

Sistem Inkubator Penyemaian Bibit Tanaman Hidroponik Menggunakan Logika Fuzzy Berbasis *Internet of Things*

Mokh. Sholihul Hadi¹, Rizky Arfiyansyah², Soraya Norma Mustika³,
Muhammad Alfian Mizar⁴, Dyah Lestari⁵, Samsul Setumin⁶

1. Universitas Negeri Malang, Indonesia | mokh.sholihul.ft@um.ac.id
2. Universitas Negeri Malang, Indonesia | rizky.arfiyansyah.1805366@students.um.ac.id
3. Universitas Negeri Malang, Indonesia | soraya.norma.ft@um.ac.id
4. Universitas Negeri Malang, Indonesia | alfianmizar@um.ac.id
5. Universitas Negeri Malang, Indonesia | dyah.lestari.ft@um.ac.id
6. Universiti Teknologi MARA, Cawangan Pulau Pinang, Malaysia | samsuls@uitm.edu.my

Abstrak

Hidroponik adalah suatu budidaya tanaman yang populer di Indonesia yang disebabkan oleh kurangnya lahan untuk bercocok tanam. Lahan yang sedikit serta tidak menggunakan tanah dalam budidayanya, membuat hidroponik cocok dikembangkan di mana saja terutama di area perkotaan bahkan di dalam ruangan. Terdapat beberapa tahapan dalam budidaya hidroponik salah satunya adalah pembibitan. Pada tahapan ini, bibit akan disemai hingga siap dipindah ke instalasi hidroponik, pada umumnya ketika sudah mulai muncul daun kedua hingga keempat. Pada tahap pembibitan, masalah yang sering dihadapi terutama pada *indoor farming* adalah etiolasi yaitu batang tidak kokoh yang umumnya disebabkan kurangnya sinar yang dibutuhkan oleh tanaman. Atau masalah lain ialah daun yang berwarna kuning yang disebabkan oleh lingkungan yang kurang memadai. Dari permasalahan ini, dirancang alat yang mampu mengondisikan lingkungan yang baik untuk pembibitan tanaman hidroponik berupa inkubator. Inkubator dirancang dengan sumber cahaya LED *growlight* dan penyiraman otomatis di dalamnya, serta sensor yang digunakan memantau kondisi di area inkubator seperti suhu dan kelembapan udara, *water level*, intensitas cahaya, dan kamera. Selain itu, terdapat pengendalian suhu dan udara di dalamnya berupa kipas dan *mist maker* yang menggunakan *Fuzzy Inferensi System Sugeno*, sehingga pengoptimalan suhu dan kelembapan di area inkubator terjaga sesuai pembacaan sensor. Untuk pemantauan inkubator terhubung ke *platform website* untuk memantau kondisi aktuator dan sensor secara *realtime*. Hasil pengujian menunjukkan sistem yang dibuat dapat memonitor beberapa variable yang berpengaruh pada tanaman serta mengendalikan suhu dan kelembapan udara dengan baik.

Kata Kunci

Hidroponik, *indoor farming*, *Fuzzy Inferensi System Sugeno*, *Internet of Things*

1. Pendahuluan

Terbatasnya lahan pertanian di Indonesia, saat ini menjadi salah satu permasalahan pada bidang agrikultur terutama di wilayah perkotaan (Putra et al., 2018; Santoso et al., 2015). Hidroponik adalah salah satu metode budidaya tanaman tanpa media tanam tanah. Sehingga lahan yang dibutuhkan untuk pengembangannya relatif sedikit (Resh, 2015). Dengan adanya kelebihan ini, budidaya hidroponik dapat diimplementasikan di dalam ruangan atau disebut *indoor farming*. Supaya *indoor farming* berhasil perlu adanya persiapan lingkungan buatan agar tanaman dapat tumbuh (Palande et al., 2018).

Dalam budidayanya, tahap awal dari hidroponik adalah penyemaian bibit. Tahap ini berfungsi untuk melakukan seleksi tanaman yang akan dipindahkan ke instalasi hidroponik (Resh, 2015). Pada hidroponik tahap penyemaian bibit adalah tahap awal pemecahan bibit hingga tanaman mencapai tinggi tertentu lalu siap dipindahkan ke instalasi hidroponik (Fadhurrahman, 2022). Terdapat beberapa kriteria untuk seleksi ini di antaranya munculnya 2-4 daun dan ketebalan batang yang kuat atau tidak mengalami etiolasi (Afandi et al., 2021; Resh, 2015).

Beberapa parameter lingkungan yang mendukung keberhasilan dari tanaman hidroponik adalah suhu udara, kelembapan udara dan intensitas cahaya. Pemantauan pada parameter ini, perlu dilakukan terutama dalam implementasinya pada *indoor farming* (Palande et al., 2018). Suhu udara optimal berada di rentang 15-30°C dengan kelembapan lebih dari 80% RH untuk tanaman pakcoy (Nasution et al., 2022; Sukajat, 2020). Untuk tanaman selada, suhu udara berada di rentang 15-22 °C dengan kelembapan udara 70-80% RH (Krisna et al., 2017). Selain itu, intensitas cahaya yang baik berada di rentang 2000 lux (El-Deeba et al., 2009).

