

**PENINGKATAN EFISIENSI PEMBANGKIT LISTRIK TENAGA BAYU
DENGAN METODA *MAXIMUM POWER POINT TRACKING* MEMAKAI
DC-DC CONVERTER BERBASIS FUZZY LOGIC**

***EFFICIENCY IMPROVEMENT OF WIND POWER PLANT BY MAXIMUM
POWER POINT TRACKING METHOD USING FUZZY LOGIC BASED
DC-DC CONVERTER***

Machmud Effendy
Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Malang
Jl. Raya Tlogomas 246 Malang
machmud@umm.ac.id

Abstrak

Ada beberapa cara untuk meningkatkan kapasitas daya listrik Pembangkit Listrik Tenaga Bayu (PLTB) misalnya dengan menambah jumlah pembangkit, namun cara ini cukup mahal, karena harus membangun pembangkit baru. Cara lain yaitu dengan meningkatkan efisiensi daya keluaran listrik pembangkit listrik tenaga bayu yang sudah ada. Salah satu cara adalah menggunakan teknologi Maximum Power Point Tracking (MPPT). Dimana teknologi ini mampu menaikkan keluaran daya listrik generator pada saat terjadi perubahan kecepatan angin. Dalam Penelitian ini, teknologi MPPT bertugas mengatur tegangan keluaran generator melalui rangkaian DC- DC Converter jenis Cuk Converter, dimana teknik pensaklarannya menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan mengatur besarnya *duty cycle*. Perubahan nilai *duty cycle* tergantung dari besar kecilnya kecepatan angin, sehingga untuk mengatur nilai *duty cycle* dan mempercepat respon pensaklaran control PWM digunakan sebuah algoritma modern yaitu Fuzzy Logic Controller (FLC). Hasil penelitian menunjukkan bahwa, dengan teknologi MPPT berbasis FLC mampu meningkatkan prosentasi efisiensi daya keluaran PLTB dari 45.5% menjadi 87%.

Kata Kunci: Efisiensi, PLTB, angin, MPPT, DC-DC converter, Fuzzy Logic Controller

Abstract

There are several ways to increase electric power capacity of Wind Power Plant, for example by increasing number of wind power plants, however, this option is quite expensive because it has to build new wind power plants. Another possibility is by increasing the efficiency of electric power output of existing wind power plant. One method to increase the efficiency is to use Maximum Power Point Tracking (MPPT) technology. The technology able to increase electrical power output of the generator at wind speed changes occurred. In this research, MPPT technology is designed to set generator output voltage by using Cuk Converter typed DC-DC Converter, with PWM (Pulse Width Modulation) switching technique to set duty cycle. Changes of duty cycle values are depended on wind speed; therefore, a fuzzy logic controller (FLC), a modern algorithm, is used to set duty cycle value and to accelerate switching system response. Research result shows that the FLC based MPPT is able to increase efficiency of wind power plant power output from 45.5% into 87%.

Keywords: Efficiency, wind power plant, wind, MPPT, DC-DC converter, Fuzzy Logic Controller

PENDAHULUAN

Latar Belakang

PLTB (Pembangkit Listrik Tenaga Bayu) merupakan salah satu sumber energi terbarukan (*renewable energy*) yang banyak tersedia di Indonesia. Berdasarkan data dari Departemen ESDM tahun 2006, Indonesia mempunyai potensi energi angin sebesar 9.29 GW dan sudah terpasang sebesar 0.0005 GW. Saat ini pemerintah telah mengeluarkan roadmap pemanfaatan energi terbarukan yang menargetkan kapasitas terpasang energy terbarukan hingga tahun 2025 mencapai 17%. Jumlah ini merupakan gambaran potensi pasar yang cukup besar dalam pengembangan energi terbarukan di masa datang (ESDM, 2006).

Efisiensi energi yang rendah menjadi salah satu masalah pada PLTB. Hal ini dapat terlihat pada PLTB yang dipasang tim Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Malang di pantai selatan yang memiliki potensi daya listrik maksimal sebesar 287 Watt, namun daya listrik yang dibangkitkan rata-rata 125 Watt dengan kata lain nilai efisiensinya hanya sebesar 44%. Apabila nilai efisiensi daya keluaran dapat ditingkatkan, maka daya listrik terbangkit juga akan meningkat.

