pISSN : 0852-0232, eISSN : 2656-582X DOI : 10.14710/gt.v22i4.xxxxx

RANCANG BANGUN SISTEM MANAJEMEN AIR BERBASIS IOT DENGAN KONTROL FUZZY LOGIC PADA HIDROPONIK

Raihan Ananto Putra[1)] Dista Yoel Tadeus[)]
Program Studi D-IV Teknik Listrik Industri, Sekolah Vokasi, Universitas Diponegoro
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus Undip Tembalang, Semarang, Indonesia 50275
E-mail : distayoel@gmail.com

ABSTRACT

This study discusses the design and development of an Internet of Things (IoT)-based water management system using Fuzzy Logic Control for backyard hydroponics. The system is designed to monitor and regulate the main parameters, namely nutrient solution pH, water flow rate, and water temperature, in order to maintain optimal plant growth conditions. A pH sensor, a water flow sensor, and a DS18B20 water temperature sensor are used as system inputs, while the ESP32 acts as the main controller that processes sensor data and executes fuzzy logic rules to determine control actions for the actuators. Water temperature control is implemented using a Peltier module combined with a waterblock as the heat transfer medium, while the BTS7960 driver is used to reverse the current direction through the Peltier module. By reversing the current direction, the hot side and cold side of the Peltier module can be interchanged, allowing the system to operate as both a water cooler and a water heater according to the required conditions. Sensor readings are displayed on the LCD, transmitted to the Blynk platform for real-time remote monitoring, and recorded using Google Form as a data logger. The test results indicate that the system is capable of monitoring water parameters in an integrated manner and providing control responses to changes in water flow rate and temperature according to the defined setpoints. Therefore, this system is expected to serve as a practical, adaptive, and efficient solution for automated backyard hydroponic water management.

Keywords: *Fuzzy Logic, IoT, ESP32, Hydroponics, Water Temperature.*

PENDAHULUAN

Hidroponik menjadi alternatif kuat untuk pertanian perkotaan/pekarangan ketika ketersediaan lahan menurun, sementara kebutuhan pangan terus meningkat. Namun, budidaya hidroponik tidak cukup hanya "mengalirkan nutrisi"; keberhasilan pertumbuhan sangat bergantung pada manajemen larutan (kualitas dan kuantitas air nutrisi) yang harus dipantau dan dikoreksi secara kontinu. Pada studi IoT hidroponik di JNTETI, kebutuhan pemantauan berkelanjutan ditegaskan melalui rancangan sistem yang memantau umur tanaman, suhu/kelembapan, tinggi air reservoir, TDS, dan pH, serta menampilkan data secara real-time melalui aplikasi Android menunjukkan bahwa kendali larutan nutrisi adalah inti beban kerja di hidroponik modern[1].

Implementasi Internet of Things (IoT) pada hidroponik memperluas kemampuan sistem dari sekadar pengukuran lokal menjadi monitoring jarak jauh dan otomatisasi berbasis data sensor. Arsitektur IoT yang menghubungkan sensor–mikrokontroler–aplikasi memungkinkan pengguna pekarangan mengawasi kondisi larutan tanpa selalu hadir di tempat, sekaligus mempercepat pengambilan keputusan saat terjadi deviasi pH, penurunan level air, atau perubahan konsentrasi nutrisi. Selain pada studi JNTETI, penelitian IEEE (ICAMIMIA 2021) juga menunjukkan arah yang sama: penerapan sistem kontrol topik nutrisi hidroponik berbasis umpan balik untuk optimasi pertumbuhan, yang menegaskan kebutuhan pendekatan kendali terstruktur pada parameter larutan (mis. TDS)[1][2].

