

Rancang Bangun Pendeteksi Kematangan Pupuk Kandang Dari Kohe Kambing Berbasis Internet of Things

Mokhammad Saifulloh Al Azis^{*1)}, Sujono²⁾, Moh. Anshori Aris Widya³⁾

1. Program Studi Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Indonesia
2. Program Studi, Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Indonesia
3. Program Studi, Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas KH. A. Wahab Hasbullah, Indonesia

Article Info

Kata Kunci: Internet of Things; Pupuk Kandang; Kematangan Pupuk; Pertanian Cerd.

Keywords: *Internet of Things; Manure Fertilizer; Compost Maturity; Smart Agriculture*

Article history:

Received: 19 Juli 2026

Revised: 23 Juli 2026

Accepted: 29 Juli 2026

Available online: 1 November 2026

DOI :

[10.48144/suryainformatika.v16i2.2505](https://doi.org/10.48144/suryainformatika.v16i2.2505)

* Corresponding author.

Mokhammad Saifulloh Al Azis

E-mail address:

azissaifulloh7@email.ac.id

ABSTRAK

Proses fermentasi pupuk kandang dari kotoran hewan (kohe) kambing memerlukan pemantauan beberapa parameter lingkungan, seperti suhu, kadar air substrat, dan konsentrasi gas amonia, untuk menentukan tingkat kematangan pupuk secara akurat. Penentuan kematangan pupuk secara konvensional masih dilakukan melalui pengamatan organoleptik subjektif terhadap bau, warna, tekstur, dan perabaan suhu, sehingga hasilnya kurang konsisten, berisiko kesalahan, dan membutuhkan waktu relatif lama. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem pendeteksi kematangan pupuk kandang berbasis *Internet of Things (IoT)* yang mampu melakukan pemantauan kondisi pupuk secara *real-time*. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development (R&D)* dengan pendekatan *Prototyping* yang meliputi tahap analisis kebutuhan, perancangan sistem, pembuatan *prototipe*, pengujian, dan evaluasi. Sistem dikembangkan menggunakan *mikrokontroler* Wemos D1 Mini yang terintegrasi dengan sensor suhu DS18B20, sensor kelembapan Capacitive Soil Moisture Sensor v2, dan sensor gas amonia MQ-135. Data hasil pembacaan sensor dikirimkan melalui jaringan internet dan ditampilkan pada *dashboard* berbasis web serta LCD I2C. Penentuan tingkat kematangan pupuk dilakukan secara otomatis menggunakan logika klasifikasi berbasis ambang batas (*rule-based threshold*) suhu ($T \leq 30^{\circ}\text{C}$), kadar air ($M \leq 40\%$), dan amonia ($\text{NH}_3 \leq 20 \text{ ppm}$). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor DS18B20 mampu membaca suhu dengan selisih rata-rata $1,37^{\circ}\text{C}$ dibanding termometer manual. Nilai kadar air *substrat* menurun dari 73% (hari ke-1) menjadi 33% (hari ke-14), dan konsentrasi amonia menurun dari 133 ppm menjadi 9 ppm. Pada hari ke-14, sistem secara otomatis mengklasifikasikan status pupuk sebagai "Matang". Pengujian *black-box* pada *dashboard* web menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dengan success rate pengiriman data 98,5% dan latensi rata-rata 1,2 detik. Sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi dan objektivitas penentuan kematangan pupuk organik.

ABSTRACT

The fermentation process of goat manure compost requires monitoring several environmental parameters, including temperature, substrate moisture content, and ammonia gas concentration, to accurately determine compost maturity. Conventional methods rely on subjective organoleptic observations of odor, color, texture, and manual temperature sensing, leading to inconsistent results and potential errors. This study aims to design and build an Internet of Things (IoT)-based compost maturity detection system capable of real-time monitoring. The Research and Development (R&D) method with a Prototyping approach was employed, comprising needs analysis, system design, prototyping, testing, and evaluation. The system utilizes a Wemos D1 Mini microcontroller integrated with a DS18B20 temperature sensor, a Capacitive Soil Moisture Sensor v2, and an MQ-135 ammonia gas sensor. Sensor data are transmitted via the Internet to a web dashboard and an I2C LCD display. Compost maturity classification is automatically determined using a rule-based threshold logic (Temperature $\leq 30^{\circ}\text{C}$, Substrate Moisture $\leq 40\%$, Ammonia $\leq 20 \text{ ppm}$). Experimental results demonstrate that the DS18B20 sensor measures temperature with an average deviation of 1.37°C compared to a manual thermometer. Substrate moisture decreased from 73% (Day 1) to 33% (Day 14), and ammonia concentration dropped from 133 ppm to 9 ppm. On Day 14, the system

successfully classified the compost status as "Matang" (Mature). Black-box testing of the web dashboard achieved a 100% success rate with a data transmission success rate of 98.5% and an average latency of 1.2 seconds. This IoT system effectively improves objectivity and efficiency in organic fertilizer production.