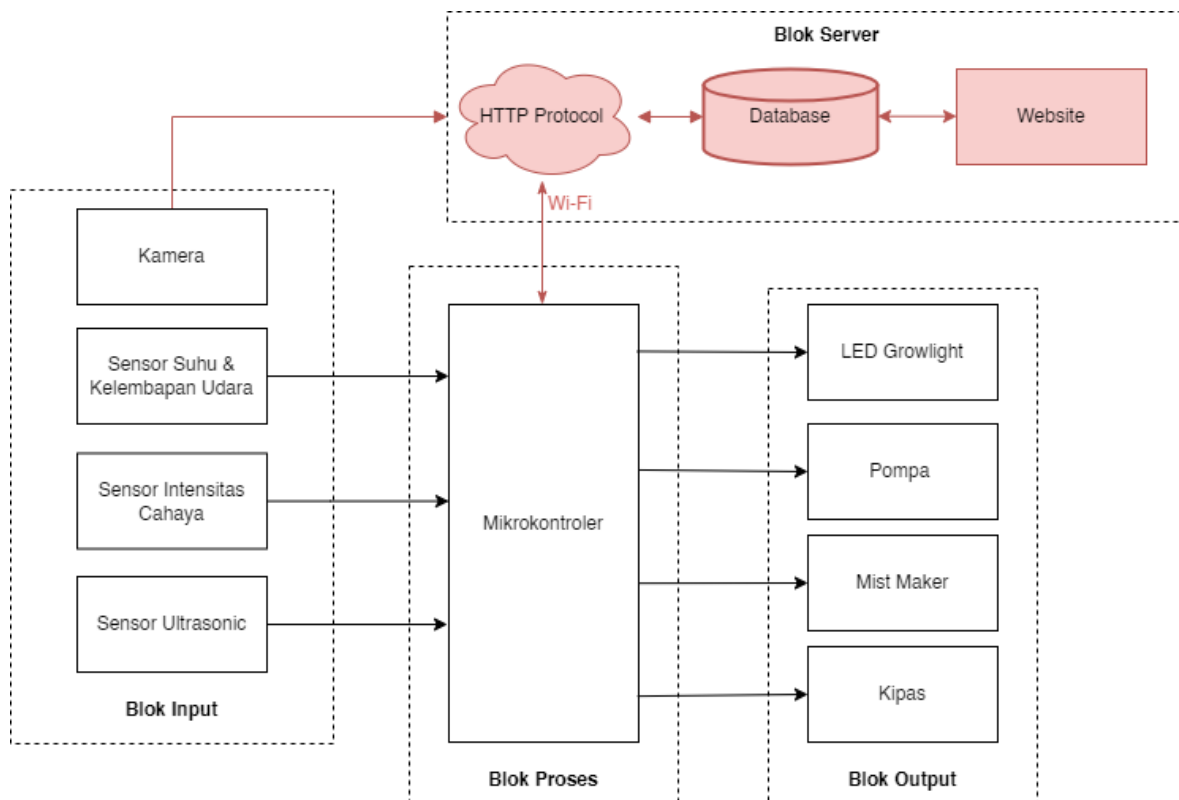
Dengan adanya hal ini penerapan *Internet of Things* (IoT) dalam lingkup agrikultur terutama untuk pembibitan tanaman hidroponik dapat memudahkan dalam manajemen budidaya hidroponik, terutama dalam hal monitor serta kontrol parameter-parameter yang dibutuhkan (Aliac and Maravillas, 2018).

2. Metode

Gambar 1 memperlihatkan blok diagram inkubator penyemaian bibit tanaman hidroponik yang dirancang. Prinsip kerja dari inkubator penyemaian ini yaitu dimulai dari pembacaan sensor BME280 berupa nilai suhu dan kelembapan udara yang digunakan sebagai masukan dari logika *fuzzy*. Luaran hasil *defuzzification* berupa nilai PWM untuk pengaturan kecepatan putaran motor DC yang terhubung ke *mist maker* dan kipas DC sebagai pengendali suhu dan kelembapan udara pada area inkubator. Sensor intensitas cahaya DFRobot VEML7700 digunakan untuk memonitor kebutuhan cahaya untuk tumbuhan. Sensor ultrasonik HC-SR04 digunakan untuk mengamati ketinggian air yang digunakan untuk *mist maker*.

Pada sistem yang dibuat, terdapat dua buah aktuator berupa *LED Growlight* dan *water pump*. *LED Growlight* digunakan sebagai satu-satunya sumber cahaya yang dibutuhkan oleh tanaman pada inkubator, sedangkan *water pump* digunakan sebagai penyiram tanaman untuk menjaga

kelembapan media tanam. Kedua aktuator ini berjalan sesuai *timer* yang telah ditentukan. Idealnya tanaman menerima cahaya selama 6-12 jam (Apriyanti, 2015; Nasution et al., 2022). *LED growlight* diatur aktif kurang lebih 12 jam mulai dari jam 7 pagi hingga 7 malam, sedangkan untuk pompa aktif pada pagi hari dan sore hari dengan interval dua kali aktif selama 20 detik.