Di antara parameter larutan, suhu air nutrisi merupakan faktor kritis yang sering berfluktuasi pada hidroponik pekarangan tropis (misalnya atap/teras/greenhouse rumah). Kenaikan suhu larutan dapat memicu stres termal pada zona akar dan menurunkan efisiensi serapan hara, sehingga diperlukan strategi stabilisasi suhu larutan yang ringkas dan hemat energi. Penelitian Sinta 4 (JSTL, 2025) merancang sistem pendingin (chiller) berbasis TEC Peltier untuk hidroponik vertikal dan menunjukkan bahwa sistem tersebut mampu menjaga suhu air nutrisi rata-rata 28,64 °C ketika suhu lingkungan rata-rata mencapai 35,25 °C (ΔT 6,61 °C), sekaligus menekankan bahwa solusi Peltier lebih kompak dan mudah diterapkan pada greenhouse rumah tangga dibanding chiller kompresi uap [3].

Pemakaian TEC Peltier pada kontrol suhu air mensyaratkan desain termal yang baik, karena efektivitas pendinginan sangat bergantung pada kemampuan sistem membuang panas dari sisi panas dan mempertahankan beda temperatur antarsisi. Pada penelitian JITET (Sinta 5, 2024), dijelaskan bahwa waterblock adalah blok aluminium berongga yang memiliki saluran aliran air dan berfungsi sebagai penukar panas antara fluida dan permukaan termoelektrik; bahkan, termoelektrik dapat diposisikan di antara dua waterblock untuk mengurangi "bocor panas" dari sisi panas ke sisi

dingin, sehingga performa pendinginan lebih terjaga. Definisi dan fungsi waterblock ini relevan untuk rancangan kontrol suhu air hidroponik karena waterblock memungkinkan transfer panas lebih stabil melalui sirkulasi air kecil (pompa), cocok untuk sistem pekarangan yang ringkas [4].

Dari sisi aktuasi, modul Peltier membutuhkan arus DC relatif besar sehingga pengaturan daya harus dilakukan secara aman dan terkontrol (mis. melalui PWM). Studi di Journal Electric Field (2025) memperlihatkan penggunaan driver BTS7960 pada sistem berbasis Arduino untuk mengatur arus modul Peltier berdasarkan nilai PWM, menegaskan bahwa BTS7960 dapat dipakai sebagai penguat/driver daya untuk modul termoelektrik pada aplikasi kontrol suhu. Walaupun konteks studinya bukan hidroponik, temuan ini menjadi rujukan teknis terdekat dalam rentang 5 tahun untuk justifikasi pemilihan BTS7960 sebagai pengendali daya Peltier pada sistem manajemen suhu air [5].

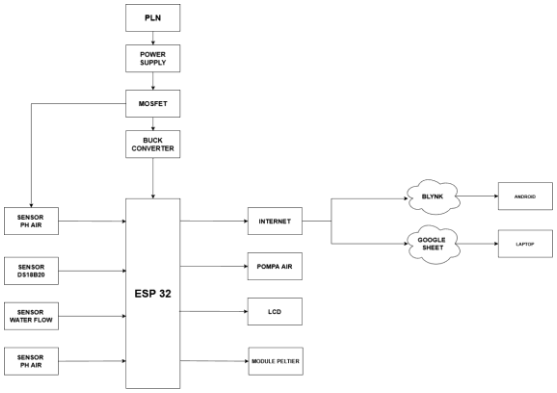
Selain suhu, pH dan konsentrasi nutrisi (EC/TDS) merupakan parameter dominan yang menentukan kemampuan tanaman menyerap unsur hara. Fluktuasi pH maupun EC dapat menurunkan kualitas larutan dan menyebabkan pertumbuhan tidak seragam, sehingga diperlukan kendali yang responsif namun tetap stabil. Penelitian Sinta 4 (Jurnal Teknologi Elektro, 2024) menunjukkan implementasi fuzzy Mamdani + IoT (Blynk) untuk menjaga kestabilan pH dan EC: sensor pH dan TDS digunakan sebagai masukan, solenoid valve mengatur injeksi pH up/down serta nutrisi (AB mix), dan hasil pengujian menunjukkan pH dan EC cenderung mendekati setpoint dengan akurasi yang dilaporkan tinggi [6].

