

## Sistem Monitoring dan Kontrol Penyiraman Aeroponik Tanaman Selada berbasis IoT dengan Metode Fuzzy Sugeno

Muhamad Arya Al Ghifari Wibowo<sup>1</sup>, Irma Salamah<sup>1,\*</sup>, Aryanti<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Program Studi Teknik Telekomunikasi, Politeknik Negeri Sriwijaya, Indonesia

\* Correspondence: irma.salamah@yahoo.com

**Copyright:** © 2024 by the authors

Received: 23 Juli 2024 | Revised: 26 Juli 2024 | Accepted: 22 September 2024 | Published: 19 Desember 2024

### Abstrak

Ketergantungan pada kondisi lingkungan optimal menjadi tantangan utama dalam budidaya aeroponik, karena akar tanaman memerlukan penyiraman nutrisi secara berkala untuk menjaga kelembapan dan penyerapan nutrisi. Penelitian ini bertujuan merancang sistem monitoring dan kontrol penyiraman aeroponik berbasis IoT menggunakan metode fuzzy Sugeno, yang menentukan durasi penyiraman secara adaptif berdasarkan sensor suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya, serta memungkinkan pemantauan lingkungan melalui smartphone. Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan eksperimental, mengimplementasikan metode inferensi fuzzy Sugeno untuk menghasilkan durasi penyiraman konstan (linear) yang dihitung berdasarkan basis aturan fuzzy. Tahapan pengembangan sistem meliputi perancangan perangkat keras dan perangkat lunak, implementasi logika fuzzy Sugeno untuk mekanisme penyiraman, integrasi perangkat dengan platform IoT, serta pengujian efektivitas sistem dalam menjaga parameter lingkungan optimal. Selain itu, hasil sistem dibandingkan dengan simulasi menggunakan perangkat lunak MATLAB untuk memvalidasi kinerjanya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring dan kontrol yang dikembangkan mampu menghasilkan output durasi penyiraman dengan rata-rata selisih terhadap hasil simulasi MATLAB sebesar 0,048 milidetik dan rata-rata tingkat kesalahan (error) sebesar 0,9%. Sistem ini juga efektif dalam menjaga kelembapan optimal pada lingkungan aeroponik, dengan rata-rata kelembapan 96,00% dan penurunan suhu rata-rata sebesar 0,28°C setiap kali proses penyiraman berlangsung.

**Kata kunci:** aeroponik; logika fuzzy; *internet of things*; monitoring pertanian; penyiram otomatis

### Abstract

*Dependence on optimal environmental conditions is a major challenge in aeroponic cultivation, as plant roots require regular watering to maintain moisture and nutrient absorption. This research aims to design an IoT-based aeroponic watering monitoring and control system using Sugeno fuzzy method, which can adaptively determine the duration of watering based on temperature, humidity, and light intensity sensors, and enable environmental monitoring via smartphone. This research is conducted using an experimental approach, implementing the Sugeno fuzzy inference method to generate a constant (linear) watering duration calculated based on a fuzzy rule base. The system development stages include hardware and software design, implementation of Sugeno fuzzy logic for the watering mechanism, integration of the device with an IoT platform, and testing the effectiveness of the system in maintaining optimal environmental parameters. The results showed that the developed monitoring and control system was able to produce watering duration output with an average difference to MATLAB simulation results of 0.048 milliseconds and an average error rate of 0.9%. The system is also effective in maintaining optimal humidity in the aeroponic environment, with an average humidity of 96.00% and an average temperature drop of 0.28°C every time the watering process takes place.*

**Keywords:** aeroponic; fuzzy logic; *internet of thing*; agricultural monitoring; automatic watering



## PENDAHULUAN

Pertanian merupakan aktivitas pemberdayaan sumber daya hayati oleh manusia dalam memproduksi pangan, sumber energi, bahan baku industri, maupun pengelolaan lingkungan hidup (Srihidayati & Suhaeni, 2022). Di Indonesia permintaan akan produk pertanian seperti sayuran relatif tinggi dan terus meningkat (Handoko & Setiawan, 2021). Dengan posisi strategis dan iklim tropis, Indonesia memiliki keunggulan di sektor pertanian. Meski begitu faktanya hasil produksi pertanian di Indonesia masih belum optimal. Salah satu penyebab rendahnya produksi pertanian ini disebabkan karena kurangnya lahan pertanian yang tersedia pada setiap tahun-nya karena sebagian lahan tersebut dialih fungsikan menjadi pemukiman (Prabowo & Bambang, 2020). Selada (*Lactuca sativa L.*) merupakan salah satu sayuran dan komoditas pertanian yang banyak diminati masyarakat Indonesia (Romalasari & Sobari, 2019). Permasalahan alih fungsi lahan tersebut menyebabkan produksi pertanian menurun karena petani tidak dapat menanam banyak bibit sekaligus sehingga dibutuhkan solusi dengan penerapan budidaya yang bisa memanfaatkan lahan sempit yaitu dengan metode aeroponik sebagai modifikasi dari budidaya hidroponik (Indrajaya et al., 2019).

