

PERANCANGAN SISTEM KONTROL SUHU LINGKUNGAN PADA SMART GREENHOUSE MENGGUNAKAN METODE FUZZY LOGIC SUGENO

Muhammad Isa Al Mahdi^{*)}, Aghus Sofwan, dan Sumardi

Program Studi Sarjana Departemen Teknik Elektro, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Sudharto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang 50275, Indonesia

^{*)}E-mail: isaalmahdi.rob28@gmail.com

Abstrak

Potensi negara Indonesia di bidang pertanian sangat besar karena kemampuannya memproduksi berbagai jenis tanaman. Hal ini menyebabkan banyaknya metode-metode pertanian yang dikembangkan untuk menghasilkan produk agraris yang optimal. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah greenhouse. Greenhouse adalah suatu bangunan yang berfungsi untuk memanipulasi suhu lingkungan agar tercipta lingkungan yang diinginkan sesuai dengan kebutuhan tanaman-tanaman di dalamnya. Namun untuk saat ini proses manipulasi suhu lingkungan di dalam greenhouse masih dilakukan secara manual. Oleh karena itu diperlukan adanya upaya pengembangan pada greenhouse agar suhu lingkungan di dalamnya tetap terjaga secara otomatis. Pada penelitian ini dirancang sebuah sistem kontrol logika fuzzy yang mampu menjaga suhu lingkungan di dalam greenhouse secara otomatis. Sistem kontrol ini dirancang agar suhu udara di dalam greenhouse lebih stabil. Output sistem kontrol ini berupa nilai durasi waktu yang digunakan untuk mengendalikan motor pompa air. Pengujian yang dilakukan ialah pengujian parameter kondisi greenhouse tanpa kontroler dan dengan kontroler. Hasil pengujian yang didapat menunjukkan bahwa pada greenhouse yang dipasang kontroler, suhu udara yang dihasilkan rata-rata 29,47°C. Kelembaban udara rata-rata yang dihasilkan adalah 74,1%RH. Suhu rata-rata yang dihasilkan sudah di bawah set point yang ditentukan yaitu 30°C dan kelembaban sudah masuk kategori ideal yaitu antara 70-80%RH.

Kata kunci: Pertanian, greenhouse, smart greenhouse, kontroler, logika fuzzy

Abstract

The potential of Indonesia's agriculture is very large because it's ability to produce various types of plants. This causes addition in agricultural methods developed to produce optimal products. One method that is widely used is greenhouse. Greenhouse is a building that functions to manipulate environmental temperature in order to create the desired environment according to the needs of the plants in it. However, for now, the process of manipulating the environmental temperature in the greenhouse is still done manually. Therefore, it is necessary to develop a greenhouse so that the environmental temperature in it is maintained automatically. In this research, a fuzzy logic control system is designed to automatically maintain the environmental temperature in the greenhouse. This control system is designed to make the air temperature in the greenhouse more stable. The output of this control system is the value of the time duration used to control the water pump motor. The test is to test the parameters of the greenhouse conditions without a controller and with a controller. The test results obtained show that the greenhouse with a controller installed, the resulting air temperature an average of 29.47 ° C. The resulting average humidity is 74.1% RH. The resulting average temperature is below the specified set point, which is 30 ° C and humidity is in the ideal category, which is between 70-80% RH.

Keywords: Agriculture, greenhouse, smart greenhouse, controller, fuzzy logic

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan negara agraris terbesar di dunia setelah Brazil, dimana dari 27% zona tropis di dunia, Indonesia memiliki 11% wilayah tropis yang dapat ditanami dan dibudidayakan setiap tahunnya. Luasnya wilayah dan lahan yang dapat ditanami ini menempatkan Indonesia berada pada posisi nomor 10 di dunia. Menurut World Bank, Indonesia berada pada cakupan luas wilayah 1,905 km² dan luas lahan yang dapat ditanami seluas 241,880 km² (total 12%) dan sisanya merupakan

perbukitan/pegunungan, dan lain-lain. Sektor ini menyumbang 14,9% dari Produk Domestik Bruto (PDB) dalam kurun waktu 2010-2013 [1]. Potensi bidang pertanian pun sangat besar karena Indonesia mampu memproduksi berbagai jenis tanaman yang hasilnya dapat dikonsumsi oleh warga negara Indonesia sendiri maupun diekspor ke luar negeri. Ditinjau dari segi peningkatan produksinya perkembangan usaha perkebunan telah menunjukkan kemajuan yang sangat pesat, seperti komoditas sawit, karet, kakao, kopi, teh, maupun perkebunan lainnya. Perkebunan tersebut telah menjadi

andalan ekspor Indonesia di pasaran dunia, sehingga untuk mencapai hasil ekspor yang maksimal diperlukan adanya kerja sama baik antara petani, perusahaan perkebunan dan pemerintah [2].

