

## PENAMBAHAN WINGLET UNTUK MENINGKATKAN UNJUK KERJA TURBIN ANGIN PADA KECEPATAN ANGIN RENDAH

**Sri Utami Handayani**

Program Diploma III Teknik Mesin, Fakultas Teknik UNDIP

Jl. Prof Soedarto, SH, Semarang

Email : [utami@diploma-mesin.ft.undip.ac.id](mailto:utami@diploma-mesin.ft.undip.ac.id)

**Sutrisno**

Jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknik UGM

Jl. Grafika No.2 Kampus UGM, Yogyakarta 55281

Email : [sutrisno@ugm.ac.id](mailto:sutrisno@ugm.ac.id)

### ABSTRACT

*Drag induced by three dimensional flow in the wind turbine blade will increase the loss, which mean reduce the power generated by wind turbine. In the airplane winglet can decrease the induced drag by reducing spanwise flow. Theoretically bend the tip of the wind turbine blade will do the same. The goal of this research is to investigate the power characteristic of low velocity wind turbine after bending the winglet. The research was conducted in open jet wind tunnel with the opening size 0,32 m. Diameter of the rotor is 0.26 m with 3 blade twisted. There were two original blade with different shape and one winglet with four cant angle variation. Result show that adding winglet with certain design and cant angle would increased  $C_p$  in different value, for wind velocity below 5 m/s. The highest increment is reached by winglet 1 with cant angle  $60^\circ$ . On the contrary, improper design of the winglet would not increased  $C_p$  and even decreased  $C_p$ . Winglet will also decrease cut-in speed which means the wind turbine will run at lower wind speed.*

### I. PENDAHULUAN

Kenaikan harga minyak mentah yang hampir mendekati 100 US \$ per barel seharusnya membuat kita terdorong untuk mengurangi ketergantungan dari sumber energi fosil dan serius mengembangkan energi terbarukan. Potensi energi angin di Indonesia dengan garis pantai yang panjang sebenarnya cukup potensial untuk dikembangkan. Upaya meningkatkan unjuk kerja turbin angin sangat penting dilakukan agar energi angin dapat memiliki harga yang lebih kompetitif dengan sumber energi lain sehingga dapat menunjang program diversifikasi energi.

Salah satu komponen penting pada turbin angin adalah rotor. Semakin optimal rotor menyerap energi angin, maka energi yang dihasilkan akan semakin besar. Pada rotor aliran yang terjadi pada sudu adalah aliran tiga dimensi yang mengakibatkan timbulnya *tip vortex* pada ujung sudu turbin angin. Pembentukan *tip vortex* ini memerlukan energi, akibatnya energi yang dihasilkan turbin angin akan berkurang. Transfer energi dari sudu ke udara dinamakan *induced drag*, besarnya *induced drag* berbanding terbalik dengan kuadrat kecepatan, pada kecepatan tinggi *induced drag* kecil dan pada kecepatan rendah *induced drag* besar. Winglet pada ujung sudu turbin angin diharapkan dapat mengurangi *induced drag* tersebut, sehingga meningkatkan besarnya energi yang dihasilkan.

Medici (2005) meneliti turbin angin dengan dua sudu berdiameter 0,18 yang menggunakan airfoil Gottingen 417A tanpa twist. Dalam penelitian itu ditunjukkan pengurangan  $C_p$  akibat tip vortex loss, wake, drag, dll. Vermeer (2001) meneliti karakteristik aliran hilir turbin angin yang memiliki radius 0,6 m, sudu menggunakan airfoil NACA 0012 dengan twist. Diperoleh sudut aliran masuk sudu, koefisien lift dan beberapa aspek tentang free tip vortex, seperti diameter, kecepatan dan *tip vortex strength*. Johansen dan Sorensen (2006) meneliti tentang pengaruh aerodinamis winglet pada turbin angin secara numeris. Lima buah winglet dengan distribusi *twist* dan *camber* yang berbeda diteliti, salah satunya menghadap *downstream* dan yang lain menghadap arah *upstream*. Tinggi winglet sekitar 1.5% jari-jari rotor dengan *cant angle*  $90^\circ$ , sedangkan *sweep angle*  $0^\circ$ . Hasilnya menunjukkan bahwa penambahan winglet mengubah distribusi gaya pada 14% bagian terluar sudu sehingga meningkatkan daya yang dihasilkan sebesar 0.6% sampai 1.4% untuk kecepatan angin lebih besar dari 6m/s. Sedangkan kenaikan gaya dorong sekitar 1.0% sampai 1.6%. Pada winglet yang menghadap ke arah *downstream* kenaikan daya yang dihasilkan lebih besar daripada winglet yang menghadap ke arah *upstream*.

