



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



**OPTIMALISASI MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA
SMALL WIND TURBINE BERBASIS FUZZY LOGIC**

TESIS

**WISNU BUDIARJO
1909511005**
**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
AGUSTUS 2021**



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



OPTIMALISASI MAXIMUM POWER POINT TRACKING PADA SMALL WIND TURBINE BERBASIS FUZZY LOGIC

TESIS

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Mencapai Derajat Magister Terapan Dalam Bidang Magister Terapan
Teknik Elektro

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**

**Wisnu Budiarto
1909511005**

**PROGRAM STUDI MAGISTER TERAPAN TEKNIK ELEKTRO
PASCASARJANA POLITEKNIK NEGERI JAKARTA
DEPOK
AGUSTUS 2021**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis ini saya susun tanpa tindakan plagiarisme sesuai dengan peraturan yang berlaku di Politeknik Negeri Jakarta.

Jika di kemudian hari ternyata saya melakukan tindakan plagiarisme, saya akan bertanggung jawab sepenuhnya dan menerima sanksi yang diajukan oleh Politeknik Negeri Jakarta kepada saya.

Depok, 10 Agustus 2021

Wisnu Budiarto
1909511005

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Dengan ini saya menyatakan bahwa tesis yang saya susun ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Wisnu Budiarjo

NIM : 1909511005

Tanda Tangan :

Tanggal : 10 Agustus 2021

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

HALAMAN PENGESAHAN

Tesis ini yang diajukan oleh:

Nama : Wisnu Budiarjo
NIM : 1909511005
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Judul : Optimalisasi *Maximum Power Point Tracking* Pada *Small Wind Turbine* Berbasis *Fuzzy Logic*

telah diuji oleh Tim Penguji dalam Sidang Tesis pada hari Selasa, Tanggal 10 Bulan Agustus tahun 2021 dan dinyatakan LULUS untuk memperoleh Derajat Gelar Magister Terapan pada Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro Politeknik Negeri Jakarta.

Pembimbing I : Dr. Drs. Ahmad Tossin Alamsyah, ST., MT (.....)

Pembimbing II: Britantyo Wicaksono, S.Si, M.Eng (.....)

Penguji I : Dr. Handri Santoso, M.Eng (.....)

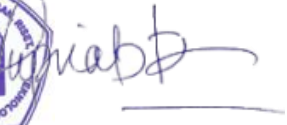
Penguji II : Murie Dwiyantini, ST.,MT (.....)

Penguji III : Rika Novita, ST.,MT (.....)

Depok, 10 Agustus 2021

Disahkan oleh
Kepala Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta




Dr. Drs. Supriatnoko, M.Hum
NIP. 196201291988111001



Kata Pengantar

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, karena atas berkat dan rahmat-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Penulisan Tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Terapan Politeknik.

Penulis menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Orangtuaku Ayah **Suradi (Alm)**, Ibu **Tuti Y**, dan kakakku tercinta, keluarga besar, yang selalu memberikan motivasi, dukungan dan do'a yang tidak ada henti-hentinya.
2. Bapak **Dr. Drs. A Tossin Alamsyah, M.T**, selaku dosen pembimbing satu yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
3. Bapak **Britantyo Wicaksono, S.Si, M.Eng**, selaku dosen pembimbing dua yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan penulis dalam penyusunan tesis ini.
4. Keluarga Besar **PT Arwito Teknologi Indonesia** yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral.
5. Sahabat yang telah banyak membantu penulis dalam menyelesaikan tesis ini.
6. Segenap Dosen dan Staff Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro atas kontribusinya baik secara langsung, maupun tidak langsung yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu selama penyusunan laporan tesis ini; dan,
7. Rekan-rekan Program Studi Magister Terapan Teknik Elektro, Program Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta Angkatan Ketiga.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Akhir kata, penulis berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga Tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 10 Agustus 2021

Wisnu Budiarto





HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK

Sebagai sivitas akademik Politeknik Negeri Jakarta, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Wisnu Budiarjo
NIM : 1909511005
Program Studi : Magister Terapan Teknik Elektro
Pascasarjana Politeknik Negeri Jakarta
Jenis Karya : Optimalisasi *Maximum Power Point Tracking* Pada *Small Wind Turbin* Berbasis *Fuzzy Logic*

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, saya menyetujui untuk memberikan kepada Politeknik Negeri Jakarta Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Optimalisasi *Maximum Power Point Tracking* Pada *Small Wind Turbine* Berbasis *Fuzzy Logic*

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan)*. Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Politeknik Negeri Jakarta berhak menyimpan, mengalih medikan/mengalih formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 10 Agustus 2021
Yang menyatakan

Wisnu Budiarjo

- Hak Cipta :**
1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
 2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



ABSTRAK

Nama : Wisnu Budiarmo
Program Studi : Rekayasa Kontrol Industri
Judul Tesis : Optimalisasi *Maximum Power Point Tracking* Pada *Small Wind Turbine* Berbasis *Fuzzy Logic*

