

RANCANG BANGUN SISTEM MONITORING FERMENTASI PUPUK ORGANIK BERBASIS IOT DENGAN ALGORITMA THRESHOLD LOGIC

Ilham, Muh Fahmi Rustan, Musawwir

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Barat, Sulawesi Barat
Jl. Prof. Dr. Baharuddin Lopa, SH, Talumung, Banggae Timur, Kabupaten Majene, Sulawesi Barat 91412
syra397939@gmail.com

ABSTRAK

Proses fermentasi pupuk organik merupakan tahapan penting dalam menghasilkan pupuk berkualitas, yang memerlukan pemantauan kondisi secara terkontrol. Namun, pengawasan manual sering mengalami kendala berupa keterbatasan waktu dan ketidakkonsistenan pengamatan, sehingga berpotensi menurunkan kualitas hasil fermentasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring fermentasi pupuk organik berbasis Internet of Things (IoT) guna meningkatkan efisiensi dan akurasi pemantauan. Metode yang digunakan adalah Threshold Logic Berbasis Interval sebagai dasar pengambilan keputusan otomatis berdasarkan nilai ambang sensor. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor water level untuk mendeteksi volume pupuk, sensor gas untuk mengidentifikasi kondisi fermentasi, serta modul RTC untuk pengaturan waktu penambahan bahan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengklasifikasikan kondisi fermentasi ke dalam kategori belum penuh, setengah, dan penuh secara akurat, melakukan penambahan gula merah secara otomatis sesuai aturan yang ditentukan, serta mengirimkan notifikasi secara real-time melalui Telegram. Sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi, konsistensi, dan kemudahan dalam proses monitoring fermentasi pupuk organik.

Kata kunci : *IoT, Sensor Water Level, RTC, MQ-135,Telegram,Fermentasi Pupuk Organik.*

1. PENDAHULUAN

Pupuk organik merupakan salah satu komponen penting dalam meningkatkan kesuburan tanah dan produktivitas pertanian secara berkelanjutan. Proses fermentasi pupuk organik memerlukan pengendalian kondisi tertentu agar mikroorganisme dapat bekerja secara optimal dalam menguraikan bahan organik. Jika proses fermentasi tidak terkontrol dengan baik, kualitas pupuk yang dihasilkan dapat menurun dan berpengaruh terhadap hasil tanaman. Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring yang mampu membantu pengawasan proses fermentasi secara lebih efektif dan terukur.

Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan berbagai perangkat terhubung melalui jaringan internet untuk melakukan pemantauan dan pengendalian secara jarak jauh. IoT telah banyak diterapkan dalam bidang pertanian cerdas (smart agriculture) untuk meningkatkan efisiensi dan akurasi pengelolaan sistem pertanian [1].

Dengan memanfaatkan teknologi IoT, proses fermentasi pupuk organik dapat dipantau secara real-time tanpa harus melakukan pengecekan manual secara terus-menerus.

Penggunaan mikrokontroler seperti ESP32 dalam sistem IoT memberikan kemudahan dalam integrasi sensor dan komunikasi data melalui jaringan internet. ESP32 memiliki modul Wi-Fi terintegrasi yang mendukung implementasi sistem monitoring berbasis web maupun aplikasi pesan instan [13].

Dalam penelitian ini, ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali yang menerima dan memproses data dari beberapa sensor yang terpasang pada prototipe fermentasi.

Parameter yang digunakan dalam penelitian ini meliputi sensor water level untuk mendeteksi ketinggian cairan pupuk sebagai indikator utama status fermentasi, sensor gas untuk mendeteksi aroma fermentasi gula merah, serta sensor waktu (RTC) untuk mengatur proses otomatisasi berbasis jadwal. Sensor gas seperti MQ-135 banyak digunakan untuk mendeteksi perubahan konsentrasi gas hasil fermentasi [14]. Kombinasi sensor tersebut diharapkan mampu memberikan gambaran kondisi fermentasi secara lebih komprehensif.

