

# RANCANG BANGUN SISTEM KONTROL PENCARIAN DAYA KELUARAN MAKSIMUM TURBIN ANGIN MENGUNAKAN LOGIKA *FUZZY*

I Made Yoga Raditya Mataram<sup>1</sup>, I Made Mataram<sup>2</sup>, I Wayan Arta Wijaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali Email: yogaraditya62@yahoo.com

<sup>2</sup> Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali Email: mademataram@unud.ac.id

<sup>3</sup> Dosen Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Udayana  
Jalan Raya Kampus Unud, Jimbaran, Bali Email: artawijaya@ee.unud.ac.id

## ABSTRAK

Saat ini, sedang berkembang pemanfaatan energi yang bersumber dari angin sebagai pembangkit tenaga listrik. Sumber angin dapat menjadi listrik melalui konversi energi dari turbin angin. Turbin angin skala kecil umumnya menggunakan jenis *Permanent Magnet Synchronous Generator* (PMSG). Hal ini menjadi keuntungan dalam pemeliharaan dan mengurangi biaya sistem dikarenakan PMSG memiliki keunggulan tanpa sistem eksitasi dan tidak memerlukan *gearbox*. Permasalahan yang sering terjadi yakni mencari efisiensi maksimal pada variasi kecepatan angin. Efisiensi yang tinggi pada beberapa variasi kecepatan angin dapat menghasilkan daya output yang maksimal. Pada penelitian ini, dilakukan rancang bangun sistem kontrol pencarian daya keluaran maksimum (MPPT) turbin angin menggunakan logika *fuzzy*. Rancang kontrol logika *fuzzy* menggunakan 2 input dan 1 output. Hasil simulasi dari rancang bangun sistem kontrol MPPT turbin angin menggunakan logika *fuzzy* menunjukkan bahwa unjuk kerja yang dihasilkan lebih baik atau lebih stabil.

**Kata kunci** : MPPT, Turbin Angin, Logika *Fuzzy*, PMSG

## ABSTRACT

*Currently, the use of energy sourced from wind is developing as a power plant. The wind source can become electricity through the conversion of energy from wind turbines. Small-scale wind turbines generally use a type of Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG). This is an advantage in maintenance and reduces system costs because PMSG has the advantage of no excitation system and does not require a gearbox. The problem that often occurs is finding maximum efficiency at variations in wind speed. High efficiency at several variations of wind speed can produce maximum output power. In this paper, a wind turbine search control system for maximum output power (MPPT) was designed using fuzzy logic. Design fuzzy logic control using 2 inputs and 1 output. The simulation results from the MPPT wind turbine control system design using fuzzy logic show that the resulting performance is better or more stable.*

**Keywords** : MPPT, Wind Turbine, Fuzzy Logic, PMSG

## 1. PENDAHULUAN

Kebutuhan energi listrik kian hari semakin meningkat. Energi terbarukan menjadi salah satu

energi alternatif yang digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Sumber energi angin dapat dikonversi menjadi energi listrik

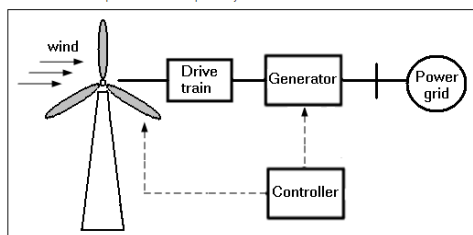
melalui turbin angin. Turbin angin skala kecil telah diterapkan pada kawasan daerah terisolir dan perkotaan. Turbin angin skala kecil umumnya menggunakan jenis Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG) yang memiliki keunggulan tanpa menggunakan gearbox, menurunkan noise, dan tanpa sistem eksitasi [8].

Permasalahan yang sering terjadi yakni mencari efisiensi maksimal pada variasi kecepatan angin. Permasalahan ini dapat diatasi dengan menggunakan kontrol *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) metode konvensional *Perturb & Observe* (PO). Namun, metode PO memiliki kelemahan misalnya terjadi osilasi saat kondisi *steady-state*, kesalahan pencarian titik daya maksimum ketika kecepatan angin berubah secara cepat [12]. Kelemahan ini dapat diatasi dengan penerapan metode kecerdasan buatan seperti logika *Fuzzy*. Algoritma logika *Fuzzy* memiliki kelebihan antara lain mampu mengaplikasikan sistem cerdas pada turbin angin yang memiliki respon yang cepat dan fleksibilitas yang tinggi serta tidak perlu menggunakan perhitungan matematika yang rumit [10]. Pada penelitian ini, akan dirancang sebuah pengontrol MPPT turbin angin menggunakan logika *Fuzzy*. Algoritma yang dirancang mengambil dua input atau sinyal yaitu tegangan dan arus dari generator. Dua Input ini akan dibandingkan untuk mendapatkan output atau keluaran yang maksimal. Algoritma ini akan dibandingkan dengan satu input dan satu output melalui perangkat lunak simulasi MATLAB/Simulink untuk membuktikan kestabilan dan unjuk kerja pengontrol MPPT berbasis logika *Fuzzy*.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Bayu

