

Kontrol *Fuzzy* PI untuk Pengaturan Kecepatan Angin oleh *Wind Generator* 1.42 Hp pada *Wind Tunnel*

SEPTYANA RISKITASARI, BUDHY SETIAWAN, RATNA IKA PUTRI, WAHYU AULIA NURWICAKSANA

Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang
Email : septyana_riskitasari@polinema.ac.id

Received 3 Februari 2020 | Revised 10 Maret 2020 | Accepted 30 April 2020

ABSTRAK

Wind generator merupakan bagian terpenting dari pembuatan Wind tunnel, dimana fungsinya adalah sebagai sumber penghasil angin. Pada proses desain kontrol, tahap pertama adalah mengumpulkan data parameter empiris wind generator real menggunakan jenis motor induksi 1.42 hp pada wind tunnel. Pada penelitian ini dibuat simulasi pengontrolan kecepatan generator angin menggunakan metode kontrol fuzzy PI untuk meningkatkan hasil dari respon sistem kestabilan dengan titik setel 2 m/s hingga 10 m/s. Simulasi kontrol dilakukan dengan memanfaatkan jenis motor induksi yang sebanding dengan plant. Hasil respon sistem dengan menggunakan metode kontrol PI dan kontrol fuzzy PI yaitu kontrol fuzzy PI menghasilkan respon sistem yang lebih stabil dibandingkan dengan kontrol PI yang menghasilkan respons berosilasi. Settling time tercepat dengan kontrol fuzzy PI yaitu pada kecepatan angin 4 m/s sebesar 0.05 detik.

Kata Kunci: Motor Induksi, Wind Generator, Wind Tunnel, Fuzzy PI

ABSTRACT

The wind generator is the most important part of making a wind tunnel as a source of wind. In the control design process, the first step is to collect the real wind generator data parameters, namely the 1.42 hp induction motor in the wind tunnel. In this study, a simulation using a type of induction motor that is comparable to a plant with the fuzzy PI control method to improve the results of the stability of the response system with a set point of 2 m/s to 10 m/s. The results of the response system using the PI control and the PI Fuzzy control that is the PI Fuzzy control produce a more stable response system compared to the PI control which produces an oscillating response. The fastest turn around time with the PI Fuzzy control at a wind speed of 4 m/s is 0.05 seconds.

Keywords: Induction Motor, Wind Generator, Wind Tunnel, PI Fuzzy

1. PENDAHULUAN

Potensi kecepatan angin Indonesia, berkisar antara 2 m/s hingga 6 m/s, bahkan di bagian selatan laut Pulau Jawa mencapai 10 m/s hingga 13 m/s (BMKG, 2016). Dengan karakteristik kecepatan angin ini, wilayah selatan Pulau Jawa cocok untuk pengembangan pembangkit listrik tenaga angin skala kecil (10 kW) dan menengah (10-100 kW) (Yusuf, dkk, 2011). Namun kenyataannya potensi angin tersebut belum banyak dimanfaatkan sebagai energi alternatif untuk menanggulangi krisis energi. Selama ini, belum banyak yang memanfaatkan energi yang dimiliki oleh angin, karena hembusan angin hanya dianggap sebagai proses alam biasa yang kurang memiliki nilai ekonomis bagi kehidupan manusia (Ikhsan & Hipi, 2011). Padahal angin merupakan sumber energi yang tidak akan ada habisnya jika dimanfaatkan, sehingga pemanfaatan sistem konversi energi angin akan sangat berdampak positif bagi lingkungan. Sedangkan pada proses perealisasi pembuatan *wind turbine* yang membutuhkan biaya yang besar tanpa dilakukan pengujian kualitas dan daya yang dihasilkan. Maka dari itu dibutuhkan *wind tunnel* skala laboratorium yang berfungsi untuk alat penunjang kegiatan pengamatan kinerja prototipe turbin angin ataupun menganalisis efek aliran udara/angin yang bergerak di sekitar benda padat (Prasetya, 2010) (Wijaya, 2010) (Handayani, 2014).

Dari beberapa penelitian sebelumnya mengenai simulasi maupun penerapan langsung metode *fuzzy* PI yang diaplikasikan pada berbagai jenis *wind tunnel* maupun jenis *wind generator*, seperti *Hypersonic wind tunnel*, *induction motor*, *centrifugal machine*, *close loop wind tunnel* (Arulmozhiyal & Baskaran, 2009) (Jones, dkk, 2011) (Putri, dkk, 2012) (NAE, 2013). Penggunaan kontrol *fuzzy* PI berfungsi untuk meningkatkan kinerja sistem untuk mempercepat respon kestabilan *wind generator*. Pada penelitian ini dibuat simulasi kontrol *fuzzy* PI dan simulasi kontrol PI untuk kontrol kecepatan angin oleh *wind generator* pada *wind tunnel*.

2. METODE

2.1 Spesifikasi *Wind Generator*

Pada penelitian ini sumber kecepatan angin berasal dari *fan/kipas* atau yang dapat disebut dengan *wind generator* yang memiliki spesifikasi sebagai berikut:

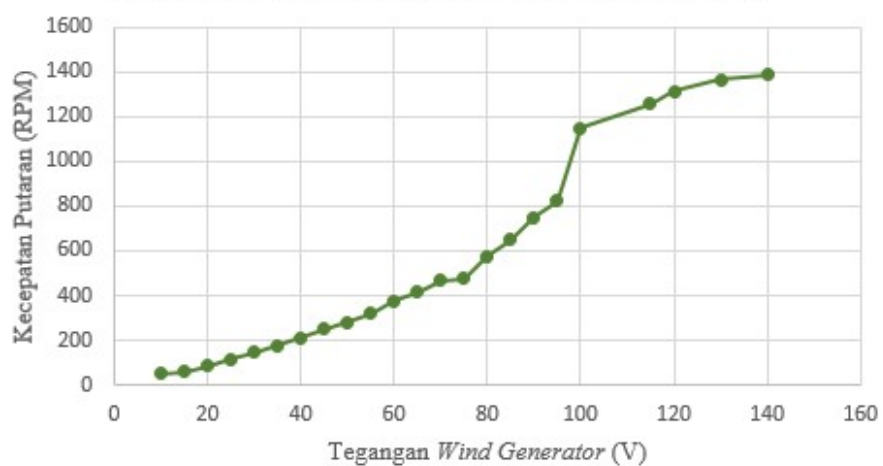
Jenis <i>Kipas</i>	: Motor Induksi 1 phasa 1.42 HP (<i>wind generator</i>)
Tipe <i>Starting</i>	: <i>Starting Capasitor</i>
Daya	: 1.060 watt
Tegangan Kerja	: 220 Volt AC