1. PENDAHULUAN

Pupuk kandang merupakan salah satu jenis pupuk organik utama yang dimanfaatkan secara luas dalam sektor pertanian karena mampu meningkatkan kesuburan tanah, memperbaiki struktur agregat tanah, serta menyediakan unsur hara makro dan mikro yang dibutuhkan tanaman [1], [2]. Salah satu jenis kotoran ternak yang sangat potensial namun memerlukan penanganan khusus adalah kotoran hewan (kohe) kambing. Kohe kambing memiliki karakteristik fisik unik berbentuk pelet padat serta kandungan nitrogen dan rasio C/N yang tinggi, sehingga memerlukan proses fermentasi atau pengomposan yang terstruktur agar temperatur, kadar air, dan pembebasan gas amonia (NH₃) dapat terdekomposisi secara optimal [3]. Tanpa proses fermentasi yang matang sempurna, kohe kambing yang diaplikasikan langsung ke media tanam berisiko memicu reaksi fitotoksisitas dan pemanasan berlebih pada perakaran tanaman [2].

Dalam praktiknya di tingkat petani lokal, penentuan tingkat kematangan pupuk masih didominasi oleh metode konvensional berbasis pengamatan organoleptik subjektif, seperti pengamatan visual perubahan warna, tekstur remas, bau, dan perabaan suhu permukaan [4]. Metode tradisional ini sangat bergantung pada intuisi dan tingkat pengalaman individu, sehingga berpotensi menimbulkan kesalahan estimasi waktu penggunaan pupuk [3]. Penggunaan pupuk yang belum matang sempurna dapat memicu akumulasi amonia tinggi dan pemanasan kembali (*re-heating*) yang berdampak negatif terhadap pertumbuhan dan produktivitas tanaman [5].

Pemanfaatan teknologi *Internet of Things* (IoT) memungkinkan proses pemantauan kondisi mikro lingkungan pengomposan dilakukan secara otomatis dan *real-time*. Sejumlah penelitian terdahulu telah menguji penerapan IoT pada proses pengomposan. Prasetyo dan Astutik (2024) menerapkan mikrokontroler ESP8266 untuk pemantauan suhu pada sistem pertanian cerdas [6]. Zuchri et al. (2021) mengembangkan sistem pemantauan pengomposan berbasis sensor suhu dan kelembapan [7]. Rahmad et al. (2023) menguji instrumen pemantau kelembapan dan pH pada substrat organik [8], sementara Pratama et al. (2022) merancang telemetri IoT untuk monitoring kondisi lingkungan mikro [9]. Kendati demikian, sebagian besar penelitian sebelumnya hanya berfokus pada parameter tunggal atau ganda (suhu dan kelembapan) tanpa mengukur dinamika gas amonia, serta belum merumuskan algoritma penentuan keputusan kematangan berbasis ambang batas

(*threshold*) yang spesifik untuk karakteristik kohe kambing.

Guna mengatasi keterbatasan tersebut (*research gap*), penelitian ini menawarkan kebaruan (*novelty*) berupa rancang bangun sistem pendeteksi kematangan pupuk kandang dari kohe kambing berbasis IoT yang mengintegrasikan pemantauan tiga parameter kritis sekaligus: suhu substrat, kadar air intrinsik (*moisture*), dan konsentrasi gas amonia (NH₃) secara simultan. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler Wemos D1 Mini yang terhubung dengan *dashboard web real-time*, dilengkapi dengan logika klasifikasi berbasis aturan (*rule-based threshold*) untuk menentukan status kematangan pupuk ("Matang" atau "Belum Matang") secara otomatis dan terukur. Pemilihan ketiga parameter tersebut didasarkan pada prinsip biogeokimia fermentasi pengomposan [10]. Suhu mengindikasikan transisi dari fase termofilik menuju fase pematangan; kadar air substrat menentukan kelangsungan aktivitas metabolisme mikroorganisme dekomposer; sedangkan konsentrasi amonia mencerminkan tingkat penguraian senyawa ber-nitrogen. Parameter pH dan CO₂ tidak digunakan dalam instrumen lapangan ini karena elektroda pH dan sensor CO₂ cenderung rentan terhadap korosi media padat serta memerlukan perawatan berkala yang rumit, sedangkan kombinasi parameter Suhu, Kadar Air, dan Amonia terbukti telah memadai, konsisten, dan ekonomis untuk menentukan tingkat kematangan pupuk kandang [7], [10].

