

PENGEMBANGAN TURBIN ANGIN SKALA LABORATORIUM MENJADI SKALA RUMAH TANGGA

Widodo dan Atmiasri

Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas PGRI Adi Buana Surabaya

ABSTRAK

Dewasa ini energi alternatif sangat dibutuhkan. Indonesia pada umumnya dan di Surabaya pada khususnya (daerah pantai) bertiup angin darat dan angin laut secara kontinyu. Energi ini sangat sayang jika tidak dimanfaatkan. Pada riset ini akan dibuat alat untuk menangkap energi angin yang tersedia dengan bebas menjadi energi listrik yang tersimpan di dalam aki. Penelitian ini digunakan untuk meningkatkan kapasitas dari skala laboratorium menjadi skala rumah tangga (40 watt). Dari hasil ini diharapkan terjadi hasil positif yaitu penyimpanan energi listrik pengganti energi BBM. Ke depan penelitian bisa dilanjutkan untuk skala yang lebih besar (industri).

Key word: Turbin angin, energi listrik, skala laboratorium, skala rumah tangga

PENDAHULUAN

Alam diciptakan Tuhan dengan atmosfer yang membungkus bumi. Udara melingkupi berbagai aktivitas kehidupan. Saat terjadi perubahan suhu diberbagai tempat secara tidak merata maka terjadilah angin sehingga timbul kecepatan angin yang mempunyai laju dan arah. Kecepatan angin yang mengenai *airfoil* akan mempunyai rumusan yang dikemukakan oleh Navier – Stoke untuk kondisi steady incompressible berikut ini:

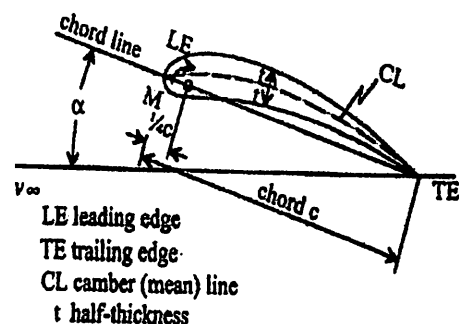
$$\nabla \cdot \vec{u} = 0$$

$$\nabla \cdot \sigma_f + \rho \vec{u} \cdot \nabla \vec{u} = 0$$

Kondisi kecepatan (1) pada fluida menimbulkan kerapatan energi (2) yang tersimpan disepanjang medium, yang memiliki rapat massa ρ dan stress tensor σ_f (Eelco 2010). Energi angin yang tersimpan di udara ini akhirnya menjadi isu utama yang akan diekstraksi. Ekstraksi energi angin yang paling praktis adalah ditangkap dan dirubah ke dalam bentuk energi listrik. Ekstraksi energi angin yang lazim dilakukan adalah ada dua yaitu ekstraksi secara

momentum udara dan yang kedua ekstraksi secara gaya angkat udara yang melintasi dua permukaan bentuk benda aerodinamis. Cara pertama sering dipakai pada kincir angin yang lama sedangkan cara yang kedua sering digunakan pada turbin angin masa ini. Gaya angkat udara yang bergerak dimulai dari datangnya angin yang mengenai bentuk aerodinamis benda (gambar 1). Gambar 1 arah angin yang mengenai benda aerodinamis (GJ Sharpe 1994)

Angin yang menerpa blade (bentuk aerodinamis benda) akan terbagi ke bagian atas dan bagian bawah sehingga terdapat dua nilai kecepatan angin bagian atas dan bagian bawah



Gambar 1 lift and drag

Kedua nilai kecepatan angin ini akan menyebabkan akan menimbulkan gaya angkat (lift) yang disesuaikan oleh berbagai bentuk benda. Selain gaya angkat juga ada gaya resistan yang melawan angin (drag) yang dipengaruhi oleh bentuk benda dan kekasaran permukaan benda. Nilai lift (L) dan drag (D) dapat dirumuskan berikut.

$$L = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_L$$

$$D = \frac{1}{2} \rho v^2 A C_D$$

Dimana :