Penerapan budidaya dengan teknik aeroponik dilakukan dengan menggantung tanaman di udara dimana akar tanaman dibiarkan tumbuh di lingkungan lembap tanpa menggunakan media tanah (Nurpauziah & Riani, 2024). Penempatan akar tanaman di udara ini memungkinkan budidaya aeroponik hampir di mana saja sehingga dapat memanfaatkan ruang yang tersedia secara efisien (Endra et al., 2020). Aeroponik merupakan gabungan dari kata "aero" yang artinya udara dan "ponus" yang artinya daya yang secara harfiah diartikan sebagai memberdayakan udara (Faisal et al., 2019). Aeroponik memiliki perbedaan pada cara pemberian nutrisi dimana sistem aeroponik memberikan cairan nutrisi dengan cara disemprotkan dalam bentuk kabut ke akar tanaman sehingga respirasi akar menjadi optimal dan dapat menghasilkan energi secara efektif (Laksono, 2021). Penerapan sistem ini memerlukan penyemprotan akar tanaman dengan cairan nutrisi secara teratur untuk menjaga kelembapannya. Selain itu intensitas penyiraman dan kadar nutrisi terlarutnya juga perlu diawasi secara berkala agar tidak terlalu banyak ataupun terlalu sedikit sehingga tanaman dapat menyerap nutrisi secara optimal (Anggraini et al., 2023).

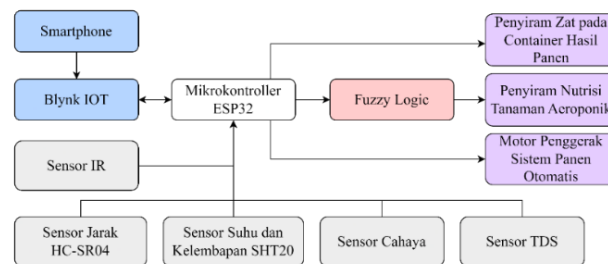
Solusi dari permasalahan tersebut adalah dengan penerapan sistem *monitoring* pertanian berbasis *Internet Of Things* yang memanfaatkan konektivitas internet sehingga memungkinkan komunikasi antar perangkat maupun pertukaran informasi yang terhubung secara berkelanjutan dan yang dapat diakses melalui *smartphone* untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time* (Zidni & Ikrimach, 2023, Hidayatulloh & Aryanto, 2023). Selanjutnya penerapan kontrol kendali adalah dengan metode logika *fuzzy* Sugeno yang ditemukan oleh Takagi-Sugeno Kang pada tahun 1985 (Rumfot et al., 2024). Metode ini ditujukan untuk menghasilkan sistem yang dapat menentukan durasi penyiraman secara otomatis berdasarkan kondisi aktual pada sistem aeroponik dimana (Purnomo et al., 2020, Rohadi et al., 2019).

Pada penelitian sebelumnya, penerapan *fuzzy logic* sebagai kendali penyiraman berhasil menjaga kelembapan akar tanaman pada rentang yang di angka 89% (Purnomo et al., 2020). Sedangkan pada penelitian lainnya, penerapan *fuzzy logic* hanya menerapkan *input* suhu dan kelembapan sebagai variabel yang mempengaruhi durasi penyiraman dengan hasil pengujian output durasi penyiraman pada rentang 8 sampai 11 detik namun belum mencapai kesesuaian output pada nilai desimal (Rohadi et al., 2019). Selain suhu dan kelembapan, faktor lain yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman adalah intensitas cahaya yang dibutuhkan tanaman sebagai sumber energi untuk menjalankan reaksi fotosintesis (Yustiningsih, 2019). Selain itu tanaman selada yang ditanam di bawah sinar matahari memiliki bobot yang lebih tinggi dibandingkan dengan tanaman yang ditanam di bawah naungan (Zannah et al., 2023). Dengan penambahan variabel *input* intensitas cahaya pada sistem diharapkan dapat meningkatkan

kesesuaian kebutuhan cairan nutrisi dengan kondisi aktual yang dipengaruhi oleh cahaya dan keakuratan nilai output durasi pada tingkat desimal yang dapat mengoptimalkan pertumbuhan tanaman. Tujuan penelitian ini adalah mengembangkan sistem *monitoring* dan kontrol penyiraman aeroponik pada tanaman selada menggunakan logika *fuzzy* Sugeno untuk menentukan output durasi penyiraman yang memanfaatkan *input* dari sensor suhu dan kelembapan (SHT20), intensitas cahaya (BH1750), serta konsentrasi zat terlarut (Sensor TDS) dan kapasitas tandon (HC-SR04) serta memantau kondisi lingkungan dan konsentrasi cairan nutrisi melalui platform *Internet of Things* (IoT).