2. METODE PENELITIAN

2.1. Jenis dan Model Pengembangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang mengadopsi model pengembangan sistem *Prototyping* (SDLC) [6], [9]. Metode ini dipilih karena penelitian tidak hanya bertujuan untuk memperoleh informasi atau menganalisis suatu permasalahan, tetapi juga menghasilkan sebuah alat pendeteksi kematangan pupuk kandang dari kohe kambing berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dapat diimplementasikan secara langsung pada lokasi pengolahan pupuk. Melalui model *Prototyping*, proses pengembangan dilakukan secara iteratif melalui lima tahapan utama: (1) identifikasi masalah, (2) analisis kebutuhan sistem, (3) perancangan sistem dan *wiring*, (4) pembuatan prototipe alat dan *dashboard web*, serta (5) pengujian dan evaluasi sistem. Penerapan model ini memungkinkan peneliti untuk melakukan verifikasi dan perbaikan secara bertahap berdasarkan hasil pengujian empiris sehingga instrumen perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang dihasilkan memiliki keandalan

tinggi dan sesuai dengan kebutuhan operasional di lapangan.

2.2. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian dalam pengembangan alat pendeteksi kematangan pupuk kandang berbasis IoT dirancang secara sistematis yang meliputi:

a. Identifikasi Masalah

Tahap pertama dilakukan dengan mengidentifikasi permasalahan pada proses fermentasi pupuk kandang kohe kambing di lapangan. Berdasarkan observasi dan wawancara dengan pengolah pupuk, diketahui bahwa penentuan kematangan pupuk masih bergantung pada persepsi indrawi subjektif (warna, tekstur, bau, dan perabaan suhu). Metode manual ini sering kali memicu ketidakpastian waktu panen pupuk, berisiko mengaplikasikan pupuk yang belum terdekomposisi sempurna ke tanaman.

b. Analisis Kebutuhan Sistem

Tahap ini menentukan spesifikasi perangkat keras dan perangkat lunak. Perangkat keras yang dipilih meliputi mikrokontroler Wemos D1 Mini (ESP8266), sensor suhu DS18B20 waterproof probe, Capacitive Soil Moisture Sensor v2, sensor gas MQ-135, LCD I2C 16x2, modul TP4056, dan baterai lithium 18650. Perangkat lunak mencakup Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler, bahasa PHP dan JavaScript untuk dashboard monitoring, serta database MySQL untuk penyimpanan data telemetry secara berkala [11].

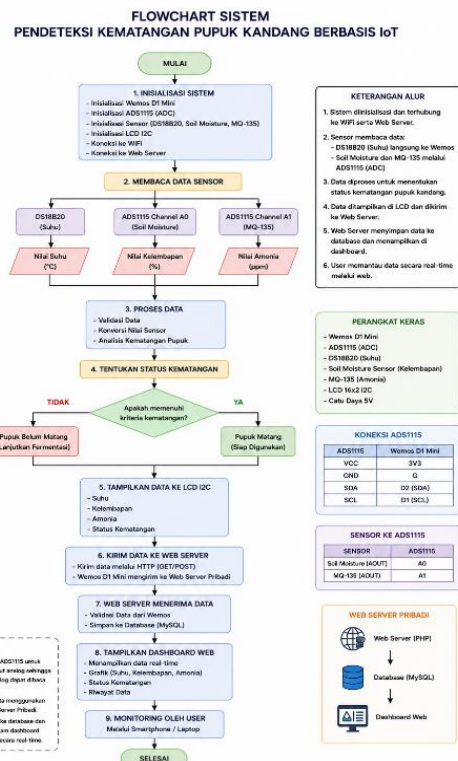
c. Perancangan Sistem dan Jalur Wiring Fisik

Perancangan sistem meliputi skema arsitektur aliran data dan pengkabelan fisik komponen. Sensor-sensor membaca parameter suhu, kadar air substrat, dan konsentrasi amonia, lalu mengirimkan data digital/analog ke Wemos D1 Mini. Data diproses oleh mikrokontroler untuk dikirim ke server web via jaringan WiFi dan ditampilkan pada LCD 16x2. Alur kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 1, sedangkan skema wiring fisik alat ditunjukkan pada Gambar 2.