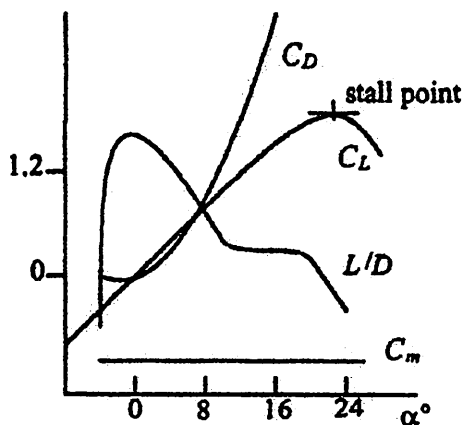
A = luas wing

B = span

Dan Pitch Moment dapat dihitung

$$M = \frac{1}{2} \rho v^2 A c C_M$$

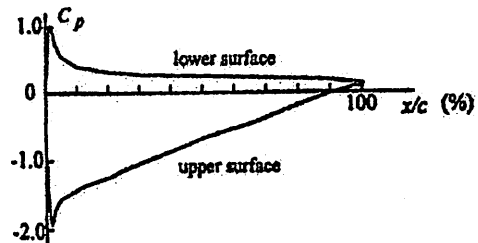
Gambar 2 menunjukkan hasil yang diperoleh untuk lift dan drag pada suatu blade.



Gambar 2 lift dan drag stall point (GJ Sharpe 1994)

Kalau kita perhatikan nilai koefisien drag C_d semakin besar terhadap besarnya sudut datang sedangkan nilai koefisien lift C_l terbesar pada sudut 24° setelah itu menurun (stall point). Rasio antara L dan D terbesar pada nilai 0° dan nilainya menurun dengan bertambahnya sudut datang. Drag digunakan untuk analisis kekuatan struktur turbin angin sedangkan kepentingan untuk ekstraksi energi adalah didapat dari lift, maka untuk mencari jarga lift untuk bentuk

airfoil didapat melalui variasi harga koefisien pressure C_p , nilai koefisien untuk setiap elemen panjang jenis airfoil NACA 4415 dapat dilihat pada gambar 3



Gambar 3 variasi harga koefisien pressure C_p (GJ Sharpe 1994)

Harga $C_p > 0$ ditunjukkan oleh permukaan lower yang ditandai oleh tekanan p bernilai positif terhadap tekanan diluar airfoil p_∞ sedangkan Harga $C_p < 0$ ditunjukkan oleh permukaan upper yang ditandai oleh tekanan p bernilai negatif terhadap tekanan diluar airfoil . Harga C_p bisa dirumuskan berikut:

$$C_p = \frac{p - p_\infty}{\frac{1}{2} \rho v_\infty^2}$$

Harga lift yang didapat digunakan untuk menggerakkan putaran sudu turbin angin sehingga didapatkan energi angin yang diekstraksikan ke dalam gerakan putaran turbin angin.

PERMASALAHAN

Dalam penelitian terdahulu, sudah dibahas tentang pembuatan turbin angin skala laboratorium yang mempunyai daya keluaran 10 watt. Daya keluaran ini memang terukur secara laboratorium, namun untuk pemakaian sehari-hari membutuhkan daya yang lebih besar, yaitu kira-kira 40 watt. Sehingga dalam permasalahan ini diangkat apa saja yang harus dilakuka agar bisa meningkatkan daya 10 watt menjadi 40 watt.

1. Teori Turbin Angin

Turbin angin adalah alat yang bisa menangkap energi angin dirubah ke dalam putaran sudu dan diteruskan ke generator listrik untuk dirubah menjadi energi listrik. Besar kecepatan angin yang ditangkap akan berubah menjadi torsi putaran turbin (B. Boukhezzar, L. Lupu, H. Siguerdidjane, M. Hand) sebesar:

$$T_a = \frac{1}{2} \rho \pi R^3 C_p(\lambda, \beta) v^3$$

Torsi yang dihasilkan oleh kecepatan angin akan berubah menjadi kecepatan putar yang diteruskan ke generator sehingga berubah menjadi energi listrik. Saat menjadi energi listrik akan menimbulkan torsi balik yang melawan torsi angin T_a yaitu torsi listrik T_g yang dirumuskan berikut:

$$T_g = N B i A$$

Torsi generator tergantung jumlah lilitan N , medan magnet B , arus beban i dan luas yang ditembus oleh flux magnetik, sehingga untuk pengaturan torsi generator kita bisa melakukan dengan mengubah-ubah harga arus beban i . Perputaran turbin tergantung dari besar torsi angin dikurangi torsi generator. Sistem turbin angin bila digambarkan mirip sebuah inersia yang berputar akibat dari torsi tertentu ($T_a - T_g$) yang dapat dirumuskan (Boukhezzar):

$$T_a - T_g = K_t \omega t + J_t \dot{\omega} t$$

Sehingga dengan membuat harga perbedaan torsi konstan maka untuk harga konstanta gesek liat K_t dan nilai inersia J_t tertentu maka turbin akan berputar konstan.

2. Energi ekstraksi maksimum

Sampai saat ini biaya energi angin dan insentif serta opsi keuangan untuk mendukung fasilitas energi terbarukan menjadi sumber energi konvensional yang sangat menjanjikan dan sangat dipercaya

menjadi sumber yang sangat efektif di masa depan. Dalam jurnal *Electric Power Systems Research* 78 (2008) 1109–1118 dengan judul “A fuzzy controller for maximum energy extraction from variable speed wind power generation systems” oleh V. Calderaro, V. Galdi, A. Piccolo, P. Siano, kita dapat mempelajari ekstraksi maksimum energi angin, namun sayangnya kecepatan generator harus berubah. Dalam usulan saya turbin angin tetap mengekstraksi maksimum energi angin namun putaran turbin tidak berubah (fixed speed generator) dalam rangka mempertahankan tegangan listrik konstan, karena instrumen listrik membutuhkan catu daya yang konstan. Tanpa merubah kemampuan turbin angin untuk ekstraksi maksimum energi angin. Konsekuensi dari rancangan ini adalah system harus bekerja tepat pada tip speed ratio untuk koefisien power maksimum atau daerah terdekat dari TSR maksimum. Dalam pencarian efisiensi maksimum didapat harga terbaik dalam paper yang berjudul “An adaptive neuro-fuzzy inference system approach for prediction of tip speed ratio in wind turbines” oleh R. Ata, Y. Kocyigit, dalam *Journal of Expert Systems with Applications* 37 (2010) 5454–5460. Mereka mengerjakan bahwa system terdiri atas blade sebagai bagian mekanik dan engine listrik yang saling dipasang. Energi kinematik angin adalah fungsi dari kecepatan angin, massa jenis udara dan luas dari ruangan udara dimana angin ditangkap dan ketinggian dimana rotor diletakkan. Jadi energi angin proporsional pada kecepatan angin yang menjadi power ketiga blade, ini adalah faktor terpenting dari efek energi angin (Yurdusev, Ata, & Çetin, 2006). Disain blade turbin angin adalah salah satu yang paling komplikasi dan aspek-aspek terpenting dari teknologi

turbine angin. Desain blade tergantung dari beberapa faktor meliputi profil yang digunakan, jumlah blade, power factor dan tip speed ratio. Sebagai kunci dari desain turbine angin adalah tip speed ratio (TSR). Desain dari tip speed ratio akan berakibat langsung pada power yang dihasilkan, dan mempunyai konsekuensi pada efisiensi investasi. Harga tip speed ratio (Endusa Billy Muhando, Tomonobu Senju, Hiroshi Kinjo, Toshihisa Funabashi) dapat ditulis sebagai berikut:

$$\lambda = \frac{\omega_{tR}}{v\omega}$$

Tip speed ratio λ adalah harga perbandingan antara kecepatan linier putaran turbine dibandingkan dengan kecepatan angin yang menentukan harga ekstraksi maksimum energi angin.

