

Perancangan adalah kegiatan awal dari suatu rangkaian kegiatan dalam proses pembuatan produk. Dalam merancang, seorang perancang memakai dan memanfaatkan ilmu pengetahuan, ilmu dasar teknik, pengetahuan empiris, hasil-hasil penelitian, informasi dan teknologi.

Perancangan dan pembuatan produk adalah kegiatan manunggal, artinya rancangan hasil perancang tidak berguna bila tidak dibuat. Berdasarkan hal tersebut hasil akhir perancang adalah gambar rancangan produk, dan merupakan titik awal pembuatan produk oleh manufacturing engineer.

Buku ini kumpulan dari hasil penelitian ilmu rekayasa keteknikan dan teknologi informasi terapan dengan harapan melalui buku ini akan membantu mengembangkan teknologi di bidang dan teknik dan teknologi informasi.

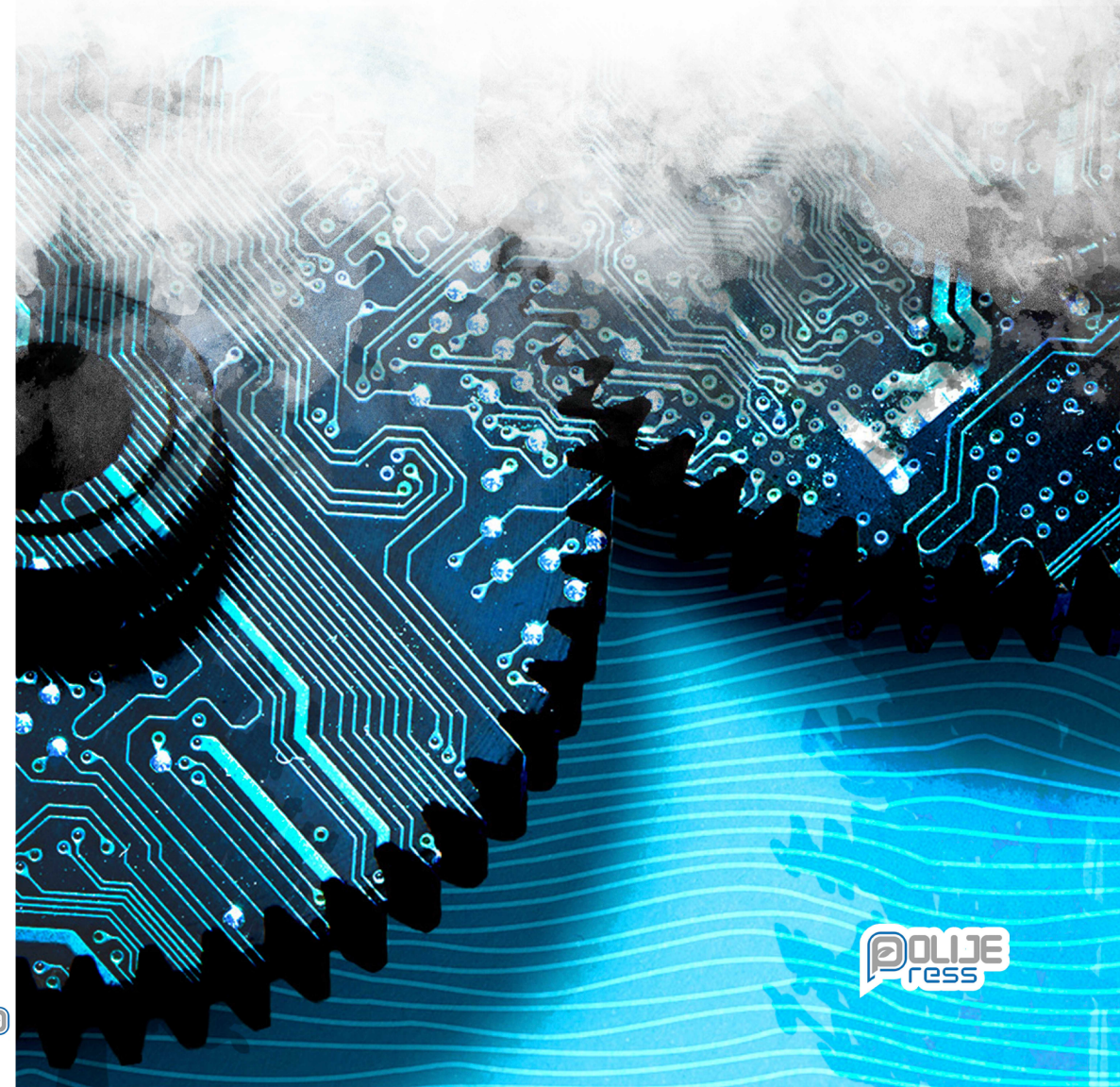
ISBN 978-623-6917-20-6



Penerbit :  
Polije Press  
Politeknik Negeri Jember  
No. anggota IKAPI : 243/anggotaluarbiasa/JTI/2020  
No. anggota APPTI : 002.109.1.03.2020

# BOOK CHAPTER

## *Rekayasa Keteknikan Dan Teknologi Informasi Terapan*



# **BOOK CHAPTER**

## **REKAYASA KETEKNIKAN DAN TEKNOLOGI INFORMASI TERAPAN**



## Hak Cipta

Sanksi Pelanggaran Pasal 113 Undang-undang Republik Indonesia Nomor 28 Tahun 2014 Tentang Hak Cipta.

1. Setiap Orang yang dengan tanpa hak melakukan pelanggaran hak ekonomi sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf i untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 1 (satu) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp100.000.000 (seratus juta rupiah).
2. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf c, huruf d, huruf f, dan/atau huruf h untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 3 (tiga) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp500.000.000,00 (lima ratus juta rupiah).
3. Setiap Orang yang dengan tanpa hak dan/atau tanpa izin Pencipta atau pemegang Hak Cipta melakukan pelanggaran hak ekonomi Pencipta sebagaimana dimaksud dalam Pasal 9 ayat (1) huruf a, huruf b, huruf e, dan/atau huruf g untuk Penggunaan Secara Komersial dipidana dengan pidana penjara paling lama 4 (empat) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp1.000.000.000,00 (satu miliar rupiah).
4. Setiap Orang yang memenuhi unsur sebagaimana dimaksud pada ayat (3) yang dilakukan dalam bentuk pembajakan, dipidana dengan pidana penjara paling lama 10 (sepuluh) tahun dan/atau pidana denda paling banyak Rp4.000.000.000,00 (empat miliar rupiah).