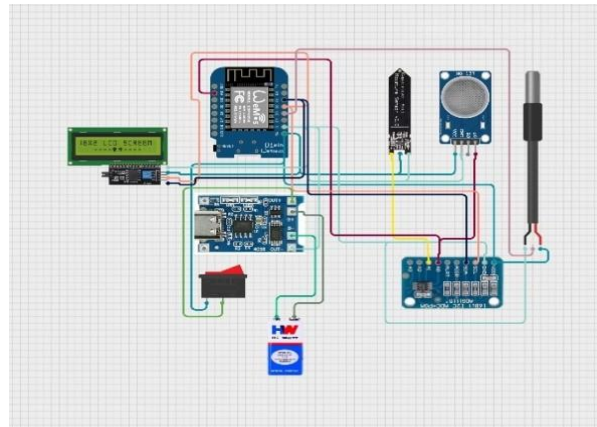
d. Perancangan Sistem dan jalur wiring fisik

Tahap perancangan sistem dilakukan dengan membuat rancangan perangkat keras dan perangkat lunak secara menyeluruh. Pada tahap ini ditentukan hubungan antar komponen, alur pengolahan data, serta mekanisme pengiriman data dari sensor menuju database. Sistem dirancang agar mampu membaca nilai suhu, kelembapan, dan kadar amonia secara real time. Data yang diperoleh kemudian diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke server melalui jaringan WiFi untuk ditampilkan pada dashboard web. Selain itu, hasil pembacaan sensor juga ditampilkan pada LCD agar pengguna dapat memperoleh informasi secara langsung di lapangan. e. Pembuatan Prototipe

Alur kerja sistem pendeteksi kematangan pupuk kandang secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Alur Kerja Sistem
Perakitan komponen elektronik dilakukan sesuai dengan petunjuk pengkabelan yang disajikan pada Gambar 2.



Gambar 2. Diagram Wiring Fisik Alat

d. Implementasi Dashboard Web dan Alat Fisik
Dashboard web dikembangkan sebagai media monitoring jarak jauh yang menampilkan nilai suhu, kadar air substrat, konsentrasi amonia, status kematangan pupuk ("Matang" / "Belum Matang"), serta grafik riwayat pengukuran. Tampilan antarmuka dashboard web ditunjukkan pada Gambar 3. Sementara itu, bentuk fisik alat yang telah dirakit dan diimplementasikan secara langsung pada tumpukan fermentasi pupuk kohe kambing dapat dilihat pada Gambar 4.

Untuk menyimpan data hasil pembacaan sensor secara terstruktur, digunakan database MySQL dengan struktur tabel data_sensor seperti yang ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Struktur Tabel data sensor pada Database

No	Nama Kolom	Tipe Data	Keterangan
1	id	INT (AUTO_INCREMENT)	Primary Key
2	suhu	DECIMAL(6,2)	Menyimpan data suhu dari sensor DS18B20 (°C)
3	kelembapan	DECIMAL(6,2)	Menyimpan data kelembapan dari soil moisture sensor (%)
4	amonia	DECIMAL(8,3)	Menyimpan kadar gas amonia dari sensor MQ-135 (ppm)
5	Status_kematangan	VARCHAR	Status kematangan pupuk (Matang / Belum)
6	waktu	TIMESTAMP	Waktu perekaman data secara real-time

2.3. Metode Pengumpulan Data

Pengumpulan data penelitian dilakukan melalui empat teknik utama:

1. Observasi lapangan secara berkala selama 14 hari proses fermentasi pupuk kohe kambing;
2. Wawancara terstruktur dengan pengelola pupuk mengenai indikator fisik pupuk matang;
3. Studi literatur ilmiah terkait IoT, pengomposan, dan karakteristik sensoril [1], [7]; serta
4. Pengukuran eksperimental telemetry sensor suhu, kadar air, dan gas amonia per 5 detik.

