

Smart Green Environment: IoT Integration with Organic Fertilizer to Support Sustainable Environmental Management

Mutia Perwita Sari¹, Isnein Akbar²

^{1,2}Universitas Hamzanwadi, Pancor, Indonesia

Email: mutia.perwitasari@hamzanwadi.ac.id¹, isneinakbar@hamzanwadi.ac.id².

Received 7 April 2026 | Revised 15 April 2026 | Accepted 21 April 2026

ABSTRAK

Penataan lingkungan permukiman secara berkelanjutan saat ini menghadapi kendala akibat buruknya pengelolaan limbah organik rumah tangga dan tidak akuratnya metode perawatan tanaman konvensional yang memicu inefisiensi air. Penelitian ini bertujuan mengintegrasikan konsep rekayasa hijau melalui pemanfaatan pupuk organik dengan teknologi Internet of Things (IoT) untuk mengoptimalkan pemeliharaan tanaman. Metode penelitian diawali dengan survei lingkungan, pembuatan kompos dari limbah lokal menggunakan fermentasi EM4, serta perancangan alat kontrol otomatis berbasis mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor DHT11 dan soil moisture. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi sistem cerdas berbasis IoT dan pemanfaatan pupuk organik dari limbah rumah tangga berhasil memantau parameter lingkungan secara real-time melalui aplikasi Virtuino, mengotomatisasi penyiraman tanaman, meningkatkan efisiensi penggunaan air sebesar 40%, serta mendukung pengurangan volume sampah organik dan penghijauan lingkungan secara berkelanjutan

Kata kunci: Internet of Things, Smart Farming, Pupuk Organik, Monitoring Tanaman, Smart Environment, ESP32

ABSTRACT

Sustainable residential environmental management is currently facing challenges due to poor household organic waste management and the inaccuracy of conventional plant maintenance methods, which lead to inefficient water use. This study aims to integrate the concept of green engineering through the utilization of organic fertilizer and Internet of Things (IoT) technology to optimize plant maintenance. The research methodology began with an environmental survey, followed by the production of compost from local organic waste using EM4 fermentation and the design of an automatic control system based on the ESP32 microcontroller integrated with DHT11 and soil moisture sensors. The results demonstrate that the integration of an IoT-based intelligent system and organic fertilizer derived from household waste successfully monitored environmental parameters in real time through the Virtuino application, automated plant irrigation, improved water-use efficiency by 40%, and contributed to the reduction of organic waste volume and sustainable environmental greening

Keywords: Internet of Things, Smart Farming, Organic Fertilizer, Plant Monitoring, Smart Environment, ESP32

1. PENDAHULUAN

Penataan lingkungan berbasis keberlanjutan menjadi isu penting saat ini, terutama dalam menghadapi peningkatan limbah organik dan degradasi kualitas tanah di kawasan pemukiman. Limbah organik rumah tangga yang tidak dikelola secara optimal dapat menyebabkan pencemaran terhadap lingkungan sekitar [1]. Sampah organik rumah tangga sering kali belum dimanfaatkan secara maksimal, bahkan dibuang ke lingkungan sehingga berpotensi mencemari ekosistem. Di sisi lain, proses perawatan tanaman masih dilakukan secara manual tanpa data yang akurat sehingga menyebabkan inefisiensi penggunaan air dan pertumbuhan tanaman kurang optimal [2] [3].

Pada praktiknya, pemantauan kondisi tanaman masih dilakukan secara konvensional. Masyarakat melakukan penyiraman dan perawatan tanaman berdasarkan perkiraan visual dan pengalaman pribadi. Metode ini memiliki berbagai keterbatasan, di antaranya ketidakakuratan dalam mengetahui tingkat kelembapan tanah yang sebenarnya, ketidakaturan waktu penyiraman, serta penggunaan air yang cenderung berlebihan atau justru kurang [4]. Kondisi tersebut dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman menjadi tidak optimal, meningkatkan risiko tanaman layu, serta berdampak pada menurunnya hasil panen [5].

Di samping itu, dinamika iklim global dan fluktuasi cuaca yang tidak menentu turut menciptakan tantangan baru bagi masyarakat dalam pengelolaan lingkungan permukiman. Curah hujan yang tidak dapat diprediksi serta peningkatan suhu udara dapat memengaruhi kondisi tanah dan tanaman tanpa adanya sistem pemantauan yang akurat, masyarakat sering kali mengalami kesulitan dalam mengambil keputusan yang tepat terkait waktu penyiraman dan perawatan tanaman [6]. Hal ini menunjukkan bahwa diperlukan suatu pendekatan baru yang lebih efektif dan berbasis teknologi.

Melalui pemanfaatan data *real-time*, kemajuan teknologi seperti *IoT* memberikan kesempatan baru dalam berbagai bidang dalam menyelesaikan kendala tersebut lewat sistem pemantauan dan pengendalian otomatis. [7]. Integrasi antara pemanfaatan pupuk organik dan teknologi *IoT* menjadi pendekatan inovatif dalam menciptakan konsep smart green environment, yaitu lingkungan hijau yang dikelola secara cerdas dan berkelanjutan. *IoT* juga berkontribusi terhadap pencapaian tujuan pembangunan berkelanjutan, khususnya pada sektor pertanian dan lingkungan [8]. Beberapa studi terdahulu telah mengembangkan teknologi mengenai kondisi lingkungan seperti kualitas suhu, udara, kelembapan yang dapat digunakan untuk pengambilan keputusan lebih cepat dan akurat dalam merancang kebijakan yang mendukung kelestarian alam sekaligus meningkatkan efisiensi alokasi sumber daya [9]. Penelitian yang lain mengemukakan, integrasi *IoT* dalam sistem irigasi berbasis dapat mengurangi penggunaan air hingga 50% tanpa mengorbankan hasil panen, sementara pemantauan nutrisi yang presisi memungkinkan pengurangan input pupuk sebesar 20–40%[10].

