

Optimasi Kendali Kelembaban Tanah Berbasis Jaringan Nirkabel Menggunakan Algoritma Fuzzy-PID

Dede Irawan Saputra¹, Abdullah Dienul Ahkam², dan Handoko Rusiana Iskandar³

^{1,2,3}Universitas Jenderal Achmad Yani

Jl. Terusan Jenderal Sudirman, PO BOX 148 Kota Cimahi Indonesia

¹dedeirawansaputra@lecture.unjani.co.id

²adaahkam@gmail.com

Abstrak— Penelitian ini bertujuan untuk memodelkan dan mengendalikan *plant* sistem kendali dengan algoritma *Fuzzy Logic Controller* dan *PID (FLC-PID)* sebagai pengendali lingkaran tertutup pada sebuah sistem dengan multi *node* yang mempunyai peran berbeda satu sama lain dapat terhubung pada satu lingkaran. Konsep *IoT* dapat diimplementasikan pada sistem karena merupakan konsep pemanfaatan teknologi internet untuk suatu kebutuhan tertentu yang dapat mempermudah pekerjaan manusia. Konsep *IoT* juga muncul seiring dengan perkembangan teknologi komputer lainnya sehingga *IoT* dapat pula diintegrasikan dengan beberapa teknologi yang kedepannya akan banyak digunakan seperti teknologi sensor nirkabel. Sistem dengan multi *node* pada penelitian terdiri dari *node* pertama sebagai perangkat yang menghimpun data masukan yang dibangun dari sensor-sensor serta perangkat mikrokontroler *ESP8266* sebagai pengendali dan mengirim data ke internet. Data yang dikirim ke internet terdiri dari tiga data yaitu pembacaan data sensor. Adapun *node* kedua sebagai perangkat yang memberikan aksi data keluaran yang telah diolah sebelumnya pada proses lingkaran tertutup fuzzy-PID. Data masukan algoritma mula-mula diambil dari internet kemudian diolah pada *node* aktuator. Kombinasi algoritma tersebut bertujuan agar menjadi salah satu solusi pengendali yang secara efektif dapat mewujudkan kendali yang wajar dari lingkungan sekitar serta sebagai pengendali pada sistem *node* nirkabel.

Kata kunci: *Node* Nirkabel, Fuzzy-PID, *IoT*.

Abstract— This study aims to model and control plant control systems with *Fuzzy Logic Controller* and *PID (FLC-PID)* algorithms as closed-loop controllers on a multi-node system that has different roles from each other that can be connected to one circle. The concept of *IoT* can be implemented in the system because it is a concept of utilizing internet technology for certain needs that can facilitate human work. The concept of *IoT* also appears along with the development of other computer technologies so that *IoT* can also be integrated with several technologies that will be widely used in the future such as wireless sensor technology. The multi-node system in this study consists of the first node as a device that collects input data built from sensors and *ESP8266* microcontroller devices as controllers and sends data to the internet. Data sent to the internet consists of three data, namely sensor data reading. The second node is a device that provides action data output that has been previously

processed in the closed-loop fuzzy-PID process. The algorithm input data is first taken from the internet and then processed at the actuator node. The combination of these algorithms aims to be one of the controller solutions that can effectively realize reasonable control of the surrounding environment as well as controlling the wireless node system.

Keywords: *Plug and Play, Vannamei Shrimp, Water quality, WSN*

I. PENDAHULUAN

Salah satu cara yang dapat digunakan dalam proses pemantauan jarak jauh adalah menggunakan perangkat transduser yang terhubung dengan media transmisi secara nirkabel seperti konsep *Wireless Sensor Network (WSN)* [1]. Terdapat beberapa skema pengendalian pada *WSN* seperti menggunakan algoritma logika fuzzy dengan konsep *Wireless Sensro and Actuator Network (WSAN)* [2], dan skema aplikasi *Fuzzy Inference System* menggunakan salah satu algoritma *Fuzzy* tipe Sugeno [3]. Proses pengendalian tersebut mengadopsi dari algoritma yang memerlukan basis pengetahuan beserta mesin inferensi untuk mengambil keputusan. Sistem yang diimplementasikan berupa sistem dengan lingkaran terbuka.

Pada sistem pengamatan terkadang dibutuhkan strategi pengendalian pada *plant* sistem agar dapat berada pada referensi tertentu sesuai dengan yang diharapkan [4]. Strategi tersebut dapat menggunakan sistem kendali lingkaran tertutup. Aplikasi sistem kendali lingkaran tertutup pada sistem nirkabel dengan konsep *WSN* dan *Networked Control System (NCS)* telah diimplementasikan diantaranya pada sistem pengendalian motor DC [5], sistem kendali iteratif [6] dan perancangan pengendali dengan umpan balik keadaan pada *NCS* [7]. Berdasarkan penelitian tersebut komponen-komponen penyusun sistem dapat terpisah dan lebih fleksibel sehingga memudahkan dalam pemeliharaan dan konfigurasi. Akan tetapi memiliki kekurangan berupa sistem yang lebih kompleks dan adanya *time delay* pada jaringan komunikasi yang memungkinkan menyebabkan kehilangan informasi.

Media transmisi yang digunakan dapat berbagai macam diantaranya adalah modul radio dan internet [8],[9]. Salah satu perangkat yang dapat digunakan adalah memanfaatkan frekuensi radio dalam transmisi digital yang memungkinkan

terdapat banyak *node* [10]. *Node* nirkabel dapat menggunakan modul pemancar dalam sebagai sarana komunikasi untuk mengamati kondisi fisik lingkungan sekitar atau *plant*. Akan tetapi terdapat beberapa kekurangan pada sistem *node* tersebut diantaranya adalah tubrukan data sehingga data tidak dapat diterima oleh modul penerima [11].

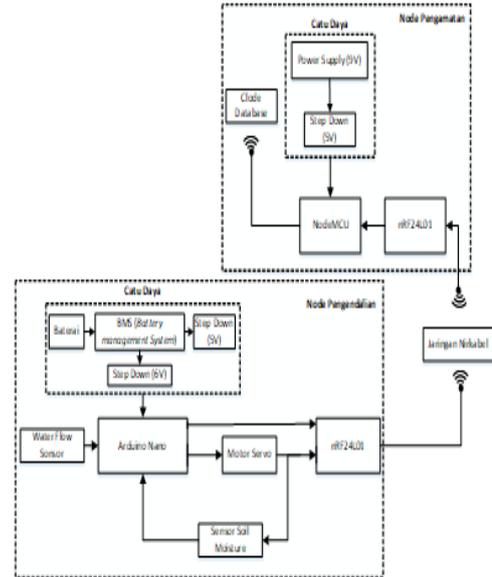
Salah satu sistem yang dapat diaplikasikan menggunakan mekanisme lingkaran tertutup adalah algoritma *Fuzzy* dan PID [12] [13] [14] karena memiliki fleksibilitas tinggi. Sehingga apabila diimplementasikan proses pengendalian seperti kelembaban tanah sangat cocok karena karakteristik setiap *plant* dapat berbeda dari segi ukuran, luas dan kapasitas. Algoritma *Fuzzy Logic Controller* dapat dikombinasikan dengan algoritma PID untuk menghasilkan algoritma pengendali *Fuzzy-PID* [15]. Kombinasi algoritma tersebut bertujuan agar menjadi salah satu solusi pengendali yang secara efektif dapat mewujudkan kendali yang wajar dari lingkungan sekitar serta sebagai pengendali pada sistem *node* nirkabel. Konsep sistem *node* nirkabel juga dapat berfungsi sebagai sistem pemantauan sehingga setiap perubahan variabel dapat diamati secara jarak jauh.