Hal tersebut menyebabkan banyaknya metode-metode pertanian yang dikembangkan untuk menghasilkan produk yang optimal. Salah satu metode yang banyak digunakan ialah rumah kaca atau biasa disebut greenhouse. Greenhouse atau rumah kaca dapat didefinisikan sebagai suatu bangunan yang berfungsi untuk memanipulasi suhu lingkungan agar tercipta lingkungan yang dikehendaki sesuai dengan kebutuhan tanaman-tanaman di dalamnya. Rumah kaca juga dapat diartikan sebagai sebuah bangunan tempat budidaya tanaman dengan pengaturan beberapa variabel di dalamnya agar sesuai dengan kebutuhan tumbuh kembang tanaman yang sedang dibudidayakan saat itu [3]. Berbeda dengan tanaman yang dibudidayakan di luar greenhouse, tanaman yang dibudidayakan di dalam greenhouse tentu memiliki kualitas yang lebih baik sehingga produk yang dihasilkan juga lebih optimal. Pertanian berbasis rumah kaca mempunyai beberapa keuntungan, yakni tanaman relatif terlindung dari hama dan penyakit dan kondisi lingkungan rumah kaca relatif lebih mudah dimonitor dan dikendalikan [4]. Namun untuk saat ini, umumnya pengaturan kondisi di dalam greenhouse masih menggunakan metode manual seperti pengukuran suhu ruangan menggunakan termometer, pengukuran kelembaban udara dengan higrometer, dan pengukuran kelembaban tanah dan pH tanah dengan soil pH moisture meter. Sehingga masih sulit untuk memanipulasi kondisi lingkungan secara real time dan termonitor dari jarak jauh. Untuk itu diperlukan adanya upaya perbaikan pada greenhouse agar produktivitas tanaman lebih terjaga tanpa harus menggunakan bantuan tangan manusia secara langsung.

Pada penelitian sebelumnya, diusulkan mengenai sistem kendali penyiraman pada smart greenhouse menggunakan logika fuzzy[5]. Sistem kontrol yang digunakan menggunakan kontrol logika fuzzy Sugeno. Namun pada pengujiannya hanya membandingkan hasil pengujian dengan aplikasi Matlab, tidak dibandingkan dengan pengujian tanpa kontroler. Penelitian berikutnya diusulkan mengenai sistem monitoring dan pengontrolan penyiraman tanaman menggunakan metode Fuzzy Logic dengan pendekatan Internet of Things.

Pada penelitian ini, diusulkan sebuah rancangan smart greenhouse menggunakan metode kontrol fuzzy logic Sugeno untuk merencanakan suhu lingkungan dalam greenhouse secara otomatis. Sistem kontrol ini menggunakan input dari sensor DHT22 yang kemudian diolah melalui proses fuzzifikasi, rule base, dan defuzzifikasi. Kemudian output hasil perhitungan kontroler dijadikan suatu nilai durasi waktu pemicu relay yang menyebabkan aktuatur bekerja sesuai dengan nilai output tersebut. Aktuatur yang digunakan berupa pompa

air yang berfungsi sebagai penyemprot kabut air agar suhu udara turun sesuai dengan set point dan kelembaban udara naik.

2. Metode

2.1. Arduino Due

Arduino memiliki berbagai macam mikrokontroler, salah satu diantaranya adalah Arduino Due. Arduino Due adalah board mikrokontroler yang berbasis pada CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3. Ini adalah board Arduino pertama yang berbasis pada mikrokontroler ARM inti 32-bit. Arduino ini memiliki 54 pin masukan/keluaran digital 12 di antaranya dapat digunakan sebagai keluaran (PWM), 12 pin masukan analog, 4 UART (port serial perangkat keras), jam 84 MHz, koneksi USB OTG yang mampu, 2 DAC (digital to analog), 2 TWI, colokan listrik, header SPI, header JTAG, tombol reset dan tombol hapus.[7]

2.2. Sensor DHT22

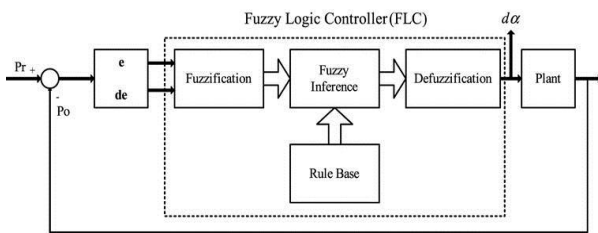
DHT22 atau juga dikenal sebagai AM2302 adalah sensor yang dapat melakukan dua pekerjaan sekaligus yaitu mengukur suhu dan kelembaban udara yang ada di sekitarnya. Sensor ini memiliki akurasi dan presisi yang lebih baik dibanding dengan sensor pengukur suhu dan kelembaban udara yang lain, DHT11. Dibalik kelebihan tersebut, sensor DHT22 juga memiliki kekurangan, yaitu sensor DHT22 memiliki harga yang lebih mahal dibandingkan dengan sensor DHT11 [8].