Pada level manajemen air yang lebih luas, “flow” pada hidroponik pekarangan tidak selalu harus dimaknai sebagai debit terukur semata, tetapi sebagai kestabilan suplai larutan yang direpresentasikan oleh durasi pompa/solenoid, level air reservoir, dan sirkulasi pencampuran. Penelitian Sinta 2 (ELKOMIKA, 2021) merancang kendali fuzzy Mamdani berbasis offset kadar nutrisi dan level air, dengan keluaran berupa durasi aktivasi pompa untuk menambah nutrisi dan air (yang secara langsung mengontrol aliran larutan masuk/keluar reservoir) serta dilaporkan mencapai keberhasilan kendali 95,14% (nutrisi) dan 91,64% (level air) terhadap setpoint. Pendekatan durasi aktuasi ini praktis untuk sistem pekarangan karena menghindari kebutuhan sensor laju aliran khusus, tetapi tetap mengatur “flow-dosing” secara fungsional [7].

Berangkat dari kebutuhan manajemen multi-parameter tersebut, tantangan utama hidroponik pekarangan adalah membuat sistem kendali yang robust terhadap variasi kondisi dan mudah diimplementasikan di perangkat IoT low-cost. Studi Sinta 2 (ELTIKOM, 2025) secara eksplisit menyoroti keterbatasan sistem sebelumnya (overshoot tinggi, kurang adaptif) dan menunjukkan bahwa Sugeno FLC yang terintegrasi IoT dapat mengatur level nutrisi dan air secara adaptif berdasarkan data sensor (nutrisi, level air, temperatur) melalui ESP32, menghasilkan performa stabil dengan zero overshoot dan mampu pulih dari gangguan. FLC juga diposisikan unggul karena tidak bergantung pada model matematis presisi dan lebih ringan untuk mikrokontroler. Dengan demikian, celah riset yang menonjol adalah minimnya pelaporan integrasi end-to end untuk kendali suhu air (TEC Peltier + waterblock + driver daya seperti BTS7960) yang digabungkan 2 dengan pemantauan/kendali pH dan manajemen aliran (berbasis durasi aktuasi) dalam satu platform IoT hidroponik pekarangan—sehingga pendekatan berbasis Fuzzy Logic Control menjadi arah yang relevan dan berdasar literatur 5 tahun terakhir[8][7][3][5].

METODE PENELITIAN

Untuk mencapai target penelitian yang diharapkan, tahapan penelitian ini meliputi perancangan dan pembuatan alat, integrasi perangkat lunak, serta pengambilan data melalui pengujian sistem. Pembuatan alat meliputi perancangan dan perakitan perangkat keras berupa ESP32, sensor pH, sensor water flow, sensor suhu air DS18B20, pompa air, modul Peltier, waterblock, driver BTS7960, LCD, dan rangkaian catu daya, serta pembuatan perangkat lunak untuk pembacaan sensor, penerapan fuzzy logic, dan komunikasi IoT. Pengambilan data meliputi pengujian kecepatan aliran air, pengujian suhu air, pengujian pH air, pengujian respon PWM pompa terhadap debit aliran, serta pengujian monitoring data jangka panjang melalui platform pemantauan dan pencatatan data. Dengan tahapan tersebut, penelitian ini diarahkan untuk mengetahui apakah sistem yang dirancang mampu bekerja secara terintegrasi dalam memantau dan mengendalikan parameter utama air pada hidroponik pekarangan. Berikut ini adalah gambar blok diagram keseluruhan dari sistem yang dirancang.



Gambar 1. Diagram Blok Alat

Cara kerja dari alat simulasi ini adalah:

1. Sumber energi sistem berasal dari jaringan PLN yang digunakan sebagai catu daya utama untuk seluruh rangkaian alat.
2. Tegangan dari sumber listrik kemudian masuk ke power supply untuk diubah menjadi tegangan DC yang sesuai dengan kebutuhan sistem.
3. Tegangan DC tersebut selanjutnya diatur kembali oleh buck converter agar level tegangan yang masuk ke bagian kontrol lebih stabil dan aman digunakan oleh rangkaian elektronik.
4. Tegangan keluaran dari rangkaian catu daya kemudian menyuplai ESP32 sebagai pusat pengendali sistem. ESP32 dipilih karena memiliki GPIO, ADC, PWM, serta konektivitas Wi-Fi yang mendukung fungsi monitoring dan kontrol berbasis IoT.
5. Sensor pH air, sensor suhu air DS18B20, dan sensor water flow membaca kondisi aktual air pada sistem hidroponik, yaitu nilai pH larutan, suhu air, dan debit aliran air.
6. Data hasil pembacaan sensor tersebut kemudian dikirimkan ke ESP32 untuk diproses secara berkala sebagai masukan utama sistem.
7. Pada bagian proses, ESP32 mengolah data sensor menggunakan metode fuzzy logic berdasarkan aturan kendali yang telah dirancang sebelumnya, sehingga sistem dapat menentukan respon yang lebih fleksibel dan adaptif terhadap perubahan kondisi air.
8. Hasil pengolahan fuzzy kemudian digunakan untuk menentukan aksi kendali terhadap pompa air, sehingga debit aliran air dapat disesuaikan dengan kondisi sistem yang sedang berlangsung.
9. Selain mengendalikan pompa air, ESP32 juga memberikan sinyal kendali ke modul peltier untuk melakukan proses pendinginan atau penghangatan air, sehingga suhu air dapat dijaga mendekati kondisi yang diinginkan.
10. Data hasil pembacaan sensor dan status kerja sistem juga ditampilkan pada LCD sebagai media monitoring lokal, sehingga pengguna dapat melihat kondisi alat secara langsung pada panel sistem.
11. Secara bersamaan, ESP32 mengirimkan data hasil pembacaan sensor dan status aktuator ke internet untuk keperluan monitoring jarak jauh dan pencatatan data.
12. Data yang telah dikirim melalui internet kemudian diteruskan ke platform monitoring dan penyimpanan data, sehingga pengguna dapat memantau kondisi sistem melalui perangkat seperti smartphone dan laptop. Pada dashboard monitoring, data ditampilkan melalui datastream agar nilai sensor dan status aktuator dapat diperbarui secara real-time.

HASIL PENGUJIAN

1. Pengujian Kecepatan Air

Pengujian sensor water flow dilakukan untuk mengetahui kesesuaian pembacaan debit air terhadap debit aktual. Pengujian dilakukan dengan cara mengalirkan air melalui sensor selama interval waktu tertentu, kemudian volume air yang tertampung diukur secara manual menggunakan gelas ukur atau wadah ukur. Debit aktual dihitung dari volume air dibagi waktu, lalu dibandingkan dengan nilai debit yang dihitung sistem.

Tabel 1. Hasil Pengujian Kecepatan Air

No	Volume Aktual (L)	Waktu (Detik)	Debit Aktual (L/Menit)	Debit Sensor (L/Menit)	Selisih	Error (%)
1	0,50	30	1,00	1,00	0,00	0,00
2	0,50	30	1,00	0,99	0,01	1,00
3	0,25	15	1,00	1,00	0,00	0,00
4	0,25	15	1,00	1,01	0,01	1,00

Sensor YF-S201 bekerja dengan menghasilkan pulsa yang frekuensinya sebanding dengan debit aliran. Hubungan yang umum digunakan adalah f = 7,5Q, sehingga Q dapat dihitung dari frekuensi pulsa yang dibaca mikrokontroler. Pada datasheet, akurasi tipikal sensor ini sekitar ±10%, sehingga jika error hasil pengujian masih berada di sekitar kisaran tersebut atau dapat diperkecil melalui faktor kalibrasi, sensor dapat dinyatakan layak digunakan untuk sistem.

2. Pengujian Suhu Air

Pengujian sensor suhu air dilakukan untuk mengetahui kemampuan DS18B20 dalam membaca suhu aktual air pada tandon hidroponik. Pengujian dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor DS18B20 dengan alat ukur acuan, misalnya termometer digital, pada beberapa kondisi suhu.

