

Perbandingan Hasil Eksperimen dan Simulasi Unjuk Kerja Turbin Angin Horisontal NACA 0012 pada *Pitch Angle* 56°

I Gusti Gde Badrawada^{1,a,*}, Fauzun^{1,b} dan Sugiyono^{1,c}

¹Jurusan Teknik Mesin & Industri-UGM

Jalan Grafika no 2, Yogyakarta 55281, Indonesia

^agdebadrawada@yahoo.co.id, ^bfauzun71@ugm.ac.id, ^csugiyono_ugm@yahoo.com

Abstrak

Tujuan dari studi ini adalah membandingkan hasil eksperimen dengan hasil simulasi unjuk kerja turbin angin horisontal NACA 0012 pada *pitch angle* 56°. Studi ini menitikberatkan pada pekerjaan simulasi yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan hasil eksperimen dari suatu artikel ilmiah. Simulasi dilakukan untuk berbagai nilai rasio kecepatan yang di dalamnya mencakup interval rasio kecepatan pada pekerjaan eksperimen. Selanjutnya, parameter yang dibandingkan dalam studi ini adalah koefisien tenaga dari turbin angin. Hasil studi menunjukkan bahwa nilai koefisien tenaga hasil simulasi memiliki kesesuaian yang relatif baik dengan hasil eksperimen untuk interval rasio kecepatan yang digunakan. Secara numerik, nilai galat rata-rata dari perbandingan nilai koefisien tenaga tersebut adalah 0,04. Selanjutnya, medan tekanan statik & kecepatan pada beberapa nilai rasio kecepatan juga dipaparkan di dalam artikel ini untuk mengetahui fenomena aliran yang terjadi di sekitar sudu.

Kata kunci: turbin angin, NACA 0012, *pitch angle*, rasio kecepatan, koefisien tenaga

Pendahuluan

Angin merupakan salah satu sumber energi alternatif yang dapat dimanfaatkan menjadi energi yang siap pakai (energi listrik). Untuk maksud pengkonversian energi tersebut maka diperlukan suatu mesin fluida, yaitu turbin angin. Sejauh ini, penggunaan turbin angin untuk pembangkit tenaga listrik telah banyak memberikan manfaat kepada masyarakat luas terutama di daerah-daerah yang tidak lagi terjangkau oleh jaringan listrik reguler negara.

Bagian terpenting dari turbin angin yang sangat berpengaruh dalam proses konversi energi adalah sudu. Oleh karena itu, berbagai usaha dilakukan terutama dalam hal rekayasa sudu guna menghasilkan suatu desain dengan unjuk kerja yang lebih baik. Secara umum, usaha tersebut dilakukan secara eksperimen terhadap model atau prototipe turbin angin. Hal ini jelas akan memerlukan biaya atau investasi yang cukup besar. Selain itu, hasil yang diperoleh tidak dapat diinterpretasikan secara detail terkait dengan fenomena aliran yang terjadi sehingga analisis yang dapat dilakukan relatif kurang mendalam. Masalah-masalah ini kemudian diantisipasi dengan melakukan simulasi numerik.