# **BOOK CHAPTER REKAYASA KETEKNIKAN DAN TEKNOLOGI INFORMASI TERAPAN**

Copyright ©2022 pada Polije Press

## **Redaksi :**

Jalan Mastrip PO. BOX 164 Jember 68101

Telp : 0331 333532, 333533

Fax : 0331 333531

Email : polijepress@polije.ac.id

Penulis : Azamataufiq B.; Rika Yuliana;  
Moch.Irwan Nari; Alex T. Zain;  
Dedy Eko R.; Bayu Rudianto;  
Taufiq Rizaldi.  
Editor : Hendra Yufit Riskiawa  
Desain Cover : Rindha Rentina Darah Pertama  
Desain Layout : Rindha Rentina Darah Pertama

**ANGGOTA IKAPI & APTTI**

Hak Cipta Dilindungi Oleh Undang-Undang

Dilarang mengutip atau memperbanyak sebagian atau Seluruh isi buku  
ini Tanpa izin tertulis dari penerbit.

**KATALOG DALAM TERBITAN**

Poliye Press

Book Chapter: Rekayasa Keteknikan Dan Teknologi

Informasi Terapan

x + 89 hlm; 18,2 x 25,7 cm

ISBN : 978-623-6917-20-6

Cetakan Pertama Juni 2022

# PRAKATA

Alhamdulillah, akhirnya Bunga Rampai dengan tema “Rekayasa Keteknikan Dan Teknologi Informasi Terapan” ini dapat diselesaikan oleh Tim Penulis dan diterbitkan oleh Polije Press. Buku ini merupakan karya cetak dari Polije Press yang merupakan satu unit yang baru dibentuk di Politeknik negeri Jember untuk mewadahi hasil karya tulis dari bapak ibu dosen serta mahasiswa.

Ada beberapa alasan yang mendorong didirikannya Polije Press. Pertama, perlu adanya wadah yang bisa menampung aspirasi dari kaum cendekiawan di kampus Politeknik Negeri Jember dalam mengembangkan keilmuan nya serta menularkan kepada generasi penerus melalui tulisan-tulisan atau karya ilmiah.

Alasan kedua adalah kehadiran Bunga Rampai ini diharapkan akan memberikan sumbangan signifikan dalam upaya peningkatan kualitas Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat di Politeknik Negeri Jember. Apalagi, peningkatan kualitas Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat adalah salah satu bagian komitmen penting Politeknik Negeri Jember dalam rangka mewujudkan pendidikan tinggi yang berkualitas bagi masyarakat Indonesia.

Dengan adanya Bunga Rampai ini, diharapkan civitas akademika akan lebih mudah dalam mengikuti perkembangan di dunia penelitian. Tentunya, buku ini telah dikaji secara mendalam oleh Tim Editor Naskah Politeknik Negeri Jember dan disusun sesuai dengan Rencana Induk Riset yang ditetapkan oleh Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) Politeknik Negeri Jember. Atas kontribusi tersebut, kami ucapkan terima kasih. Mudah-mudahan kita dapat memberikan yang terbaik bagi kemajuan dunia pendidikan dalam rangka mempersiapkan generasi seratus tahun Indonesia Merdeka (2045).

Jember, Januari 2022

**Penerbit**

# DAFTAR ISI

<b>PRAKATA .....</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>viii</b>
<b>Analisis Aerodinamika Pada Perancangan Mobil Listrik Model Kendaraan Tembakau Style M-164 Dengan Metode Computational Fluid Dynamic .....</b>	<b>1</b>
1. PENGANTAR.....	2
2. METODE DAN BAHAN.....	4
3. HASIL & PEMBAHASAN .....	5
3.1 Tekanan fluida maksimum .....	6
3.2 Gaya Hambat (Drag).....	8
3.3 Koefisien <i>Drag</i> ( $C_D$ ).....	9
4. KESIMPULAN.....	10
5. PERSEMBAHAN .....	11
6. DAFTAR PUSTAKA.....	11
<b>KAJIAN FAKTOR DUKUNGAN ORGANISASI DALAM RANGKA PENINGKATAN EFEKTIVITAS PELAKSANAAN E-GOVERNMENT DI INDONESIA.....</b>	<b>13</b>
1. PENDAHULUAN.....	13
2. FUNCTIONAL SIMPLIFICATION AND CLOSURE .....	14
3. TECHNOLOGY DIFFUSION PROCESS.....	16
4. POLICY REFORM AND INNOVATION .....	18
5. DIGITAL CAPACITY AND PERFORMANCE MEASUREMENT .....	20
6. IMPLIKASI TERHADAP RANCANGAN <i>E-GOVERNMENT</i> INDONESIA DI MASA DEPAN.....	23
7. KESIMPULAN.....	24
8. DAFTAR PUSTAKA.....	25
<b>PERANCANGAN HELM PINTAR UNTUK PENGENDARA SEPEDA MOTOR BERBASIS SENSOR MPU-6050 .....</b>	<b>27</b>
1. PENDAHULUAN.....	28
2. PEMBAHASAN .....	28
2.1 Metode.....	28
3. PENUTUP .....	35
4. DAFTAR PUSTAKA.....	35
<b>Simulasi Sistem Kendali Kecepatan Putar Rotor Berbasis Fuzzy-PI pada Model Turbin Angin Sumbu Horisontal Skala Kecil .....</b>	<b>37</b>
1. PENDAHULUAN.....	38
2. METODE.....	39
2.1 Pemodelan Turbin Angin.....	39
2.2 Sistem Kendali .....	40
3. HASIL DAN DISKUSI.....	43