Tabel 1. Karakteristik Sensor DHT22 [9]

Spesifikasi	DHT22
Sumber tegangan	3.3-6V DC
Sinyal keluaran	Sinyal digital via <i>single-bus</i>
Elemen sensor	Kapasitor polimer
Rentang operasi	kelembaban: 0-100% RH; suhu: 40-80°Celsius
Akurasi	kelembaban: $\pm 2\%$ RH(Max $\pm 5\%$ RH); suhu $< \pm 0.5^\circ\text{Celsius}$
Resolusi atau sensitivitas	kelembaban: 0.1% RH; suhu 0.1°Celsius
Pengulangan	kelembaban: $\pm 1\%$ RH; suhu $\pm 0.2^\circ\text{Celsius}$
Histeresis kelembaban	$\pm 0.3\%$ RH
Stabilitas jangka panjang	$\pm 0.5\%$ RH/tahun
Periode penginderaan	rata-rata: 2s
Pertukaran	dapat dipertukarkan
Ukuran	Ukuran kecil: 14*18*5.5mm; ukuran besar: 22*28*5mm

2.3. Fuzzy Logic Control

Fuzzy Logic Control atau disebut juga pengendali logika fuzzy adalah salah satu metode pengendali yang memanfaatkan himpunan fuzzy. Himpunan fuzzy pertama kali ditemukan oleh Prof. Lotfi A. Zadeh pada tahun 1965. Himpunan fuzzy ini bersifat samar seperti namanya, yaitu tidak memiliki batas yang jelas. Berbeda dengan himpunan klasik yang memiliki batas yang jelas. [12]



Gambar 1. Blok diagram sistem kontrol closed loop dengan logika Fuzzy [13]

A. Teori Himpunan Fuzzy

Dalam teori himpunan fuzzy dimungkinkan untuk membuat derajat keanggotaan suatu objek dalam himpunan, sehingga dapat menyatakan peralihan keanggotaan suatu objek dalam himpunan. Peralihan ini secara bertahap dalam interval 0 dan 1 atau ditulis [0 1]. Beberapa alasan digunakannya logika fuzzy adalah [14]:

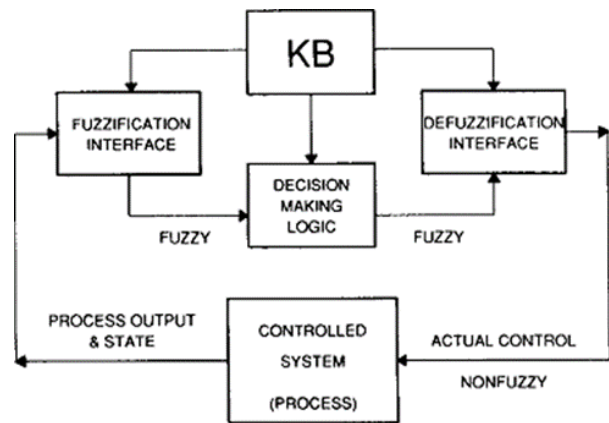
- Konsep logika fuzzy mudah dimengerti.
- Logika fuzzy sangat fleksibel.
- Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- Logika fuzzy dapat memodelkan fungsi-fungsi non-linear yang sangat kompleks.
- Logika fuzzy dapat mengaplikasikan pengalaman-pengalaman pakar secara langsung tanpa melalui proses pelatihan.
- Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

Teori himpunan fuzzy terbagi menjadi tiga macam yaitu:[10]

- Fungsi Keanggotaan Fuzzy
 - Fungsi Keanggotaan Linear
 - Fungsi Keanggotaan Segitiga
 - Fungsi Keanggotaan Trapesium
 - Fungsi Keanggotaan Bahu
- Operasi Himpunan Fuzzy
 - Kesamaan (*equality*)
 - Gabungan (*union*)
 - Irisan (*intersection*)
 - Komplemen (*complement*)
- Variabel Linguistik

B. Sistem Logika Fuzzy

Konfigurasi sistem logika fuzzy terdapat 4 komponen utama, yaitu unit fuzzifikasi, basis pengetahuan yang terdiri dari basis data dan basis aturan, logika pengambilan keputusan dan unit defuzzifikasi [15], seperti pada Gambar 2.



Gambar 2. Konfigurasi dasar sistem logika fuzzy [15]

1. Unit Fuzzifikasi (*Fuzzification Unit*)

Komponen fuzzifikasi berfungsi untuk memetakan masukan data tegas ke dalam himpunan fuzzy menjadi nilai derajat keanggotaan [10]. Fuzzifikasi melalui beberapa langkah sebagai berikut :

- Memperoleh harga tegas dari variabel masukan.
- Memetakan harga tegas dari variabel masukan ke dalam penyimpangan yang sesuai dengan himpunan fuzzy masukan.

2. Unit Basis Pengetahuan (*Knowledge Base*)

Basis pengetahuan terdiri dari basis data dan basis aturan. Basis data mendefinisikan himpunan fuzzy atas ruang-ruang masukan dan keluaran. Basis aturan berisi aturan-aturan kendali fuzzy yang digunakan untuk penentuan keputusan. Pembentukan basis data mencakup perancangan fungsi keanggotaan untuk masing-masing variabel masukan dan keluaran, pendefinisian semesta pembicaraan dan penentuan variabel linguistik setiap variabel masukan dan keluaran [10].