Indonesia memiliki potensi energi angin sebesar 9.2 GW akan tetapi yang baru dapat dimanfaatkan hanya 1.6 MW. Distribusi angin terkait dengan potensi energi angin di Indonesia masih tergolong rendah berkisar 2.5-6 m/s dan diikuti karakter angin yang sangat fluktuatif, sehingga profil kecepatan angin mengalami perubahan yang drastis. Penelitian kali ini dipusatkan pada pembuatan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) dan kontrol berbasis *fuzzy logic* menggunakan *permanent magnet synchronous generator* (PMSG) dengan *input* dP, dan dV yang didapatkan dari fluktuasi kecepatan dan arah angin. *Output* dari *fuzzy logic* pada penelitian ini berupa *duty-cycle* yang terhubung ke DC-DC converter. Pemrosesan *fuzzy logic* pada MPPT dengan data *real* dari emulator, berupa *Input* nilai kecepatan generator 1000 ~ 1500 RPM dengan *input* tegangan 60,99 ~ 108 Volt yang menghasilkan *output* daya keluaran MPPT dengan nilai sebesar 309,2 ~ 427,3 Watt dengan spesifikasi generator sebesar 450 Watt. Ini dihasilkan dari kenaikan jumlah dari variabel pada *membership function*, yaitu penambahkan dua *fuzzy membership function negative big* (NB), dan *positive small* (PS) tersebut mampu meningkatkan performansi sistem

Kata kunci : *Fuzzy Logic*;MPPT;*Small Wind Turbine*;permanent magnet synchronous generator (PMSG)

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

ABSTRACT

Indonesia has wind energy potential of 9.2 GW but only 1.6 MW can be utilized. Wind distribution related to wind potential in Indonesia is still relatively low, ranging from 2.5-6 m/s and is followed by very fluctuating wind characteristics, so that the wind speed profile changes drastically. This research is focused on making MPPT (Maximum Power Point Tracking) and fuzzy logic-based control using a permanent magnet synchronous generator (PMSG) with input dP , and dV obtained from fluctuations in wind speed and direction. The output of fuzzy logic in this study is a duty-cycle connected to a DC-DC converter. Processing fuzzy logic on MPPT with real data from the emulator, in the form of input generator speed value of 1000 ~ 1500 RPM with input voltage of 60.99 ~ 108 Volts which produces MPPT output power with a value of 309.2 ~ 427.3 Watt with generator specifications of 450 watts. This resulted from an increase in the number of variables in the membership function, namely the addition of two large negative (NB) and small positive (PS) fuzzy membership functions that were able to improve system performance.

Keywords: Fuzzy Logic, MPPT; Small Wind Turbine; permanent magnet synchronous generator (PMSG)

**POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA**



Daftar Isi

HALAMAN PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
Kata Pengantar	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIK	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Gambar	xi
Daftar Tabel	x
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	3
1.3 Pertanyaan dan Tujuan Penelitian	4
1.4 Metode Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
1.6 Manfaat Penelitian	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Kajian Teoritis	6
2.1.1 <i>Small Wind Turbine</i>	6
2.1.2 Turbin Angin Sumbu Horisontal (TASH)	7
2.1.3 Jenis Bilah TASH	8
2.2 <i>Maximum Power Point Tracking (MPPT)</i>	12
2.3 Metode Logika Fuzzy	13
2.3.1 Fungsi keanggotaan <i>fuzzy</i>	16
2.3.2 Operator Dasar <i>Fuzzy</i>	18
2.3.3 Metode Mamdani	18
2.3.4 Metode inferensi <i>fuzzy</i> MAX-MIN	20
2.4 Kajian Penelitian Terdahulu / State of The Art	21
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN	30
3.1 Ruang Lingkup Penelitian	30
3.2 Ancangan Penelitian	32
3.2.1 Motor 3 phase	33
3.2.2 <i>Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)</i>	34
3.2.3 Panel Kontrol <i>Maximum Power Point Tracking (MPPT)</i>	34
3.3 Perancangan	35
3.3.1 Emulator Turbin Angin	35
3.3.2 MPPT <i>Wind Turbine</i>	36
3.3.3 Rangkaian Kontak Relay dan Power Rectifier Pada Sistem MPPT	37
3.3.4 Rangkaian Rectifier dan Sensor Tegangan Pada Sistem MPPT	38

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



© Hak Cipta milik Politeknik Negeri Jakarta

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

3.3.5 Rangkaian Buck Converter Sistem dan Relay driver Pada Sistem MPPT ..	39
3.3.6 Rangkaian <i>Microcontroller</i> Pada Sistem MPPT	42
3.3.7 Rangkaian Voltage Regulator Pada Sistem MPPT	42
3.4 Cara Kerja	43
3.5 Pengujian.....	44
3.6 Metode dan Teknik Analisa Data.....	44
3.6.1 <i>Membership</i> dan <i>Rules Fuzzy</i> Pada MPPT <i>Small Wind Turbine</i>	45
3.6.2 Pembuatan <i>Membership Function</i> untuk <i>Input</i>	46
3.6.3 Pembuatan <i>Membership Function</i> untuk <i>Output</i>	48
3.6.4 Pembuatan <i>Rules</i>	49
3.6.5 Simulasi logika <i>fuzzy</i> dengan LabVIEW 2017.....	51
3.6.6 Analisa Data Hasil Pengukuran dengan Logika <i>Fuzzy</i>	52
3.7 Metode dan Teknik Penyajian Hasil	69
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	72
4.1 Hasil Penelitian	72
4.1.1 Hasil Kalibrasi Sensor Arus, Sensor Tegangan <i>Input</i> , Sensor Tegangan <i>Output</i> 74	
4.1.2 Hasil Simulator Ekstraksi Daya Maximum Dengan Logika <i>Fuzzy</i>	77
4.2 Pembahasan.....	81
BAB 5 SIMPULAN DAN SARAN	83
5.1 Simpulan	83
5.2 Saran.....	83
Daftar Pustaka	84
Lampiran	89

