

Perancangan Alat Pemrosesan Sampah Organik Berbasis Internet Of Things (IoT) Untuk Pembuatan Kompos

1st M Heru Prasojo

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

heruprasojo@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Rita Purnamasari

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

ritapurnamasari@telkomuniversity.ac.id

3rd Yulinda Eliskar

Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

yulindaeliskar@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Penanganan sampah organik rumah tangga yang kurang efektif dapat menyebabkan penumpukan sampah yang berdampak negatif pada lingkungan. Salah satu solusi untuk mengatasi masalah ini adalah dengan pengomposan. Penelitian ini mengusulkan desain sistem pemantauan pengomposan berbasis Internet of Things (IoT) yang menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan berbagai sensor untuk memantau proses pengomposan secara real-time. Sistem ini menggabungkan pembuatan kompos kering dan cair dalam satu wadah untuk efisiensi ruang dan mobilitas. Selama pengujian 24 hari, sensor-sensor yang digunakan menunjukkan akurasi yang memadai: sensor DHT22 dengan error $\pm 1\%$, sensor kelembaban tanah $\pm 1\%$, sensor gas MQ-4 dengan error 75,8%, sensor pH tanah $\pm 7\%$, dan sensor level air $\pm 2\%$. NodeMCU ESP32 dapat mengirimkan data secara real-time dengan performa baik, dan motor DC efektif dalam mengaduk kompos. Uji coba website monitoring menunjukkan kepuasan tinggi dari pengguna, dengan 99,33% menilai website tersebut mudah digunakan dan user-friendly. Alat ini dapat mengurangi masalah sampah organik dengan menghasilkan kompos kering dalam 24 hari dan kompos cair dalam 19 hari, serta mendukung daur ulang sampah organik secara efisien.

Kata kunci— Internet of Things (IoT), Sistem Pengomposan, Efisiensi, Sampah, akurasi sensor dan Website

I. PENDAHULUAN

Sampah merupakan hasil sisa dari produk pemakaian manusia yang tidak terpakai lagi oleh penggunanya[1]. Pengertian lain dari sampah ialah ampas bahan yang telah diambil bagian utamanya sebab telah melewati proses pengolahan atau sudah tidak bermanfaat lagi[2]. Sampah dapat dihasilkan dari berbagai kegiatan manusia dikehidupan sehari-hari seperti aktivitas industri, pasar, pertanian, peternakan, usaha makanan serta rumah tangga. Sampah pada rumah tangga terdiri dari sampah organik dan anorganik[3]. Maka dari itu pengomposan merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan pada rumah tangga dan industri yang menghasilkan banyak sampah organik untuk mengelolah sampah organik dengan tujuan mengurangi dan mengubah komposisi sampah menjadi produk yang bermanfaat. Kompos yang berkualitas dihasilkan dari bahan baku yang tepat, pengelolaan proses yang baik, kandungan nutrisi seimbang, pencegahan kontaminasi, dan kepatuhan terhadap regulasi yang sudah di atur dalam SNI 19-7030-2004[4] untuk memastikan efektivitas dan keamanan dalam mendukung proses pembuatan kompos organik.

Di era yang modern ini manusia sudah menggunakan banyak peralatan canggih, maka dari itu dibuatlah alat yang dapat memudahkan manusia untuk membuat dan mengelolah sampah organik menjadi pupuk kompos yang memiliki standar. Cara agar dapat mendaur ulang sampah organik tersebut dengan maksimal dan cepat diperlukan perancangan sistem pemantauan perangkat pengomposan berbasis Internet of Things (IoT). IoT merupakan teknologi yang dapat membantu dan berfungsi menggerakkan benda-benda disekitarnya menjadi mudah dan efisien[5]. Dengan demikian, pemrosesan kompos dengan IoT yang akan dimonitoring melalui website sangat membantu menciptakan pupuk kompos yang maksimal dan dapat mengatasi masalah sampah di rumah tangga.