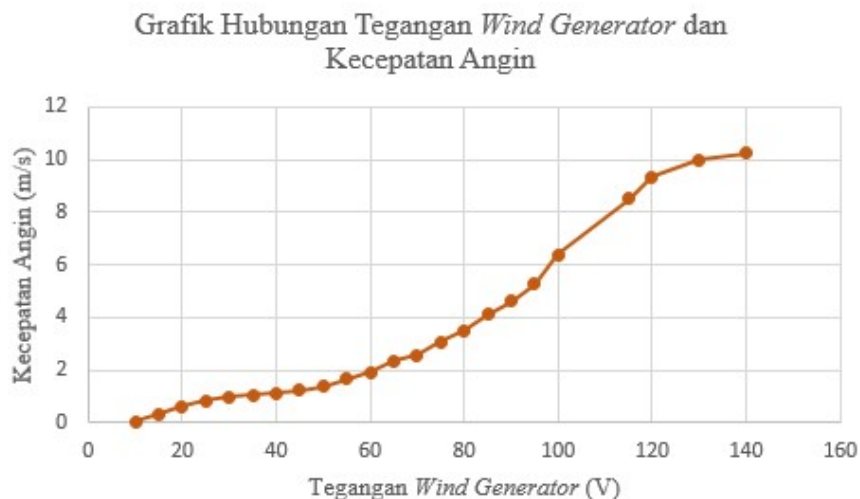
Kemudian dilakukan pengambilan data mentah dari *wind generator* untuk dijadikan referensi pembuatan sistem kontrol. Data pengamatan dapat dilihat pada Tabel 1.

Pengambilan data mentah dari *wind generator* pada penelitian ini, akan digunakan sebagai acuan pada proses pembuatan *rule base fuzzy*. Dimana *input fuzzy* berupa pembacaan kecepatan angin akan dikonversikan ke dalam nilai kecepatan putaran *wind generator*. Selanjutnya *output fuzzy* berupa konstanta Proposional dan Integrator akan digunakan untuk mengatur kecepatan putaran *wind generator* dan kemudian dikonversikan kembali dalam bentuk kecepatan angin yang mampu dihasilkan yang selanjutnya akan digunakan sebagai *feedback loop* sistem.

Tabel 1. Data Empiris *Wind Generator/ Kipas*

Tegangan <i>Wind Generator/ Fan</i>(volt)	Kecepatan Putaran (RPM)	Kecepatan Angin (m/s)
10	50.8	0.05
15	61.05	0.33
20	85.2	0.6
25	117.05	0.82
30	146.65	0.99
35	177.75	1.04
40	210.1	1.1
45	252.25	1.21
50	279.75	1.37
55	319.00	1.65
60	376.15	1.92
65	417.25	2.36
70	467.85	2.56
75	477	3.07
80	576.5	3.51
85	649	4.11
90	748.5	4.61
95	821.15	5.26
100	1146.5	6.4
115	1255.5	8.5
120	1310.5	9.35
130	1364.5	9.99
140	1386	10.25

Grafik Hubungan Tegangan dan RPM *Wind Generator***Gambar 1. Grafik Hubungan Tegangan dan RPM**

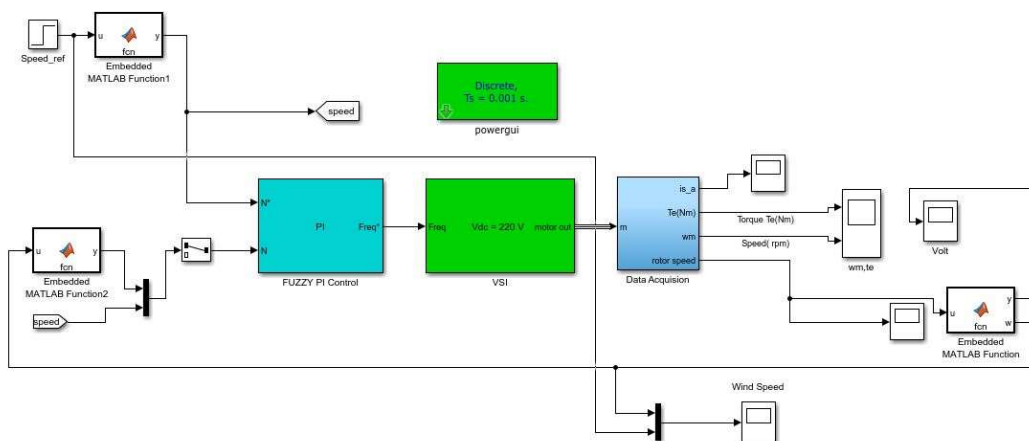


Gambar 2. Grafik Hubungan Tegangan dan Kecepatan Angin

Gambar 1 merupakan grafik hubungan antara tegangan *input* dari *wind generator* dan kecepatan putaran yang dihasilkan oleh *wind generator*. Berdasarkan grafik tersebut, semakin besar nilai tegangan *input* maka akan menghasilkan nilai kecepatan putaran *wind generator* semakin besar. Grafik hubungan tersebut sebanding dengan Gambar 2 berupa hubungan antara tegangan *input* dan hasil kecepatan angin yang mampu dihasilkan akibat putaran *wind generator*. Semakin besar nilai tegangan *input*, maka akan menghasilkan putaran *wind generator* yang semakin tinggi yang menghasilkan kecepatan angin yang lebih tinggi pula.