Gambar 1. Diagram Balok Inkubator Penyemaian Bibit Tanaman Hidroponik

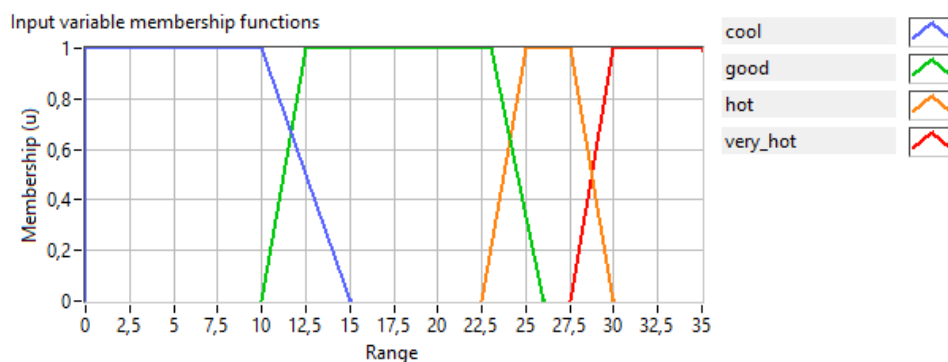
Untuk memudahkan pemantauan tanaman secara *realtime*, dipasang sebuah kamera ESP32-Cam yang terhubung ke sistem server. Terdapat dua mode instalasi yang diterapkan pada ESP32-Cam, yang pertama kamera mampu menangkap gambar secara *livestream*, yang kedua mode *capture image* untuk mengambil gambar untuk disimpan setiap harinya sesuai pada *timer* yang telah ditentukan yaitu pada jam 2 siang.

Untuk memudahkan pengguna memantau sistem yang dirancang, dibuat sebuah *website* yang digunakan untuk melakukan memonitor serta mengontrol seluruh perangkat yang terhubung pada sistem *IoT*. *IoT* memungkinkan untuk melakukan komunikasi data melalui internet sehingga antar perangkat yang terhubung dapat saling bertukar informasi. (Camarinha-Matos et al., 2013).

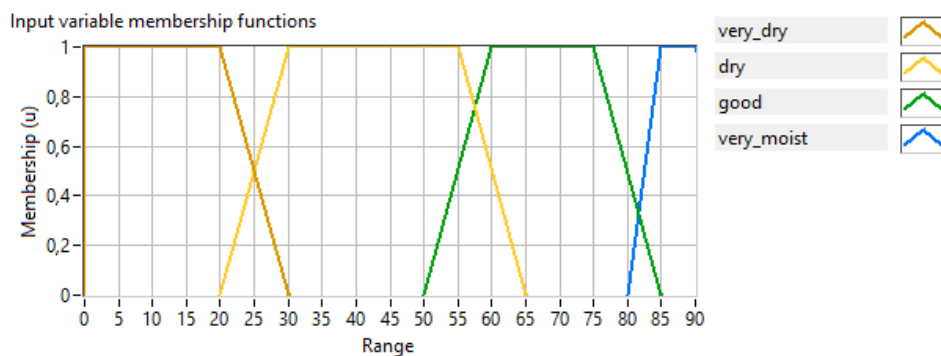
1) Fuzzifikasi Menggunakan *Fuzzy Inferensi System Sugeno* (FIS-Sugeno)

Logika *fuzzy* merupakan suatu metode yang mulai populer pada awal tahun 1980-an terutama implementasinya pada sektor industri khususnya pada kontrol dan otomatisasi. FIS-Sugeno efisien digunakan untuk pengoptimalan sistem yang adaptif sehingga sering digunakan pada bagian kontrol (Kaur and Kaur, 2012).

Pada *fuzzy* yang dirancang, *input* didapatkan dari pembacaan sensor suhu dan kelembapan udara. Gambar 2 menunjukkan fungsi keanggotaan trapezoid dari suhu udara yang terbagi atas tiga klasifikasi yaitu dingin pada rentang 0 °C – 15 °C, normal pada rentang 10°C – 26 °C, dan panas pada rentang 20°C – 35 °C. Gambar 3 menunjukkan fungsi keanggotaan trapezoid kelembapan udara yang terbagi atas empat klasifikasi yaitu sangat kering pada rentang 0%-30% RH, kering pada rentang 20%-60% RH, normal pada rentang 50%-85% RH, dan sangat lembap > 80% RH.