II. KAJIAN TEORI

A. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) melibatkan penggunaan perangkat yang terhubung untuk mengumpulkan, mentransfer, dan menganalisis data secara otomatis. Dalam konteks pengomposan, IoT dapat meningkatkan efisiensi proses dengan memungkinkan pemantauan parameter penting secara real-time. Beberapa parameter kunci yang dapat dipantau meliputi suhu, kelembaban, pH tanah, dan konsentrasi gas [6].

B. NodeMCU ESP32

NodeMCU ESP32 adalah mikrokontroler yang dilengkapi dengan Wi-Fi dan Bluetooth, memungkinkan pengiriman data secara real-time ke platform cloud atau aplikasi monitoring. Mikrokontroler ini sering digunakan dalam proyek IoT karena kemampuannya dalam mengelola berbagai sensor dan modul komunikasi [7].

C. Desain dan Implementasi Sistem

Sistem ini menggabungkan pembuatan kompos kering dan cair dalam satu wadah untuk efisiensi ruang dan mobilitas. Motor DC digunakan untuk mengaduk kompos, memastikan pencampuran bahan organik yang merata dan mempercepat proses pengomposan [8].

D. Website

Website berfungsi sebagai antarmuka utama antara pengguna dan sistem IoT, memungkinkan akses, kontrol, dan visualisasi data yang dikumpulkan oleh perangkat IoT. Dalam sistem pemantauan pengomposan, website

menyediakan platform bagi pengguna untuk memantau kondisi pengomposan secara real-time, melihat data historis, dan menerima notifikasi atau laporan terkait proses pengomposan [1].

III. METODE

Perancangan perangkat dalam penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut: 1) identifikasi masalah dan analisis kebutuhan; 2) perancangan perangkat keras dan perangkat lunak; 3) pembuatan perangkat; dan 4. pengujian. Permasalahan yang mendasari perancangan sistem ini adalah lamanya proses pembuatan sampah organik menjadi kompos. Hal ini disebabkan oleh tidak adanya pemantauan dengan cara konvensional yang membuat tingkat kelembaban dan suhu yang tidak stabil, yang berdampak pada kematangan pupuk yang tidak optimal dan memerlukan waktu yang lebih lama.

TABEL 1.
Dasar Penentuan Spesifikasi

No	Parameter	Satuan	Minimum	Maximum
1.	Temperatur (Suhu)	o C	35	45
2.	Kelembapan	%	40	60
3.	Warna	-	-	Kehitaman
4.	Gas Metana	%	50	70
5.	pH Tanah	-	6.80	7.49

Tabel 1. Berdasarkan standar SNI 19-7030-2004 mengenai kompos dari sampah organik domestik, terdapat ketentuan terkait komposisi kimia, sifat fisik, dan tingkat kehadiran bakteri yang harus terpenuhi oleh hasil pengolahan sampah organik domestik menjadi kompos[4]. Hal ini juga mencakup karakteristik dan spesifikasi kualitas kompos yang dihasilkan dari sampah organik domestik.

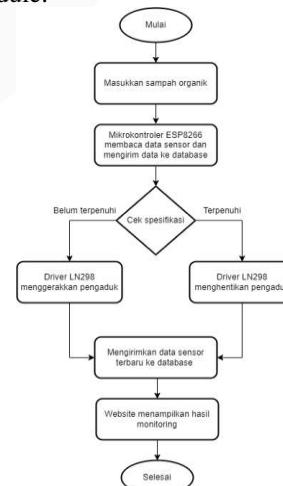
TABEL 2.
Komponen-komponen Utama Sistem

NO	Komponen	Fungsi
1.	Ember	Sebagai tempat proses pembuatan kompos kering dan cair .
2.	Box elektronik	Sebagai tempat komponen
3.	NodeMCU ESP32	Sebagai mikrokontroler yang akan mengolah data dari sensor sebagai input hingga dapat diteruskan ke proses output serta untuk mengintegrasikan sistem pemantauan ke gawai pembuat kompos.
4.	Sensor DHT-22	Memonitoring suhu pada rentang 35°C - 45°C yang selama proses pengomposan.
5.	Soil Moisture	Mendeteksi kelembapan tanah yang terkandung selama proses pengomposan.
6.	Sensor Water Level	Mendeteksi signal kepada alarm/automation panel

