

Perancangan dan Implementasi Sirkulasi Air pada Rumah Kaca Hidroponik menggunakan Parameter Sensor Multivariabel berbasis Web

Rifqi Aji Widarso^{1*}, Adi Sucipto¹, Nabila Rahma Yusrilfa Trisyayanti¹, Hasnira Hasnira², Tamara Maharani³, Dhodit Rengga Tisna³

¹Jurusan Teknologi Informasi, Politeknik Negeri Jember, Jember, Indonesia

²Jurusan Teknologi Rekayasa Pembangkit Energi, Politeknik Negeri Batam, Batam, Indonesia

³Jurusan Teknologi Multimedia, Akademi Komunitas Negeri Pacitan, Pacitan, Indonesia

^a*Email: rifqiaji_w@polije.ac.id

Received on 08-04-2025 | Revised on 09-04-2025 | Accepted on 25-06-2025

Abstrak—Budidaya Pertanian hidroponik dalam rumah kaca menjadi solusi inovatif untuk meningkatkan efisiensi pertumbuhan tanaman, karena petani hidroponik dapat melakukan kontrol lingkungan dalam rumah kaca tersebut. Salah satu faktor penting dalam sistem ini adalah sirkulasi air, yang mempengaruhi ketersediaan nutrisi dan oksigen bagi tanaman menggunakan sensor multivariable, dan diolah dengan metode *fuzzy* Tsukamoto. Melalui adanya sensor DHT 11 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara didalam rumah kaca, sensor DS18B20 untuk mengukur suhu pada air serta sensor pH untuk mengukur tingkat keasaman pada air, dilakukan pengujian sebanyak sepuluh kali yang menghasilkan sepuluh kondisi berbeda. Saat sistem otomasi sirkulasi air bekerja selama 5 menit, kelembapan meningkat sebesar 7% serta pH turun sekitar 0,5. Sedangkan suhu dapat turun sekitar 1,7°C setelah sistem otomasi kipas bekerja selama 5 menit.

Kata Kunci: *Fuzzy* Tsukamoto, Hidroponik, Rumah kaca, Sensor multivariabel, Web

Abstract—Hydroponic farming in greenhouses is an innovative solution to increase the efficiency of plant growth, because hydroponic farmers can control the environment in the greenhouse. One of the important factors in this system is water circulation, which affects the availability of nutrients and oxygen for plants using multivariable sensors, and processed with the Tsukamoto *fuzzy* method. Through the DHT 11 sensor to measure the temperature and humidity of the air in the greenhouse, the DS18B20 sensor to measure the temperature of the water and the pH sensor to measure the acidity of the water, ten tests were carried out which resulted in ten different conditions. When the water circulation automation system works for 5 minutes, the humidity increases by 7% and the pH drops by about 0.5. While the temperature can drop about 1,7°C after the fan automation system works for 5 minutes.

Keywords: *Fuzzy* Tsukamoto, Greenhouse, Hydroponics, Multivariable sensor, Web

I. PENDAHULUAN

PERTANIAN adalah salah satu bagian yang penting dan krusial dalam mendukung program pemerintah Indonesia salah satunya dengan menaikkan ketahanan pangan dan kesejahteraan rakyat [1].

Secara global, industri pertanian mengalami transformasi yang relatif memberikan dampak yang cukup besar seiring dengan meningkatnya persaingan produksi antara produk rumah kaca dan pertanian lapangan terbuka [2]. Produk rumah kaca, yang sebelumnya dianggap sebagai pemasok primer, kini menghadapi tantangan dan persaingan dari produk pertanian lapangan terbuka di berbagai belahan dunia. dimana perubahan ini memaksa industri rumah kaca untuk merubah orientasi serta sasaran produksi yang lebih terkonsentrasi pada pasar konsumen dan menuntut mereka memproduksi produk yang lebih unggul serta terjangkau dibandingkan dengan produk lapangan terbuka. Dengan adanya teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk mengatur kondisi lingkungan yang ingin dibentuk pada sebuah sistem budidaya tumbuhan pada rumah kaca, maka produksi pada rumah kaca dapat sedikit lebih unggul dalam hal teknologi dan otomasi [3].

Sistem produksi rumah kaca untuk menaikkan ketahanan pangan dan efisiensi energi juga punya imbas yang relatif signifikan terhadap rakyat, ekonomi, dan lingkungan sehingga perlu menjadikannya sebagai inti dalam mendukung tujuan primer yakni pembangunan yang berkelanjutan! **Reference source not found.** Pembudidayaan tumbuhan pada rumah kaca tidak akan menghasilkan produk secara optimal tanpa dilakukan perawatan yang memadai, salah satu bentuk perawatannya ialah dengan adanya pengendalian suhu serta kelembapan yang memungkinkan sebuah sistem yang dapat mensirkulasikan air ke tumbuhan secara otomatis [6].

Penelitian sistem sirkulasi air otomatis pada rumah kaca dapat memberikan alternatif solusi untuk mengeksplorasi strategi adaptasi yang efektif bagi industri rumah kaca

dalam menghadapi tantangan energi dan regulasi, serta peran teknologi inovatif untuk mempertinggi daya saing dan keberlanjutan sektor ini. Pemanfaatan teknologi IoT untuk memaksimalkan potensi produksi pada rumah kaca memberikan variasi serta kombinasi baru untuk menggunakan sensor untuk membentuk sebuah sistem otomatisasi peredaran air [7], [8]. Dengan begitu diharapkan produk yang dihasilkan kualitas unggulan, baik dalam aspek kesegaran, ketahanan, serta kesesuaian dengan standar yang dibutuhkan sehingga layak untuk dipasarkan. Produk yang dihasilkan yang bersanding dengan pengembangan teknologi akan membentuk sebuah orisinalitas baru dimana dapat bersaing dengan pasar yang ada [9].