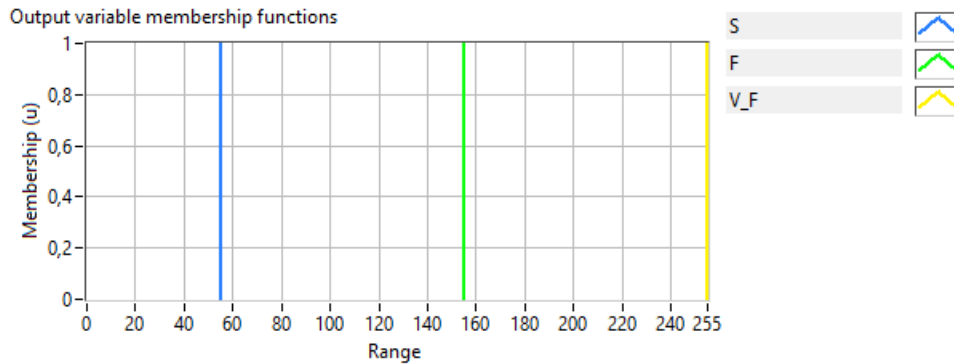
Gambar 2. Fungsi Keanggotaan Suhu Udara



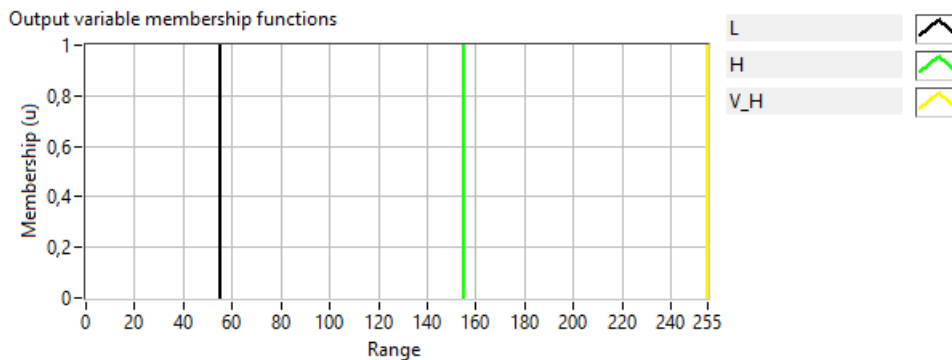
Gambar 3. Fungsi Keanggotaan Kelembapan Udara

Output dari *fuzzy* merupakan nilai PWM untuk *mist maker* dan kipas DC yang nilainya tergantung dari pembacaan sensor BME280. Fungsi keanggotaan trapezoid *output* ditunjukkan

pada Gambar 4. dan Gambar 5. Fungsi keanggotaan output kecepatan kipas diklasifikasikan dalam tiga bagian pada domain 255 yaitu lambat pada rentang 0-80, normal pada rentang 60-160, dan cepat pada rentang 140-255. Fungsi keanggotaan output *mist maker* diklasifikasikan dalam tiga bagian pada domain 255 yaitu rendah pada rentang 0-80, normal pada rentang 60-160, dan tinggi pada rentang 140-255.



Gambar 4. Fungsi Keanggotaan Output Kecepatan Kipas



Gambar 5. Fungsi Keanggotaan Output *Mist Maker*

2) Fuzzy Rule

Pada fungsi keanggotaan didefinisikan dua buah *input* yang berasal dari sensor suhu dan kelembapan dan dua buah *output* untuk kipas dan *mist maker*, maka didefinisikan aturan untuk kecepatan kipas dalam Tabel 1 dan aturan untuk *mist maker* dalam Tabel 2.

3) Defuzzification

Pada FIS Sugeno metode yang digunakan untuk defuzifikasi adalah *weighted average* (Kaur and Kaur, 2012). Metode *weighted average* mengambil nilai rata-rata dengan menggunakan pembobotan pada derajat keanggotaan. Persamaan dari *weighted average* didefinisikan pada

Pers. (1) dimana y^* adalah nilai *crisp*, y adalah derajat keanggotaan dari nilai *crisp* y , $\mu(y)$ adalah nilai derajat keanggotaan dari nilai *crisp* y (Suyanto, 2021).

$$y^* = \frac{\sum \mu(y).y}{\mu(y)} \quad \text{Pers. (1)}$$

Tabel 1. Tabel *Rules* Kipas

Suhu/Kelembaban	very_dry	dry	good	very_moist
cool	F	F	S	S
good	V_F	F	F	S
hot	V_F	V_F	V_F	F
very_hot	V_F	V_F	V_F	V_F

Keterangan: S = Slow, F = Fast, V_F = Very Fast

Tabel 2. Tabel *Rules* Mist Maker

Suhu/Kelembaban	very_dry	dry	good	very_moist
cool	V_H	H	L	L
good	H	H	L	L
hot	V_H	V_H	H	H
very_hot	V_H	V_H	H	H

Keterangan: S = Low, H = High, V_H = Very High

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian dibagi menjadi dua bagian yaitu hasil pengujian *hardware* dan hasil pengujian *software*. Hasil pengujian *hardware* meliputi pengujian sensor, sedangkan pada pengujian *software* meliputi pengujian *fuzzy logic* serta kontrol aktuator melalui aplikasi.

1) Hasil Pengujian Pembacaan Suhu Udara dan Kelembaban Udara

Pengujian suhu udara dan kelembaban udara dilakukan dengan membandingkan antara luaran sensor BME280 dengan pembacaan alat ukur suhu dan kelembaban udara GME1365 *Datalogger*. Tabel 3 memperlihatkan hasil pengujian suhu udara. Dalam Tabel. 3, pembacaan nilai suhu udara pada BME280 mendapatkan nilai eror 1,39 %, sehingga sensor BME280 dapat digunakan untuk pembacaan suhu udara dengan baik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Pembacaan Suhu Udara

Nilai Suhu Udara (°C)		Error (%)
GME1365 <i>Datalogger</i>	Sensor BME280	
25,80	25,98	0,70
27,20	26,47	2,68
30,40	30,00	1,32
30,50	29,99	1,67
31,00	31,18	0,58
Rata-rata Error		1,39

Tabel 4 memperlihatkan hasil pengujian kelembaban udara. Dalam Tabel 4, terlihat bahwa didapatkan rata-rata eror kurang lebih 9,19%. Karena sensor masih memiliki nilai eror yang besar, maka diaplikasikan Pers. (2) yang diperoleh melalui persamaan regresi linier.

$$y = 0,7493x + 21,777 \quad \text{Pers. (2)}$$

Setelah diterapkan Pers. (2), rata-rata nilai eror yang didapatkan adalah 1,57% sehingga pembacaan kelembaban udara dengan sensor BME280 sudah lebih baik daripada sebelumnya.