Peningkatan efisiensi energi PLTB dapat dilakukan dengan melakukan pengendalian sistem mekanikal dan elektrikal yaitu untuk menaikkan keluaran daya listrik generator pada saat terjadi perubahan arah angin dan kecepatan angin (E. Rijanto, 2010). Pengendalian secara mekanik misalnya dengan mengatur sudut yaw (E. Rijanto, 2011),

mengatur sudut sudu (Muldi, 2011), dan mengoptimalkan *tip speed ratio* (Marton Ors, 2009). Pengendalian secara elektrik misalnya pengendalian torsi elektromagnetik generator dengan cara mengendalikan kecepatan rotasi turbin (E. Rijanto, 2010). Metoda meningkatkan efisiensi daya keluaran PLTB terhadap perubahan kecepatan angin seperti di atas biasa disebut metoda Maximum Power Point Tracking (MPPT).

MPPT banyak digunakan pada pembangkit listrik tenaga surya (PLTS) dengan berbagai metoda kendalinya. Metoda kendali tegangan konstan telah dipakai untuk MPPT pada PLTS lampu lalu lintas (R. Muhida, 2013) dan metoda kendali logika Fuzzy untuk MPPT sel surya melalui DC-DC Boost converter pada kendaraan listrik (S. Aji, 2013).

Makalah ini mengusulkan metoda MPPT untuk PLTB dengan mengatur tegangan keluaran generator melalui rangkaian DC to DC Converter jenis Cuk Converter. Teknik pensaklarannya menggunakan PWM (*Pulse Width Modulation*) dengan mengatur besarnya *duty cycle*. Untuk mempercepat respon pensaklaran, maka digunakan sebuah algoritma modern yaitu *Fuzzy Logic Controller (FLC)*.

Tujuan

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan sebuah metoda baru dalam meningkatkan efisiensi PLTB yaitu dengan metoda MPPT berbasis Fuzzy Logic Controller dan melaporkan hasil pengujiannya.

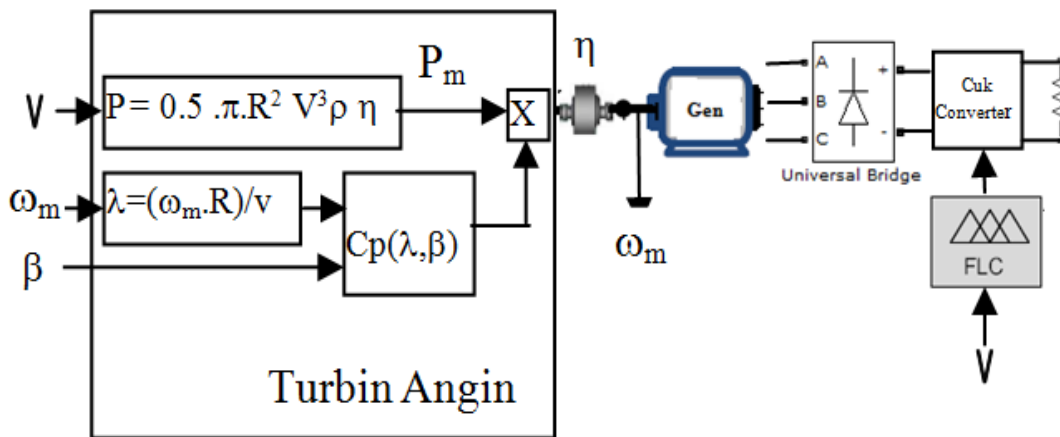
Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Metoda *Maximum Power Point Tracking* Memakai Dc-Dc Converter Berbasis Fuzzy Logic

METODOLOGI

Untuk menyelesaikan penelitian ini, ada beberapa tahapan yang dilakukan antara lain: membuat model MPPT pada PLTB, perhitungan potensi daya listrik yang dihasilkan oleh PLTB, perhitungan komponen Cuk

Converter, pembuatan algoritma FLC, dan pengujian MPPT.

Model MPPT berbasis Fuzzy Logic Controller pada PLTB ditunjukkan pada gambar 1.