POLITEKNIK
NEGERI
JAKARTA



Daftar Gambar

Gambar 2.1 Klasifikasi Turbin Angin.....	6
Gambar 2.2 Turbin Angin Sumbu Horizontal[14].....	8
Gambar 2.3 Macam-macam desain TASH [17].....	9
Gambar 2.4 Turbin Angin Sumbu Vertikal [14].....	10
Gambar 2.5 Jenis Turbin Angin Berdasarkan Orientasi Putaran Sumbu [18].....	11
Gambar 2.6 Berbagai jenis turbin angin vertical axis wind turbines (VAWT): (a) Savonius; (b) Design pengocok telur Darrieus; (c) Bilah H; (d) Bilah Helix [19]	12
Gambar 2.7 Daya <i>output</i> turbin angin sebagi fungsi dari kecepatan angin	13
Gambar 2.8 Konfigurasi Dasar Sistem Logika Fuzzy	14
Gambar 2.9 Representasi fungsi keanggotaan linier naik.....	16
Gambar 2.10 Representasi fungsi keanggotaan linier turun	16
Gambar 2.11 Representasi kurva segitiga.....	17
Gambar 2.12 Representasi kurva trapesium.....	17
Gambar 2.13 Representasi kurva bentuk bahu.....	18
Gambar 2.14 Inferensi <i>Fuzzy</i> MAX-Min dengan Masukan Crips.....	20
Gambar 2.15 Diagram <i>Fish Bone</i> Sistematika Literatur Review.....	26
Gambar 3.1 Diagram alir ruang lingkup penelitian	30
Gambar 3.2 Blok Diagram Sistem MPPT.....	32
Gambar 3.3 Emulator Turbin Angin	36
Gambar 3.4 MPPT <i>Wind Turbine</i>	36
Gambar 3.5 Kontak Relay dan Power Rectifier.....	37
Gambar 3.6 Signal Rectifier dan Sensor Tegangan	38
Gambar 3.7 Signal Rectifier dan Sensor Tegangan	39
Gambar 3.8 <i>Microcontroller & Indicator LED</i>	42
Gambar 3.9 <i>Voltage Regulator</i>	42
Gambar 3.10 Blok Diagram Pengujian MPPT.....	43
Gambar 3.11 Model <i>Small Wind Turbine</i> Implementasi MPPT dengan Kontrol Logika <i>Fuzzy</i>	45
Gambar 3.12 <i>Membership function input 'dV'</i>	46
Gambar 3.13 <i>Membership function input 'dP'</i>	47
Gambar 3.14 <i>Membership function output 'VD (Variabel duty cycle)'</i>	48
Gambar 3.15 <i>Rules</i> pada MPPT	49
Gambar 3.16 Simulasi <i>fuzzy</i> dengan LabVIEW 2017 untuk (P) <i>Positive</i>	51
Gambar 3.17 Representasi kurva segitiga pada dV	53
Gambar 3.18 Representasi kurva segitiga pada dP	54
Gambar 3.19 Grafik <i>Output VD</i> berdasarkan nilai operator <i>fuzzy</i>	65
Gambar 3.20 Bagian <i>Output VD</i> terbagi menjadi 4 bangun datar.....	66
Gambar 3.21 Flow proses data penyajian pemrograman <i>fuzzy</i>	69
Gambar 3.22 <i>Front Panel (Dashboard)</i> Hasil Penelitian	70
Gambar 3.23 Pengambilan Sample <i>Datalogging</i>	71
Gambar 4.1 Kurva Karakteristik MPPT dengan daya terhadap <i>Duty cycle</i>	74

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Gambar 4.2 Grafik Persentasi Error Kalibrasi Sensor Arus	75
Gambar 4.3 Grafik Persentasi Error Kalibrasi Sensor <i>Input</i> Tegangan.....	76
Gambar 4.4 Grafik Persentasi Error Kalibrasi Sensor <i>Ouput</i> Tegangan	77
Gambar 4.5 Hasil Respon Dengan Kecepatan 1000 RPM.....	77
Gambar 4.6 Hasil Respon Dengan Kecepatan 1100 RPM.....	78
Gambar 4.7 Hasil Respon Dengan Kecepatan 1200 RPM.....	78
Gambar 4.8 Hasil Respon Dengan Kecepatan 1300 RPM.....	79
Gambar 4.9 Hasil Respon Dengan Kecepatan 1400 RPM.....	79
Gambar 4.10 Hasil Respon Dengan Kecepatan 1500 RPM.....	80
Gambar 4.11 <i>Input</i> Kecepatan Generator.....	80
Gambar 4.12 <i>Input</i> Tegangan Generator.....	80
Gambar 4.13 <i>Output</i> Daya Keluaran.....	81





Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumunkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Tabel

