

Optimasi Kendali Pada Sistem Node Nirkabel Berbasis Algoritma Fuzzy Logic Controller - PI

Dede Irawan Saputra¹, Cecep Yusuf², Zul Fakhri³

^{1,2,3}Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani

Jl. Terusan Jenderal Sudirman PO BOX 148 Cimahi

dedeirawan.saputra@lecture.unjani.ac.id

Abstrak

Sistem *brooding* ayam komersil mayoritas menggunakan lampu pijar sebagai sumber panas dengan pengaturan suhu menggunakan kendali *on – off* dan dapat terjadi fluktuasi suhu yang tidak terkendali. Untuk mengatasi hal tersebut maka dirancang metode kendali berbasis *Fuzzy Logic Controller* (FLC) yang di implementasikan untuk menghasilkan kendali suhu yang optimal dan adaptif. Algoritma kendali yang dirancang kemudian diimplementasikan pada sebuah simulator berupa simulator kandang ayam tersusun dari 2 buah *node* yang terhubung secara nirkabel. *Node* sensor akan mengolah data input menggunakan sensor suhu BME280 dan *node* aktuator akan mengolah data menggunakan algoritma kendali FLC dan kendali Proporsional Integral (FLC-PI). Pada penelitian juga dirancang model fungsi alih dari *plant* yang digunakan dalam simulasi untuk proses analisis dan perbandingan dengan implementasi eksperimen. Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian respon kendali, kendali FLC-PI memiliki karakteristik tanggapan transisi dengan nilai *time constant* sebesar 133,5 detik, *rise time* sebesar 234 detik, *settling time* sebesar 264 detik dan *delay time* sebesar 95,5 detik, hasil tersebut menunjukkan bahwa algoritma kendali FLC-PI lebih baik dari kendali PI serta dapat mengatasi waktu tunda dan menghasilkan penguasaan yang bervariasi sesuai dengan batasan nilai K_p dan K_i .

Kata kunci: *Fuzzy Logic Controller, Kendali Proporsional-Integral, Node Nirkabel*

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 Sensor 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 direalisasikan 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. 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 [4], sistem kendali iteratif [5] dan perancangan pengendali dengan umpan balik keadaan pada NCS [6]. 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 [7]. Salah satu perangkat yang dapat digunakan adalah memanfaatkan frekuensi radio dalam transmisi digital yang memungkinkan terdapat banyak *node* [8]. *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

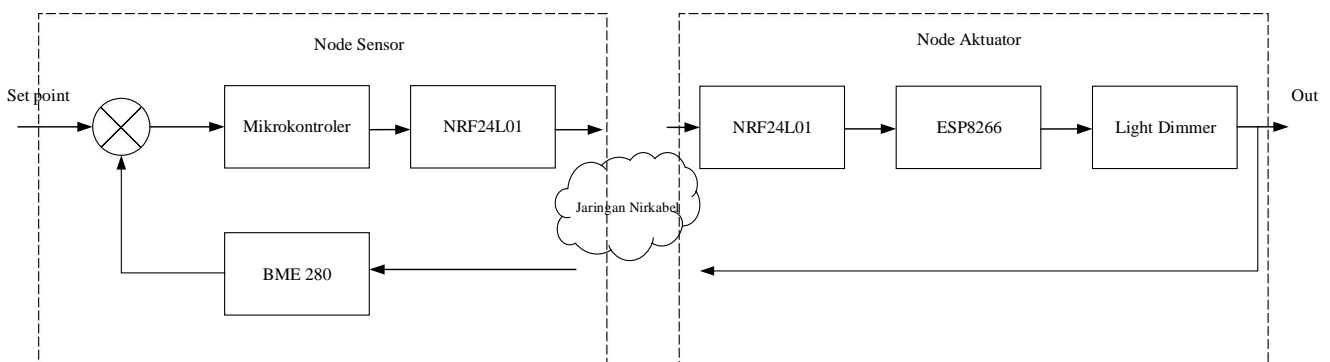
adalah tubrukan data sehingga data tidak dapat diterima oleh modul penerima [9].

Salah satu sistem yang dapat diaplikasikan menggunakan mekanisme lingkaran tertutup adalah algoritma *Fuzzy* dan PI serta PID [10] [11] [12] karena memiliki fleksibilitas tinggi. Sehingga apabila diimplementasikan proses pengendalian seperti suhu dan kelembaban pada sistem *brooding* ayam broiler yang memerlukan kondisi suhu 24°C - 32°C serta kondisi kelembaban 55% - 70% sangat cocok karena karakteristik setiap kandang dapat berbeda dari segi ukuran, luas dan kapasitas. Algoritma *Fuzzy Logic Controller* dapat dikombinasikan dengan algoritma PI untuk menghasilkan algoritma pengendali *Fuzzy-PI*.

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.