Dalam proses pengambilan keputusan, penelitian ini menerapkan metode Threshold Logic Berbasis Interval. Metode threshold merupakan pendekatan sederhana yang menggunakan nilai ambang tertentu untuk mengklasifikasikan kondisi sistem [15].

Dengan menentukan interval nilai tertentu, sistem dapat mengelompokkan status fermentasi menjadi pupuk belum penuh, setengah, dan penuh atau siap panen. Pendekatan ini dipilih karena lebih sederhana, mudah diimplementasikan, dan sesuai untuk sistem berbasis sensor dengan parameter terukur.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring fermentasi pupuk organik berbasis IoT dengan algoritma Threshold Logic. Sistem ini juga dilengkapi fitur penambahan gula merah otomatis yang dikendalikan berdasarkan kondisi sensor gas dan waktu tertentu, serta notifikasi Telegram sebagai media monitoring jarak jauh. Diharapkan sistem yang dikembangkan dapat meningkatkan efisiensi, akurasi, dan kemudahan dalam pengawasan proses fermentasi pupuk organik.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sensor Gas MQ-135

Sensor gas MQ-135 merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas seperti amonia (NH_3), nitrogen oksida (NO_x), alkohol, benzena, asap, dan gas karbon dioksida (CO_2) dalam konsentrasi tertentu. [14].



Gambar 1. Sensor Gas MQ-135

2.2. Sensor RTC DS3231

RTC (Real Time Clock) DS3231 merupakan modul penunjuk waktu yang berfungsi untuk menyimpan dan menjaga informasi waktu secara akurat, meliputi detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun. Modul ini dilengkapi dengan crystal oscillator terkompensasi suhu (Temperature Compensated Crystal Oscillator/TCXO) sehingga memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi dibandingkan RTC tipe lain seperti DS1307. Selain itu, DS3231 memiliki baterai cadangan (backup battery) yang memungkinkan data waktu tetap tersimpan meskipun sumber daya utama dimatikan [17].



Gambar 2. Sensor RCT DS3231

2.3. Sensor Water Level

Sensor water level merupakan sensor yang digunakan untuk mendeteksi ketinggian atau volume cairan dalam suatu wadah. Sensor ini bekerja dengan prinsip perubahan resistansi atau konduktivitas ketika bagian elektroda sensor bersentuhan dengan cairan. Perubahan nilai tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal analog atau digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler untuk menentukan level cairan tertentu [18].



Gambar 3. Sensor Water Level

2.4. Mikrokontroler ESP32

ESP32 merupakan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT) karena telah dilengkapi dengan modul Wi-Fi dan Bluetooth dalam satu chip. Kemampuan tersebut memungkinkan ESP32 melakukan proses pengolahan data sekaligus komunikasi jaringan tanpa memerlukan modul tambahan. Selain itu, ESP32 memiliki performa yang cukup tinggi dengan dukungan prosesor dual-core dan berbagai pin input/output yang mendukung koneksi ke sensor maupun aktuator [2].



Gambar 4. Mikrokontroler ESP32

2.5. Relay

Relay merupakan komponen elektromekanik yang berfungsi sebagai saklar (switch) otomatis untuk mengendalikan beban listrik bertegangan lebih tinggi menggunakan sinyal tegangan rendah dari mikrokontroler. Relay bekerja berdasarkan prinsip induksi elektromagnetik, di mana arus listrik yang mengalir pada kumparan (coil) akan menghasilkan medan magnet yang menarik kontak saklar sehingga terjadi perubahan kondisi dari Normally Open (NO) menjadi Normally Closed (NC) atau sebaliknya [19].