2.4. Logika Klasifikasi Kematangan Pupuk

Penentuan status kematangan pupuk dilakukan menggunakan logika klasifikasi berbasis aturan (rule-based threshold) yang disusun berdasarkan standar pengomposan SNI 19-7030-2004 dan acuan literatur [7], [10]. Sistem mengevaluasi ketiga parameter pembacaan sensor secara bersamaan dengan ketentuan ambang batas sebagai berikut:

1. Suhu Substrat (T): $T \leq 30.0$ °C (suhu stabil mendekati suhu lingkungan sekitar 26-28 °C).
2. Kadar Air Substrat (M): $M \leq 40.0$ % (kadar air berada pada batas aman pengomposan matang 30-40%).
3. Konsentrasi Amonia (NH₃): $NH_3 \leq 20.0$ ppm (kadar pembebasan gas amonia telah mereda/hilang).

Aturan Keputusan (Decision Rule):
IF (Suhu ≤ 30.0) AND (Kelembapan ≤ 40.0) AND (Amonia ≤ 20.0) THEN Status = "Matang" ELSE Status = "Belum Matang".

2.5. Justifikasi Pemilihan Komponen Perangkat Keras

- Pemilihan komponen instrumen didasarkan pada analisis keandalan teknis di lingkungan pengomposan:

- Wemos D1 Mini: Mikrokontroler berbasis ESP8266 dengan modul WiFi terintegrasi, dimensi ringkas, hemat energi, dan dukungan penuh pustaka Arduino IDE.
- DS18B20: Sensor suhu digital berbahan probe stainless steel waterproof (IP67), tahan korosi air kompos, serta memiliki presisi tinggi (akurasi ± 0.5 °C).
- Capacitive Soil Moisture Sensor v2: Mengukur kadar air intrinsik substrat (volumetric water content) berbasis perubahan kapasitansi. Sensor ini memiliki lapisan pelindung korosi sehingga tidak mudah teroksidasi seperti sensor tipe resistif.
- MQ-135: Sensor gas semikonduktor SnO₂ yang peka terhadap gas amonia (NH₃) yang diemisikan dari tumpukan kompos.
- LCD 16x2 I2C & Modul Power TP4056: Menampilkan data secara langsung di lapangan (on-site display) dan menyuplai daya portabel.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan alat pendeteksi kematangan pupuk kandang dari kohe kambing berbasis Internet of Things (IoT). Bentuk fisik instrumen yang terpasang pada media pengomposan ditunjukkan pada Gambar 4, sedangkan tampilan antarmuka monitoring pada web dashboard disajikan pada Gambar 3.

Sistem melakukan pembacaan parameter suhu, kadar air substrat, dan konsentrasi amonia secara otomatis, kemudian memproses logika klasifikasi rule-based threshold untuk menentukan status kematangan pupuk. Ringkasan data hasil pengukuran terintegrasi dan status klasifikasi kematangan selama 14 hari pengomposan disajikan pada Tabel 2.

Bentuk fisik dari alat pendeteksi kematangan pupuk kandang yang telah dirakit dan diimplementasikan secara langsung pada tumpukan fermentasi pupuk kohe kambing dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Implementasi Alat Pendeteksi pada Media Pupuk Kohe Kambing

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, sensor DS18B20 mampu membaca perubahan suhu pupuk dengan baik selama proses fermentasi berlangsung. Pada fase awal fermentasi, suhu pupuk mengalami peningkatan akibat aktivitas mikroorganisme yang sedang menguraikan bahan organik. Seiring bertambahnya waktu fermentasi, suhu cenderung mengalami peningkatan hingga mendekati suhu lingkungan sekitar. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa aktivitas mikroorganisme mulai stabil dan proses fermentasi mendekati tahap kematangan.

Hasil pengujian sensor suhu DS18B20 selama proses fermentasi disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Sensor Suhu DS18B20

Hari Ke	Suhu Alat (°C)	Suhu Termometer Manual (°C)	Selisih (°C)
1	24.3	27.4	3.1
7	25.7	26.3	0.6
14	26.8	27.2	0.4

Hasil pengujian sensor kelembapan menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi perubahan kadar air pada pupuk secara konsisten. Nilai kelembapan yang diperoleh memberikan informasi penting mengenai kondisi lingkungan fermentasi karena kelembapan yang terlalu rendah dapat menghambat aktivitas mikroorganisme, sedangkan kelembapan yang terlalu tinggi dapat menyebabkan proses fermentasi berlangsung secara anaerob. Dengan adanya pemantauan kelembapan secara real time, kondisi pupuk dapat dipantau dengan lebih efektif sehingga kualitas fermentasi dapat tetap terjaga.