4. KESIMPULAN .....	45
5. DAFTAR PUSTAKA .....	46
<b>INVESTIGASI KINERJA MESIN PENDINGIN RUANGAN SISTEM REFRIGERASI MENGGUNAKAN R32 BERDASARKAN SUHU UDARA EVAPORATOR .....</b>	<b>49</b>
1. PENDAHULUAN .....	50
2. METODE DAN BAHAN .....	52
2.1 Bahan dan alat .....	52
2.2 Metode .....	52
3. HASIL DAN DISKUSI .....	56
4. KESIMPULAN .....	60
5. PERNYATAAN TERIMA KASIH .....	60
6. DAFTAR PUSTAKA .....	61
<b>ANALISIS PERBANDINGAN VARIASI FLUIDA PENDINGIN BERUPA MINERAL OIL DAN VIRGIN COCONUT OIL (VCO) TERHADAP PERFORMA IMMERSION COOLING PADA CENTRAL PROCESSING UNIT.....</b>	<b>63</b>
1. PENDAHULUAN .....	64
2. LANDASAN TEORI .....	64
2.1 Central Processing Unit (CPU). .....	64
2.2 Pindah Panas Konveksi. ....	65
2.3 Immersion Cooling. ....	65
2.4 Virgin Coconut Oil (VCO). ....	66
2.5 Mineral Oil. ....	66
3. METODE PENELITIAN .....	67
3.1 Rancangan Penelitian. ....	67
3.2 Alat dan Bahan. ....	67
3.3 Teknik Pengumpulan Data. ....	68
3.4 Prosedur Penelitian. ....	69
4. HASIL DAN PEMBAHASAN .....	69
4.1 Temperatur CPU dengan Pendinginan Konvensional .....	70
4.2 Temperatur CPU dengan <i>Immersion Cooling</i> VCO .....	70
4.3 Temperatur CPU dengan <i>Immersion Cooling</i> Mineral Oil.....	71
4.4 Temperatur VCO pada Saluran Inlet dan Outlet.....	71
4.5 Evaluasi Temperatur CPU .....	73
4.6 Evaluasi Temperatur Inlet dan Outlet.....	74
5. KESIMPULAN .....	75
6. DAFTAR PUSTAKA .....	75
<b>ALGORITMA FUZZY C-MEANS CLUSTERING PADA COMPUTER BASED TEST .....</b>	<b>77</b>
1. PENDAHULUAN .....	78
2. METODE DAN BAHAN .....	79
2.1 Metode .....	79
2.2 Alat dan Bahan Kegiatan .....	80



3. HASIL DAN DISKUSI.....	80
3.1 Analisis Kebutuhan Sistem .....	80
3.2 Pengumpulan Data.....	80
3.3 Desain Sistem .....	81
3.4 Evaluasi.....	83
3.5 Implementasi User .....	83
3.6 Pengujian .....	87
4. KESIMPULAN.....	88
5. PERSEMBAHAN .....	88
6. DAFTAR PUSTAKA.....	88

# Simulasi Sistem Kendali Kecepatan Putar Rotor Berbasis Fuzzy-PI pada Model Turbin Angin Sumbu Horizontal Skala Kecil

**Alex  
Taufiqurrohman  
Zain**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Politeknik Negeri Jember  
Jurusan Teknik  
Alextaufiqurrohman@polije  
.ac.id

**Ali Musyafa'**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember  
Departemen Teknik Fisika  
musyafa@ep.its.ac.id

**Brian Raafi'u**

Tenaga Pengajar (Dosen)  
Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember  
Departemen Teknik  
Instrumentasi  
brianvani1@gmail.com

**Muhammad  
Khamim Asy'ari**

Mahasiswa S3  
Institut Teknologi Sepuluh  
Nopember  
Departemen Teknik Fisika  
muhammad.khamim11@m  
hs.ep.its.ac.id

*Konsumsi energi menggunakan sumber energi terbarukan tenaga angin telah berkembang. Turbin angin sumbu horizontal (HAWT) adalah jenis turbin angin yang dapat digunakan di daerah dengan kecepatan angin rendah atau tinggi. Turbin angin sumbu horizontal dengan tiga sudu sering digunakan karena memiliki putaran rotor yang tinggi. Sistem kendali merupakan faktor penting dalam meningkatkan konversi energi angin menjadi energi listrik. Salah satu sistem kendali yang diperlukan adalah sistem kendali kecepatan putaran rotor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan antara sinyal tanggapan dari sistem kendali PI terhadap Ssistem kendali Fuzzy-PI. Dengan menggunakan metode direct-synthesis, parameter PI dapat dihasilkan meliputi  $K_p = -0,02$  dan  $K_i = -0,005803$ . Sistem lingkaran terbuka pada pemodelan turbin angin menghasilkan kecepatan putaran rotor sebesar 166,4 RPM pada kecepatan angin 2 m/s dan sudut pitch  $0^\circ$ . Penelitian ini menyimpulkan bahwa sistem kendali Fuzzy-PI memiliki performa yang lebih baik dari pada sistem kendali PI. Hal ini ditunjukkan dengan waktu tunda, waktu naik, waktu puncak, dan waktu tunak, lebih cepat dibandingkan sistem kendali PI (0,33s berbanding 1,071s; 0,66s berbanding 2,889s; 1,375s berbanding 6,176s; dan 2,593s berbanding 15,051s). Sedangkan nilai maximum overshoot sistem kendali Fuzzy-PI 6,724% berbanding 24,704% dari sistem kendali PI.*

**Kata kunci:** Metode direct-synthesis; Sistem kendali Fuzzy-PI; Turbin angin sumbu horizontal;

## 1. PENDAHULUAN

Hampir semua sektor kehidupan baik industri, rumah tangga, transportasi, dan jasa tidak bisa dipisahkan dari energi listrik. Saat ini sumber energi listrik tidak hanya berasal dari pengolahan batu bara yang tidak dapat diperbarui. Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi terkini memungkinkan sumber energi listrik berasal dari angin, matahari, panas bumi, dan lain sebagainya yang bersifat baru dan terbarukan [1]. Turbin angin merupakan alat yang digunakan untuk mengkonversi energi kinetik angin menjadi energi listrik [2,3]. Secara sederhana, turbin angin menggunakan sudu untuk mengekstraksi energi kinetik angin. Selanjutnya rotor yang sebelumnya sudah terhubung dengan generator akan berputar untuk menghasilkan energi listrik. Sehingga, energi listrik yang dihasilkan sangat bergantung pada fluktuasi energi kinetik angin serta hasil ekstraksinya [4]. Turbin angin skala kecil sangat sesuai jika digunakan untuk mengatasi krisis energi listrik di daerah terpencil atau daerah kepulauan kecil [5]. Turbin angin sumbu horizontal modern untuk skala kecil terdiri dari dua atau tiga buah sudu dengan diameter antara 1 m – 3 m [6].