II. METODE PENELITIAN

Berikut diagram blok sistem kendali yang ditunjukkan pada Gambar 2.1



Gambar 2.1. Diagram blok sistem kendali

Terdapat dua buah *node* yang dirancang pada penelitian yaitu *node* sensor dan *node* aktuator yang masing-masing terpisah satu sama lain. *node* sensor berfungsi sebagai pengolah data input menggunakan mikrokontroler. *Node* sensor juga terhubung dengan sensor BME280 untuk mendeteksi suhu aktual. Pada *node* ini dikirimkan data input berupa *set point* suhu aktual menggunakan NRF24L01 dengan memanfaatkan gelombang radio.

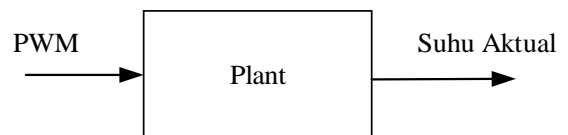
Node aktuator akan menerima dan mengolah data *set point* menggunakan algoritma kendali *Fuzzy Logic Controller* di dalamnya yang diprogram pada NodeMCU ESP8266 untuk menghasilkan keluaran berupa nilai PWM yang akan diimplementasikan pada modul AC *light dimmer* agar dapat mengatur intensitas cahaya.

A. Pemodelan dan Identifikasi Sistem

Kendali *open loop* dibuat untuk menampilkan tanggapan *plant* meningkatkan suhu. *Plant* pada sistem terdiri dari AC *light dimmer* dan lampu pijar seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.2. input pada sistem *open loop* berupa nilai maksimum dari PWM, kemudian data keluaran dari sistem *open*

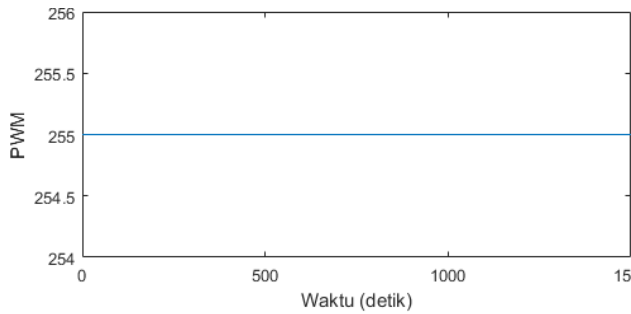
loop berupa suhu aktual di cuplik dengan waktu cuplik 0,5 detik.

Data hasil pencuplikan akan diolah untuk dilakukan pemodelan menggunakan *System Identification Toolbox* pada Matlab sehingga didapatkan fungsi alih *plant*. Setelah dilakukan pemodelan, selanjutnya dapat digunakan dalam proses simulasi dan implementasi kendali FLC – PI. Berikut langkah-langkah pemodelan yang dilakukan dengan langkah pertama menentukan fungsi alih berdasarkan tanggapan sistem *open loop*. Adapun fungsi alih pada sistem dapat didekati dengan persamaan orde pertama.

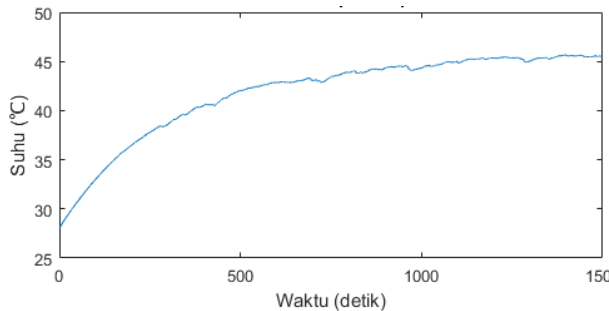


Gambar 2.1. diagram blok *open loop*

Berikut gambar masukan dan keluaran sistem berupa tanggapan suhu aktual yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 dan Gambar 2.3.

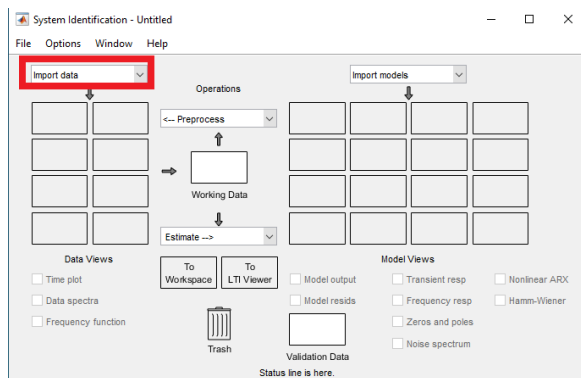


Gambar 2.2. masukan sistem *open loop*



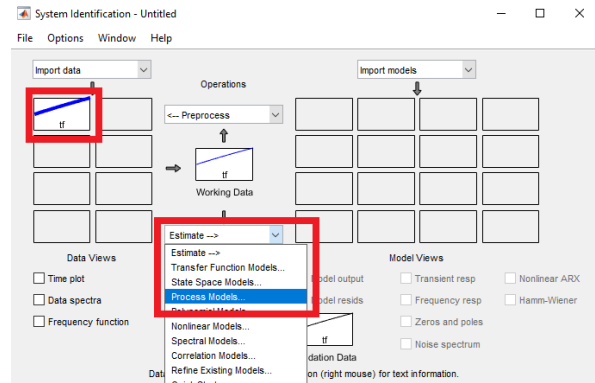
Gambar 2.3. Tanggapan sistem *open loop*