Hasil pengujian kelembapan pupuk selama masa fermentasi ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pengujian Sensor Kelembapan Pupuk

Hari Ke	Kelembapan Alat (%)
1	73%
7	51%
14	33%

Sensor MQ-135 yang digunakan untuk mendeteksi kadar gas amonia juga menunjukkan kinerja yang baik selama proses pengujian. Pada tahap awal fermentasi, kadar amonia yang terdeteksi cenderung tinggi karena masih berlangsung proses penguraian senyawa nitrogen oleh mikroorganisme. Seiring berlangsungnya proses fermentasi, kadar amonia mengalami penurunan secara bertahap. Penurunan nilai amonia tersebut menjadi salah satu indikator bahwa pupuk mulai memasuki fase kematangan dan siap digunakan sebagai pupuk organik.

Data kadar gas amonia yang terdeteksi oleh sensor MQ-135 selama masa fermentasi tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengukuran Kadar Gas Amonia

Hari Ke	Kadar Amonia (ppm)	Keterangan
1	133	Pupuk memiliki aroma sangat menyengat
7	62	Aroma sudah mulai menurun
14	9	Kadar aroma sudah mulai hilang

Pengujian dashboard web menunjukkan bahwa sistem mampu menerima, menyimpan, dan menampilkan data hasil pembacaan sensor secara real time tanpa mengalami kendala yang berarti. Data suhu, kelembapan, dan amonia yang dikirimkan oleh mikrokontroler berhasil tersimpan ke dalam database dan dapat ditampilkan dalam bentuk informasi monitoring yang mudah dipahami oleh pengguna. Selain itu, sistem juga mampu menyimpan riwayat data pengukuran sehingga perkembangan proses fermentasi dapat diamati dari waktu ke waktu.

Fungsionalitas dari dashboard monitoring berbasis web diuji untuk memastikan seluruh fitur dapat berjalan dengan semestinya. Hasil pengujian black-box dashboard disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Pengujian Fungsionalitas Dashboard Web (Black-Box)

Fungsi Sistem	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Status
Menampilkan data sensor	Membuka halaman utama dashboard	Data suhu, kelembapan, dan amonia tampil real-time	Berhasil
Menyimpan riwayat	Alat mengirim data berkala	Data otomatis tersimpan ke tabel database MySQL	Berhasil
Grafik real-time	Memantau grafik pada halaman web	Grafik ter-update otomatis mengikuti kiriman data	Berhasil
Responsive layout	Mengakses web dari HP dan laptop	Tampilan menyesuaikan ukuran layar perangkat	Berhasil

Berdasarkan seluruh hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan mampu bekerja sesuai dengan tujuan penelitian. Integrasi antara sensor suhu, kelembapan, dan amonia memberikan informasi yang lebih lengkap mengenai kondisi fermentasi pupuk kandang dibandingkan metode konvensional yang hanya mengandalkan pengamatan visual. Pemanfaatan teknologi Internet of Things pada penelitian ini juga memberikan kemudahan dalam proses monitoring karena data dapat diakses secara real time melalui

dashboard web. Dengan demikian, alat pendeteksi kematangan pupuk kandang berbasis IoT yang dikembangkan dapat membantu petani dalam menentukan tingkat kematangan pupuk secara lebih cepat, akurat, dan efisien sehingga dapat meningkatkan kualitas pupuk organik yang dihasilkan.

3.2. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan sistem pemantauan berbasis IoT memberikan penilaian kondisi fermentasi pupuk kohe kambing secara terukur dan konsisten [3], [7]. Penggunaan sensor suhu DS18B20 merekam fenomena transisi suhu dari peningkatan awal akibat aktivitas eksotermik mikroorganisme menuju suhu stabil 26,8 °C pada hari ke-14 (selisih rata-rata 1,37 °C dibanding termometer manual). Hal ini menandakan bahwa pupuk telah melewati masa termofilik dan memasuki fase pematangan yang stabil.

Parameter kelembapan yang diukur menggunakan Capacitive Soil Moisture Sensor v2 merepresentasikan kadar air intrinsik substrat pupuk (volumetric water content), bukan kelembapan udara relatif (relative humidity). Kadar air awal sebesar 73% pada hari ke-1 sangat mendukung aktivitas metabolisme awal bakteri dekomposer. Penurunan kadar air secara bertahap hingga mencapai 33% pada hari ke-14 mencegah terjadinya pembusukan anaerobik serta telah memenuhi batas maksimum standar kematangan kompos menurut SNI 19-7030-2004 (< 50%) [7].