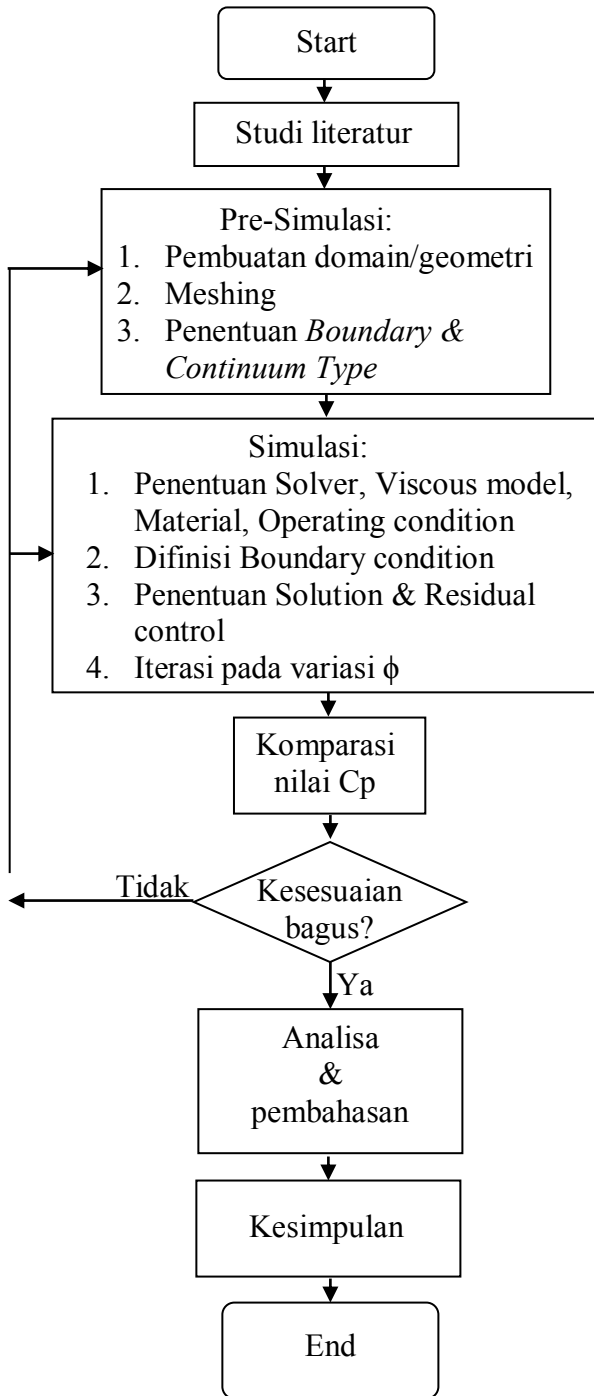
Sejauh ini, penelitian terkait dengan turbin angin sudah banyak dilakukan baik secara eksperimen maupun simulasi. Musyafa, dkk. [1] telah melakukan studi eksperimental terhadap turbin angin horisontal NACA 0012 dengan

variasi kecepatan angin rendah, yaitu 4 m/s sampai 10 m/s serta pada variasi *pitch angle* mulai dari 0° sampai 90° dengan kelipatan 5,6. Pada penelitiannya, variasi kecepatan angin tersebut diaplikasikan untuk masing-masing variasi *pitch angle*, salah satunya adalah *pitch angle* 56°. Monteiro, dkk. [2] melakukan simulasi numerik pada suatu model turbin angin untuk mengetahui karakteristik aerodinamik dari turbin angin tersebut. Selanjutnya, studi dengan simulasi numerik terhadap turbin angin juga dilakukan oleh Mo & Lee [3] serta oleh Rajendran, dkk. [4].

Pada studi kali ini, unjuk kerja turbin angin horisontal NACA 0012 dengan *pitch angle* 56° diinvestigasi dengan melakukan simulasi numerik. Hasil yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan hasil eksperimen dari Musyafa, dkk. [1]. Lebih dari itu, studi ini juga memaparkan fenomena aliran yang terjadi di sekitar sudu.

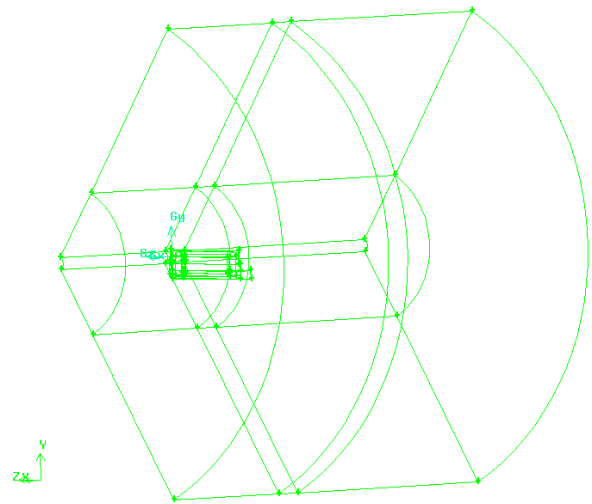
Metodologi

Pada studi ini, proses yang dilakukan pertama kali adalah proses pre-simulasi dengan menggunakan *software* Gambit. Proses ini terdiri dari proses pembuatan domain, meshing dan penentuan *boundary type* dan *continuum type*. Untuk lebih jelasnya, *flowchart* penelitian yang digunakan pada studi ini dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart penelitian

Domain yang digunakan berbentuk 1/3 lingkaran seperti tampak pada Gambar 2.



