagai Bilangan Reynold. *Airfoil* NACA memiliki parameter-parameter dalam bentuknya. Gambar 7 di bawah menunjukkan beberapa parameter yang terdapat dalam *airfoil* NACA [8].



Gambar 7. Parameter geometris *airfoil* dari seri *airfoil* NACA [8].

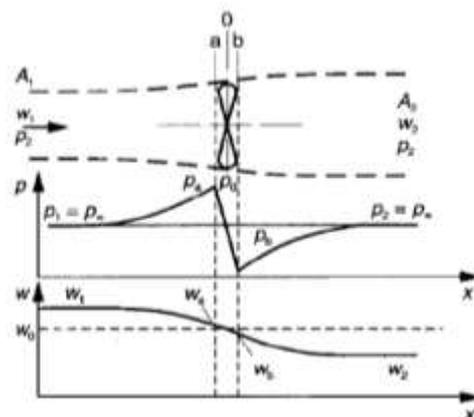
Dengan *c* adalah panjang *chord*, *f* adalah maksimum camber, sedangkan *f/c*

rasio camber, x_f adalah posisi maksimum camber, *d* adalah ketebalan maksimum *airfoil*, *d/c* *thickness-chord ratio*, x_d adalah posisi ketebalan maximum *airfoil*, r_N adalah *nose radius*, y_o adalah *upper surface*, y_u adalah *lower surface*.

Setiap parameter dalam *Airfoil* NACA memiliki kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Persamaan 4 merupakan daya dari aliran udara secara bebas. Tidak semua daya dapat diambil karena ada aliran udara yang lewat melalui sudu. Sehingga didapatkan persamaan baru daya turbin yang ditunjukkan pada Persamaan 1 [6].

$$P_T = \frac{1}{2} \rho A C_p V^3 \quad (1)$$

Dengan P_T adalah daya turbin (W), ρ adalah massa jenis udara ($\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$), *A* adalah luas penampang turbin (m^2), *V* adalah kecepatan angin (m/s), C_p adalah daya koefisien. Profil tekanan dan kecepatan aliran angin untuk suatu volume sebagai model bentuk aliran udara yang melewati suatu kincir dapat ditampilkan seperti Gambar 8.



Gambar 8. Profil tekanan dan kecepatan aliran angin [6].

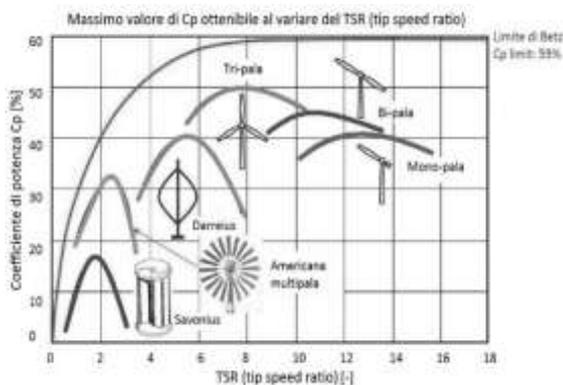
Efisiensi Turbin umumnya digunakan untuk menunjuk efisiensi keseluruhan sistem turbin. Seperti ditunjukkan dalam Persamaan 2 di bawah ini, umumnya didefinisikan sebagai rasio dari "daya listrik yang dihasilkan oleh turbin angin" (P_T) dibagi dengan "daya angin ke dalam turbin" (P_w). Lalu P_w dapat juga disebut "daya angin yang tersedia" yang ditunjukkan pada Persamaan 2.

$$\eta = \frac{P_T}{P_w} \quad (2)$$

Koefisien daya merupakan perbandingan antara daya mekanik pada poros turbin terhadap daya yang terdapat pada angin itu sendiri. Beberapa faktor yang mempengaruhi nilai C_p antara lain adalah jumlah baling-baling, bagian *airfoil*, permukaan baling-baling (bentuk dan sudut). Ketika kecepatan angin berubah maka kecepatan rotasi ω_m harus mencapai nilai C_p terbaik. Hal ini berarti ω_m dan v harus digabung dalam sebuah parameter sebelum sebuah kurva dapat kita gambarkan. Variabel ini merupakan perbandingan antara kecepatan ujung rotor terhadap kecepatan angin dan disebut sebagai *tip speed ratio* (TSR) yang ditunjukkan pada Persamaan 3 [9].

$$\lambda = \frac{\text{kecepatan ujung rotor}}{\text{kecepatan angin}} = \frac{v}{V} = \frac{\omega r}{V} \quad (3)$$