Sejauh ini belum ditemukan penelitian mengenai pengaruh penambahan winglet pada turbin angin secara eksperimen. Diharapkan hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai salah satu masukan dalam mendesain rotor yang sesuai untuk turbin angin di Indonesia.

## II. LANDASAN TEORI

### 2.1. Prinsip Dasar Turbin Angin

Fungsi turbin angin adalah mengubah energi kinetik angin menjadi energi mekanik dan kemudian energi listrik, prinsip dasar yang harus dipahami adalah jumlah energi yang tersedia di angin, yaitu :

$$\dot{P} = \frac{1}{2} \rho A U_{\infty}^3 \quad (1)$$

Dari persamaan diatas terlihat bahwa daya output turbin sangat tergantung dari kecepatan angin. Pada kenyataannya energi yang bisa diserap turbin tidak sebesar persamaan diatas, karena untuk menghasilkan energi sebesar itu maka angin harus diperlambat sampai kecepatannya nol. Unjuk kerja turbin angin sering didefinisikan dengan koefisien daya ( $C_p$ ).

$$C_p = \frac{\text{daya yang dihasilkan}}{\frac{1}{2} \rho U_{\infty}^3 A} \quad (2)$$

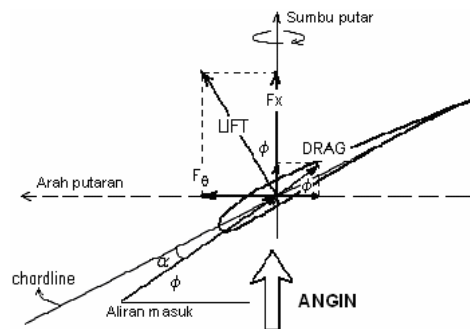
Daya output maksimum yang dapat dicapai dinamakan Lanchester-Betz limit, yang besarnya 0,593. Yang harus diperhatikan adalah bahwa Lanchester-Betz limit tergantung pada beberapa penyederhanaan dan asumsi aliran udara, yaitu steady, uniform, dan viskositasnya diabaikan, padahal dalam praktek hal tersebut kurang tepat. Sejauh ini belum ada turbin angin yang memiliki  $C_{pmax}$  diatasnya

### 2.2. Teori Momentum Elemen Sudu

Berdasarkan teori momentum besarnya torsi yang dihasilkan turbin angin sebesar (Glauert, 1935):

$$dT = 2\pi r \rho U_{\infty} (1-a) \omega r^2 dr \quad (3)$$

Gaya-gaya yang bekerja pada elemen sudu adalah seperti pada gambar berikut, lift tegak lurus aliran dan drag searah dengan aliran.



