Perancangan Sistem MPPT Turbin Angin Berbasis Fuzzy

Jauharotul Maknunah[1], Eli Novita Sari[2], dan Taufik Bagus Afandi[3]
[1,2,3]Jurusan Teknik Mesin, Universitas Billfath
E-mail: jauharotulmaknunah@billfath.ac.id

ABSTRACT

The output power of the wind turbine can be maximized and stabilized by MPPT which is realized by applying Fuzzy logic control. The wind turbine sub-system consists of two components, namely the aerodynamics of the wind turbine and the wind turbine generator. The generator output in the form of electricity is then used as input for the MPPT sub-system in the form of a buck-boost converter electric circuit using a fuzzy controller by referring to the power slope value against voltage and generating a PWM signal as a mosfet input in the buck-boost converter circuit. MPPT control at the output of the wind turbine generator uses the slope value (slope) of power change and current and previous output voltage change (error) and the value of the difference between the current error and the previous error (delta error). The fuzzy system will respond based on the two inputs to produce a PWM value as input to the MOSFET in the buck-boost converter circuit. The wind turbine MPPT controller uses Fuzzy with a membership function in the form of error and delta error of 5 each and has been proven to increase the power up to 22% when the wind speed is 6 m / s.

Kata kunci: *MPPT, Fuzzy, buck-boost, error, delta error, PWM.*

ABSTRAK

Daya keluaran pada turbin angin dapat dimaksimalkan dan distabilkan dengan MPPT yang diwujudkan dengan menerapkan kontrol logika *Fuzzy*. Sub-sistem dari turbin angin terdiri dari dua komponen yaitu aerodinamik dari turbin angin dan generator turbin angin. Keluaran generator yang berupa listrik selanjutnya dijadikan input untuk sub-sistem MPPT berupa rangkaian listrik *buck-boost converter* menggunakan kontroler *fuzzy* dengan mengacu pada nilai *slope* daya terhadap tegangan dan menghasilkan sinyal PWM sebagai masukan mosfet dalam rangkaian *buck-boost converter*. Kontrol MPPT pada keluaran generator turbin angin menggunakan nilai *slope* (kemiringan) perubahan daya dan perubahan tegangan keluaran saat ini dan sebelumnya (*error*) dan nilai perbedaan *error* saat ini dengan error sebelumnya (*delta error*). Sistem *fuzzy* akan merespon berdasarkan kedua masukan tersebut untuk menghasilkan nilai PWM sebagai masukan pada MOSFET dalam rangkaian konverter *buck-boost*. Kontroler MPPT turbin angin menggunakan *Fuzzy* dengan *membership function* berupa *error* dan *delta error* masing-masing berjumlah 5 dan telah terbukti mampu menaikkan daya hingga 22% yaitu pada saat kecepatan angin 6 m/s.

Kata kunci: MPPT, *Fuzzy*, *buck-boost*, *error*, delta *error*, PWM.

PENDAHULUAN

Daya keluaran pada turbin angin dapat dimaksimalkan dan distabilkan dengan memberikan aksi kontrol pada sudut *pitch* dan juga dengan menambahkan kontrol MPPT (*Maximum Power-Point Tracking*). Kontrol sudut *pitch* pada turbin angin dapat diimplementasikan menggunakan kontrol Logika *Fuzzy* [1]. Selain itu, penelitian sebelumnya [2] dilakukan menggunakan simulasi turbin angin dengan kedua sistem kontrol tersebut. Hasil simulasi menunjukkan bahwa keluaran generator menghasilkan respon yang cenderung stabil sehingga efisiensi juga membaik. MPPT pada penelitian tersebut menggunakan metode ANN (*Artificial Neural Network*). Akan tetapi, MPPT dengan metode ANN cukup sulit untuk diimplementasikan, sehingga MPPT turbin angin seringkali menggunakan metode *Peturb and Observation* (P&O) [3]. Penggunaan MPPT melalui metode P&O ini telah mampu meningkatkan daya keluaran generator mencapai 49%.