Energi angin merupakan salah satu jenis energi terbarukan yang dapat digunakan untuk membangkitkan energi listrik. Untuk mengkonversi energi kinetik dari angin menjadi energi listrik, diperlukan turbin angin [1]. Sistem PLTB secara umum terlihat seperti gambar 1.



Gambar 1. Sistem PLTB dengan Komponen Utama [5]

Total daya yang ditangkap oleh turbin angin merupakan fungsi dari kecepatan angin dan luas dari baling-baling turbin [7].

$$P_{wt} = \frac{1}{2} \pi R^2 \rho V_w^3 \quad (1)$$

dengan:

$P_{wt}$  = Daya turbin angin (Watt)

$R$  = Jari-jari turbin (m)

$\rho$  = Kerapatan udara (Kg/m<sup>3</sup>)

$V_w$  = Kecepatan angin (m/s)

Nilai maksimum koefisien daya turbin adalah sebesar 0,5926. Nilai ini dikenal sebagai *Betz Limit*. Pada kenyataannya, efisiensi turbin angin pun tidak akan sebesar 59%. Efisiensi biasanya berkisar antara 35% sampai 45% [3]. Untuk mencari nilai koefisien daya ( $C_p$ ) sebagai berikut.

$$C_p = 0.5 x \left(1 - \frac{v_2^3}{v_1^3}\right) x \left(1 - \frac{v_2}{v_1}\right) \quad (2)$$

dengan:

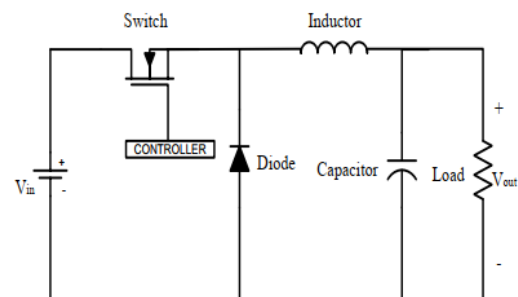
$C_p$  = Koefisien daya

$v_1$  = Kecepatan angin menuju turbin angin (m/s)

$v_2$  = Kecepatan angin setelah melewati turbin angin (m/s)

### 2.2 Pemodelan Buck Converter

*Buck converter* digunakan untuk menurunkan tegangan (*step down*) DC input. Dengan memvariasikan siklus kerja, maka tegangan keluaran dapat dikontrol. Konverter ini mengatur tegangan masukan melalui sakelar untuk mencapai tegangan referensi yang terdiri dari daya maksimum [4], Rangkaian Dasar Buck Converter dapat dilihat pada gambar2.



Gambar 2. Rangkaian Dasar Buck Converter [4]

### 2.3 Maximum Power Point Tracking

*Maximum Power Point Tracking* (MPPT) adalah metode pelacakan nilai daya maksimum dari suatu sistem. Prinsip kerja dari MPPT adalah dengan menaikkan dan menurunkan tegangan kerja. Hal tersebut dapat dilakukan dengan mengatur *duty cycle* pada konverter. Pada turbin angin MPPT digunakan untuk mengoptimalkan keluaran daya maksimum dari generator. Setiap

kecepatan angin memiliki daya maksimum yang berbeda-beda [4].

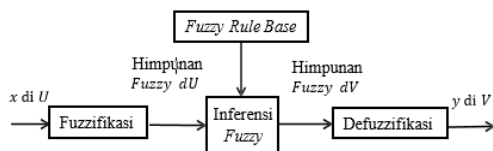
### 2.2 Logika Fuzzy

Logika *Fuzzy* diperkenalkan pertama kali pada tahun 1965 oleh Prof Lutfi A. Zadeh seorang peneliti di Universitas California – Barkley dalam bidang ilmu komputer. Logika *Fuzzy* memiliki beberapa komponen yang harus dipahami seperti himpunan *Fuzzy*, himpunan tegas, fungsi keanggotaan, operator pada himpunan *Fuzzy*, inferensi *Fuzzy* dan defuzzifikasi [9].