Pengujian tanggapan sistem *open loop* pada *plant* dilakukan untuk menunjukkan tanggapan perubahan suhu yang dihasilkan oleh lampu pijar dari modul AC *light dimmer* saat diberi input berupa sinyal PWM. Berdasarkan data tersebut dapat dilakukan proses pemodelan fungsi alih menggunakan *System Identification Toolbox* pada Matlab. Langkah pertama yang dilakukan pada proses pemodelan adalah mengimpor data masukan dan keluaran pada Matlab seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



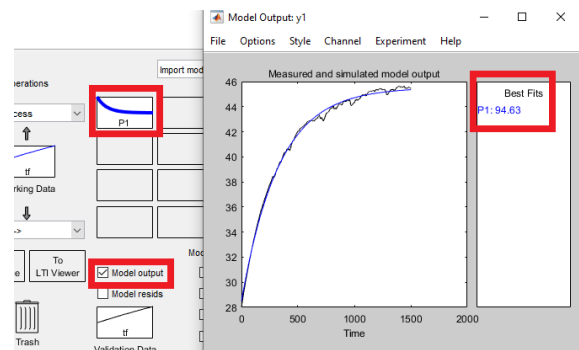
Gambar 2.4. Mengimpor data pada *System Identification Toolbox* pada Matlab

Setelah data diimpor kemudian dilakukan estimasi data dengan teknik *process model* seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.5



Gambar 2.5. Estimasi data

Sehingga dapat ditentukan penekatan orde dari sistem dengan memilih banyak nya pole dan zero. Pada penelitian ditentukan banyaknya pole adalah satu dan zero adalah nol karena tanggapan sistem tidak memiliki osilasi atau *overshoot*. Berikut hasil estimasi dan fungsi alih yang didapat dari hasil pemodelan yang ditunjukkan pada Gambar 2.6



Gambar 2.6. Persentase *best fit* pemodelan

Hasil dari pemodelan didapatkan akurasi pemodelan sebesar 94,63% dan fungsi alih *plant* sebagai berikut.

$$G(s) = \frac{0.17856}{1 + 329.36s}$$

Dengan menggunakan metode dan fungsi *c2d* pada Matlab maka dapat ditentukan fungsi alih sistem tersebut ke dalam fungsi alih diskrit dengan waktu cuplik 0.5 detik sebagai berikut.