		bahwa permukaan air telah mencapai level 10 cm.
7.	MQ-4 Sensor	Mendeteksi tingkat gas metana yang terkandung selama proses pengomposan berlangsung. Tingkat gas metana yang diharapkan $\geq 50\%$ dan $\leq 70\%$.
8.	Piezo Buzzer	memberikan peringatan saat kompos cair melebihi batas yang telah ditentukan yaitu setinggi ≥ 10 cm.
9.	Sensor pH Tanah	Mendeteksi kadar pH berkisar antara 6.80 – 7.49 yang terkandung dalam kompos kering selama proses pengomposan berlangsung.
10.	DC Motor dan L298N Module	Sebagai motor penggerak atau pengaduk alat. DC motor yang berperan sebagai alat pengaduk dan L298N module yang berperan sebagai driver yang mengendalikan DC motor.
11.	Alat Pengaduk	Sebagai alat untuk pengaduk kompos kering.
12.	PhpMyAdmin	Sebagai database
13.	Website	Menampilkan hasil monitoring selama proses pengomposan berlangsung

Analisis kebutuhan dalam sistem ini menguraikan rincian alat dan bahan yang diperlukan untuk mendukung pembuatan sistem proses pengomposan, analisis ini bertujuan untuk memastikan pemilihan komponen yang sesuai dalam tahap perancangan. Tabel 2. Memuat komponen-komponen yang dibutuhkan perangkat keras dan perangkat lunak.

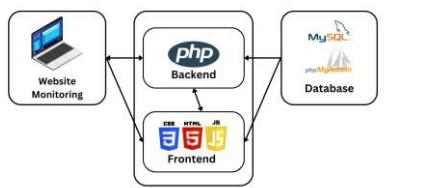
Perangkat keras terdiri dari: 1) Mekanik berupa box elektronik, alat pengaduk dan ember; serta 2) Elektronik berupa NodeMCU ESP32, sensor DHT-22, Soil Moisture, Sensor Water Level, MQ-4 Sensor, Piezo Buzzer, DC Motor dan L298N Module.



GAMBAR 1.
Diagram Alir Perangkat Keras

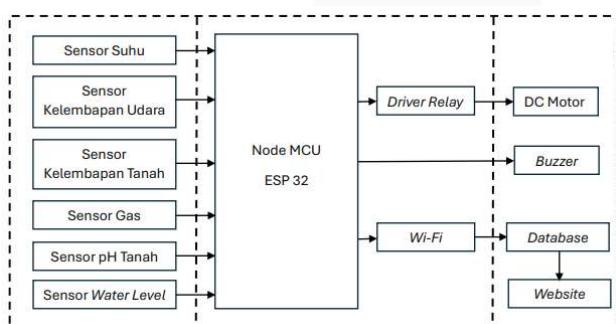
Pada Gambar 1. Perangkat keras bekerja dengan memasukkan sampah organik seperti sisa makanan dan dedaunan. Mikrokontroler ESP32 akan membaca data dan mengirimkannya ke database untuk ditampilkan di website. Website kemudian menampilkan hasil monitoring selama proses pengomposan. Jika data belum memenuhi parameter yang ditetapkan, driver LN298 akan menggerakkan motor DC untuk mengaduk. Namun, jika data sudah sesuai, motor DC akan dihentikan. Sensor secara otomatis mengirimkan data real-time ke database untuk monitoring di website.

Perangkat lunak terdiri dari: Arduino IDE, HTML, CSS, JS, PHP dan MySQL.