Penentuan harga TSR

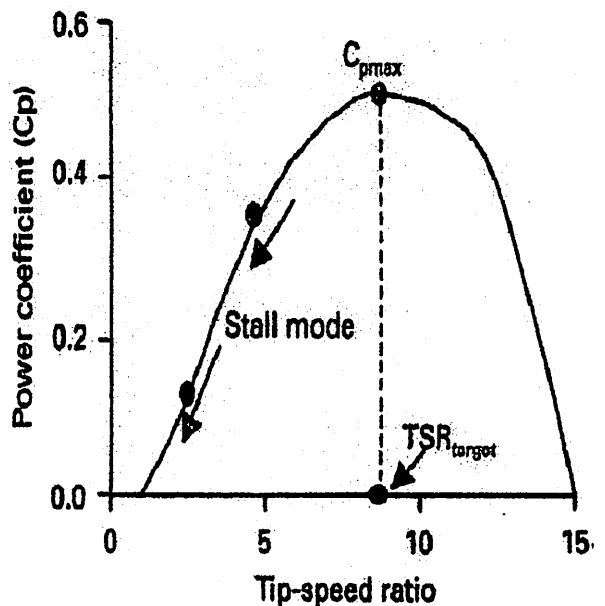
Sehubungan dengan literatur menyarankan bahwa TSR terletak antara 7 dan 8 (Gasch, 1996; Hau, 1996) dan dalam praktek biasanya dipasang nilai 7 untuk turbine angin 3-blade. Tetapi sebenarnya, TSR adalah tergantung dari tipe profil yang digunakan dan jumlah blade dan dapat jatuh pada daerah diluar yang disarankan. Dibutuhkan penerangan yang gamblang untuk menentukan secara akurat nilai obvious TSR. Walaupun semestinya, sebuah model prediksi efektif akurat TSR dapat dikembangkan saat mendesain turbine angin. Ada parameter penting lain yang dikenal sebagai power factor dalam desain turbine angin. Ata dan Kocyigit melalui metode prediksi ANFIS untuk jenis airfoil NACA4415 mendapatkan nilai terbaik TSR sebesar 8,54 dan 8.5 dengan cara konvensional agar diperoleh power factor maksimum. Muljadi mendapatkan

hubungan antara nilai TSR dengan dengan power coefficient seperti terlihat pada gambar 4. Sedangkan Baku M Nagai mendapatkan nilai koefisien torsi untuk berbagai nilai TSR dan sudut pitch pada gambar 5. Hubungan antara power coefficient dan torque coefficient dapat diformulasikan berikut:

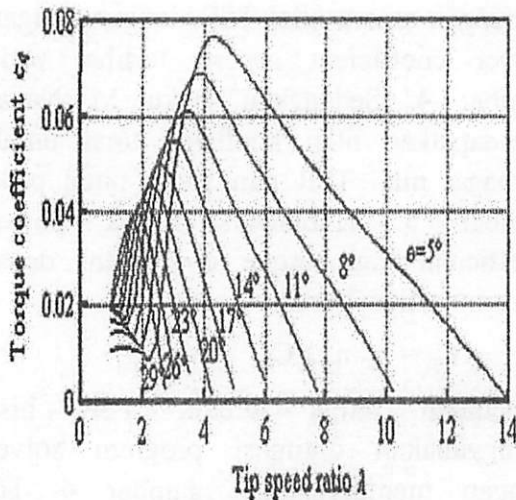
$$C_p = \eta_m \eta_g \lambda C_q$$

Penentuan harga terbaik TSR bisa menggunakan optimasi program solver dengan memperhatikan gambar 4 dan gambar 5. grafik $y = 0.13x - 0.0083x^2$ gambar 8 dan $y = 0.008x + 0.112$ dari gambar 9 dengan solver solution dari Microsoft excel didapat harga tip speed ratio adalah 8.313. Gambar 5 nilai koefisien torsi terhadap TSR untuk berbagai harga sudut pitch (Baku)

Sehingga ketiga harga tersebut dapat dibuat tabel seperti tabel 1 dan tabel 2 cara menemukan TSR melalui solver programming



Gambar 4 harga power coefficient untuk berbagai nilai TSR (Muljadi)



Gambar 5 tip speed ratio torsi

Tabel 1 nilai TSR

64	120	
0.53333	1	8.31325
3		3
0.00833		
3		
0.13333	y1=	0.17850
3		6
	y2=	0.50710
		8
	ymax	0.68561
	=	4

Tabel 2 solver programming

no	type	TSR value
1	Anfis	8.54
2	Conventional	8.5
3	Solver	8.313

batas nilai TSR yang bisa kita ambil dari kedua tabel adalah 8,3 sampai dengan 8,54 sehingga menurut persamaan (10) kecepatan angin tertentu yang bisa kita tangkap yaitu :

$$\frac{\omega_{tR}}{8,54} < v_w < \frac{\omega_{tR}}{8,3}$$

Sehingga dengan pengaturan kecepatan putar turbin konstan pada range kecepatan angin tertentu pada persamaan 12 kita bisa meraih ekstraksi energi angin maksimum.