## METODE

Penelitian ini melibatkan tahapan-tahapan seperti tahap analisis kebutuhan sistem, tahap perancangan implementasi logika fuzzy sugeno untuk penyiraman, tahap perancangan alat dan tahap integrasi ke *platform* IoT, serta tahap pengujian efektifitas penyiraman, pengujian *monitoring*, dan perbandingan hasil output sistem dengan simulasi pada MATLAB berupa nilai *error*(%) dari kedua selisih nilai pengujian tersebut.



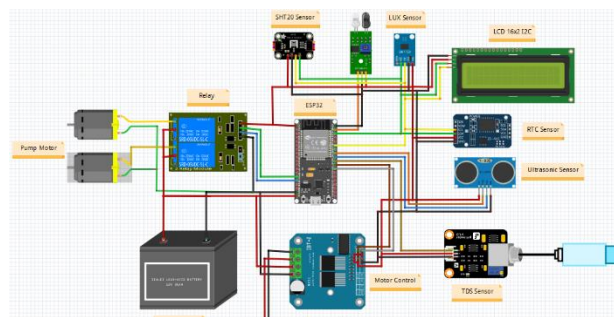
**Gambar 1.** Perancangan sistem kerja alat secara keseluruhan



**Gambar 2.** Langkah pengembangan sistem kontrol kendali logika fuzzy

Perancangan sistem dilakukan dengan membuat rancangan dari sistem secara umum dan implementasi antara setiap komponen yang dibutuhkan seperti sensor, mikrokontroler ataupun metode *fuzzy logic*, algoritma pemrograman sistem, serta integrasi dengan IoT pada *platform* Blynk dimana secara keseluruhan sistem yang dibangun ditunjukkan pada blok diagram pada gambar 1. Pada Gambar 2 merupakan tahapan implementasi dimulai dengan mengidentifikasi karakteristik model berdasarkan fungsi dan operasinya, mendefinisikan variabel yang dibutuhkan ke himpunan keanggotaan *fuzzy* dan memetakan *input* menjadi variabel dalam sistem kontrol melalui *fuzzy rules*. Setelah pengembangan model, dilakukan disimulasikan dan pengujian untuk memastikan *output*-nya sesuai dengan spesifikasi. Pada Sistem inferensi *fuzzy* metode sugeno basis aturan direpresentasikan dalam bentuk IF-THEN dengan *ouput* sistem

yang merupakan persamaan linier atau konstanta. *Output* pada metode ini merupakan *membership function singleton* yaitu fungsi keanggotaan dengan derajat keanggotaan 1 pada satu nilai tegas serta 0 pada nilai tegas lainnya (Suryatini et al., 2019). Model Fuzzy Sugeno yang diterapkan pada penelitian ini adalah orde nol yang memiliki persamaan IF ( $x1$  adalah  $A1$ ) • ( $x2$  adalah  $A2$ ) • ( $x3$  adalah  $A3$ ) • .... • ( $xN$  adalah  $AN$ ) maka  $z = k$ . Dalam hal ini  $A1$  merupakan himpunan fuzzy ke-1 yang merupakan anteseden dan  $k$  yang merupakan konstanta sebagai konsekuensi. Keunggulan dari *fuzzy inferense system* orde nol tipe sugeno adalah bahwa orde nol memadai untuk berbagai pemodelan (Efriska et al., 2024).



**Gambar 3.** Rancangan Implementasi Alat

Pada Gambar 3 rancangan implementasi alat menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung ke komponen seperti LCD, *relay*, pompa dan sensor seperti SHT20, sensor cahaya BH1750, sensor TDS, dan sensor HC-SR04, RTC, serta *power supply*. Pengujian *output* durasi penyiraman dilakukan dengan membandingkan hasil *output* pada simulasi MATLAB dengan hasil penerapan pada sistem (Putra et al., 2021). Hasil pengujian tersebut merupakan selisih dari kedua nilai tersebut sehingga dapat dihitung nilai *error*(%). Pengujian efektifitas penyiraman dilakukan dengan menganalisis data sebelum dan setelah penyiraman untuk mendapatkan rata-rata perubahan suhu dan kelembapan pada sistem, selanjutnya pengujian sistem *monitoring* dengan pengambilan data dari aplikasi Blynk IOT pada setiap satu jam.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil

Tahap analisis kebutuhan sistem mengidentifikasi kebutuhan sistem termasuk komponen seperti mikrokontroler ESP32, sensor SHT20, sensor BH1750, Sensor TDS, HC-SR04 dan variabel lingkungan yang berpengaruh yaitu suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya. Tahap implementasi menghasilkan sistem seperti pada Gambar 4 yang merupakan implementasi sistem aeroponik dengan konfigurasi enam buah pot dan tiga buah *nozzle mist* yang terhubung tandon nutrisi melalui pompa untuk menyemprotkan cairan nutrisi setiap lima belas menit dengan durasi penyiraman dari logika *fuzzy*. Selain itu sensor SHT20 diletakkan didalam ruang akar sedangkan sensor BH1750 berada di bagian luar agar terpapar sumber cahaya pada sistem.