Gambar 5. Relay

2.6. Pompa DC

Pompa DC atau pompa air mini merupakan aktuator yang digunakan untuk memindahkan atau mengalirkan cairan dengan memanfaatkan energi listrik arus searah (Direct Current). Pompa ini bekerja dengan prinsip motor listrik yang menggerakkan impeller di dalam rumah pompa sehingga menghasilkan tekanan dan aliran cairan dari satu titik ke titik lainnya. Pompa DC banyak digunakan dalam sistem otomatisasi skala kecil karena ukurannya yang ringkas, konsumsi daya rendah, dan mudah dikendalikan menggunakan mikrokontroler melalui modul relay atau driver transistor [19].



Gambar 6. Pompa DC

2.7. Threshold Logic Interval

Threshold Logic merupakan metode pengambilan keputusan yang menggunakan nilai ambang (threshold) tertentu sebagai batas untuk menentukan kondisi atau klasifikasi suatu sistem. Pada metode ini, nilai input yang diperoleh dari sensor dibandingkan dengan batas ambang yang telah ditentukan sebelumnya. Jika nilai tersebut melewati atau berada dalam rentang tertentu, maka sistem akan menghasilkan keputusan sesuai aturan yang telah dirancang [15].

2.8. Telegram

Telegram merupakan aplikasi pesan instan berbasis cloud yang memungkinkan pengiriman pesan teks, gambar, dokumen, maupun notifikasi secara real-time melalui jaringan internet. Selain digunakan sebagai media komunikasi, Telegram menyediakan fitur Telegram Bot API yang memungkinkan integrasi dengan sistem otomatis berbasis perangkat lunak maupun perangkat keras, termasuk sistem Internet of Things (IoT) [7].

2.9. Internet of Things pada Sistem Monitoring

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan perangkat fisik seperti sensor dan aktuator ke jaringan internet sehingga dapat saling bertukar data secara otomatis. Melalui IoT, data yang diperoleh dari sensor dapat dikirimkan secara real-time ke pengguna untuk keperluan monitoring dan pengendalian jarak jauh [1].

Pada sistem monitoring, IoT berfungsi sebagai penghubung antara sensor, mikrokontroler, dan media komunikasi. Data yang dibaca sensor diproses oleh mikrokontroler, kemudian dikirim melalui jaringan internet ke platform monitoring seperti aplikasi atau layanan notifikasi [2].

Dalam penelitian ini, IoT digunakan untuk memantau proses fermentasi pupuk organik menggunakan sensor gas, sensor water level, dan modul RTC. Data yang telah diproses menggunakan metode Threshold Logic Berbasis Interval dikirimkan melalui ESP32 ke Telegram sehingga pengguna dapat memantau kondisi fermentasi secara real-time.

2.10. Monitoring Fermentasi Berbasis Sensor

Monitoring fermentasi berbasis sensor merupakan metode pemantauan proses fermentasi

dengan memanfaatkan perangkat sensor untuk mendeteksi parameter tertentu secara otomatis dan real-time. Parameter yang umum dipantau dalam proses fermentasi meliputi suhu, kelembaban, gas hasil fermentasi, serta volume atau ketinggian bahan fermentasi. Penggunaan sensor memungkinkan proses pengawasan dilakukan secara lebih akurat dibandingkan metode manual [1].

Dalam sistem berbasis Internet of Things (IoT), data dari sensor dikirimkan ke mikrokontroler untuk diproses dan diteruskan ke platform monitoring melalui jaringan internet. Pendekatan ini meningkatkan efisiensi pemantauan karena pengguna dapat mengetahui kondisi fermentasi tanpa harus melakukan pengecekan langsung di lokasi [2].

Pada penelitian ini, monitoring fermentasi dilakukan menggunakan sensor gas MQ-135 untuk mendeteksi aktivitas fermentasi gula merah, sensor water level untuk menentukan status volume pupuk (belum penuh, setengah, dan penuh), serta modul RTC untuk pengaturan waktu sistem. Data sensor diproses menggunakan metode Threshold Logic Berbasis Interval untuk menghasilkan keputusan otomatis dalam sistem fermentasi pupuk organik.