Elemen dasar dalam sistem *Fuzzy* [9]:

1. Basis kaidah (*rule base*), berisi aturan-aturan secara linguistik yang bersumber dari para pakar.
2. Mekanisme pengambil keputusan (*inference engine*), merupakan bagaimana para pakar mengambil suatu keputusan dengan menerapkan pengetahuan (*knowledge*).
3. Proses fuzzifikasi (*fuzzification*), yaitu mengubah nilai dari himpunan tegas ke nilai *Fuzzy*.
4. Proses defuzzifikasi (*defuzzification*), yaitu mengubah nilai *Fuzzy* hasil inferensi menjadi nilai tegas.

Susunan system fuzzy dapat dilihat pada gambar 3.



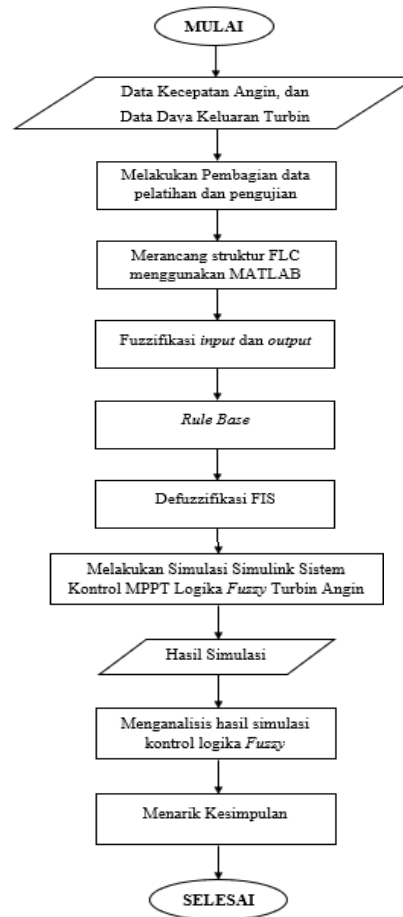
Gambar 3. Susunan sistem fuzzy [9]

### 3. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Manajemen Energi Listrik, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Udayana, Kampus Bukit Jimbaran. Waktu pelaksanaan dimulai dari bulan September 2020.

#### 3.1 Analisis Data

Analisis Data dapat dilihat pada diagram alur seperti Gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir penelitian

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Data Parameter

Data parameter yang digunakan pada simulasi, terlihat pada table 1 dan table 2.

Tabel 1. Parameter Turbin Angin

Daya Keluaran Mekanik Nominal	250 W
Base rotational speed	1 pu
Base Wind Speed	12 m/s
Kerapatan Udara, $\rho$	1,225 kg/m <sup>3</sup>
Pitch Angle, $\beta$	0°

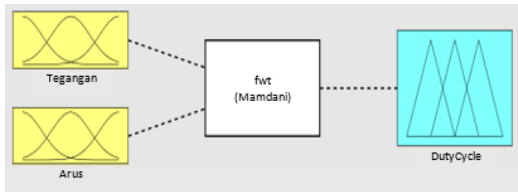
Tabel 2. Parameter PMSG

Rated Power	250 W
Stator Phase Resistance	0.05 $\Omega$
Armature Inductance	0.000635 H
Viscous Damping	0.001889 N.m.s
Static Friction, Tf	0 N.m

Pole Pairs, p	4
Inertia, J	0.011 kg.m <sup>2</sup>

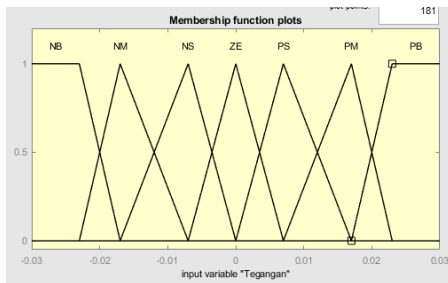
### 4.2 Rancang Bangun Sistem Kontrol Logika Fuzzy

Desain pemodelan kontrol logika fuzzy (FLC) pada MPPT menggunakan dua buah input dan satu buah output terlihat seperti gambar 5.