GAMBAR 2.
Diagram Alir Perangkat Lunak

Pada Gambar 2. Perangkat lunak berinteraksi dengan bahasa pemrograman untuk mengambil dan menyimpan data sesuai parameter yang ditetapkan. Website secara berkala memperbarui data untuk memastikan informasi yang ditampilkan selalu up-to-date. Data dari database ditampilkan di website dalam bentuk angka numerik, memudahkan user memantau proses pengomposan. Jika data belum memenuhi parameter, icon di website akan berwarna biru. Jika semua parameter sudah sesuai, icon akan berubah merah, menandakan kompos telah matang. Perancangan sistem yang dibuat sesuai dengan blok diagram pada Gambar 3.



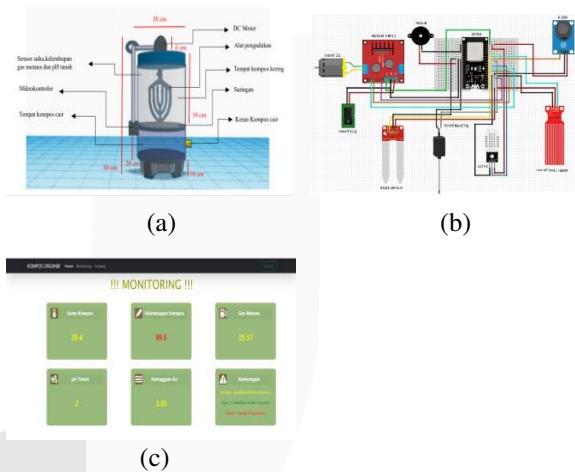
GAMBAR 3.
Blok Sistem Pengomposan

Pada Gambar 3. Sistem secara keseluruhan berfungsi dengan mengambil data dari proses pengomposan sejak awal hingga selesai. Sensor-sensor yang terhubung dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32 akan mengolah data tersebut dan mengirimkannya ke website melalui koneksi internet atau Wi-Fi. Jika syarat kompos terpenuhi, motor DC yang dikendalikan oleh relay akan berhenti, dan notifikasi akan dikirim ke gawai. Selain itu, jika kompos cair mencapai batas tertentu, buzzer akan berbunyi dan berhenti saat kompos cair diperpanjang.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

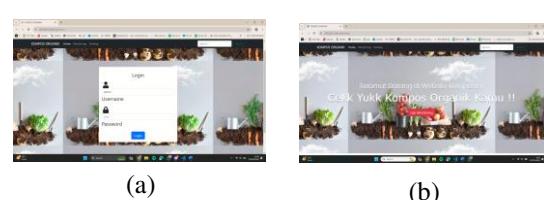
Implementasi perancangan alat yaitu dilakukan dengan mengintegrasikan semua komponen yang dibutuhkan. Langkah pembuatan pertama adalah mempersiapkan alat dan bahan untuk membuat *prototype*. Alat dan bahan yang digunakan untuk membuat prototype dari sistem perancangan alat pengomposan untuk menentukan identifikasi kebutuhan *prototype* dari segi integrasi sistem yang di desain melalui tinkercad. Langkah selanjutnya adalah membuat mekanik yang sudah di rancang sesuai desain yang sudah dibuat. Desain perangkat keras menggunakan tinkercad dan perangkat lunak disesuaikan dengan variable yang butuhkan sehingga mendapatkan hasil optimal. Gambar 4. (a) dan Gambar 4. (b) adalah desain perangkat keras.

Langkah selanjutnya adalah membuat perangkat keras yang terdiri dari sensor DHT-22, sensor Soil Moisture, Sensor Water Level, MQ-4 Sensor, Sensor pH Tanah, Piezo Buzzer, DC Motor dan L298N Module dan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Semua komponen di rakit melalui papan PCB yang telah dibuat rangkaian skematik pada Gambar 4. (b) komponen yang telah dirakit dimuat kedalam box elektronika, agar terlihat rapi dan menghindari dari gangguan fisik. Langkah selanjutnya membuat *codingan* untuk proses sistem kerja dari alat pengomposan menggunakan Arduino IDE dengan Bahasa C.