2.11. Kajian Penelitian Terdahulu

Penelitian oleh Pratama dan Siregar [21] mengembangkan sistem monitoring fermentasi kompos berbasis Internet of Things menggunakan sensor suhu dan kelembaban. Sistem tersebut mampu mengirimkan data secara real-time melalui platform web monitoring. Namun, penelitian tersebut belum mengintegrasikan sensor gas untuk mendeteksi aktivitas fermentasi secara kimiawi serta belum menerapkan metode pengambilan keputusan berbasis threshold interval.

Selanjutnya, penelitian oleh Wijaya et al. [14] merancang sistem pendeteksi kualitas udara menggunakan sensor MQ-135 berbasis ESP32. Sistem ini berhasil membaca konsentrasi gas amonia dan karbon dioksida serta menampilkan data melalui aplikasi mobile. Meskipun demikian, penelitian tersebut hanya berfokus pada monitoring kualitas udara dan belum diterapkan pada sistem kontrol otomatis proses fermentasi.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Ramadhan dan Putri [21] mengimplementasikan water level sensor pada sistem monitoring tangki cairan berbasis mikrokontroler. Sistem ini mampu mendeteksi kondisi kosong, setengah, dan penuh menggunakan metode ambang batas (threshold). Akan tetapi, penelitian tersebut belum menggabungkan parameter lain seperti sensor gas dan waktu terjadwal dalam satu sistem terpadu.

Selain itu, penelitian oleh Gunawan et al. [22] mengembangkan sistem notifikasi berbasis Telegram untuk monitoring perangkat IoT. Sistem ini mampu mengirimkan pesan otomatis ketika terjadi perubahan kondisi sensor. Namun, penelitian tersebut belum mengintegrasikan mekanisme logika berbasis interval

untuk pengambilan keputusan otomatis yang lebih terstruktur.

Berdasarkan beberapa penelitian terdahulu tersebut, dapat disimpulkan bahwa sebagian besar penelitian hanya berfokus pada satu parameter sensor atau satu fungsi monitoring saja. Penelitian ini mengembangkan sistem yang lebih terintegrasi dengan menggabungkan sensor gas, sensor water level, dan modul RTC menggunakan metode Threshold Logic Berbasis Interval, serta dilengkapi fitur penambahan gula merah otomatis berbasis kondisi sensor gas dan jadwal waktu. Integrasi ini menjadi pembeda utama dibandingkan penelitian sebelumnya.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian rancang bangun (Research and Development) yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring fermentasi pupuk organik berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan metode Threshold Logic Berbasis Interval. Penelitian difokuskan pada pengembangan prototipe perangkat keras dan perangkat lunak yang mampu melakukan monitoring serta otomatis penambahan gula merah secara terjadwal dan berbasis kondisi sensor.

3.2. Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem terdiri dari tiga bagian utama yaitu input, proses, dan output. Bagian input meliputi sensor water level sebagai indikator utama ketinggian pupuk, sensor gas MQ-135 untuk mendeteksi aroma fermentasi gula merah, serta modul RTC DS3231 sebagai pengatur waktu sistem.

Bagian proses menggunakan mikrokontroler ESP32 yang berfungsi membaca data sensor dan mengolahnya menggunakan metode Threshold Logic Berbasis Interval. Proses ini menentukan status fermentasi (belum penuh, setengah, penuh/siap panen) serta keputusan penambahan gula merah otomatis berdasarkan waktu dan kondisi gas.

Bagian output meliputi relay dan pompa DC untuk proses penambahan gula merah, serta notifikasi Telegram yang dikirim melalui jaringan internet sebagai media monitoring jarak jauh.