**Gambar 4.** Hasil implementasi sistem aeroponik keseluruhan

Penerapan *fuzzy logic* dimulai dari fuzzifikasi dimana nilai tegas berupa himpunan *non-fuzzy (crisp)* dipetakan menjadi derajat keanggotaan dalam himpunan fungsi nilai *fuzzy*. Pada tabel 1, tabel 2 dan tabel 3 merupakan himpunan keanggotaan *fuzzy* yang merupakan pemetaan dari variabel Suhu, Kelembapan, dan Intensitas Cahaya pada nilai linguistik seperti Dingin, Sedang Panas, Kering, Sedang, Lembap, Redup, Sedang dan Terang yang merupakan *input* dalam pengambilan keputusan berdasarkan basis aturan. Defuzzifikasi merubah himpunan *fuzzy* menjadi himpunan tegas berdasarkan fungsi keanggotaan yang diterapkan. Pada model sugeno fungsi keanggotaanya adalah *singleton* sebagai variabel output dengan metode *height* untuk menentukan nilai *output*. Dalam proses ini sistem mengonversi *output fuzzy* menjadi nilai tegas (*crisp*) untuk menentukan durasi penyiraman. Pada Gambar 5 merupakan diagram fungsi keanggotaan durasi penyiraman yang merupakan output *singleton* dengan hasil defuzzifikasi nilai konstan yaitu 3 detik untuk variabel "Sebentar", 5 detik untuk variabel "Sedang", 7 detik untuk variabel "Lama" dan 10 detik untuk variabel "Sangat Lama".

**Tabel 1.** Variabel *linguistic* temperatur/suhu

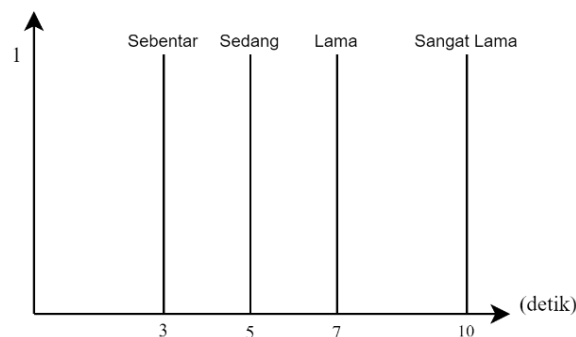
Suhu	Variabel Linguistik
0°C-25°C	Dingin
20°C-35°C	Sedang
30°C-50°C	Panas

**Tabel 2.** Variabel *linguistic* kelembapan

Kelembapan Udara	Variabel Linguistik
0-55%	Kering
30-90%	Sedang
65-100%	Lembap

**Tabel 3.** Variabel *linguistic* intensitas cahaya

Intensitas Cahaya	Variabel Linguistik
0-100 lux	Redup
40-360 lux	Sedang
200-8000 lux	Terang



**Gambar 5.** Singleton output defuzzifikasi penyiraman

Pada tahap inferensi terjadi perubahan dari *input* pada domain *fuzzy* menjadi output pada domain *fuzzy*. Proses ini memerlukan *rule* atau basis aturan yang menerapkan fungsi implikasi min (operator AND). *Rule* atau aturan *fuzzy* dibuat berdasarkan kondisi yang diinginkan dan disusun untuk setiap variabel *input*. Basis aturan menghubungkan kondisi *input fuzzy* dengan tindakan atau keputusan *output fuzzy* menggunakan pernyataan IF– THEN untuk

menghubungkan kondisi masukan dengan tindakan yang diambil. Hasil penerapan basis aturan *fuzzy* pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 4 dengan total 27 basis aturan untuk kondisi variasi *input* Suhu, Kelembapan dan Intensitas Cahaya dengan empat variasi output durasi penyiraman yaitu Sebentar, Sedang, Lama dan Sangat Lama.