II. METODE PENELITIAN

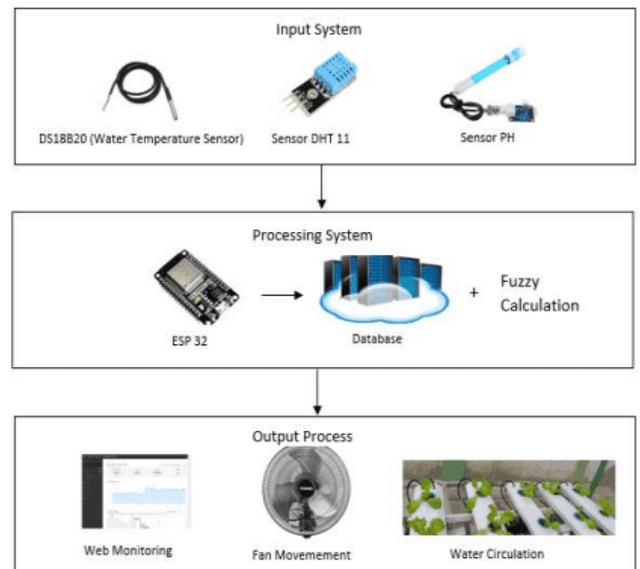
Metode penelitian ini disusun untuk mengembangkan sistem peredaran air otomatis di rumah kaca lalu data yang didapat dari penerapan teknologi ini disimpan di dalam database untuk dilakukan kalkulasi dengan memakai metode *fuzzy* [10]. dimana masukan dari sistem terdapat beberapa variabel (multi variabel), yaitu memakai sensor DHT 11 menjadi variabel untuk menerima data suhu serta kelembapan lingkungan, sensor DS18B20 yang pada penelitian ini dipergunakan sebagai variabel untuk mengukur suhu air yang disirkulasikan, serta sensor pH untuk mengukur taraf keasaman atau kebasaan pada air. Penelitian meliputi beberapa tahapan, yaitu menghubungkan sensor ke mikrokontroller ESP32 lalu dilakukan pengambilan sampel setelah itu data tersebut dilakukan kalkulasi menggunakan memakai metode *fuzzy* serta hasil perhitungan data disimpan pada database. setelah itu data yang tersimpan dalam database dapat ditarik supaya sistem dapat memuntok keputusan terkait aliran air otomatis serta kipas untuk pendingin mikrokontroller, lalu informasi terkait operasional sistem ditampilkan bentuk web monitoring. Setiap tahapan dipaparkan dengan rinci untuk memudahkan peneliti lain mengadopsi atau memodifikasi mekanisme ini.

A. Alat dan Bahan

Dalam penelitian ini memakai beberapa komponen utama supaya sistem bisa beroperasi dengan baik antara lain merupakan ESP32, sensor DHT11, sensor DS18B20, sensor pH. ESP32 dapat didefinisikan sebagai mikrokontroller layaknya Arduino dimana memiliki kelebihan dapat terkoneksi ke sebuah jaringan nirkabel. ESP32 adalah mikrokontroller *System on a Chip (SoC)* yang memiliki penggunaan sumber daya yang lebih rendah menggunakan performan radio frequency yang tinggi, ESP32 pula sudah terintegrasi dengan modul *Wi-Fi 802.11 b/g/n* dan modul Bluetooth [11]. Penggunaan ESP32 pada penelitian ini karena memiliki fitur yang relatif lengkap serta harga yang lebih terjangkau. Sensor DHT11 ialah sensor digital yang dapat mengukur suhu serta kelembapan udara di sekitarnya [12]. Sensor ini sangat mudah digunakan bersama dengan perangkat mikrokontroller layaknya ESP32 dan mempunyai tingkat stabilitas yang sangat baik serta fitur

kalibrasi yang sangat seksama [13]. Koefisien kalibrasi disimpan dalam OTP program memori, sebagai akibatnya ketika internal sensor mendeteksi sesuatu, maka modul ini menyertakan koefisien tadi dalam kalkulasinya.

Sensor DS18B20 merupakan suatu komponen yang bisa mengkonversi perubahan temperatur lingkungan menjadi besaran listrik [14]. Sensor tadi berkomunikasi dengan mikrokontroller melewati sensor digital yang menggunakan 1 *wire*. Karena memiliki tingkat ketepatan pengukuran yang lebih tinggi, maka sensor ini diarahkan untuk mengukur suhu air yang akan diedarkan. Sensor Keasaman (pH) adalah potensial Hidrogen atau tingkat asam serta basa pada air [15]. Sifat asam di air mempunyai pH antara 0 sampai 7 dan sifat basa pada air memiliki pH antara 7 sampai 14. untuk mendeteksi taraf asam serta basa di pH air bisa memakai sensor pH.



Gambar 1. Desain Sistem

Gambar 1 mendeskripsikan sebuah sistem otomatisasi yang didesain untuk mengontrol aliran air dan pendinginan udara pada rumah kaca, dengan tujuan menciptakan lingkungan yang optimal bagi pertumbuhan tanaman. Sistem ini terbagi menjadi tiga bagian utama: sistem masukan, sistem pemrosesan dan proses hasil. Pada bagian pertama, data lingkungan dikumpulkan melalui tiga sensor utama, yaitu sensor suhu air DS18B20, sensor suhu dan kelembapan DHT11, serta sensor pH yang memantau tingkat keasaman air. Data yang diperoleh didapatkan dari sensor-sensor tersebut kemudian dikirim ke unit pemrosesan utama yang menggunakan mikrokontroller ESP32. Mikrokontroller ini memungkinkan komunikasi dengan database serta menjalankan perhitungan logika *fuzzy* untuk memilih langkah-langkah yang perlu diambil berdasarkan kondisi lingkungan yang terukur. Dari hasil perhitungan tersebut, sistem akan melakukan tindakan otomatis pada proses hasil. Proses hasil meliputi pemantauan kondisi lingkungan secara *real-time* melalui pemantauan via web, pengaturan gerakan kipas untuk menurunkan suhu udara jika diperlukan, dan pengendalian

aliran air pada sistem hidroponik dalam menjaga suhu dan pH air pada kisaran yang ideal. Dengan adanya sistem otomatis ini, syarat rumah kaca mampu dikelola dengan baik tanpa memerlukan pengoperasian manual, sehingga meningkatkan efisiensi tenaga dan mendukung produktivitas pertanian yang lebih baik.