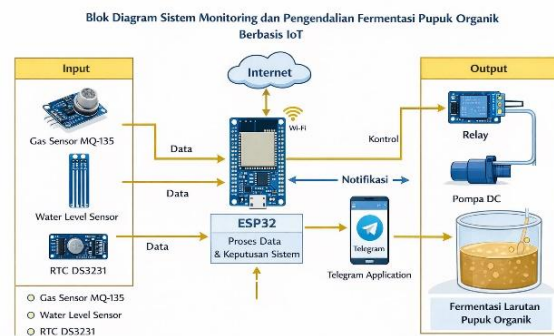
3.3. Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan seluruh komponen bekerja sesuai perancangan. Pengujian meliputi pengujian pembacaan sensor water level, pengujian sensor gas, pengujian modul RTC, pengujian fitur penambahan gula merah otomatis, serta pengujian notifikasi Telegram.

Pengujian dilakukan dengan mensimulasikan beberapa kondisi fermentasi dan mencatat hasil klasifikasi sistem berdasarkan metode Threshold Logic. Sistem dinyatakan berhasil apabila hasil keputusan sesuai dengan kondisi aktual serta notifikasi terkirim dengan baik melalui jaringan internet.

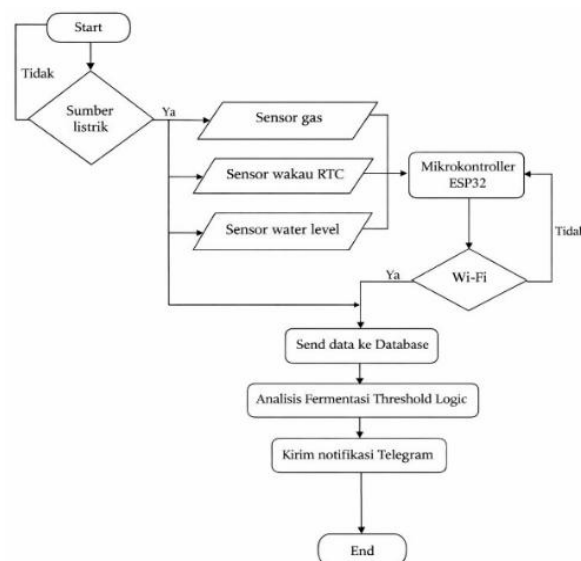
3.4. Diagram Blok Sistem

Blok diagram sistem menggambarkan alur kerja sistem monitoring fermentasi berbasis Internet of Things (IoT) yang terdiri dari bagian input, proses, dan output. Bagian input meliputi sensor gas MQ-135, sensor water level, dan modul RTC DS3231. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32 menggunakan metode Threshold Logic Berbasis Interval. Hasil pengolahan digunakan untuk mengontrol relay dan pompa DC serta memantau kondisi fermentasi dan mengirimkan notifikasi melalui Telegram secara real-time.



Gambar 7. Blok Diagram Sistem

3.5. Flowchar Sistem



Gambar 8. Flowchar Sistem

Flowchart sistem menggambarkan alur kerja sistem secara keseluruhan. Proses dimulai dari inisialisasi perangkat dan koneksi Wi-Fi. Selanjutnya ESP32 membaca data dari sensor water level, sensor gas, dan modul RTC. Data tersebut kemudian diproses menggunakan aturan Threshold Logic Berbasis Interval.

Jika nilai water level berada pada interval tertentu, sistem menentukan status fermentasi. Pada pukul 08.00, sistem akan mengecek kondisi sensor gas

untuk menentukan apakah gula merah perlu ditambahkan atau tidak sesuai aturan logika yang telah dirancang. Jika kondisi terpenuhi, relay akan mengaktifkan pompa DC. Setelah itu, sistem mengirimkan notifikasi melalui Telegram dan kembali ke proses pembacaan sensor secara berulang.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Implementasi Sistem Perangkat

Implementasi sistem dilakukan dengan mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras sesuai dengan perancangan yang telah dibuat. Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai pusat kendali yang terhubung dengan sensor gas MQ-135, sensor water level, dan modul RTC DS3231. Selain itu, sistem juga dilengkapi dengan relay dan pompa DC sebagai aktuator untuk fitur penambahan gula merah otomatis.

