



## Studi Numerik Aerodinamika Turbin Angin Kontra Rotasi Berdasarkan Variasi Jarak Terhadap Rasio Putaran Rotor

Akhmad Riszal<sup>1\*</sup>, Agus Sugiri<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Lampung

### INFO ARTIKEL

#### Kata kunci:

CRWT, CFD, Aerodinamika, Tip Speed Rasio (TSR), Airfoil S826

#### Keywords:

CRWT, CFD, Aerodynamics, Tip Speed Rasio (TSR), Airfoil S826

### ABSTRACT

Counter Rotating Wind Turbine (CRWT) merupakan salah satu pengembangan turbin angin sumbu horizontal yang memanfaatkan dua rotor berputar berlawanan arah untuk meningkatkan efisiensi konversi energi angin. Penelitian ini bertujuan menganalisis karakteristik aerodinamika CRWT menggunakan metode Computational Fluid Dynamics (CFD) dengan mempelajari pengaruh variasi jarak antar rotor terhadap performa turbin. Model blade yang digunakan terdiri atas tiga bilah menggunakan airfoil S826 dari National Renewable Energy Laboratory (NREL). Simulasi dilakukan menggunakan metode Moving Reference Frame (MRF) dengan model turbulensi Realizable  $k-\epsilon$ . Variasi yang dianalisis meliputi rasio jarak antar rotor  $Z/D_1$  sebesar 0,25 dan 1 pada rasio putaran rotor 0,6 dengan Tip Speed Ratio (TSR) sebesar 6. Hasil simulasi menunjukkan bahwa konfigurasi CRWT menghasilkan koefisien daya yang lebih tinggi dibandingkan turbin rotor tunggal. Nilai koefisien daya maksimum yang diperoleh mencapai sekitar 0,52 atau meningkat sebesar 14,61% dibandingkan Single Rotor Wind Turbine (SRWT). Distribusi kecepatan aliran memperlihatkan bahwa jarak antar rotor memengaruhi interaksi wake dan distribusi energi pada rotor belakang. Konfigurasi dengan jarak  $Z/D_1 = 0,25$  menghasilkan distribusi aliran yang lebih seragam sehingga meningkatkan performa aerodinamika, sedangkan jarak  $Z/D_1 = 1$  menunjukkan interaksi wake yang lebih besar sehingga efisiensi rotor belakang sedikit menurun. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa optimasi jarak antar rotor merupakan parameter penting dalam meningkatkan performa CRWT pada kondisi operasi yang sama.

### ABSTRACT

Counter Rotating Wind Turbine (CRWT) is one of the developments of horizontal axis wind turbines that utilize two rotors rotating in opposite directions to increase the efficiency of wind energy conversion. This study aims to analyze the aerodynamic characteristics of CRWT using the Computational Fluid Dynamics (CFD) method by studying the effect of variations in the distance between the rotors on turbine performance. The blade model used consists of three blades using the S826 airfoil from the National Renewable Energy Laboratory (NREL). Simulations were carried out using the Moving Reference Frame (MRF) method with the Realizable  $k-\epsilon$  turbulence model. The variations analyzed include the distance between the rotors  $Z/D_1$  of 0.25 and 1 at a rotor rotation ratio of 0.6 with a Tip Speed Ratio (TSR) of 6. The simulation results show that the CRWT configuration produces a higher power coefficient than a single rotor turbine. The maximum power coefficient value obtained reaches around 0.52 or an increase of 14.61% compared to the Single Rotor Wind Turbine (SRWT). The flow velocity distribution shows that the distance between the rotors affects the wake interaction and energy distribution on the rear rotor. The configuration with a distance of  $Z/D_1 = 0.25$  produces a more uniform flow distribution, thus improving aerodynamic performance, while the distance of  $Z/D_1 = 1$  shows a greater wake interaction so that the rear rotor efficiency decreases slightly. The results of this study indicate that optimizing the inter-rotor distance is an important parameter in improving the performance of CRWT under the same operating conditions.