Gambar 1. Gaya-gaya yang bekerja pada turbin angin

$$dF_x = 0.5 \rho W^2 Bc (C_L \cos \phi + C_D \sin \phi) dr \quad (4)$$

$$dF_{\theta} = 0.5 \rho W^2 Bc (C_L \sin \phi - C_D \cos \phi) dr \quad (5)$$

Torsi pada elemen adalah gaya tangensial kali radius, yaitu :

$$dT = 0.5 \rho W^2 Bc r (C_L \sin \phi - C_D \cos \phi) dr \quad (6)$$

Dalam merancang sudu ada dua hal yang harus ditentukan, yaitu lebar kelengkungan sudu (*chord width*) dan *blade angle* ( $\beta$ ) pada radius tertentu sepanjang sudu. Keduanya berbeda untuk setiap radius karena kecepatan pada tiap radius tertentu juga berbeda. Untuk memenuhi Betz limit, maka kecepatan angin di luasan sapuan rotor harus diperlambat sampai dengan 1/3 kecepatan free stream. Sehingga :

Agar memenuhi Betz limit maka :

$$F = \frac{4}{9} \rho A V^2 = \frac{4}{9} \rho \cdot 2\pi \cdot \Delta r \cdot V^2 \quad (7)$$

Dari persamaan diatas akan diperoleh lebar sudu ( $C$ ) yaitu :

$$C = \frac{16 \cdot \pi \cdot R \cdot \cos \phi \cdot R / r}{9 \cdot \lambda^2 \cdot N \cdot Cl} \quad (8)$$

### 2.3. Aliran 3 Dimensi

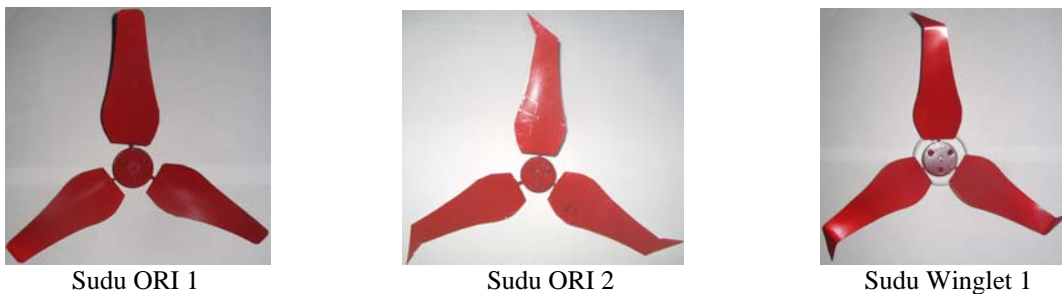
Mekanisme terbentuknya lift adalah karena adanya tekanan tinggi di bagian bawah dan tekanan rendah dibagian atas. Akibat ketidakseimbangan ini aliran di ujung sayap cenderung menggulung dari daerah bertekanan tinggi di bagian bawah ke daerah bertekanan rendah dibagian atas. Sehingga dibagian atas sayap ada komponen aliran sepanjang sayap dari *tip* ke arah *root*, dan dibagian bawah dari *root* ke arah *tip*. Hal ini menimbulkan banyak pusaran kecil yang terdistribusi sepanjang span, vortex-vortex kecil ini bergabung menjadi dua buah pusaran besar pada ujung sayap (*wing tip vortex*). Vortex cenderung menarik udara disekitarnya dan gerakan sekunder ini menghasilkan komponen kecepatan kearah bawah dibelakang trailing edge yang dinamakan *downwash*. Munculnya struktur vortex dan *downwash* ini menghasilkan sejumlah besar drag, yang disebabkan adanya komponen gaya angkat yang terinduksi menjadi *drag* atau dinamakan *induced drag*.

Pada turbin angin sumber aliran 3 dimensi bukan hanya akibat perbedaan tekanan saja tetapi juga adanya gaya sentrifugal akibat putaran sudu sehingga udara cenderung mengalir dari *root* ke arah *tip*, yang kemudian menimbulkan *tip vortex*. Aliran pada sisi inlet turbin angin diasumsikan aksial, sehingga aliran dianggap satu dimensi. Pada kenyataannya ada sedikit pusaran udara ketika masuk sudu yang diabaikan. Ketika melintasi sudu karena interaksi dengan sudu kecepatan pusaran ini meningkat. Arah pusaran berlawanan dengan arah putaran sudu, akibatnya udara dibelakang sudu tidak hanya mengalami gerak translasi tetapi juga rotasi. Akibat putaran sudu, wake yang terjadi pada rotor berbentuk *helicoidal*. *Tip vortex* membatasi *wake* dengan udara *freestream* dan menunda terjadinya pencampuran dengan aliran udara *freestream*.