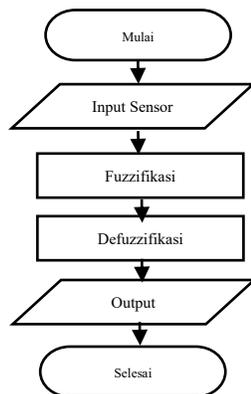


Gambar 2. Alur Penelitian

Gambar 2 menggambarkan metode penelitian yang dilakukan pada penelitian ini. Proses dimulai dengan Perancangan Penelitian, di mana peneliti menetapkan tujuan, merumuskan masalah, serta menentukan metode dan alat yang akan digunakan. Selanjutnya dilakukan Implementasi *Hardware*, yaitu proses perancangan dan perakitan komponen fisik yang dibutuhkan sesuai dengan kebutuhan sistem.

Setelah *hardware* siap, tahap berikutnya adalah Pengembangan Perangkat Lunak, yang mencakup perancangan antarmuka pengguna, pemrograman sistem, serta integrasi dengan perangkat keras yang telah dikembangkan. Prototipe sistem yang telah dibangun kemudian melalui tahapan Pengujian untuk memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai spesifikasi yang telah ditentukan.

Sistem diuji pada sebuah rumah kaca mini berukuran 2 meter x 1 meter x 2 meter (PxLxT) yang dirancang khusus untuk skala eksperimen hidroponik. Data yang diambil mencakup suhu air, suhu lingkungan, kelembapan, dan pH air.



Gambar 3. Algoritma *fuzzy*

Berikut adalah Tabel I *rule base* yang diperoleh dari perhitungan dengan metode *fuzzy*:

TABEL I RULE BASE FUZZY

No	Suhu	Kelembapan	pH	Kondisi Lingkungan
1	Rendah	Kering	Asam	Sangat kering & asam
2	Rendah	Kering	Netral	Sangat kering & stabil
3	Rendah	Kering	Basa	Sangat kering & basa
4	Rendah	Biasa	Asam	Dingin normal & asam
5	Rendah	Biasa	Netral	Dingin normal & stabil
6	Rendah	Biasa	Basa	Dingin normal & basa
7	Rendah	Basah	Asam	Lembap dingin & asam
8	Rendah	Basah	Netral	Lembap dingin & stabil
9	Rendah	Basah	Basa	Lembap dingin & basa
10	Sedang	Kering	Asam	agak kering & asam
11	Sedang	Kering	Netral	agak kering & stabil
12	Sedang	Kering	Basa	agak kering & basa
13	Sedang	Biasa	Asam	normal dan asam
14	Sedang	Biasa	Netral	normal dan stabil
15	Sedang	Biasa	Basa	normal dan basa
16	Sedang	Basah	Asam	Lembap normal & asam
17	Sedang	Basah	Netral	Lembap normal & stabil
18	Sedang	Basah	Basa	Lembap normal & basa
19	Tinggi	Kering	Asam	Panas kering & asam
20	Tinggi	Kering	Netral	Panas kering & stabil
21	Tinggi	Kering	Basa	Panas kering & basa
22	Tinggi	Biasa	Asam	Panas normal & asam
23	Tinggi	Biasa	Netral	Panas normal & stabil
24	Tinggi	Biasa	Basa	Panas normal & basa
25	Tinggi	Basah	Asam	Panas Lembap & asam
26	Tinggi	Basah	Netral	Panas Lembap & stabil
27	Tinggi	Basah	Basa	Panas Lembap & basa

Gambar 3 menunjukkan diagram alur proses dalam sistem logika *fuzzy* yang digunakan dalam pengambilan keputusan berbasis data sensor. Proses dimulai dengan membaca masukan dari sensor, yang berupa data numerik dari lingkungan. Data ini kemudian diproses dalam tahap fuzzifikasi, di mana nilai-nilai numerik tersebut dikonversi menjadi nilai linguistik sesuai dengan himpunan *fuzzy* yang telah ditentukan (misalnya: rendah, sedang, tinggi). Setelah dilakukan inferensi berdasarkan aturan *fuzzy* yang ada, tahap berikutnya adalah defuzzifikasi, yaitu proses mengubah hasil inferensi *fuzzy* kembali menjadi nilai numerik yang dapat digunakan oleh sistem. Nilai numerik ini menjadi keluaran sistem, yang selanjutnya akan digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan atau pengendalian perangkat tertentu. Proses berakhir setelah keluaran dihasilkan dan dieksekusi.

Pada Tabel I dapat dikelompokkan beberapa fungsi yang diperoleh dari penerapan metode *fuzzy*. Kelompok fungsi tersebut diartikan sebagai kondisi lingkungan.

Kemudian untuk menguji sistem otomasi sirkulasi air dan kipas maka dilakukan pengujian sensor sesuai dengan kondisi lingkungan yang telah ditetapkan pada Tabel II. Berikut adalah hasil pengujian sistem otomasi kipas dan sirkulasi air.

TABEL II PENGUJIAN KONDISI LINGKUNGAN

Rules	Kondisi Lingkungan	Kipas	Sirkulasi Air	Durasi Pengujian (menit)
1	Sangat kering & asam	OFF	ON	12
2	Sangat kering & stabil	OFF	OFF	10
3	Sangat kering & basa	OFF	ON	12
4	Dingin normal & asam	OFF	ON	10
5	Dingin normal & stabil	OFF	OFF	10
6	Dingin normal & basa	OFF	ON	11
7	Lembap dingin & asam	OFF	ON	9
8	Lembap dingin & stabil	OFF	OFF	8
9	Lembap dingin & basa	OFF	ON	9
10	Agak kering & asam	OFF	ON	10
11	Agak kering & stabil	OFF	OFF	10
12	Agak kering & basa	OFF	ON	10
13	Normal dan asam	OFF	ON	10
14	Normal dan stabil	OFF	OFF	10
15	Normal dan basa	OFF	ON	10
16	Lembap normal & asam	OFF	ON	9
17	Lembap normal & stabil	OFF	OFF	8
18	Lembap normal & basa	OFF	ON	9
19	Panas kering & asam	ON	ON	15
20	Panas kering & stabil	ON	OFF	14
21	Panas kering & basa	ON	ON	15
22	Panas normal & asam	ON	ON	14
23	Panas normal & stabil	ON	OFF	13
24	Panas normal & basa	ON	ON	14
25	Panas lembap & asam	ON	ON	14
26	Panas lembap & stabil	ON	OFF	12
27	Panas lembap & basa	ON	ON	14