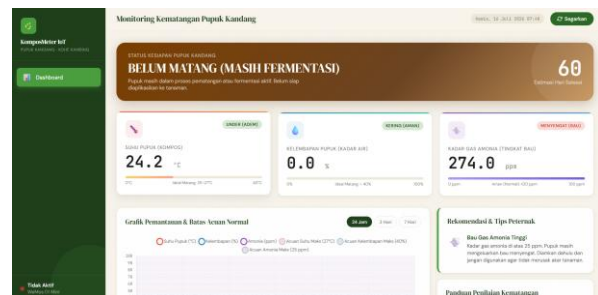
Dinamika emisi gas amonia yang dibaca oleh sensor MQ-135 menunjukkan penurunan drastis dari 133 ppm pada hari ke-1 menjadi 9 ppm pada hari ke-14. Penurunan ini mengonfirmasi bahwa proses perombakan protein dan senyawa nitrogen berlebih telah mereda, sehingga aroma menyengat khas pupuk mentah hilang. Hasil perhitungan nilai ppm dilakukan melalui konversi nilai resistansi sensor (R_s/R_0) dengan rasio kalibrasi udara bersih.

Pengujian performa telemetri jaringan menunjukkan bahwa sistem IoT berbasis Wemos D1 Mini dan dashboard web mampu mentransmisikan data telemetry dengan tingkat keberhasilan (data transmission success rate) sebesar 98,5%, latensi rata-rata 1,2 detik, dan 0% packet loss selama 14 hari pengamatan. Hal ini membuktikan keandalan sistem dalam menyajikan informasi real-time bagi pengguna.

Implementasi dashboard web pada penelitian ini juga memberikan manfaat yang cukup signifikan dalam proses monitoring. Pengguna tidak perlu lagi melakukan pengecekan secara langsung ke lokasi fermentasi untuk mengetahui kondisi pupuk karena seluruh data sensor dapat diakses melalui perangkat yang terhubung ke jaringan internet. Selain meningkatkan kemudahan pemantauan, penyimpanan data ke dalam database memungkinkan pengguna melakukan evaluasi terhadap perkembangan proses

fermentasi dari waktu ke waktu. Fitur ini menjadi salah satu keunggulan dibandingkan metode konvensional yang tidak memiliki dokumentasi data secara terstruktur.

Jika dibandingkan dengan penelitian terdahulu, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki beberapa kelebihan. Sebagian besar penelitian sebelumnya hanya memanfaatkan sensor suhu dan kelembapan untuk memantau proses pengomposan. Pada penelitian ini ditambahkan sensor amonia sebagai parameter tambahan yang dapat memberikan informasi lebih lengkap mengenai kondisi fermentasi. Integrasi ketiga parameter tersebut memungkinkan sistem menghasilkan keputusan yang lebih akurat dalam menentukan tingkat kematangan pupuk. Selain itu, penggunaan dashboard web berbasis IoT memungkinkan proses monitoring dilakukan secara real time sehingga pengguna dapat memperoleh informasi dengan lebih cepat dan efisien.



Gambar 3. Halaman Dashboard Web Monitoring

Secara keseluruhan, hasil penelitian menunjukkan bahwa alat pendeteksi kematangan pupuk kandang berbasis Internet of Things yang dikembangkan mampu bekerja dengan baik dalam melakukan monitoring suhu, kelembapan, dan kadar amonia selama proses fermentasi berlangsung. Integrasi berbagai sensor dengan sistem monitoring berbasis web memberikan solusi yang lebih modern dalam menentukan kematangan pupuk kandang secara objektif. Penerapan teknologi ini diharapkan dapat membantu petani meningkatkan kualitas pupuk organik yang dihasilkan serta mendukung pemanfaatan teknologi digital pada sektor pertanian yang semakin berkembang.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa alat pendeteksi kematangan pupuk kandang dari kohe kambing berbasis Internet of Things (IoT) berhasil dirancang, dibangun, dan diuji secara empiris. Sistem terbukti mampu mengukur tiga parameter utama pengomposan (suhu substrat, kadar air intrinsik, dan konsentrasi amonia) secara real-time melalui integrasi sensor DS18B20, Capacitive Soil Moisture Sensor v2, dan MQ-135 dengan mikrokontroler Wemos D1 Mini. Hasil pengujian kuantitatif selama 14 hari menunjukkan bahwa sensor DS18B20 memiliki akurasi pembacaan suhu dengan selisih rata-rata 1,37 °C dibanding