Tabel 4. Hasil Pengujian Pembacaan Kelembaban Udara

Nilai Kelembaban Udara (% RH)		Error Sebelum	Nilai Kelembaban Udara	Error Setelah
GME1365 <i>Datalogger</i>	BME280	Regresi (%)	Setelah Regresi (%RH)	Regresi (%)
59,90	53,40	10,85	61,79	3,20
63,90	58,33	8,72	65,48	2,50
65,50	54,95	16,11	62,95	3,90
68,40	60,27	11,89	66,94	2,10
75,90	73,86	2,69	77,12	1,60
76,80	73,05	4,88	76,51	0,40
78,70	76,53	2,76	79,12	0,50
79,80	77,91	2,37	80,15	0,40
80,40	78,76	2,04	80,79	0,50
81,50	79,09	2,96	81,04	0,60
83,00	80,22	3,35	81,89	1,30
Rata-rata error		9,19		1,57

2) Hasil Pengujian Pembacaan Intensitas Cahaya

Pengujian intensitas cahaya dilakukan dengan membandingkan pembacaan intensitas cahaya LED *growlight* dengan sensor DFRobot VEML 7700 dengan *lux meter*. Data perbandingan digunakan untuk kalibrasi sensor menggunakan metode regresi linear. Tabel 5 memperlihatkan hasil pengujian pembacaan intensitas cahaya. Berdasarkan Tabel 5, terdapat perbedaan antara pembacaan intensitas cahaya menggunakan sensor VEML7700 dengan *lux meter* sebesar 10,22%, sehingga perlu ditambahkan Pers. (3) yang merupakan persamaan regresi linier yang diperoleh dari pengolahan data. Setelah diterapkan Pers. (3), diperoleh nilai rata-rata eror yang lebih baik yaitu sebesar 1,64%, sehingga sensor VEML7700 dapat digunakan untuk mendeteksi intensitas cahaya dengan baik.

$$y = 0,9889x - 46,245 \quad \text{Pers. (3)}$$

3) Hasil Pengujian Pembacaan Tinggi Air

Pengujian pembacaan tinggi air dilakukan dengan membandingkan pengujian pembacaan tinggi air dengan sensor ultrasonik HC-SR04 terhadap pengukuran tinggi air dengan penggaris.

Sensor diletakkan pada bagian atas rak, dengan wadah air dengan tinggi 10 cm. Perhitungan level/tinggi air kemudian dihitung dengan Pers. (4).

$$Level = \frac{\text{Pembacaan Sensor}}{10} \times 100 \quad \text{Pers. (4)}$$

Seperti yang terlihat dalam Tabel 6, sensor ultrasonik HC-SR04 dapat melakukan pembacaan level air dengan baik dengan rata-rata error sebesar 3,25%.

Tabel 5. Hasil pengujian pembacaan intensitas cahaya

Intensitas Cahaya (Lux)		Error Sebelum Regresi (%)	Nilai Intensitas Cahaya Setelah Regresi (Lux)	Error Setelah Regresi (%)
Lux meter	DFRobot VEML7700			
1042,00	1081,63	3,80	1023,38	1,79
944,00	1002,86	6,24	945,48	0,16
815,00	909,39	11,58	853,05	4,67
757,00	812,27	7,30	757,01	0,00
669,00	692,79	3,56	638,86	4,51
512,00	571,37	11,60	518,78	1,32
372,00	425,11	14,28	374,15	0,58
214,00	263,35	23,06	214,18	0,08
Rata-rata error (%)		10,22		1,64

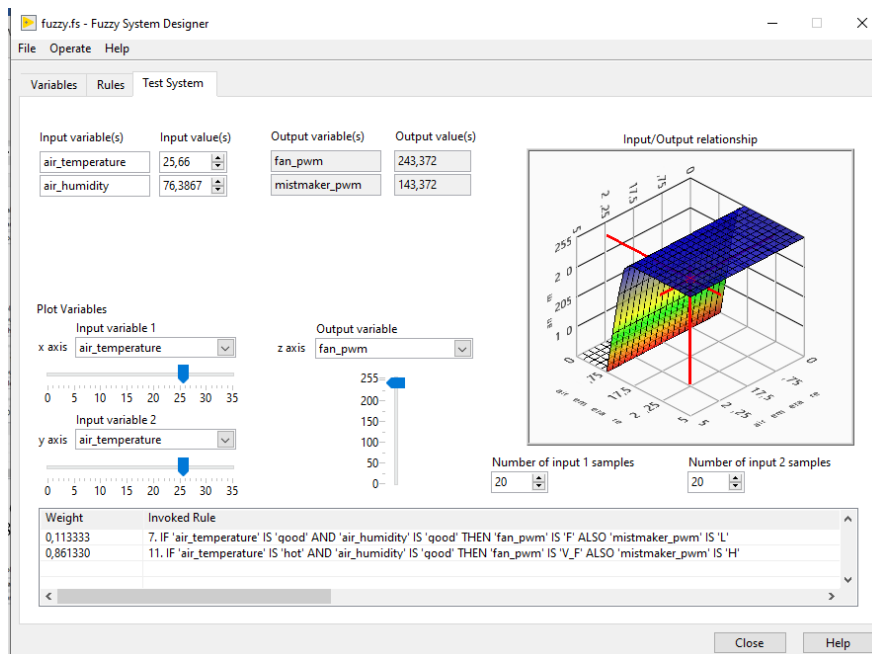
Tabel 6. Hasil Pengujian Pembacaan Tinggi/Level Air