Pada Tabel II memberikan informasi terkait keputusan sistem sirkulasi air dan kipas bekerja sesuai dengan kombinasi kondisi lingkungan (suhu, kelembapan, dan pH). untuk memastikan kestabilan sensor dan sistem otomasi

maka pengujian ini diambil dengan durasi pengujian kisaran 5 sampai 15 menit. Dari sekian banyak kondisi di atas, salah satu kondisi yang dapat menyebabkan sistem sirkulasi air dan kipas akan bekerja bersamaan di tunjukkan pada saat kondisi lingkungan panas, kering dan asam. Pada saat pengujian salah satu data yang tertangkap menunjukkan suhu lingkungan = 38,2 °C, kelembapan = 49%, dan pH = 6,4, sehingga sesuai dengan kondisi pada Tabel II, maka yang sistem otomasi akan bekerja, baik sirkulasi air maupun kipas. Sedangkan pada kasus lain pada saat kondisi dingin, normal dan stabil, data yang tertangkap suhu lingkungan = 30,2 °C, kelembapan = 51%, dan pH = 7, maka sistem otomasi tidak akan bekerja.

Berdasarkan kriteria, suhu diklasifikasikan sebagai tinggi, kelembapan sebagai kering, dan pH sebagai asam. Pada suatu sistem pengukuran lingkungan, suhu menjadi salah satu parameter penting yang dikelompokkan ke dalam tiga kategori utama. Suhu rendah terjadi ketika nilai temperatur berada di bawah 37 °C, sedangkan suhu sedang berada dalam rentang 37 °C hingga 38 °C. Jika suhu melebihi 38 °C, maka dikategorikan sebagai suhu tinggi. Tujuan dari pengelompokan ini adalah untuk memahami kondisi lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan organisme atau keberlangsungan suatu proses pada sistem tertentu.

Selain suhu, kelembapan juga menjadi faktor penting dalam analisis lingkungan. Berdasarkan tingkat kelembapan, kondisi lingkungan dikategorikan menjadi tiga bagian. Jika kelembapan berada di bawah 50%, maka disebut sebagai kondisi kering. Kelembapan yang berada dalam kisaran 50% hingga 55% dikategorikan sebagai kondisi biasa, sementara kelembapan yang melebihi 55% termasuk dalam kategori basah. Pengelompokan ini berperan penting dalam menentukan strategi pengelolaan lingkungan agar tetap optimal.

Faktor lain yang turut berpengaruh adalah tingkat keasaman atau pH. Parameter ini menunjukkan apakah suatu lingkungan bersifat asam, netral, atau basa. Jika nilai pH kurang dari 7, maka kondisi tersebut dikelompokkan sebagai asam. Sebaliknya, jika pH tepat pada angka 7, maka kondisi dianggap netral. Apabila nilai pH lebih besar dari 7, maka lingkungan tersebut bersifat basa. Pemantauan pH sangat penting di berbagai bidang, termasuk pertanian, industri, dan kesehatan, karena dapat memengaruhi berbagai proses biologis dan kimiawi.

Dengan mengombinasikan ketiga parameter ini, kondisi lingkungan dapat diklasifikasikan lebih lanjut. Jika lingkungan memiliki suhu tinggi, kelembapan rendah, dan pH rendah, maka dikategorikan sebagai kondisi panas kering dan asam. Di samping itu, jika suhu rendah dengan kelembapan normal dan pH seimbang, maka kondisi tersebut dianggap dingin normal dan stabil. Lingkungan juga dapat berada dalam keadaan sangat kering dan asam jika kelembapan sangat rendah dengan pH rendah. Di sisi lain, kondisi lembap dingin dan asam terjadi ketika suhu rendah, kelembapan tinggi, dan pH rendah. Sementara itu, lingkungan dengan suhu tinggi, kelembapan rendah, dan pH tinggi diklasifikasikan sebagai panas kering dan basa.

Klasifikasi kondisi lingkungan ini didapat dari hasil kalkulasi dengan menggunakan metode *fuzzy*. Metode *fuzzy*

memungkinkan pengambilan keputusan berdasarkan derajat keanggotaan setiap parameter dalam kategori tertentu. Dalam pendekatan ini, setiap nilai suhu, kelembapan, dan pH tidak hanya dikategorikan secara kaku, tetapi diberikan tingkat keanggotaan dalam lebih dari satu kategori secara bersamaan. Dengan demikian, pendekatan *fuzzy* dapat memberikan hasil yang lebih fleksibel dan sesuai dengan kondisi nyata di lapangan. Selanjutnya hasil tersebut akan dijadikan pengambilan keputusan untuk otomasi sirkulasi air dan pendingin rumah kaca, yang akan akan dibahas lebih lanjut pada bab pembahasan. Pemahaman terhadap kategori suhu, kelembapan, dan pH ini sangat penting untuk mengoptimalkan pengelolaan lingkungan dalam berbagai sektor, termasuk pertanian, industri, dan kesehatan. Dengan pemantauan yang tepat, lingkungan dapat dijaga agar tetap berada dalam kondisi yang optimal untuk mendukung keberlangsungan proses yang diinginkan.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dari perancangan sistem sirkulasi air pada rumah kaca hidroponik adalah sebuah prototipe alat dimana terdapat 3 buah sensor yang telah terhubung pada ESP32, kemudian protipe tersebut dilakukan 10 kali pengujian dan didapatkan beberapa kondisi dimana akan menjadi basis aturan dari sistem sirkulasi air. Pada sistem ini juga dilengkapi dengan sistem pendingin otomatis menggunakan kipas yang sistemnya bekerja sesuai dengan kondisi yang telah dikalkulasi dengan metode *fuzzy*. Untuk penjelasan lebih detail terkait hasil dan pembahasan dijabarkan pada penjelasan dibawah ini:

A. Hasil Implementasi Alat

ESP32 dikemas dalam sebuah kotak yang telah dilengkapi dengan sistem pendingin sehingga diharapkan lebih tahan lama jika digunakan secara kontinu atau terus menerus. Kemudian sensor terhubung dengan kabel elektrik yang juga tahan dengan kondisi di luar ruangan. Kemudian sebelum alat diuji pada rumah kaca, terlebih dahulu diambil data untuk pengkondisian lingkungan agar dapat menerapkan algoritma *fuzzy* yang mana telah disampaikan pada Tabel II.