### 1. Pendahuluan

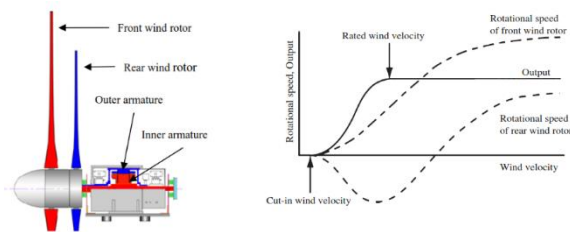
Model turbin angin tipe propeler tiga *blade* atau *horizontal axis wind turbine* (HAWT), oleh beberapa peneliti telah berhasil menyajikan penemuan yang menarik dalam

kurung waktu beberapa tahun terakhir, yang dikenal dengan nama turbin angin kontra rotasi atau *counter rotating wind turbine* (CRWT). Turbin angin ini terdiri dari dua buah rotor

\* Corresponding author. E-mail address: [akhmad.riszal@eng.unila.ac.id](mailto:akhmad.riszal@eng.unila.ac.id)



yang mempunyai diameternya berbeda, sama-sama menggerakkan satu alternator dengan arah putaran dari kedua rotor ini saling berlawanan, yang secara aerodinamik dapat meningkatkan koefisien daya turbin angin lebih tinggi dari pada kondisi rotor tunggal. Rotor berukuran besar ditempatkan di depan, sedangkan yang berukuran kecil di belakangnya atau sebaliknya, kecepatan rotasi dari kedua rotor ini cukup sinkron bekerja sama dan saling suport untuk menggerakkan alternator, Sutikno, P. (2012). Peningkatan kecepatan angin membuat kecepatan rotasi kedua rotor meningkat, dan kecepatan rotasi dari rotor belakang menjadi lebih cepat dibandingkan dengan rotor depan karena ukurannya yang kecil. Bagian belakang rotor akan mencapai kecepatan rotasi maksimum pada kondisi kecepatan angin rancangan, dengan lebih meningkatnya kecepatan angin, rotor belakang berkurang kecepatannya secara bertahap dan mulai berputar pada arah yang sama dari rotor depan sehingga bertepatan dengan torsi yang lebih besar diterima oleh alternator, Koichi, dkk. (2010), seperti pada gambar 1.



Gambar 1. Turbin angin dual rotor (*counter rotating*)

Turbin angin sumbu horisontal dengan rotor tunggal sudah banyak dikembangkan, namun dengan keterbatasan daya angin yang dapat dikonversi secara ideal hanya 59,26 % dari aliran udara bebas. Turbin angin dalam praktek hanya mampu mengkonversi kurang dari 40 % kondisi di lapangan dari energi angin bebas menjadi energi listrik. Berdasarkan kenyataan ini, maka beberapa peneliti telah melakukan beberapa eksperimen terhadap turbin angin kontra rotasi ini untuk meningkatkan daya terkonversi tersebut. Newman, (1983) melalui teori aktuator disknya untuk menganalisa daya yang dikonversi pada dua buah rotor yang dipasang secara seri melalui asumsi ideal rotor sebagai disk yang berputar menghasilkan daya output 64 %. Kari Appa, (2003), menerapkan prinsip ini, melalui eksperimennya pada turbin angin dual rotor *counter rotating* menunjukkan peningkatan daya output hingga 40 % pada kecepatan angin rendah dan hingga 50 % pada kecepatan angin lebih tinggi.

Kumar, dkk. (2013) melakukan variasi jarak rotor depan dan rotor belakang (rasio diameter 1:2) untuk optimasi daya terkonversi, diperoleh pada jarak 0,65d (d adalah diameter rotor depan) peningkatan daya maksimum 9,67 %, jarak 0,5d daya maksimum 0,98 % sedangkan pada jarak 0,75d daya maksimum hanya 7,8 %. Lee, dkk. (2013) mempelajari interaksi aliran di antara rotor belakang dan rotor depan turbin counter rotating dengan menggunakan metode metode grid vorteks tanpa gelombang aliran (*free wake vortex lattice*), diperoleh peningkatan koefisien daya 12% dari rotor tunggal. Rosenberg, dkk. (2014) mempelajari parametrik sapuan rotor menggunakan simulasi RANS menunjukkan bahwa ukuran turbin rotor sekunder harus 25% jari-jari rotor utama dan secara aksial dipisahkan dari rotor utama dengan jarak 0,2 kali radius rotor utama. Koefisien daya diprediksi terjadi kenaikan

7% oleh perhitungan RANS untuk desain optimal turbin kontra rotating.