Berdasarkan hal tersebut dilakukan perancangan algoritma sistem kendali dan pengamatan menggunakan perangkat transmisi secara nirkabel seperti modul *transceiver-receiver*. Modul *transceiver* biasa digunakan oleh *node* nirkabel sebagai media komunikasi yang digunakan sebagai pemantauan dan kontrol pada kondisi lingkungan sekitar.

Mengimplementasikan sistem *node* nirkabel ke dalam sistem utama berfungsi sebagai komunikasi data antara *node* kontrol dan *node* monitoring, data yang dikirimkan berupa nilai pembacaan sensor kelembaban tanah, dan pembacaan sensor akan diunggah pada *web server*. Sistem kontrol yang digunakan pada sistem ini menggunakan metode *Fuzzy-PID*. Tipe *Fuzzy* yang digunakan adalah tipe sugeno yang mempunyai kelebihan yaitu dapat diaplikasikan pada sembarang model sistem pengambilan keputusan karena memiliki keanggotaan konstan. Fungsi kontroler *Fuzzy - PID* pada sistem yaitu untuk menggerakkan motor servo, yang akan membuka keran secara mekanik.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah merancang sebuah sistem yang dapat mengendalikan dan mengamati kelembaban tanah dengan menggunakan *Fuzzy-PID* berbasis komunikasi nirkabel seperti yang ditunjukkan pada arsitektur sistem gambar 1

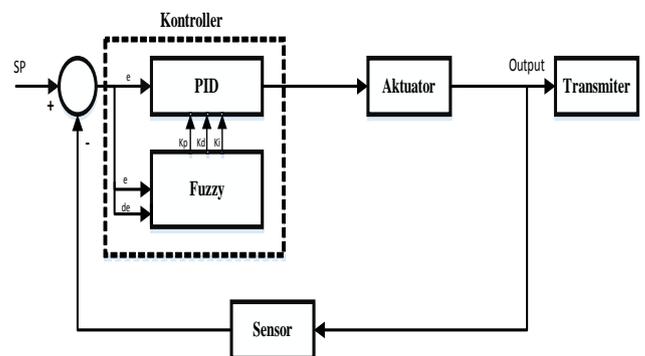


Gambar 1. Arsitektur Sistem

A. *Node* pengendalian dan *node* pengamatan

Pada *node* pengendalian yang ditunjukkan pada Gambar 2 terdapat beberapa bagian yaitu kontroler, aktuator, plant, *transmitter* dan sensor. Bagian kontroler pada *node* kontrol menggunakan logika *Fuzzy - PID* yang berfungsi sebagai sistem kendali untuk menggerakkan aktuator. Logika *fuzzy* disini berfungsi sebagai *tuning* kendali PID, input dari logika *fuzzy* ini adalah *error* (e) dan *delta error* (de) yang dihasilkan oleh sensor sebagai *feedback* pada sistem kontrol ini. Output pada logika *fuzzy* merupakan nilai K_p , K_d , dan K_i yang nanti nya akan menjadi input kendali PID. Pada kendali PID nilai K_p , K_d dan K_i akan diolah menggunakan metode PID yang ditunjukkan pada persamaan (1) untuk mendapatkan nilai output dari kendali PID.

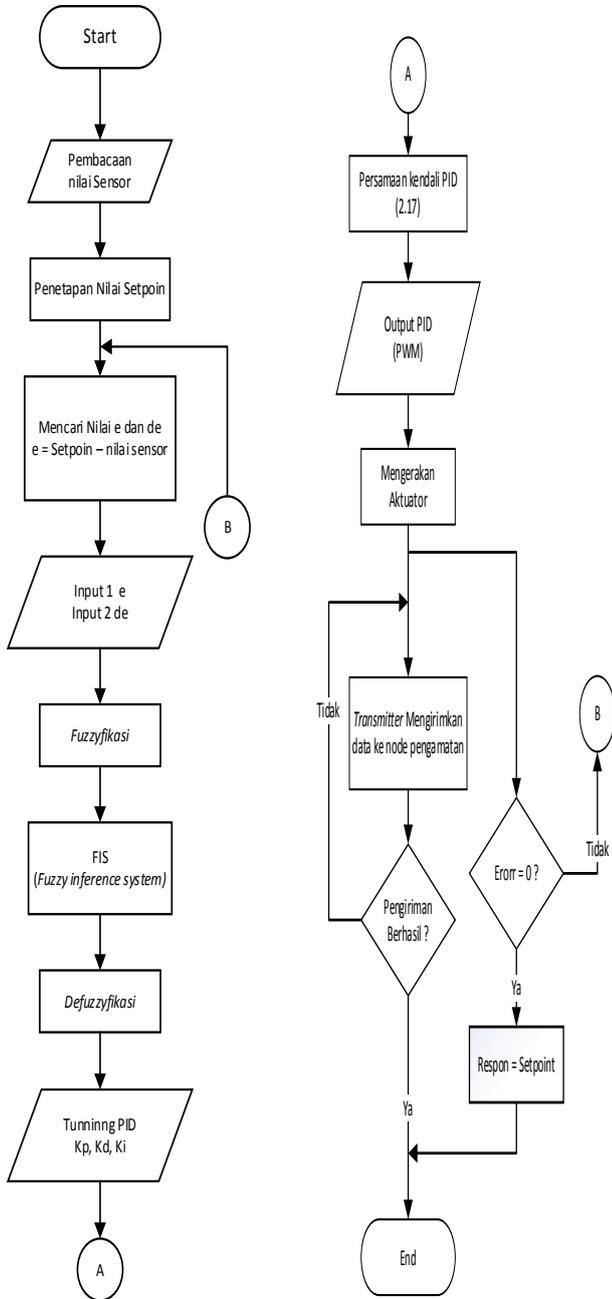
$$U(s) = K_p(E(s) + \frac{1}{T_i}E(s) + T_D sE(s)) \quad (1)$$



Gambar 2. Diagram blok *node* pengendalian

Data hasil pembacaan sensor dan keluaran dari *node* pengendalian akan dikirimkan ke *node* pengamatan. Komunikasi antar *node* menggunakan jaringan nirkabel dengan *device* yang digunakan yaitu nRF24L01, *node* pengendalian sebagai *transmitter* dan *node* pengamatan sebagai *receiver*.

Pada bagian *node* pengamatan digunakan SoC NodeMCU untuk mengunggah data hasil pembacaan sensor dan keluaran dari *node* pengendali ke *cloud database*. Diagram alir dari sistem *node* pengamatan dan pengendalian ditunjukkan pada Gambar 4 dan Gambar 3. Pada bagian sistem pengamatan yang ditunjukkan pada Gambar 4 terdapat beberapa bagian yaitu *receiver*, pengendali, dan *cloud database*.