Karena terbatasnya referensi mengenai desain *winglet* untuk turbin angin kemudian disini desain *winglet* didasarkan pada desain *winglet* pesawat terbang dan perkiraan fenomena aliran yang mungkin terjadi pada ujung sudu turbin angin. Meskipun pada desain *winglet* pesawat terbang perhitungan secara analitis belum berhasil membuat prediksi secara tepat. Penambahan *winglet* dimaksudkan untuk meningkatkan performance dengan cara mengurangi *induced drag* pada sudu dengan cara mengubah distribusi *downwash*. Diperlukan *winglet* yang mempunyai beban aerodinamis sedemikian sehingga *vortex sheet* yang ditimbulkan *winglet* dapat mengurangi pengaruh *tip vortex*, mengurangi *downwash* dan *induced drag*.

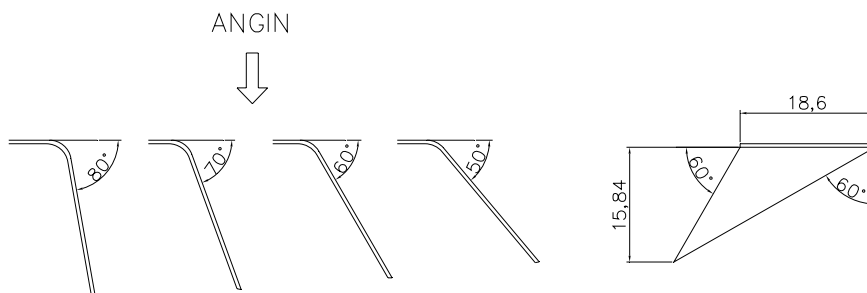
### III. METODOLOGI PENELITIAN

Bahan yang diuji pada penelitian ini adalah rotor turbin angin dengan 3 buah sudu yang didesain berdasarkan teori momentum elemen sudu dan kemudian dimodifikasi pada bagian pangkalnya. Ada 3 buah rotor yang diuji, sudu Ori 1 adalah hasil desain yang telah dimodifikasi pada bagian pangkal, sudu Ori 2 sama seperti sudu Ori 1 dengan tambahan bentuk segitiga pada ujungnya seperti pada gambar berikut :



Gambar 2. Benda uji

Sedangkan sudu *winglet* 1 sama seperti sudu Ori 1 tetapi diatur sudut cant nya seperti pada gambar berikut ini :

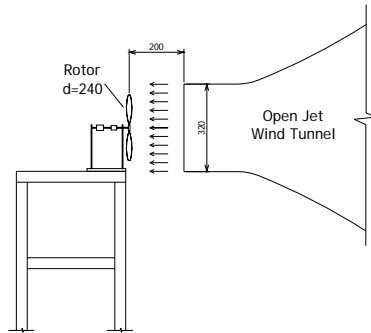


Gambar 3. Dimensi *Winglet* 1

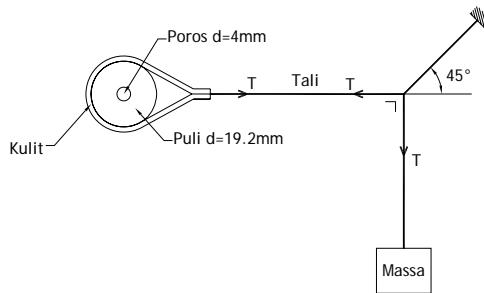
Spesifikasi dari ketiga rotor tersebut adalah :

- Bahan sudu : plat aluminium, tebal 0.5 mm
- Bahan hub : resin , tebal 5 mm dan diameter 30 mm
- Diameter rotor : 260 mm (Sudu Ori 1 240 mm)
- Profil : Plat melengkung dengan kelengkungan  $\pm 5\%$

Penelitian dilakukan pada open jet wind tunnel dengan skema seperti pada gambar 3. Peralatan yang digunakan antara lain : pitot tube, manometer, tachometer, barometer, higrometer dan termometer serta pengukur daya seperti pada gambar 4.