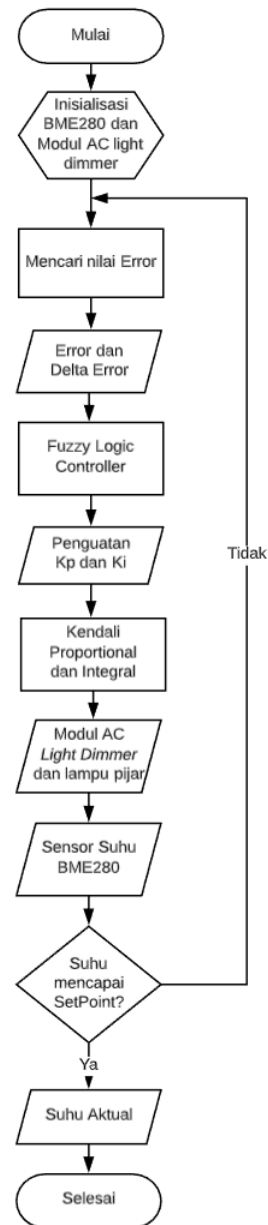
$$G(z) = \frac{0.0002709}{z - 0.9985}$$

B. Perancangan Fuzzy Logic Controller - PI

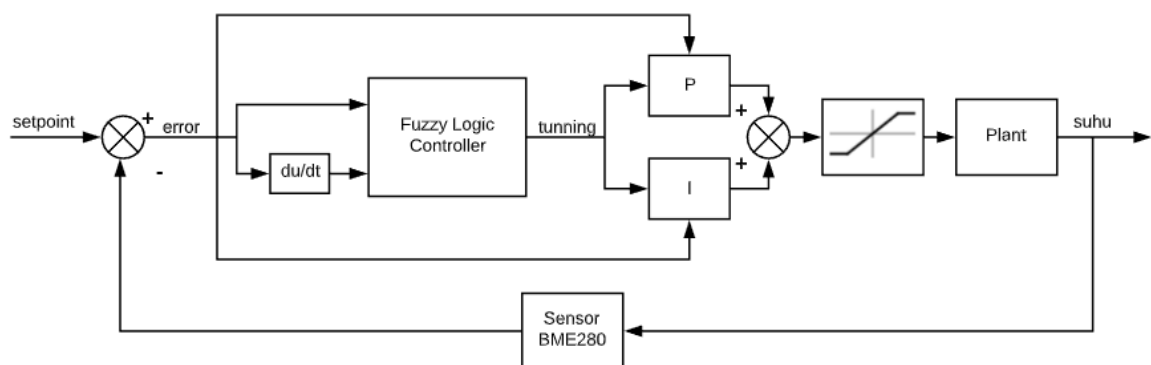
Fuzzy logic controller – PI (FLC-PI) merupakan sistem kendali lingkaran tertutup gabungan antaran

logika fuzzy dan pengendali proporsional dan integral. Gabungan dari kedua pengendali tersebut merupakan salah satu alternatif mengembangkan sistem kendali yang adaptif sesuai dengan kondisi. Pada penelitian *plant* yang digunakan adalah *light dimmer* dan lampu yang diimplementasikan pada simulator kandang ayam. Berikut diagram blok sistem kendali FLC-PI yang ditunjukkan pada Gambar 2.6. dihrapkan dari pengendalian tersebut adalah nilai penguatan kendali PI akan diatur oleh kendali FLC dengan nilai penguatan yang berbeda – beda setiap kondisi *error* yang ada. Masukan pada FLC berupa nilai *error* dan delta *error* dari setpoin yang diharapkan.

FLC akan memproses kedua input menggunakan metode inferensi *Sugeno* dan menghasilkan 2 output berupa nilai penguatan K_p dan K_i . Nilai penguatan serta nilai *error* akan diproses pada kendali PI dan menghasilkan keluaran yang dikonversi menjadi nilai PWM seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.7.

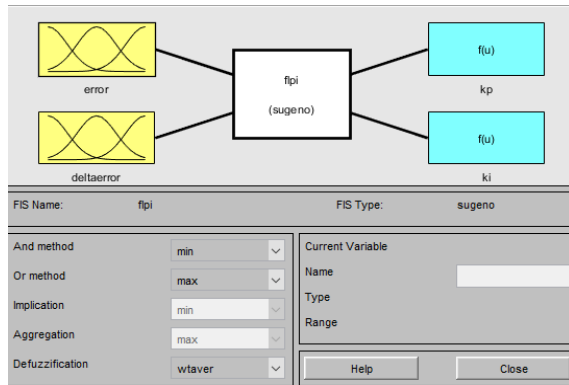


Gambar 2.7. Flowchart sistem FLC-PI



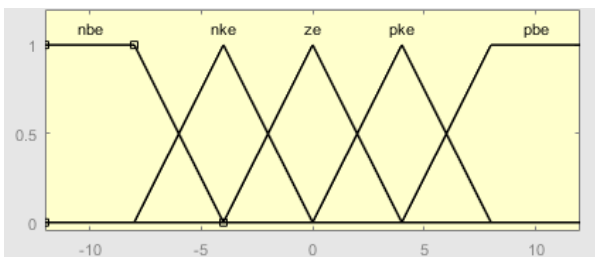
Gambar 2.6. Diagram blok sistem kendali FLC-PI

Dalam mengimplementasikan algoritma FLC maka diperlukan perancangan dan penentuan nilai untuk masing-masing masukan yang akan diolah serta keluaran yang diharapkan dari FLC. Proses pendefinisian nilai-nilai tersebut dapat dilakukan dengan perancangan pada *Fuzzy Logic Toolbox* di Matlab seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8.



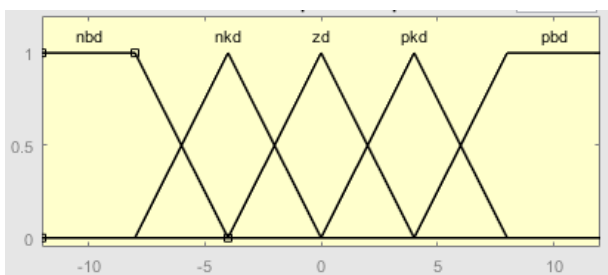
Gambar 2.8. Fuzzy Logic Toolbox

Fungsi keanggotaan dari masukan *error* yang terdapat pada Gambar 2.9 terdiri dari 5 *membership function*, diantaranya negatif besar *error* (nbe), negatif kecil *error* (nke), zero *error* (ze), positif kecil *error* (pke) dan juga positif besar *error* (pbe).