Gambar 3. Diagram alir sistem *node* pengendalian



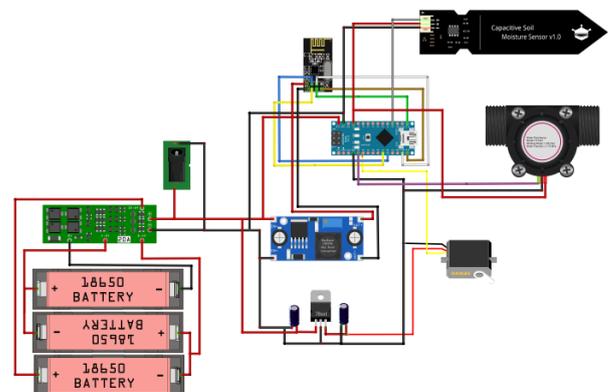
Gambar 4. Diagram alir *node* pengamatan



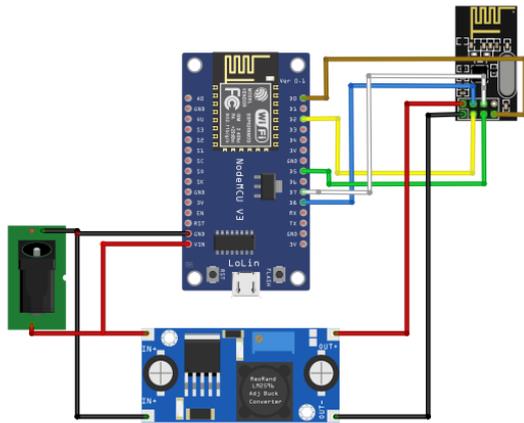
Gambar 5. Diagram blok *node* pengamatan

B. Diagram pengabelan *node* pengendalian dan *node* pengamatan

Perancangan perangkat keras pada sistem ini meliputi perakitan sistem *node* pengendalian dan *node* pengamatan. Sistem *node* pengendalian dan pengamatan tersusun dari beberapa komponen diantaranya untuk *node* pengamatan komponen yang digunakan adalah papan Arduino Nano, sensor soil moisture SEN0193, motor servo sebagai aktuator, modul RF nRf24L01 dan komponen catu daya. Sedangkan untuk *node* pengamatan komponen yang digunakan adalah SoC NodeMCU ESP8266 – 12E, modul RF nRf24L01 dan komponen catu daya. Secara umum dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.



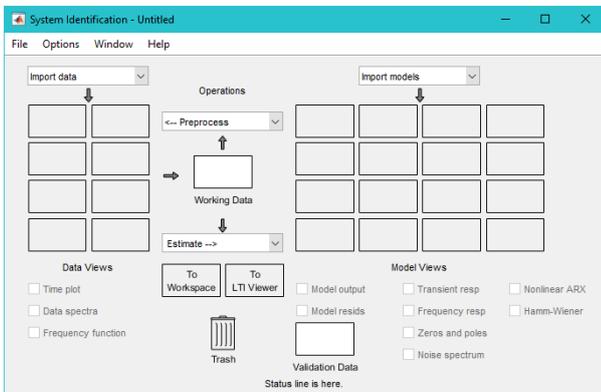
Gambar 6. Pengabelan *node* pengendalian



Gambar 7. Pengabelan node pengamatan

C. Pemodelan Fungsi Alih

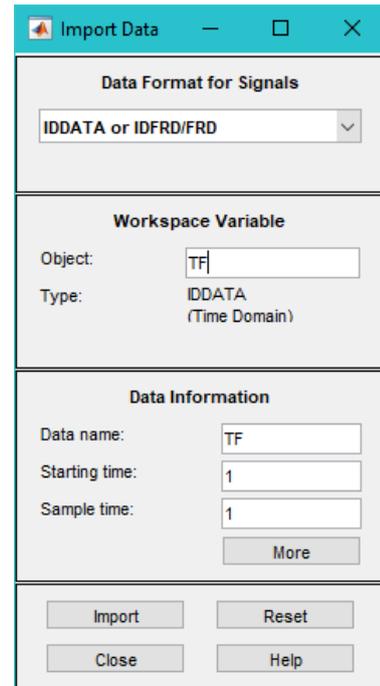
Pemodelan fungsi alih untuk sistem dapat dilakukan menggunakan Sistem Identifikasi *Toolbox* (SIT) yang terdapat pada perangkat lunak Matlab. Sistem identifikasi *toolbox* akan membantu membuat model fungsi alih dengan pengumpulan data input dan output yang diperoleh dari sistem. Tampilan *interface* Sistem Identifikasi *Toolbox* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Antar muka SIT pada Matlab

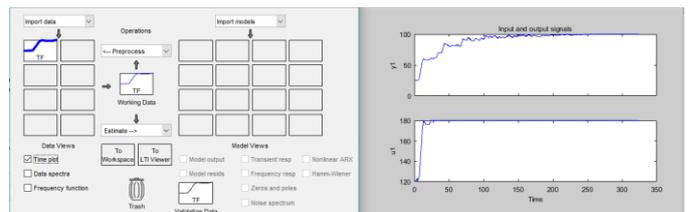
Pada sisi kiri SIT terdapat ruang *import* data yang harus diisi dengan data *input* dan *output*. Sebelum data input dan output dimasukkan pada ruang import dilakukan penentuan waktu sampling (T_s) dan mengubah tipe data input, output menjadi *iddata* dengan mengetikkan perintah “TF = *iddata*(input,output,0.5)” pada command windows di Matlab. Setelah melakukan penentuan waktu sampling, klik pada *dropdown* “import data” dan pilih “data object”.

Pada data *object* ini data *input* dan *output* dapat di *import*, dengan cara memasukkan nama variabel yang dibuat pada saat penentuan waktu cuplik di kolom “*object*”. Jika nama variabel yang dimasukkan mempunyai tipe *iddata* maka pada kolom “*object class*” akan otomatis terisi “IDDATA (Time Domain)” seperti pada Gambar 9. Data lain seperti *strating time* dan *sampling interval* juga akan terisi otomatis mengikuti waktu sampling yang dimasukkan, lalu klik *import* untuk memasukkan data ke ruang *import* data pada SIT.



Gambar 9. Konfigurasi *import object*

Setelah data input dan output dimasukkan kedalam SIT, tampilan ruang *import* akan berubah dengan memperlihatkan plot dari data input dan output. Untuk melihat jelas data plot dari input dan output, klik “time plot” pada menu SIT, maka akan muncul jendela time plot seperti Gambar 10. Dalam jendela *time plot* terdapat variabel y_1 dan u_1 , y_1 pada jendela *time plot* merupakan data *input* dan u_1 adalah data *output*.