Sebelum menentukan model viskos, maka yang harus ditentukan adalah bentuk aliran fluida yang akan disimulasikan termasuk dalam bentuk laminar atau turbulen dengan cara mengetahui bilangan Reynold lebih dahulu. Aliran turbulen dikenal dengan aliran dimana adanya medan kecepatan yang berfluktuasi. Fluktuasi kecepatan tersebut membawa berbagai besaran seperti momentum dan energi. Ada beberapa macam turbulensi yaitu Model Spalart-Allmaras, Model  $k-\epsilon$ , Model  $k-\omega$ , Reynolds stress model (RSM) dan Large eddy simulation (LES) model.

## 2. Metode Penelitian

### 2.1. Geometri Blade

Model blade yang digunakan dalam penelitian ini adalah turbin dengan jumlah blade tiga. Model blade ini menggunakan airfoil seri S826 dari NREL dan diadopsi dari model blade yang dikembangkan oleh NORCOWE (Norwegian Centre for Offshore Wind Energy) dan Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology NTNU, Trondheim, Norway. Geometri blade akan mengkomparasikan Turbin CRWT pada Rasio jarak 0.25 dan 1 pada putaran rotor 0.6 dengan TSR 6.

Tabel 1. Parameter blade

| $\rho$ | =     | 1.22     | kg/m <sup>3</sup> |
|--------|-------|----------|-------------------|
| A      | =     | 0.699897 | m <sup>2</sup>    |
| D      | =     | 0.944    | M                 |
| V, m/s | TSR   | Pa, Watt | Cp_Exp            |
| 6.892  | 10.00 | 30.72704 | 0.18850           |
| 7.66   | 9.00  | 62.67155 | 0.29761           |
| 8.62   | 8.00  | 110.1034 | 0.37913           |
| 9.85   | 7.00  | 181.9976 | 0.43500           |
| 11.5   | 6.00  | 305.1261 | 0.45000           |
| 13.8   | 5.00  | 509.8555 | 0.43675           |
| 17.25  | 4.00  | 861.1368 | 0.37739           |
| 23     | 3.00  | 963.8486 | 0.17356           |

### 2.2. Model Numerik

Model numerik dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Navier-stokes. Persamaan ini di asumsikan dalam bentuk rotasional sehingga dalam memperhitungkan bagian yang berrotasi adalah bagian blade dengan *moving referensi frames* (MRF). Dalam pemilihan model viskos untuk simulasi adalah penggunaan model standart K-epsilon ( $k-\epsilon$ ).