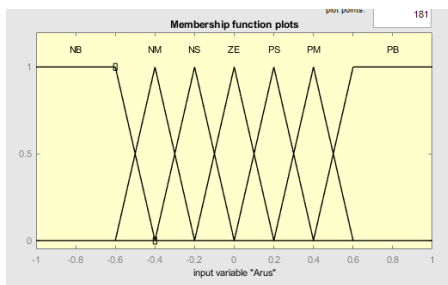


Gambar 5. Pemodelan FLC

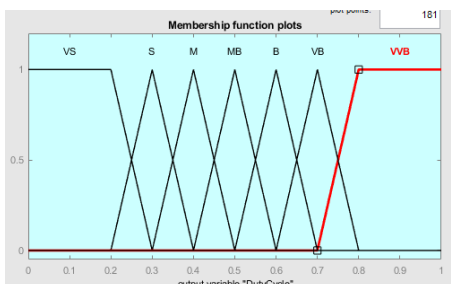
Parameter input tegangan dan arus masing-masing menggunakan tujuh buah membership function jenis segitiga terlihat pada gambar 6 dan gambar 7, sedangkan output dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 6. Input Membership Function Tegangan



Gambar 7. Input Membership Function Arus



Gambar 8. Output Membership Function DutyCycle

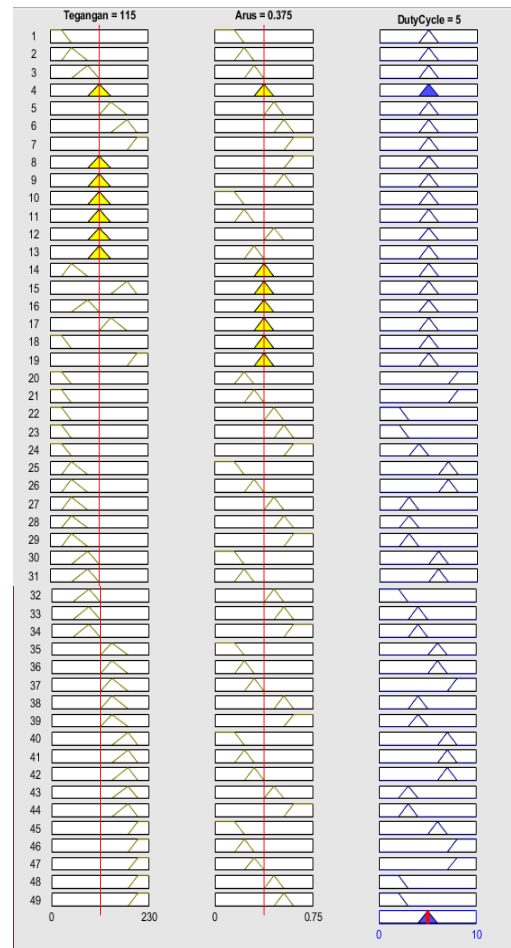
Jumlah *rule base* yang digunakan pada desain FLC ini terdiri dari 49 *rules*, dengan V (tegangan), I (arus), NB (*negative big*), NS (*negative small*), NM (*negative medium*), ZE (*zero*), PS (*positive small*), PM (*positive medium*), PB (*positive big*), MB (*medium big*), B (*big*), M (*medium*), S (*small*), VVB (*very-very big*), VB (*very big*), VS (*very small*). Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 3.

Tabel 3. Rule Base 7x7 FLC

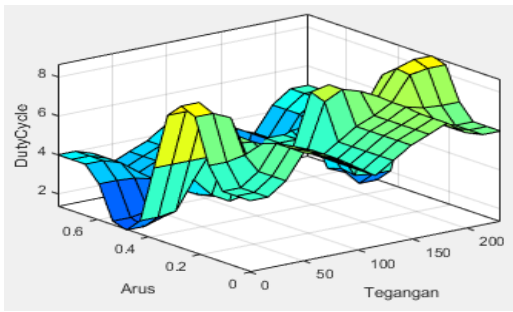
V \ I	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	MB	VVB	VVB	MB	VS	VS	M
NM	VB	MB	VB	MB	S	S	S
NS	B	B	MB	MB	VS	M	M
ZE	MB	MB	MB	MB	MB	MB	MB
PS	B	B	VVB	MB	MB	M	M
PM	VB	VB	VB	MB	S	MB	S
PB	B	VVB	VVB	MB	VS	VS	MB

### 4.3 Simulink Sistem Kontrol Logika Fuzzy

Berdasarkan pemodelan sistem kontrol logika fuzzy (FLC) yang digunakan pada *control* MPPT Rule view dan surface view dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 10.