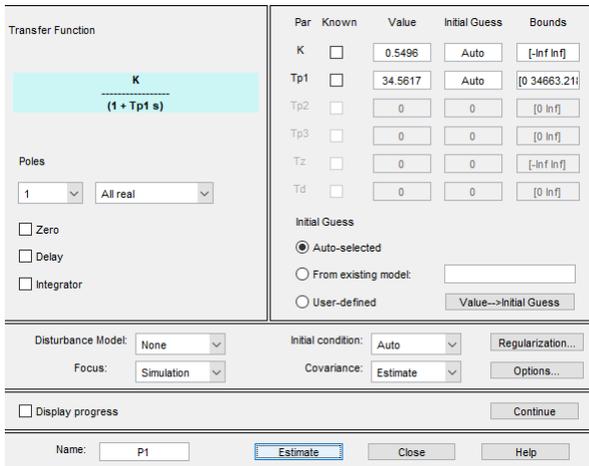


Gambar 10. Plot data

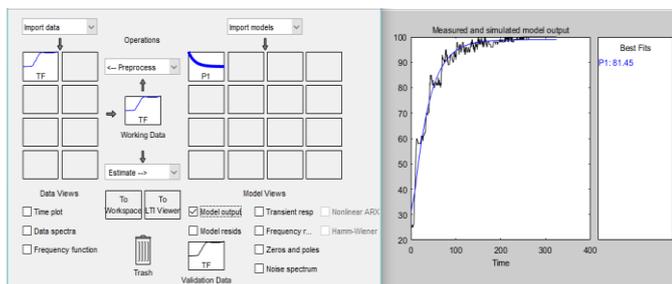
Dalam membuat bentuk model fungsi alih pada SIT dimulai dengan mengklik *dropdown* “Estimate” pada ruang “operations”. Dalam menu “Estimate”, user dapat memilih beberapa cara untuk membuat model fungsi alih. Salah satu cara menentukan model fungsi alih adalah dengan mendefinisikan estimasi model proses, untuk melakukan estimasi model proses pilih “process models” pada *dropdown* “Estimate”, maka jendela *process models* akan muncul seperti pada Gambar 11.

Dalam jendela *process models*, user dapat memilih bentuk model fungsi alih dengan merubah jumlah dan jenis *poles*. Dengan mengklik “estimate” pada jendela “Process models” SIT akan menghitung nilai dari setiap parameter pada model fungsi transfer. Setelah proses estimasi selesai data dari hasil proses estimasi model ditampilkan pada jendela SIT. Dengan menekan “Output model”, data dari hasil proses estimasi akan dibandingkan dengan data input, dan pada sisi kanan jendela

“Output model” terdapat hasil perhitungan akurasi antara data input dengan data dari hasil proses estimasi model. Data hasil proses estimasi model dan akurasi data ditampilkan pada Gambar 11.



Gambar 11. Proses estimasi model



Gambar 12. Hasil Estimasi

Dapat dilihat pada gambar 12 akurasi (*best fits*) model dengan data input sebesar 81.45%. dengan fungsi alih

$$G(s) = \frac{0,5496}{1+34,562s} \quad (2)$$

D. Perancangan pengendali Fuzzy-PID

Perancangan kendali logika *fuzzy* pada sistem menggunakan aplikasi *Fuzzy Logic Toolbox* (FLT) yang disediakan oleh MATLAB. Kendali logika *fuzzy* dirancang dengan dua buah input dan tiga buah output. Input pada kendali logika *fuzzy* adalah *error* dan *delta error*, output pada kendali logika *fuzzy* adalah nilai K_p , K_i dan K_d . Pada aplikasi FLT kendali *fuzzy* dirancang dengan membuat himpunan fuzzy, menentukan fungsi keanggotaan, dan menyusun aturan fuzzy.

1) Himpunan Fuzzy

Untuk membuat himpunan *fuzzy* perlu untuk menentukan semesta pembicaraan pada nilai input dan output kendali *fuzzy*, lalu dilanjutkan dengan membuat himpunan fuzzy pada tiap variabel input dan output. Himpunan fuzzy dapat dilihat pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Himpunan Masukan Fuzzy

Variabel	Semesta Pembicaraan	Himpunan Fuzzy	Domain
Error	[-60 - 60]	NB	[-60 -60 -40 -20]
		N	[-40 -20 0]
		Z	[-20 0 20]
		P	[0 20 40]
		PB	[20 40 60 60]
Delta Error	[-60 - 60]	NB	[-60 -60 -40 -20]
		N	[-40 -20 0]
		Z	[-20 0 20]
		P	[0 20 40]
		PB	[20 40 60 60]

Tabel 2. Himpunan Masukan ke Dua Fuzzy

Variabel	Semesta Pembicaraan	Himpunan Fuzzy	Domain
K_p	[0 - 3]	S	1
		M	1,3
		B	1,5
		MB	2,5
		VB	3
K_i	[0 - 1]	S	0,02
		M	0,05
		B	0,07
		MB	0,08
		VB	0,1
K_d	[50 - 120]	S	6,5
		M	7
		B	7,5
		MB	8
		VB	10

Keterangan :

- NB = *Negative Big*
- N = *Negative Small*
- Z = *Zero*
- P = *Positive Small*
- PB = *Positive Big*
- S = *Small*
- M = *Medium*

B = Big

MB = Medium Big

VB = Very Big

Tabel 5. Aturan KI

e / Δe	NB	N	Z	P	PB
NB	VB	MB	B	B	M
N	MB	MB	B	B	M
Z	B	B	B	M	M
P	B	M	M	M	M
PB	M	M	S	S	S

2) Fungsi Keanggotaan

Fungsi keanggotaan atau *membership function* pada masukan sistem menggunakan gabungan dari dua jenis tipe fungsi keanggotaan, yaitu tipe segitiga dan trapesium. Fungsi keanggotaan pada keluaran sistem menggunakan fungsi keanggotaan singleton yang memiliki derajat keanggotaan satu pada nilai crisp tunggal dan 0 pada semua nilai. Fungsi keanggotaan pada himpunan fuzzy dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Himpunan Keluaran Fuzzy

Himpunan Fuzzy	Fungsi keanggotaan
NB	Trapesium
N	Segitiga
Z	Segitiga
P	Segitiga
PB	Trapesium
S	Singletone
M	Singletone
B	Singletone
MB	Singletone
VB	Singletone

3) Aturan Fuzzy

Aturan fuzzy pada sistem kendali tersusun menjadi tiga aturan, yaitu aturan untuk keluaran dengan variabel Kp, Ki dan Kd. Setiap keluaran memiliki aturan berbeda, dan setiap aturan disusun dengan fungsi implikasi *min* (minimum), yaitu fungsi yang mengambil nilai minimum dari nilai input fuzzy sebagai nilai keluaran *fuzzy* sesuai dengan aturan yang berlaku. Bentuk setiap aturan dapat dilihat pada Tabel 4 s.d Tabel 6.