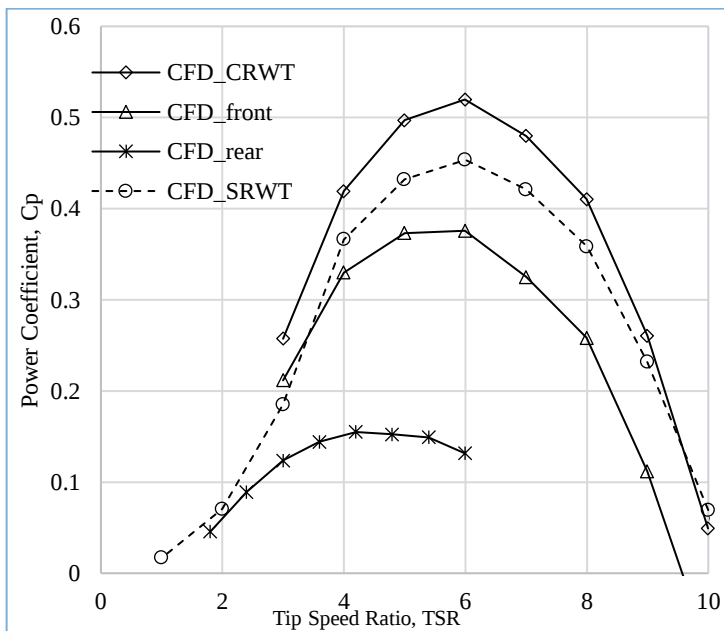
### 2.3. Mesh

Setelah pembuatan geometri, langkah berikutnya adalah melakukan meshing. Ukuran *meshing* sangat berpengaruh terhadap ketelitian analisis CFD. Hal ini dikarenakan semakin kecil ukuran mesh pada model, maka hasil yang didapat akan semakin teliti akan tetapi membutuhkan daya komputasi dan waktu *running* lebih lama di banding dengan

ukuran *meshing* lebih besar. Sehingga untuk ukuran *meshing* dapat dibatasi dengan cara memperkecil *meshing* untuk daerah yang paling besar terjadinya error. Dalam penelitian ini *meshing* dilakukan untuk ukuran kecil misalnya di sekitar *blade* (dekat dengan *blade*). Pada penelitian ini, *mesh* volume menggunakan bentuk *mesh* hexahedra hal ini dikarenakan dapat mengurangi risiko kesalahan dan jumlah elemen. Akan tetapi, untuk *meshing* bagian *tip* pada *blade* menggunakan *meshing* bentuk quad-tri: pave karena bentuk *tip* di *blade* rumit dan tajam untuk dilakukan *meshing* hexahedra.

### 3. Results and discussion

Dalam penelitian ini menggunakan Model *blade* yang digunakan adalah *blade* HAWT dengan jumlah *blade* tiga. Model *blade* ini menggunakan airfoil seri S826 yang dikeluarkan oleh NREL (National Renewable Energy Laboratory) dan di adopsi dari model *blade* yang dikembangkan oleh NORCOWE (Norwegian Centre for Offshore Wind Energy) dan Department of Energy and Process Engineering, Norwegian University of Science and Technology NTNU, Trondheim, Norway. Diameter rotor 0,944 m (Krogstad, dkk. 2013). Model numerik dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan persamaan kontinuitas dan persamaan Navier-stokes. Persamaan ini di asumsikan dalam bentuk rotasional. sehingga dalam memperhitungkan bagian yang berrotasi adalah bagian *blade* dengan *moving referensi frames* (MRF). Dalam pemilihan model viskos untuk simulasi adalah penggunaan model *realizable* K-epsilon ( $k-\epsilon$ ).

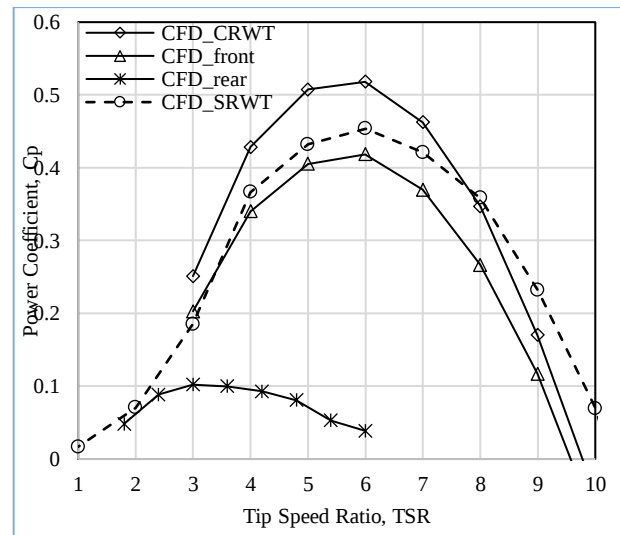


Gambar 2. Perbandingan variasi rasio jarak  $Z/D_1 = 0,25$  rasio putaran rotor 0,6 terhadap koefisien daya