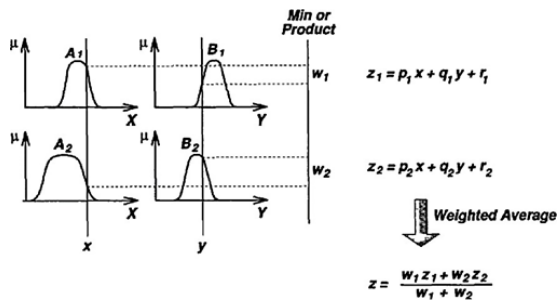
3. Unit Penarikan Kesimpulan dan Defuzzifikasi pada model Fuzzy Takagi-Sugeno

Aturan fuzzy sugeno memiliki bentuk dasar seperti persamaan 1 [12].

$$\text{if } x \text{ is } A \text{ AND } y \text{ is } B \text{ then } z = f(x, y) \quad (1)$$

A dan B adalah himpunan fuzzy dalam penyebab dan $z = f(x, y)$ adalah fungsi tegas dalam konsekuensi. Biasanya $f(x, y)$ adalah polynomial dalam variabel x dan y .

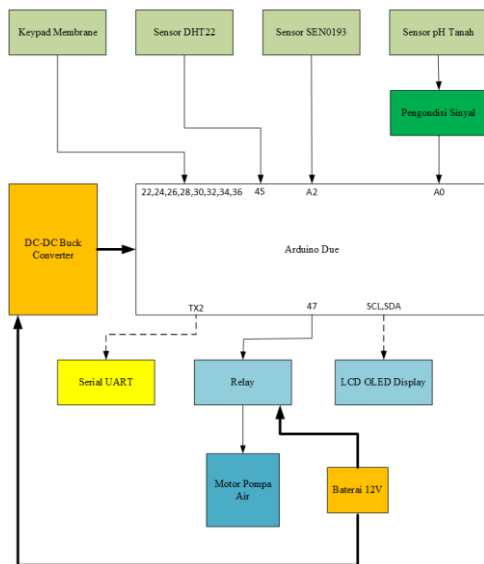
Gambar 3 merupakan tampilan dari inferensi fuzzy model Sugeno. Masukan yang digunakan merupakan himpunan fuzzy sedangkan bagian keluaran merupakan keluaran yang berupa persamaan linier [11].



Gambar 3. Inferensi fuzzy model Sugeno[11]

2.4. Perancangan Perangkat Keras

Perancangan perangkat keras merupakan perancangan rangkaian elektronika dengan mikrokontroler Arduino Due. Gambar 4 merupakan diagram blok perancangan perangkat keras kontroler yang dibuat.



Gambar 4. Diagram blok perancangan perangkat keras

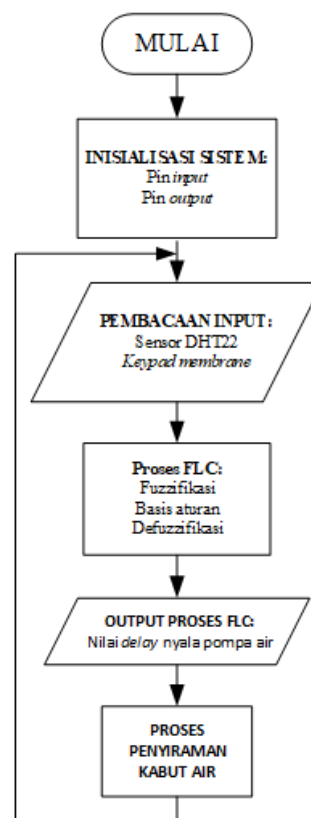
Perancangan perangkat keras dimulai dari *input* sensor-sensor dan *keypad* yang akan diolah oleh mikrokontroler Arduino Due. *Output* dari mikrokontroler berupa *relay* 12VDC yang digunakan sebagai pengendali motor pompa air. Setelah itu kondisi suhu yang terdeteksi oleh sensor DHT22 akan diumpanbalikkan untuk dijadikan parameter *input* kontroler.

2.5. Perancangan Algoritma Sistem Kontrol

Gambar 5 merupakan diagram alir untuk algoritma sistem kontrol. Tahapan-tahapan pada diagram alir tersebut adalah sebagai berikut:

1. Inisialisasi *pin* sensor-sensor yang digunakan sebagai *input* dan *pin* aktuator yang digunakan sebagai *output*. Kemudian membaca nilai *set point* yang ditentukan.