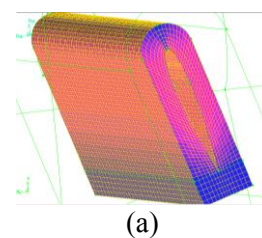
Gambar 2. Domain simulasi

Jenis mesh yang digunakan pada proses meshing yaitu mesh *hexahedral* dan mesh *tetrahedral/hybrid* jenis *TGrid* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3 dan Gambar 4.

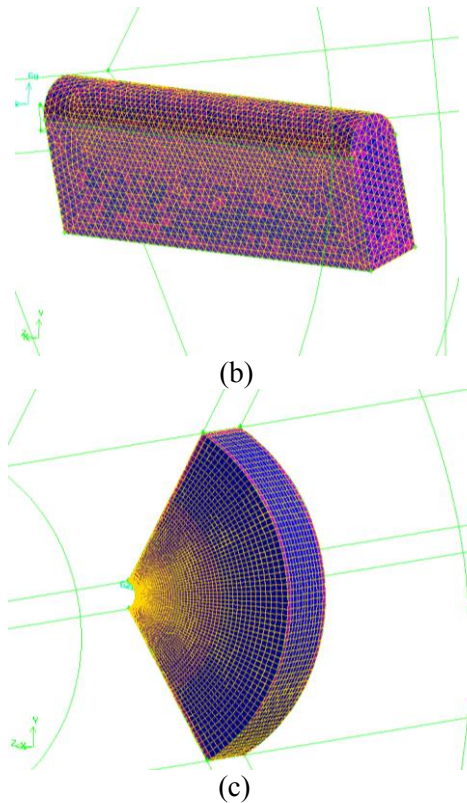
Proses simulasi menggunakan paket *software* Fluent, dengan model turbulen yang dipilih adalah $k - \epsilon$ jenis *ReNormalization Group* (RNG). Diskritisasi yang dipakai adalah *second order Upwind*. Simulasi dilakukan untuk berbagai nilai rasio kecepatan (ϕ), sering juga disebut *coefficient of advance* [5] atau *advance ratio* [6], yang merupakan perbandingan kecepatan aksial angin dengan kecepatan tangensial rotor. Jelas terlihat bahwa besaran ϕ merupakan kebalikan dari besaran *tip speed ratio* (λ), yang sering digunakan pada turbin angin. Selain variasi ϕ yang dihasilkan pada eksperimen (0,88 sampai 4,59), simulasi juga diperlebar pada nilai ϕ yang lebih kecil. Variasi nilai ϕ didapat dengan cara membuat nilai kecepatan angin konstan (6 m/s) dan memvariasikan nilai kecepatan tangensial rotor.

Proses simulasi akan menghasilkan suatu besaran (pada *post precessing*) yaitu berupa torsi. Dari torsi ini akan didapat torsi dari turbin angin (Q_T) dengan menggunakan Persamaan (1).

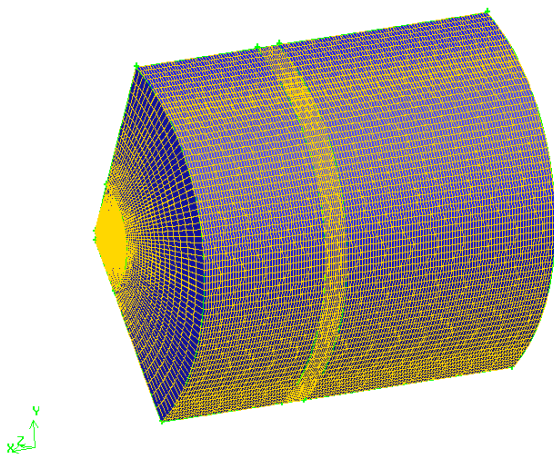
$$Q_T = 3 \times \text{Torsi 1 sudu} \dots\dots\dots(1)$$



(a)



Gambar 3. Meshing volume-volume disepular sudu
a) Hexagonal;
b) Tetrahedral/Hybrid;
c) Tetrahedral/Hybrid