Tabel 4. Aturan kp

e / Δe	NB	N	Z	P	PB
NB	S	S	M	M	M
N	S	M	MB	MB	MB
Z	B	MB	VB	MB	VB
P	B	MB	MB	VB	VB
PB	MB	MB	MB	VB	VB

Tabel 6. Aturan KD

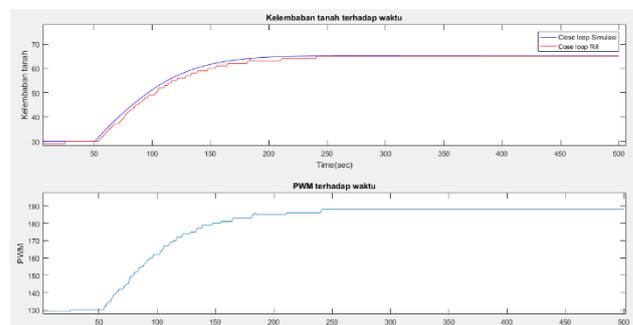
e / Δe	NB	N	Z	P	PB
NB	S	M	M	M	B
N	S	M	B	B	B
Z	M	B	MB	B	MB
P	B	B	MB	MB	VB
PB	B	MB	VB	VB	VB

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil

1). Pengujian kendali *close loop*

Pengujian sistem kendali *close loop* dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui karakteristik respon kendali *close loop*. Pengujian dilakukan dengan memberikan input berupa setpoint sesuai dengan kondisi kelembaban tanah yang diinginkan yaitu sebesar 65 %.



Gambar 13. Respon sistem pada kendali *close loop*

Respon sistem kendali yang dihasilkan oleh kendali *close loop* yang ditunjukkan pada Gambar 13 dan karakteristik sistem kendali yang ditunjukkan pada Tabel VI, memperlihatkan pada saat sistem menggunakan kendali *close loop* membutuhkan waktu 183 detik untuk mencapai 90 % dari kondisi stabil. Sedangkan pada simulasi, membutuhkan waktu sebesar 179 detik. Dapat dikatakan bahwa pada saat sistem menggunakan kendali *close loop*, sistem membutuhkan waktu lebih dari 183 detik untuk mencapai kelembaban tanah sebesar 65%.

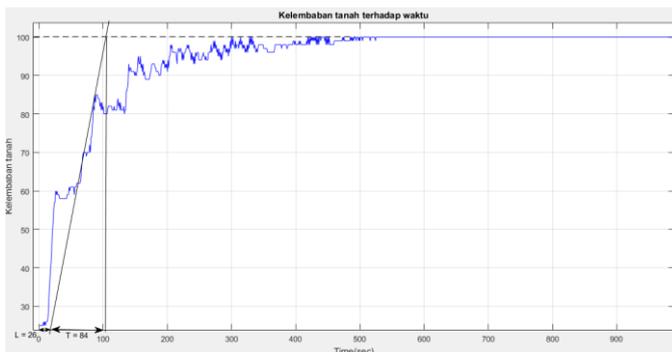
Tabel 7. Karakteristik respon sistem close loop rill dan simulasi

No	Close loop Rill				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
1	129	183	105	0	0
No	Close loop Simulasi				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
2	98	179	100	266	0,16

Pada respon sistem PWM yang ditunjukkan pada Gambar 13. dapat dilihat respon PWM berbanding lurus dengan respon sistem yang dihasilkan oleh sistem kendali close loop. Dimana pada saat kelembaban tanah semakin basah maka nilai PWM akan bertambah. Saat kelembaban tanah mencapai setpoint maka nilai PWM akan membuat sudut servo dalam kondisi maksimal dan membuat katup valve tertutup.

1). Pengujian Sistem Kendali PID

Pengendalian suatu sistem yang menggunakan kendali PID perlu adanya gain Kp, Ki, dan Kd. Untuk mendapatkan nilai gain tersebut pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan metode Zigler Nichols 1. Dalam menggunakan metode Zigler Nichols 1 diperlukan nilai T dan L, nilai T dan L ditentukan berdasarkan respon sistem open loop. Seperti pada Gambar 15



Gambar 14 Nilai T dan L pada respon sistem open loop

Dapat dilihat pada Gambar 14 nilai T dan L sudah ditentukan, dimana T = 26 dan L = 84. Setelah nilai T dan L ditemukan selanjutnya mencari nilai Kp, Ti, dan Td, untuk mencari nilai tersebut digunakan aturan tuning Zigler Nichols 1. Maka didapatkan nilai Kp, Ti, dan Td seperti berikut

$$Kp = 1,2 \frac{84}{26} = 3,87 \quad Ti = 2 \times 26 = 52 \quad Td = 0,5 \times 26 = 13$$

Seperti yang sudah dijelaskan sebelum nya, pada sistem yang menggunakan kendali PID perlu adanya gain Kp, Ki, dan Kd. Maka didapatkan nilai Ki dan Kd seperti Berikut

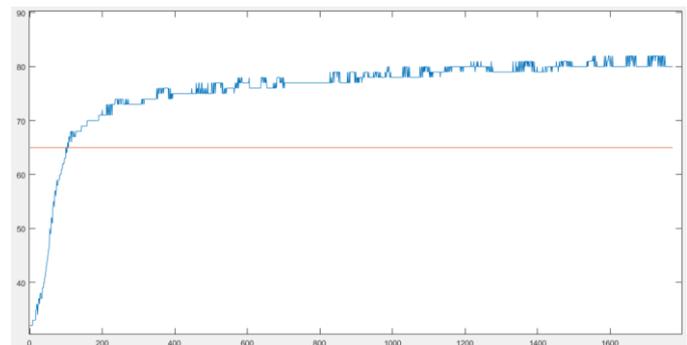
$$Ki = \frac{3,87}{51} = 0,074 \quad Kd = \frac{3,87}{13} = 0,29$$

Setelah melakukan perhitungan maka didapat nilai parameter gain yang dibutuhkan nilai gain yang didapat ditunjukkan pada Tabel 8

Tabel 8. Parameter gain PID

Kp	Ki	Kd
3,87	0,074	0,29

Nilai parameter gain yang didapat dengan perhitungan akan diuji, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan respon sistem. Dengan memasukan ketiga nilai Kp, Ki, dan Kd pada sistem, karakteristik dan respon sistem dapat dilihat pada Gambar 15.

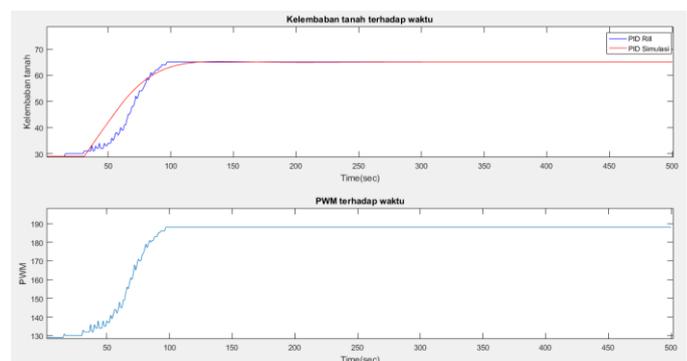


Gambar 15 Respon sistem kendali PID

Hasil pengujian yang tertera pada Gambar 16 memperlihatkan bahwa respon sistem yang dihasilkan melewati setpoint yaitu 65 %. Hal ini dikarenakan nilai gain PID yang dimasukan belum sesuai dengan sistem karena pada sistem ini masih menggunakan satu derajat kebebasan. Maka dari itu dilakukan kembali tuning parameter gain PID agar karakteristik dan respon sistem mencapai setpoint. Setelah melakukan beberapa kali perubahan nilai gain PID didapatkan nilai gain yang optimal dan mendekati dengan simulasi yang dibuat, nilai parameter dapat dilihat pada Tabel IX.