1. Generator

Jenis generator ada dua, yakni generator AC dan generator DC.

a) Generator AC

Bagian utama generator AC terdiri atas magnet permanen (tetap), kumparan (solenoida), cincin geser, dan sikat. Pada generator, perubahan garis gaya magnet diperoleh dengan cara memutar kumparan di dalam medan magnet permanen. Karena dihubungkan dengan cincin geser, perputaran kumparan menimbulkan GGL induksi AC. Oleh karena itu, arus induksi yang ditimbulkan berupa arus AC. Adanya arus AC ini ditunjukkan oleh menyalnya lampu pijar yang disusun seri dengan kedua sikat. Sebagaimana percobaan Faraday, GGL induksi yang ditimbulkan oleh generator AC dapat diperbesar dengan cara (1) memperbanyak lilitan kumparan, (2) menggunakan magnet permanen yang lebih kuat. (3) mempercepat perputaran kumparan, dan menyisipkan inti besi lunak ke dalam kumparan.

Contoh generator AC yang akan sering kita jumpai dalam kehidupan sehari-hari adalah dinamo sepeda. Bagian utama dinamo sepeda adalah sebuah magnet tetap dan kumparan yang disisipi besi lunak. Jika magnet tetap diputar, perputaran tersebut menimbulkan GGL induksi pada kumparan. Jika sebuah lampu pijar (lampu sepeda) dipasang pada kabel yang menghubungkan kedua ujung kumparan, lampu tersebut akan dilalui arus induksi AC. Akibatnya, lampu tersebut menyala. Nyala lampu akan makin terang

jika perputaran magnet tetap makin cepat (laju sepeda makin kencang).

b) Generator DC

Prinsip kerja generator (dinamo) DC sama dengan generator AC. Namun, pada generator DC arah arus induksinya tidak berubah. Hal ini disebabkan cincin yang digunakan pada generator DC berupa cincin belah (komutator).

Pada penelitian ini akan menggunakan generator dari dinamo sepeda yang mempunyai kapasitas 12V / 6 Watt. Sehingga laju arus maksimum sebesar 500mA.

2. Battery / Accumulator

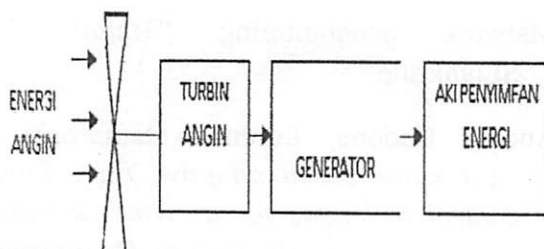
Aki dibedakan menjadi 2 jenis, yakni aki basah dan aki kering. Sekarang ini banyak dipakai jenis aki kering dikarenakan perawatan lebih mudah dibanding jenis aki basah. Kapasitas aki ditentukan dari nilai amper per jam atau Ah. Semakin besar nilai Ah maka semakin besar kapasitasnya.

Pada penelitian ini akan menggunakan aki jenis aki kering dengan tegangan output sebesar 6 volt dan mempunyai kapasitas 4,5 Ah.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian ini menggunakan metode eksperimental. Dengan beberapa tahapan yakni :

Perancangan,



Gambar 6. Sistem kerja konversi energi angin menjadi energi listrik

Energi angin yang ditunjukkan pada gambar 6 akan menggerakkan sudu dari turbin sehingga terjadi putaran pada poros yang terhubung langsung ke generator listrik. Pada generator listrik, energi gerak diubah menjadi energi listrik bolak-balik selanjutnya disearahkan oleh rangkaian listrik menjadi arus searah yang selanjutnya dipakai untuk pengisian aki atau penyimpanan energi listrik dalam aki.