Gambar 4. Meshing seluruh domain
Dari torsi ini dapat dihitung daya/tenaga turbin angin (P_T), dengan menggunakan Persamaan (2), yang merupakan hasil perkalian torsi turbin angin dengan putaran rotor turbin angin (Ω) [7]:

$$P_T = Q_T \times \Omega \dots \dots \dots (2)$$

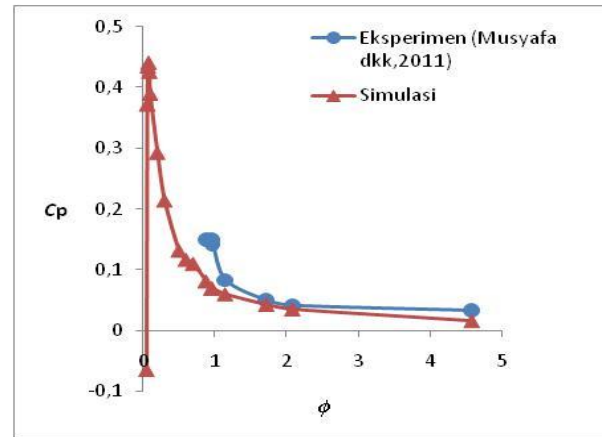
Selanjutnya, koefisien tenaga turbin angin (C_p) dihitung dengan menggunakan Persamaan (3), yang merupakan perbandingan antara daya yang dihasilkan turbin angin dengan daya yang dihasilkan oleh angin (P_a) [5].

$$C_p = \frac{P_T}{P_a} \dots \dots \dots (3)$$

Hasil nilai C_p simulasi ini, selanjutnya dibandingkan dengan nilai C_p hasil eksperimen.

Hasil Penelitian

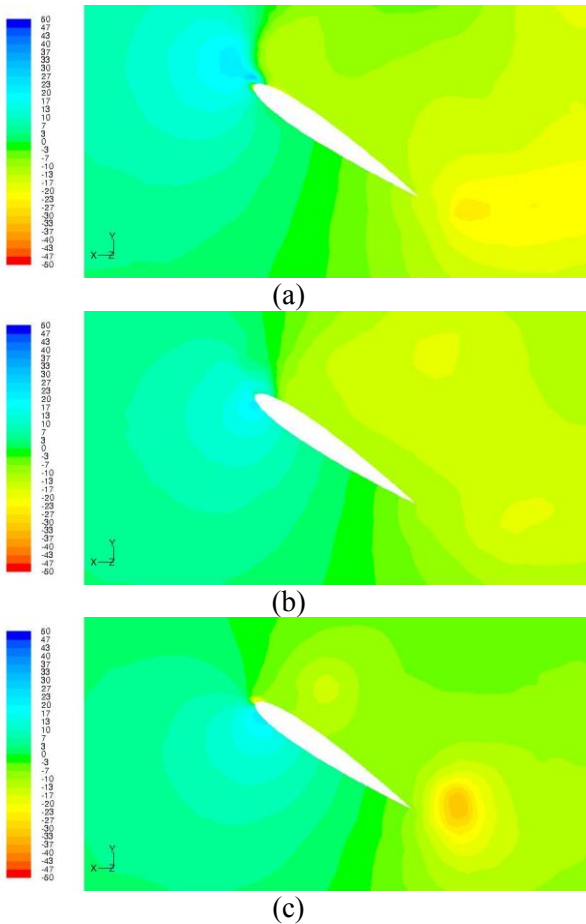
Perbandingan hubungan $C_p-\phi$ antara hasil simulasi dengan hasil eksperimen dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Hubungan $C_p-\phi$ hasil simulasi dan hasil eksperimen pada *pitch angle* 56°

Pada Gambar 5 dapat dilihat bahwa hasil simulasi dengan eksperimen menunjukkan kesesuaian secara kualitatif dan kuantitatif. Pada interval ϕ yang digunakan untuk eksperimen (0,88 sampai 4,59), nilai C_p hasil simulasi lebih kecil dari C_p hasil eksperimen. Rata-rata galat yang terjadi adalah 0,04. Selanjutnya pada Gambar 5, secara umum dapat diuraikan bahwa nilai C_p akan semakin naik hingga nilai tertentu (nilai C_p maks), yang kemudian mengalami penurunan seiring dengan bertambah besarnya nilai ϕ .