MPPT dapat diwujudkan pula dengan menerapkan kontrol logika *Fuzzy*. [4] Strategi kontrol dengan logika *fuzzy* tersebut diberikan pada *Rotor Side Converter* (RSC) dengan berorientasi pada *flux stator* dan referensi kecepatan optimum yang diestimasi dari kecepatan angin. Kelemahan dari

penelitian kontrol logika *Fuzzy* pada RSC adalah implementasi cenderung sulit diwujudkan, sehingga penelitian lain [5] mengenai simulasi sistem turbin angin dengan menerapkan kontrol MPPT dengan logika *fuzzy* juga, namun berbeda mekanisme dengan penelitian sebelumnya yakni dengan memanipulasi sinyal PWM (*Pulse Width Modulation*) sebagai masukan dari *buck-boost converter*[6]. Salah satu keuntungan MPPT pada turbin angin adalah kecepatan angin dapat diabaikan sehingga penggunaan sensor kecepatan angin untuk sistem kontrol dapat dihilangkan [4] dan digantikan dengan sensor yang cenderung lebih mudah untuk digunakan, salah satunya adalah sensor arus dan tegangan. Sensor tersebut digunakan sebagai masukan algoritma MPPT pada sisi *buck-boost converter*.

TINJAUAN PUSTAKA

Turbin Angin

Turbin angin yang digunakan untuk membangkitkan tenaga listrik memanfaatkan energi kinetik angin. Energi kinetik angin tersebut menyentuh penampang bilah turbin angin yang kemudian bilah kincir angin akan bergerak pada porosnya. Daya angin berasal dari sumber melewati turbin angin dengan luas sapuan (A) yang bergantung pada jari-jari turbin angin. [7] Berikut ini, persamaan daya turbin angin (P_A) ditunjukkan oleh persamaan berikut:

$$P_A = ½ \rho v^3 C_p \qquad \ldots.(1)$$

Dimana, ρ merupakan masa jenis udara, v merupakan kecepatan angin dan C_p merupakan nilai *Coefficient of Performance*. Secara teori, nilai C_p pada turbin angin akan bernilai maksimum 0.59 [7]. Nilai tersebut selanjutnya akan dijadikan standar validasi pemodelan mekanik turbin angin.

Keluaran Turbin Angin yang merupakan gerakan mekanik berupa torsi rotor dapat dirubah menjadi energi listrik arus searah (DC) menggunakan generator DC. Cara kerja dari generator DC berupa arah arus induksi yang tidak mengalami perubahan. Mekanisme ini terjadi karena pada generator DC menggunakan cincin belah (komutator) yang menyebabkan terjadinya komutasi dan mengubah arus yang dihasilkan generator menjadi arus searah. [8]

Konverter *buck-boost* dapat menghasilkan tegangan keluaran yang lebih rendah atau lebih tinggi daripada sumbernya. Untuk konverter ini, parameter yang dibutuhkan agar dapat memperoleh pemodelan rangkaiannya terdiri dari beberapa komponen yaitu saklar daya, dioda frekuensi tinggi, induktor, kapasitor, dan beban resistor. Saklar yang dipakai harus mempunyai respon yang cepat saat keadaan *on*/*off*, salah satunya saklar semikonduktor seperti MOSFET [9].