Penggaris (cm)	Kapasitas (%)	HC-SR04 (cm)	Kapasitas (%)	Error (%)
2,50	25	2,55	26	4,00
5,00	50	4,82	48	4,00
7,50	75	7,18	72	4,00
10,00	100	9,92	99	1,00
Rata-rata Error				3,25

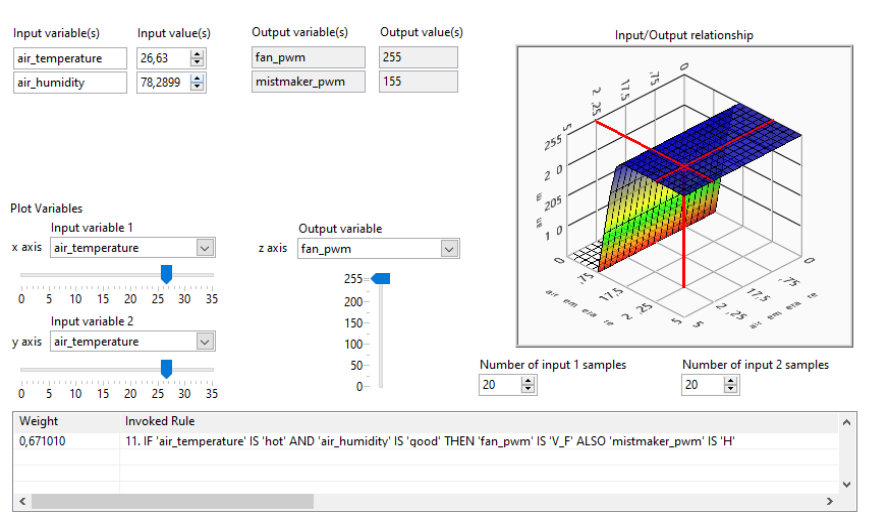
4) Hasil Pengujian Logika *Fuzzy*

Pengujian logika *fuzzy* dilakukan dengan mencatat nilai PWM yang dihasilkan oleh masing-masing aktuator berdasarkan nilai suhu udara dan kelembapan udara yang terbaca pada sensor BME280. Kemudian nilai PWM tersebut dibandingkan dengan nilai simulasi pada NI Lab View. Nilai PWM yang diatur bernilai 8-bit sehingga berada di rentang 0-255. Contoh hasil dari pengujian logika *fuzzy* ini ditunjukkan pada Gambar 6 dan Gambar 7.

Perbandingan hasil defuzifikasi pada mikrokontroler ESP32 dan hasil simulasi pada NI Lab View ditunjukkan dalam Tabel 7. Dari hasil pengujian logika *fuzzy*, didapatkan nilai rata-rata error sebesar 0,35% untuk kipas, dan error sebesar 0,21% untuk *mist maker*. Dengan nilai error yang kecil, maka logika *fuzzy* dapat digunakan untuk pengendali suhu dan kelembapan udara dalam sistem yang dikembangkan.



Gambar. 6 Hasil Defuzifikasi dengan Nilai Suhu Udara 25,66 °C dan Kelembapan Udara 76,39 %RH



Gambar. 7 Hasil Defuzifikasi dengan Nilai Suhu Udara 26,63 °C dan Kelembapan 78,29 %RH

5) Hasil Pengujian Platform Website

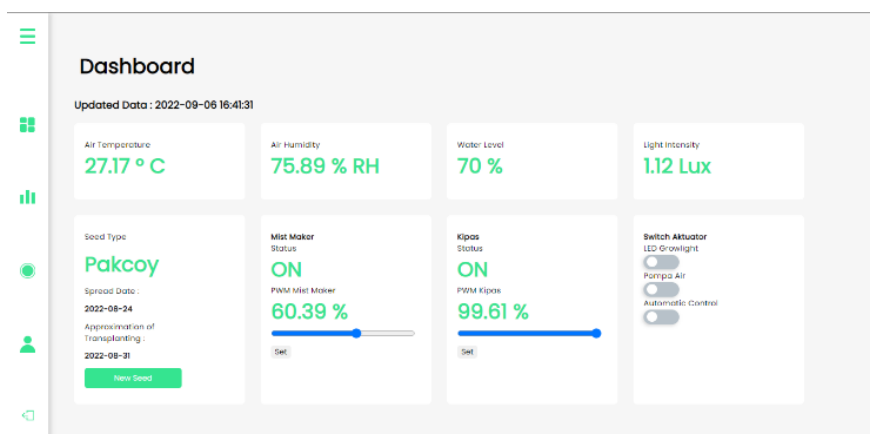
Pada platform website yang dibuat terdapat 3 buah halaman utama yaitu halaman *dashboard* untuk *realtime monitoring* perangkat sensor dan aktuator, halaman *datalog* untuk memonitor data

sensor selama beberapa jam terakhir, dan halaman *livestream* untuk menampilkan gambar pada ESP32-Cam.

Tabel 7. Hasil Pengujian Logika *Fuzzy*

Sensor BME280		Output PWM				Error (%)	
		Program Mikrokontroler		Simulasi NI Lab View			
Suhu (°C)	Kelembapan (% RH)	Kipas	Mist Maker	Kipas	Mist Maker	Kipas	Mist maker
25,66	76,39	243,00	143,00	243,37	143,37	0,15	0,26
26,63	78,29	255,00	156,00	255,00	155,00	0,00	0,65
27,43	75,87	255,00	155,00	255,00	155,00	0,00	0,00
28,13	73,86	255,00	155,00	255,00	155,00	0,00	0,00
29,12	71,37	255,00	155,00	255,00	155,00	0,00	0,00
25,80	82,56	180,00	144,00	176,54	143,48	1,96	0,36
Rata-rata Error (%)						0,35	0,21

Gambar 8 menunjukkan halaman *dashboard* digunakan untuk melakukan pemantauan data sensor serta aktuator secara *realtime*. Dalam halaman dashboard, terdapat *button* yang berfungsi untuk melakukan kontrol aktuator baik PWM ataupun *relay* secara manual.