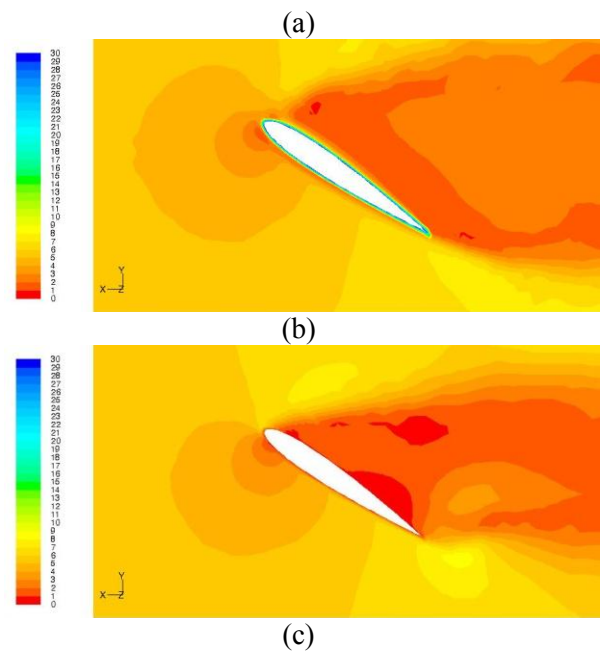
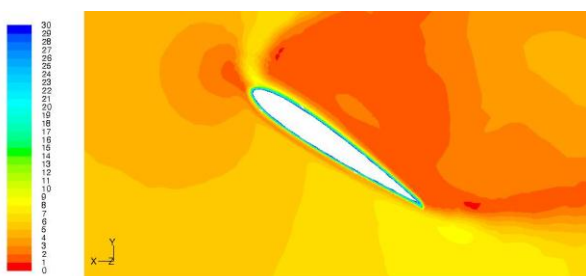
Gambar 6 menampilkan fenomena medan tekanan statik di sekitar sudu turbin angin pada beberapa nilai ϕ . Secara umum, titik stagnant (medan tekanan yang tinggi) yang terjadi pada *pressure/lower surface* akan berpindah dari *leading edge* menuju bagian tengah *pressure surface* seiring membesarnya nilai ϕ . Hal ini disebabkan oleh berubahnya sudut serang. Semakin besar nilai ϕ , maka sudut serangnya akan semakin besar. Perubahan sudut serang berkaitan dengan perubahan yang terjadi pada kecepatan relatif angin. Semakin besar nilai ϕ maka kecepatan relatif angin yang menumbuk sudu akan semakin kecil, hal ini disebabkan dengan semakin mengecilnya kecepatan tangensial rotor.



Gambar 6. Kontur tekanan statik pada: (a) $\phi = 0,05$; (b) $\phi = 0,1$
(c) $\phi = 4,59$

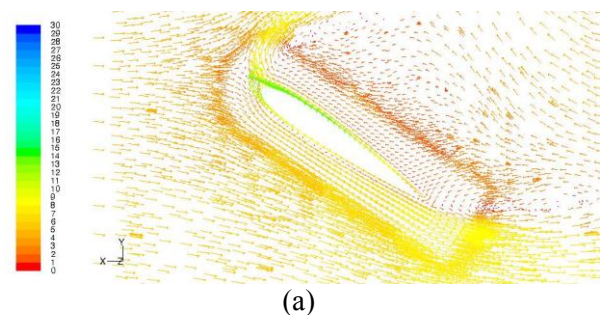
Pada Gambar 6 juga dapat dilihat bahwa medan tekanan pada *pressure surface* akan semakin mengecil menuju *trailing edge*, bahkan nilainya cenderung negatif akibat mulai membesarnya medan kecepatan yang terjadi. Sedangkan medan tekanan pada *suction/upper surface* nilainya negatif, yang diakibatkan telah terjadinya *wake* akibat separasi.