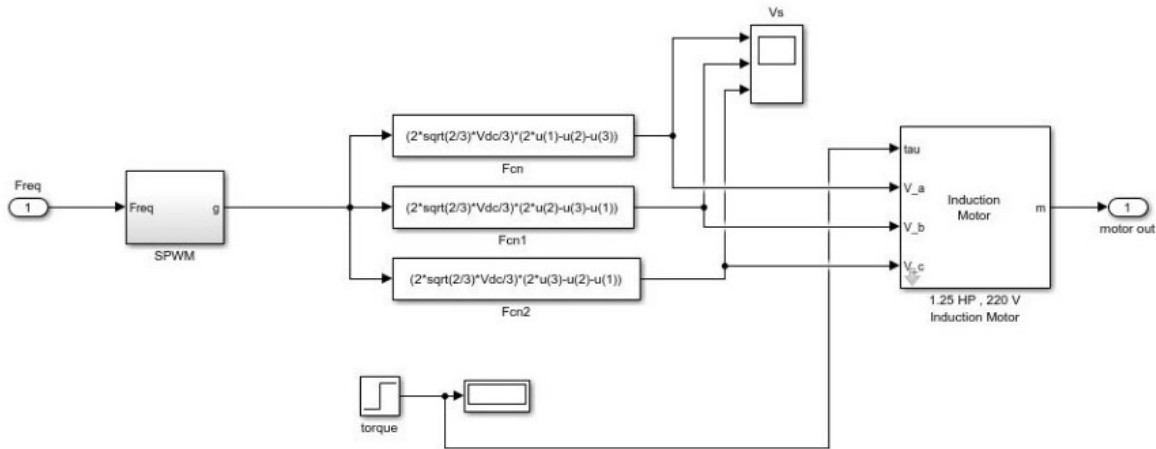
2.2 Desain Kontrol *Fuzzy* PI

Berdasarkan data mentah karakteristik *wind generator* yang telah didapatkan, tahap selanjutnya adalah pembuatan desain simulasi kontrol *fuzzy* PI pada Simulink matlab. Desain simulasi kontrol tersusun dari dua bagian utama, yaitu pemodelan *wind generator* dan bagian kontrol yang terdiri dari kombinasi kontrol *fuzzy* dan PI. Pengaturan kecepatan putaran *wind generator* menggunakan pengendali PI yang dilengkapi dengan pengendali *fuzzy* dirancang untuk meningkatkan kinerja sistem agar mempercepat kestabilan sistem (Kalmikov, 2017).



Gambar 3. Model Simulink Sistem

Berikut merupakan model Simulink pada subsistem VSI sebagai model dari *wind generator* yang digunakan. Pada rangkaian VSI berfungsi untuk mengubah hasil keluaran dari sistem kontrol berupa frekuensi untuk dikonversikan menjadi RPM *wind generator* atau kipas. Sehingga dari hasil tersebut akan dikonversikan kembali ke dalam nilai kecepatan angin yang akan digunakan sebagai umpan balik sistem kontrol yang dibuat.

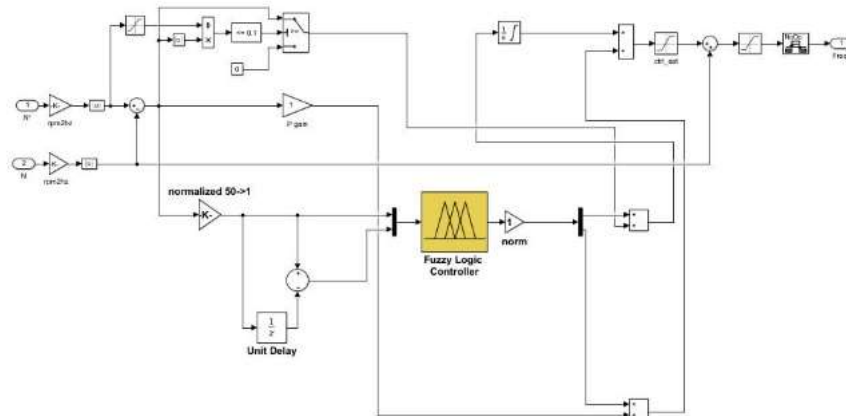


Gambar 4. Model Simulink VSI

Wind generator disimulasikan menggunakan motor induksi 1.25 HP, 220 V (by *Srikanth D, Mathworks*) ditunjukkan pada Gambar 4 yang memiliki parameter *input* seperti pada Tabel 2.

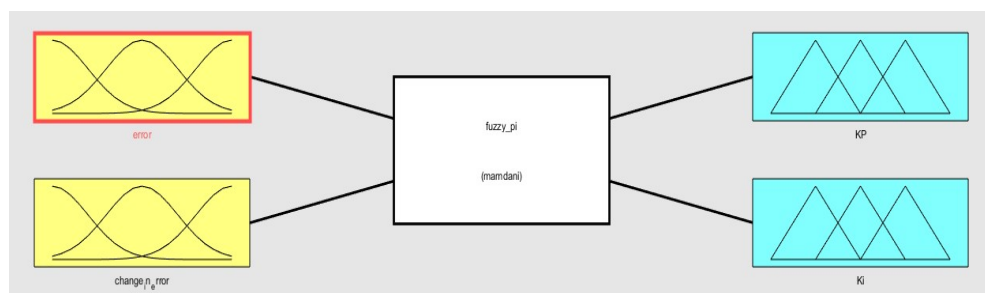
Tabel 2. Spesifikasi Motor pada Simulink

No.	Keterangan	Rumus
1.	Resistansi Stator	$R_s = 10.1\Omega$
2.	Induktansi Stator	$L_s = \frac{(15.81 + 245.8954)}{2\pi 50} H$
3.	Resistansi Rotor	$R_r = 9.8546\Omega$
4.	Induktansi Rotor	$L_r = \frac{(15.81 + 245.8954)}{2\pi 50} H$
5.	Induktansi Mutual	$L_m = \frac{245.8954}{2\pi 50} H$
6.	Inersia Rotor	$J = 0.0088 Kg. m^2$
7.	Jumlah Pole	$p = 4$