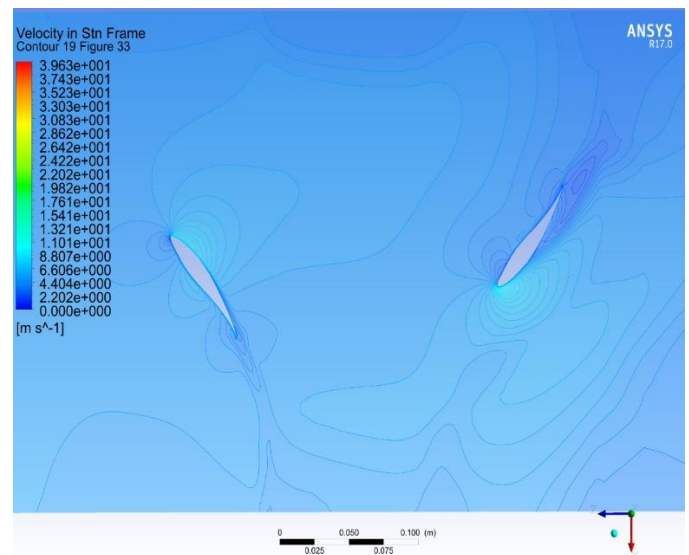
Pada gambar 2. dengan membandingkan variasi jarak  $Z/D_1 = 0,25$  terhadap TSR pada rasio putaran 0.6 memperlihatkan adanya peningkatan daya pada CRWT dibandingkan SRWT. Dapat di jelaskan bahwa pada rasio putaran 0.6 dengan jarak 0.25, pada jarak ini mempunyai  $C_p$  maks sebesar 0.5198 atau 14.61% akan tetapi range pada jarak ini lebih lebar terhadap TSR. Pada  $C_p$  total yang diperoleh dibandingkan rasio

putaran yang lain, pada rasio dan jarak inilah yang mempunyai hasil atau total  $C_p$  yang paling tinggi yaitu sebesar 14.64%.

Pada gambar 3. menunjukkan bahwa variasi jarak  $Z/D_1 = 1$  pada rasio putaran 0.6 menunjukkan bahwa, dimana pada rasio putaran 0.6 mempunyai  $C_{p, \max} = 0.51976$  pada TSR 6 yang berarti bahwa adanya peningkatan koefisien sebesar 14.61% dari SRWT. Disamping itu dapat dilihat adanya penurunan kecepatan pada rotor depan sehingga berpengaruh pada rotor belakang dimana dapat dilihat nilai TSR di bawah 6 menjadi lebih rendah. Hal ini dikarenakan adanya pengaruh variasi diameter yang sama.



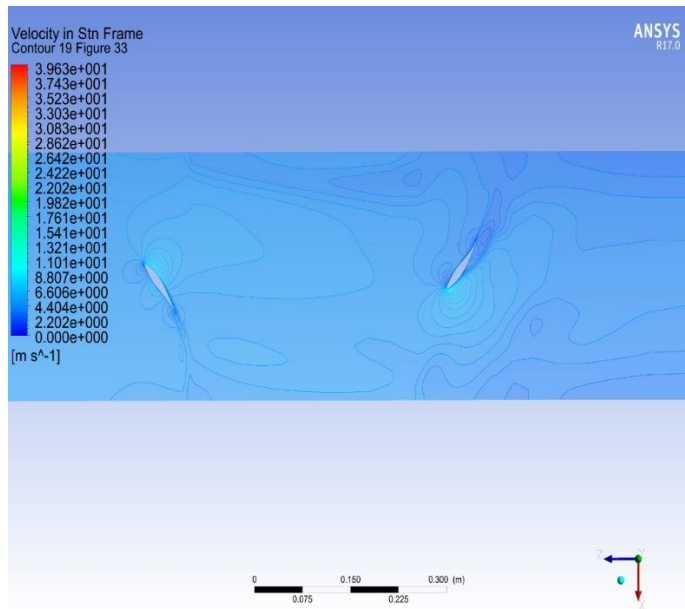
Gambar 3. Perbandingan variasi rasio jarak  $Z/D_1 = 1$  rasio putaran rotor 0,6 terhadap koefisien daya