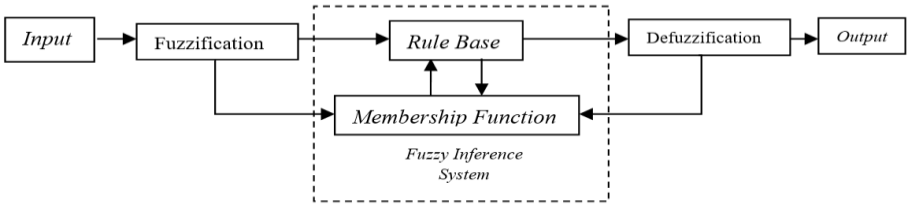
MPPT Turbin Angin

Algoritma yang sering digunakan dalam metode MPPT adalah P&O (*Perturb and Observation*) yang hanya membutuhkan dua parameter saja yaitu, tegangan masukan (v_{in}) dan arus masukan (i_{in}). Dari kedua parameter tersebut didapatkan nilai daya masukan (P_{in}). Pada algoritma ini, persamaan yang dicari adalah nilai *slope* dari selisih daya masukan dan selisih tegangan masukan dengan sebelumnya ($\Delta P/\Delta v$). Saat nilai *slope* tersebut positif, maka nilai PWM harus diturunkan. Begitu juga sebaliknya saat nilai *slope* tersebut negatif, maka nilai PWM harus dinaikkan. Pada sistem turbin angin, tegangan dan arus yang digunakan sebagai masukan rangkaian MPPT adalah nilai keluaran tegangan dan arus dari generator dc.

Algoritma *Fuzzy*

Kontroler *fuzzy* terdiri dari tiga bagian yaitu *fuzzifier*, *rule processing unit* dan *deffuzifier*. Fuzzifikasi merupakan tahap awal yang bekerja dengan cara mengubah nilai tegas (*crisp*) dari suatu variabel menjadi nilai *fuzzy*. Nilai yang telah berbentuk *fuzzy* ini selanjutnya digunakan sebagai masukan dari mekanisme inferensi. Pada tahap ini, akan dilakukan pengambilan keputusan dari masukan yang ada berdasarkan basis aturan logika yang dirancang. Terakhir, nilai keluaran dari

mekanisme inferensi yang berbentuk *fuzzy* selanjutnya diubah kembali kedalam bentuk tegas melalui proses defuzzifikasi.

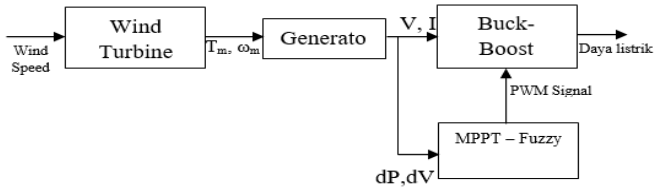


Gambar 1. Struktur umum *Fuzzy*

Sumber : Abadi d.k.k., 2015 [10]

METODE

Pemodelan turbin angin menggunakan jenis turbin angin HAWT (*Horizontal Axis Wind Turbine*). Pemodelan sistem turbin angin tersebut terdiri dari dua komponen yaitu aerodinamik dari turbin angin dan generator turbin angin. Keluaran generator yang berupa listrik selanjutnya dijadikan input untuk sub-sistem MPPT berupa ramgkaian listrik *buck-boost converter* menggunakan kontroler *fuzzy* dengan mengacu pada nilai *slope* daya terhadap tegangan dan menghasilkan sinyal PWM sebagai masukan mosfet dalam rangkaian *buck-boost converter*. Skema sistem kontrol MPPT pada turbin angin mengikuti blok diagram yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. Diagram blok MPPT menggunakan *fuzzy* pada turbin angin.

Pemodelan aerodinamik pada turbin angin mennggunakan persamaan daya turbin angin yang dirubah menjadi Torsi mekanik (T_m). Nilai daya bergantung terhadap nilai C_p dari turbin angin dimana nilai tersebut merupakan fungsi persamaan dari sudut *pitch* (β) dan *tip speed ratio* (λ). Nilai kecepatan angin yang diterapkan pada simulasi tersebut berkisar antara 1 hingga 6 m/s. Nilai tersebut berdasarkan data cuaca mengenai kecepatan angin di Indonesia yang mampu menghasilkan kecepatan angin berkisar pada nilai tersebut.

$$C_p = C_1\left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3\,\beta - C_4\right)e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6\lambda \quad C_p = C_1\left(\frac{C_2}{\lambda_i} - C_3\,\beta - C_4\right)e^{-\frac{C_5}{\lambda_i}} + C_6\lambda \qquad \text{....(2)}$$

$$\frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda+0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3+1} \quad \frac{1}{\lambda_i} = \frac{1}{\lambda+0.08\beta} - \frac{0.035}{\beta^3+1} \qquad \text{....(3)}$$