Gambar 4. Prototipe Alat

Pada Gambar 4 menggambarkan desain prototipe alat untuk mengolah data suhu kelembapan dan keasaman pada objek rumah kaca yang akan dilakukan pengujian sistem.

Pada alat diatas juga dilengkapi dengan serial monitor untuk memantau data yang ditangkap oleh sensor secara *offline*.

Kemudian untuk menguji keberhasilan sistem ini maka dilakukanlah pengujian dengan mengambil 10 sampel data uji yang mencakup parameter suhu, kelembapan, dan pH, serta kategori dan kondisi lingkungan berdasarkan analisis *fuzzy logic*. Berikut adalah deskripsi dari masing-masing kolom:

TABEL III PENGUJIAN DI RUMAH KACA

No	Jam	Suhu Air (°C)	Suhu Lingkungan (°C)	Kelembapan (%)	pH	Durasi Pengujian (menit)
1	07.30	36.4	36.5	48	6.2	10
2	08.30	37.1	37.2	52	7	10
3	09.30	37.7	37.8	56	6.8	12
4	10.30	38.2	38.5	49	6.4	15
5	11.30	36.8	36.9	51	7.1	9
6	12.30	37.3	37.5	55	7.4	10
7	13.30	37.8	37.9	60	6.3	14
8	14.30	38	38.2	47	7.7	15
9	15.30	37.1	37	54	7	10
10	16.30	36.7	36.6	58	6.6	9

Pada Tabel III merupakan data yang didapat oleh sensor yang telah ditanamkan dalam sistem saat dilakukan pengujian yang sebenarnya pada rumah kaca. Pengujian yang diambil dari jam 7 pagi sampai jam 5 sore, dengan rentang pengambilan sampel data setiap satu jam. Durasi pengambilan sampel untuk setiap pengujian dilakukan pada rentang yang sama saat dilakukan pengujian awal untuk pengambilan data kondisi lingkungan berdasarkan tangkapan sensor yang telah diujicobakan sebelumnya, yaitu kisaran 8-15 menit. Hal ini untuk memastikan sistem sensor dapat membaca data dengan stabil dan akurat, sehingga dapat memberi keputusan terkait apa yang harus dilakukan oleh sistem otomasi sirkulasi air dan sistem otomasi kipas. Selain itu dapat memantau perubahan nilai parameter yang berangsur berubah saat sistem otomasi bekerja. Pemantauan perubahan nilai parameter lingkungan tidak akan bisa diamati jika durasi pengujian dilakukan dalam waktu yang terlalu singkat. Selain itu, durasi yang terlalu singkat tidak dapat mengamati apakah sistem otomasi akan bekerja dari kondisi hidup menjadi mati ataupun sebaliknya saat nilai parameter mencapai kondisi yang ideal.

Dalam suatu sistem pemantauan lingkungan, suhu merupakan salah satu faktor utama yang dikategorikan ke dalam tiga tingkatan. Suhu dianggap rendah ketika berada di bawah 37 °C, sedangkan suhu dalam rentang nilai 37 °C hingga 38 °C diklasifikasikan sebagai kondisi suhu sedang. Apabila suhu melebihi atau diatas nilai 38 °C, maka tergolong suhu tinggi. Klasifikasi ini bertujuan untuk

menentukan kondisi lingkungan yang dapat berpengaruh terhadap pengambilan keputusan untuk menghidupkan sistem kipas pendingin secara otomatis dengan tujuan untuk menjaga pertumbuhan tanaman budidaya pada rumah kaca.

Selain suhu, tingkat kelembapan juga menjadi parameter penting dalam analisis lingkungan. Kelembapan diklasifikasikan ke dalam tiga kategori berdasarkan persentasenya. Jika kelembapan berada di bawah 50%, maka disebut kondisi kering. Nilai yang berkisar antara 50% hingga 55% dikategorikan sebagai kondisi biasa, sedangkan kelembapan di atas 55% tergolong dalam kategori basah. Pengelompokan ini membantu dalam strategi pengelolaan lingkungan serta sistem sirkulasi air otomatis agar tetap berada dalam kondisi yang sesuai dengan kebutuhan.

Selain suhu dan kelembapan, pH juga menjadi indikator utama dalam menentukan sifat suatu lingkungan. Nilai pH yang lebih kecil dari 7 menunjukkan bahwa lingkungan tersebut bersifat asam, yang mana kondisi ini cukup baik untuk pertumbuhan tanaman. Jika pH berada tepat di angka 7, maka disebut netral dimana kondisi ini juga masih dikategorikan kondisi yang aman untuk pertumbuhan tanaman, sedangkan saat pH menunjukkan nilai lebih dari 7 mengindikasikan kondisi basa, dan pada kondisi ini air yang mengandung pH basa harus segera diganti atau dinetralkan agar tidak merusak pertumbuhan tanaman. Pemantauan pH sangat diperlukan, dikarenakan sifat keasaman air tidak dapat dilihat dengan kasat mata, sehingga jika suatu waktu sirkulasi air yang mengandung basa dilakukan secara berkelanjutan, maka akan merusak hasil produksi dari budidaya tanaman pada rumah kaca.