Gambar 1. Model MPPT Pada PLTB

Turbin Angin

Potensi daya listrik yang dapat dibangkitkan oleh turbin angin adalah (Kazmi,2011):

$$P = \eta_{total} \frac{1}{2} \rho A V^3 \quad (W) \quad (1)$$

Jika Kecepatan angin rata-rata(V) =4.7m/d, jari-jari sudu (R) = 2.5m, kerapatan udara (ρ) =1.25kg/m³, dan efisiensi total (efisiensi rotor,efisiensi transmisi, efisiensi generator=0.45 (Pikatan,1999). Maka potensi daya listrik yang dihasilkan PLTB sebesar:

$$P = 0.45 \times 0.5 \times 1.2 \times 19.63 \times 4.7^3 = 287 \text{ W}$$

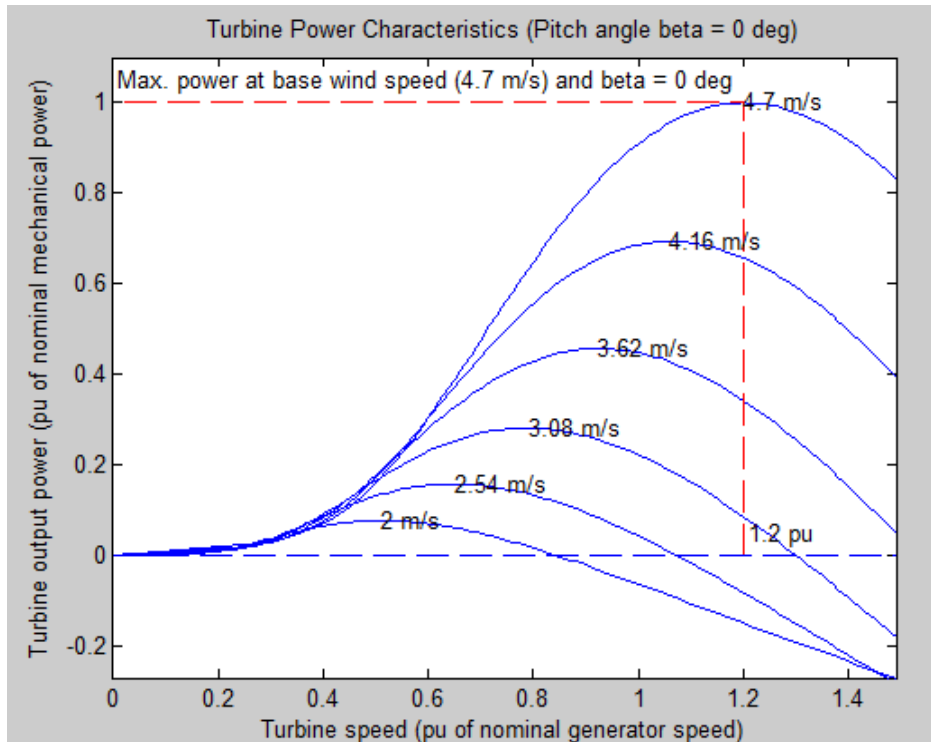
Sedang daya mekanis (Pm) turbin adalah (Burton,2001):

$$P_m = 0.5 \pi \rho C_p (\lambda, \beta) R^2 v^3 \quad (2)$$

Dimana λ adalah tip speed ratio, β adalah sudut blade turbin (*pitch angle*), ω_m adalah kecepatan putar rotor generator.

$$\lambda = \frac{\omega_m R}{v} \quad (3)$$

Gambar 2 adalah grafik daya mekanis turbin angin terhadap kecepatan generator.



Gambar 2. Karakteristik Daya Mekanis Turbin Angin

Cuk Converter

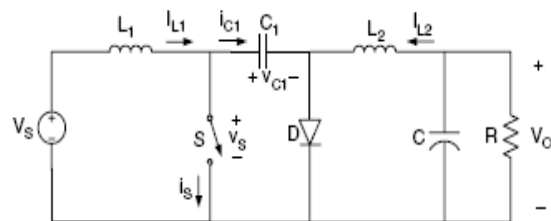
Untuk menaikkan atau menurunkan tegangan keluaran generator AC yang sudah disearahkan, maka diperlukan sebuah DC to DC Converter. Jenis converter yang digunakan adalah Cuk Converter, karena mempunyai arus masukan dan keluarannya yang continue,, sehingga arus rata-ratanya lebih besar dibandingkan dengan jenis converter yang lainnya. Untuk menentukan nilai komponen induktor dan kapasitor, maka perlu ditentukan terlebih dahulu nilai duty cycle. Jika diinginkan tegangan masukan sama dengan tegangan keluaran, maka nilai duty cycle (D) = 0.5. Frekuensi pensaklaran (f) yang digunakan sebesar 25kHz. Tegangan keluaran generator sebesar 53V (Vs). Arus keluaran maksimal (Iomax) sebesar 5.3A. (M.Rashid, 2007)

$$L_1 = L_2 = \frac{Vs \cdot D}{\Delta i \cdot f} = \frac{53 \times 0.5}{0.2 \times 25000} = 5.3 \text{ mH}$$