GAMBAR 4.
(a) Desain perangkat keras, (b) Skematik Rangkaian sistem, (c) Desain perangkat lunak sistem

Langkah selanjutnya membuat website untuk menampilkan hasil numerik dari database yang menjadi proses monitoring kompos organik.



(a) (b)

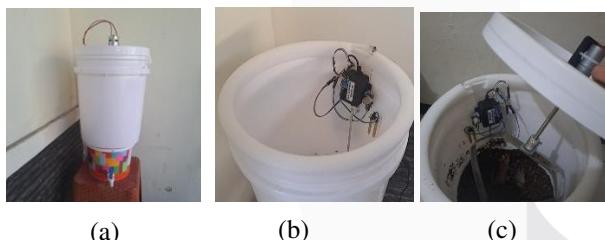


GAMBAR 5.

(a) Halaman login, (b) Halaman utama, (c) Halaman monitoring, (d) Halaman informasi kompos

Pada Gambar 5. (a) merupakan tampilan *login website*, yang dimana jika memasukkan *username* "kompos" dan *password* "organik" maka *login* akan berhasil. Namun apabila memasukkan *username* dan *password* yang berbeda dari yang telah ditentukan maka *login* akan gagal. Pada Gambar 5. (b) merupakan tampilan utama *website* yang berisikan menu *home*, *monitoring* dan *tentang*. Menu *home* akan terintegrasi pada halaman utama. Pada Gambar 5. (c) merupakan tampilan *monitoring* yang berisi keterangan nilai dari pemrosesan kompos, contohnya seperti nilai suhu, kelembapan, gas metana, pH tanah, dan keterangan ketinggian air. Jika parameter belum terpenuhi nilai akan berwarna kuning, jika parameternya telah terpenuhi nilai akan berwarna biru, namun jika melebihi spesifikasi nilai akan berwarna merah. Pada Gambar 5. (d) merupakan tampilan informasi kompos yang berisi keterangan mengenai parameter kompos yaitu temperatur, kelembapan, warna kompos, gas metana, serta pH tanah sehingga *user* juga bisa mengetahui hal-hal penting dari pembuatan kompos.

Langkah selanjutnya adalah membuat alat pengomposan dan penyambungan rangkaian komponen perangkat keras dan alat pengomposan.

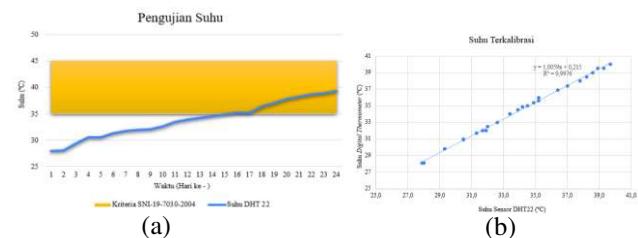


GAMBAR 6.

(a) Alat pengomposan, (b) Integrasi komponen perangkat keras, (c) Alat pengaduk

Pada Gambar 6. (a) merupakan keseluruhan alat terdiri dari tempat kompos kering dan tempat kompos cair. Pada Gambar 6. (b) merupakan integrasi semua komponen sensor yang sudah di satukan dengan alat pengomposan. Pada Gambar 6. (c) merupakan alat pengaduk dan motor dc sebagai pengaduk kompos kering. Setelah perancangan alat perangkat keras dan perangkat lunak diimplementasikan, maka langkah selanjutnya adalah pengujian dan analisis. Pada pengujian ini kita memantau proses pengomposan yang dilakukan untuk menghasilkan kompos yang berstandar sesuai SNI 19-7030-2004 [4] dan membuat website yang *user friendly*.