Gambar 2.9. Fungsi keanggotaan *error*

Sedangkan fungsi keanggotaan dari input *delta error* yang terdapat pada Gambar 2.11 terdiri dari 5 *membership function*, diantaranya negatif besar *delta error* (nbd), negatif kecil *delta error* (nkd), zero *delta error* (zd), positif kecil *delta error* (pkd) dan juga positif besar *delta error* (pbd).

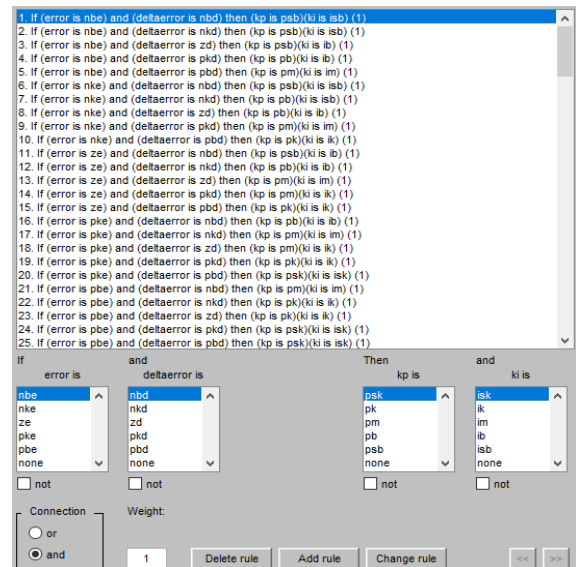


Gambar 2.10. Fungsi keanggotaan *delta error*

Adapun fungsi keanggotaan dari keluaran penguatan *Kp* terdiri dari 5 *membership function*, diantaranya *proportional* sangat kecil ($psk = 140$), *proportional* kecil ($pk = 280$), *proportional* menengah ($pm = 420$), *proportional* besar ($pb = 560$) dan *proportional* sangat besar ($psb = 700$).

Fungsi keanggotaan yang terakhir adalah dari keluaran penguatan *Ki* yang terdiri dari 5 *membership function*, diantaranya *integral* sangat kecil ($isk = 0.04$), *integral* kecil ($ik = 0.08$), *integral* menengah ($im = 0.12$), *integral* besar ($ib = 0.16$) dan *integral* sangat besar (isb).

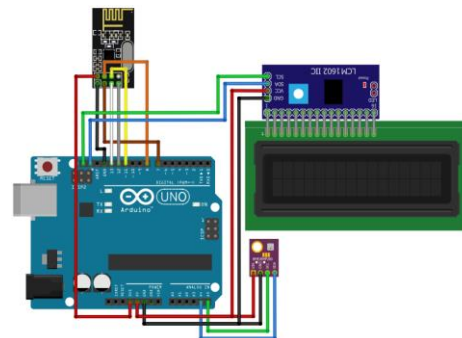
Pengaturan yang terakhir adalah menentukan proses inferensi berdasarkan aturan. Adapun pembuatan aturan pada penelitian dapat ditunjukkan pada Gambar 2.11 yang terdiri dari 25 aturan.



Gambar 2.11. Fuzzy rule base

C. Perancangan perangkat keras

Perangkat keras terdiri dari *node* sensor dan *node* aktuator yang ditunjukkan pada Gambar 2.12 dan Gambar 2.13 dengan spesifikasi sebagai berikut.



Gambar 2.12. pengabelan *node* sensor

Berikut konfigurasi pengabelan rangkaian *node* sensor yang terdiri dari papan Arduino Uno, Sensor BME280, NRF24L01 dan LCD pada Gambar 2.12 yang ditunjukkan pada Tabel 1-3.

Tabel 1. Konfigurasi pin Arduino Uno dengan BME280

Arduino Uno	BME280
VCC 5V	VCC
GND	GND
A4	SDA
A5	SCL

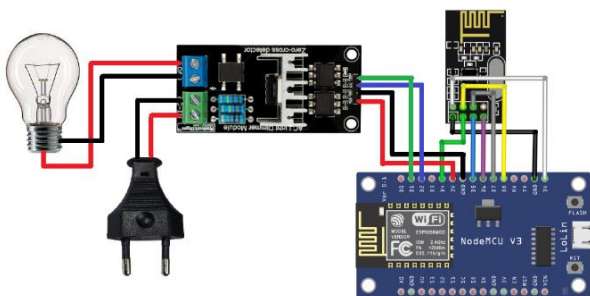
Tabel 2. Konfigurasi pin Arduino Uno dengan NRF24L01

Arduino Uno	NRF24L01
VCC 3.3V	VCC
GND	GND
7	CE
8	CSN
11	MOSI
12	MISO
13	SCK

Tabel 3. Konfigurasi pin Arduino Uno dengan LCD

Arduino Uno	LCD I2C
VCC 5V	VCC
GND	GND
SDA	SDA
SCL	SCL

Pada rangkaian *node* aktuator terdapat NodeMCU ESP8266, modul NRF24L01, modul AC *light dimmer* dan rangkaian lampu pijar AC. Modul NRF24L01 dan modul AC *light dimmer* dirangkai pada NodeMCU ESP8266 yang ditunjukkan pada Gambar 2.13 dengan konfigurasi pin pada Tabel 4 dan Tabel 5.