2. Baca nilai sensor DHT22, sensor SEN0193, dan sensor pH tanah.
3. Proses pengontrolan diawali dengan mengkalkulasi nilai *error* suhu dari *set point* dan $\Delta error$ suhu dari selisih *error* saat ini dengan *error* sebelumnya.
4. *Error* dan $\Delta error$ kemudian diklasifikasi dan diolah menggunakan metode *fuzzy logic sugeno* dengan *membership function* dan *rule base* yang telah ditentukan.
5. Proses defuzzifikasi untuk mengkalkulasi nilai pembobotan rata-rata dengan metode *weighted average* untuk menentukan nilai durasi waktu motor pompa air menyala.
6. Motor pompa air menyala berdasarkan durasi waktu yang telah dihitung dari proses FLC.
7. Dari proses penyiraman, data suhu kemudian dideteksi kembali sebagai umpan balik sistem kontrol.
8. Sistem kembali melakukan *loop* setelah tahap 2-7 selesai dilakukan.

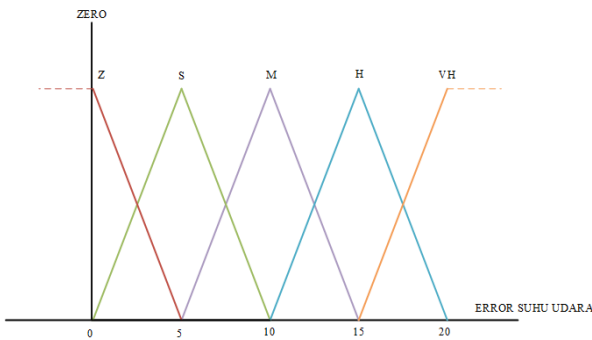


Gambar 5. Diagram alir kontroler

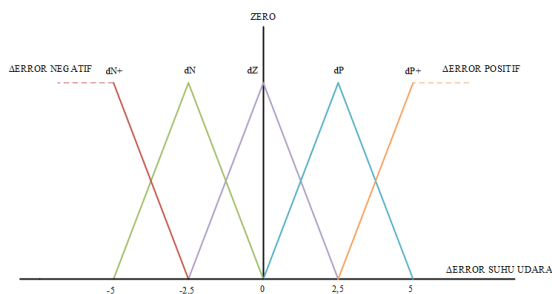
2.6. Perancangan Metode Kontrol Logika Fuzzy

A. Fuzzifikasi

Proses fuzzifikasi ini memiliki masukan berupa *error* dan $\Delta error$ dari suhu udara terhadap *set point*. *Error* dan $\Delta error$ digambarkan dalam grafik himpunan keanggotaan pada gambar 6 dan gambar 7.



Gambar 6. Himplan keanggotaan masukan *error* suhu



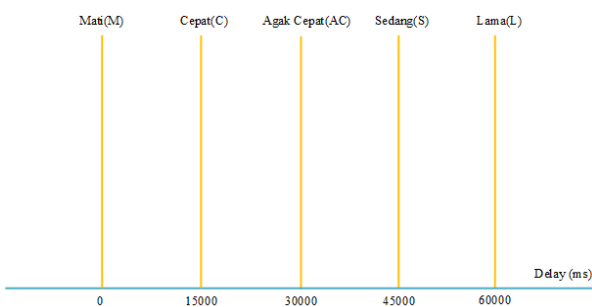
Gambar 7. Himplan keanggotaan masukan Δ *error* suhu

B. Rule Base

Rule base atau basis aturan dirancang sesuai dengan keluaran yang diharapkan sebagai nilai durasi waktu pompa air menyala.

Tabel 2. *Rule base fuzzy logic control*

Error Δ Error	Z	S	M	H	VH
dN+	M	AC	L	L	L
dN	M	C	S	S	L
dZ	M	C	AC	S	L
dP	M	C	S	S	L
dP+	M	AC	L	L	L



Gambar 8. *Singleton output* nilai durasi waktu nyala pompa air

C. Defuzzifikasi

Proses defuzzifikasi ini menggunakan metode perhitungan *weighted average* dengan cara menjumlahkan tiap bobot

dengan nilai keluaran yang dihasilkan kemudian dibagi dengan jumlah bobot.

3. Hasil dan Analisis

3.1. Pengujian Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkan suhu dan kelembaban udara yang terbaca oleh sensor dengan suhu udara yang terbaca oleh thermohigrometer digital. Berikut hasil pengukuran dan pembacaan sensor DHT22 dengan alat thermometer digital setiap jam dalam 12 jam berturut-turut pada tanggal 4 Desember 2020. Tempat uji yang dipakai adalah *Greenhouse* Agrotechnopark Fakultas Peternakan dan Pertanian.