Gambar 4. Jarak 0.25 dengan rasio Putaran 0.6 terhadap TSR=6

Gambar 4 memperlihatkan distribusi kecepatan aliran udara (velocity contour) pada konfigurasi Counter Rotating Wind Turbine (CRWT) dengan rasio jarak antar rotor  $Z/D_1 = 0,25$  dan rasio putaran rotor sebesar 0,6 pada TSR = 6. Kontur kecepatan menunjukkan bahwa rotor depan berhasil mengekstraksi sebagian energi angin, kemudian aliran yang keluar masih memiliki energi kinetik yang cukup untuk dimanfaatkan oleh rotor belakang. Jarak rotor yang relatif

dekat menyebabkan interaksi wake berlangsung secara optimal sehingga distribusi kecepatan di sekitar rotor belakang masih cukup tinggi. Kondisi ini menghasilkan perpindahan energi yang lebih efektif dan meningkatkan koefisien daya turbin. Selain itu, pola aliran terlihat lebih seragam dengan daerah turbulensi yang relatif kecil sehingga kehilangan energi akibat wake dapat diminimalkan. Hasil ini mendukung peningkatan performa aerodinamika CRWT yang diperoleh pada konfigurasi tersebut.



Gambar 5. Jarak 1 dengan rasio Putaran 0.6 terhadap TSR=6

Gambar 5 menunjukkan distribusi kecepatan aliran udara pada konfigurasi CRWT dengan rasio jarak antar rotor  $Z/D_1 = 1$  dan rasio putaran rotor 0,6 pada TSR = 6. Pada konfigurasi ini, jarak antar rotor yang lebih besar menyebabkan wake dari rotor depan berkembang lebih luas sebelum mencapai rotor belakang. Akibatnya terjadi penurunan kecepatan aliran yang diterima rotor belakang serta meningkatnya daerah turbulensi di antara kedua rotor. Kondisi tersebut mengurangi kemampuan rotor belakang dalam mengekstraksi energi angin secara optimal dibandingkan konfigurasi dengan jarak  $Z/D_1 = 0,25$ . Walaupun CRWT masih memberikan peningkatan performa dibandingkan rotor tunggal, distribusi aliran yang kurang seragam menyebabkan efisiensi aerodinamika sedikit menurun. Hasil ini menunjukkan bahwa pengaturan jarak antar rotor sangat memengaruhi karakteristik wake, distribusi kecepatan, serta performa keseluruhan sistem turbin angin kontra rotasi.

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil simulasi Computational Fluid Dynamics (CFD), konfigurasi Counter Rotating Wind Turbine (CRWT) mampu menghasilkan performa aerodinamika yang lebih baik dibandingkan Single Rotor Wind Turbine (SRWT). Variasi jarak antar rotor memberikan pengaruh yang signifikan terhadap distribusi aliran udara dan koefisien daya turbin. Konfigurasi dengan rasio jarak  $Z/D_1 = 0,25$  pada rasio putaran rotor 0,6 menghasilkan distribusi aliran yang lebih seragam serta interaksi wake yang lebih efektif sehingga diperoleh koefisien daya maksimum sekitar 0,52 atau

meningkat sebesar 14,61% dibandingkan SRWT. Sebaliknya, konfigurasi  $Z/D_1 = 1$  menyebabkan wake rotor depan berkembang lebih luas sehingga mengurangi energi yang diterima rotor belakang dan sedikit menurunkan efisiensi aerodinamika. Dengan demikian, optimasi jarak antar rotor menjadi faktor penting dalam meningkatkan kinerja CRWT dan dapat dijadikan acuan dalam pengembangan turbin angin berdaya tinggi berbasis sistem rotor ganda.