Dengan mengkombinasikan ketiga parameter ini, kondisi lingkungan dapat dikategorikan lebih spesifik. Lingkungan dengan suhu tinggi, kelembapan rendah, dan pH rendah diklasifikasikan sebagai kondisi panas kering dan asam. Sebaliknya, jika suhu rendah, kelembapan normal, dan pH netral, maka disebut kondisi dingin normal dan stabil. Lingkungan juga dapat masuk dalam kategori sangat kering dan asam apabila kelembapan sangat rendah dengan pH rendah. Sementara itu, kondisi lembap dingin dan asam terjadi ketika suhu rendah, kelembapan tinggi, dan pH rendah. Jika suhu tinggi, kelembapan rendah, dan pH tinggi, maka kondisi lingkungan tersebut dikategorikan sebagai panas kering dan basa.

Setelah data nilai masukan dari sensor telah didapatkan maka langkah selanjutnya dilakukan klasifikasi kondisi lingkungan dimana diperoleh melalui perhitungan menggunakan metode *fuzzy*. Metode *fuzzy* digunakan untuk mendukung pengambilan keputusan berdasarkan tingkat keanggotaan setiap parameter dalam kategori tertentu. Pendekatan ini memungkinkan satu nilai memiliki keanggotaan dalam beberapa kategori sekaligus, sehingga hasil analisis menjadi lebih fleksibel dan mendekati kondisi nyata. Kemudian hasil tersebut selain dapat disimpan pada database untuk dijadikan riwayat pertumbuhan tanaman mulai dari ditanam sampai dipanen, juga dapat ditampilkan pada sistem pemantauan berbasis web, sehingga saat pemilik budidaya tanaman rumah kaca sedang tidak ada dilokasi rumah kaca, pemantauan kondisi lingkungan tetap dapat dilakukan dari jarak jauh.

TABEL IV HASIL PENGUJIAN SISTEM OTOMASI

No	Kondisi Lingkungan	Kipas	Sirkulasi Air	Keterangan	Hasil Pengujian
1	Sangat kering & asam	OFF	ON	Suhu mendekati tinggi, pH asam → stabilisasi pH	Sesuai
2	Normal & stabil	ON	OFF	Suhu tinggi, pH netral → pendinginan	Sesuai
3	Lembap normal & stabil	ON	OFF	Suhu tinggi, pH mendekati stabil → pendinginan	Sesuai
4	Panas kering & asam	ON	ON	Suhu sangat tinggi, pH asam → pendinginan & stabilisasi pH	Sesuai
5	Dingin normal dan stabil	OFF	OFF	Suhu tinggi, pH stabil → tidak ada aksi aktuator	Sesuai
6	Normal dan stabil	ON	OFF	Suhu tinggi, pH stabil → hanya pendinginan	Sesuai
7	Panas lembap & asam	ON	ON	Suhu tinggi, pH asam → pendinginan & stabilisasi pH	Sesuai
8	Panas kering & basa	ON	ON	Suhu sangat tinggi, pH basa → pendinginan & stabilisasi pH	Sesuai
9	Normal & stabil	ON	OFF	Suhu tinggi, pH netral → hanya pendinginan	Sesuai
10	Lembap dingin & asam	OFF	OFF	Suhu tinggi, pH netral → hanya pendinginan Semua parameter dalam batas aman → sistem standby	Sesuai

Pada Tabel IV menunjukkan hasil pengujian sistem otomasi dari sirkulasi air dan kipas pendingin. Hasil analisis dari data yang diuji menunjukkan bahwa suhu sampel yang diujikan dari pagi hari sampai sore hari terletak pada nilai dari 36,50 °C sampai dengan 38,5 °C, dimana saat pengambilan 10 sampel terdapat cakupan kategori rendah, sedang, dan tinggi. Kelembapan yang diukur oleh sensor berada dalam rentang 48% hingga 58%, dimana tergolong menjadi tiga kategori, yaitu: kering, biasa, dan basah. Sedangkan nilai pH air yang diperoleh dari pengukuran berada pada kisaran nilai antara 6,2 hingga 7,4, menunjukkan bahwa sebagian besar lingkungan bersifat asam dan netral, dengan satu kondisi yang tergolong basa,

dimana pada saat kondisi basa, sirkulasi air dijalankan dengan tujuan untuk menstabilkan pH, karena kondisi pH yang tinggi akan mempengaruhi pertumbuhan dari tanaman, sehingga perlu dilakukan penggantian air terlebih dahulu.

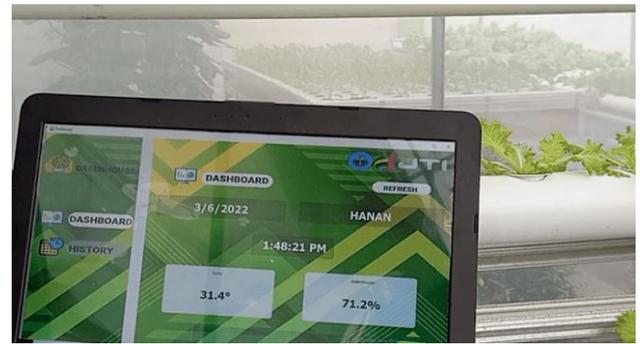
Kombinasi dari parameter-parameter tersebut memungkinkan klasifikasi lingkungan yang lebih akurat dan dapat digunakan untuk memberikan keputusan pada sistem sirkulasi air dan pendingin rumah kaca yang dapat bekerja secara otomatis dengan prinsip *fuzzy logic*. Dengan memahami pola perubahan suhu, kelembapan, dan pH, kondisi lingkungan dapat disesuaikan agar tetap optimal sesuai dengan kebutuhan spesifik di berbagai sektor.

Dalam sistem budidaya tanaman hidroponik di rumah kaca, terdapat dua mekanisme otomatis yang dirancang untuk menjaga stabilitas lingkungan. Sistem sirkulasi air otomatis akan aktif ketika kelembapan turun di bawah 50% dan suhu berada dalam kategori sedang atau tinggi, sehingga kelembapan tetap terjaga dan tanaman mendapatkan pasokan air yang cukup. Sementara itu, sistem kipas pendingin akan bekerja secara otomatis jika suhu melebihi 38 °C dan kelembapan berada dalam kategori biasa atau basah, guna menurunkan suhu serta mencegah tanaman mengalami stres akibat panas berlebih. Dengan adanya sistem otomatis ini, lingkungan dalam rumah kaca dapat dikendalikan secara optimal, mendukung pertumbuhan tanaman secara maksimal.