Persamaan model aerodinamik memungkinkan untuk menghitung daya mekanik yang dihasilkan. Ada dua parameter yang diperlukan untuk menentukan efisiensi turbin angin. Parameter pertama adalah koefisien daya ( $C_p$ ) yang merupakan perbandingan antara daya *output* turbin ( $P_m$ ) dengan daya *input* turbin ( $P_{wt}$ ). Secara matematis  $C_p$  dapat dituliskan sesuai persamaan berikut.

$$C_p = c_1 \left( \frac{c_2}{\lambda_i} - c_3 \beta - c_4 \right) e^{\frac{-c_5}{\lambda_i}} + c_6 \lambda \quad (1)$$

Dimana:

- $C_p$  = Koefisien daya
- $\beta$  = Sudut baling-baling
- $C_1$  s.d  $C_6$  = Koefisien turbin

Koefisien  $C_1$  hingga  $C_6$  merepresentasikan diameter rotor, konstanta bahan turbin, besar sumbu rotor, rasio gardan kecepatan rendah, rasio gardan kecepatan tinggi dan tingkat kelenturan bahan, secara berurutan. Koefisien ini berbeda-beda besarnya untuk jenis turbin yang berlainan [7,8].

Parameter selanjutnya adalah rasio kecepatan ujung (*Tip Speed Ratio*). Rasio ini merupakan perbandingan antara kecepatan putar poros turbin terhadap kecepatan angin. Secara matematis, nilai  $\lambda$  dapat dihitung berdasarkan persamaan berikut [7, 9, 10]:

$$\lambda = \frac{\omega r}{V_m} \quad (2)$$

Dimana:

- $\lambda$  = *Tip speed ratio*
- $\omega r$  = Kecepatan poros rotor (rad/s)
- $V_m$  = Kecepatan angin (m/s)

Strategi pengendali memainkan peran utama pada sistem konversi energi angin. Sistem kendali didasarkan pada *input* dari sinyal sensor yang berasal dari getaran, arus listrik, gelombang akustik, torsi, suhu dan putaran rotor [11]. Sistem pengendali turbin angin akan mengoptimalkan ekstraksi energi angin yang digunakan untuk menggerakkan rotor, serta konversi menjadi energi listrik yang dihasilkan.

Sistem kendali proporsional-integral (PI) konvensional memiliki karakteristik sebagai pengendali *fixed-gain feedback*. Oleh karena itu pengendali PI tidak dapat mengkompensasi variasi parameter pada proses dan tidak dapat menyesuaikan perubahan lingkungan. Sistem yang dikendalikan oleh pengendali PI kurang responsif terhadap perubahan yang relatif cepat dan *real*, sehingga sistem membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mencapai *set point* [12,13]. Oleh karena itu, pengendali dengan algoritma Fuzzy digunakan untuk mengatasi kendala tersebut. Algoritma Fuzzy mampu meningkatkan kinerja *tracking* dibandingkan dengan metode klasik baik untuk *linier load* maupun *nonlinier load*. Selain itu, logika fuzzy sangat sesuai untuk pengendali nonlinier [14, 15]. Karena turbin angin yang digunakan memiliki karakteristik *input* yang nonlinier, maka sistem kendali Fuzzy-PI bisa diterapkan. Sistem kendali ini pada dasarnya menggunakan sistem kendali PI konvensional namun untuk *tuning* parameter  $K_p$  dan  $K_i$  masing-masing menggunakan Logika Fuzzy [15-19]. Penelitian ini terbagi menjadi beberapa bagian, Bagian 1 terkait dengan Pendahuluan, Bagian 2 menjelaskan metode yang digunakan meliputi pemodelan turbin angin serta rancangan sistem kendali yang digunakan, temuan penelitian dibahas dalam Bagian 3, dan akhirnya, makalah ini ditutup dengan kesimpulan yang disajikan dalam Bagian 4.

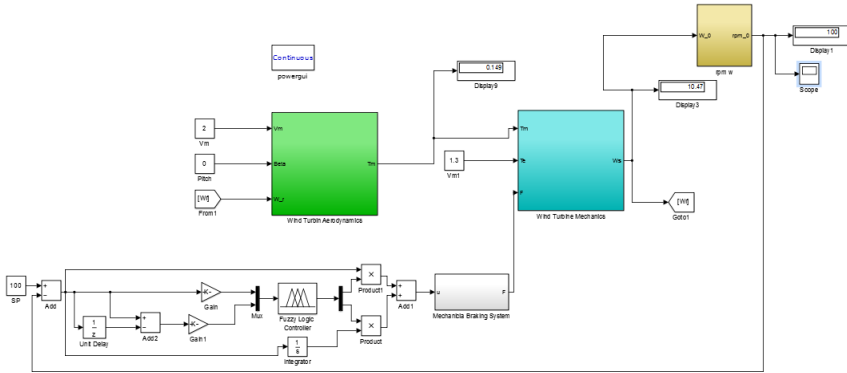
## 2. METODE

### 2.1 Pemodelan Turbin Angin

Penelitian ini menggunakan turbin angin sumbu horizontal dengan tiga sudu. Pemodelan turbin angin didasarkan pada sistem aerodinamik dan mekanik. Dalam simulasi ini, kecepatan angin yang digunakan adalah 2 m/s dan sudut pitch  $0^0$ . Ada dua bagian dari pemodelan ini yaitu bagian aerodinamik dan bagian mekanik. Adapun pemodelan turbin angin yang digunakan seperti yang tersaji di Gambar 1. Sedangkan parameter-parameter aerodinamik dan mekanik turbin angin adalah:

**Tabel 1:** Parameter Aerodinamik Turbin Angin

Parameter	Nilai
$\beta$	0
$C_1$	0.6450
$C_2$	116
$C_3$	0.4
$C_4$	5
$C_5$	21
$C_6$	0.00912

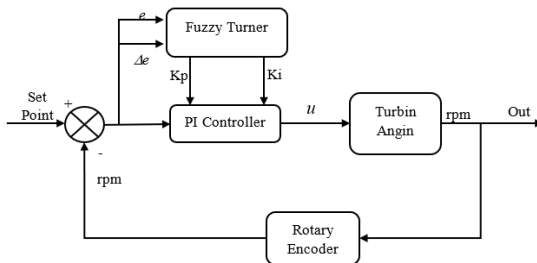


Gambar 1: Pemodelan sistem turbin angin

## 2.2 Sistem Kendali

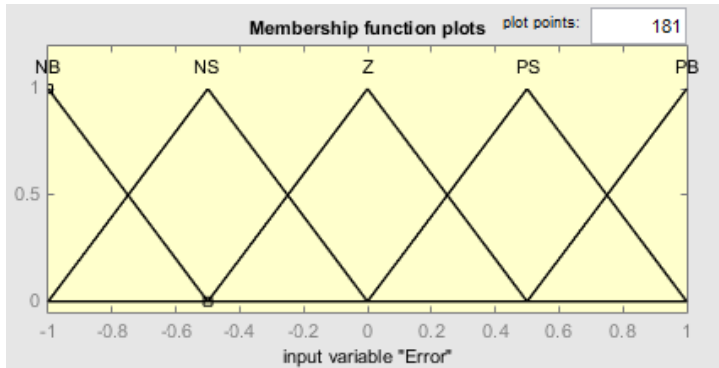
Penelitian ini menggunakan dua sistem kendali yang selanjutnya akan dibandingkan hasil tanggapan sistem lingkarannya. Adapun sistem kendali yang digunakan adalah sistem kendali Proportional Integral (PI) konvensional serta sistem kendali Proportional Integral dengan metode tuning berbasis Logika Fuzzy, yang selanjutnya disebut sebagai sistem kendali Fuzzy-PI. Sistem kendali PI dan Fuzzy-PI merupakan sistem kendali lingkaran tertutup. Nilai masukan dari sistem kendali adalah kecepatan putaran rotor (RPM). Kinerja sistem kendali Logika Fuzzy dapat ditingkatkan dengan memberikan dua variabel masukan. Adapun nilai *input* dari sistem kendali Logika Fuzzy adalah *error* dan *delta error* [17,18].

Penelitian ini menggunakan metode *direct-synthesis* untuk mendapatkan parameter kontroler PI. *Direct-synthesis* merupakan salah satu metode *tuning* PI yang membandingkan antara model *plant* yang diinginkan dengan model *plant* yang sebenarnya untuk mendapatkan parameter  $K_p$  dan  $K_i$  [12]. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa parameter  $K_p$  dan  $K_i$  yang diperoleh dari metode *direct-synthesis* adalah  $K_p = -0,02$  dan  $K_i = -0,005803$ . Untuk Sistem kendali konvensional, parameter  $K_p$  dan  $K_i$  tersebut langsung digunakan pada sistem kendali. Namun untuk sistem kendali Fuzzy-PI, parameter-parameter tersebut perlu dimasukkan ke dalam fungsi keanggotaan Logika Fuzzy [15]. Prinsip kerja sistem kendali Fuzzy-PI ditunjukkan oleh diagram blok seperti pada Gambar 1.



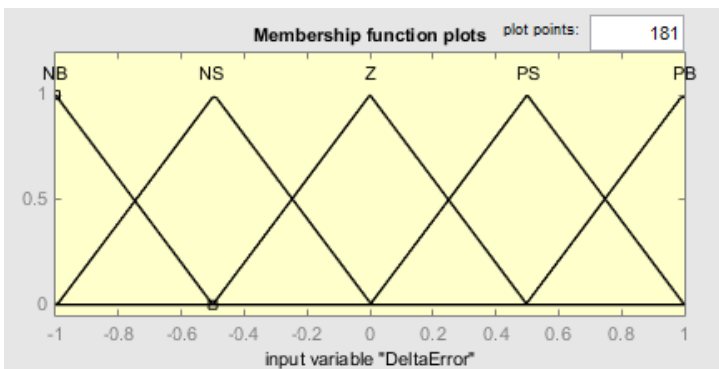
Gambar 2: Diagram blok sistem kendali Fuzzy-PI

Sistem kendali menggunakan Logika Fuzzy untuk menentukan nilai  $K_p$  dan  $K_i$  sebagai *tuning* PI. Logika Fuzzy menggunakan tipe Mamdani. Penggunaan metode ini diawali dengan proses *clustering* nilai-nilai *input* dan *output*. Ada dua variabel *input* dari Logika Fuzzy yaitu nilai *error* dan nilai *delta error*.



**Gambar 3:** Fungsi keanggotaan variabel *error*

Variabel *error* adalah perbedaan antara kecepatan putaran sebenarnya dari rotor terhadap *set point* (referensi). Sedangkan input yang kedua adalah *delta error* yang merupakan selisih antara *error* aktual saat ini dengan *error* aktual sebelumnya [15, 17]. Keanggotaan *error* dan *delta error* masing-masing berjumlah 5 anggota.