Tabel 2.1 Perbandingan Antara TASV dan TASH [14]	7
Tabel 2.2 Sistematika Literatur Review	27
Tabel 3.1 Ancangan Komponen Material Utama	32
Tabel 3.2 Spesifikasi Motor Induksi YL 712-4	33
Tabel 3.3 Spesifikasi PMSG	34
Tabel 3.4 List komponen untuk pembuatan panel pengukuran	34
Tabel 3.5 Perbandingan <i>Switching Time</i>	40
Tabel 3.6 <i>Rules</i> Sistem <i>Fuzzy</i> MPPT	51
Tabel 3.7 Hasil Pengukuran dV berdasarkan nilai RPM	52
Tabel 3.8 Hasil Pengukuran dP berdasarkan nilai Daya <i>Maximum</i>	52
Tabel 3.9 Hasil Perhitungan VD	52
Tabel 4.1 Daya <i>Maximum</i> Berdasarkan Hasil Pengukuran	72
Tabel 4.2 Kalibrasi Arus Keluaran	74
Tabel 4.3 Kalibrasi Tegangan <i>Input</i>	75
Tabel 4.4 Kalibrasi Tegangan <i>Output</i>	76



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Ketersediaan energi di Indonesia untuk kebutuhan bagi umat manusia amatlah sangat penting, dengan demikian angka permintaan untuk ketersediaan pasokan listrik pun sangat besar. Selama ini energi listrik bersumber pada sumber PLN (Perusahaan Listrik Negara) dimana ketersediaan PLN selama ini untuk kota-kota besar masih mampu terpenuhi, akan tetapi untuk daerah-daerah terpencil atau kepulauan-kepulauan masih sering didapati ketidaktersediaan listrik, karena alasan infrastruktur. Potensi Energi di Indonesia mempunyai banyak varian salah satu varian yang memiliki potensi besar akan tetapi masih sedikit sekali dimanfaatkan adalah energi angin. Energi angin di Indonesia menurut kementerian ESDM (Energi dan Sumber Daya Mineral) mempunyai potensi sebesar 9.2 GW akan tetapi yang baru dapat dimanfaatkan hanya 1.6 MW dan itupun hanya untuk kebutuhan riset tidak tergunakan sebagai mana mestinya [1].

Distribusi angin terkait dengan potensi energi angin di Indonesia masih tergolong rendah berkisar 2.5-6 m/s dan diikuti karakter angin yang sangat fluktuatif, sehingga profil kecepatan angin mengalami perubahan yang drastis [2]. Perubahan kondisi yang drastis tersebut merupakan hambatan untuk pemanfaatan energi angin sehingga dari hambatan tersebut diperlukan perancangan sistem *wind turbine* yang optimal. Pengoptimalan *wind turbine* dapat dilakukan dari banyak sisi, dari perihal bilah, generator hingga kontroler. Untuk mengoptimalkan keluaran daya dari generator *wind turbine* perlu dilengkapi sistem controller MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) [3].

Sistem konversi energi angin (SKEA) sangat dipengaruhi oleh kecepatan angin yang selalu bervariasi. Perubahan kecepatan angin akan mempengaruhi daya keluaran yang dihasilkan. Untuk itu dibutuhkan pemodelan dan prediksi kecepatan angin yang akurat untuk membantu optimalisasi desain turbin dan sistem kontrol pada SKEA serta mempertahankan kestabilan sistem [4], [5]. Selain itu pemodelan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

kecepatan angin diperlukan untuk mengevaluasi daya yang dihasilkan oleh turbin angin dan menginvestigasi *load matching* dan kebutuhan penyimpanan pada SKEA [6].

MPPT merupakan sebuah metode untuk mendapatkan titik terbaik dari sumber energi agar mendapatkan hasil daya yang maksimal, dengan kondisi angin yang berubah-ubah dapat memberikan nilai arus dan tegangan yang berbeda-beda, sehingga perlu sistem kendali yang diharapkan mampu mengkonversi energi secara maksimal dalam mengatasi kondisi angin yang fluktuatif [7]. Penelitian mengenai mengoptimalkan MPPT dengan berbagai metode banyak dijumpai, salah satunya yang telah dilakukan oleh Syahputra, optimasi yang dilakukan dengan simulasi melalui Simulink-Matlab, metode P&O (*Perturb and Observe*) pada MPPT dipercaya mampu memperbaiki efisiensi system *wind turbine* dengan kemampuan *system wind turbine* sebesar 3000 Watt untuk kecepatan maksimal 10 m/s dengan mendapatkan hasil 2999.88 Watt yang mendekati kemampuan maksimum, artinya P&O mampu meningkatkan efisiensi system keseluruhan dengan nilai mendekati 99% pada kecepatan tinggi, akan tetapi perihal untuk distribusi dengan kecepatan rendah sekitar 6.5 % memiliki daya keluaran sebesar 695.30 Watt artinya efisiensi yang didapatkan 23% jika data diambil dari permasalahan distribusi angin yang rendah di Indonesia 2-6.5% [8]. Pada penelitian sebelumnya dikritisi oleh Putri mengenai penggunaan P&O bahwasanya metode tersebut bertentangan dengan apa yang dikatakan oleh Syahputra, dimana P&O dapat menyebabkan osilasi pada kondisi *steady state* jika *step response* yang dilakukan terlalu cepat dan bervariasi, lain hal jika *step response* yang dilakukan dengan yang waktu lebih lambat, hal ini akan memperbaiki system koreksi, dikarenakan pengaruh respon yang akan memperbaiki ke akurasian serta mampu mencari titik maksimum daya, dengan respon yang lama akan menurunkan efisiensi dikarenakan hal tersebut tidak mampu mengatasi kondisi yang fluktuasi, sedangkan fluktuasi angin dapat berubah tiap detiknya [9].