Gambar 4. Posisi rotor terhadap open jet wind tunnel



Gambar 5. Skema pengukur daya turbin angin

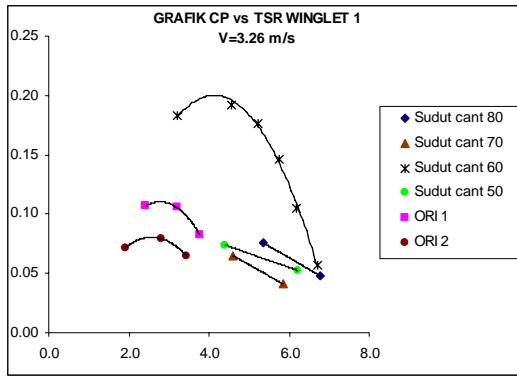
Tegangan tali :	$T_{\text{tali}} = m \times g$	(N)	(9)
Gaya gesek pada puli :	$F = \mu \times T_{\text{tali}}$	(N)	(10)
Torsi :	$T = F \times r_{\text{puli}} = \mu \times m \times g \times r$	(N.m)	(11)
Daya :	$P = T \times \frac{2\pi n}{60}$	(Watt)	(12)
Energi yang terkandung di angin/daya teoritis :	$W = \frac{1}{2} \rho U^3 A$	(Watt)	(13)
Koefisien daya :	$C_p = P/W$		(14)

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

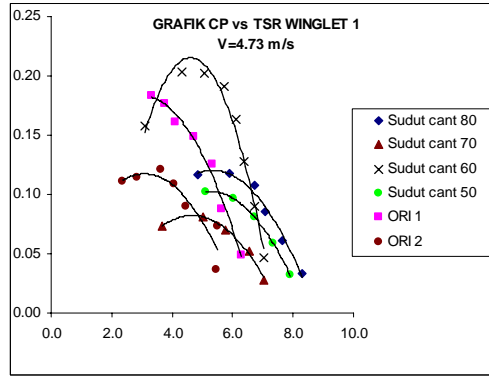
Pengukuran daya turbin angin dilakukan untuk mengetahui sejauh mana penambahan winglet dapat meningkatkan unjuk kerja turbin angin, yang terlihat dari kenaikan  $C_p$  setelah penambahan winglet dibandingkan dengan  $C_p$  sudu tanpa winglet. Desain winglet yang optimum diharapkan dapat memberikan kenaikan daya turbin angin. Pengujian dilakukan pada kecepatan 3,26 m/s, 4,73m/s, 5,7m/s, 6,63m/s, dan 7,6m/s. Gambar berikut adalah grafik koefisien daya vs TSR sudu tanpa winglet dengan sudu yang diberi winglet dengan sudut cant yang berlainan pada berbagai kecepatan.

Pada gambar 6a. terlihat adanya perbedaan unjuk kerja yang sangat menyolok antara sudu tanpa winglet dengan sudu dengan winglet 1 pada sudut cant 60. Demikian juga pada kecepatan 4.73 m/s, sudu dengan winglet yang memiliki sudut cant 60 memberikan kenaikan  $C_p$  yang masih cukup besar meskipun tidak sebesar pada kecepatan 3.26 m/s (gambar 6b). Sedangkan winglet dengan sudut cant 80,70 dan 50 justru memberikan unjuk kerja yang rendah pada kedua kecepatan tersebut, bahkan lebih rendah daripada sudu tanpa winglet. Sejauh ini belum diperoleh ketentuan pasti maupun persamaan empiris mengenai besarnya sudut cant optimum dan juga pengaruh sudut cant terhadap downwash. Sehingga dari eksperimen ini sudu dengan winglet yang didesain seperti pada gambar 3 dengan sudut cant 60 memberikan unjuk kerja yang terbaik.