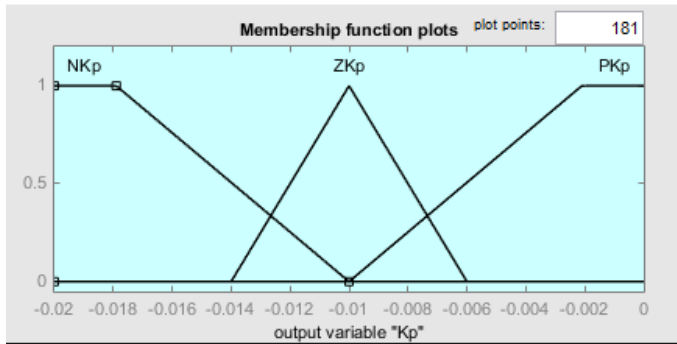


**Gambar 4:** Fungsi keanggotaan variabel *delta error*

Variabel *error* dan *delta error* memiliki fungsi keanggotaan yang sama, yaitu:

- Negative Big = [-1.5 -1.5 -1 -0.5]
- Negative Small = [-1 -0.5 0]
- Zero Error = [-0.5 0 0.5]
- Positive Small = [0 0.5 1]
- Positive Big = [0.5 1 1 1.5]

Parameter  $K_p$  dan  $K_i$  selanjutnya digunakan sebagai dasar untuk menyusun fungsi keanggotaan keluaran logika Fuzzy. Berikut merupakan fungsi keanggotaan dari parameter  $K_p$ :



**Gambar 5:** Fungsi keanggotaan parameter  $K_p$

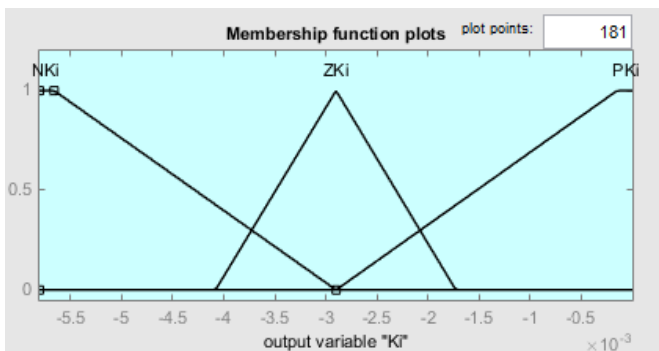
Dengan sebaran rentang nilai:

$$NK_p = [-0.02 \ -0.02 \ -0.0179 \ -0.01]$$

$$ZK_p = [-0.014 \ -0.01 \ -0.006]$$

$$PK_p = [-0.01 \ -0.0021 \ 0 \ 0]$$

Selain menerapkan sistem kendali proporsional, sistem kendali integral juga digunakan dalam penelitian ini. Sistem kendali integral digunakan untuk mengatasi kesalahan keadaan tunak dalam penelitian ini. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa sistem kendali integral memungkinkan pengontrol PI untuk menghilangkan *offset*, yaitu kelemahan utama sistem kendali proporsional [12,13]. Berikut adalah fungsi keanggotaan dari parameter  $K_i$ :



**Gambar 6:** Fungsi keanggotaan parameter  $K_i$

Dengan sebaran rentang nilai:

$$NK_i = [-0.005803 \ -0.005803 \ -0.00566 \ -0.0029]$$

$$ZK_i = [-0.00408 \ -0.0029 \ -0.001728]$$

$$PK_i = [-0.0029 \ -0.00015 \ 0 \ 0]$$

Hal penting lainnya yang perlu diperhatikan dari sistem kendali logika Fuzzy adalah penentuan *rule base*. *Rule base* akan menentukan tindakan sistem kendali yang diinginkan berdasarkan input yang diberikan [18]. *Rule base* sistem kendali logika Fuzzy dalam penelitian ini adalah:

**Tabel 2:** *Rule base* untuk parameter Kp

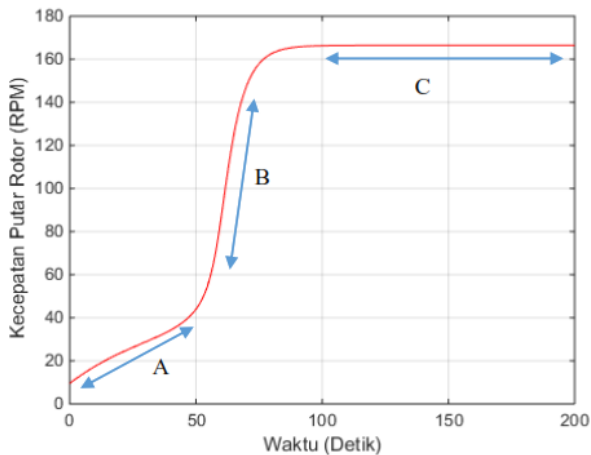
error	$\Delta$ error				
	NB	NS	ZE	PS	PS
NB	PK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>	ZK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>
NS	PK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>	ZK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>
ZE	NK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>
PS	NK <sub>p</sub>	NK <sub>p</sub>	ZK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>
PB	NK <sub>p</sub>	ZK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>	PK <sub>p</sub>

**Tabel 3:** *Rule base* untuk parameter Ki

error	$\Delta$ error				
	NB	NS	ZE	PS	PS
NB	PK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>	ZK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>
NS	PK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>	ZK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>
ZE	NK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>
PS	NK <sub>i</sub>	NK <sub>i</sub>	ZK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>
PB	NK <sub>i</sub>	ZK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>	PK <sub>i</sub>

### 3. HASIL DAN DISKUSI

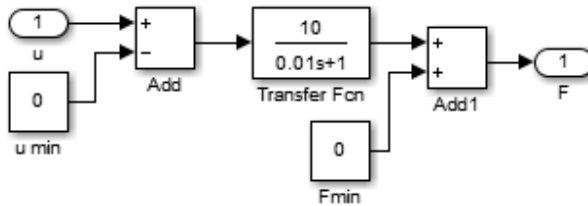
Hasil penelitian menunjukkan bahwa kecepatan putaran rotor adalah 166,4 RPM pada sistem lingkaran terbuka. Sistem lingkaran terbuka menunjukkan bahwa sistem dioperasikan tanpa sistem kendali apapun. Penelitian ini menambahkan sistem pengereman mekanik yang dirancang dan diimplementasikan untuk mengendalikan kecepatan putar dari turbin angin.