Penerapan *IoT* dalam pertanian dikenal dengan istilah smart farming, yang bertujuan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan keberlanjutan sektor pertanian. Dengan memanfaatkan teknologi *IoT*, kondisi tanaman seperti kelembapan tanah dan suhu lingkungan dapat dipantau secara terus-menerus tanpa harus dilakukan secara manual [11]. Data yang diperoleh dari sensor mampu menjadi landasan utama dalam menentukan kebijakan atau tindakan yang lebih akurat [12] [13], misalnya dalam menentukan waktu penyiraman yang optimal. Hal ini tidak hanya membantu meningkatkan pertumbuhan tanaman, tetapi juga dapat menghemat penggunaan air dan tenaga.

Berdasarkan permasalahan tersebut dilakukannya perancangan dan implementasi *system control* dan monitoring tanaman berbasis *IoT* dan pemanfaatan limbah organik rumah tangga maupun limbah pertanian yang tidak dikelola dengan baik untuk meminimalisir timbulnya pencemaran lingkungan dan kualitas kebersihan di Lombok Timur khususnya di desa pringgesela. Desa pringgesela merupakan

wilayah hasil pemekaran yang membutuhkan perhatian dalam peningkatan kualitas lingkungan dan tata ruang permukiman.

Pertumbuhan vegetatif tanaman secara optimal sangat bergantung pada pemilihan media tanam serta kestabilan parameter suhu dan kelembapan tanah. Media tumbuh yang ideal wajib menyuplai kecukupan unsur hara sekaligus menjaga kondisi lingkungan mikro di sekitar akar tetap seimbang. Oleh sebab itu, kombinasi penggunaan pupuk organik dengan sistem pemantauan dan kontrol otomatis hadir sebagai solusi ekologis yang efektif meningkatkan kesuburan tanah, menekan ketergantungan pada bahan kimia, serta menghemat alokasi air dan tenaga kerja.

Penelitian ini bertujuan untuk mengolah limbah organik rumah tangga menjadi pupuk organik menggunakan EM4, selain itu, penelitian ini merancang sistem monitoring dan kontrol tanaman berbasis IoT menggunakan ESP32. dan tujuan penelitian yang terakhir yaitu mengintegrasikan pengelolaan limbah organik dan teknologi IoT dalam mendukung penataan lingkungan berkelanjutan.

Pengelolaan limbah organik rumah tangga yang tidak optimal menyebabkan peningkatan volume sampah dan pencemaran lingkungan. Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah mengubah limbah organik menjadi pupuk melalui proses dekomposisi menggunakan aktivator EM4 [14]. Agar pemanfaatan pupuk organik lebih optimal, diperlukan sistem monitoring berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu mengontrol kondisi lingkungan tanaman secara otomatis. Oleh karena itu, penelitian ini mengintegrasikan pengolahan limbah organik dan teknologi ESP32 dalam konsep *Smart Green Environment* [15].

Proses pembuatan pupuk organik dapat dipercepat dengan bantuan mikroorganisme efektif, seperti EM4, yang berfungsi untuk mempercepat proses dekomposisi bahan organik. Penggunaan EM4 dalam pengolahan pupuk organik terbukti dapat meningkatkan kualitas pupuk serta mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal [16]. Selain itu perancangan sistem bekerja dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, yang terhubung dengan beberapa sensor dan aktuator. Data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan ke aplikasi monitoring sehingga dapat diakses oleh pengguna melalui smartphone.

Beberapa penelitian terdahulu telah mengembangkan sistem irigasi otomatis berbasis *Internet of Things* untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air. Dong [15] mengembangkan sistem precision irrigation berbasis sensor kelembapan tanah yang mampu mengurangi penggunaan air secara signifikan. Dalam tulisannya Aditya merancang sistem monitoring lingkungan pertanian berbasis ESP32 dan aplikasi mobile untuk pemantauan suhu serta kelembapan tanah secara *real-time* [17]. Penelitian lain oleh Akhtar et al [18] menunjukkan bahwa sistem irigasi pintar berbasis IoT mampu meningkatkan efisiensi penyiraman hingga 50%.

Meskipun demikian, sebagian besar penelitian tersebut hanya berfokus pada aspek otomasi penyiraman dan belum mengintegrasikan pengelolaan limbah organik sebagai bagian dari sistem pertanian berkelanjutan [19] [20]. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan kebaruan melalui integrasi pemanfaatan pupuk organik hasil fermentasi limbah rumah tangga dengan sistem monitoring dan kontrol tanaman berbasis IoT dalam konsep *Smart Green Environment*.

Berbeda dengan penelitian terdahulu yang cenderung memisahkan kajian otomatisasi pertanian dan pengolahan limbah organik [21] [22], kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi hulu-hilir melalui pemanfaatan pupuk organik hasil fermentasi limbah lokal sebagai media tanam yang dikontrol secara presisi menggunakan teknologi IoT berbasis ESP32.

Oleh sebab itu, penelitian ini tidak hanya menitikberatkan pada sistem monitoring tanaman berbasis Internet of Things, tetapi juga mengintegrasikan pemanfaatan pupuk organik dari limbah rumah tangga dalam konsep *smart green environment* berbasis keberlanjutan pada skala permukiman Masyarakat.