Tabel 3. Perbandingan suhu udara antara sensor DHT22 dan alat ukur

Waktu	Suhu Udara (°C)		Error
	Sensor DHT22	Alat Ukur	
06.00	24,35	24,2	0,15
07.00	28,35	27,4	0,95
08.00	29,07	28,2	0,87
09.00	30,13	29,7	0,43
10.00	35,18	36,9	1,72
11.00	37	38,4	1,4
12.00	37,84	38,5	0,66
13.00	36,92	38,8	1,88
14.00	36,57	37,7	1,13
15.00	34,66	34,3	0,36
16.00	29,62	30	0,38
17.00	28	28,5	0,5
18.00	26,57	27,1	0,53
	Rata-rata <i>error</i>		0,84

Tabel 4. Perbandingan kelembaban udara antara sensor DHT22 dan alat ukur

Waktu	Kelembaban Udara (%RH)		Error
	Sensor DHT22	Alat Ukur	
06.00	98,48	99	0,52
07.00	91,12	99	7,88
08.00	78	91	13
09.00	74,85	85	10,15
10.00	56,47	69	12,53
11.00	49,65	39	10,65
12.00	50	39	11
13.00	52,47	35	17,47
14.00	52,73	35	17,73
15.00	58,54	43	15,54
16.00	76,39	59	17,39
17.00	84,26	67	17,26
18.00	87,44	72	15,44
	Rata-rata <i>error</i>		12,81

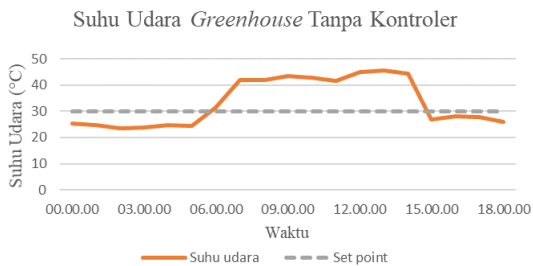
Berdasarkan tabel 3 dan 4 dapat ditunjukkan bahwa nilai *error* suhu rata-rata sensor DHT22 adalah 0,84°C dan nilai *error* kelembaban udara rata-rata adalah 12,81%RH.

3.2. Pengujian Sistem Kontrol Logika Fuzzy

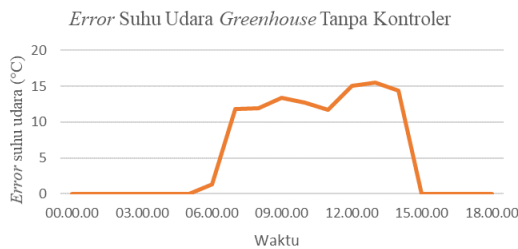
Pengujian sistem kontrol logika *fuzzy* dilakukan sebanyak dua kali, yaitu pengujian sitem tanpa kontroler dan

pengujian sistem dengan kontroler. Pengujian sistem tanpa kontroler dilakukan pada *greenhouse* sebelum aktuator dipasang dan diaktifkan, sedangkan pengujian sistem dengan kontroler dilakukan pada *greenhouse* setelah sistem kontrol dan aktuator dijalankan.

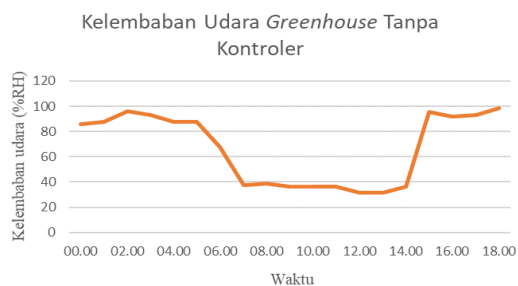
A. Pengujian Sistem Tanpa Kontroler



Gambar 9. Suhu udara pada *greenhouse* B terhadap set point



Gambar 10. Error suhu udara pada *greenhouse* tanpa kontroler terhadap set point



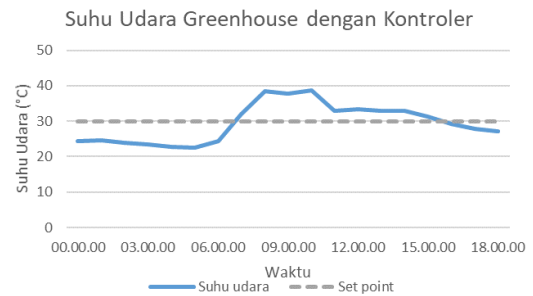
Gambar 11. Kelembaban udara pada *greenhouse* tanpa kontroler

Tabel 5. Hasil pengujian sistem tak terkontrol

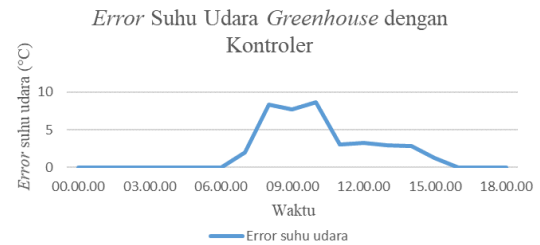
Parameter	Maksimum	Minimum	Rata-rata
Suhu udara (°C)	45,56	23,5	33,35
Error suhu udara (°C)	15,56	0	5,68
Kelembaban udara (%RH)	98,49	31,5	66,78

Hasil pengujian pada tabel 5 menunjukkan nilai rata-rata suhu udara 33,35°C dengan error rata-rata 5,68°C. Nilai kelembaban udara rata-rata adalah 66,78%RH.