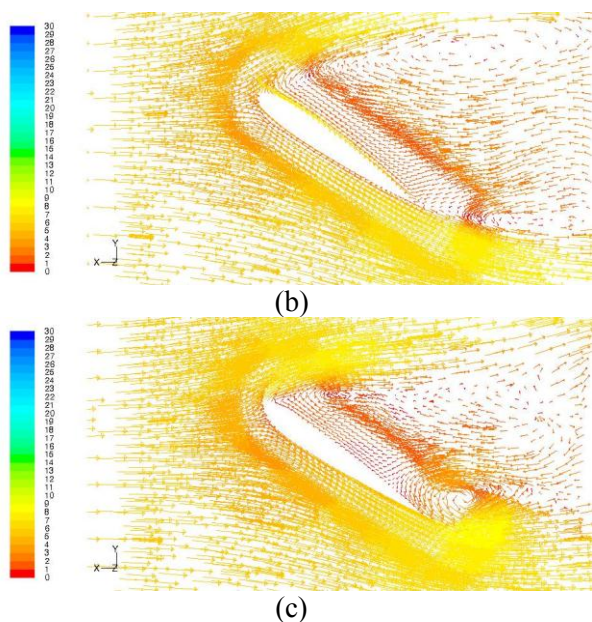
Pada Gambar 7 dan Gambar 8 terlihat medan kecepatan di seputar sudu. Secara umum dapat dilihat, bahwa dengan semakin membesarnya nilai ϕ maka luasan *wake region* yang terjadi di daerah belakang *suction surface* akan semakin mengecil. Hal ini berhubungan dengan kecepatan tangensial rotor yang nilainya semakin kecil seiring dengan semakin membesarnya nilai ϕ .



Gambar 7. Kontur kecepatan pada:
(a) $\phi = 0,05$; (b) $\phi = 0,1$
(c) $\phi = 4,59$

Dengan semakin membesarnya nilai ϕ , seperti tampak pada Gambar 7 dan Gambar 8, medan kecepatan yang terjadi tepat di permukaan sekeliling sudu akan semakin mengecil. Medan kecepatan di permukaan ini diakibatkan oleh terjadinya gesekan antara permukaan sudu dengan angin, akibat asumsi *no-slip condition*. Arah medan kecepatan pada permukaan sudu ini searah dengan arah putaran sudu/rotor. Besar nilai medan kecepatan pada permukaan tersebut, paling tinggi di daerah *leading edge* dan menurun ke arah *trailing edge* dikarenakan resistensi lingkungannya lebih kecil di *leading edge*. Resistensi ini diakibatkan oleh medan kecepatan lingkungan luarnya. Semakin besar nilai medan kecepatan lingkungan luarnya, semakin besar resistensi yang terjadi.





Gambar 8. Vektor kecepatan pada:
(a) $\phi = 0,05$; (b) $\phi = 0,1$
(c) $\phi = 4,59$

Kesimpulan

Nilai koefisien tenaga (C_p) semakin tinggi, hingga mencapai nilai maksimum, lalu mengalami penurunan seiring dengan naiknya nilai ϕ . C_p hasil simulasi dengan hasil eksperimen menunjukkan kesesuaian yang baik dengan galat rata-rata sebesar 0,04

Secara umum, medan tekanan statik yang tinggi pada *pressure surface*, akan bergerak dari *leading edge* menuju bagian tengah dari *pressure surface* seiring dengan membesarnya nilai ϕ . Luasan *wake region* yang terjadi di daerah belakang suction surface akan semakin mengecil seiring dengan semakin membesarnya nilai ϕ .

Referensi

- [1] Musyafa, A., Negara, I M. Y., Robandi, I., A Wind Turbine for Low Rated Wind Speed Region in East Java, International Journal for Academic Research, vol. 3 (2011), 352 – 357.
- [2] Monteiro, J. M. M., Pascoa, J. C., Brojo, F. M. R. P., Simulation of the Aerodynamics Behavior of a Micro Wind Turbine, ICREPQ'09 (2009).
- [3] Mo, J.O., Lee, Y. H., CFD Investigation on the aerodynamic characteristics of a small-sized wind turbine of NREL PHASE VI operating with a stall-regulated method, Journal of Mechanical Science and Technology, 26 (2012), 81 - 89.
- [4] Rajendran, C., Madhu, G., Tide, P. S., Kanthavel, K., Aerodynamic Performance Analysis of Horizontal Axis Wind Turbine

Using CFD Technique, European Journal of Scientific Research, vol. 65, 1 (2011), 28 – 37.

- [5] Hau, Erick, Wind Turbines: Fundamentals, Technologies, Application, Economics, 2nd edition, Springer-Verlag, Germany, 2007.
- [6] Wilson, R. E., Wind Turbine Aerodynamics – Part A: Basic Principles, in: Spera, D. A. (Editor), Wind Turbine Technology: Fundamental Concepts of Wind Turbine Engineering, 2nd edition, ASME Press, New York, 2009, 281 – 350.
- [7] Manwell, J. F., McGowan, J. G., Rogers, A. L., Wind Energy Explained: Theory, Design and Application, John Wiley & Sons, England, 2002.