Gambar 2.13. Diagram pengabelan *node* aktuator

Tabel 4. Konfigurasi pin NodeMCU ESP8266 dengan modul AC *light dimmer*

NodeMCU ESP8266	Modul AC <i>light dimmer</i>
VCC 3.3V	VCC
GND	GND
D1	PWM
D2	ZC

Tabel 5. Konfigurasi pin NodeMCU ESP8266 dengan NRF24L01

NodeMCU ESP8266	NRF24L01
VCC 3.3V	VCC
GND	GND
D4	CE
D5	SCK
D6	MISO
D7	MOSI
D8	CSN

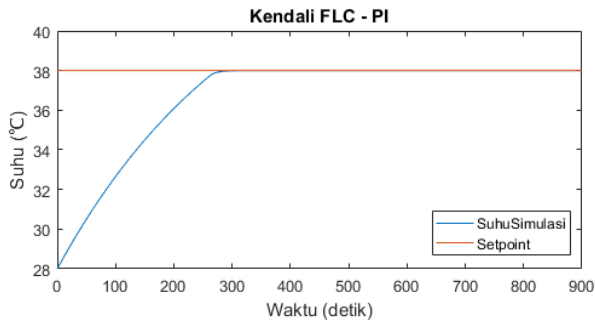
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut hasil dari perancangan perangkat keras plant yang ditunjukkan pada Gambar 3.1 dengan dimensi 40 cm x 40 cm x 40,9 cm dengan ruang tertutup.



Gambar 3.1 realisasi sistem

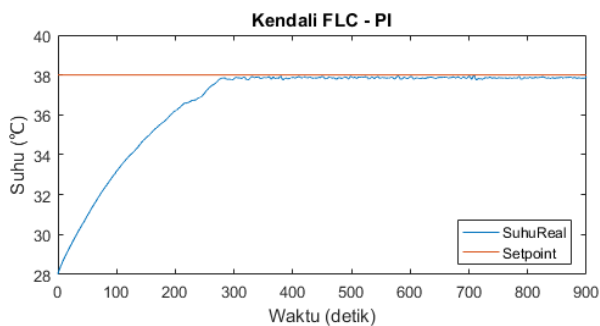
Pada pengujian tanggapan sistem menggunakan kendali FLC-PI dilakukan dengan membandingkan data hasil simulasi pada Matlab dengan data hasil implementasi. Pengujian simulasi tanggapan sistem kendali FLC-PI dengan menggunakan *transfer function* hasil pemodelan sebagai *model plant* dalam simulasi pada *simulink* MATLAB dan menghasilkan respon sistem seperti pada Gambar 3.2 berikut.



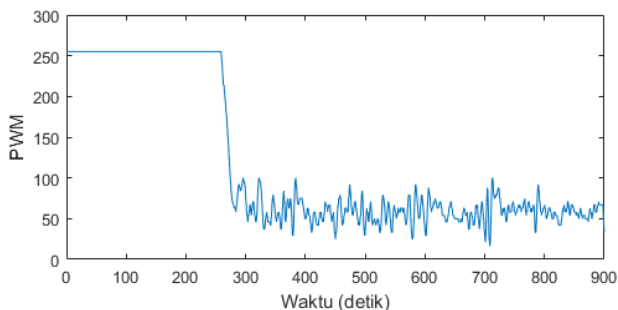
Gambar 3.2. Simulasi tanggapan sistem FLC-PI

Tanggapan transisi pada simulasi kendali FLC-PI yang terdapat pada Gambar 4.6 merupakan tipe *critically damped response* dengan keluaran suhu maksimal mencapai 38°C. karakteristik respon *transient* pada simulasi kendali FLC-PI memiliki nilai *time constant* sebesar 145 detik, *rise time* (10% - 90%) sebesar 214 detik, *settling time* (5%) sebesar 252 detik dan *delay time* sebesar 109 detik.

Sedangkan untuk tanggapan transisi hasil implementasi dapat diamati pada Gambar 3.3 dan sinyal kendali pada Gambar 3.4. Sistem memiliki nilai *time constant* sebesar 133,5 detik, *rise time* (10% - 90%) sebesar 234 detik, *settling time* (5%) sebesar 264 detik dan *delay time* sebesar 95,5 detik.