Pada metode lain untuk konsep pemaksimalan daya yang dihasilkan oleh *wind turbin* dengan *comparative analysis dan improvement* dilakukan dengan



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

menggunakan PID (*propotional integrator differentiator*) MPPT berbasis yang dimana hasilnya dengan menggunakan metode PID pada MPPT menunjukkan pada *input* aliran angin dengan nilai rendah yaitu 500 Watt, stabilitas waktu *output* 10, dengan nilai efisiensi 85%, dan pada *input* aliran angin dengan nilai tertinggi yaitu 2000 watt, stabilitas waktu *output* 10.79, dengan nilai efisiensi 98 %, dan menggunakan metode *Fuzzy* menunjukkan *input* aliran angin dengan nilai rendah yaitu 500 watt, stabilitas waktu *output* 9.85, dengan nilai efisiensi 85%, dan pada *input* aliran angin dengan nilai tertinggi yaitu 2000 watt, stabilitas waktu *output* 11, dengan nilai efisiensi 98.36 %, sehingga dapat disimpulkan bahwa hanya pada *input* aliran angin yang tinggi dengan metode *fuzzy* pada MPPT yang menunjukkan kenaikan nilai efisiensi 0.36% lebih tinggi dibanding dengan metode PID [10]. Keberhasilan penggunaan MPPT dengan metode P&O berhasil meningkatkan efisiensi pada kecepatan angin yang tinggi dan tidak terlalu baik pada kecepatan angin yang rendah, ditambah tidak mampu mengatasi kondisi yang angin yang fluktuatif [9] serta menurut Sharma dan Arya, penggunaan metode *fuzzy* PID pada MPPT berhasil meningkatkan efisiensi pada aliran angin yang tinggi, dan tidak berhasil pada kecepatan angin yang rendah. Oleh karena itu perlu penelitian terkait Optimalisasi MPPT *small wind turbine* menggunakan *fuzzy logic* dengan mengembangkan *rules* yang sudah ada pada kasus angin yang fluktuatif dari data selama setahun. Diharapkan metode ini dapat meningkatkan efisiensi daya *maximum* yang dihasilkan oleh MPPT dari berbagai jenis kondisi angin

1.2 Perumusan Masalah

Karakteristik kecepatan angin pada *small wind turbine* yang tidak menentukan akan menghasilkan energi listrik yang fluktuatif sehingga akan menurunkan efisiensi daya *maximum wind turbine* [9]. Untuk menghasilkan *energy* angin yang optimal yang diterima *wind turbine* maka membutuhkan MPPT (*Maximum Power Point Tracking*), yang di mana MPPT tersebut dapat merespon berbagai jenis kecepatan angin, sehingga dapat menghasilkan efisiensi yang maksimum pada sistem *small wind turbine*, maka dalam penelitian ini dapat dirumuskan menjadi beberapa masalah sebagai berikut:



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1. Mengimplementasikan pemodelan sistem MPPT dengan menggunakan kontrol *fuzzy logic*. Pemodelan ini digunakan untuk pengembangan strategi kontrol sebelum diimplementasi pada perangkat keras
2. Mendesain kontroler MPPT pada aplikasi *small wind turbine* dengan menggunakan *permanent magnet synchronous generator (PMSG)* yang optimal dalam merespon fluktuasi angin.
3. Mengembangkan strategi kontrol MPPT dengan sistem kontrol *fuzzy logic* yang optimal pada *small wind turbine* untuk mengatur besaran arus dari generator *small wind turbine* ke MPPT, meskipun terjadi fluktuasi angin yang cepat.

1.3 Pertanyaan dan Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas yang telah diuraikan diatas maka pertanyaan dan tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini adalah :

1. Bagaimana cara mengimplementasikan kontrol *fuzzy logic* kedalam MPPT pada emulator PMSG?
2. Bagaimana cara mendesain kontroler MPPT pada aplikasi *small wind turbine* dengan menggunakan PMSG?
3. Bagaimana mengembangkan variabel pada *membership function fuzzy logic* sebagai strategi kontrol baru untuk mengoptimalkan pengaturan besaran arus dari generator *small wind turbine* ke MPPT?

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengimplementasikan hasil keluaran kontrol *fuzzy logic* dari LabVIEW ke MPPT pada emulator PMSG
2. Melakukan rancang bangun controller MPPT untuk aplikasi *small wind turbine* dengan menggunakan PMSG
3. Pengembangan jumlah variabel pada *membership function fuzzy logic* sebagai strategi kontrol baru pada MPPT



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

1.4 Metode Penelitian

Pada penelitian ini digunakan metode kontrol *fuzzy logic* pada MPPT sebagai pengatur besaran arus pada PMSG *small wind turbine*. Dengan menambahkan jumlah variabel *membership fuction* pada metode kontroler MPPT *fuzzy logic*, diharapkan dapat meningkatkan efisiensi sistem MPPT melebihi dari hasil penelitian sebelumnya.