Tabel 2. Pengujian Suhu Air

NO	Suhu Acuan	Suhu Sensor	Selisih	Error
1	24,0 °C	24,0 °C	0,0 °C	0,00%
2	32,0 °C	32,2 °C	0,2 °C	0,63%
3	38,0 °C	38,3 °C	0,3 °C	0,79%

Berdasarkan hasil pengujian, sensor DS18B20 dapat dianalisis dari nilai selisih dan error rata-rata. Apabila selisih pengukuran kecil dan masih berada pada rentang yang dapat diterima, maka sensor dinilai layak digunakan sebagai pembaca suhu air pada sistem. Mengingat spesifikasi DS18B20 memang menyatakan akurasi ±0,5 °C pada rentang kerja umum, maka hasil pengujian yang mendekati nilai tersebut menunjukkan bahwa sensor bekerja sesuai karakteristik dasarnya.

3. Pengujian Ph Air

Pengujian sensor pH dilakukan untuk mengetahui kemampuan sensor dalam membaca tingkat keasaman larutan nutrisi. Pengujian dilakukan dengan menggunakan larutan buffer atau larutan acuan, misalnya pH 4, pH 6,86, dan pH 9 atau pH 10. Sensor pH dicelupkan ke larutan acuan, kemudian nilai yang terbaca pada sistem dicatat setelah pembacaan stabil.

Tabel 3. Tabel Pengujian Ph Air

No	Ph Acuan	Ph Terbaca	Selisih	Error
1	4.00	4,02	0,02	0,50%
2	6.86	6,85	0,01	0,15%
3	9.18	9,20	0,02	0,22%

Dari hasil tersebut dapat dianalisis tingkat ketelitian sensor pH setelah proses kalibrasi. Jika nilai pembacaan mendekati larutan acuan dan error relatif kecil, maka sensor dapat digunakan untuk monitoring kualitas air hidroponik. Sensor pH analog yang banyak dipakai pada sistem berbasis ESP32 umumnya memiliki akurasi sekitar ±0,1 pH pada 25 °C, sehingga hasil pengujian sebaiknya dibandingkan terhadap nilai tersebut. Jika terjadi deviasi yang cukup besar, maka faktor penyebabnya dapat berasal dari kalibrasi yang belum tepat, gangguan noise pada catu daya, jalur ground, atau kondisi elektroda sensor.

4. Pengujian Respon PWM Pompa terhadap Debit Aliran

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh perubahan nilai PWM pompa terhadap debit air yang dihasilkan. Nilai PWM diubah secara bertahap, misalnya dari 20%, 40%, 60%, 80%, hingga 100%, kemudian debit aliran yang terbaca oleh sensor flow dicatat. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik respon aktuator dan memastikan bahwa pompa dapat digunakan sebagai variabel kendali pada sistem.

Tabel 4. Tabel Pengujian Respon PWM

No	PWM Pompa (%)	Debit Aliran
1	25	0,53 L/menit
2	50	1,05 L/menit
3	75	1,58 L/menit
4	100	2,10 L/menit

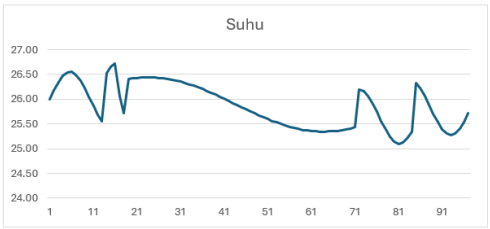
Berdasarkan tabel tersebut dapat dianalisis apakah kenaikan PWM menghasilkan kenaikan debit yang cenderung linier atau tidak. Jika debit meningkat seiring kenaikan PWM, maka pompa dapat digunakan sebagai aktuator yang efektif dalam pengaturan aliran air. Jika respon tidak linier, maka hal tersebut perlu dipertimbangkan dalam penyetelan parameter kontrol agar sistem tetap stabil.