2. METODOLOGI

2.1 Ruang Lingkup Penelitian

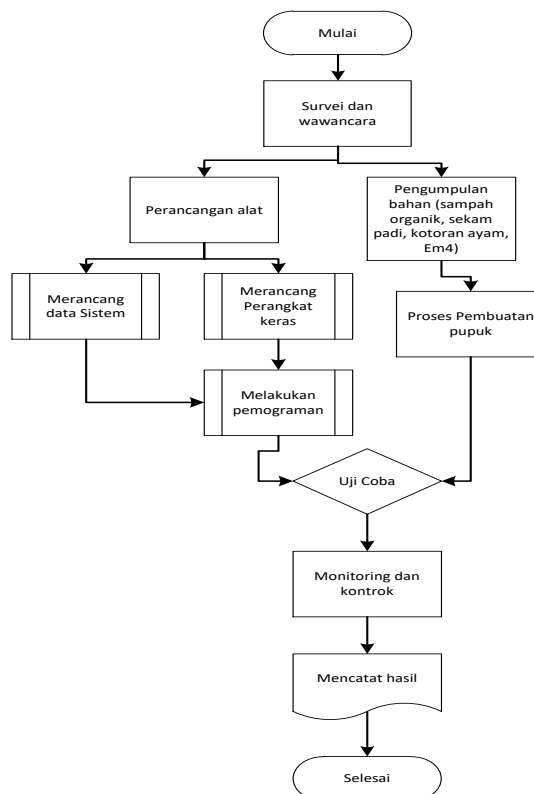
Penelitian ini dilakukan di desa Pringgesela Selatan. Limbah yang digunakan berupa sampah organik rumah tangga dengan menggunakan sistem monitoring berupa sensor DTH11 dan soil moisture. System hanya mengontrol penyiraman tanaman dan suhu kelembapan tanah. Monitoring dilakukan melalui aplikasi virtuino. Pengujian dilakukan pada satu media tanam skala rumah tangga.

2.2 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa fase sistematis, di mana seluruh alur dan tahapan kerja tersebut disajikan secara mendetail pada Gambar 1.

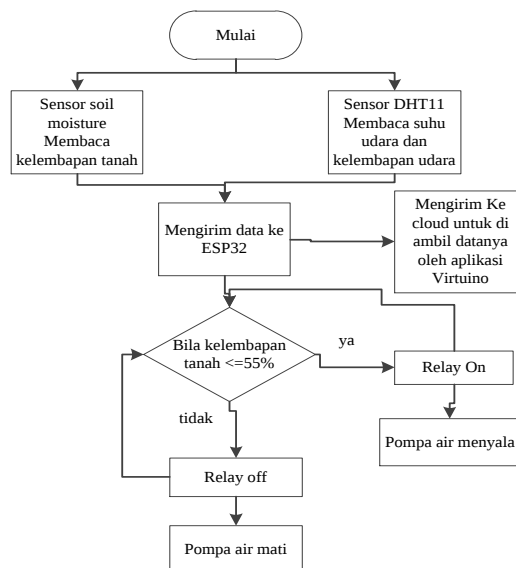
Terdapat langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini meliputi kegiatan survei dan wawancara dengan kepala desa serta masyarakat setempat. Selain itu wawancara dilakukan untuk memperoleh informasi mengenai permasalahan yang sering terjadi, sedangkan survei bertujuan untuk mengamati kondisi lingkungan permukiman secara langsung.

Setelah melaksanakan survei, peneliti melakukan pengumpulan bahan sebagai tahap awal pembuatan pupuk organik, kemudian melanjutkan proses pembuatan pupuk tersebut. Selain itu, peneliti juga merancang sistem kontrol dan monitoring tanaman melalui proses perakitan komponen mikrokontroler, melakukan pengujian terhadap fungsi alat yang telah dibuat, mencatat data hasil pengujian, serta melaksanakan analisis data untuk memperoleh kesimpulan penelitian.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Komponen – komponen yang di perlukan di tungakan dalam Tabel 1. yang memuat rincian perangkat keras yang digunakan dalam perancangan sistem penataan lingkungan cerdas (*smart green environment*) beserta fungsinya masing-masing.



Gambar 2. Logika Sistem

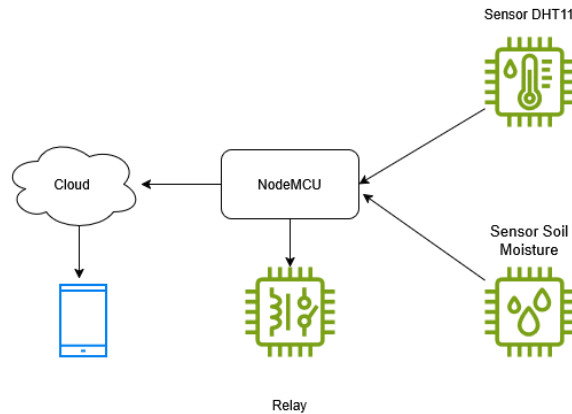
Gambar 2. menunjukan *Flowchart* logika kerja sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT, yang dimulai dari pembacaan nilai kelembapan tanah oleh *soil moisture* sensor serta suhu dan kelembapan udara oleh sensor DHT11. Data dari kedua sensor tersebut kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32, lalu diteruskan ke *cloud* agar dapat diakses oleh aplikasi Virtuino untuk keperluan pemantauan. Selanjutnya, sistem akan mengecek kondisi kelembapan tanah; jika nilainya berada di bawah atau sama dengan 55%, maka relay akan aktif (*On*) untuk menyalakan pompa air. Sebaliknya, jika kelembapan tanah sudah melebihi 55%, relay akan *dinonaktifkan* (*Off*) sehingga pompa air mati, dan sistem akan terus mengulang siklus pengecekan tersebut secara otomatis.