Pada pengujian pembacaan suhu akan dilakukan dengan membandingkan hasil data suhu dari sensor DHT22 dan data suhu dari digital thermometer untuk mendapatkan data yang optimal.

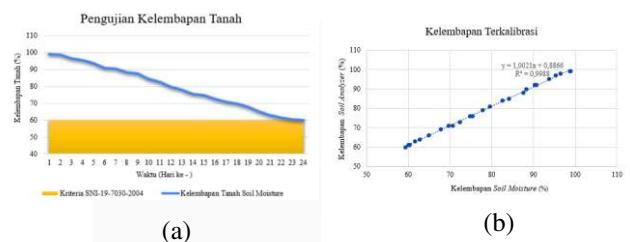


GAMBAR 7.

(a) Pengujian Suhu, (b) Grafik Suhu terkalibrasi

Pada Gambar 7. (a) Grafik ini menunjukkan pengujian suhu sensor DHT22 selama 24 hari. Area kuning mewakili rentang spesifikasi SNI 19-7030-2004 sebesar 35°C-45°C, sedangkan garis biru menunjukkan data suhu sensor. Suhu meningkat dari 27,9°C pada hari pertama hingga 39,3°C pada hari ke-24. Pada hari ke-16, suhu mencapai 35,2°C dan tetap dalam rentang spesifikasi hingga akhir pengujian. Pada Gambar 7. (b) menghasilkan persamaan linier ($y=1,0059x+0,215$) dengan nilai $R^2=0,9976$, menunjukkan hubungan yang sangat baik antara sensor DHT22 (X) dan digital thermometer (Y). Nilai R^2 mendekati 1 menandakan akurasi tinggi, sehingga sensor DHT22 dapat dikatakan akurat dalam mengukur suhu.

Pada pengujian pembacaan kelembapan akan dilakukan dengan membandingkan hasil data kelembapan dari *soil moisture* dan data kelembapan dari *soil analyzer* untuk mendapatkan data yang optimal.

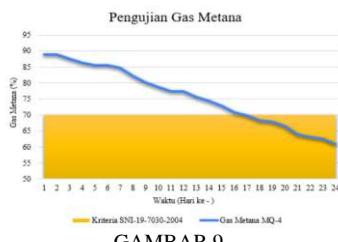


GAMBAR 8.

(a) Pengujian Kelembapan Tanah, (b) Grafik Kelembapan Terkalibrasi

Pada Gambar 8. (a) Grafik ini menunjukkan pengujian kelembapan tanah menggunakan *soil moisture* sensor selama 24 hari. Area kuning menunjukkan rentang spesifikasi SNI 19-7030-2004 sebesar 40%-60%, sementara garis biru menggambarkan data sensor. Kelembapan tanah menurun dari 98,9% pada hari pertama hingga 60,0% pada hari ke-24, memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pada Gambar 8. (b) menghasilkan persamaan linier ($y=1,0021x+0,8866$) dengan nilai $R^2=0,9976$, menunjukkan hubungan yang sangat baik antara *soil moisture* (X) dan *soil analyzer* (Y). Nilai R^2 mendekati 1 menandakan akurasi tinggi, sehingga *soil moisture* dapat dikatakan akurat dalam mendeteksi kelembapan.

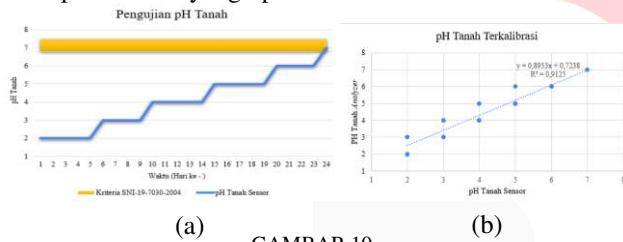
Pada pengujian pembacaan gas metana atau bau akan dilakukan dengan membandingkan hasil data gas metana dari sensor MQ-4 dan data gas metana secara manual untuk mendapatkan data yang optimal.