Gambar 5. Simulasi Kontrol *Fuzzy* PI

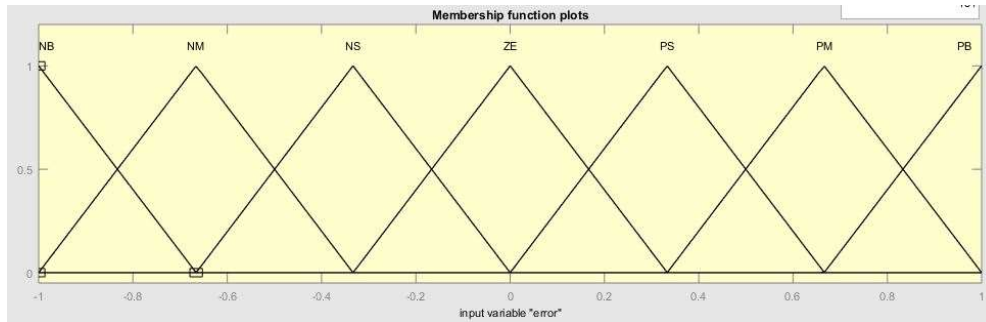
Rangkaian diagram *fuzzy* PI dapat dilihat pada Gambar 5. Dimana *fuzzy* akan mendeteksi dan membandingkan besar nilai *error* dari hasil pembacaan sensor yang dibandingkan dengan *set point* kecepatan angin. Namun sebelumnya dari *set point* kecepatan angin akan di konversi menjadi data rpm yang dihasilkan *wind generator* untuk proses selanjutnya. Hasil *error* dan *derror* tersebut kemudian akan diproses oleh *fuzzy* yang akan menghasilkan nilai *input* berupa K_p dan K_i (Konstanta PI). Kemudian dengan nilai K_p dan K_i tersebut berfungsi untuk mengatur respon *loop* tertutup pada kontrol PI untuk mengatur putaran *wind generator*, sehingga menghasilkan RPM *wind generator* yang nilainya berbanding lurus dengan besarnya kecepatan angin yang dihasilkan. Nilai *output* RPM tersebut akan diubah ke dalam bentuk frekuensi (0-50 Hz) yang berfungsi sebagai *input* pada *plant*. Model *plant* diibaratkan dengan motor induksi 1.25 hp (*wind generator* yang digunakan pada *wind tunnel* memiliki daya 1023 watt/ 1.42 hp. *Input* frekuensi tersebut akan diolah melalui SPWM sebelum masuk ke motor sehingga menghasilkan output motor berupa RPM. Dari hasil RPM yang dihasilkan motor akan diubah menjadi kecepatan angin untuk digunakan menjadi *feedback* kontrol. Desain *fuzzy inference system* dibuat menggunakan *fuzzy toolbox* pada Matlab yang ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. *Fuzzy* Interface System

Dimana pada sistem *fuzzy* terdiri dari dua *input* berupa *error* dan perubahan *error* ($\Delta error$) dan dua *output* berupa nilai K_p dan K_i . Pada setiap *input* dan *output* terbagi dalam 7 fungsi keanggotaan *triangular* dengan *range* -1 hingga 1, yang ditunjukkan pada Gambar 7 sampai Gambar 10.

a. Input Error

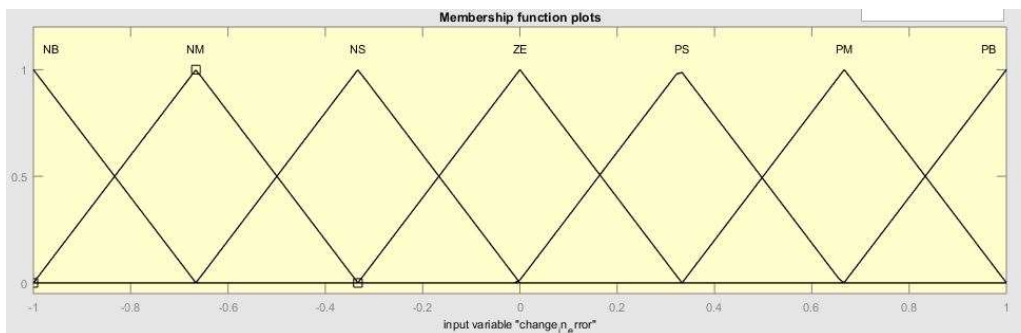


Gambar 7. Input Fuzzy "error"

Tabel 3. Deskripsi Linguistik "error"

No	Deskripsi Linguistik	Rentang Nilai
1	Negatif Besar (NB)	[-1 -1 -1 -0.666]
2	Negatif Sedang (NM)	[-1 -0.666 -0.3333]
3	Negatif Kecil (NS)	[-0.666 -0.3333 0]
4	Nol (ZE)	[-0.333 0 0.3333]
5	Positif Kecil (PS)	[-0 0.333 0.6666]
6	Positif Sedang (PM)	[0.333 0.666 1]
7	Positif Besar (PB)	[0.666 1 1 1]

b. Input ΔError

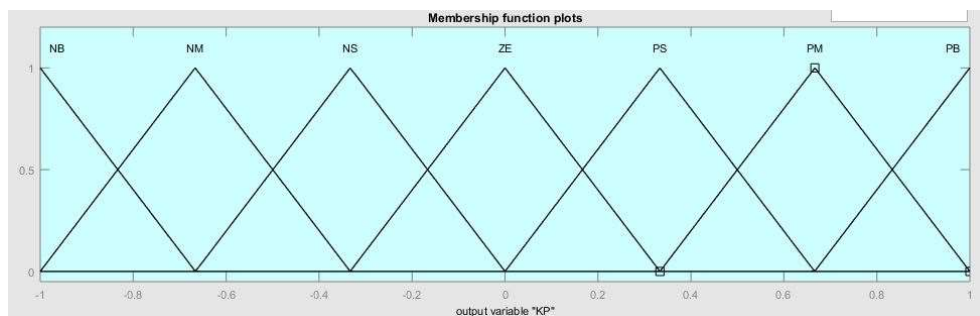


Gambar 8. Input Fuzzy "delta error"