Tabel 1. Spesifikasi Perangkat

No	Komponen	Fungsi	Spesifikasi
1	ESP32 Devkit V1	Mikrokontroler	Dual Core 240 MHz
2	DHT11	Sensor suhu dan kelembapan	0-50 °C; 20-90% RH
3	Capacitive <i>Soil Moisture</i> sensor	Sensor kelembapan tanah	3,3-5 V
4	Relay 1 Channel	Kontrol Pompa	5V
5	Pompa Mini DC	Penyiraman Otomatis	5V;3 wahh;debit 120 L/jam
6	Adaptor	Mengubah tegangan Listrik	5V; 2A

2.2 Alur Perancangan Data system

Gambar 3 menunjukan diagram arsitektur sistem *Internet of Things* (IoT) untuk pemantauan dan kontrol tanaman, di mana NodeMCU bertindak sebagai pusat pemrosesan data utama. NodeMCU memperoleh pasokan data parameter lingkungan secara langsung lewat sensor DHT11 sebagai penilai suhu dan kelembapan udara, serta diperkuat oleh sensor *soil moisture*. untuk memantau kadar air di dalam tanah. Berdasarkan data yang diterima, NodeMCU mengirimkan sinyal keluaran untuk mengendalikan Relay yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk mengaktifkan aktuator. Selain itu, NodeMCU meneruskan data sensor tersebut ke jaringan *cloud* (internet), yang kemudian dialirkan ke perangkat *smartphone* agar pengguna dapat memonitor kondisi tanaman secara jarak jauh.



Gambar 3. Alur Perancangan Data System

2.3 Perancangan Alat

Sistem *Smart Green Environment* ini mengintegrasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) berbasis mikrokontroler ESP32 dengan pemanfaatan pupuk organik dari limbah rumah tangga untuk menciptakan penataan lingkungan yang berkelanjutan di Desa Pringgasela Selatan. Mekanisme kerja sistem dimulai dari aplikasi Virtuino yang memungkinkan pengguna memantau data kelembapan tanah dan suhu secara *real-time* serta memilih mode operasional manual atau otomatis [15], [16]. Secara teknis, perangkat keras akan melakukan pembacaan sensor dan validasi data untuk mengontrol status pompa air melalui modul relay, yang kemudian statusnya diperbarui kembali ke aplikasi guna memastikan pemeliharaan tanaman.

2.4 Perancangan Alat Sensor Soil dengan ESP32

Tahap perancangan perangkat keras diawali dengan mengintegrasikan komponen DHT11 yang bertugas memantau perubahan suhu sekaligus kondisi kelembapan udara pada lingkungan mikro di sekeliling tanaman. Sensor DHT11 bekerja secara digital dengan mengirimkan data suhu dan kelembapan dalam bentuk sinyal digital melalui satu jalur data (*single-wire communication*). Data yang dihasilkan oleh sensor ini sudah terkalibrasi secara internal sehingga dapat langsung dibaca oleh mikrokontroler tanpa memerlukan pengolahan sinyal analog tambahan.

Sinyal analog yang dihasilkan oleh output dari sensor selanjutnya disalurkan ke mikrokontroler ESP32 memanfaatkan pin ADC (*Analog to Digital Converter*). Selanjutnya, ESP32 membaca sinyal tersebut dan mengubahnya menjadi data digital untuk diproses lebih lanjut. Hasil pembacaan sensor dimanfaatkan untuk mengidentifikasi kondisi tanah, apakah dalam keadaan kering, lembap, atau basah berdasarkan batas nilai yang telah ditentukan sebelumnya. Informasi tersebut menjadi dasar utama dalam mekanisme penyiraman otomatis, di mana ESP32 akan mengaktifkan pompa aliran air yang diatur lewat modul relay apabila tingkat kelembapan kondisi tanah telah melewati batas minimum yang ditentukan. Dengan demikian, sensor *soil moisture* memiliki peran penting dalam menjaga ketersediaan air bagi tanaman secara optimal sekaligus meningkatkan efisiensi penggunaan air pada sistem pertanian berbasis *Internet of Things*.

2.5 Rancangan Modul relay dengan ESP32

Pada rangkaian ini, Komponen relay difungsikan sebagai sakelar elektronik otomatis guna mengatur pergerakan beban listrik berdaya tinggi, salah satu contohnya ialah alat pompa air dan kipas DC, menggunakan sinyal kendali dari mikrokontroler ESP32. Modul relay bekerja dengan prinsip elektromagnetik, di mana sinyal logika dari ESP32 akan mengaktifkan kumparan relay sehingga kontak relay berpindah dari kondisi terbuka (*Normally Open/NO*) ke kondisi tertutup, atau sebaliknya [17]. ESP32 mengirimkan sinyal digital melalui pin output untuk mengontrol kondisi aktif atau nonaktif relay.

Ketika pin output ESP32 berada pada kondisi logika *HIGH* atau *LOW* (tergantung konfigurasi modul relay), relay akan aktif dan mengalirkan arus listrik ke perangkat yang dikendalikan. Dalam sistem kontrol dan monitoring tanaman berbasis IoT, modul relay digunakan untuk mengontrol pompa air pada sistem penyiraman otomatis serta kipas DC untuk membantu pengaturan suhu dan sirkulasi udara. Hal tersebut menunjukkan bahwa integrasi sensor dan aplikasi digital mampu meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 40% [18]. Penggunaan modul relay memungkinkan pemisahan antara rangkaian kontrol bertegangan rendah (ESP32) dengan rangkaian beban bertegangan lebih tinggi, sehingga meningkatkan keamanan dan kestabilan sistem secara keseluruhan.