GAMBAR 9. Pengujian Gas Metana

Pada Gambar 9. Grafik ini menunjukkan pengujian kadar gas metana menggunakan sensor MQ-4 selama 24 hari. Area kuning menunjukkan rentang spesifikasi SNI 19-7030-2004 sebesar 50%-70%, sedangkan garis biru menggambarkan data sensor. Kadar gas metana turun dari 88,9% pada hari pertama hingga 61,0% pada hari ke-24. Pada hari ke-16, kadar gas mencapai 70,9% dan tetap dalam rentang spesifikasi hingga akhir pengujian.

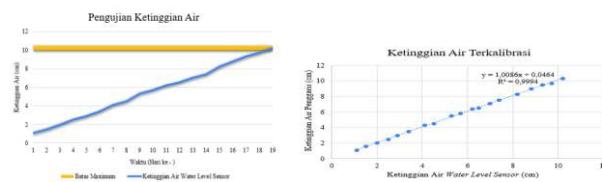
Pada pengujian pembacaan pH tanah akan dilakukan dengan membandingkan hasil data pH tanah dari sensor pH tanah dan data pH tanah dari pH tanah analyzer untuk mendapatkan data yang optimal.



(a) Pengujian pH Tanah, (b) Grafik pH Tanah Terkalibrasi

Pada Gambar 10. (a) Grafik ini menunjukkan pengujian tingkat keasaman tanah menggunakan sensor pH selama 24 hari. Area kuning menunjukkan rentang spesifikasi SNI 19-7030-2004 sebesar 6,80%-7,49%, sementara garis biru menggambarkan data sensor. pH tanah meningkat dari 2 (asam) pada hari pertama hingga mencapai 7 (netral) pada hari ke-24, memenuhi spesifikasi yang ditetapkan. Pada Gambar 10. (b) Hasil pengujian menunjukkan persamaan ($y = 0,8933x + 0,7238$) yang menggambarkan hubungan antara tingkat keasaman tanah yang diukur dengan sensor pH tanah (X) dan pH tanah analyzer (Y). Nilai $R^2 = 0,9125$ menunjukkan akurasi tinggi, mendekati nilai maksimum 1, menandakan sensor pH tanah dapat mendekripsi tingkat keasaman dengan akurat.

Pada pengujian pembacaan ketinggian air akan dilakukan dengan membandingkan hasil data ketinggian air dari sensor water level dan data ketinggian air dari penggaris untuk mendapatkan data yang optimal.



(a) Pengujian Ketinggian Air, (b) Grafik Ketinggian Air Terkalibrasi

Pada Gambar 11. (a) Grafik ini menunjukkan pengujian ketinggian air kompos cair. Area kuning menandakan batas

maksimum 10 cm, sedangkan garis biru menunjukkan data ketinggian yang diukur sensor water level. Grafik memperlihatkan kenaikan ketinggian dari 1.1 cm pada hari pertama hingga 10.2 cm pada hari kesembilan belas. Pada titik ini, ketinggian mencapai batas maksimum, sehingga kompos cair perlu dipanen untuk mencegah meluap. Pada Gambar 11. (b) Hasil pengujian menghasilkan persamaan regresi ($y = 1,0005x + 0,0444$), menunjukkan hubungan linier yang baik antara pembacaan ketinggian air dengan sensor water level (X) dan penggaris (Y). Nilai $R^2 = 0,9976$ menunjukkan akurasi tinggi sensor water level dalam mendekripsi ketinggian air kompos cair, mendekati nilai maksimum.

Pada pengujian kuisoner digunakan untuk mengetahui setiap responen yang telah mencoba mengakses website memberikan feedback yang baik terkait kepuasan mereka saat menggunakan website tersebut.