**Gambar 7:** Tanggapan sistem lingkaran terbuka

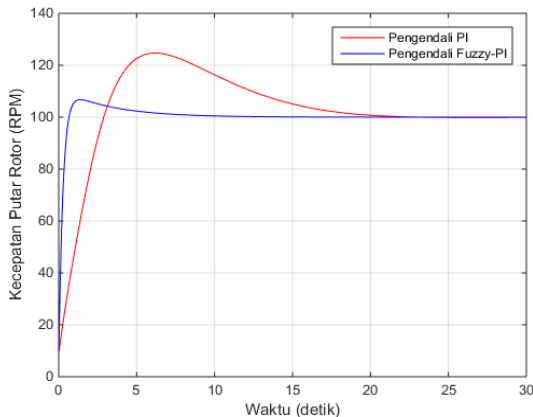


Terdapat tiga bagian dari Gambar 7 yaitu bagian A (keadaan transien 1), bagian B (keadaan transien 2) dan bagian C (keadaan *steady*). Adanya dua keadaan transien merupakan pengaruh dari ekstraksi energi angin yang tidak dapat terjadi secara konstan. Ekstraksi energi angin akan mulai memutar rotor secara perlahan (bagian A). Rotor akan berputar semakin cepat setelah mencapai waktu tertentu yang dipengaruhi oleh karakteristik turbin angin (bagian B). Energi mekanik berupa putaran rotor pada akhirnya akan berputar secara konstan pada waktu tertentu. Hal tersebut dapat dilihat pada bagian C. Sedangkan model sistem pengeraman yang digunakan, adalah sebagai berikut:



**Gambar 8:** Pemodelan sistem pengeraman mekanik turbin angin

Gambar 7 menunjukkan bahwa sistem turbin angin dioperasikan tanpa adanya gesekan dari sistem pengereman mekanis yang diinginkan. Sistem pengereman mekanis merupakan salah satu sistem yang mampu menstabilkan keluaran turbin angin, sistem tersebut akan mencegah keluaran yang berlebihan dengan mengendalikan kecepatan putar rotor pada kecepatan angin yang tinggi.



**Gambar 9:** Tanggapan sistem lingkaran tertutup pengendali PI dan Fuzzy-PI

Sistem pengereman mekanis yang dirancang menggunakan prinsip gaya gesek. Ketika kecepatan putaran rotor berlebih maka aktuatur akan semakin lama menekan rotor turbin angin. Sistem kendali secara otomatis akan selalu mengoreksi kecepatan angin agar kondisi tetap sesuai dengan *set point*.

Pada penelitian ini, tanggapan sistem lingkaran tertutup menunjukkan bahwa sistem kendali Fuzzy-PI memiliki kinerja yang lebih baik daripada ksistem kendali PI konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kendali logika Fuzzy dapat menangani sistem nonlinier seperti pada kasus putaran rotor turbin angin [14, 15].

Penggunaan sistem pengendali PI dan Fuzzy-PI pada simulasi *plant* turbin angin menghasilkan grafik performa seperti pada Gambar 9. Karakteristik kinerja meliputi: waktu tunda, waktu naik, waktu puncak, dan waktu turun, dari sistem pengendali Fuzzy-PI memiliki nilai yang lebih cepat dibandingkan dengan sistem pengendali PI. Nilai *maximum overshoot* (%) dari sistem pengendali Fuzzy-PI juga lebih kecil dibandingkan dengan sistem pengendali PI. Hasil penelitian tersebut sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh Riskitasari, *et al.* [17].

**Tabel 4:** Karakteristik kinerja sistem pengendali PI dan Fuzzy-PI pada Simulasi

Parameter	Pengendali PI	Pengendali Fuzzy-PI	Satuan
Waktu tunda	1,071	0,33	Second
Waktu naik	2,889	0,66	Second
Waktu puncak	6,176	1,375	Second
Waktu tunak	15,051	2,593	Second
Maximum Overshoot	24.704	6,724	%

#### 4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyajikan perbandingan simulasi sistem kendali PI dan Fuzzy-PI untuk pengendali kecepatan putar rotor pada turbin angin sumbu horizontal skala kecil. Sistem lingkaran terbuka menunjukkan bahwa kecepatan putaran rotor yang dihasilkan adalah 166,4 RPM sedangkan kecepatan angin adalah 2 m/s dan sudut *pitch* adalah  $0^0$ . Sistem kendali yang digunakan adalah sistem pengereman mekanis dengan prinsip gesekan. Sistem pengereman akan mengurangi kecepatan putaran rotor agar sesuai dengan *set point* (100 RPM). Parameter  $K_p$  dan  $K_i$  didapatkan dari metode *direct-synthesis* yakni  $K_p = -0,02$  dan  $K_i = -0,005803$ . Selanjutnya, untuk sistem kendali PI, parameter tersebut dapat langsung digunakan, sedangkan untuk sistem kendali Fuzzy-PI perlu dibuat fungsi keanggotaannya terlebih dahulu.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kedua sistem kendali mampu menahan kecepatan putar rotor turbin angin sesuai dengan *set point* yaitu 100 RPM. Namun demikian didasarkan pada karakteristik kinerja, sistem kendali Fuzzy-PI memiliki waktu tunda, waktu naik, waktu puncak dan waktu tunak yang lebih cepat dibandingkan dengan sistem kendali PI. Yakni: 0,33s berbanding 1,071s; 0,66s berbanding 2,889s; 1,375s berbanding 6,176s; dan 2,593s berbanding 15,051s. Sedangkan *maximum overshoot* yang dihasilkan adalah 6,724 % untuk sistem kendali Fuzzy-PI dan 24,704% untuk sistem kendali PI. Berdasarkan hal tersebut, penerapan sisten kendali Logika fuzzy dapat menangani sistem turbin angin yang bersifat nonlinier termasuk sistem kendali putaran rotor dan mengatur parameter PI untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik.