Dari hasil pengujian dalam durasi sekitar 5 menit setelah sistem otomasi sirkulasi air bekerja maka kelembapan meningkat sebesar 7% serta pH akan turun sekitar 0,5. Sedangkan saat kipas pendingin bekerja suhu akan turun sekitar 1,7 °C setelah berjalan 5 menit. Hal ini dapat dibuktikan pada saat pengujian 4 pada Tabel IV, suhu air yang sebelumnya bernilai 38,2 °C, suhu lingkungan 38,5 °C, kelembapan 49% serta nilai pH 6,4 setelah sistem otomasi bekerja selama 5 menit nilainya berubah yaitu suhu air yang sebelumnya bernilai 36,5 °C, suhu lingkungan 36,8 °C, kelembapan 56% serta nilai pH 5,9 begitu juga dengan pengujian 8 pada Tabel IV, suhu air yang sebelumnya bernilai 38 °C, suhu lingkungan 38,2 °C, kelembapan 47% serta nilai pH 7,7 setelah sistem otomasi bekerja selama 5 menit nilainya berubah yaitu suhu air yang sebelumnya bernilai 36,3 °C, suhu lingkungan 36,5 °C, kelembapan 54% serta nilai pH 7,2.

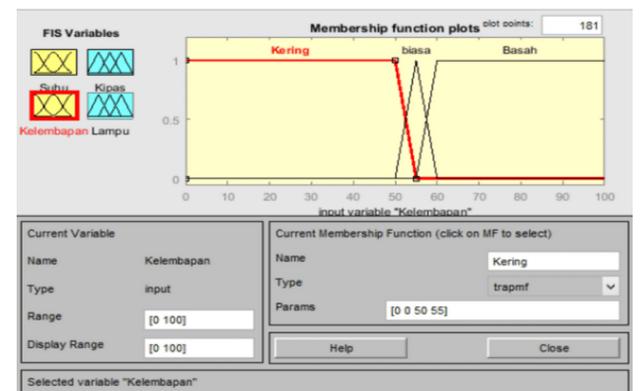
B. Hasil Implementasi Aplikasi

Setelah data dikirimkan oleh ESP32 untuk disimpan pada database, kemudian data tersebut dapat ditampilkan dan di monitor pada sebuah aplikasi berbasis web. Pada halaman *dashboard* aplikasi web tersebut akan tertampil informasi tanggal, jam, kemudia data suhu serta kelembapan sehingga bagi operator lebih mudah untuk melakukan monitor. Kemudian terdapat halaman *history*, akan menampilkan informasi dan rekap data nilai parameter yang akan diambil selama 10 menit untuk setiap jamnya, selain itu ada informasi terkait adanya perubahan kondisi dari sistem otomasi baik sistem otomasi sirkulasi air dan sistem otomasi kipas pendingin dari kondisi menyala menjadi kondisi mati, begitu juga sebaliknya dari kondisi mati menjadi menyala.



Gambar 4. Tampilan Aplikasi

Gambar 4 merupakan tampilan dari aplikasi web yang ditampilkan saat pengujian, dimana pada halaman utama akan didapatkan informasi terkait suhu dan kelembapan yang tertangkap oleh sensor yang terangkai dengan sistem. Kemudian untuk dapat memberikan perintah kepada sistem untuk dapat mengotomatisasi kerja sirkulasi air dan kipas pendingin maka diperlukan pengolahan data dengan metode *fuzzy*, dimana tampilan hasil kalkulasi akan ditampilkan sebagai informasi untuk mengetahui apakah kondisi yang terekam pada saat pengambilan data sesuai dengan aturan yang diuntuk untuk menghidupkan sistem sirkulasi air dan pendingin secara otomatis. Dalam sistem aplikasi berbasis web ini juga dapat memberikan perintah manual saat sistem otomasi terdapat masalah dan tidak dapat bekerja dengan baik.



Gambar 5. Tampilan hasil kalkulasi dengan metode *fuzzy*

Gambar 5 adalah tampilan dari hasil perhitungan dan kalkulasi dengan metode *fuzzy dimana* dari hasil kalkulasi ini, didapatlah *membership function* untuk memberikan kondisi pada sistem agar dapat bekerja secara otomatis untuk mensirkulasikan sitem perairan.

IV. KESIMPULAN

Sistem yang telah dirancang dan diimplementasikan dalam penelitian ini terbukti dapat membantu petani dalam mengotomatisasi proses sirkulasi air otomatis untuk mengairi tanaman hidroponik dan pendingin rumah kaca otomatis untuk menjaga kestabilan suhu pada rumah kaca tersebut. Dengan menggunakan parameter multivariabel sensor, sistem ini mampu mendeteksi perubahan kelembapan dan suhu secara *real-time* serta mengaktifkan sirkulasi air secara otomatis ketika parameter lingkungan

mencapai ambang batas tertentu. Dengan adanya fitur pemantauan berbasis web, pengguna dapat dengan mudah mengakses informasi terkait kondisi tanaman dan sistem penyiraman kapan saja dan di mana saja, sehingga meningkatkan kontrol dan manajemen pertanian berbasis teknologi. Secara keseluruhan, sistem ini memberikan dampak positif dalam meningkatkan produktivitas pertanian hidroponik, mengurangi ketergantungan terhadap pemantauan manual, serta memastikan bahwa tanaman mendapatkan penyiraman yang sesuai dengan kebutuhannya. Implementasi teknologi ini diharapkan dapat menjadi solusi inovatif bagi petani dalam mengoptimalkan hasil panen dan mendukung pertanian berkelanjutan di era digital. Keberhasilan sistem ini tidak hanya terletak pada efektivitas kinerja sensor dan aktuator, tetapi juga pada integrasi menyeluruh antara perangkat keras dan perangkat lunak yang telah dirancang secara modular dan saling terhubung. Data pengujian yang diperoleh secara lengkap dan *real-time* selama rentang waktu pengamatan menunjukkan bahwa sistem mampu memberikan keputusan otomatisasi yang akurat dan sesuai dengan kondisi lingkungan rumah kaca. Untuk penelitian selanjutnya dapat menambahkan model pembelajaran mesin (*machine learning*) untuk memprediksi kebutuhan air berdasarkan pola perubahan suhu, kelembaban, dan pertumbuhan tanaman, dengan cara mengumpulkan data historis tentang suhu, kelembaban, intensitas cahaya, dan kebutuhan air tanaman, melatih model *AI* untuk mengenali pola dan menentukan jadwal penyiraman optimal, dan menggunakan teknik regresi atau jaringan saraf tiruan (*Artificial Neural Networks*) untuk meningkatkan akurasi prediksi.