$$I_s = \frac{I_{omax} \cdot D}{1 - D} = \frac{5.3 \times 0.5}{1 - 0.5} = 5.3 \text{ A}$$

$$C_1 = \frac{I_s \cdot (1 - D)}{\Delta V \cdot f} = \frac{5.3 \times (1 - 0.5)}{0.02 \times 25000} = 5.3 \text{ mF}$$

$$C_2 = \frac{Vs \cdot D}{8 \cdot L_2 \cdot \Delta V \cdot f^2} = \frac{53 \times 0.5}{8 \times 0.0053 \times 0.02 \times (25000)^2} = 50 \text{ uF}$$



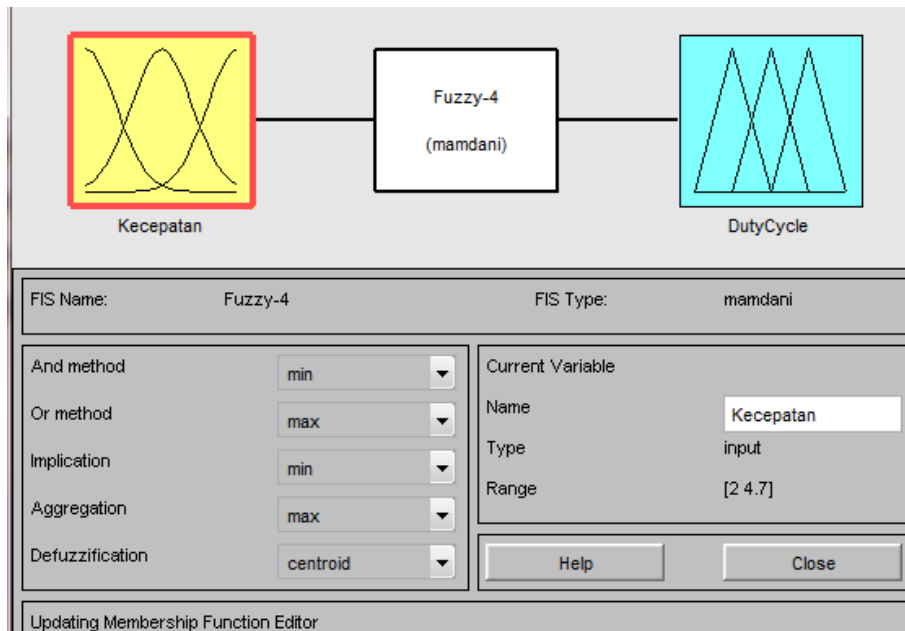
Gambar 3. Rangkaian Cuk Converter

Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Metoda *Maximum Power Point Tracking* Memakai Dc-Dc Converter Berbasis Fuzzy Logic

Algoritma FLC

Dalam perancangan FLC menggunakan 1 input yaitu perubahan kecepatan angin dan 1

output yaitu perubahan duty cycle, seperti yang ditunjukkan dalam gambar dibawah ini.

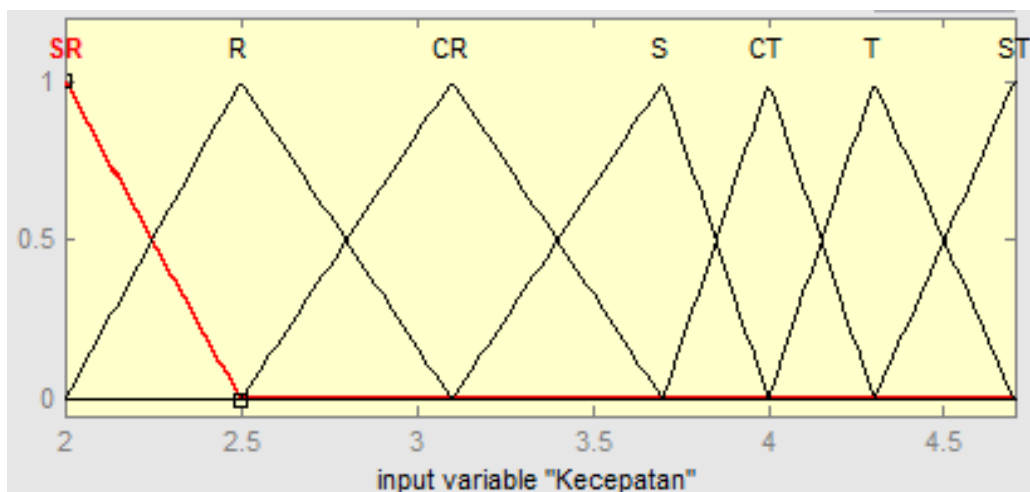


Gambar 4. Diagram Fuzzy

Metode yang digunakan dalam FLC ini adalah metode Mamdani, dimana terdiri dari 3 bagian yaitu Fuzzification, Fuzzy Rule, dan Defuzzification.