Tabel 4. Deskripsi Linguistik "delta error"

No	Deskripsi Linguistik	Rentang Nilai
1	Negatif Besar (NB)	[-1 -1 -1 -0.666]
2	Negatif Sedang (NM)	[-1 -0.666 -0.3333]
3	Negatif Kecil (NS)	[-0.666 -0.3333 0]
4	Nol (ZE)	[-0.333 0 0.3333]
5	Positif Kecil (PS)	[-0 0.333 0.6666]
6	Positif Sedang (PM)	[0.333 0.666 1]
7	Positif Besar (PB)	[0.666 1 1 1]

c. Output Kp

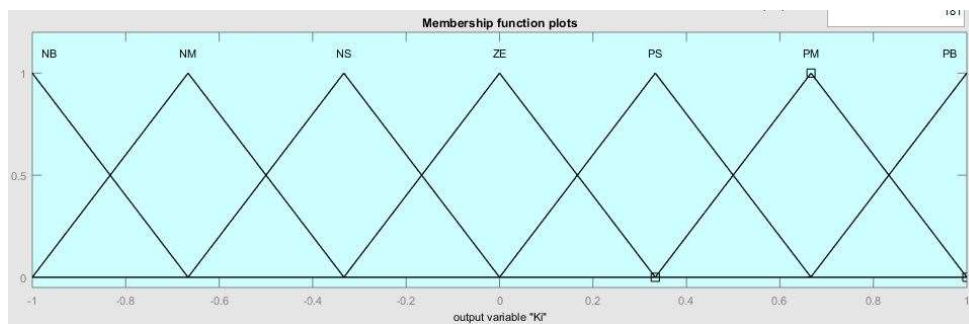


Gambar 9. Output Fuzzy Kp

Tabel 5. Deskripsi Linguistik Kp

No	Deskripsi Linguistik	Rentang Nilai
1	Negatif Besar (NB)	[-1 -1 -1 -0.666]
2	Negatif Sedang (NM)	[-1 -0.666 -0.3333]
3	Negatif Kecil (NS)	[-0.666 -0.3333 0]
4	Nol (ZE)	[-0.333 0 0.3333]
5	Positif Kecil (PS)	[-0 0.333 0.6666]
6	Positif Sedang (PM)	[0.333 0.666 1]
7	Positif Besar(PB)	[0.666 1 1 1]

d. Output Ki



Gambar 10. Output Fuzzy Ki

Tabel 6. Deskripsi Linguistik Ki

No	Deskripsi Linguistik	Rentang Nilai
1	Negatif Besar (NB)	[-1 -1 -1 -0.666]
2	Negatif Sedang (NM)	[-1 -0.666 -0.3333]
3	Negatif Kecil (NS)	[-0.666 -0.3333 0]
4	Nol (ZE)	[-0.333 0 0.3333]
5	Positif Kecil (PS)	[-0 0.333 0.6666]
6	Positif Sedang (PM)	[0.333 0.666 1]
7	Positif Besar(PB)	[0.666 1 1 1]

e. Rule Base Fuzzy

Pada Tabel 7 dan Tabel 8 merupakan *rule base fuzzy* dengan *output* berupa nilai konstanta proposional (Kp) dan konstanta integrator (Ki).

Tabel 7. Rule Base Fuzzy Kp

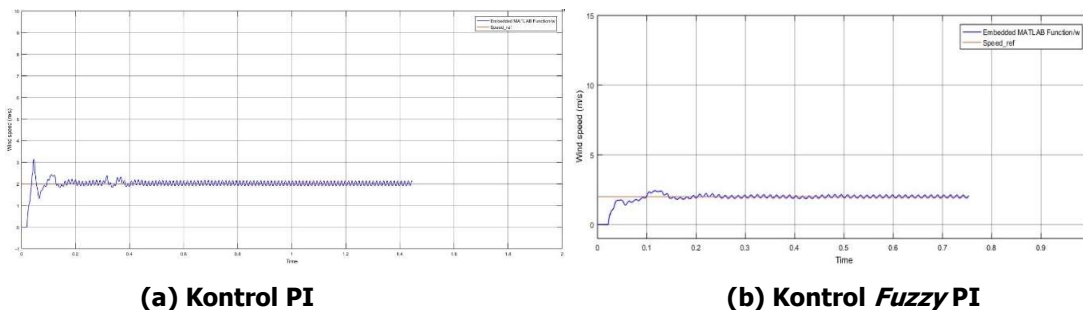
<i>dError</i> (<i>dE</i>)	<i>Error</i> (<i>e</i>)						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	PS	ZE
NM	PB	PB	PM	PM	PS	ZE	ZE
NS	PM	PM	PM	PS	ZE	NS	NM
ZE	PM	PS	PS	ZE	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZE	NS	NS	NM	NM
PM	ZE	ZE	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZE	NS	NS	NM	NM	NB	NB

Tabel 8. Rule Base Fuzzy Ki

<i>dError</i> (<i>dE</i>)	<i>Error</i> (<i>e</i>)						
	NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NB	NB	NM	ZE	ZE
NM	NB	NB	NM	NM	NS	ZE	ZE
NS	NM	NM	NS	NS	ZE	PS	PS
ZE	NM	NS	NS	ZE	PS	PS	PM
PS	NS	NS	ZE	PS	PS	PM	PM
PM	ZE	ZE	PS	PM	PM	PB	PB
PB	ZE	ZE	PS	PB	PB	PB	PB