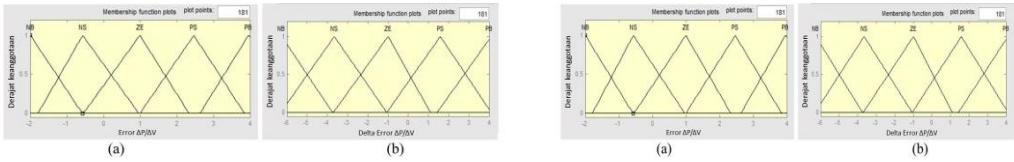
$$\lambda = \frac{\omega_r R}{v} \quad \lambda = \frac{\omega_r R}{v} \qquad \text{....(4)}$$

$$T_m = \frac{P_A}{\omega_r} \qquad \text{...(5)}$$

Keluaran dari pemodelan aerodinamik turbin angin berupa torsi mekanik. Generator dc membutuhkan nilai berupa kecepatan sudut putar generator. Selanjutnya, nilai torsi mekanik turbin

angin diubah menjadi nilai kecepatan sudut putar generator yang selanjutnya diteruskan ke rangkaian *Buck-Boost Converter*.

Kontrol MPPT pada keluaran generator turbin angin menggunakan nilai *slope* (kemiringan) perubahan daya dan perubahan tegangan keluaran saat ini dan sebelumnya. Nilai tersebut selanjutnya disebut error sebagai masukan pertama pada kontroler *fuzzy*. Sedangkan masukan kedua berupa nilai perbedaan *error* saat ini dengan *error* sebelumnya (*delta error*) dengan desain *membership function* seperti yang ditunjukkan pada gambar 3. Sistem *fuzzy* akan merespon berdasarkan kedua masukan tersebut untuk menghasilkan keluaran pada *fuzzy* berupa nilai *duty cycle* yang selanjutnya akan diubah menjadi nilai PWM sebagai masukan pada MOSFET dalam rangkaian konverter *buck-boost*.



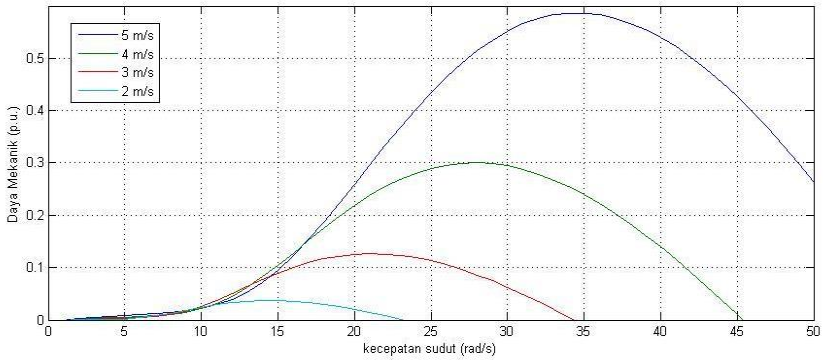
(a) (b)

Gambar 3. *Plot membership function* (a) *error* ΔP/ΔV dan (b) *delta error* ΔP/ΔV pada MPPT turbin angin

Kedua masukan *fuzzy* dibagi menjadi lima ketegori. Berdasarkan pasangan kategori kedua masukan tersebut, maka sistem inferensi *fuzzy* akan memberi keputusan nilai keluaran berupa nilai *duty cycle* yang berkisar antara 0 hingga 1.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pemodelan Turbin Angin