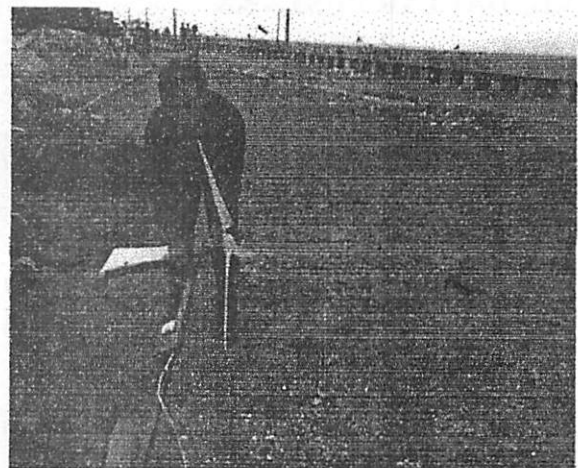
1. Pembuatan alat memperhatikan spesifikasi kebutuhan 40 watt
2. Pengujian alat,
3. Pengujian alat dilakukan di laboratorium dan di lapangan berangin

Analisis

Analisis kesimpulan mengarah ke tujuan penyelesaian masalah yaitu membuat turbin angin skala rumah tangga

Pembuatan dan pengujian alat

Pembuatan dilaksanakan di laboratorium teknik elektro.



Gambar 7 rancangan alat yang sedang diuji

Hasil Analisis

Analisis dilaksanakan dengan melakukan terlebih dahulu uji coba alat yang dilaksanakan di pantai kenjeran sebagai tempat ladang angin yang berhembus.

Tabel 3 hasil uji alat 15 Oktober 2012

uji alat					
no	tempat	waktu	voltage	daya	resistansi
1	kenjeran	15.00	6.9	39.675	1.2
2		15.01	7.05	41.41875	1.2
3		15.02	7.01	40.95008	1.2
4		15.03	6.71	37.52008	1.2
5		15.04	5.9	29.00833	1.2
6		15.05	6.87	39.33075	1.2
7		15.06	7.02	41.067	1.2
8		15.07	7	40.83333	1.2
9		15.08	6.91	39.79008	1.2
10		15.09	6.92	39.90533	1.2

KESIMPULAN

- a. Nilai daya 40 watt terjadi pada tegangan 7 volt
- b. Tegangan tersebut bisa untuk charge aki 6 volt

VII. DAFTAR PUSTAKA

Elco Hoogedoorn, Gustaaf B. Jacob, Astaw Beyene, "Aero-elastic behavior of a flexible blade for wind turbine application: A 2D computational study" Energy 35 (2010) 778-785

Rony, Sagita, "Perancangan dan pembuatan turbin angin skala laboratorium", laporan penelitian Adibwana, Surabaya 2011

GJ Sharpe, "Solve problem in Fluid Mechanics", John Wiley & Son, New York, 1994

B. Boukhezzer, L. Lupu, H. Siguerdidjane, M. Hand, "Multivariable control strategy for variable speed, variable pitch wind turbines", Renewable Energy 32 (2007) 1273-1287

Matlab programming "Matlab 7" SIlankrulle

Endusa Billy Muhando, Tomonobu Senjyu, Hiroshi Kinjo, Toshihisa Funabashi, "Augmented LQG controller for enhancement of online dynamic performance for WTG system", Renewable Energy 33 (2008) 1942-1952

Baku M Nagai Kazumasa Ameli Jitendro Nath Roy "Performance of a 3 kw wind turbine generator with variable pitch control system", Applied Energy 86 (2009) 1774 - 1782

Hau, E. (1996). *Windkraftanlagen*. Berlin: Springer-Verlag.

Gasch, R. (1996). *Windkraftanlagen*. Stuttgart: B.G. Teubner Verlag.

V. Calderaro, V. Galdi, A. Piccolo, P. Siano "A fuzzy controller for maximum energy extraction from variable speed wind power generation systems" Electric Power Systems Research 78 (2008) 1109-1118

R. Ata, Y. Kooyigit, An adaptive neuro-fuzzy inference system approach for prediction of tip speed ratio in wind turbines, Expert Systems with Applications 37 (2010) 5454-5460.