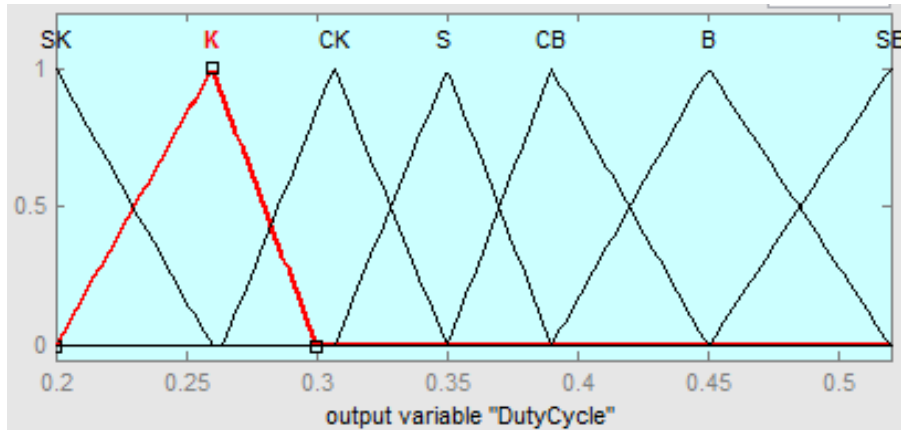
1. Fuzzification

Gambar 4 mengilustrasikan fuzzy set untuk masukan parameter kecepatan angin yang terdiri dari 7 triangular membership



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Kec. Angin

Sedangkan gambar 6 menunjukkan fuzzy set untuk keluaran *duty cycle* yang terdiri dari 7 triangular membership.



Gambar 6. Fungsi Keanggotaan Duty Cycle

2. Aturan Fuzzy (*Fuzzy Rule*)

Aturan Fuzzy yang digunakan untuk menentukan besarnya *duty cycle* dari rangkaian DC-DC Converter memiliki 7 aturan (sesuai dengan jumlah fungsi keanggotaannya), antara lain:

Rule1: Jika Kecepatan = Sangat Rendah (SR),
 maka Duty Cycle = Sangat Kecil (SK)

Rule2: Jika Kecepatan = Rendah (R), maka
 Duty Cycle = Kecil (K)

Rule3: Jika Kecepatan = Cukup Rendah (CR),
 maka Duty Cycle = Cukup Kecil (CK)

Rule4: Jika Kecepatan = Sedang (S), maka
 Duty Cycle = Sedang (S)

Rule5: Jika Kecepatan = Cukup Tinggi (CT),
 maka Duty Cycle = Cukup Besar (CB)

Rule6: Jika Kecepatan = Tinggi (T), maka Duty
 Cycle = Besar (B)

Rule7: Jika Kecepatan = Sangat Tinggi (ST),
 maka Duty Cycle = Sangat Besar (SB)

Dari aturan Fuzzy yang telah dibuat, maka dapat dibuat tabel aturan Fuzzy untuk kecepatan angin dan duty cycle, seperti yang ditunjukkan pada tabel dibawah ini.

Tabel 1. Speed Fuzzy Set

Kec (m/det)	SR	R	CR	S	CT	T	ST
2.0	Y*	Y	N	N	N	N	N
2.5	Y	Y*	Y	N	N	N	N
3.1	N	Y	Y*	Y	N	N	N
3.7	N	N	Y	Y*	Y	N	N
4.0	N	N	N	Y	Y*	Y	N
4.3	N	N	N	N	Y	Y*	N
4.7	N	N	N	N	N	Y	Y*