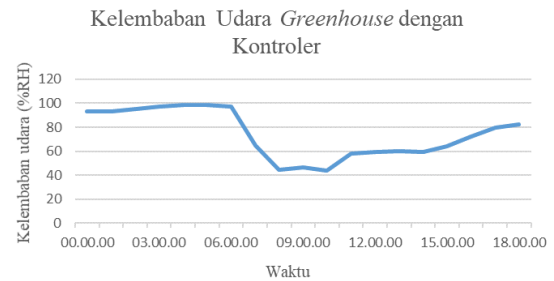
B. Pengujian Sistem dengan Kontroler



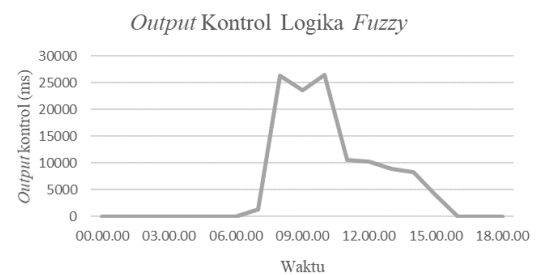
Gambar 12. Suhu udara pada *greenhouse* dengan kontroler



Gambar 13. Error suhu udara pada *greenhouse* dengan kontroler



Gambar 14. Kelembaban suhu udara pada *greenhouse* dengan kontroler



Gambar 15. Nilai output kontrol logika fuzzy

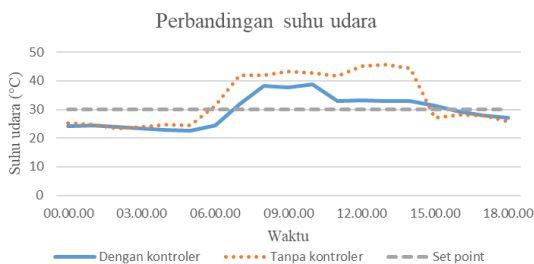
Tabel 6. Hasil pengujian sistem terkontrol

Parameter	Maksimum	Minimum	Rata-rata
Suhu udara (°C)	38,7	22,5	29,47
Error suhu udara (°C)	8,7	0	2,11
Kelembaban udara (%RH)	98,6	43,97	74,1
Output kontrol logika fuzzy (ms)	26501,28	0	6292,26

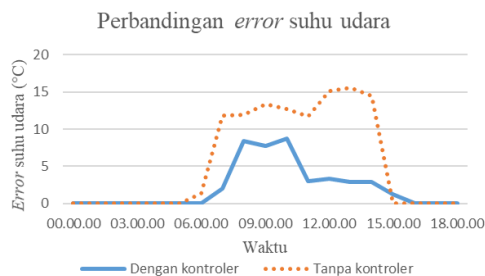
Hasil pengujian pada tabel 6 menunjukkan nilai rata-rata suhu udara adalah 29,47°C dengan error rata-rata 2,11°C. Nilai kelembaban udara rata-rata adalah 74,1%RH. Nilai output kontrol logika fuzzy rata-rata adalah 6292,26ms.

3.3. Perbandingan Sistem Tak Terkontrol dengan Sistem Terkontrol

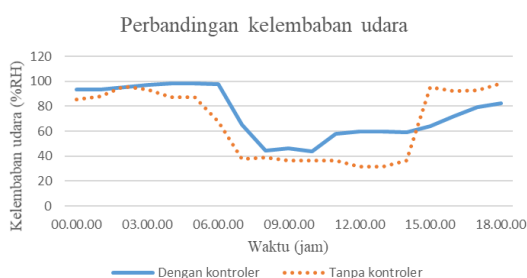
Berikut ini merupakan grafik perbandingan sistem tak terkontrol dengan sistem terkontrol.



Gambar 16. Perbandingan suhu udara greenhouse terkontrol dan tak terkontrol



Gambar 17. Perbandingan error suhu udara greenhouse terkontrol dan tak terkontrol



Gambar 18. Perbandingan kelembaban udara greenhouse terkontrol dan tak terkontrol

Tabel 7. Perbandingan nilai rata-rata parameter tak terkontrol dengan terkontrol

Parameter	Tak Terkontrol	Terkontrol
Suhu udara (°C)	33,35	29,47
Error suhu udara (°C)	5,68	2,11
Kelembaban udara (%RH)	66,78	74,1

Berdasarkan tabel 7 dapat diketahui nilai rata-rata keluaran dari perancangan smart greenhouse yang telah dilakukan. Pada pengujian tanpa kontroler didapat rata-rata suhu udara sebesar 33,35°C, sedangkan pada pengujian dengan menggunakan kontroler didapat rata-rata suhu udara sebesar 29,47°C. Error rata-rata suhu udara yang dihasilkan dari pengujian tanpa kontroler ialah sebesar 5,68°C, sedangkan error rata-rata suhu udara yang dihasilkan dari pengujian dengan kontroler sebesar 2,11°C. Kelembaban udara rata-rata pada pengujian tanpa kontroler adalah 66,78%RH, sedangkan kelembaban udara rata-rata pada pengujian dengan kontroler adalah 74,1%RH.