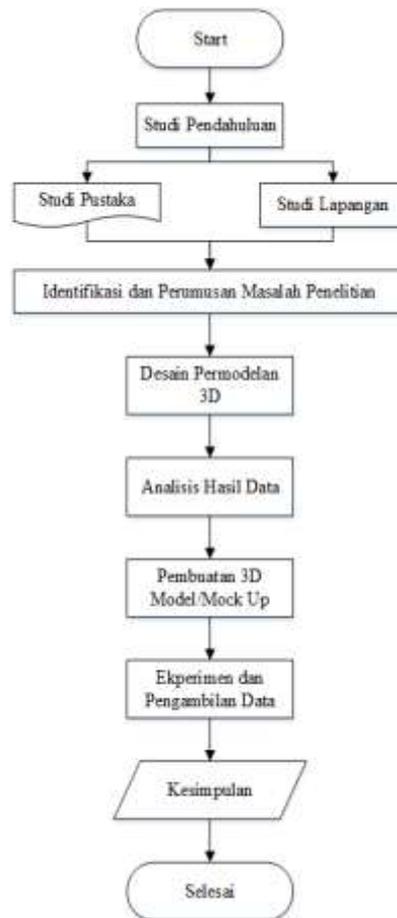
Dengan λ adalah *tip speed ratio*, V adalah kecepatan angin (m/s), $v/\omega r$ adalah kecepatan pada ujung rotor (m/s), r adalah radius rotor (m), $\omega/2\pi f$ adalah kecepatan angular (rad/s) f adalah frekuensi pada rotasi (s^{-1}). Karena setiap tipe turbin memiliki karakteristik yang berbeda-beda, maka faktor daya sebagai fungsi dari TSR juga berbeda sebagaimana yang ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Perbandingan C_p dengan *tip speed ratio* [10].

METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan proses kegiatan penelitian yang dilakukan digambarkan melalui diagram alir penelitian yang dijelaskan pada Gambar 10.



Gambar 10. Diagram alir penelitian

Tahapan yang diperlihatkan pada Gambar 10 dimulai dari mendesain model, pembuatan sampai dengan pengujian. Pengujian turbin angin sumbu horizontal 3 (tiga) sudu ini menggunakan beberapa variabel pengujian. Variabel pengujian yang ditentukan di sini adalah perbedaan kecepatan angin selama proses pengujian. Beberapa variabel pengujian ini yaitu pada kecepatan angin diatur pada 1 m/s, 2 m/s, 3 m/s, 4 m/s, 5 m/s, 6 m/s dan 7 m/s. Pengukuran kecepatan angin dilakukan dengan *hotwire* anemometer, putaran rotor dengan tachometer dan daya turbin dengan multitester.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Model turbin angin sumbu horizontal 3 (tiga) sudu dibagi menjadi 3 komponen yaitu spesifikasi rotor sudu turbin, spesifikasi rotor sudu turbin *twist* dan spesifikasi tower turbin. Rancangan model perancangan turbin angin sumbu horizontal 3 (tiga) sudu tanpa di *twist* dan turbin angin sumbu horizontal 3 (tiga)

dengan sudu di *twist* dapat dilihat pada Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11. Rancangan *assembly* turbin angin sumbu horizontal 3 (Tiga) dengan sudu tanpa di *Twist*



Gambar 12. Rancangan *assembly* turbin angin sumbu horizontal 3 (Tiga) dengan sudu di *Twist*

Swept area adalah luas efektif dari rotor turbin angin yang menerima energi kinetik dari angin adalah sebesar 0.061544 m^2 . Tabel 1 memperlihatkan perbandingan putaran rotor yang dihasilkan oleh model turbin angin baik dengan sudu yang di *twist* maupun dengan sudu tanpa di *twist*. Hasil yang ditunjukkan putaran yang dihasilkan oleh model turbin angin dengan sudu yang di *twist* lebih besar dibandingkan dengan tanpa di *twist*. Tabel 2 memperlihatkan perbandingan *tip speed ratio* untuk kedua model turbin tersebut. Hasilnya *tip speed ratio* yang dihasilkan oleh model turbin angin dengan sudu di *twist* lebih besar dibandingkan dengan sudu tanpa di *twist*.