Gambar 9. Rule View



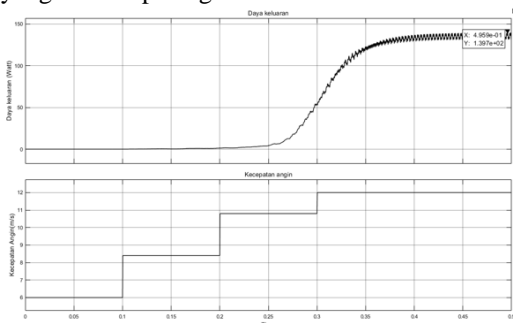
Gambar 10. Surface View

#### 4.4 Hasil Simulasi Sistem Kontrol MPPT Turbin Angin FLC

Berdasarkan hasil simulasi sistem control MPPT turbin angin FLC dengan 4 variasi kecepatan angin yaitu 6 m/s; 8,6 m/s; 10,8 m/s; dan 12 m/s. didapatkan output sebagai berikut.

##### 1. Daya Keluaran

Berdasarkan hasil simulasi rancang bangun MPPT turbin angin FLC, diperoleh besar keluaran sesuai dengan 4 variasi kecepatan angin yang terlihat pada gambar 11.



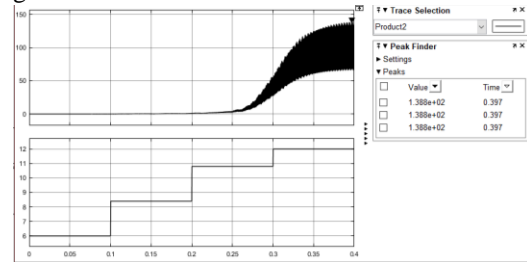
Gambar 11. Daya Keluaran MPPT Turbin Angin FLC 2 input pada Variasi Kecepatan Angin

Besar daya keluaran yang diperoleh tergantung pada kecepatan angin. Berdasarkan gambar 12, terlihat bahwa semakin tinggi kecepatan angin akan mengakibatkan daya keluaran semakin besar. Pada kecepatan angin dari 10.8 m/s menuju 12 m/s, daya keluaran tidak serta merta menuju ketitik maksimal, tetapi memerlukan waktu mencapai titik stabil. Nilai daya keluaran tertinggi terjadi pada kecepatan angin 12 m/s sebesar 139,7 W

##### 2. MPPT Turbin angin FLC Menggunakan 1 input berupa tegangan dan 1 output berupa duty cycle

Berdasarkan hasil simulasi MPPT turbin angin FLC menggunakan 1 input 1 output, diperoleh besar daya keluaran sesuai dengan 4

variasi kecepatan angin yang terlihat pada gambar 12.

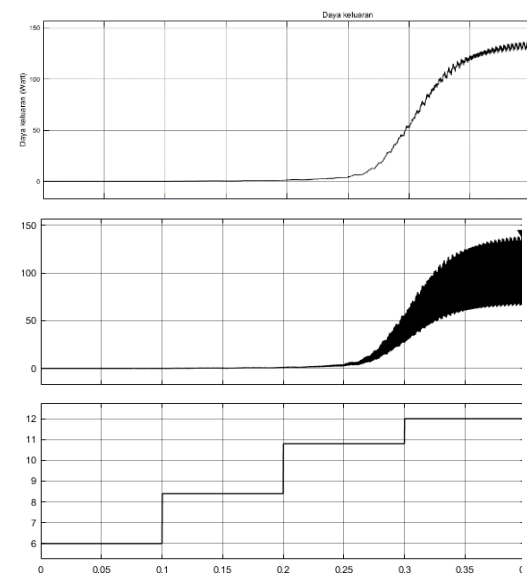


Gambar 12. Daya keluaran MPPT Turbin Angin FLC 1 input pada variasi kecepatan angin

MPPT turbin angin FLC 1 input pada gambar 4.12 terlihat bahwa daya keluaran tertinggi yang dihasilkan sebesar 138,8 W pada kecepatan angin 12 m/s.