**Tabel 4.** Rancangan *rule base fuzzy logic*

No	<i>Input</i>			<i>Output durasi Penyiraman</i>
	Suhu	Kelembapan	Intensitas Cahaya	
1	Dingin	Kering	Redup	Sedang
2	Dingin	Kering	Sedang	Sedang
3	Dingin	Kering	Terang	Lama
4	Dingin	Normal	Redup	Sebentar
5	Dingin	Normal	Sedang	Sebentar
6	Dingin	Normal	Terang	Sedang
7	Dingin	Lembap	Redup	Sebentar
8	Dingin	Lembap	Sedang	Sedang
9	Dingin	Lembap	Terang	Sedang
10	Normal	Kering	Redup	Sedang
11	Normal	Kering	Sedang	Lama
12	Normal	Kering	Terang	Lama
13	Normal	Normal	Redup	Sebentar
14	Normal	Normal	Sedang	Sedang
15	Normal	Normal	Terang	Lama
16	Normal	Lembap	Redup	Sebentar
17	Normal	Lembap	Sedang	Sebentar
18	Normal	Lembap	Terang	Sedang
19	Panas	Kering	Redup	Sedang
20	Panas	Kering	Sedang	Lama
21	Panas	Kering	Terang	Sangat Lama
22	Panas	Normal	Redup	Sedang
23	Panas	Normal	Sedang	Lama
24	Panas	Normal	Terang	Lama
25	Panas	Lembap	Redup	Sebentar
26	Panas	Lembap	Sedang	Sedang
27	Panas	Lembap	Terang	Lama

**Tabel 5.** Pengujian monitoring pada server blynk iot

No	Waktu	Suhu	Kelembapan	Intensitas Cahaya	Kadar TDS	Kapasitas Tandon
1	10:45 WIB	29,22 °C	97,33 %	278 lux	445 ppm	79%
2	11:45 WIB	28,75 °C	97,18%	299 lux	446 ppm	74%
3	12:45 WIB	30,01 °C	92,69%	274 lux	443 ppm	68%
4	13:45 WIB	29,02 °C	95,19%	210 lux	441 ppm	61%
5	14:45 WIB	29,14 °C	90,11%	233 lux	443 ppm	57%
6	15:45 WIB	29,09 °C	95,94%	179 lux	444 ppm	53%
7	16:45 WIB	28,92 °C	95,89%	67 lux	445 ppm	50%
8	17:45 WIB	29,28 °C	96,56%	29 lux	449 ppm	47%

**Tabel 6.** Pengujian penyiraman dan pengaruh penyiraman pada selada

No	Waktu (WIB)	Sebelum Penyiraman			Durasi Penyiraman (detik)	Sesudah Penyiraman	
		Suhu	Kelembapan	Intensitas Cahaya		Suhu	Kelembapan
1	10:40	30,86 °C	89,14%	281 lux	4,19	29,54°C	96,42%
2	10:55	29,10 °C	96,39%	300 lux	4,03	28,84°C	98,06%
3	11:10	28,93°C	97,84%	273 lux	3,82	28,91°C	98,12%
4	11:25	28,98°C	97,21%	306 lux	3,43	28,84°C	98,39%
5	11:40	28,87 °C	97,34%	293 lux	3,98	28,85°C	98,05%
6	11:55	29,56°C	95,91%	280 lux	3,87	29,54°C	96,26%
7	12:10	29,98°C	94,67%	253 lux	3,76	29,99°C	95,84%
8	12:25	30,37°C	93,94%	298 lux	4,41	30,25°C	95,72%
9	12:40	30,48°C	92,69%	302 lux	4,16	30,39°C	93,22%
10	12:55	30,74°C	92,79%	267 lux	4,10	30,65°C	93,23%
11	13:10	30,87°C	92,28%	254 lux	4,11	30,81°C	94,81%
12	13:25	31,35°C	92,67%	243 lux	4,29	29,77°C	95,06%
13	13:40	29,53°C	95,44%	191 lux	3,36	29,05°C	96,23%
14	13:55	29,02°C	95,43%	218 lux	3,50	28,99°C	96,16%
15	14:10	29,35°C	93,47%	250 lux	3,69	29,08°C	94,07%
16	14:25	29,41°C	92,88%	204 lux	3,44	29,22°C	93,44%
17	14:40	29,42°C	91,50%	228 lux	3,59	29,13°C	93,84%
18	14:55	29,32°C	92,06%	264 lux	3,75	28,98°C	95,05%
19	15:10	29,82°C	95,69%	169 lux	3,19	29,67°C	96,76%
20	15:25	29,53°C	95,81%	150 lux	3,00	29,38°C	96,26%
21	15:40	29,26°C	95,84%	198 lux	3,40	29,16°C	96,60%
22	15:55	29,16°C	95,43%	157 lux	3,08	29,07°C	95,57%
23	16:10	29,06°C	94,97%	148 lux	3,00	29,09°C	96,2%
24	16:25	28,91°C	94,98%	110 lux	3,00	28,78°C	95,84%
25	16:40	28,71°C	95,68%	99 lux	3,00	28,77°C	96,59%
26	16:55	28,69°C	95,62%	45 lux	3,00	28,66°C	96,06%
27	17:10	28,92°C	95,61%	28 lux	3,00	29,04°C	97,08%
28	17:25	29,29°C	96,44%	36 lux	3,00	29,21°C	97,13%