1.5 Batasan Penelitian

Adapun pada penelitian ini memiliki batasan masalah sebagai berikut:

1. Memimplementasikan kontrol *fuzzy logic* pada MPPT untuk *Permanent Magnet Synchronous Generator (PMSG)* di *small wind turbine*.
2. Mendesain dan membuat modul MPPT untuk PMSG di *small wind turbine*.
3. Pengujian efisiensi dan respon MPPT terhadap fluktuasi angin pada PMSG di *small wind turbine*.

1.6 Manfaat Penelitian

Manfaat dari melakukan penelitian ini adalah:

1. Hasil penelitian ini dapat meningkatkan performansi dari sistem *small wind turbine* untuk angin yang fluktuatif
2. Penelitian ini akan menghasilkan *prototype* jenis kontroler MPPT dengan metode *fuzzy logic*.
3. Penelitian ini dapat dijadikan *benchmark* yang bisa diaplikasikan dengan kondisi angin yang fluktuatif dan jenis wind turbin lainnya

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

BAB 5

SIMPULAN DAN SARAN

5.1 Simpulan

Setelah melakukan penelitian, dan analisa pembahasan terhadap hasil penelitian optimalisasi MPPT pada *small wind turbine* , maka dapat dibuat simpulan sebagai berikut :

1. Emulator PMSG yang telah dibangun masih belum bisa mensimulasikan kecepatan angin rendah, yang mana mewakili kondisi angin di Indonesia yaitu 2.5m/s sampai 6m/s, hal ini disebabkan oleh torsi motor 3 phase terlalu kecil sehingga sering terjadi limitasi pengukuran oleh inverter, dan emulator ini hanya mampu berputar lebih dari 1000 RPM
2. Hasil MPPT tidak mengeluarkan *output* nilai power yang stabil, dikarenakan torsi motor 3 phase yang tidak stabil yang diakibatkan oleh pembebanan dari PMSG dan *misalignment* pada coupling. sehingga kurang adanya *feedback* pembacaan dari motor 3 phase mengakibatkan ketidakpastian rotasi yang diterima oleh PMSG.
3. Pemrosesan *fuzzy logic* pada MPPT dengan data *real* dari emulator menunjukkan bahwa kenaikan jumlah dari variabel pada *membership function*, yaitu penambahan dua *fuzzy membership function negative big* (NB), dan *positive small* (PS) tersebut mampu meningkatkan performansi sistem.

5.2 Saran

Pada penelitian selanjutnya, sebaiknya mengganti motor 3 phase dengan torsi yang lebih besar sehingga pembebanan PMSG tidak berpengaruh pada kecepatan motor 3 phase, menambahkan control kecepatan motor 3 phase dengan *feedback encoder*, mengganti inverter disesuaikan dengan spesifikasi motor 3 phase bertorsi besar, pada RPM rendah, dan mengkalibrasi kesejajaran coupling antara motor 3 phase dan PMSG

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengumumkan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Daftar Pustaka

- [1] S. Martosaputro and N. Murti, "Blowing the wind energy in Indonesia," *Energy Procedia*, vol. 47, pp. 273–282, 2014, doi: 10.1016/j.egypro.2014.01.225.
- [2] P. Meteorologi, P. Instrumentasi, P. Betung, and T. Selatan, "Pemanfaatan wrf-arw untuk simulasi potensi angin sebagai sumber energi di teluk bone," *J. Mater. dan Energi Indones.*, vol. 05, no. 02, pp. 17–23, 2015.
- [3] M. Ootong and R. M. Bajuri, "Maximum Power Point Tracking (MPPT) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Buck-Boost Converter," *Tek. Elektro*, vol. 5, no. 2, p. 8, 2016.
- [4] G. D'Amico, F. Petroni, and F. Prattico, "First and second order semi-Markov chains for wind speed modeling," *Phys. A Stat. Mech. its Appl.*, vol. 392, no. 5, pp. 1194–1201, 2013, doi: 10.1016/j.physa.2012.11.022.
- [5] Q. Hu, P. Su, D. Yu, and J. Liu, "Pattern-based wind speed prediction based on generalized principal component analysis," *IEEE Trans. Sustain. Energy*, vol. 5, no. 3, pp. 866–874, 2014, doi: 10.1109/TSTE.2013.2295402.
- [6] F. O. Hocaoglu, O. N. Gerek, and M. Kurban, "The effect of markov chain state size for synthetic wind speed generation," *Int. Conf. Probabilistic Methods Appl. to Power Syst. PMAPS 2008*, pp. 113–116, 2008.
- [7] G. Wibisono, S. Hadi, and M. Aziz, "MPPT Menggunakan Metode Hibrid JST dan Photovoltaic," vol. 8, no. 2, pp. 181–186, 2014.
- [8] R. Syahputra and I. Soesanti, "Performance improvement for small-scale wind turbine system based on maximum power point tracking control," *Energies*, vol. 12, no. 20, 2019, doi: 10.3390/en12203938.
- [9] R. I. Putri, M. Rifai, M. Pujiantara, A. Priyadi, and M. H. Purnomo, "Fuzzy MPPT controller for small scale stand alone PMSG wind turbine," *ARNP J.*



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

Eng. Appl. Sci., vol. 12, no. 1, pp. 188–193, 2017.