2.6 Pemasangan Alat

Pemasangan sistem pemantauan serta pengendalian kondisi tanaman memanfaatkan teknologi *Internet of Things* (IoT) dilakukan pada satu pot tanaman di area luar ruangan, dengan mikrokontroler ESP32 dan modul relay ditempatkan di samping pot dalam wadah pelindung agar aman dari gangguan lingkungan. Sensor *soil moisture* ditancapkan langsung ke media tanah untuk memperoleh data kelembapan secara akurat, sementara pompa air mini diletakkan dalam wadah air di bawah pot dan dihubungkan ke selang untuk penyiraman. Pompa dikendalikan oleh ESP32 melalui relay yang akan aktif saat tanah kering dan mati saat kelembapan tercapai. Sistem menggunakan sumber daya adaptor serta dapat dimonitor dan dikontrol melalui smartphone berbasis internet, sehingga memungkinkan pemantauan *real-time* dan penyiraman otomatis secara efisien dan praktis.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Lingkungan Pemukiman

Berdasarkan hasil observasi lapangan, kondisi lingkungan permukiman di Lombok timur khususnya di desa pringgesela masih memiliki ketersediaan lahan pekarangan yang cukup luas. Kondisi ini menunjukkan adanya potensi pemanfaatan ruang terbuka untuk kegiatan penataan lingkungan dan penghijauan.

Namun demikian, masih ditemukan permasalahan lingkungan berupa pengelolaan sampah rumah tangga yang belum optimal. Sebagian masyarakat masih membuang sampah, khususnya sampah organik, ke sungai meskipun telah tersedia layanan pengangkutan sampah menuju Tempat Pemrosesan Akhir (TPA) dengan jadwal pengangkutan rutin. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa permasalahan utama terletak pada perilaku dan kebiasaan masyarakat dalam mengelola sampah rumah tangga.

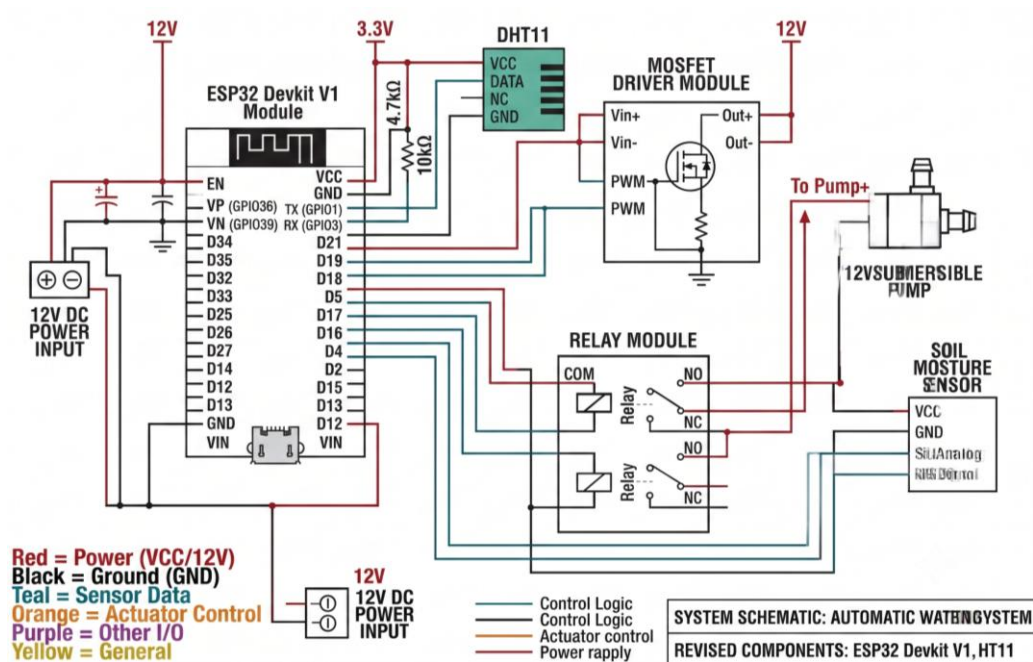
3.2 Pelaksanaan Pembuatan Kompos Organik

Kegiatan pembuatan kompos organik dilakukan dengan memanfaatkan sampah organik rumah tangga berupa sisa makanan dan daun kering. Bahan tambahan yang digunakan dalam proses pengomposan meliputi kotoran ayam, sekam padi, air, dan EM4 sebagai aktivator mikroorganisme. Proses pengomposan dilakukan secara sederhana dengan metode aerob, yang mudah diterapkan oleh masyarakat.

Selama proses pengomposan, dilakukan pemantauan terhadap kondisi bahan kompos, seperti tingkat kelembapan dan bau. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa penambahan EM4 dan kotoran ayam membantu mempercepat proses penguraian bahan organik. Kompos yang dihasilkan memiliki tekstur remah, berwarna coklat kehitaman, dan tidak menimbulkan bau menyengat, sehingga layak digunakan sebagai media tanam.