Tabel 9. Parameter Gain PID Setelah Tuning Ulang

Kp	Ki	Kd
3	0,065	10



Gambar 16 Respon sistem pada kendali pid setelah tuning ulang. Dapat dilihat pada Gambar 16 respon sistem setelah dilakukan tuning ulang memiliki perubahan, dimana sistem dapat mencapai 90 % dari kondisi stabil dalam waktu 91 detik.

Sedangkan pada simulasi kendali PID membutuhkan waktu selama 106 detik. Terjadi selisih sebesar 15 detik, dengan nilai rill lebih cepat daripada nilai simulasi. Respon sistem PWM yang ditampilkan pada Gambar 4.6 memperlihatkan bahwa katup valve tertutup rapat dalam waktu 91 detik dengan begitu tidak ada air yang akan melawati pipa irigasi, dan pengairan pun berhenti. Karakteristik respon sistem kendali PID dapat dilihat pada Tabel 10.

Tabel 10. Karakteristik respon kendali PID rill dan simulasi

No	PID Rill				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
1	67	91	71	0	0
No	PID Simulasi				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
2	49	106	64	139	0,18

2). Pengujian Sistem Kendali *Fuzzy* – PID

Pengujian kendali *fuzzy* - PID dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui performa logika *fuzzy* dan karakteristik yang dihasilkan oleh respon sistem *fuzzy* – PID. Untuk mengetahui performa dari logika *fuzzy* dilakukan pengujian, pengujian dilakukan dengan membandingkan nilai hasil penegasan yang diperoleh oleh sistem, dengan hasil penegasan yang diperoleh dengan simulasi FLT (*Fuzzy Logic Toolbox*) pada MATLAB. Hasil pengujian penegasan dapat dilihat pada Tabel 11

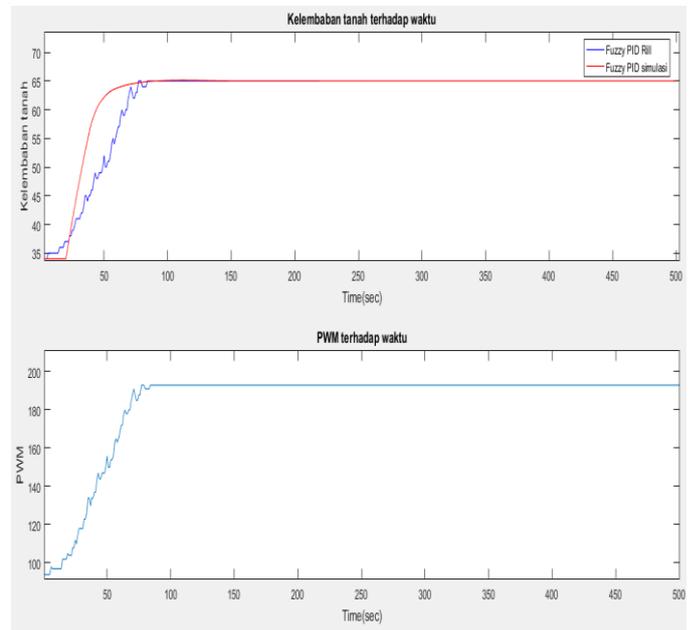
Tabel 11. Hasil Penegasan Sistem dengan Penegasan FLT

E	De	Sistem			MATLAB (FLT)			Error		
		Kp	Ki	Kd	Kp	Ki	Kd	Kp	Ki	Kd
5	5	2.83	0.06	7.92	2.83	0.06	7.92	0	0	0
4	4	2.86	0.06	7.93	2.86	0.0614	7.93	0	0.0014	0
15	15	2.83	0.05	7.92	2.83	0.0533	7.92	0	0.0033	0
43	43	3	0.02	10	3	0.02	10	0	0	0
40	40	3	0.02	10	3	0.02	10	0	0	0
0	0	3	0.07	8	3	0.07	8	0	0	0
32	32	3	0.03	9.56	3	0.0333	9.56	0	0.0033	0
48	48	3	0.02	10	3	0.02	10	0	0	0
50	50	3	0.02	10	3	0.02	10	0	0	0
12	12	2.78	0.05	7.89	2.78	0.0544	7.89	0	0.0044	0
Total Error :								0	0.0124	0

Hasil pengujian penegasan yang ditampilkan pada Tabel XI menunjukkan bahwa hasil penegasan yang dihasilkan sistem dengan hasil penegasan yang dihasilkan FLT memiliki hasil yang beragam dengan perbedaan yang sangat kecil. Perbedaan nilai penegasan sistem dengan simulasi FLT terjadi karena, adanya perbedaan penempatan angka dibelakang koma. Pada sistem penempatan nya menggunakan dua angka dibelakang koma, sedangkan pada simulasi FLT nilai yang didapatkan akan dibulatkan ke atas menjadi 4 angka dibelakang koma,

seperti yang dilihat pada kolom nilai Ki pada hasil penegasan yang dilakukan simulasi FLT.

Setelah melakukan pengujian pada nilai penegasan, selanjutnya dilakukan pengujian pada respon sistem yang dihasilkan oleh kendali *fuzzy* - PID, pengujian ini dilakukan untuk menegetahui karakteristik respon sistem yang dihasilkan. Dengan cara memberi input setpoint sesuai dengan kondisi kelembaban tanah yang diinginkan yaitu sebesar 65 %. Respon sistem dari hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 17.



Gambar 17 Respon sistem kendali *fuzzy* – PID

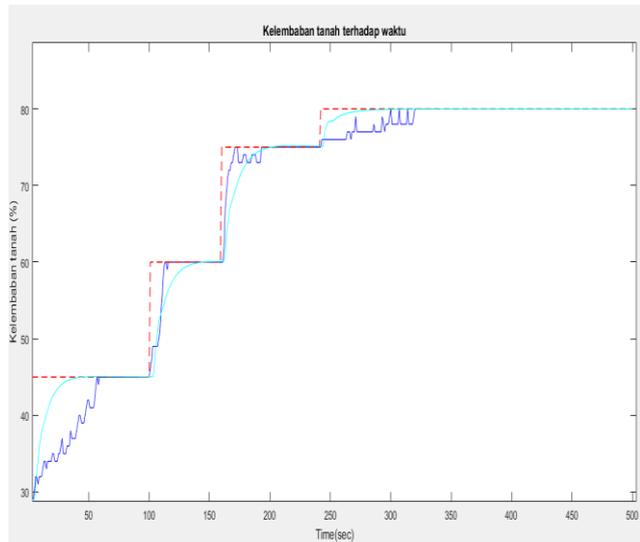
Respon sistem hasil pengujian kendali *fuzzy* - PID yang ditampilkan pada Gambar 18, dan karakteristik sistem kendali yang ditampilkan pada Tabel XII memperlihatkan bahwa saat sistem menggunakan kendali *fuzzy* - PID, sistem mampu mencapai 90 % dari kondisi stabil dalam waktu 70 detik sedangkan pada simulasi kendali *fuzzy* – PID membutuhkan waktu selama 61 detik. Respon sistem PWM yang di hasilkan oleh kendali *fuzzy* – PID menunjukkan bahwa, PWM akan bertambah jika nilai kelembaban tanah semakin besar, dan nilai PWM akan stabil bila kelembaban tanah sudah mencapai setpoint yang ditentukan.