Seluruh komponen dirakit pada prototipe ember fermentasi pupuk organik. ESP32 membaca data dari masing-masing sensor, kemudian memprosesnya menggunakan metode Threshold Logic Berbasis Interval untuk menentukan status fermentasi dan keputusan kontrol aktuator.

4.2. Dokumentasi Prototipe Sistem

Prototipe sistem terdiri dari wadah fermentasi (ember tumpuk), sensor water level yang dipasang untuk mendeteksi ketinggian cairan pupuk, sensor gas MQ-135 yang ditempatkan di bagian atas untuk mendeteksi aroma fermentasi, serta modul RTC DS3231 sebagai pengatur waktu.

ESP32 dan rangkaian relay ditempatkan di samping ember tumpuk. Pompa DC dihubungkan ke wadah larutan gula merah yang akan disalurkan secara otomatis ke dalam ember fermentasi sesuai keputusan sistem.



Gambar 8. Dokumentasi Prototipe Sistem

4.3. Pengujian sensor Gas MQ-135

Pengujian dilakukan saat proses fermentasi berlangsung untuk melihat perubahan nilai gas dan mengecek apakah sistem sudah berjalan sesuai aturan logika yang dirancang..

Tabel 1. Pengujian Sensor Gas

No	Hari	ppm	Threshold tg=800ppm	Kondisi gas	Keputusan sistem
1	Ke-1	950ppm	$\geq 800\text{ppm}$	Kuat	Tambah gula merah
2	Ke-2	940ppm	$\geq 800\text{ppm}$	Kuat	Tidak tambah
3	Ke-3	998ppm	$\geq 800\text{ppm}$	Kuat	Tidak tambah
4	Ke-4	970ppm	$\geq 800\text{ppm}$	Kuat	Tambah gula merah
5	Ke-5	550ppm	$\leq 800\text{ppm}$	Lemah	Tambah gula merah

Sensor mampu mendeteksi perubahan kadar gas dan system mampu berjalan dengan baik sesuai aturan logika yang telah ditentukan, selama fermentasi berlangsung.

4.4. Pengujian Sensor RTC DS3231

Pengujian dilakukan dengan membandingkan waktu RTC dengan waktu aktual.

Tabel 2. Pengujian Sensor RTC DS3231

No	Waktu aktual	Waktu RTC	selisih	keterangan
1	08:00:00	08:00:01	1 detik	Akurat
2	12:00:00	12:00:01	1 detik	Akurat
3	18:00:00	18:00:02	2 detik	Akurat

RTC bekerja dengan selisih waktu yang masih dalam batas toleransi.

4.5. Pengujian Sensor Water Level

Pengujian dilakukan dengan mengisi cairan pada wadah fermentasi secara bertahap dan membandingkan pembacaan sensor dengan kondisi aktual.

Tabel 3. Pengujian Sensor Water Level

No	Tinggi aktual	Pembacaan sensor	status
1	1cm	1cm	Belum penuh
2	3cm	3cm	Setengah
3	5cm	5cm	penuh

Hasil pengujian menunjukkan pembacaan sensor sesuai dengan kondisi aktual.

4.6. Analisis Metode Treshold Logic Berbasis Interval

Metode Threshold Logic Berbasis Interval diterapkan dengan menentukan batas ambang pada masing-masing parameter sensor. Pada sensor water

level, nilai dibagi menjadi tiga interval untuk menentukan status fermentasi. Pada sensor gas, nilai dibagi menjadi dua interval untuk menentukan kondisi aroma fermentasi kuat atau tidak.

Selain itu, metode ini juga diterapkan pada fitur penambahan gula merah otomatis dengan mempertimbangkan kombinasi waktu dan kondisi gas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode ini mampu bekerja secara konsisten, sederhana, dan sesuai dengan aturan logika yang dirancang. Pendekatan berbasis interval terbukti efektif untuk sistem berbasis mikrokontroler dengan kebutuhan komputasi ringan.