**Tabel 7.** Hasil pengujian sistem kendali logika fuzzy

No	Input			Output	
	Suhu	Kelembapan Udara	Intensitas Cahaya	Simulasi MATLAB	Durasi Penyiraman Fuzzy Logic
1	30,28 °C	96,34%	48 lux	3,09 detik	3000ms (3,00 detik)
2	29,23 °C	93,93%	184 lux	3,29 detik	3300ms (3,30 detik)
3	30,51 °C	83,33%	281 lux	4,57detik	4525ms (4,52 detik)
4	30,65 °C	36,92%	137 lux	6,44 detik	6382ms (6,38 detik)
5	29,90 °C	47,80%	423 lux	7,00 detik	7000ms (7,00 detik)
6	32,94 °C	25,61%	394 lux	8,50 detik	8551ms (8,51 detik)
7	33,92 °C	23,84%	385 lux	9,02 detik	9194ms (9,19 detik)
8	35,16 °C	27,24%	411 lux	10,00 detik	10000ms (10,00 detik)



Pada tabel 5 merupakan pengujian *monitoring* atau pemantauan *input* sensor yang diterima pada *server* Blynk IOT sebanyak delapan buah pengambilan sampel yang dicatat tiap satu jam. Kapasitas tandon cairan nutrisi berkurang 33% dengan total durasi penyiraman 100,15 detik. Intensitas cahaya yang dicatat bervariasi antara 28 lux hingga 306 lux yang menurun dari pagi hingga sore hari, sedangkan kadar TDS yang terbaca stabil dengan rata-rata di 443,29 ppm. Selanjutnya pada tabel 6 merupakan pengujian efektifitas penyiraman dilakukan dengan pengambilan data pada setiap 15 menit yang memuat *input* sensor sebelum dan sesudah penyiraman dengan hasil suhu rata-rata sebelum penyiraman adalah 29.66°C dan setelah penyiraman di angka 29.38°C. Kelembapan rata-rata sebelum penyiraman adalah 94.48%, yang naik menjadi 96,00% setelah penyiraman. Sedangkan pengujian pada tabel 7 merupakan perbandingan output durasi penyiraman *fuzzy logic* pada sistem dengan simulasi MATLAB dengan nilai rata-rata selisih output durasi penyiraman sebesar 0,048ms dan rata-rata *error(%)* sebesar 0,9%.

## Pembahasan

Sistem monitoring dan kontrol penyiraman aeroponik tanaman selada berbasis IoT menerapkan *fuzzy logic* untuk menentukan output durasi penyiraman menggunakan *input* dari sensor dan menerapkan IoT sebagai fungsi *monitoring*. Mikrokontroler ESP32 menjalankan algoritma dan memproses output logika *fuzzy* untuk berdasarkan bacaan sensor SHT20 untuk *input* suhu dan kelembapan, dan sensor BH1750 untuk intensitas cahaya. Sensor HC-SR04 diterapkan untuk mengawasi kapasitas tandon, sedangkan sensor TDS memantau kadar zat terlarut pada cairan nutrisi yang dikirimkan ke *server* Blynk IoT sebagai fungsi *monitoring*. Penerapan IoT pada sistem memiliki kekurangan yaitu ketergantungan pada koneksi internet untuk mengirim data yang dapat mengganggu fungsi *monitoring* namun kelebihan kontrol penyiraman logika *fuzzy* akan tetap berjalan walaupun tanpa internet. Metode *fuzzy* Sugeno dipilih karena mampu menghasilkan *output* secara cepat dan akurat, sehingga cocok untuk sistem *real-time* di lingkungan dinamis. Metode ini dapat secara langsung mengubah input sensor menjadi *output* linier atau konstan tanpa defuzzifikasi tambahan dimana berbeda dengan metode lain seperti PID atau Mamdani yang memiliki banyak langkah pemrosesan. Pengujian pada Tabel 5 sistem berhasil menerapkan *monitoring* pada *platform* Blynk yang memuat delapan sampel pengambilan *input* sensor setiap satu jam dimana data tersebut sesuai dengan bacaan *input* pada sistem maupun dengan alat ukur.

Selanjutnya hasil pengujian pada tabel 6 sistem berhasil menjaga kondisi lingkungan yaitu peningkatan rata-rata kelembapan sebesar 1,52% dan rata-rata penurunan suhu sebesar 0,28°C, hal ini terjadi karena sistem berhasil mengontrol durasi penyiraman yang sesuai dalam menjaga kelembapan dan kenaikan suhu. Sementara itu, hasil pada tabel 7 mendapatkan rata-rata selisih *output* sebesar 0,048ms dan *error(%)* sebesar 0,9% yang menunjukkan perbedaan *output* yang relatif kecil. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya telah yang mengkaji sistem penyiraman *fuzzy logic* untuk *output* durasi penyiraman yang hanya menerapkan *input* suhu dan kelembapan (Purnomo et al., 2020; Rohadi et al., 2019). Penelitian ini menambahkan *input* intensitas cahaya pada *fuzzy logic*. Penambahan ini meningkatkan efektivitas sistem dalam memberikan kebutuhan nutrisi pada tanaman dan kesesuaian *output* durasi penyiraman pada tingkat desimal, dimana sistem berhasil menjaga kelembapan di rata-rata 96.00%, menurunkan rata-rata suhu sebesar 0,28°C, dan meningkatkan rata-rata kelembapan sebesar 1.52% setelah penyiraman dengan rata-rata durasi penyiraman 3,64 detik.