TABEL 3. Daftar Pertanyaan

No	Pertanyaan	Sangat Setuju	Setuju	Netral
1.	Apakah tampilan website sudah menarik (user friendly)?	80%	20%	-
2.	Apakah tampilan website memudahkan user dalam memantau proses pengomposan?	74%	26%	-
3.	Apakah website mudah dioperasikan?	76%	24%	-
4.	Apakah tampilan informasi pada website memudahkan user dalam mengetahui kualitas kompos?	82%	16%	2%
5.	Apakah penandaan warna pada nilai hasil monitoring membantu user mengidentifikasi spesifikasi terpenuhi/tidak?	76%	22%	2%
6.	Apakah pengoperasian pada website mudah diingat?	86%	14%	-
Total Persentase		79%	20.33%	0.66%

Tabel 3. Di atas diperoleh rata-rata persentase 99.33% dari seluruh responen menyatakan setuju bahwa website yang telah dibuat memenuhi kriteria friendly baik dari segi warna maupun layout. Tampilan dari website memudahkan user dalam memantau proses selama pengomposan. Website yang dibuat juga mudah untuk dioperasikan dan mudah diingat. Dengan demikian, dapat dikatakan bahwa website layak untuk digunakan dalam memantau proses

pengomposan karena responden lebih banyak yang setuju dengan pertanyaan yang penulis berikan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem pemantauan pengomposan berbasis IoT dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32 dan berbagai sensor. Sistem ini menggabungkan pembuatan kompos kering dan cair dalam satu wadah, meningkatkan efisiensi ruang dan mobilitas. Pengujian selama 24 hari menunjukkan kemampuan sistem untuk menghasilkan kompos kering dan cair dalam waktu yang sesuai, mengurangi masalah sampah organik. Sensor-sensor yang digunakan memiliki akurasi yang memadai, dan NodeMCU ESP32 efektif dalam mengirimkan data secara real-time. Uji coba website monitoring juga menunjukkan kepuasan tinggi dari pengguna, dengan 99,33% menilai antarmuka mudah digunakan. Sistem ini menawarkan solusi praktis untuk pengelolaan sampah organik rumah tangga dan memiliki potensi untuk aplikasi yang lebih luas..

REFERENSI

- [1] B. Sanjaya, A. Taqwa, and S. Sholihin, "Perancangan Sistem Pemantauan Perangkat Pengomposan Pupuk Otomatis Berbasis Internet Of Things (IoT)," JTEV (Jurnal Teknik Elektro dan Vokasional), vol. 8, no. 2, p. 401, Sep. 2022, doi: 10.24036/jtev.v8i2.118354
- [2] S. Osa Novantri and U. Yusmaniar Oktiawati, "Rancang Bangun Pemantauan Kadar Gas Metana pada Pengolahan Sampah Organik Berbasis IoT Menggunakan Microcontroller ESP32," JuLIET), vol. 3, no. 2, 2022.
- [3] P. Studi, P. Biologi, F. Tarbiyah, and D. Keguruan, "Pemanfaatan Limbah Organik Skala Rumah Tangga," 2022.
- [4] "Standar Nasional Indonesia Spesifikasi kompos dari sampah organik domestik Badan Standardisasi Nasional."
- [5] F. Susanto, N. Komang Prasiani, and P. Darmawan, "Implementasi Internet of Things dalam Kehidupan sehari-hari," Online, 2022. [Online]. Available: <https://jurnal.std-bali.ac.id/index.php/imagine>
- [6] Yang, X., et al. (2019). "IoT-based systems for monitoring and controlling composting processes." *Sensors*, vol. 19, no. 18, p. 3912.
- [7] Lee, J., & Kim, K. (2022). "Application of NodeMCU-ESP32 for IoT-based environmental monitoring." *IEEE Access*, vol. 10, pp. 12345-12354.
- [8] Evans, R., et al. (2016). "Automated compost mixing systems: Design and implementation." *Compost Science & Utilization*, vol. 24, no. 4, pp. 286-294.