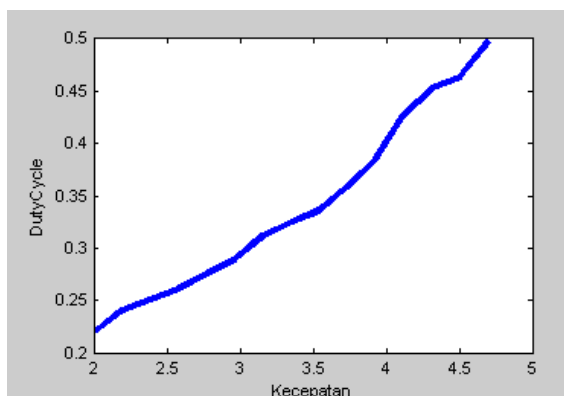
Tabel 2. Duty Cycle (DC) Fuzzy Set

DC (%)	SK	K	CK	S	CB	B	SB
20	Y*	Y	N	N	N	N	N
26	Y	Y*	Y	N	N	N	N
30	N	Y	Y*	Y	N	N	N
35	N	N	Y	Y*	Y	N	N
39	N	N	N	Y	Y*	Y	N
45	N	N	N	N	Y	Y*	N
52	N	N	N	N	N	N	Y*

Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Metoda *Maximum Power Point Tracking* Memakai Dc-Dc Converter Berbasis Fuzzy Logic

Dari tabel diatas terlihat bahwa jangkauan kecepatan angin yang dianalisa mulai 2.0 meter/detik sampai dengan 4.7 meter/detik, sedangkan besarnya *duty cycle* antara 0.2 sampai dengan 0.52.

Dari hasil algoritma FLC dihasilkan *rule surface FLC* seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 7. Rule Surface FLC

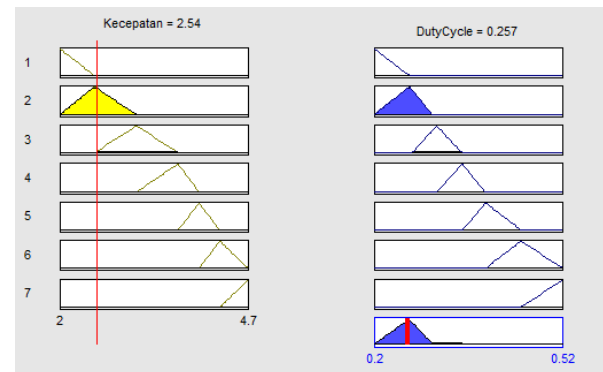
Dari gambar diatas menunjukkan bahwa semakin tinggi kecepatan angin, maka semakin besar nilai *duty cycle*.

3. Defuzzification

Karena keluaran algoritma Fuzzy adalah nilai *duty cycle* (DC), maka proses defuzzification akan menghasilkan nilai *duty cycle* yang diinginkan. Metode yang digunakan dalam proses defuzzification adalah metode *Centre of Area* (CoA) atau dikenal juga dengan nama *Centre of Gravity*, dimana metode ini mempunyai dua variabel, yaitu variabel kontinu dan variabel diskrit. Karena nilai *duty cycle* adalah kontinu, maka variabel yang digunakan adalah variabel kontinu dengan rumus dasar sebagai berikut :

$$DC = \frac{\int z.\mu_c(z).dz}{\int \mu_c(z)} \quad (4)$$

Dimana pembilang dari persamaan 4 adalah momen dan penyebut adalah luas area. Salah satu hasil defuzzification ditunjukkan pada gambar dibawah ini.



Gambar 8. Hasil Defuzzification

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa, saat kecepatan angin sebesar 2.54 meter/detik, maka nilai *duty cycle* sebesar 0.257.

HASIL DAN PEMBAHASAN

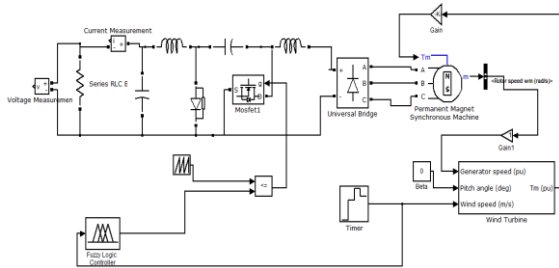
Teknologi MPPT yang didesain seperti pada gambar 1 telah disimulasikan menggunakan program Matlab dengan beberapa parameter sebagai berikut:

Tabel 3. Parameter PLTB

Variabel	Paramater
Turbin Angin	Jari-jari blade = 2.5m V = 2m/s – 4.7m/s $\beta = 0^0$
Generator	Daya = 1 HP, 126 V J = 0.0008 Nms ²
Beban	R = 10 Ohm

Simulasi pertama adalah mengukur keluaran daya pembangkit listrik tenaga angin tanpa menggunakan teknologi MPPT pada saat ada perubahan kecepatan angin, dan dilanjutkan dengan simulasi yang kedua yaitu mengukur keluaran daya pembangkit listrik tenaga angin menggunakan teknologi MPPT saat terjadi perubahan kecepatan angin.