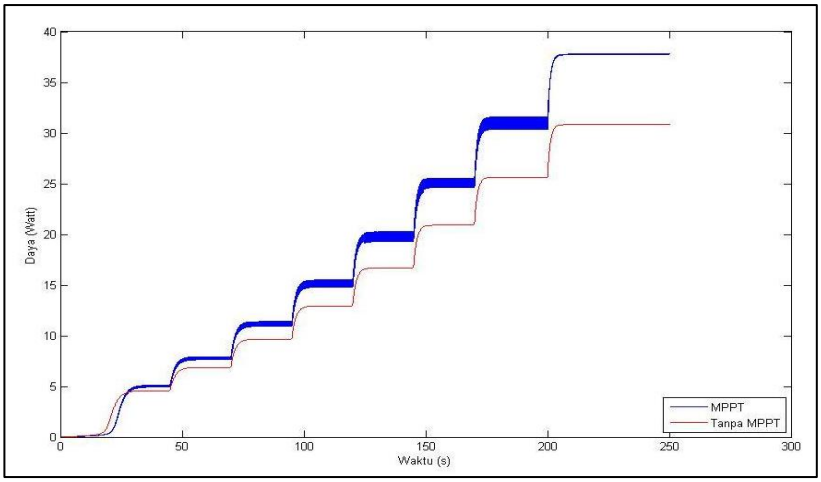


Gambar 4. Keluaran sistem turbin angin pada kecepatan angin 2 m/s hingga 5 m/s.

Pemodelan turbin angin secara keseluruhan disimulasikan menggunakan Matlab dengan masukan angin bervariasi mulai dari 2 m/s hingga 5 m/s untuk diketahui karakteristik respon keluaran dari sistem mekanik turbin angin tersebut, sehingga dapat divalidasi untuk dilanjukan dengan mekanisme MPPT. Hasil respon keluaran pada pemodelan turbin angin diperlihatkan oleh Gambar 4.

Daya mekanik pada sistem turbin angin tersebut akan meningkat seiring meningkatnnya kecepatan sudut pada rotor turbin angin akan tetapi akan menurun pada nilai tertentu sesuai dengan nilai *Coefficient of performance* (C_p) dari karakteristik sistem turbin angin. Nilai C_p maksimal adalah 0.59. Respon dari kurva karakteristik tersebut telah sesuai dengan teori kurva karakteristik dari hubungan daya mekanik keluaran turbin angin dan kecepatan sudut. Sehingga pada pemodelan sub sistem mekanik turbin angin ini, pemodelan turbin angin yang telah dilakukan dapat diterapkan untuk selanjutnya disimulasikan dengan mekanisme MPPT menggunakan Fuzzy.

MPPT pada Turbin Angin menggunakan *Fuzzy*



Gambar 5. Perbandingan respon daya saat MPPT turbin angin menggunakan dan tanpa menggunakan MPPT *Fuzzy*.

Tabel 1. Perbandingan respon kenaikan daya saat sistem turbin angin menggunakan dan tanpa menggunakan MPPT *Fuzzy*.

Kecepatan angin (m/s)	Daya keluaran (Watt)		Kenaikan Daya (%)
	Tanpa MPPT	Dengan MPPT	
2	2,75	2,90	6%
2,5	4,58	5,04	10%
3	6,88	7,79	13%
3,5	9,66	11,16	16%
4	12,93	15,15	17%
4,5	16,68	19,77	19%
5	20,91	25,08	20%
5,5	25,63	30,99	21%
6	30,83	37,76	22%

Setalah dilakukan validasi pada, selanjutnya dilakukan perancangan dan simulasi MPPT pada keluaran generator turbin angin. Hasil simulasi perancangan MPPT menggunakan kontrol *Fuzzy* ditunjukkan oleh Gambar 5 dengan kecepatan angin yang diberikan berkisar antara 2.5 m/s hingga 6 m/s. kecepatan angin tersebut diberikan dengan pertimbangan bahwa persebaran kecepatan angin di Indonesia, maksimal hanya mencapai 6 m/s.

Perbedaan respon waktu kenaikan daya saat tanpa MPPT dan pada saat menggunakan MPPT juga berbeda-beda pada setiap kecepatan angin. Semakin tinggi kecepatan angin yang diberikan, maka respon kenaikan daya hasil MPPT semakin cepat dan relatif sama dengan respon

waktu kenaikan saat sebelum MPPT. Dari tabel tersebut, menunjukkan bahwa mulai angin 4 m/s, kenaikan daya saat sebelum dan setelah MPPT menunjukkan kecepatan respon yang sama. Sehingga daya hasil MPPT turbin angin akan lebih optimum dan cepat saat diimplementasikan pada kecepatan angin yang tinggi (diatas 4 m/s).