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

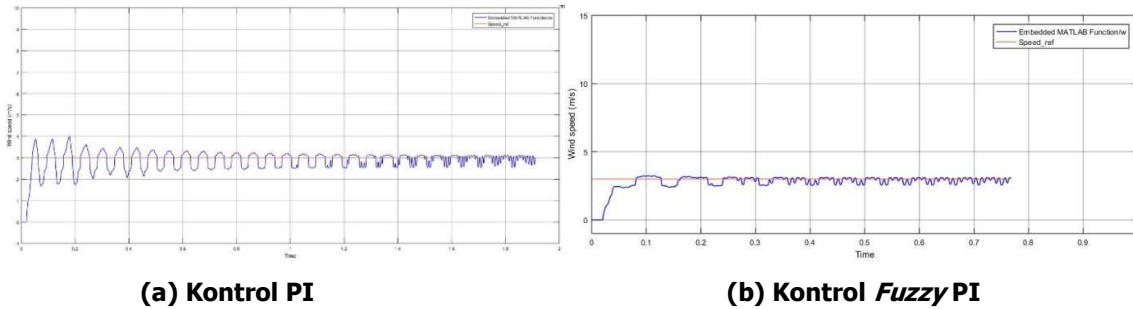
Berdasarkan hasil simulasi dengan membandingkan pengujian simulasi kontrol kecepatan putaran *wind generator* menggunakan kontrol PI dan kontrol *fuzzy* PI, dengan memberikan *set point* kecepatan angin 2 m/s hingga 10 m/s.



Gambar 11. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy* PI saat *Setpoint* 2 m/s

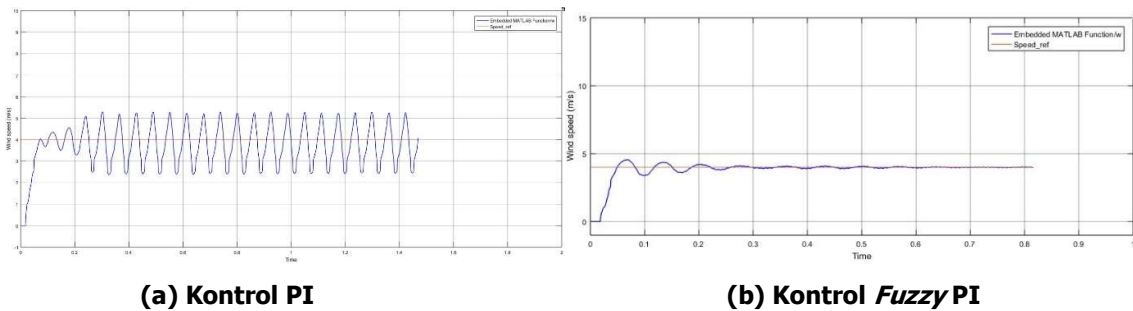
Gambar 11 merupakan perbandingan respon kestabilan sistem dengan *set point* 2 m/s. Gambar 11(a) merupakan hasil respon kestabilan sistem menggunakan kontrol PI yang cenderung menghasilkan respon yang berosilasi dan memiliki *overshoot* yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan Gambar 11(b) yang merupakan hasil respon kestabilan sistem menggunakan kontrol *fuzzy* PI.

Kontrol *Fuzzy*PI untuk Pengaturan Kecepatan Angin oleh Motor Induksi 1.42 Hp pada *Wind Tunnel*



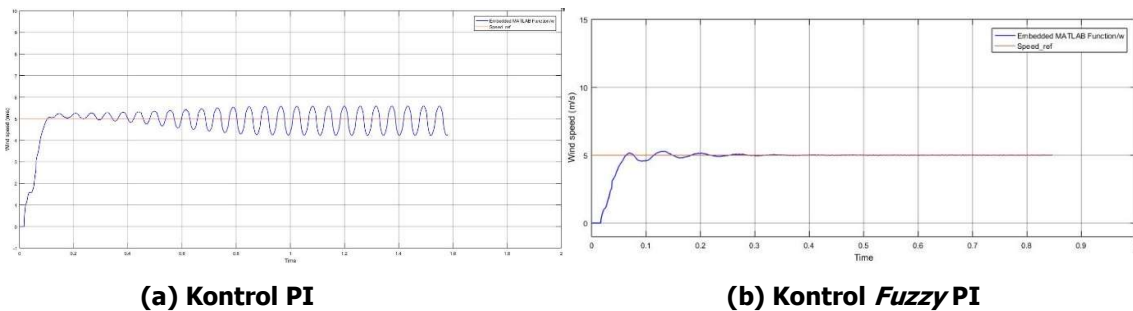
Gambar 12. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy*PI saat *Setpoint* 3 m/s

Pada Gambar 12 menunjukkan perbandingan respon kestabilan sistem saat diberikan *set point* sebesar 3 m/s. Dari kedua respon kestabilan tersebut didapatkan hasil kestabilan sistem yang berhasil.



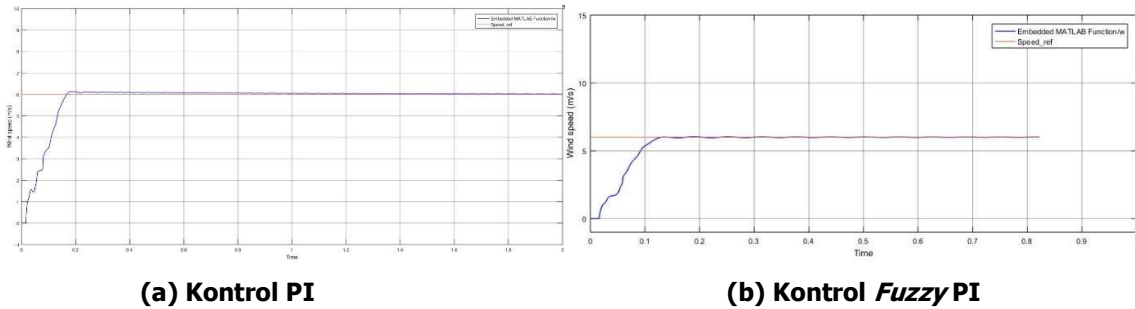
Gambar 13. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy*PI saat *Setpoint* 4 m/s

Gambar 13 (a) merupakan hasil respon kestabilan sistem menggunakan kontrol PI ketika diberikan *set point* 4 m/s. Dari hasil respon sistem tersebut didapatkan respon yang berhasil, dibandingkan dengan Gambar 13 (b), yang menunjukkan respon sistem dapat stabil pada *settling time* sebesar 0.05 s dan nilai *overshoot* sebesar 12.5%.