Gambar 8. Halaman *Dashboard*

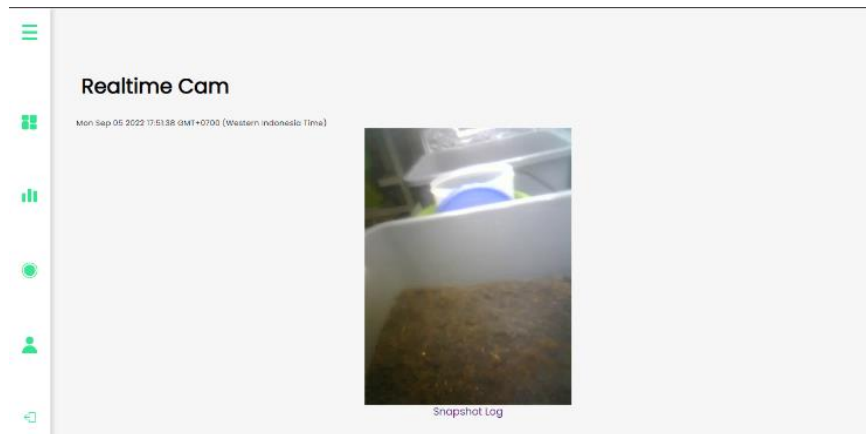
Gambar 9 memperlihatkan halaman *datalog* digunakan untuk merekam rata-rata pembacaan sensor dalam 1 jam selama 3 hari terakhir. Gambar 10 memperlihatkan halaman *livestream* digunakan untuk menampilkan pembacaan kamera berupa video *livestream* secara *realtime*. Selain menampilkan gambar secara *realtime*, kamera diatur untuk mengambil data *snapshot* sesuai *timer* yang ditentukan yaitu jam 2 siang.

Selanjutnya pada pengujian platform *website* dilakukan dengan mengukur waktu yang dibutuhkan untuk kontrol kecepatan kipas dan *mist maker* pada *website*. Tabel 8 memperlihatkan hasil pengujian ketika kipas dan *mist maker* diberi nilai PWM dengan *duty cycle* yang berbeda-beda mulai dari 0% sampai 100%. Dalam Tabel 8 terlihat bahwa ada *delay* rata-rata 18,72 detik untuk mengendalikan kipas dan *mist maker* dari *website*.

Datalog

No.	Device ID	Average Temperature	Average Humidity	Average Light Intensity	Average Water Level	Timestamp
1	ds18b1-1	0,00 °C	29,36 %	2,13 Lux	19,83 %	12 - Sep - 17: 00 WIB
2	testhp-1	23,00 °C	32,00 %	2293,00 Lux	22,00 %	8 - Sep - 10: 00 WIB
3	ds18b1-1	27,25 °C	73,96 %	642,74 Lux	69,17 %	7 - Sep - 10: 00 WIB
4	ds18b1-1	28,32 °C	72,84 %	752,59 Lux	25,15 %	7 - Sep - 11: 00 WIB
5	ds18b1-1	27,02 °C	73,96 %	835,15 Lux	74,91 %	7 - Sep - 10: 00 WIB
6	ds18b1-1	28,84 °C	75,37 %	518,22 Lux	47,08 %	7 - Sep - 17: 00 WIB
7	ds18b1-1	28,84 °C	71,08 %	532,67 Lux	92,73 %	7 - Sep - 14: 00 WIB
8	ds18b1-1	16,49 °C	49,93 %	426,66 Lux	92,13 %	8 - Sep - 14: 00 WIB
9	ds18b1-1	27,04 °C	76,97 %	569,84 Lux	16,40 %	8 - Sep - 16: 00 WIB
10	ds18b1-1	27,46 °C	76,64 %	833,39 Lux	64,09 %	8 - Sep - 10: 00 WIB
11	ds18b1-1	26,88 °C	75,82 %	848,38 Lux	64,73 %	8 - Sep - 17: 00 WIB
12	ds18b1-1	27,87 °C	74,03 %	621,17 Lux	28,07 %	8 - Sep - 15: 00 WIB

Gambar 9 Halaman Datalog



Gambar 10. Halaman Livestream

Tabel 8. Hasil Pengujian Kontrol Kipas dan Mist Maker

Waktu Kendali	Duty Cycle untuk PWM (%)		Waktu Respon	Delay (s)
	Kipas	Mist Maker		
14:22:45	100	100	14:23:09	15,04
14:38:10	75	75	14:38:10	15,05
14:34:25	50	50	14:34:43	18,06
14:43:10	25	25	14:43:33	22,03
14:46:10	0	0	14:43:33	23,41
Rata-rata Delay				18,72

Tabel 9 memperlihatkan hasil pengujian ketika LED dan pompa dikendalikan dari *website*. Dalam Tabel 9 terlihat bahwa untuk menyalakan LED *growlight* dari *website* diperlukan waktu 10,33 detik dan dibutuhkan waktu 35,49 detik untuk memamatkannya. Untuk menyalakan pompa

dari *website* dibutuhkan waktu 9,15 detik dan 22,37 detik untuk mematikan pompa tersebut. Rata Rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk menyalakan aktuator adalah 9,74 detik dan 29,93 detik untuk memamatkannya.