3.4 Cara Kerja Rangkaian Perangkat Keras

Rangkaian IoT ini dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 yang menghubungkan sensor kelembapan tanah pada pin analog D34 dan sensor DHT pada pin D4 untuk memantau kondisi lingkungan secara *real-time*. Mekanisme penyiraman otomatis bekerja ketika probe sensor *soil moisture* mendeteksi nilai ADC tanah yang tinggi (kelembapan rendah di bawah batas *threshold*), di mana ESP32 akan langsung mengirimkan sinyal kendali ke pin D26 untuk mengaktifkan modul relay. Aktifnya relay ini bertindak sebagai saklar elektronik yang mengalirkan daya listrik untuk menyalakan pompa air mini guna menyiram tanaman, dan pompa akan mati secara otomatis setelah tanah kembali basah serta mencapai tingkat kelembapan yang ditentukan. Seluruh data pemantauan tanah dan udara ini kemudian dikirimkan secara nirkabel melalui jaringan internet agar petani dapat memonitor status tanaman serta mengontrol pompa dari jarak jauh menggunakan aplikasi Virtuino. Rancangan Perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Diagram Elektronika Automatic Warning System

Kalibrasi sensor *soil moisture* dilakukan menggunakan metode gravimetri. Pengujian dilakukan dengan tiga kondisi media tanam, yaitu tanah kering, tanah lembap, dan tanah jenuh air. Setiap kondisi ditimbang untuk memperoleh kadar air aktual, kemudian dibandingkan dengan nilai ADC yang dibaca sensor. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa nilai ADC berbanding terbalik dengan kadar air tanah, sehingga persamaan konversi ADC ke persentase kelembapan dapat digunakan untuk monitoring secara *real-time*.

3.5 Implementasi alat monitoring dan control tanaman

Berdasarkan hasil implementasi serta pengujian yang telah dilakukan, hasil menunjukkan sistem monitoring dan kontrol tanaman berbasis *Internet of Things* (IoT) di Desa Pringgasela mampu beroperasi sesuai dengan desain yang telah direncanakan. Mikrokontroler ESP32 berhasil menghubungkan sensor *soil moisture*, sensor DHT11, modul relay, dan pompa air mini untuk memantau kondisi lingkungan tanaman sekaligus mengatur proses penyiraman secara otomatis maupun manual. Perangkat ini mampu mengidentifikasi kadar air dalam tanah sebagai acuan utama dalam menentukan volume penyiraman, sekaligus menyajikan visualisasi data suhu dan kelembapan udara secara seketika (*real-time*) lewat platform aplikasi Virtuino, serta mengaktifkan pompa air secara otomatis ketika tanah

berada dalam kondisi kering. Penerapan sistem ini membuat proses perawatan tanaman menjadi lebih efektif, membantu menghemat penggunaan air, dan mengurangi ketergantungan pada penyiraman manual. Dengan demikian, teknologi IoT memberikan solusi yang efisien dan inovatif dalam mendukung konsep pertanian cerdas dan berkelanjutan di Desa Pringgasea, Kabupaten Lombok Timur. Implementasi alat dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Implementasi Alat

Tabel 2. menunjukkan hasil monitoring lingkungan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilakukan secara berkala pada tanggal 2 April 2026 dengan parameter kelembaban tanah, suhu udara, kelembaban udara, dan status pompa otomatis. Data menunjukkan bahwa kelembaban tanah mengalami penurunan pada waktu tertentu, yaitu mencapai 55% pada pukul 10.00 dan 54% pada pukul 18.00, sehingga sistem secara otomatis mengaktifkan pompa air untuk menjaga kondisi tanah tetap optimal. Suhu udara cenderung meningkat pada siang hari hingga mencapai 30,5°C, sedangkan kelembaban udara menurun ketika suhu meningkat dan kembali naik pada malam hari. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem IoT mampu melakukan monitoring kondisi lingkungan secara *real-time* serta mengontrol penyiraman otomatis secara efisien untuk mendukung pengelolaan lingkungan dan pertumbuhan tanaman yang lebih optimal.

Tabel 2. Hasil Monitoring Lingkungan

Waktu & Tanggal	Kelembaban Tanah (%)	Suhu (°C)	Kelembaban Udara (%)	Pompa
06:00 / 02-04-2026	60	28.5	72	OFF
08:00 / 02-04-2026	58	29.0	70	OFF
10:00 / 02-04-2026	55	29.8	68	Pompa ON
12:00 / 02-04-2026	59	30.2	66	OFF
14:00 / 02-04-2026	61	30.5	65	OFF
16:00 / 02-04-2026	57	30.0	67	OFF
18:00 / 02-04-2026	54	29.5	69	Pompa ON
20:00 / 02-04-2026	58	29.0	70	OFF
22:00 / 02-05-2026	60	28.7	71	OFF

3.6 Pengujian Sensor Soil

Pada penelitian ini, nilai kelembapan tanah diperoleh dari konversi langsung data ADC sensor soil moisture. Kalibrasi fisik menggunakan metode gravimetri belum dilakukan sehingga nilai persentase kelembapan yang dihasilkan digunakan sebagai indikator relatif untuk keperluan kontrol penyiraman otomatis. Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa perubahan nilai ADC masih mampu membedakan kondisi tanah kering, lembap, dan basah secara konsisten.

Pengujian sensor soil dilakukan dengan cara membaca nilai ADC dari sensor kelembapan tanah yang terhubung pada pin analog ESP32. Nilai ADC pada ESP32 berada pada rentang 0–4095. Untuk memperoleh nilai kelembapan dalam bentuk persentase (%), digunakan rumus konversi sebagai berikut:

$$\text{soil \%} = 100 - \left(\frac{\text{ADC}}{4095} \right) \times 100 \quad (1)$$

Dengan rumus (1), nilai ADC tinggi (mendekati 4095) akan menghasilkan kelembapan rendah (kering), sedangkan nilai ADC rendah (mendekati 0) akan menghasilkan kelembapan tinggi (basah).