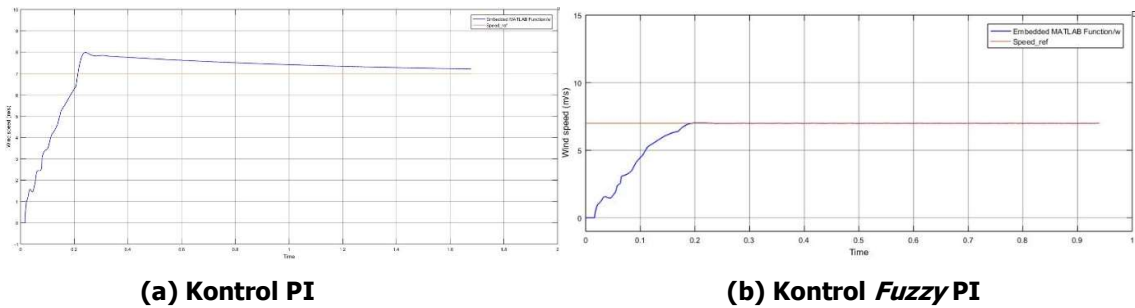
Gambar 14. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy*PI saat *Setpoint* 5 m/s

Hasil respon kestabilan sistem dari penerapan kontrol PI saat *set point* 5 m/s menghasilkan respon sistem yang berhasil, dibandingkan dengan penerapan kontrol *fuzzy* PI yang cenderung lebih stabil dengan nilai *settling time* sebesar 0.06 s dan nilai *overshoot* sebesar 6%.



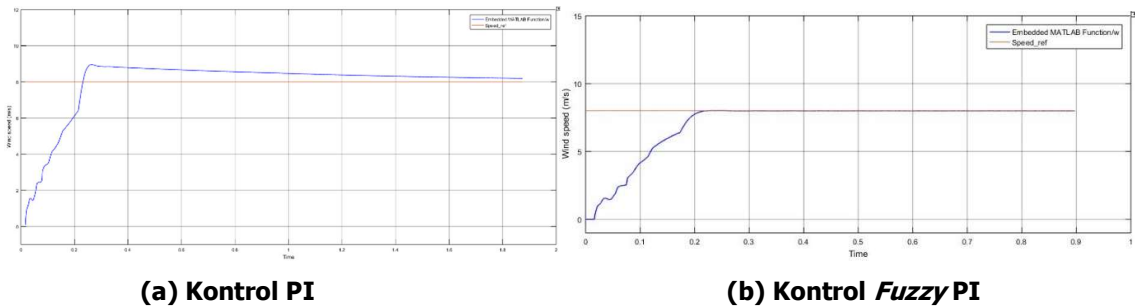
Gambar 15. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy* PI saat *Setpoint* 6 m/s

Gambar 15 merupakan perbandingan respon kestabilan sistem dengan *set point* 6 m/s. Gambar 15 (a) merupakan grafik respon kestabilan sistem menggunakan kontrol PI yang menghasilkan respon yang memiliki nilai *overshoot* lebih dari 0.2%. Sedangkan pada Gambar 15 (b) merupakan respon sistem menggunakan kontrol *fuzzy* PI dengan nilai *settling time* sebesar 0.12 s dan nilai *overshoot* mendekati 0%.



Gambar 16. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy* PI saat *Setpoint* 7 m/s

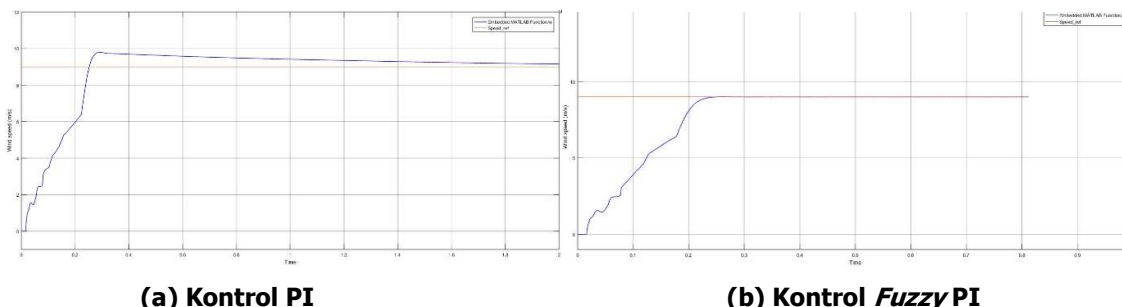
Gambar 16 merupakan perbandingan respon kestabilan sistem dengan *set point* 7 m/s. Dengan menerapkan kontrol PI pada sistem akan menghasilkan respon yang memiliki nilai *overshoot* yang tinggi dan waktu *steady state* lebih dari 2 s. Sedangkan dengan menerapkan kontrol *fuzzy* PI didapatkan kestabilan sistem dengan nilai *settling time* sebesar 0.18 s dan nilai *overshoot* mendekati 0%.



Gambar 17. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy* PI saat *Setpoint* 8 m/s

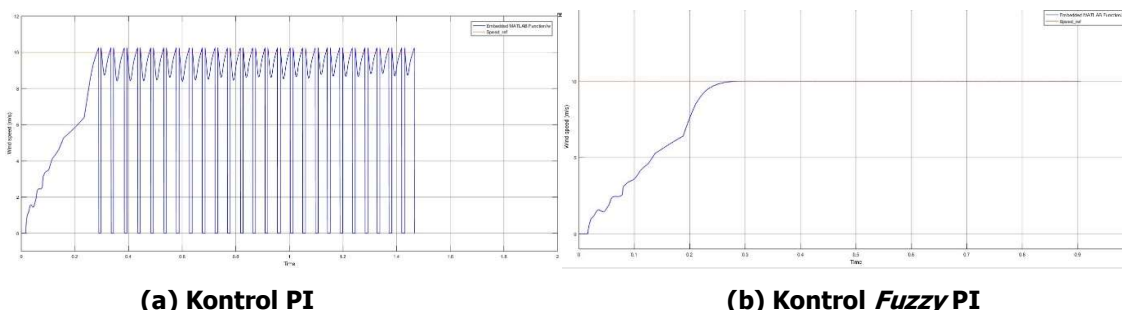
Gambar 17 merupakan perbandingan respon kestabilan sistem dengan *set point* 8 m/s. Gambar 17 (a) merupakan grafik respon kestabilan sistem menggunakan kontrol PI yang menghasilkan respon yang memiliki *overshoot* tinggi. Sedangkan pada Gambar 17 (b)

merupakan respon sistem menggunakan kontrol *fuzzy* PI dengan nilai *settling time* sebesar 0.22 s dan nilai *overshoot* 0%.