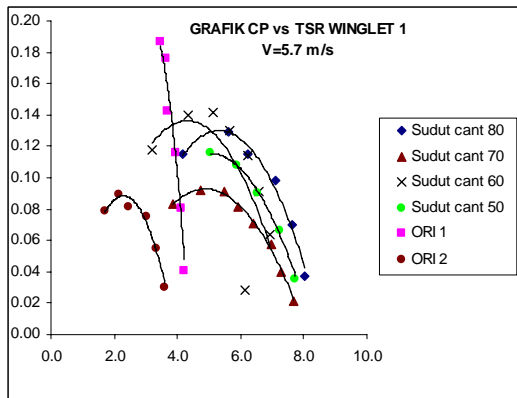
Pada kecepatan yang lebih tinggi yaitu 5,7 m/s , 6,63 m/s dan 7,6 m/s sudu dengan winglet justru memberikan unjuk kerja yang lebih rendah daripada sudu tanpa winglet (gambar 6c, d, e. ). Hal ini dikarenakan besarnya induced drag berbanding terbalik dengan kuadrat kecepatan udara (Maughmer,2001). Pada kecepatan rendah induced drag besar, dengan penambahan winglet dapat mengurangi induced drag sehingga dapat meningkatkan  $C_p$ . Sedangkan pada kecepatan tinggi induced drag justru kecil, pada kondisi ini penambahan winglet akan meningkatkan profile drag sehingga mengurangi gaya angkat dan pada akhirnya justru akan menurunkan nilai  $C_p$ .



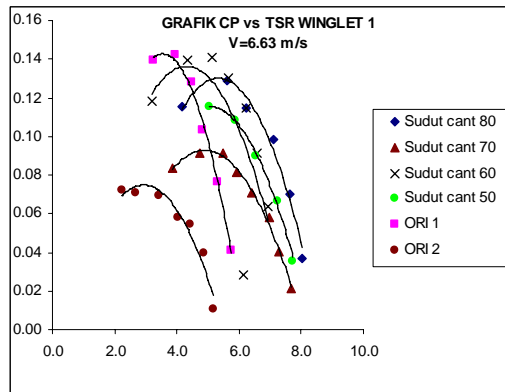
a.



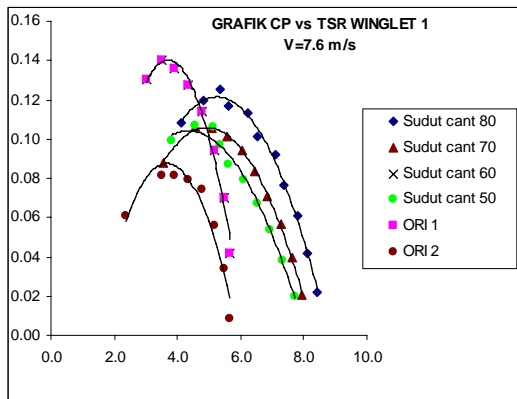
b.



b.



d.



e.

Gambar 6a-e. Grafik Cp vs TSR pada berbagai kecepatan

## V. KESIMPULAN & SARAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan pembahasan dari penelitian ini, maka dapat disimpulkan bahwa pada kecepatan rendah penambahan winglet pada model rotor turbin angin dapat menaikkan koefisien daya, pada kecepatan 3,26 m/s Cp maksimum meningkat dari 0,11 menjadi 0,19. Sedangkan pada kecepatan 4,73 m/s Cp maksimum meningkat dari 0,18 menjadi 0,20. Pada kecepatan tinggi (diatas 5,7 m/s) penambahan winglet justru mengurangi Cp karena adanya peningkatan *drag* akibat kenaikan kecepatan.