Tabel 3. Hasil Sensor Soil

Nilai ADC	Perhitungan Kelembaban (%)	Kategori
3800	$100 - (3800/4095 \times 100) = 7\%$	Kering
3200	$100 - (3200/4095 \times 100) = 22\%$	Kering
2600	$100 - (2600/4095 \times 100) = 36\%$	Lembab
2000	$100 - (2000/4095 \times 100) = 51\%$	Lembab
1500	$100 - (1500/4095 \times 100) = 63\%$	Basah
1000	$100 - (1000/4095 \times 100) = 76\%$	Basah
500	$100 - (500/4095 \times 100) = 88\%$	Basah

Tabel 3. menunjukkan hubungan antara nilai ADC dari sensor kelembapan tanah dengan persentase kelembapan tanah yang dihitung menggunakan rumus $100 - (\text{nilai ADC}/4095 \times 100)$. Semakin tinggi nilai ADC yang terbaca, maka persentase kelembapan semakin rendah sehingga kondisi tanah dikategorikan kering, seperti pada nilai ADC 3800 dan 3200 yang menghasilkan kelembapan 7% dan 22%. Sebaliknya, semakin rendah nilai ADC maka persentase kelembapan meningkat karena kandungan air dalam tanah lebih banyak, seperti pada nilai ADC 1500, 1000, dan 500 yang termasuk kategori basah dengan kelembapan 63% hingga 88%. Data ini menunjukkan bahwa sensor bekerja secara berbanding terbalik, yaitu nilai ADC menurun ketika kondisi tanah semakin lembab atau basah.

3.7 Pengaruh Pupuk Organik Terhadap Pembaca Sensor

Penggunaan pupuk organik hasil fermentasi limbah rumah tangga dapat meningkatkan kandungan ion terlarut dan konduktivitas listrik pada media tanam. Kondisi ini berpotensi memengaruhi pembacaan sensor *soil moisture* tipe resistif karena sensor bekerja berdasarkan perubahan resistansi listrik tanah. Dalam jangka panjang, akumulasi ion dan kelembapan yang tinggi juga dapat mempercepat korosi pada probe sensor. Oleh karena itu, untuk implementasi jangka panjang disarankan menggunakan sensor kelembapan tanah tipe kapasitif (*capacitive soil moisture sensor*) yang memiliki ketahanan lebih baik terhadap korosi dan lebih stabil terhadap perubahan konduktivitas tanah akibat aplikasi pupuk organik. Hasil pemanfaatan lingkungan berbasis pupuk organik terbukti mengurangi pencemaran lingkungan, meningkatkan kesuburan tanah dan mendukung penghijauan lingkungan.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi pemanfaatan pupuk organik dari limbah rumah tangga dengan teknologi Internet of Things (IoT) berbasis ESP32 berhasil mendukung konsep *Smart Green Environment* dalam pengelolaan lingkungan berkelanjutan. Limbah organik rumah tangga berhasil diolah menjadi pupuk organik menggunakan EM4 sehingga dapat dimanfaatkan sebagai media tanam sekaligus mengurangi potensi pencemaran lingkungan akibat penumpukan sampah organik. Selain itu, sistem monitoring dan kontrol tanaman berbasis sensor *soil moisture* dan DHT11 mampu memantau kelembapan tanah, suhu, dan kelembapan udara secara *real-time* melalui aplikasi Virtuino serta mengotomatisasi proses penyiraman berdasarkan kondisi kelembapan tanah. Implementasi sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air, mengurangi ketergantungan pada penyiraman manual, serta mendukung pertumbuhan tanaman yang lebih optimal.

Dengan demikian, penelitian ini berhasil menjawab permasalahan mengenai pengelolaan limbah organik dan inefisiensi perawatan tanaman melalui integrasi teknologi IoT dan pemanfaatan pupuk organik sebagai solusi inovatif yang mendukung penataan lingkungan permukiman secara berkelanjutan. Namun, penelitian ini masih terbatas pada skala satu media tanam dan belum menguji keandalan sistem dalam penggunaan jangka panjang maupun pada lahan yang lebih luas, sehingga pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk meningkatkan kinerja dan penerapan sistem secara lebih komprehensif

4.1 Saran

Pihak pemerintah desa atau instansi terkait disarankan mengadopsi model *Smart Green Environment* ini sebagai program percontohan untuk mendukung ketahanan pangan mikro dan digitalisasi sektor agrikultur. Selain itu, Peningkatan Kualitas Hardwar mengganti sensor dengan jenis kapasitif (*capacitive soil moisture sensor*) yang lebih tahan korosi serta menambahkan sensor pH tanah untuk analisis nutrisi yang lebih komprehensif.

Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menggunakan sensor kelembapan tanah tipe kapasitif, sensor pH tanah, sensor Electrical Conductivity (EC), serta integrasi sistem berbasis *cloud computing* dan *machine learning* untuk memprediksi kebutuhan air tanaman secara otomatis. Pengujian pada skala lahan yang lebih luas dan dalam periode yang lebih panjang juga diperlukan untuk mengetahui keandalan sistem secara berkelanjutan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Akdemir Evrendilek, "Valorization of Seafood Processing Byproducts for Sustainable Fertilization: Opportunities and Food Safety Considerations in Agriculture 4.0," Feb. 01, 2026, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su18042064.
- [2] Ferdinan, "Optimizing Household Organic Waste Management In Support Of Sustainable Household Waste Management In Bekasi City, Indonesia," *Waste, Society and Sustainability*, vol. 1, no. 1, Feb. 2024, doi: 10.61511/wass.v1i1.2024.585.
- [3] Y. Dong, B. Werling, Z. Cao, and G. Li, "Implementation of an In-Field Iot System for Precision Irrigation Management," *Frontiers in Water*, vol. 6, 2024, doi: 10.3389/frwa.2024.1353597.
- [4] R. Sreeram, S. Adithya Krishna, A. S. Kumar, S. Remya, and Y. Y. Cho, "Soil Moisture Monitoring Technologies in Smart Agriculture: A Comprehensive Review," *Farming System*, p. 100189, Apr. 2025, doi: 10.1016/j.farsys.2025.100189.
- [5] Md. A. K. Akhtar *et al.*, "Smart Irrigation for Sustainable Farming: Low- Cost IoT Solution," Aug. 07, 2024. doi: 10.21203/rs.3.rs-4720649/v1.