Tabel 9. Hasil Pengujian Kendali Tombol untuk Kontrol Relay LED dan Pompa

Waktu Kendali	Button Status		Waktu Respon		Delay (s)		Rata- rata delay (s)
	LED	Pompa	LED	Pompa	LED	Pompa	
17:31:27	ON	ON	17:31:37	17:31:36	10,33	9,15	9,74
20:36:50	OFF	OFF	20:37:26	20:37:12	35,49	22,37	28,93

4. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dapat disimpulkan bahwa FIS Sugeno dapat digunakan dengan baik digunakan sebagai kendali suhu udara dan kelembaban udara di inkubator. Aktuator yang dioptimalkan kerjanya adalah kipas dan *mist maker*. Aktuator bekerja sesuai nilai PWM yang diberikan dari hasil defuzifikasi dari FIS-Sugeno dengan eror 0,35% untuk kipas dan 0,21% untuk *mist maker*. Kemudian untuk pengujian kontrol aktuator pada *platform website* didapatkan rata-rata delay 18,72 detik untuk kontrol kipas dan *mist maker*, sedangkan untuk aktivasi LED *growlight* dan *relay* dibutuhkan waktu 9,74 detik dan lebih singkat dibandingkan untuk mematikan LED *growlight* dan *relay* yaitu 28,93 detik.

Daftar Rujukan

- Afandi, M.A., Hikmah, I., Agustinah, C., 2021. Microcontroller-based Artificial Lighting to Help Growth the Seedling Pakcoy. *JNTE* 10. <https://doi.org/10.25077/jnte.v10n3.943.2021>
- Aliac, C.J.G., Maravillas, E., 2018. IOT Hydroponics Management System, in: 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM). Presented at the 2018 IEEE 10th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment and Management (HNICEM), pp. 1–5. <https://doi.org/10.1109/HNICEM.2018.8666372>
- Apriyanti, R.N., 2015. Hidroponik Perkotaan. Trubus Swadaya.
- Camarinha-Matos, L.M., Tomic, S., Graca, P., 2013. Technological Innovation for the Internet of Things: 4th IFIP WG 5.5/SOCOLNET Doctoral Conference on Computing, Electrical and Industrial Systems, DoCEIS 2013, Costa de Caparica, Portugal, April 15-17, 2013, Proceedings. Springer.
- El-Deeba, M.M., El-Awady, M.N., Hegazi, M.M., Abdel-Azeem, F.A., El-Bourdiny, M.M., 2009. Engineering Factor Affecting Hydroponics Grass- Fodder Production. *Misr Journal of Agricultural Engineering*. <https://doi.org/10.21608/mjae.2009.108766>
- Fadhilurrahman, M.F., 2022. Rancang Bangun Alat Semai Hidroponik Multi Varian dengan Metode Gravitasi. Universitas Padjajaran, Bandung.
- Kaur, Arshdeep, Kaur, Amrit, 2012. Comparison of Mamdani-Type and Sugeno-Type Fuzzy Inference Systems for Air Conditioning System 2.

- Krisna, B., Putra, E.E.T.S., Rogomulyo, R., Kastono, D., 2017. Pengaruh Pengayaan Oksigen dan Kalsium terhadap Pertumbuhan Akar dan Hasil Selada Keriting (*Lactuca sativa* L.) pada Hidroponik Rakit Apung. *Vegetalika* 6, 14–27. <https://doi.org/10.22146/veg.30900>
- Nasution, D.L.S., Julianti, Ichwan, N., 2022. Performance of Automatic Ring Irrigation with Solar Panel Energy (ARISGY) to Pakcoy (*Brassica Rapa* L) Growth. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* 977, 012069. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/977/1/012069>
- Palande, V., Zaheer, A., George, K., 2018. Fully Automated Hydroponic System for Indoor Plant Growth. *Procedia Computer Science*, 2017 International Conference on Identification, Information, and Knowledge in The Internet of Things 129, 482–488. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.03.028>
- Putra, E.S., Jamaludin, J., Djatmiko, M.D., 2018. Comparison of Hydroponic System Design for Rural Communities in Indonesia. *Journal of Arts and Humanities* 7, 14–21. <https://doi.org/10.18533/journal.v7i9.1490>
- Resh, H.M., 2015. *Hydroponics for the Home Grower*. CRC Press.
- Santoso, E.B., Aulia, B.U., Widya, R.R., 2015. Measuring Performance of Urban Farming for Sustainable Urban Development in the City of Surabaya, Indonesia. Presented at the 13th International Congress of Asian Planning Schools Association (APSA), Universiti Teknologi Malaysia, Johor Bahru, Malaysia.
- Sukajat, N.K., 2020. Pengaruh Kombinasi Serbuk Sabut kelapa dan Arang Sekam terhadap Pertumbuhan Tanaman Sawi Pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) pada Sistem Hidroponik DFT (Deep Flow Technique). Universitas Islam Negeri Sunan Ampel, Surabaya.
- Suyanto, 2021. *Artificial Intelligence Searching, Reasoning, Planning, dan Learning*, 3rd ed. Informatika, Bandung.