- [10] A. Sharma and D. K. Arya, “Maximum Power Point Tracking Control for Wind Energy Conversion System Using PID Controller and Fuzzy Logic,” vol. 6, no. 10, pp. 231–237, 2017, doi: 10.17148/IJARCCE.2017.61041.
- [11] D. Zammit, C. Spiteri Staines, A. Micallef, and M. Apap, “MPPT with current control for a PMSG small wind turbine in a grid-connected DC microgrid,” *Green Energy Technol.*, vol. PartF10, no. January 2018, pp. 205–219, 2018, doi: 10.1007/978-3-319-74944-0_14.
- [12] D. Akbar, “Perhitungan Tahanan Pentanahan Gardu 2 Di Politeknik Negeri Sriwijaya,” 2016.
- [13] P. . A.R. Jha, *Wind Turbine Technology*. 2011.
- [14] K. S. Wu Bin, Lang Y., Zargari N., *Power Conversion And Control of Wind Energy System*. 2011.
- [15] A. W. Manyonge, R. M. Ochieng, F. N. Onyango, and J. M. Shichikha, “Mathematical modelling of wind turbine in a wind energy conversion system: Power coefficient analysis,” *Appl. Math. Sci.*, vol. 6, no. 89–92, pp. 4527–4536, 2012, doi: 10.15373/22778179/APR2013/50.
- [16] V. Yaramasu, S. Kouro, A. Dekka, S. Alepuz, J. Rodriguez, and M. J. Duran, “Power Conversion and Predictive Control of Wind Energy Conversion Systems,” in *Power Systems*, 2019, pp. 113–139.
- [17] Y. I. Nakhoda and C. Saleh, “Rancang Bangun Kincir Angin Sumbu Vertikal Pembangkit Tenaga Listrik Portabel,” *Semin. Nas. Sains dan Teknol. Terap. III*, pp. 59–68, 2015.
- [18] R. I. Putri, “Pengembangan Strategi Kontrol Optimal pada PMSG Wind Turbine melalui Sistem Penyimpan Energi Berbasis Algoritma Swarm Intelligence,” 2017.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang menggunakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

- [19] F. Castellani, D. Astolfi, M. Peppoloni, F. Natili, D. Buttà, and A. Hirschl, “Experimental vibration analysis of a small scale vertical wind energy system for residential use,” *Machines*, vol. 7, no. 2, pp. 1–19, 2019, doi: 10.3390/machines7020035.
- [20] N. A. Hidayatullah and H. N. K. Ningrum, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker,” *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 1, no. 1, pp. 7–12, 2017, doi: 10.32486/jeecae.v1i1.5.
- [21] N. A. Hidayatullah and H. N. K. Ningrum, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Turbin Sumbu Horizontal dengan Menggunakan Metode Maximum Power Point Tracker,” *JEECAE (Journal Electr. Electron. Control. Automot. Eng.)*, vol. 1, no. 1, 2017, doi: 10.32486/jeecae.v1i1.5.
- [22] H. Cahyo Prasetyo, “Optimalisasi Daya Pembangkit Listrik Tenaga Angin Menggunakan Maximum Power Point Tracker (Mppt) Dengan Metode Perturb and Observe (P&O),” *J. Tek. Elektro*, vol. 7, no. 02, 2018.
- [23] M. Karbakhsh, H. Abutorabi, and A. Khazaei, “An enhanced MPPT fuzzy control of a wind turbine equipped with permanent magnet synchronous generator,” *2012 2nd Int. eConference Comput. Knowl. Eng. ICCKE 2012*, pp. 77–82, 2012, doi: 10.1109/ICCKE.2012.6395356.
- [24] Y. Lakhal, F. Z. Baghli, and L. El Bakkali, “Fuzzy Logic Control Strategy for Tracking the Maximum Power Point of a Horizontal Axis Wind Turbine,” *Procedia Technol.*, vol. 19, pp. 599–606, 2015, doi: 10.1016/j.protcy.2015.02.085.
- [25] A. G. Aissaoui, A. Tahour, M. Abid, N. Essounbouli, and F. Nollet, “Power control of wind turbine based on fuzzy controllers,” *Energy Procedia*, vol.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Dilarang mengutip dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

42, pp. 163–172, 2013, doi: 10.1016/j.egypro.2013.11.016.

- [26] A. El Yaakoubi, A. Asselman, A. Djebli, and E. H. Aroudam, “A MPPT Strategy Based on Fuzzy Control for a Wind Energy Conversion System,” *Procedia Technol.*, vol. 22, pp. 697–704, 2016, doi: 10.1016/j.protcy.2016.01.145.
- [27] A. G. Aissaoui, A. Tahour, N. Essounbouli, F. Nollet, M. Abid, and M. I. Chergui, “A Fuzzy-PI control to extract an optimal power from wind turbine,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 65, pp. 688–696, 2013, doi: 10.1016/j.enconman.2011.11.034.
- [28] M. Abrori and A. H. Prihamayu, “Aplikasi LogMetode Mamdani Dalam Pengambilan Keputusan Penentuan Jumlah Produksi,” *Kaunia*, vol. XI, no. 2, pp. 91–99, 2015.
- [29] M. Nasiri, J. Milimonfared, and S. H. Fathi, “Modeling, analysis and comparison of TSR and OTC methods for MPPT and power smoothing in permanent magnet generator-based wind turbines,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 86, pp. 892–900, 2014, doi: 10.1016/j.enconman.2014.06.055.
- [30] H. Q. Minh, N. C. Cuong, and T. Nguyenchau, “A fuzzy-logic based MPPT method for stand-alone wind turbine system,” no. 9, 2014.
- [31] M. Effendy, “(Maximum Power Point Tracker) Pada Sistem Pembangkit Listrik Tenaga Angin (Pltb),” *Tek. Elektro Univ. Muhammadiyah Malang*, vol. 4, p. 5, 2015.
- [32] D. A. Ernadi and M. Pujiantara, “Desain Maximum Power Point Tracking Untuk Turbin Angin Menggunakan Modified Perturb & Observe (P&O) Berdasarkan Prediksi Kecepatan Angin,” *J. Tek. ITS*, vol. 5, no. 2, 2016, doi: 10.12962/j23373539.v5i2.16170.



Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :

a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.

b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta

2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

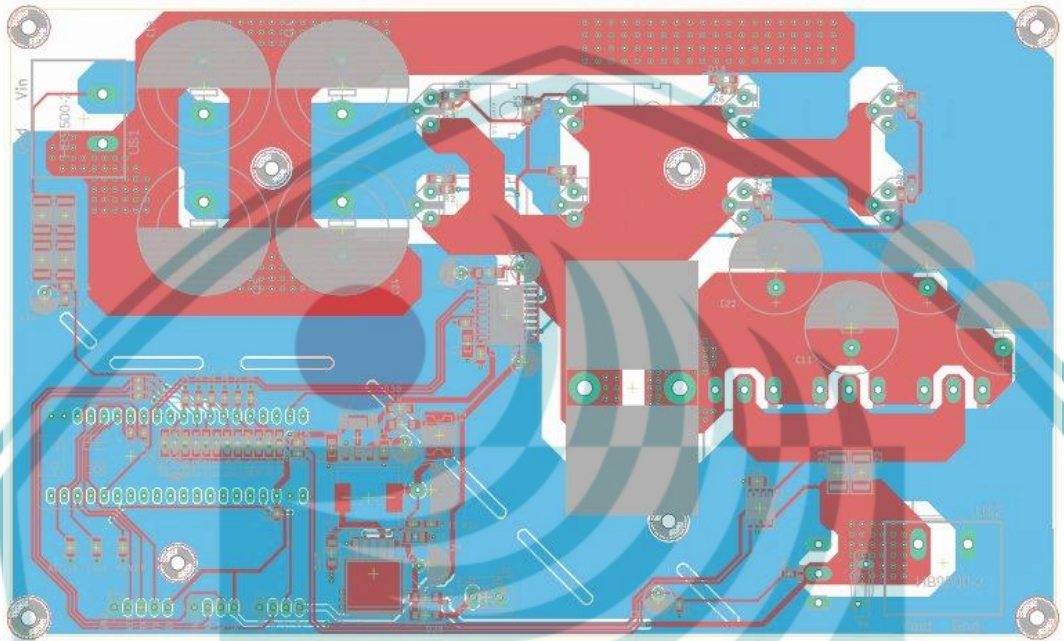
- [33] O. Zebraoui and M. Bouzi, "Comparative study of different MPPT methods for wind energy conversion system," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 161, no. 1, 2018, doi: 10.1088/1755-1315/161/1/012023.
- [34] A. K. S. M. M. Moosavi, *Fundamental Research in Electrical Engineering*, vol. 480. Springer Singapore, 2019.
- [35] A. R. Youssef, M. M. M. Ali, G. T. Abdel-Jaber, and A. S. Ali, "Control of wind turbine for Variable Speed Based on auto-tuning Fuzzy-PI Controller," *IEEE Conf. Power Electron. Renew. Energy, CPERE 2019*, pp. 63–68, 2019, doi: 10.1109/CPERE45374.2019.8980147.
- [36] J. Chen, T. Lin, C. Wen, and Y. Song, "Design of a Unified Power Controller for Variable-Speed Fixed-Pitch Wind Energy Conversion System," *IEEE Trans. Ind. Electron.*, vol. 63, no. 8, pp. 4899–4908, 2016, doi: 10.1109/TIE.2016.2547365.
- [37] J. C. Y. Hui, A. Bakhshai, and P. K. Jain, "A Sensorless Adaptive Maximum Power Point Extraction Method With Voltage Feedback Control for Small Wind Turbines in Off-Grid Applications," *IEEE J. Emerg. Sel. Top. Power Electron.*, vol. 3, no. 3, pp. 817–828, 2015, doi: 10.1109/JESTPE.2015.2432677.

Hak Cipta :

1. Dilarang mengutip sebagian atau seluruh karya tulis ini tanpa mencantumkan dan menyebutkan sumber :
 - a. Pengutipan hanya untuk kepentingan pendidikan, penelitian, penulisan karya ilmiah, penulisan laporan, penulisan kritik atau tinjauan suatu masalah.
 - b. Pengutipan tidak merugikan kepentingan yang wajar Politeknik Negeri Jakarta
2. Dilarang mengemukakan dan memperbanyak sebagian atau seluruh karya tulis ini dalam bentuk apapun tanpa izin Politeknik Negeri Jakarta

Lampiran

Rangkaian PCB MPPT (*Buck Converter*)



Rangkaian PCB Relay & Rectifier MPPT