Tabel 12. Karakteristik respon sistem *fuzzy* - PID rill dan simulasi

No	Fuzzy - PID Rill				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
1	54	70	43	0	0
No	Fuzzy - PID Simulasi				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
2	27	61	32	106	0,12

3). Pengujian Setpoint

Pengujian setpoint dilakukan guna mengetahui kinerja kendali fuzzy-PID saat diberi gangguan berupa perubahan setpoint pada saat sistem bekerja. Pengujian setpoint dilakukan dengan memberi setpoint awal sebesar 45 % lalu diubah menjadi 60 %, setpoint diubah kembali menjadi 75 % kemudian yang terakhir setpoint diubah menjadi 80 %. Hasil pengujian setpoint pada kendali fuzzy-PID ditunjukkan pada Gambar 19

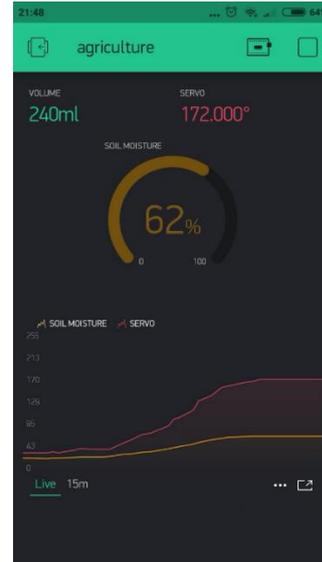


Gambar 18 Hasil pengujian setpoint kendali fuzzy – PID

Hasil pengujian setpoint yang ditunjukkan pada Gambar 18 Menunjukkan respon sistem kendali fuzzy – PID pada saat pengujian setpoint memiliki respon yang cukup stabil. Respon sistem pada kendali fuzzy – PID dapat mengikuti setpoint dengan baik, hal ini dikarenakan pada kendali fuzzy - PID terdapat aturan atau fungsi implikasi dan fungsi keanggotaan, yang membuat sistem fuzzy dapat memproses input secara adaptif. Pada pengujian setpoint ini, kendali fuzzy - PID di setpoint 45 % membutuhkan waktu selama 60 detik, pada setpoint 60 % membutuhkan waktu selama 116, pada setpoint 75 % membutuhkan waktu selama 193, dan pada setpoint yang terakhir 80 % membutuhkan waktu selama 320 detik. Sedangkan pada simulasi nya yang diperlihatkan pada Gambar 4.7, waktu yang dibutuhkan untuk mencapai setpoint 45 % membutuhkan waktu selama 45 detik, pada setpoint 60 % membutuhkan waktu selama 145 detik, pada setpoint 75 % waktu yang dibutuhkan selama 200 detik, dan pada setpoint 80 % membutuhkan waktu selama 300 detik.

4). Pengiriman Data Ke Blynk

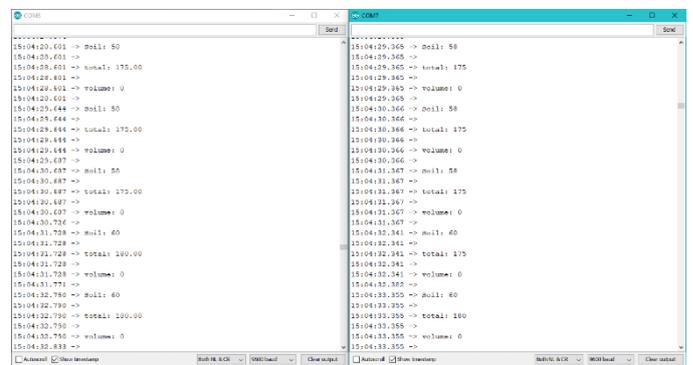
Setelah node pengamatan menerima data dari node pengendalian, node pengamatan akan mengunggah data yang diterima ke internet melalui server blynk. Pada aplikasi blynk, user dapat melihat data – data yang dikirimkan oleh node aktuator melalui smart phone dimana saja, selama smart phone terhubung ke internet. Tampilan dashboard monitoring pada aplikasi blynk dapat dilihat pada Gambar 19.



Gambar 19 Tampilan dashboard monitoring blynk

Data yang ditampilkan pada dashboard monitoring di aplikasi blynk menandakan bahwa komunikasi antara node pengendalian dan node pengamatan berhasil dilakukan. Data yang ditunjukkan pada dashboard monitoring merupakan data kelembaban tanah, penggunaan air, dan derajat bukaan valve.

Data yang dikirim oleh node pengendalian ke node pengamatan pada sistem pemantauan ini mengalami delay. Hal ini dapat terjadi karena sistem pemantauan yang digunakan menggunakan metode jaringan nirkabel, yang dimana delay yang ditimbulkan disebabkan oleh redaman atau pengalangan. Seperti yang ditampilkan pada Gambar 20, pada node pengendalian data kelembaban tanah, penggunaan air, dan derajat bukaan valve dikirim pada jam 15:04:28.601, sedangkan pada node pengamatan data yang diterima pada jam 15:04:29.365, terdapat delay selama 1 detik.

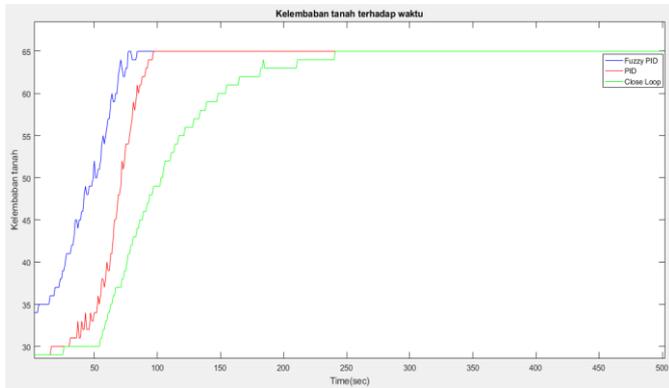


Gambar 20 Pengiriman data pada node pengendalian dan node pengamatan

B. Pembahasan

Setelah dilakukannya pengujian pada tiap sistem kendali, dapat dilihat bahwa sistem kendali dengan menggunakan metode kendali fuzzy – PID mempunyai keunggulan, yaitu pada sistem kendali fuzzy – PID respon sistem akan relatif lebih

cepat mencapai setpoint dibandingkan kendali PID dan *close loop*. Perbandingan respon sistem antara kendali dapat dilihat pada Gambar 21.