5. Pengujian Respon PWM Pompa terhadap Debit Aliran

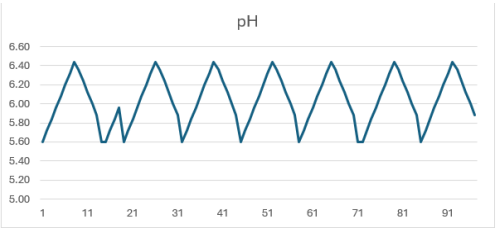
Pengujian monitoring data jangka panjang dilakukan untuk mengetahui kemampuan sistem dalam mengirim, menampilkan, dan memperbarui data sensor secara terus-menerus selama alat beroperasi. Pengujian ini difokuskan pada kestabilan komunikasi antara ESP32 dan dashboard monitoring IoT, sehingga dapat diamati apakah data pH, debit aliran air, suhu air, serta status aktuator tetap muncul secara real-time tanpa keterlambatan pembaruan atau kehilangan data yang berarti. Pada dashboard, data ditampilkan dalam bentuk widget nilai dan grafik historis, sehingga perubahan parameter sistem selama periode pengujian dapat diamati dengan lebih jelas.

Melalui pengujian ini, performa sistem monitoring dapat dievaluasi dari beberapa aspek, seperti keberhasilan pengiriman data secara periodik, kestabilan tampilan nilai sensor, kontinuitas grafik pemantauan, dan kemampuan sistem mempertahankan koneksi

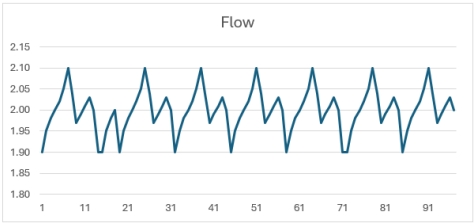
selama alat dijalankan dalam waktu yang lebih lama. Pengujian jangka panjang juga penting untuk melihat apakah proses pemantauan tetap berjalan dengan baik ketika perangkat bekerja secara berkelanjutan, sehingga keandalan sistem tidak hanya dinilai dari sisi pembacaan sensor dan pengendalian aktuator, tetapi juga dari sisi komunikasi data dan tampilan.



Grafik 1. Grafik Pengujian Monitoring Suhu Data Jangka Panjang Monitoring Jarak Jauh



Grafik 2. Grafik Pengujian Monitoring pH Data Jangka Panjang



Grafik 3. Grafik Pengujian Monitoring Flow Data Jangka Panjang

Pengujian Berdasarkan grafik hasil pemantauan, sistem mampu menampilkan perubahan parameter air secara berkelanjutan dan menunjukkan bahwa respon pengukuran masih berada pada rentang yang cukup stabil. Pada Gambar 5.1 Grafik Pengujian Monitoring Suhu Data Jangka Panjang, nilai terpantau berada pada kisaran sekitar 25,1 °C sampai 26,7 °C. Pola ini menunjukkan bahwa suhu air masih dapat dipertahankan pada rentang yang relatif sempit meskipun terdapat beberapa kenaikan sesaat. Setelah terjadi kenaikan, kurva suhu kembali menurun dan cenderung stabil, sehingga dapat dikatakan bahwa sistem pengondisian suhu sudah mampu merespon perubahan temperatur air dengan cukup baik.

Pada Gambar 5.2 Grafik Pengujian Monitoring pH Data Jangka Panjang, nilai terbaca berfluktuasi di kisaran sekitar 5,6 sampai 6,43. Rentang tersebut masih tergolong mendekati kisaran pH yang umum direkomendasikan untuk hidroponik, yaitu kondisi agak asam sekitar 5,5 sampai 6,5, sehingga ketersediaan unsur hara bagi tanaman masih dapat dikatakan sesuai untuk pertumbuhan. Fluktuasi yang muncul juga masih menunjukkan pola yang berulang dan tidak keluar jauh dari batas kerja yang diharapkan, sehingga sistem monitoring pH dapat dinilai cukup baik dalam membaca perubahan kondisi larutan nutrisi.

Pada Gambar 5.3 Grafik Pengujian Flow Data Jangka Panjang, nilai flow berada pada kisaran sekitar 1,9 sampai 2,1 L/menit. Hasil ini menunjukkan bahwa debit aliran air relatif stabil di sekitar nilai kerja 2,0 L/menit, meskipun masih terdapat sedikit osilasi. Fluktuasi kecil tersebut masih dapat dianggap wajar karena dipengaruhi oleh karakteristik pompa, pembacaan sensor, dan dinamika aliran di dalam pipa. Dengan demikian, sistem masih mampu mempertahankan sirkulasi air mendekati debit yang diinginkan.