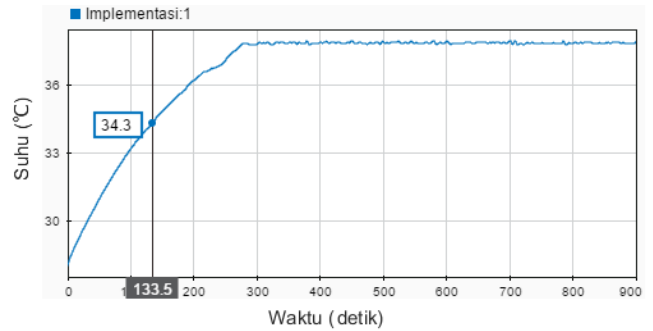


Gambar 3.3. Tanggapan sistem implementasi FLC-PI

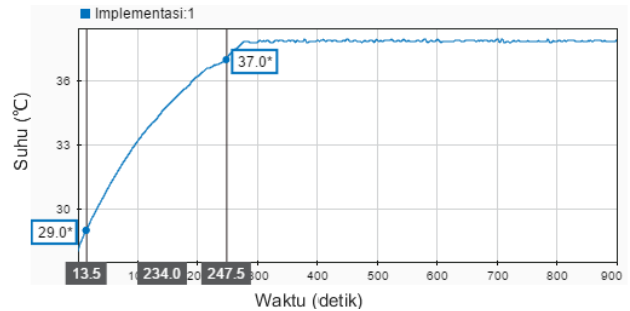


Gambar 3.3 Sinyal kendali implementasi FLC-PI

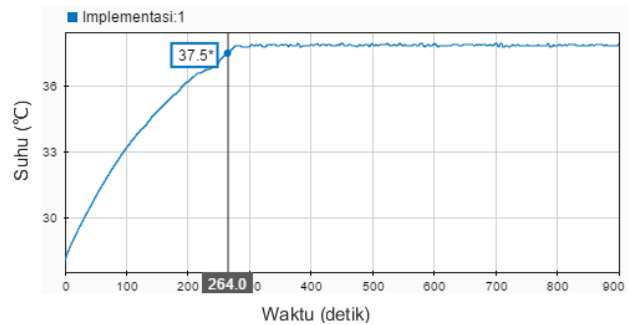
Berikut karakteristik tanggapan transisi dengan data *time constant*, *rise time*, *settling time* dan *delay time* yang ditunjukkan pada Gambar 3.4 sampai dengan Gambar 3.7.



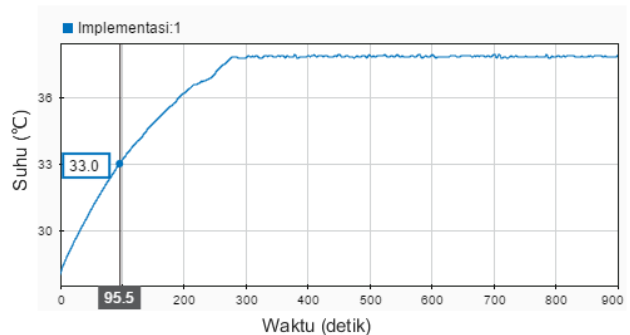
Gambar 3.4. Time constant implementasi FLC-PI



Gambar 3.5. Rise time implementasi FLC-PI



Gambar 3.6. Settling time implementasi FLC-PI

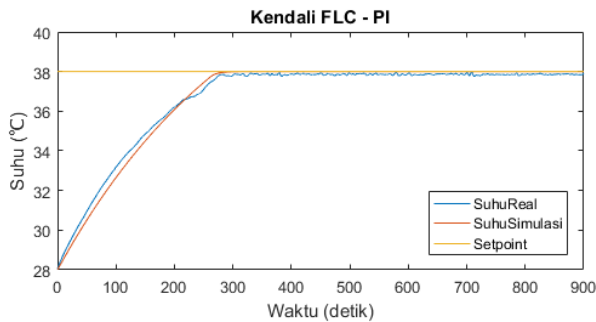


Gambar 3.7. Delay time implementasi FLC-PI

Adapun hasil perbandingan karakteristik tanggapan transisi pada kendali FLC-PI untuk simulasi dan implementasi dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut dan Gambar 3.8.

Tabel 4.1. Karakteristik tanggapan transisi kendali FLC-PI

	<i>Time constant</i>	<i>Rise time</i>	<i>Settling time</i>	<i>Delay time</i>
Simulasi	145 detik	214 detik	252 detik	109 detik
Implementasi	133,5 detik	234 detik	264 detik	95,5 detik



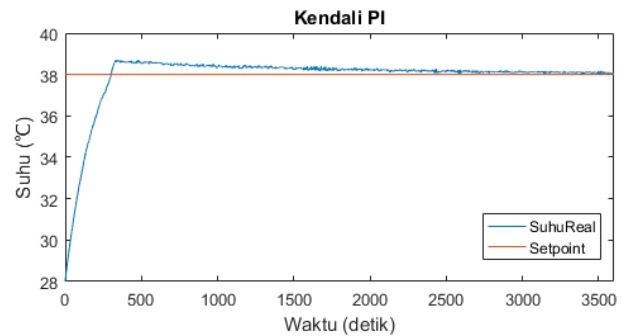
Gambar 3.8. Perbandingan tanggapan sistem FLC-PI