4.7. Pengujian Notifikasi Telegram

Pengujian notifikasi Telegram dilakukan untuk memastikan sistem mampu mengirimkan informasi kondisi fermentasi dan status penambahan gula merah secara real-time. Pengujian menunjukkan bahwa setiap perubahan status yang terdeteksi oleh sistem berhasil dikirimkan ke aplikasi Telegram melalui jaringan internet.



Gambar 9. Notifikasi Telegram

Notifikasi yang diterima sesuai dengan kondisi aktual sistem, sehingga pengguna dapat memantau proses fermentasi tanpa harus berada di lokasi secara langsung.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem monitoring fermentasi pupuk organik berbasis Internet of Things (IoT) dengan metode Threshold Logic Berbasis Interval, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan telah berhasil bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem mampu mengintegrasikan sensor water level,

sensor gas MQ-135, dan modul RTC DS3231 dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali untuk melakukan monitoring dan pengambilan keputusan secara otomatis.

Sensor water level berfungsi sebagai parameter utama dalam menentukan status fermentasi pupuk organik, yang diklasifikasikan ke dalam tiga kondisi yaitu belum penuh, setengah, dan penuh atau siap panen. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor mampu membaca perubahan ketinggian cairan dengan baik dan menghasilkan nilai yang dapat diklasifikasikan menggunakan metode threshold berbasis interval. Dengan pendekatan ini, sistem dapat menentukan status fermentasi secara sederhana namun efektif.

Sensor gas MQ-135 digunakan untuk mendeteksi aroma fermentasi gula merah yang menjadi indikator aktivitas fermentasi. Data dari sensor gas dikombinasikan dengan informasi waktu dari modul RTC untuk mengontrol fitur penambahan gula merah otomatis setiap pukul 08.00 sesuai aturan logika yang telah dirancang. Sistem mampu menjalankan skenario keputusan, seperti menambahkan gula merah ketika aroma tidak terdeteksi kuat dan menunda penambahan sesuai ketentuan interval logika yang diterapkan.

Metode Threshold Logic Berbasis Interval terbukti sesuai untuk diterapkan pada sistem berbasis mikrokontroler karena memiliki proses komputasi yang ringan, mudah diimplementasikan, serta mampu memberikan keputusan yang konsisten berdasarkan batas nilai yang telah ditentukan. Selain itu, integrasi notifikasi Telegram memungkinkan pengguna menerima informasi kondisi fermentasi dan status penambahan gula merah secara real-time melalui jaringan internet.

Secara keseluruhan, sistem yang dirancang mampu meningkatkan efisiensi dan kemudahan dalam monitoring fermentasi pupuk organik dibandingkan metode manual. Otomatisasi yang diterapkan membantu menjaga konsistensi proses fermentasi serta memberikan kemudahan dalam pengawasan jarak jauh.

Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menambahkan sensor suhu dan pH untuk melengkapi parameter fermentasi. Sistem juga dapat ditingkatkan dengan penyimpanan data historis berbasis web agar monitoring lebih informatif. Selain itu, pengujian dalam jangka waktu yang lebih lama perlu dilakukan untuk memastikan stabilitas dan ketahanan sistem dalam penggunaan nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] I. F. Akyildiz, H. Kak, and S. Nie, "A survey on Internet of Things," *IEEE Communications Magazine*, vol. 58, no. 7, pp. 28–33, 2020.
- [2] A. Kurniawan and R. Nugroho, "Implementasi Internet of Things pada sistem monitoring berbasis mikrokontroler," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 8, no. 2, pp. 345–352, 2021.