Gambar 21 Perbandingan respon sistem kendali *fuzzy-pid*, PID dan *close loop*

Menurut hasil perbandingan respon sistem yang ditunjukkan pada Gambar 21, dan respon karakteristik yang ditunjukkan pada Tabel XIII, terlihat bahwa kendali *fuzzy – PID* mampu mengatur nilai kelembaban tanah dengan sangat baik. Penggunaan kendali *fuzzy - PID* pada penelitian ini akan membuat performa sistem kendali kelembaban tanah menjadi sangat efektif. Kendali *fuzzy – PID* pada sistem ini memiliki keunggulan, karena proses tuning PID yang dilakukan oleh logika *fuzzy* memiliki konfigurasi aturan dan fungsi keanggotaan yang sesuai dengan input sistem, sehingga nilai gain untuk tuning PID akan bersifat adaptif sesuai dengan nilai input yang diterima oleh logika *fuzzy*. Sistem kendali *close loop* yang ditampilkan pada Gambar 14 memperlihatkan bahwa respon sistem yang dihasilkan lebih lama dari sistem kendali lain nya. Maka dari itu pada penelitian ini sistem kendali *close loop* tidak digunakan sebagai sistem kendali utama.

Tabel 13. Karakteristik Respon Kendali

No	Close loop				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
1	129	183	105	0	0
No	PID				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
2	67	91	71	0	0
No	Fuzzy - PID				
	Rise time (s)	Settling time (s)	Delay time (s)	Peak time (s)	Mximum overshoot (%)
3	54	70	43	0	0

IV. KESIMPULAN

A. Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian setpoint yang dilakukan, dapat identifikasi bahwa perancangan kendali *fuzzy – PID* pada kendali kelembaban tanah memiliki respon yang cukup baik. Data yang dikirimkan oleh *node* pengendalian dapat

diterima dengan baik oleh *node* pegamatan dengan delay sebesar 1 detik. Data kelembaban tanah, volume air, dan derajat bukaan servo berhasil diunggah dan dapat ditampilkan pada *dasbord* pengamatan pada aplikasi Blynk. Berdasarkan hasil pengujian kendali *close loop*, memiliki karakteristik respon sistem dengan *rise time* 129 s, *settling time* 183 s, dan *delay time* 105 s. Berdasarkan hasil pengujian kendali PID respon sistem dapat mencapai setpoint dengan nilai gain $K_p = 3$, $K_i = 0,0065$, $K_d = 10$, dan memiliki karakteristik respon sistem dengan *rise time* 67 s, *settling time* 91 s, dan *delay time* 71 s.

Berdasarkan hasil pengujian kendali *fuzzy – PID* karakteristik respon sistem yang didapat mempunyai keunggulan, yaitu memiliki *rise time* dan *settling time* yang relatif lebih cepat dari kendali lainnya. Model fungsi transfer yang didapatkan memiliki karakteristik respon sistem yang cukup mendekati dengan nilai rill, dan masih memiliki *maximum overshoot* kurang dari 1% pada tiap kendali.

B. Saran

Untuk penelitian selanjutnya sistem kelembaban tanah dapat dikembangkan lagi lebih lanjut dengan menambahkan pemanas untuk tanah.

Referensi

- [1] S. Bhowmik, R. Kar, and C. Giri, "Fuzzy Node Localization in Wireless Sensor Network," in *IEEE WiSPNET 2016*, 2016, pp. 1112–1116.
- [2] B. Sugiarto, "The Use of Fuzzy Logic for Data Classification in Sensor Node on Wireless Sensor and Actuator Network (WSAN) System," in *Makassar International Conference on Electrical engineering and Informatics (MICEEI)*, 2014, no. November, pp. 109–113.
- [3] D. I. Saputra, A. Najmurokhman, and Z. Fakhri, "Skema Implementasi Fuzzy Inference System tipe Sugeno Sebagai Algoritma Pengendali Pada Sistem Pengamatan Berbasis IoT," in *Seminar Nasional Sains dan Teknologi 2019*, 2019, pp. 1–12.
- [4] M. Irfal, T. Alfiansyah, D. I. Saputra, and C. Yusuf, "Skema Implementasi Pengendali Heater Kandang Ayam Broiler Berbasis Node Nirkabel Menggunakan Logika Fuzzy," in *Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan*, 2019, no. September, pp. 22–29.
- [5] A. Rafi, A. Tahtawi, and S. W. Jadmiko, "Kendali Kecepatan Motor DC Berbasis WNCs Menggunakan Pengendali PI Anti-Windup," *JTERA*, vol. 4, no. 2, pp. 227–236, 2019, doi: 10.31544/jtera.v4.i2.2019.227-236.
- [6] S. H. Xiong, Z. Zhong, and Z. Xin, "PD-type open-closed-loop iterative learning control in the networked control system," in *Proceedings of the 28th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2016*, 2016, pp. 5738–5744, doi: 10.1109/CCDC.2016.7532025.
- [7] A. Najmurokhman, Y. B. Zainal, and S. C. Sari, "Perancangan Pengendali dengan Umpan Balik

- Keadaan untuk Networked Perancangan Pengendali dengan Umpan Balik Keadaan untuk Networked Control Systems,” in *Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu Universitas Budi Luhur*, 2014, no. December, doi: 10.13140/2.1.4479.9040.
- [8] U. J. Shobrina, R. Primananda, and R. Maulana, “Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24I01 , Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 4, pp. 1510–1517, 2018.
- [9] F. S. Fahmi and D. I. Saputra, “Pengontrolan Buka-an Valve Pada Sistem Vessel Separator Dengan Metode Logika Fuzzy Berbasis Node Nirkabel Valve Opening Control in Vessel Separator System Using Fuzzy Logic Method With A Wireless Node-Based,” in *SENTER 2019: Seminar Nasional Teknik Elektro 2019*, 2019, no. November 2019, pp. 135–149.
- [10] R. Al Tahtawi, E. Andika, and W. N. Harjanto, “Desain Awal Pengembangan Sistem Kontrol Irigasi Otomatis Berbasis Node Nirkabel dan Internet-of-Things,” *JOKI*, vol. 10, no. 2, pp. 121–132, 2018.
- [11] A. Satrio, R. Mayasari, F. T. Elektro, U. Telkom, P. Random, and P. Grid, “Analisis Pengaruh Pola Penyebaran Node Pada Jaringan Sensor,” in *e-Proceeding of Engineering*, 2016, vol. 3, no. 1, pp. 494–503.
- [12] A. M. O. Fini, M. B. Gogani, and M. Pourgholi, “Fuzzy gain scheduling of PID controller implemented on real time level control,” 2016, doi: 10.1109/CFIS.2015.7391640.
- [13] A. Dehghani and H. Khodadadi, “Designing a Neuro-Fuzzy PID Controller Based on Smith Predictor for Heating System Faculty of Applied Sciences , Coburg University of Applied Sciences and Arts , Germany Department of Electrical Engineering , Khomeinishahr Branch , Islamic Azad University,” in *17th International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2017)*, 2017, no. October, pp. 15–20.
- [14] X. Wu, J. Wu, and D. Li, “Designation and Simulation of Environment Laboratory Temperature Control System Based on Adaptive Fuzzy PID,” in *Proceedings of 2018 IEEE 3rd Advanced Information Technology, Electronic and Automation Control Conference, IAEEAC 2018*, 2018, no. Iaeac, pp. 583–587, doi: 10.1109/IAEEAC.2018.8577618.
- [15] N. Sutarna and S. Rahayu, “Metode Tuning Operating Range Fuzzy PID Controller pada Sistem Orde Tiga,” *J. Tek. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 33–39, 2020.