(a) Kontrol PI **(b) Kontrol *Fuzzy* PI**
Gambar 18. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy* PI saat *Setpoint* 9 m/s

Perbandingan respon sistem kestabilan dengan menerapkan kontrol PI dan kontrol *fuzzy* PI pada sistem, didapatkan hasil yang berbeda. Penggunaan sistem kontrol PI menghasilkan respon kestabilan sistem menggunakan kontrol PI yang memiliki *overshoot* besar. Sedangkan pada Gambar 18 (b) penerapan kontrol *fuzzy* PI menghasilkan respon sistem dengan besar *settling time* sebesar 0.25 s dan nilai *overshoot* 0%.



(a) Kontrol PI **(b) Kontrol *Fuzzy* PI**
Gambar 19. Perbandingan Respon Kontrol PI dan *Fuzzy* PI saat *Setpoint* 10 m/s

Sedangkan respon kestabilan sistem dengan penerapan kontrol PI pada *set point* 10 m/s menghasilkan respon yang berosilasi. Namun pada penerapan kontrol *fuzzy* PI sistem dapat mencapai keadaan *steady state* dengan nilai *settling time* sebesar 0.28 s dan nilai *overshoot* 0%.

Dari hasil simulasi kontrol PI yang telah dilakukan dengan memberikan *set point* kecepatan angin dari 2 m/s hingga 10 m/s. Respon sistem yang dihasilkan cenderung menghasilkan osilasi yang menyebabkan sistem tidak dapat dianalisis. Sedangkan respon kestabilan menggunakan kontrol *fuzzy* PI cenderung menghasilkan respon sistem yang stabil. Pada simulasi kontrol *fuzzy* PI, respon kestabilan sistem tercepat terdapat pada *set point* 5 m/s dengan *settling time* 0.075 detik. Namun terdapat beberapa *set point* yang menghasilkan respon berosilasi, sehingga membuat respon tidak dapat dianalisis.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan perbandingan hasil simulasi kontrol PI dan kontrol *fuzzy* PI yang berfungsi untuk mengontrol kestabilan kecepatan angin oleh *wind generator*, didapatkan kesimpulan bahwa kontrol PI cenderung menghasilkan respon sistem yang berosilasi dibandingkan dengan kontrol

*fuzzy*PI. Meskipun pada simulasi kontrol *fuzzy*PI juga masih dijumpai hasil respon sistem yang berosilasi. Pada simulasi kontrol *fuzzy*PI yang dilakukan pada Simulink didapatkan respon tercepat sistem saat diberikan *set point* kecepatan angin 4 m/s dengan besar *settling time* selama 0.05 detik. Sedangkan respon sistem terlambat saat diberikan *set point* kecepatan angin 10 m/s dengan besar *settling time* selama 0.28 detik.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih diberikan kepada Kemenristekdikti yang telah memberikan sumber dana untuk melakukan penelitian Tesis Magister tahun 2019 dengan nomor kontrak penelitian: 145/SP2H/LT/DRPM/IV/2019.

DAFTAR RUJUKAN

- Arulmozhiyal, R., & Baskaran, K. (2009). Speed Control of Induction Motor using Fuzzy PI and Optimizes using GA. *International Journal of Recent Trends in Engineering*, 2, 43-47.
- Handayani, S. U. (2014). Pengembangan dan Analisa Keseragaman Aliran Terowongan Angin Tipe Terbuka Sebagai Sarana Pengujian Aerodinamika. *Prosiding PNES II*, (pp. 309-314).
- Ikhsan, I., & Hipi, M. A. (2011). *Analisis Pengaruh Pembebanan Terhadap Kinerja Kincir Angin Tipe Propeller Pada Wind Tunnel Sederhana*. Universitas Hasanuddin, Jurusan Mesin Fakultas Teknik. Makassar: Universitas Hasanuddin.
- Jones, R., Poongodi, P., & S., B. L. (2011). Fuzzy Assisted PI Controller with Anti-reset Wind Up for Regulating Pressure in a Hypersonic Wind Tunnel. *IJCA*, 29-33.
- Kalmikov, A. (2017). *Wind Power Fundamentals* (Vol. I). Cambridge: ResearchGate.
- NAE, C. A. (2013). Blowdown Wind Tunnel Control using An Adaptive Fuzzy PI Controller. *INCAS Bulletin*, 5(3), 89-88. doi:10.13111/2066-8201.2013.5.3.10
- Prasetiya, W. E. (2010). *Rancang Bangun Sistem Pengaturan Kecepatan Angin Wind Tunnel untuk Keperluan Laboratorium*. Institut Teknologi Sepuluh November, Teknik Fisika. Surabaya: ITS.
- Putri, R. I., Fauziyah, M., & Setiawan, A. (2012). Simulation of Adaptive Fuzzy PI Speed Control for Centrifugal Machine. *International Journal of Engineering Research and Development*, 4(4), 16-21.
- Wijaya, A. (2010). *Static Pressure Distribution and Nozzel and Velocity in the Wind Tunnel Test Section*. Depok: Gunadarma University Library.
- Yusuf, M., Alrijadjis, & Legowo. (2011). *Desain Sensor Kecepatan Angin dengan Kontrol Adaptif untuk Anemometer Tipe Thermal*. Surabaya: ITS.