Berikut ini adalah model pembangkit listrik tenaga angin menggunakan teknologi MPPT yang saya buat menggunakan program Mathlab.

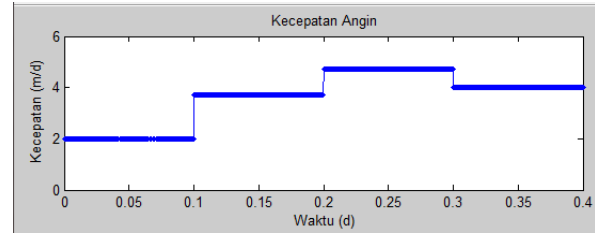


Gambar 9. Model MPPT Pada PLTB

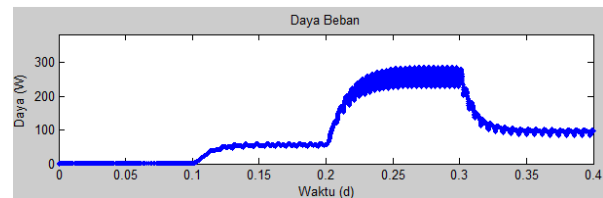
Model diatas terdiri dari model MPPT yaitu 2 induktor, 2 kapasitor, diode, thyristor, dan fuzzy logic controller sebagai pemicu pensaklaran. PLTB dimodelkan dengan komponen wind turbine, permanent magnet synchronous machine yang difungsikan sebagai generator, universal bridge sebagai penyearah AC to DC. Model tambahan yaitu timer, pulse step, dan gain.

Model MPPT pada PLTB dibuat menggunakan program Mathlab dengan bantuan simulink.

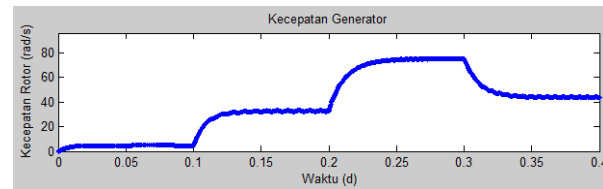
Hasil simulasi model pembangkit listrik tenaga angin tanpa menggunakan MPPT ditunjukkan pada gambar 10 dibawah ini.



(a) Kecepatan Angin



(b) Daya Beban

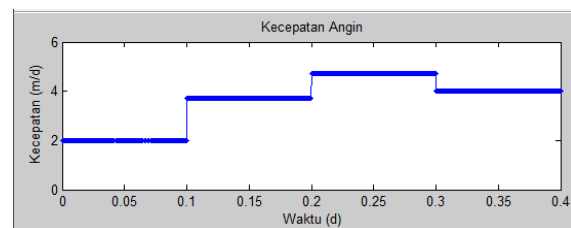


(c) Kecepatan Generator

Gambar 10. Simulasi PLTB Tanpa MPPT

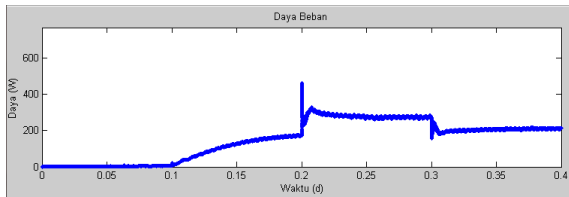
Dari gambar diatas menunjukkan bahwa, pada saat terjadi perubahan kecepatan angin, daya listrik yang diserap oleh beban dan kecepatan generator mengalami fluktuasi yang cukup tinggi dengan nilai rata-rata daya sebesar 130 Watt. (diukur pada detik 0.2 sampai 0.4), Jika potensi daya listrik PLTB sebesar 287 Watt, maka prosentase efisiensi PLTB sebesar 45.3%.

Hasil simulasi pembangkit listrik tenaga angin menggunakan MPPT ditunjukkan pada gambar 11 dibawah ini.