- [6] Z. X. Sun, C. C. Zhang, J. L. Dong, and Y. Y. Jiang, "Climate Change and Agriculture—Sustainable Plant Production," Jun. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/agronomy14061236.
- [7] Mauli Fathia Zahra and Muhammad Irwan Padli Nasution, "Manajemen Data *Real-Time* untuk Aplikasi *Internet Of Things* (IOT)," *Jurnal Penelitian Sistem Informasi (JPSI)*, vol. 2, no. 2, pp. 111–120, May 2024, doi: 10.54066/jpsi.v2i2.1917.
- [8] G. Cahyo Handoyo, G. Herdiansyah, and M. Nufus, "Interpretasi Data Iot (Internet Of Thing) dalam Pengembangan Pertanian Organik pada Kelompok Tani Albarokah Kabupaten Semarang," 2023.
- [9] A. Sakti Prayudo, Z. Rozaki, R. Wulandari, and A. Amalia, "Smart city dan IoT (*Internet of Things*) untuk Pemantauan lingkungan."
- [10] W. C. H.-W. K. Liwei Liu, "A Narrative Review on Smart Sensors and IoT Solutions for Sustainable Agriculture and Aquaculture Practices," May 2025.
- [11] B. Pandey and M. V. Malhotra, "A Review of IoT in Agriculture Systems: A Smart Farming Revolution," *Journal of Computational Analysis and Applications*, vol. 33, no. 6, p. 2024, doi: 10.48047/jocaaa.2024.33.06.66.
- [12] C. Kamienski *et al.*, "Smart Water Management Platform: Iot-Based Precision Irrigation for Agriculture," *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 2, Jan. 2019, doi: 10.3390/s19020276.
- [13] M. Perwita Sari and S. Septarini, "Optimasi Proses Fermentasi Tempe Berbasis IoT dalam Mengurangi Produk Cacat Menggunakan Pendekatan Lean Manufacturing dan Value Stream Mapping," *Jurnal PRINTER: Jurnal Pengembangan Rekayasa Informatika dan Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 128–132, Dec. 2025, doi: 10.29408/jprinter.v3i2.33203.
- [14] H. Wardany, N. Susilawati, S. Sumiatun, and Y. S. Rahayu, "Edukasi Kreatif Pengelolaan Limbah Organik Rumah Tangga Menjadi Pupuk Kompos," *Jurnal Altifani Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat*, vol. 6, no. 3, pp. 1290–1297, Apr. 2026, doi: 10.59395/altifani.v6i3.1154.
- [15] Y. Dong, B. Werling, Z. Cao, and G. Li, "Implementation of an in-field IoT system for precision irrigation management," *Frontiers in Water*, vol. 6, 2024, doi: 10.3389/frwa.2024.1353597.
- [16] K. Kompos *et al.*, "Compost Characteristics Of Fruit Peel Waste On Cv. Mahajaya Sangkara, Bali Food Industry With Effective Of Microorganism 4 (Em4) Concentration Treatment Karakteristik Kompos Dari Limbah Kulit Buah Pada Cv. Mahajaya Sangkara, Bali Food Industry Dengan Perlakuan Konsentrasi Effective Microorganism 4 (Em4)," 2024.
- [17] B. R. Aditya, E. Hernawati, T. Gunawan, and P. Aji, "Design an Agricultural Soil and Environment Monitoring System Based on IoT," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 6, pp. 2575–2589, Oct. 2024, doi: 10.47836/pjst.32.6.09.
- [18] Md. A. K. Akhtar *et al.*, "Smart Irrigation for Sustainable Farming: Low- Cost IoT Solution," Aug. 07, 2024. doi: 10.21203/rs.3.rs-4720649/v1.
- [19] B. R. Aditya, E. Hernawati, T. Gunawan, and P. Aji, "Design an Agricultural Soil and Environment Monitoring System Based on IoT," *Pertanika J. Sci. Technol.*, vol. 32, no. 6, pp. 2575–2589, Oct. 2024, doi: 10.47836/pjst.32.6.09.
- [20] K. M, S. K, P. Nagajothi, and S. G, "Crop Monitoring and Smart Farming Through Mobile App," *IRO Journal on Sustainable Wireless Systems*, vol. 6, no. 2, pp. 84–94, May 2024, doi: 10.36548/jsws.2024.2.001.
- [21] I. L. Laksono, P. Kynta, M. Fadli, V. Wijaya, and D. Hermanto, "Pemantauan Kelembaban tanah Berbasis IoT Menggunakan Sensor Soil Moisture," *Jurnal Algoritme*, vol. 5, no. 1, pp. 24–34, 2024, doi: 10.35957/algoritme.xxxx.
- [22] S. Safeer, G. De Mastro, and C. Pulvento, "IoT based climate smart agriculture succeeded by blockchain database—A bibliometric analysis," 2024, *Frontiers Media SA*. doi: 10.3389/fsufs.2024.1406871.