Yurdusev, M. A., Ata, R., & Cetin, N. S. (2006). *Assessment of optimum tip speed ratio in wind turbines using artificial neural networks*. Energy, 31, 1817-1825.

- M. Mohamed Thameem Ansari, S. Velusami, "DMLHFLC (*Dual mode linguistic hedge fuzzy logic controller*) for an isolated wind diesel hybrid power system with BES (*battery energy storage*) unit", *Energy* 35 (2010) 3827-3837
- Ludovic Leclercq, Benoit Robyns, Jean-Michel Grave, "Control based on fuzzy logic of a flywheel energy storage system associated with wind and diesel generators", *Mathematics and Computers in Simulation* 63 (2003) 271–280
- Ashraf Mohamed Hemeida, "A fuzzy logic controlled superconducting magnetic energy storage, SMES frequency stabilizer", *Electric Power Systems Research* 80 (2010) 651–656
- Whei-Min Lin, Chih-Ming Hong, Fu-Sheng Cheng, "Design of intelligent controllers for wind generation system with sensorless maximum wind energy control", *Energy Conversion and Management* article (2010) in press
- F. Jurado, M. Valverde, "Genetic fuzzy control applied to the inverter of solid oxide fuel cell for power quality improvement", *Electric Power Systems Research* 76 (2005) 93–105
- M.Md. Thameem Ansari, S. Velusami, "Dual mode linguistic hedge fuzzy logic controller for an isolated wind-diesel hybrid power system with superconducting magnetic energy storage unit", *Energy Conversion and Management* 51 (2010) 169–181
- S. Aloui, O. Pagès, A. El Hajjaji, A. Chaari, Y. Koubaa, "Improved fuzzy sliding mode control for a class of MIMO nonlinear uncertain and perturbed systems", *Applied Soft Computing* 11 (2011) 820–826
- Tolga Kaya, Cengiz Kahraman, "Multicriteria renewable energy planning using an integrated fuzzy VIKOR & AHP methodology: The case of Istanbul", *Energy* 35 (2010) 2517-2527
- Antonios Tsourdos, Evan J. Hughes, Brian A. White, "Fuzzy multi-objective design for a lateral missile autopilot", *Control Engineering Practice* 14 (2006) 547–561
- A. Tapia, G. Tapia, J.X. Ostolaza, "Reactive power control of wind farms for voltage control applications", *Renewable Energy* 29 (2004) 377–392
- S. Velusami, S. Singaravelu, "Steady state modeling and fuzzy logic based analysis of wind driven single phase induction generators", *Renewable Energy* 32 (2007) 2386–2406
- Mohd Hasan Ali, Bin Wu, Junji Tamura, Roger A. Dougal, "Minimization of shaft oscillations by fuzzy controlled SMES considering time delay", *Electric Power Systems Research* 80 (2010) 770–777
- Rashad M. Kamel, Aymen Chaouachi, Ken Nagasaka, "Wind power smoothing using fuzzy logic pitch controller and energy capacitor system for improvement Micro-Grid performance in islanding mode", *Energy* 35 (2010) 2119–2129
- V. Calderaro, V. Galdi, A. Piccolo, P. Siano, "A fuzzy controller for maximum energy extraction from variable speed wind power generation systems", *Electric Power Systems Research* 78 (2008) 1109–1118

- Lotfi Krichen, Bruno Francois, Abderrazak Ouali, *"A fuzzy logic supervisor for active and reactive power control of a fixed speed wind energy conversion system"*, Electric Power Systems Research 78 (2008) 418–424
- Amal Z. Mohamed, Mona N. Eskander, Fadia A. Ghali, *"Fuzzy logic control based maximum power tracking of a wind energy system"*, Renewable Energy 23 (2001) 235–245
- Issam Salhi, Saïd Doubabi, Najib Essounbouli, Abdelaziz Hamzaoui, *"Application of multi-model control with fuzzy switching to a micro hydro-electrical power plant"*, Renewable Energy 35 (2010) 2071-2079