Pada sistem ini *output* durasi penyiraman merupakan nilai desimal yang berbeda dengan penelitian sebelumnya yang memiliki *output* bilangan bulat (Purnomo et al., 2020; Rohadi et al., 2019). *Output* desimal tersebut berdampak mengurangi kerugian dalam penggunaan sumber daya cairan nutrisi dan daya pada sistem yang disebabkan fluktuasi kondisi lingkungan serta menjaga kondisi optimal, meningkatkan efisiensi fotosintesis, dan keseimbangan air



dalam tanaman. Ini memastikan nutrisi yang disemprotkan sesuai dengan kebutuhan tanaman secara *real-time* dengan memperhitungkan laju fotosintesis dan kebutuhan nutrisi yang berbeda pada kondisi intensitas cahaya tertentu sehingga dapat meningkatkan efektivitas dan produktivitas pada sektor pertanian dan budidaya tanaman.

## SIMPULAN

Temuan kami menunjukkan bahwa sistem *monitoring* dan kendali durasi penyiraman aeroponik dengan metode *fuzzy* Sugeno berhasil meningkatkan efektivitas penyiraman dengan menurunkan suhu rata-rata sebesar 0,28°C, meningkatkan kelembapan rata-rata sebesar 1,52%. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat penyimpangan yang rendah ketika dibandingkan dengan simulasi yaitu rata-rata selisih *output* durasi penyiraman sebesar 0,048ms dan rata-rata *error*(%) sebesar 0,90%. Sistem dapat menjaga kondisi tanaman pada kondisi optimal yaitu kelembapan di rata-rata 96,00% dengan *output* durasi penyiraman yang presisi pada tingkat desimal pada penerapan nilai defuzzifikasi dengan *input* suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya secara *real-time* sehingga memungkinkan penyesuaian durasi penyiraman dengan kebutuhan nutrisi pada intensitas cahaya tertentu. *Monitoring* berbasis IoT memungkinkan pemantauan lingkungan dari jarak jauh sehingga membantu pengguna memastikan kondisi pertumbuhan optimal, memastikan kadar zat terlarut dan kapasitas cairan yang mempermudah penyesuaian dan pemeliharaan pada sistem aeroponik.

## REFERENSI

- Anggraini, D., Prayogo, S. S., Suhartini, & Permadi, Y. (2023). Sistem Automasi Dan Monitoring Pada Metode Pertanian Aeroponik. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 28(1), 1–14. <https://doi.org/10.35760/tr.2023.v28i1.6266>
- Efriska, M., Rati, I. Nadika, Siregar, T. Fatika Sar, & Andani, S. R. (2024). Jurnal JPILKOM (Jurnal Penelitian Ilmu Komputer) Penerapan Logika Fuzzy Metode Sugeno Untuk Menentukan Jumlah Produksi Roti Ganda Berdasarkan Data Sedia Dan Jumlah Minta (Studi Kasus : Pabrik Roti Ganda Siantar). *Jurnal JPILKOM*, 2(2), 3025–6887.
- Endra, R. Y., Cucus, A., & S Wulandana, M. A. (2020). Perancangan Aplikasi Berbasis Web Pada System Aeroponik Untuk Monitoring Nutrisi Menggunakan Framework Codeigniter. *EXPLORE Jurnal Sistem Informasi Dan Telematika (Telekomunikasi, Multimedia Dan Informatika)*, 11(1), 10-16. <https://doi.org/10.36448/jsit.v11i1.1453>
- Faisal, A., Mulyana, A., & Hartaman, A. (2019). Kontrol Dan Monitoring Budidaya Sayuran Dengan Metode Aeroponik Berbasis Mikrokontroler. *E-Proceeding Of Applied Science*, 5(1), 223-234.
- Handoko, B. I. S., & Setiawan, I. (2021). Kesiediaan Membayar (Willingness To Pay) Konsumen Milenial Dalam Mengkonsumsi Sayuran Organik. *Jurnal Pemikiran Masyarakat Ilmiah Berwawasan Agribisnis.*, 7(1), 911–928. <http://dx.doi.org/10.25157/ma.v7i1.4873>
- Hidayatulloh, S., & Aryanto, J. (2023). Sistem Pengendalian Jemuran Otomatis Berbasis Iot Dengan Logika Fuzzy Untuk Pengkondisian Cuaca. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 7(2), 287–296. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v7i2.21515>
- Indrajaya, G. H., Ramdhani, M., & Murti, M. A. (2019). Rancang bangun total dissolve solids (tds) meter pada tanaman aeroponik berbasis internet of things (IoT). *eProceedings of Engineering*, 6(3), 10105-10111.
- Laksono, R. A. (2021). Interval Waktu Pemberian Nutrisi Terhadap Produksi Tanaman Selada Hijau (*Lactuca Sativa L*) Varietas New Grand Rapid Pada Sistem Aeroponik. *Paspalum: Jurnal Ilmiah Pertanian*, 9(1), 1-6. <https://doi.org/10.35138/paspalum.v9i1.194>