Hasil MPPT menggunakan *Fuzzy* pada sistem turbin angin mampu menghasilkan keluaran daya yang lebih optimal. Akan tetapi, kenaikan daya tersebut dapat dianalisa lebih lanjut dengan beberapa metode analisa seperti prosentase kenaikan daya, linearitas kenaikan daya terhadap kenaikan masukan kecepatan angin serta respon waktu kenaikan daya antara sebelum dan sesudah diberikan mekanisme MPPT. Analisa kenaikan daya hasil MPPT dan tanpa MPPT ditunjukkan oleh Tabel 1.

Hasil perbandingan data antara sistem turbin angin saat dan tanpa menggunakan MPPT menunjukkan bahwa kenaikan daya bervariasi mulai dari 6% dan meningkat terus pada kecepatan 6 m/s sebesar 22%. Kenaikan daya tersebut seiring dengan kenaikan kecepatan angin yang masuk pada sistem turbin angin. Kecepatan angin di Indonesia sendiri maksimum 6 m/s, sehingga kenaikan daya pada sistem turbin angin ini akan menghasilkan kenaikan hingga 22%.

KESIMPULAN

Kontroler pada MPPT turbin angin yang tepat menggunakan *Fuzzy* dengan 5 *membership function*. Kontroler pada turbin angin dapat menggunakan *fuzzy* dengan *membership function* berupa *error* dan *delta error* masing-masing berjumlah 5. Pada MPPT turbin angin menggunakan *Fuzzy* telah terbukti mampu menaikkan daya hingga 22% yaitu pada saat kecepatan angin 6 m/s jika dibandingkan dengan keluaran turbin angin tanpa menggunakan kontrol MPPT-*Fuzzy*.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Musyafa, D. Aftika, and B. L. Widjiantoro, "Interval Type-2 Fuzzy Pitch Angle Controllers (IT2FPACs) for Small Scale Horizontal Axis Wind Turbines," *Int. J. Eng. Technol. IJET-IJENS*, vol. 16, no. 01, pp. 26–31, 2016.

[2] A. Dahbi, N. Nait-said, and M. Nait-said, "A novel combined MPPT-pitch angle control for wide range variable speed wind turbine based on neural network," *Int. J. Hydrogen Energy*, vol. 30, pp. 1–16, 2016.

[3] E. Tridianto and T. R. Widcaksono, "Maximum Power Point Tracking dengan Algoritma Perturb and Observation untuk Turbin Angin," *SETRUM*, vol. 5, no. 2, 2016.

[4] M. Bezza, B. E. Moussaoui, and A. Fakkar, "Sensorless MPPT fuzzy controller for DFIG wind turbine," vol. 18, pp. 339–348, 2012.

[5] R. I. Putri, M. Rifa, M. Pujiantara, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, "FUZZY MPPT CONTROLLER FOR SMALL SCALE STAND ALONE PMSG WIND TURBINE," *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 12, no. 1, pp. 188–193, 2017.

[6] A. Musyafa, I. R. Gustawan, M. K. Asy, A. Rahmadiansyah, and R. D. Noriyati, "Development of Power Electronics , Buck Boost Converter , Based PI-PID Control On Horizontal Wind Turbine Generation , For Low Rate Wind speed Analysis and Reporting," *Aust. J. Basic Appl. Sci.*, vol. 11, no. August, pp. 79–87, 2017.

[7] A. V. da Rosa, *Fundamentals Of Renewable Energy Process (second edition)*. 2009.

[8] P. Portela, J. Sepúlveda, and J. S. Esteves, "Alternating Current and Direct Current Generator," *Int. J. Hands-on Sci.*, vol. 1, no. 1, pp. 44–46, 2008.

[9] M. H. Tushar, "Comparative Study on Dc-Dc Converters," 2001.

[10] I. Abadi, A. Musyafa', and A. Soeprijanto, "Design and Implementation of Active Two Axes Solar Tracking System Using Particle Swarm Optimization Based Fuzzy Logic Controller," *Int. Rev. Model. Simulations*, vol. 8, no. 6, p. 640, 2015.