REFERENSI

- [1] A. Sucipto, D. Nuraji, M. Enrique, L. Ramadany, and J. Vitasari, "Implementasi Sistem Deteksi Otomatis pada Tanaman Cabai Rawit Menggunakan Convolutional Neural Network (CNN) Berbasis TensorFlow untuk Optimasi Pertanian Modern Implementation of an Automatic Detection System for Chili Plants Using a TensorFlow-Based Co," no. November, pp. 262–269, 2024, doi: 10.25047/nacia.v2i1.254.
- [2] Yanti Grace Hutasoit and Yanda Bara Kusuma, "Optimalisasi Pemanfaatan Otomasi Greenhouse Dan Hydroponic Dalam Meningkatkan Produksi Dan Keberhasilan Terhadap Pertanian Budidaya Pakcoy Di PT Inamas Sintesis Teknologi," *J. Kaji. dan Penelit. Umum*, vol. 1, no. 2, pp. 76–86, 2023, doi: 10.47861/jkpu-nalanda.v1i2.285.
- [3] M. S. Farooq, R. Javid, S. Riaz, and Z. Atal, "IoT Based Smart Greenhouse Framework and Control Strategies for Sustainable Agriculture," 2022, *Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.* doi: 10.1109/ACCESS.2022.3204066.
- [4] Michelle et al, "Konsep Pengembangan Pertanian Pangan Modern Berkelanjutan di Kabupaten Sleman," *Linears*, 2023.
- [5] D. Putro, S. Setyohadi, H. Y. Riskiawan, S. Arifin, H. A. Putranto, and T. Rizaldi, "Peningkatan Otonomi dan Keberlanjutan Pemenuhan Pangan pada Pondok Pesantren Melalui Smart Farming Upscaling autonomy and sustainability in the food fulfillment in Islamic boarding schools through smart farming," *Community Serv.*, 2024.
- [6] D. Bitari Mei Yuana, B. Etikasari, R. Ayuninghemi, A. Sucipto, and L. Perdanasari, "OPEN ACCESS Penerapan Sistem Kontrol Suhu Dan Kelembaban Otomatis Pada Kumbung Jamur Di UD Mitra Jamur Jember Implementation Automatic Control System for Temperature and Humidity in Oyster Mushroom House UD Mitra Jamur Jember," 5th National Conference for Community Service (NaCosVi), 2022.
- [7] C. Maraveas and T. Bartzanas, "Application of Internet of Things (IoT) for Optimized Greenhouse Environments," Dec. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/agriengineering3040060.
- [8] K. Bararah and R. Al Aminah, "Strategi Pengembangan Pertanian Berkelanjutan: Optimalisasi Smart Greenhouse Di Kabupaten Mojokerto Melalui Penggunaan Agri-Voltaic," *TheJournalish: Social and Government* vol. 4, no. 5, 2023, doi: 10.55314/tsg.v4i5.621.
- [9] A. Sucipto et al., "OPEN ACCESS Pengembangan Digital Marketing Dan Modifikasi Produk Berbasis Infrared Proximity Reflective Method (IPRM) Menggunakan Olahan Limbah Logam pada UMKM Prasegi ART Digital Marketing Development and Product Modification Based On Infrared Proximity Reflective Method (IPRM) Using Processed metal Waste at Prasegi ART UMKM," 6th National Conference for Community Service (NaCosVi), 2023.
- [10] N. Anggraini, K. Del Vieri, L. K. Wardhani, A. C. Wardhana, and D. Saputra, "Sistem Pintar Penyiram Tanaman Menggunakan Teknologi IoT dan *fuzzy* Inference System dalam Rangka Mewujudkan Green Campus di UIN Syarif Hidayatullah Jakarta," *Build. Informatics, Technol. Sci.*, vol. 4, no. 2, Sep. 2022, doi: 10.47065/bits.v4i2.2227.
- [11] A. Sucipto et al., "Rancang Bangun Sistem Ozonisasi Air Sebagai Upaya Sterilisasi Pertumbuhan Bakteri Pada Buah Apel Berbasis ESP-32," *KONVERGENSI*, vol. 19, no. 2, pp. 69–76.
- [12] M. Hablul Barri and B. Aji Pramudita, "ELECTROPS Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Prototipe Sistem Penyiram Tanaman Otomatis dengan Sensor Soil Moisture Dan Sensor DHT11," *Electrops* Vol. 1, No. 1, 2022.
- [13] N. Bafdal and I. Ardiansah, "Implementasi Otomasi Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Mikrokomputer untuk Pemantauan Iklim Mikro Rumah Kaca Implementation of Internet of Things (IoT)-Based Automation Using Microcomputers for Greenhouse Microclimate Monitoring," *Jurnal Teknologi Informasi, Komputer dan Aplikasinya (JTika)* Vol. 4, No. 2, 2022.
- [14] M. Bagus, R. Huda, and W. D. Kurniawan, "Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor Ds18b20 Berbasis Mikrokontroler Arduino," *JRM. Volume 07 Nomor 02*, 2022.
- [15] S. Ayu Wulandari et al., "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kualitas Air Untuk Mendeteksi Keadaan Tidak Normal atau Penyakit Pada Tambak Ikan Mujaer Menggunakan *fuzzy* Logic Mamdani Berbasis Mobile Design and Development of a Water Quality Monitoring System to Detect Abnormal Conditions or Diseases in Mujaer Fish Ponds Mobile Based Using *fuzzy* Logic Mamdani," vol. 3, no. 1, pp. 42–54, 2024.