- [3] A. Hidayat, M. R. Pratama, and S. Riyadi, "Rancang bangun sistem monitoring gas menggunakan sensor MQ-135 berbasis IoT," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 15–22, 2021.
- [4] R. Setiawan and D. Wibowo, "Implementasi sensor water level untuk monitoring ketinggian cairan berbasis mikrokontroler," *Jurnal Elektronika dan Sistem Informasi*, vol. 7, no. 2, pp. 89–96, 2020.
- [5] B. Santoso and Y. Pramono, "Pemanfaatan modul RTC DS3231 pada sistem pengendali waktu otomatis," *Jurnal Informatika dan Sistem Tertanam*, vol. 5, no. 1, pp. 45–51, 2022.
- [6] Espressif Systems, *ESP32 Technical Reference Manual*. Espressif Systems, 2022.
- [7] Telegram Messenger LLP, "Telegram Bot API," 2023. [Online]. Available: <https://core.telegram.org/bots/api>
- [8] M. I. Wahyudi and A. Rahman, "Implementasi relay pada sistem kendali beban listrik berbasis mikrokontroler," *Jurnal Rekayasa Elektrika*, vol. 16, no. 3, pp. 210–217, 2020.
- [9] D. Prasetyo and T. Firmansyah, "Penggunaan pompa DC pada sistem otomatisasi cairan berbasis mikrokontroler," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 4, pp. 255–262, 2021.
- [10] A. Zainuddin and L. Hakim, "Metode threshold pada sistem pengambilan keputusan berbasis sensor," *Jurnal Sistem Cerdas dan Otomasi*, vol. 6, no. 2, pp. 120–128, 2022.
- [11] A. Al-Fuqaha *et al.*, "Internet of Things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, no. 4, pp. 2347–2376, 2020.
- [12] S. Madakam, R. Ramaswamy, and S. Tripathi, "Internet of Things (IoT): A literature review," *Journal of Computer and Communications*, vol. 3, no. 5, pp. 164–173, 2020.
- [13] M. Banzi and M. Shiloh, *Getting Started with Arduino*, 4th ed. Maker Media, 2022.
- [14] A. Putra and R. Wijaya, "Implementasi sistem monitoring berbasis Internet of Things menggunakan mikrokontroler ESP32," *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 85–92, 2022.
- [15] D. Widodo and B. Hartono, "Rancang bangun sistem monitoring berbasis Internet of Things menggunakan sensor dan mikrokontroler," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 10, no. 3, pp. 150–158, 2022.
- [16] Hanwei Electronics Co., Ltd., *MQ-135 Gas Sensor Datasheet*. Zhengzhou, China, 2020.
- [17] Maxim Integrated, *DS3231 Extremely Accurate I²C-Integrated RTC/TCXO/Crystal Datasheet*. San Jose, CA, USA, 2020.
- [18] A. Suryadi and F. Rahman, "Implementasi sistem monitoring berbasis Internet of Things menggunakan mikrokontroler ESP32," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 11, no. 1, pp. 45–53, 2023.
- [19] R. Pratama, "Rancang bangun sistem monitoring fermentasi berbasis Internet of Things menggunakan sensor gas dan mikrokontroler," *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, vol. 9, no. 2, pp. 101–108, 2021.
- [20] A. Pratama and B. Siregar, "Sistem Monitoring Fermentasi Kompos Berbasis Internet of Things Menggunakan Sensor Suhu dan Kelembaban," *Jurnal Teknologi Informasi dan Sistem*, vol. 5, no. 2, pp. 100–107, 2021.
- [21] M. Ramadhan and A. Putri, "Implementasi Water Level Sensor pada Sistem Monitoring Tangki Cairan Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Sistem Embedded dan IoT*, vol. 4, no. 2, pp. 88–95, 2023.
- [22] F. Gunawan, A. Prakoso, and R. Hidayat, "Sistem Notifikasi Berbasis Telegram untuk Monitoring Perangkat Internet of Things (IoT)," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 5, no. 1, pp. 23–30, 2022.