Agar bisa diterapkan secara langsung perlu dilakukan penelitian lanjutan tentang penambahan winglet pada sudu turbin angin pada ukuran yang sebenarnya. Karena metode eksperimental mungkin cukup sulit dilakukan berkenaan dengan biaya dan kondisi alam, mungkin simulasi numeris bisa menjadi satu pilihan .

## VI. DAFTAR PUSTAKA

- Anderson, John.D, 2001, *Fundamentals of Aerodynamic*, Third Edition McGraw-Hill Book Company, Inc, United State of America.
- Dwinnell, James.H, 1949, *Principles of Aerodynamic*, First Edition McGraw-Hill Book Company, Inc, United State of America.
- Freris,L.L, 1990, *Wind Energy Conversion System*, Prentice Hall International(UK) Ltd, Cambridge.
- HPS, Sugiarmadji, dan Sebayang, Darwin, *Preliminary design of a Wind Turbine Rotor for Battery Charger*, Wind Energi Research and Development Project, The Indonesian National Institute of Aeronautic and Space, Indonesia.
- Hau, Eric, 2006, *Wind Turbines, Fundamentals, Technologies, Application, Economic*, Second Edition Springer-Verlag Berlin Heidelberg, Germany, hal. 79-100
- Johansen, Jeppe dan Sorensen, Niels N, 2006, *Aerodynamic Investigation of Winglets on Wind Turbine Blade using CFD*, Riso National Laboratory Information Service Department, Roskilde, Denmark.
- Johnson, Gary L, 2001, *Wind Energy System*,
- Kussmann, A, *Some Aspect of Wind Rotor Design, Rotor Blade Aerodynamic*, Deutsche Forschungs-und Versuchsanstalt fur Luft-und Raumfahrt e.V. Forschungszentrum Stuttgart, Institut fur Bauweisen-und Konstruktions-forschung, Stuttgart.
- Maughmer, Mark D, 2001, *The Design of Winglets for High Performance Sailplane*, AIAA Journal 2001-2406, 2001
- Mc.Cormick, Barnes W, 1995, *Aerodynamics, Aeronautics, and Flight Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc, Canada, hal 139-146
- Medici, Davide, 2005, *Experimental Study f Wind Turbine Wakes Power Optimisation and Meandering*, KTH Mechanics Royal Institute of Technology, Stolkhom, Sweden.
- Molly, J.P, *Design Criteria of Horisontal Axis WECs*, Deutsche Forschungs-und Versuchsanstalt fur Luft-und Raumfahrt e.V. , Institut fur Bauweisen-und Konstruktions-forschung, Stuttgart.
- Nangia, Dr. R.K, Palmer, Dr.M.E, Doe, R.H, 2006, *Aerodynamic Design Studies of Conventional &Unconventional Wing with Winglets*, AIAA 2006-3460, 24<sup>th</sup> Applied Aerodynamic Conference San Francisco California.
- Nybroe, Claus, *Blade Design*, www. windmission.dk.
- Piggot, Hugh, *Blade Design*, <http://www.windmission.dk/workshop/books.html>
- Shepherd, Dennis G, *Wind Power*, Sibley Shool of Mechanical and Aerospace Engineering Cornell University, New York.
- Stiesdal, Hendrik, 1999, *The Wind Turbine Component and Operation*, Bonus Energy A/S, Brande, [www.bonus.dk](http://www.bonus.dk)
- Sunada, Shigeru., Sakaguchi, Akitoshi., Kawachi, Keiji., 1997, *Airfoil Section Characteristic at a Low Reynold Number*, Journal of Fluids Engineering, Transaction of the ASME.
- Wood, David, 2002, *The Design and Analysis of Small Wind Turbine*, School of Engineering University of Newcastle NSW, Australia.