Dari pembahasan di atas dapat disimpulkan bahwa perancangan sistem kontrol penyiraman pada smart greenhouse menggunakan kontrol logika fuzzy sudah berhasil memperbaiki nilai-nilai parameter di dalam sebuah greenhouse dan siap untuk dijadikan tempat budidaya tanaman.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengerjaan dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa nilai error suhu udara rata-rata pengujian dengan kontroler yang dihasilkan adalah 2,11°C, sedangkan pada pengujian tanpa kontroler yaitu 5,68°C. Kontroler dapat dikatakan sudah berhasil menurunkan nilai error suhu udara di dalam greenhouse. Nilai kelembaban udara rata-rata pengujian dengan kontroler adalah 74,1%RH, sedangkan pada pengujian tanpa kontroler dihasilkan kelembaban udara rata-rata sebesar 66,78%RH. Kontroler mampu menjaga nilai kelembaban udara di angka yang ideal untuk greenhouse yaitu 70-80%RH. Pengujian output kontrol logika fuzzy menghasilkan nilai rata-rata sebesar 6292,26ms dengan lama pengujian 18 jam. Nilai rata-rata output ini dapat dikatakan nilai rata-rata durasi waktu pompa air menyala selama pengujian 18 jam. Kontroler suhu lingkungan pada greenhouse telah berhasil dirancang karena mampu menjaga dan mengendalikan suhu udara rata-rata di bawah set point yang ditentukan yaitu 29,47°C.

Referensi

- [1]. J. Delima, R., Santoso, H. B. & Purwadi, "Kajian Aplikasi Pertanian yang Dikembangkan di Beberapa Negara Asia dan Afrika," *Semin. Nas. Apl. Teknol. Inf.*, pp. 19–26, 2016, doi: 10.1177/0143034311406812.
- [2]. A. Alatas, "Trend Produksi dan Ekspor Minyak Sawit (CPO) Indonesia," *Agrar. J. Agribus. Rural Dev. Res.*, vol. 1, no. 2, pp. 114–124, 2015, doi: 10.18196/agr.1215.

- [3]. T. K. Hariadi, "Cahaya Dalam Rumah Kaca," vol. 10, no. 1, pp. 82–93, 2007.
- [4]. C. F. Naa, E. Padang, and Y. S. Handayani, "Sistem Monitoring dan Kontrol Rumah Kaca berbasis Arduino , LabView dan Antarmuka Web," pp. 2–9, 2015.
- [5]. A. Mahdiyatul Tajrie, dkk, "Sistem Kendali Penyiraman dan Pencahayaan Tanaman Otomatis pada *Smart Greenhouse* Menggunakan Logika Fuzzy," *Universitas Telkom.*, vol.4, no. 3, 2009.
- [6]. E. J. Lesi, "Monitoring dan Pengendalian Smart Agriculture Berbasis Internet Of Things dengan Metode Fuzzy Logic Control," Laporan Tugas Akhir, Jurusan Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Sriwijaya, Palembang, 2019.
- [7]. T. Arduino, D. Cuartielles, G. Martino, T. Igoe, D. Mellis, and M. Banzi, "The Making of Arduino How five friends engineered a small circuit board that 's taking the DIY world by storm Photo : Massimo Banzi The Arduino team contracted with a company that can," pp. 2–4, 2015.
- [8]. M. Bogdan, "How to Use the DHT22 Sensor for Measuring Temperature and Humidity with the Arduino Board," *ACTA Univ. Cibiniensis*, vol. 68, no. 1, pp. 22–25, 2017, doi: 10.1515/aucts-2016-0005.
- [9]. T. Liu and B. Manager, "Aosong Electronics Co ., Ltd Aosong Electronics Co ., Ltd," vol. 22, pp. 1–10.
- [10]. T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Applications*. 2004.
- [11]. J.-S. R. Jang, C.-T. Sun, and E. Mizutani, "Neuro-Fuzzy And Soft Computing Jang: a computational approach to learning and machine intelligence." p. 640, 1997.
- [12]. Franck Derroncourt, "Introduction to Fuzzy Logic Control," *Essentials fuzzy Model. Control*, no. January, pp. 109–153, 2013.
- [13]. O. Z. Bakhoda, M. B. Menhaj, and G. B. Gharehpetian, "Fuzzy logic controller vs. PI controller for MPPT of three-phase grid-connected PV system considering different irradiation conditions," *J. Intell. Fuzzy Syst.*, vol. 30, no. 3, pp. 1353–1366, 2016.
- [14]. S. Kusumadewi and H. Purnomo, *Aplikasi Logika Fuzzy Untuk Pendukung Keputusan*. Yogyakarta: Graha Ilmu, 2004.
- [15]. C. C. Lee, "Fuzzy Logic in Control Systems: Fuzzy Logic Controller - Part 1," *IEEE Transactions On Systems Man And Cybernetics*, vol. 20, no. 2. pp. 419–435, 1990.