- Nurpauziah, I., & Riani, S. (2024). Identifikasi Budidaya Tanaman Kentang (*Solanum Tuberosum* L.) Varietas Granola Dengan Sistem Aeroponik. *Jurnal Biosains Medika*, 2(1), 15–21.
- Prabowo, R., & Bambang, A. N. (2020). Pertumbuhan Penduduk Dan Alih Fungsi Lahan Pertanian. *Mediagro Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian*, 16(2), 26–36.
- Purnomo, W., Suryatini, F., & Delistiani, M. (2020). Pengendalian Suhu Dan Kelembapan Sistem Aeroponik Tanaman Stroberi Berbasis IoT Menggunakan Fuzzy Logic. *Jurnal Teknologi Dan Rekayasa Manufaktur*, 2(2), 61–78. <https://doi.org/10.48182/jtrm.v2i2.20>
- Putra, A. S., Budiprayitno, S., & Rahayu, L. P. (2021). Perancangan Sistem Kontrol Ph Dan Suhu Air Menggunakan Metode Fuzzy Dan Terintegrasi Dengan *Internet Of Things* (IoT) Pada Budidaya Ikan Hias. *Jurnal Teknik ITS*, 10(2), 444-449. <http://dx.doi.org/10.12962/j23373539.v10i2.74902>
- Rohadi, E., Apriyani, M. E., & Laili, N. H. (2019). Sistem Penyiraman Tanaman Sayur Secara Aeroponik Berdasarkan Suhu Dan Kelembapan Berbasis Iot Menggunakan Metode Fuzzy. *Jurnal Informatika Polinema*, 5(2), 84-29. <https://doi.org/10.33795/jip.v5i2.247>
- Romalasari, A., & Sobari, E. (2019). Produksi Selada (*Lactuca Sativa* L.) Menggunakan Sistem Hidroponik Dengan Perbedaan Sumber Nutrisi. *Journal Of Applied Agricultural Sciences*, 3(1), 36–41. <https://doi.org/10.25047/agriprima.v3i1.158>
- Rumfot, R., Lesnussa, Y. A., & Rahakbauw, D. L. (2024). Perbandingan Metode Fuzzy Mamdani, Sugeno Dan Tsukamoto Untuk Menentukan Jumlah Produksi Batu Pecah. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 12(1), 158-168. <https://doi.org/10.26740/mathunesa.v12n1.p157-168>
- Srihidayati, G., & Suhaeni. (2022). Analisis Pengaruh Sektor Pertanian Terhadap Pertumbuhan Ekonomi. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 2(1), 22-26 . <https://doi.org/10.51574/jip.v2i1.18>
- Suryatini, F., Maimunah, M., & Fauzandi, F. I. (2019). Implementasi Sistem Kontrol Irigasi Tetes Menggunakan Konsep Iot Berbasis Logika Fuzzy Takagi-Sugeno. *Jtera (Jurnal Teknologi Rekayasa)*, 4(1), 115-124. <https://doi.org/10.31544/jtera.v4.i1.2019.115-124>
- Yustiningsih, M. (2019). Intensitas Cahaya Dan Efisiensi Fotosintesis Pada Tanaman Naungan Dan Tanaman Terpapar Cahaya Langsung. *Bio-Edu: Jurnal Pendidikan Biologi*, 4(2), 44–49. <https://doi.org/10.32938/jbe.v4i2.385>
- Zannah, H., Zahroh, S. A., R, E., Sudarti, & P, T. (2023). Peran Cahaya Matahari Dalam Proses Fotosintesis Tumbuhan. *Cermin : Jurnal Penelitian*, 7(1), 204-214.
- Zidni, G. S., & Ikrimach, I. (2023). Implementasi Metode Fuzzy Logic Dan Iot Untuk Klasifikasi Kondisi Kesehatan Denyut Jantung Berbasis Android. *Edumatic: Jurnal Pendidikan Informatika*, 7(2), 366–375. <https://doi.org/10.29408/edumatic.v7i2.23092>