Secara keseluruhan, hasil pemantauan jangka panjang menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja secara konsisten dalam memantau tiga parameter utama, yaitu suhu air, pH larutan, dan debit aliran. Nilai pH masih berada pada rentang yang mendukung hidroponik, debit air tetap mendekati setpoint, dan suhu air tidak menunjukkan penyimpangan yang terlalu besar. Berdasarkan hasil tersebut, dapat dinyatakan bahwa sistem monitoring yang dirancang telah mampu mengikuti perubahan kondisi air secara kontinu dan memberikan data yang cukup baik untuk digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja alat.

KESIMPULAN

Pembuatan prototipe merupakan fase yang memvalidasi rancangan menjadi wujud nyata agar dapat diuji fungsi, kinerja, dan aspek keandalannya.

1. Sistem manajemen air hidroponik berbasis Internet of Things (IoT) dengan kontrol fuzzy logic berhasil dirancang dan direalisasikan dalam bentuk prototipe dengan menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, sensor pH, sensor water flow, sensor suhu air DS18B20, pompa air,

modul Peltier, waterblock, dan driver BTS7960. Sistem ini dirancang untuk memantau dan mengatur parameter utama berupa pH larutan nutrisi, debit aliran air, dan suhu air pada hidroponik pekarangan.

2. Sistem yang dibuat mampu melakukan pemantauan parameter air secara terintegrasi, baik secara lokal maupun jarak jauh. Data hasil pembacaan sensor dapat ditampilkan pada LCD 20×4, dikirim ke platform Blynk untuk monitoring real-time, serta direkam menggunakan Google Form atau Google Sheet sebagai media data logger. Hal ini menunjukkan bahwa fungsi monitoring dan pencatatan data telah berjalan sesuai dengan tujuan perancangan.
3. Metode fuzzy logic yang diterapkan pada sistem mampu digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan kendali terhadap aktuator. Nilai debit aliran air dan suhu air diproses sebagai masukan sistem fuzzy untuk menghasilkan keluaran berupa PWM pompa dan PWM modul Peltier, sehingga sistem dapat memberikan respon kendali terhadap perubahan kondisi air sesuai dengan setpoint yang telah ditentukan.
4. Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh bagian utama sistem, mulai dari sensor, aktuator, tampilan LCD, hingga komunikasi data melalui Blynk, dapat bekerja secara terintegrasi dalam satu sistem. Pengujian unit, pengujian integrasi, dan pengujian reliabilitas menjadi dasar bahwa alat yang dibuat telah mampu menjalankan fungsi pemantauan dan pengendalian secara otomatis pada prototipe hidroponik pekarangan
5. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dirancang dapat menjadi solusi awal yang praktis, adaptif, dan cukup efisien untuk membantu pengelolaan air pada hidroponik pekarangan. Selain itu, hasil penelitian ini juga dapat dijadikan acuan untuk pengembangan lebih lanjut pada sistem otomasi hidroponik berbasis IoT dengan kontrol cerdas.

SARAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan sistem selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan parameter kualitas air lainnya, seperti EC/TDS, ketinggian air, dan oksigen terlarut, sehingga manajemen larutan nutrisi dapat dilakukan dengan lebih lengkap dan akurat. Pembatasan penelitian saat ini memang hanya difokuskan pada pH, debit aliran air, dan suhu air.
2. Sistem proteksi dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur keselamatan, seperti proteksi pompa saat air habis, watchdog system, alarm kegagalan sensor, serta proteksi suhu berlebih pada modul Peltier dan driver BTS7960. Pengembangan ini diperlukan agar alat lebih aman digunakan secara terus-menerus.
3. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan performa metode fuzzy logic dengan metode kendali lain, seperti PID, ANFIS, atau metode optimasi lainnya, sehingga dapat diketahui metode yang paling sesuai untuk karakteristik sistem hidroponik yang digunakan. Pada penelitian ini, pembahasan memang dibatasi hanya pada penerapan fuzzy logic
4. Penelitian selanjutnya dapat membandingkan performa metode fuzzy logic dengan metode kendali lain, seperti PID, ANFIS, atau metode optimasi lainnya, sehingga dapat diketahui metode yang paling sesuai untuk karakteristik sistem hidroponik yang digunakan. Pada penelitian ini, pembahasan memang dibatasi hanya pada penerapan fuzzy logic.
5. Pengujian sistem sebaiknya dilakukan dalam durasi yang lebih panjang dan pada kondisi budidaya nyata dengan tanaman hidroponik, sehingga dapat diketahui pengaruh sistem terhadap kestabilan pertumbuhan tanaman, efisiensi penggunaan air, dan keandalan alat dalam penggunaan jangka panjang. Pengujian pada penelitian ini masih dibatasi pada skala prototipe hidroponik pekarangan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] I. Khairani and K. Prawiroredjo, “Rancang Bangun Sistem Hidroponik Otomatis Berbasis Internet of Things,” *J. Nas. Tek. Elektro dan Teknol. Inf.*, vol. 14, pp. 1–8, 2025, doi: 10.22146/jnteti.v14i1.13032.

[2] S. F. M. S. N. P. M. F. F. M. Kartika, “Design and Implementation of Nutrition Control System for Optimization of Hydroponic Plant Growth,” *Int. Conf. Adv. Mechatronics, Intell. Manuf. Ind. Autom.*, pp. 52–57, 2022, doi: 10.1109/ICAMIMIA54022.2021.9807772.

[3] O. Saputra *et al.*, “Rancang Bangun Sistem Pendingin Air Nutrisi Berbasis Peltier untuk Optimasi Pertumbuhan Tanaman Hidroponik Design and Development of a Peltier-Based Nutrient Water Cooling System for Optimizing Hydroponic Plant Growth,” *J. Sains Teknol. Lingkung.*, vol. 11, pp. 259–268, 2025, doi: https://doi.org/10.29303/jstl.v11i2.856.

[4] A. T. Heru Kuswanto, “RANCANG BANGUN SISTEM THERMOELECTRIC COOLER MENJADI PENDINGIN RUANGAN DENGAN DAMPAK TERHADAP PENGGUNAAN ENERGI,” *JITET (Jurnal Inform. dan Tek. Elektro Ter.*, vol. 12, no. 3, 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4686.

[5] M. Abhiyaksa, A. Mulyadi, and W. W. Sakti, “Sistem Kontrol Suhu Pada Destilator Untuk Mengukur Kadar Air Limbah Pabrik Udang Berbasis Arduino,” *J. Electr. F.*, vol. 2, no. 2, pp. 66–79, 2025, doi: 10.63440/jef.v2i2.119.

[6] A. M. Ridwan, A. S. Milah, L. Kamelia, and M. R. Renaldi, “Sistem Kendali Fuzzy Logic untuk Kestabilan pH dan EC Nutrisi Pada Hidroponik,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 15, no. 03, pp. 152–159, 2024, doi: 10.22441/jte.2024.v15i3.002.

[7] S. B. B. FITRIA SURYATINI, SUHARYADI PANCONO and P. M. S. MULJONO, “Sistem Kendali Nutrisi Hidroponik berbasis Fuzzy Logic berdasarkan Objek Tanam,” *ELKOMIKA J. Tek. Energi Elektr. Tek. Telekomun. Tek. Elektron.*, vol. 9, no. 2, pp. 263–278, 2021, doi: http://dx.doi.org/10.26760/elkomika.v9i2.263.

[8] W. M. U. Muhammad Alimussadad, Dyah Lestari, “SMART HYDROPONIC NUTRIENT MONITORING AND CONTROL SYSTEM USING FUZZY LOGIC AND IOT,” *J. ELTIKOM J. Tek. Elektro, Teknol. Inf. dan Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 115–129, 2025, doi: http://doi.org/10.31961/eltikom.v9i2.1494.