Tabel 1. Perbandingan putaran rotor model turbin angin

No	Kecepatan Angin (m/s)	Putaran Sudu Tanpa <i>Twist</i> (rpm)	Putaran Sudu <i>Twist</i> (rpm)
1	1 m/s	-	-
2	2 m/s	-	-
3	3 m/s	203.1 rpm	277.3 rpm
4	4 m/s	276.9 rpm	341.6 rpm
5	5 m/s	344.2 rpm	432.3 rpm
6	6 m/s	419.2 rpm	495.4 rpm
7	7 m/s	490.2 rpm	584.7 rpm

Tabel 2. Perbandingan *tip speed ratio* model turbin angin

No	Kecepatan Angin (m/s)	TSR Sudu Tanpa <i>Twist</i> (λ)	TSR Sudu <i>Twist</i> (λ)
1	1 m/s	-	-
2	2 m/s	-	-
3	3 m/s	1.032	1.354
4	4 m/s	1.014	1.251
5	5 m/s	1.008	1.266
6	6 m/s	1.023	1.209
7	7 m/s	1.026	1.233

Hasil dari pengujian ditunjukkan pada Gambar 13, dari hasil tersebut memperlihatkan bahwa daya yang dihasilkan oleh model turbin angin dengan sudu yang di *twist* menghasilkan daya yang lebih besar dibandingkan dengan sudu yang tidak di *twist*. Hal ini dapat kita lihat hasil dari pengujian pada kecepatan 7 m/s, yang mana untuk daya yang dihasilkan dari model turbin angin yang di *twist* menghasilkan daya sebesar 3.976 W, sedangkan model turbin angin dengan sudu tanpa di *twist* menghasilkan daya sebesar 0.554. Nilai efisiensi dari daya turbin hasil pengujian sudu *twist* yang dibangkitkan oleh angin pada kecepatan angin maksimal sebesar 30%. Data perbandingan daya turbin berdasarkan kecepatan angin antara data teoritis dan pengujian dapat dinyatakan kehilangan energi dari perbandingan tersebut sebesar $\pm 25\%$ untuk desain *Airfoil* NACA 4421 dengan sudu di *twist*.



Gambar 13. Perbandingan kecepatan angin terhadap daya turbin teoritis terhadap model turbin angin

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan maka didapat bahwa model turbin angin sumbu horizontal 3 (tiga) sudu dengan *swept area* turbin angin sebesar 0.061544 m^2 , daya potensial sebesar 12.9296 W , data daya turbin teoritis berdasarkan kecepatan angin sebesar 6.4648 W , data daya turbin berdasarkan kecepatan angin maksimal model sudu *twist* sebesar 3.976 W , Nilai *tip speed ratio* sebesar 1.233 dan nilai efisiensi dari daya turbin hasil pengujian dengan sudu di *twist* yang dibangkitkan oleh angin pada kecepatan angin maksimal sebesar 30% . Data perbandingan daya turbin berdasarkan kecepatan angin antara data teoritis dan pengujian dapat dinyatakan kehilangan energi dari perbandingan tersebut sebesar $\pm 25\%$ untuk desain *Airfoil* NACA 4421 sudu di *twist*.

DAFTAR PUSTAKA

1. Markus N. A., Y. Teguh Triharyanto, Ricky Octavianus Prasetya, Kincir Angin Sumbu Horizontal Bersudu Banyak, Universitas Sanata Dharma, Yogyakarta Januari 2008.
2. Badan Pusat Statistik. Tabel Statistik <https://www.bps.go.id/linkTabelStatis/view/id/1348> (Diakses 9 Maret 2017).
3. Kementerian Kelautan dan Perikanan, Laporan Kinerja Kemeterian Kelautan dan Perikanan Tahun 2015, Jakarta Februari 2016, Halaman 7. <http://kkp.go.id/wp->

content/uploads/2016/07/Lkj-KKP-2015.pdf

4. Robert, G. & Jochen, T., Wind Power Plants (Fundamentals, Design, Construction and Operation), Second Edition, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Berlin, 2012.
5. Frida Kurniawati., Kemanakah Kincir itu Menghilang. <http://hwc2015.nvo.or.id/647-ke-manakah-kincir-itu-menghilang/> (Diakses 12 Maret 2017).
6. Johnson, Gary L., Wind Energy System, Electronic Edition, Manhattan, KS., 2006.
7. Jeff Scott. Angle of Attack and Pitch Angle. <http://www.aerospaceweb.org/question/aerodynamics/q0165.shtml> (Diakses 10 Agustus 2017)
8. Jacobs E. N, K. E. Ward, & R. M. Pinkerton.1933. "The characteristics of 78 related airfoil sections from tests in the variable-density wind tunnel". NACA Report No. 460.
9. M. Ragheb., "Optimal Rotor Tip Ratio Speed". New York, USA.
10. <http://www.energyhunters.it/content/turbine-eoliche-ad-asse-orizzontale-o-verticale-unconfronto> (Diakses 12 Mei 2017).