#### Referensi

- Ahlund Karin, (2004). Investigation of the NREL NASA/Ames Wind Turbine Aerodynamics Database, *Aeronautics, FFA SE-172 90* Stockholm.
- Ahmet Ozbay, Wei Tian, and Hui Hu, (2014). An Experimental Investigation on the Aeromechanics and Near Wake Characteristics of Dual-Rotor Wind Turbines (DRWTs), *AIAA SciTech, 13-17 January 2014, National Harbor, Maryland, 32nd ASME Wind Energy Symposium*.
- Appa, K., (2003). Counter rotating Wind Turbine System, Energy Innovations Small Grant (EISG) Program, California Energy Commission, July 2003 P500-03-055F
- Bai C. J. J., F. B. B. Hsiao, M. H. H. Li, G. Y. Y. Huang, and Y. J. J. Chen, 2013, "Design of 10 kW Horizontal-Axis Wind Turbine (HAWT) Blade and Aerodynamic Investigation Using Numerical Simulation," *Procedia Eng.*, vol. 67, pp. 279–287.
- Branlard E. S. P., Dixon K., and M. Gaunaa, 2012. "An improved tip-loss correction based on vortex code results," *EWEA 2012-European Wind Energy Conf. & Exhib.*
- Branlard, E., Dixon, K., Gaunaa, M., (2012). An improved tip-loss correction based on vortex code results, *EWEA 2012-European Wind Energy Conference & Exhibition*.
- Buhl, M.L., Jr. (2004). A New Empirical Relationship between Thrust Coefficient and Induction Factor for the Turbulent Windmill State. NREL/TP-500-36834. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.
- Byeongho Hwang, Seungmin Lee, and Soogab Lee, 2013, Optimization of a counter-rotating wind turbine using the blade element and momentum theory, *Journal Of Renewable And Sustainable Energy*, Vol 5, Issue 05, 01-10.
- Chantharasenawong C., Suwantragul B., Ruangwiset A., and C. P., "Axial Momentum Theory for Turbines with Co-axial Counter rotating Rotors," *Commemorative International Conference of the Occasion of the 4th Cycle Anniversary of KMUTT 11-13 December 2008, Bangkok, Thailand*.
- Chen X. and R. K. Agarwal, 2014, "Inclusion of a simple dynamic inflow model in the blade element momentum theory for wind turbine application," *Int. J. Energy Environ. Eng.*, vol. 5, no. 2, pp. 183–196.
- Churchfield M. J., Y. Li, and P. J. Moriarty, 2013, "A large-eddy simulation study of wake propagation and power production in an array of tidal-current turbines.," *Philos. Trans. A. Math. Phys. Eng. Sci.*, vol. 371, no. 1985, p. 20120421.
- Davis G., "Counter rotating Wind Turbine System," no. July, 2003.
- Du, Z., & Selig, M. S., 1998. A 3-D stall-delay model for horizontal axis wind turbine performance prediction
- Du, Z., & Selig, M. S., 2000. The effect of rotation on the boundary layer of a wind turbine blade. *Renewable Energy*, 20, 167-181, PII: S0 96 0 -1 48 1 (99) 00 1 09 -3

- Dumitrescu H. and V. Cardo, "Inboard Stall Delay Due to Rotation," 2009.
- Eggleston, D. M. & Stoddard, F. S., (1987). Wind Turbine Engineering Design, *Van Nostrand Reinhold, New York*.
- Fei-Bin Hsiao, Chi-Jeng Bai and Wen-Tong Chong, (2013). The Performance Test of Three Different Horizontal Axis Wind Turbine (HAWT) Blade Shapes Using Experimental and Numerical Methods, *Energies*, 6, 2784-2803
- Franco Concli, Carlo Gorla, Augusto Della Torre and Gianluca Montenegro, 2014. Churning power losses of ordinary gears: A new approach based on the internal fluid dynamics simulations, *Lubrication Science* 27(5):313-326
- Gates Robert, (2003). The Economics of Wind and the Impact of Technological Advances in Megawatt Class Turbines, *California Wind Energy Collaborative Forum Davis*.
- Habash R. W. Y., V. Groza, Y. Yang, C. Blouin, and P. Guillemette, 2011, "Kinerjance of a Counterrotating Small Wind Energy Converter," *International Scholarly Research Network ISRN Mechanical Engineering*, Article ID 828739, vol. 2011, pp. 1-10.
- Katz J. and Plotkin A., 1991, *Low Speed Aerodynamics*.
- Krogstad Per-Åge, Pål Egil Eriksen Blind test" calculations of the performance and wake development for a model wind turbine, *Renewable Energy* 50 (2013) 325-333.
- Versteeg, H.K & Malalasekera, W. An Introduction to Computational Fluids Dynamic. Longman Scientific & Technical. 1995.