#### 4.5 Perbandingan Hasil Daya Keluaran

Rancang bangun sistem control MPPT turbin angin FLC menggunakan 1 input dan 1 output akan digunakan sebagai perbandingan pada pembahasan ini. Hasil daya keluaran MPPT turbin angin FLC menggunakan 1 input dan hasil daya keluaran MPPT turbin angin FLC menggunakan 2 input dapat dilihat pada gambar 13.



Gambar 13. Perbandingan Daya Keluaran MPPT Turbin Angin pada Variasi Kecepatan Angin

Berdasarkan gambar 13 terlihat bahwa osilasi daya keluaran MPPT turbin angin FLC menggunakan 1 input yang dihasilkan lebih tinggi dibandingkan dengan rancang bangun MPPT turbin angin FLC pada skripsi ini. Daya keluaran tertinggi yang dihasilkan MPPT turbin

angin FLC 1 input sebesar 138,8 W pada kecepatan angin 12 m/s, sedangkan daya keluaran tertinggi yang dihasilkan MPPT turbin angin FLC 2 input sebesar 139.7 W pada kecepatan angin 12 m/s. Hal ini berarti unjuk kerja/kinerja kontroler pada rancang bangun skripsi ini menjadi lebih baik atau lebih stabil.

## 5. SIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis simulasi yang telah dilakukan, maka dapat disimpulkan:

1. Rancang bangun sistem kontrol MPPT turbin angin menggunakan logika *fuzzy* telah dapat dibuat dengan unjuk kerja yang sesuai dengan titik pengaturannya.
2. Perbandingan hasil daya keluaran rancang bangun sistem kontrol MPPT turbin angin menggunakan logika *fuzzy* dengan 2 input memiliki unjuk kerja yang lebih baik atau lebih stabil dibandingkan dengan 1 input.

## 6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Angga, S. 2015. Pembangkit Listrik Tenaga Angin. Jurusan Teknik Mesin, Institut Teknologi Padang.
- [2] Anisa H. dan Adi, K. 2016. Simulasi Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Doubly Fed Induction Generator (DFIG) Dengan Back-To-Back Converter. Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol. 5, No. 2.
- [3] Farret, Felix A., dan M. Godoy Simoes. 2006. Integration of Alternative Sources of Energy. New Jersey: Waley & Sons, Inc.
- [4] Feby, A.P., dan Soediby. 2015. Desain Kontrol Multi – Input DC–DC Converter Sistem Hibrid Turbin angin dan Sel Surya Menggunakan Kontrol *Fuzzy* Logic untuk Tegangan Rendah. Jurnal Nasional Teknik Elektro, Vol. 4, No. 2, Hal. 220-226.
- [5] Istiyo W., dan Lia N. 2017. Maximum Power Point Tracker (MPPT) Berdasarkan Metode Perturb and Observe Dengan Sistem Tracking Panel Surya Single Axis. Jakarta: Jurnal UMJ, Seminar Nasional Teknik.
- [6] Nugroho, P., Juniawan, A., dan Budiman, K.A. 2016. Rancang Maju Scale Down Pelton Untuk Simulasi Kondisi Lingkungan. Jurnal Metal Indonesia, Vol. 38, No.1.
- [7] Ramadoni, S., Imam, R., dan Mochamad, A. 2011. Control of Doubly Fed Induction Generator in Distributed Generation Units Using Adaptive Neuro Fuzzy Approach. Surabaya: The 3rd International Seminar APTEC.
- [8] Saputra, M., Kurniawan, R., dan Munawir, A. 2019. Rancang Bangun Turbin angin Skala Kecil Untuk Kawasan Kampus Univ. Teuku Umar. Aceh Barat, Jurnal Mekanova, Vol. 5, No. 1.
- [9] Sri, K. 2002. Analisis Desain Sistem Fuzzy Menggunakan Tool Box. Matlab. Jogjakarta: Graha Ilmu. Lieberman
- [10] Sri, K., dan Hari, P. 2010. Aplikasi Logika *Fuzzy* Untuk Pendukung Keputusan, Edisi 2. Yogyakarta, Graha Ilmu. Lieberman.
- [11] Tiwari. R dan Babu N. R. 2016. *Fuzzy* Logic Based MPPT For Permanent Magnet Synchronous Generator in Wind Energy Conversion System. India: VIT University. IFAC: Elsevier.
- [12] Trisnasari, C.T. 2016. Pemodelan dan Simulasi Sistem Proteksi Microgrid. Jurnal Teknik ITS, Vol. 5, No. 2: 48-52.