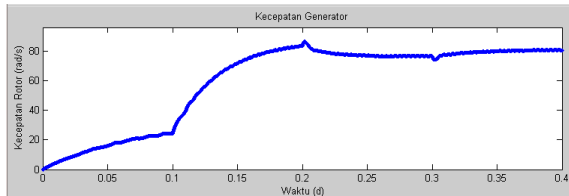


(a) Kecepatan Angin

Peningkatan Efisiensi Pembangkit Listrik Tenaga Bayu Dengan Metoda *Maximum Power Point Tracking* Memakai Dc-Dc Converter Berbasis Fuzzy Logic



(b) Daya Beban



(c) Kecepatan Generator

Gambar 11. Simulasi PLTB Menggunakan MPPT

Dari gambar diatas menunjukkan bahwa, pada saat terjadi perubahan kecepatan angin, daya listrik yang diserap oleh beban dan kecepatan generator mengalami fluktuasi yang lebih rendah dibandingkan dengan simulasi sebelumnya dengan nilai rata-rata daya sebesar 250 Watt. (diukur pada detik 0.2 sampai 0.4), Jika potensi daya listrik PLTB sebesar 287 Watt, maka prosentase efisiensi PLTB sebesar 87%

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Metoda MPPT yang diusulkan mampu meningkatkan prosentase efisiensi daya listrik PLTB yang telah dibuktikan melalui simulasi komputer.
2. Algoritma *Fuzzy Logic Controller* yang diterapkan pada metoda MPPT pada penelitian ini mampu meningkatkan

prosentase efisiensi PLTB dari 45.3% menjadi 87%.

Saran

Untuk lebih menyempurnakan hasil penelitian ini, ada beberapa saran yang perlu dilakukan antara lain:

1. Untuk menaikkan prosentase efisiensi PLTB dapat dilakukan dengan cara menggabungkan metode DC-DC Converter berbasis FLC dengan mengatur kecepatan putar rotor, mengatur sudut sudu (*pitch angle*) turbin angin, dan mengoptimalkan *tip speed ratio*.
2. Untuk mempercepat respon system, maka dapat digunakan metode kecerdasan buatan seperti neural network dll.
3. Dapat dikembangkan ke sistem microgrid, dimana pembangkit listrik yang dipakai lebih dari satu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. ESDM, 2006, Blue Print Pengelolaan Energi Nasional 2006-2025, Kementrian ESDM.
- [2]. Estiko Rijanto and Adi Santoso. 2010. "Design of Mechanical Electrical Control System for 100kW Wind Electrical Power Generation Plant Using 3 Phase Squirrel Cage Induction Generator", Jurnal Instrumentasi, Vol.34, No.1, pp.1-10.
- [3]. Estiko Rijanto, Anwar Muqorobin, and Aditya Sukma Nugraha. 2011. "Design of a Yaw Positioning Control System for 100kW Horizontal Axis Wind Turbines

- Based on On/Off Control with Dead Band and Hysteresis”, International Journal of Applied Engineering Research, Vol.6, No.19, pp.2327-2340.*
- [4]. Muldi Y dkk, 2011, *Maximum Output Power Tracking of Wind Turbine Using Intelligent Control, Jurnal Telkomnika, Vol 9.No.2, Agustus 2011.*
- [5]. Marton Ors, 2009, *Maximum Power Point Tracking for Small Scale Wind Turbine With Self-Excited Induction Generator, CEAI, Vol 11,No.2, pp.30-34.*
- [6]. Estiko Rijanto. 2010. “*Start up Control Using DC Power Supply for Isolated Mode Operation of 100kW Wind Power Plant*”, Jurnal Ketenagalistrikan dan Energi Terbarukan, Vol.9, No.1, pp.1-13.
- [7]. Riza Muhida, et.al., “*Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System for Traffic Light Application*”, Journal of Mechatronics, Electrical Power and Vehicular Technology, Vol.4, No.1, 2013, page 57-64.
- [8]. Seno Aji, et.al., “*MPPT Based on Fuzzy Logic Controller (FLC) for Photovoltaic (PV) System in Solar Car*”, Journal of Mechatronics, Electrical Power and Vehicular Technology, Vol.4, No.2, 2013, page 127-134.
- [9]. Kazmi, S.M.R.; Goto, H.; Guo, H.J.; Ichinokura, O. *A novel algorithm for fast and efficient speed-sensorless maximum power point tracking in wind energy conversion systems. IEEE Trans. Ind. Electron. 2011, 58, 29–36.*
- [10].Pikatan, Sugata, 1999, *Konversi Energi Angin. Surabaya : Departemen Mipa Universitas Surabaya.*
- [11].Burton T, Sharpe D, Jenkin N, Borsanyi E, 2001 *Wind Energy Handbook. West Sussex: John Wiley & Sons.*
- [12].Muhammad Rashid, 2007, “ *Power Electronic Handbook, Devices, Circuits, and Application*”, Imprint of Elsevier.