## 5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] SUHARIYANTO. 2020. *Neraca Energi Indonesia 2015-2019*. Jakarta: Badan Pusat Statistik.
- [2] TRAN, M.Q., LI, Y.C., LAN, C.Y., LIU, M.K., “Wind Farm Fault Detection by Monitoring Wind Speed in the Wake Region”, *Energies*, v. 13, 6559, December 2020, <https://doi.org/10.3390/en13246559>
- [3] ALIT, B.I., SUTANTO, R., MARA, I M., MIRMANTO., “Effect of Concentrator, Blade Diameter and Blade Number on the Savonius Wind Turbine Performance”, *Asian Journal of Applied Sciences*, v. 5, n. 2, pp 343-351, Apr 2017.
- [4] ASY'ARI, M.K., INDIRAWATI, K., NORIYATI, R.D., MUSYAFA', A. “Evaluation of Wind Turbine Installation and Development at Sidrap Wind Farm, South Sulawesi, Indonesia”, *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, v. 20, n. 5, pp. 66-73, Oct. 2020.
- [5] NORIYATI, R.D., MUSYAFA', A., RAHMADIANSAH A., UTAMA, A.S., ASY'ARI, M.K., ABDILLAH M., “Design and Implemented Buck-Boost Converter Based Fuzzy Logic Control on Wind Power Plant”, *International Journal of Mechanical & Mechatronics Engineering*, v. 20, n. 1, pp. 115-122, Feb. 2020.
- [6] ASY'ARI, M.K., MUSYAFA', A., INDIRAWATI, K., “Design of Wind Turbine Output Voltage Control Systems in Multi-Input Buck Converter Using Fuzzy Logic Control for Battery Charging”, In: *Proceedings of the International Conference on Advanced Mechatronics, Intelligent Manufacture and Industrial Automation*, pp. 249-252, Oct. 2019.
- [7] MARTINEZ-MARQUEZ, C.I., TWIZERE-BAKUNDA J.D., LUNDBACK-MOMPO, D., ORTS-GRAU S., GIMENO-SALES, F.J., SEGUI-CHILET, S., “Small Wind Turbine Emulator Based on Lambda-Cp Curves Obtained under Real Operating Conditions”, *Energies*, v. 12, 2456, Jun 2019, <https://doi.org/10.3390/en12132456>
- [8] TIAHJANA, D.D.D.P., PURBANINGRUM, P., HADI, S., WICAKSONO, Y.A., ADIPUTRA, D., “The Study of the Influence of the Diameter Ratio and Blade Number to the Performance of the Cross Flow Wind Turbine by Using 2D Computational Fluid Dynamics Modeling”, In: *Proceedings of the The 3rd International Conference on Industrial, Mechanical, Electrical, and Chemical Engineering AIP Conf. Proc.*, pp 1-5, Feb 2018.
- [9] SURESH, A., RAJAKUMAR, S. “Design of small horizontal axis wind turbine for low wind speed rural applications”, *Materials Today: Proceedings*, 2019, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2019.06.008>
- [10] SAWANT, M., THAKARE, S., RAO, P., FEIJOO-LORENZO, A.E., BOKDE, N.D., “A Review on State-of-the-Art Reviews in Wind-Turbine-

- and Wind-Farm-Related Topics”, *Energies*, v. 14, 2041, Apr 2021, <https://doi.org/10.3390/en14082041>
- [11] N. Wang, “Advanced Wind Turbine Control”, In: *Advanced Wind Turbine Technology* 1 ed., chapter 10, Switzerland: Springer International Publishing.
- [12] HUSNAINI, I., KRISMADINATA., “Komparasi Pengendali PI dan PID untuk Tegangan Keluaran Konverter Buck”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro*, v. 6, n. 3, Sep 2017, <https://doi.org/10.20449/jnte.v6i3.387>
- [13] FERDIANSYAH, I., IRIANTO., SUNARNOR, E., “Penerapan Kontrol PI Pada Alat Pengaduk dan Pengukus Adonan Puduk untuk Meningkatkan Hasil Produksi Industri Rumah Tangga di Gresik”, *Jurnal Teknologi Terpadu*, v. 2, pp: 134-143, Oct 2020.
- [14] NASRON., SUROSO., PUTRI, A.R., “Sistem Kendali Temperatur, Kelembaban Tanah, Dan Cahaya Otomatis Menggunakan Raspberri Pi Pada *Smart Greenhouse*”, *Jurnal Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems*, v. 13, n 3, pp. 114-119, Dec 2019.
- [15] RACHMADI, M.A., MUSLIM, M.A., YUDININGTYAS, E., “Sistem Kontrol Kecepatan Sepeda Listrik Menggunakan Metode Self-Tuning Parameter PI dengan Metode Logika Fuzzy”, *Jurnal Electrics, Electronics, Communications, Controls, Informatics, Systems*, v. 10, n 1, pp. 26-32 Jun 2016.
- [16] WAURAN, A.S., “Pemodelan Penggunaan Energi Turbin Angin Untuk Daerah Manado”, *Jurnal MIPA*, v. 8, n. 3, pp. 188-191, Oct 2019.
- [17] RISKITASARI, S., SETIAWAN, B., PUTRI, R.I., NURWICAKSAN, W.A., “Kontrol Fuzzy PI untuk Pengaturan Kecepatan Angin oleh *Wind Generator* 1.42 Hp pada *Wind Tunnel*”, *Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, v. 8, n. 2, pp. 288-200, May 2020. <http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v8i2.288>
- [18] WACHID, A.R., WAHJONO, E., NUGRAHA, S.D., “Desain dan Simulasi Dual Input Single Output Buck Converter dengan Kontrol Fuzzy”, *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, v. 10, n. 1, pp. 63-70 Feb 2021.
- [19] JAYA, V., SUJONO., “Perancangan Maximum Power Point Tracking (MPPT) pada Turbin Angin PMS Kapasitas 300 Watt dengan Algoritma Fuzzy”, *Jurnal Maestro*, v. 1, n. 2, pp. 323-329, Oct 2018.