Pada penelitian sistem kendali dan *plant* dipisahkan tanpa kabel akan tetapi dihubungkan dengan perangkat NRF24L01 yang memiliki waktu tunda minimum dan waktu tunda maksimum. Masing-masing waktu tunda minimum sebesar 0,64 detik dan waktu tunda maksimum sebesar 1,12 detik. Pada proses simulasi digunakan waktu tunda maksimum sebesar 1,12 yang direalisasikan menggunakan blok *transport delay* pada Matlab Simulink seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.9.

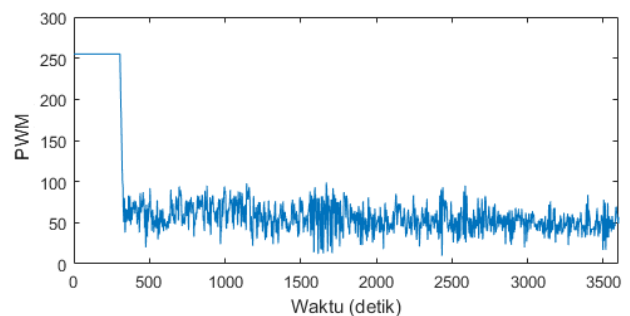
Berdasarkan hasil pengujian baik simulasi maupun eksperimen secara implementasi pada *plant* menunjukkan hasil yang relatif dekat pada sistem *close loop* menggunakan pengendali FLC-PI. Pengaruh waktu tunda pada sistem nirkabel membutuhkan sistem kendali yang dapat beradaptasi terhadap lingkungan sekitar maupun terhadap gangguan. Perubahan waktu tunda akan dapat diatasi dengan melakukan penyesuaian penguatan yang dihasilkan oleh algoritma *Fuzzy Logic Controller* sehingga tidak diperlukan proses *manual tuning*.

Pada sisi pengendali dapat diamati pula perbandingan apabila diimplementasikan pengendali PI linear dengan percobaan nilai penguatan $K_p = 140$ dan penguatan $K_i = 0,04$. Hasil yang dapat ditunjukkan pada Gambar 3.9 dan sinyal kendali pada Gambar 3.10 menunjukkan keluaran suhu pada implementasi kendali PI merupakan tipe *over damped response* karena keluaran suhu melewati *setpoint* yang ditentukan yaitu mencapai maksimal $38,71^\circ\text{C}$ sehingga terjadi *overshoot* sebesar 7,1% dengan karakteristik tanggapan transisi *time constant*

sebesar 154,5 detik, *rise time* (10% - 90%) sebesar 233 detik, *peak time* sebesar 339,5 detik, *settling time* (5%) sebesar 971 detik dan *delay time* sebesar 101,5 detik.



Gambar 3.9. Tanggapan transisi sistem kendali PI



Gambar 3.10. Sinyal kendali sistem kendali PI

IV. KESIMPULAN

Perancangan model fungsi alih berhasil dibuat dan mampu merepresentasikan modul *plant* yang sebenarnya dan perancangan sistem kandang ayam berbasis *node* sensor dan *node* aktuator sebagai rangkaian pengendali. Kedua *node* berhasil terhubung secara nirkabel dan dapat mengirim serta menerima data dengan baik serta proses pengendalian dapat mengatasi waktu tunda. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem kendali FLC-PI lebih baik dari pada sistem kendali PI linear dengan mampu menghasilkan tanggapan transisi yang cepat dengan nilai *time constant* sebesar 133,5 detik, *rise time* sebesar 234 detik, *settling time* sebesar 264 detik dan *delay time* sebesar 95,5 detik. FLC-PI dapat menghasilkan penguatan yang bervariasi sesuai dengan batasan nilai K_p dan K_i . Pendekatan sistem orde pertama yang dilakukan pada proses pemodelan dapat ditingkatkan lagi dengan menambahkan orde sehingga dapat pula dilakukan perancangan pengendali berdasarkan karakteristik orde kedua atau orde banyak.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih disampaikan kepada LPPM UNJANI atas pendanaan hibah internal penelitian kompetitif UNJANI dengan Surat Keputusan Nomor: Skep/129/Unjani/V/2020.

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 (MICEED)*, 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] 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.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] U. J. Shobrina, R. Pramananda, and R. Maulana, "Analisis Kinerja Pengiriman Data Modul Transceiver NRF24101, Xbee dan Wifi ESP8266 Pada Wireless Sensor Network," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 2, no. 4, pp. 1510–1517, 2018.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 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, IAEAC 2018*, 2018, no. Iaeac, pp. 583–587, doi: 10.1109/IAEAC.2018.8577618.