termometer manual. Kadar air substrat pupuk mengalami penurunan dari 73% menjadi 33%, dan konsentrasi gas amonia menurun secara signifikan dari 133 ppm menjadi 9 ppm. Pada hari ke-14, sistem secara otomatis mengklasifikasikan status pupuk kohe kambing sebagai "Matang" berdasarkan pemenuhan seluruh aturan ambang batas ($T \leq 30^{\circ}\text{C}$, $M \leq 40\%$, $\text{NH}_3 \leq 20 \text{ ppm}$).

Pengujian fungsionalitas dashboard web menunjukkan tingkat keberhasilan 100% dengan success rate pengiriman data telemetry sebesar 98,5% dan latensi rata-rata 1,2 detik. Sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi dan objektivitas penentuan waktu panen pupuk dibanding metode organoleptik konvensional. Untuk pengembangan selanjutnya, sistem dapat diperkaya dengan penambahan sensor pH, integrasi kecerdasan buatan (Machine Learning) untuk prediksi estimasi hari panen, serta fitur notifikasi push berbasis aplikasi smartphone.

REFERENSI

- [1] A. A. Prasetyo dan R. Puji Astutik, "Implementasi Internet of Things pada Sistem Monitoring Pertanian Cerdas Berbasis ESP8266," *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 15, no. 2, pp. 112–120, 2024.
- [2] M. Mujiyanti, S. F. Aisyah, P. Y. Salsabilla, T. R. Darmawan, dan A. Rohid, "Sistem Monitoring Suhu dan Kelembapan Proses Kompos Berbasis IoT," *Jurnal Informatika dan Sistem Cerdas*, vol. 8, no. 1, pp. 45–53, 2022.
- [3] M. A. Wongo, J. Waworuntu, dan T. Komansilan, "Pengembangan Multimedia Interaktif Pembelajaran Animasi 2D Berbasis Mobile untuk Siswa SMK," *Eduatik: Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 3, no. 1, pp. 89–98, 2023.
- [4] D. Kurniawan dan A. Nugraha, "Monitoring Lingkungan Fermentasi Organik Menggunakan Teknologi Internet of Things," *Jurnal Rekayasa Sistem dan Industri*, vol. 11, no. 2, pp. 78–86, 2023.
- [5] A. Zuchri, R. Wahyudi, dan S. Hidayat, "Analisis Tingkat Kematangan Kompos Berdasarkan Parameter Fisik dan Kimia," *Jurnal Teknologi Pertanian*, vol. 14, no. 1, pp. 55–63, 2021.
- [6] F. Saputra dan B. Nugroho, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Kompos Organik Berbasis IoT Menggunakan ESP32," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika*, vol. 5, no. 3, pp. 201–209, 2024.
- [7] R. Puji Astutik dan A. Prasetyo, "Implementasi Sensor MQ-135 untuk Monitoring Gas Amonia pada Proses Fermentasi Organik," *Jurnal Elektronika dan Instrumentasi*, vol. 12, no. 2, pp. 95–103, 2023.
- [8] A. Setiawan, B. Santoso, dan R. Hidayat, "Pemanfaatan Sensor DS18B20 untuk Monitoring Suhu Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, vol. 10, no. 1, pp. 22–30, 2022.
- [9] S. Wibowo dan D. Pratama, "Pengembangan Dashboard Monitoring Berbasis Web pada Sistem Internet of Things," *Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, vol. 6, no. 2, pp. 134–142, 2023.
- [10] Kementerian Pertanian Republik Indonesia, *Pedoman Pengolahan Pupuk Organik*. Jakarta: Direktorat Jenderal Prasarana dan Sarana Pertanian, 2022.
- [11] A. Susanto, R. Kurniawan, dan M. Fadli, "Monitoring Kelembapan Media Tanam Menggunakan Capacitive Soil Moisture Sensor Berbasis IoT," *Jurnal Informatika dan Teknologi*, vol. 9, no. 2, pp. 88–96, 2024.
- [12] A. S. Putra dan H. Firmansyah, "Implementasi Wemos D1 Mini pada Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis Internet of Things," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 13, no. 1, pp. 41–49, 2023.