

# Integrasi IoT pada Lahan Tanaman Wakaf Sebagai Media Monitoring dan Alerting pada Tumbuh Kembang Bibit Pohon Mahoni

Septian Rico Hernawan<sup>1,\*</sup>, Irwan Novianto<sup>2</sup>, Fadmi Rina<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Fakultas Teknologi Informasi, Teknik Komputer, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

<sup>2</sup>Fakultas Teknologi Informasi, Teknik Elektro, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

<sup>3</sup>Fakultas Teknologi Informasi, Teknik Informatika, Universitas Nahdlatul Ulama Yogyakarta, Yogyakarta, Indonesia

Email: <sup>1,\*</sup>rico@unu-jogja.ac.id, <sup>2</sup>irwan@unu-jogja.ac.id, <sup>3</sup>rina@unu-jogja.ac.id

Email Penulis Korespondensi: rico@unu-jogja.ac.id

Submitted: 25/09/2024; Accepted: 30/11/2024; Published: 30/11/2024

**Abstrak**—Kerusakan lingkungan yang memprihatinkan di Indonesia adalah hilangnya lahan hijau secara massif beberapa tahun terakhir. Akibatnya, terjadi penurunan drastis terhadap kualitas udara yang turut berkontribusi terhadap timbulnya penyakit seperti stroke, jantung, paru-paru, bahkan cacat bawaan. Pelaksanaan kegiatan wakaf berbasis lingkungan dengan barang wakaf berupa pohon menjadi solusi yang dapat diambil karena praktis dan mudah dilakukan oleh masyarakat secara umum. Namun pelaksanaannya belum marak dilakukan apalagi difasilitasi dengan baik. Pertumbuhan bibit pohon juga dipengaruhi banyak faktor untuk mencapai kesuksesan seperti suhu udara, pH tanah, kelembaban, dan partikel karbon. Diperlukan suatu cara sebagai media *monitoring* dan *alerting* kepada pengguna agar tanaman berhasil tumbuh dengan baik. Rangkaian IoT diintegrasikan dan berfungsi mendeteksi sejumlah faktor pertumbuhan tanaman pada lokasi wakaf. Hasil pembacaan data dari sensor akan ditampilkan pada layar dan fungsi *alerting* berupa pengiriman alarm melalui *speaker*. Bibit pohon mahoni dipilih sebagai objek uji karena pertumbuhannya yang cepat. Integrasi perangkat IoT sebagai media *monitoring* dan *alerting* berhasil meningkatkan ketinggian bibit pohon mahoni. Berdasarkan hasil uji yang dilakukan selama 2 bulan terhadap 10 bibit pohon pada 2 lahan berbeda, didapatkan perbedaan ketinggian pohon sebesar 2,4 cm per 2 bulan atau 14,4 cm per tahun antara lahan yang terintegrasi IoT dengan lahan tanpa integrasi IoT.

**Kata Kunci:** Keberlanjutan Lingkungan; Wakaf; Polusi; Internet of Things; Mahoni

**Abstract**—Environmental damage in Indonesia is concerning, with the massive loss of green spaces in recent years. Consequently, there has been a drastic decline in air quality, contributing to the rise of diseases such as stroke, heart conditions, lung diseases, and even birth defects. The implementation of environment-based waqf activities, with waqf items in the form of trees, offers a practical solution that is accessible to the public. However, this effort has not yet been widely adopted or well-facilitated. The growth of tree seedlings is influenced by several factors, such as air temperature, soil pH, humidity, and carbon particles. A method for monitoring and alerting users is needed to ensure optimal plant growth. An IoT system is integrated for the plants in the waqf areas. Sensor data will be displayed on a screen, with an alerting function that sends alarms through a speaker. Mahogany seedlings were selected for testing due to their rapid growth. Integrating IoT devices for monitoring and alerting effectively increased the height of mahogany seedlings. Based on a two-month test on 10 seedlings across two different areas, a difference of 2.4 cm per two months, or 14.4 cm per year, was observed between IoT-integrated and non-IoT areas.

**Keywords:** Sustainability of the Environment; Endowment (Wakaf); Pollution; Internet of Things; Mahogany

## 1. PENDAHULUAN

Salah satu bentuk kerusakan lingkungan yang sangat memprihatinkan di Indonesia adalah hilangnya lahan hijau dan hutan secara massif pada beberapa tahun terakhir[1]. Akibatnya, terjadi penurunan drastis dalam kualitas udara serta kemampuan penyerapan polusi secara alami oleh hutan maupun lahan hijau[2]. Menurunnya kualitas udara berkontribusi terhadap timbulnya berbagai penyakit seperti asma, stroke, jantung, paru-paru, cacat bawaan, bahkan penurunan kecerdasan anak[3]. Kerusakan hutan dan lahan hijau juga memperburuk dampak perubahan iklim, karena pohon dan vegetasi berperan penting dalam menyerap karbon dioksida sebagai salah satu gas rumah kaca utama. Dengan semakin sedikitnya vegetasi maka jumlah karbon dioksida yang dilepaskan ke atmosfer semakin meningkat sehingga mempercepat pemanasan global yang berakibat pada cuaca ekstrem, bencana alam, dan kenaikan permukaan laut

Berbagai upaya telah dilakukan oleh pemerintah seperti reboisasi, namun angka deforestasi kian meningkat setiap tahun[4]. Pertumbuhan pohon yang membutuhkan waktu lama dan tingkat eksploitasi hutan yang terlalu cepat membuat usaha pemerintah masih belum memberikan hasil yang maksimal. Untuk mengatasi permasalahan ini, diperlukan upaya dari pemerintah serta partisipasi aktif dari seluruh elemen masyarakat. Praktik wakaf menjadi salah satu cara yang dapat dilakukan karena prosesnya yang relatif praktis dan mudah[5]. Praktek wakaf yang dimaksud merupakan wakaf berbasis lingkungan dengan barang wakaf utama berupa pohon[6]. Namun pada kenyataannya, bentuk wakaf yang dapat dilakukan secara umum dengan akses dan pelaksanaan yang mudah bagi masyarakat masih berkisar pada wakaf berbentuk tanah, barang, dan bangunan, terutama uang tunai[7]. Wakaf kontemporer seperti wakaf hutan ataupun pohon yang berkaitan erat secara langsung dengan keberlanjutan lingkungan masih jarang ditemui apalagi difasilitasi dengan baik agar proses pelaksanaan dan manajemennya dapat dilakukan dengan mudah.

Penelitian yang dilakukan oleh Arkipus[8] yaitu melakukan deteksi polusi udara dengan sensor MQ135 untuk mendeteksi polusi pada objek atau lokasi yang telah ditentukan. Sensor MQ135 yang digunakan memiliki

jarak deteksi yang sangat terbatas. Deteksi untuk suatu objek secara spesifik masih bisa dilakukan namun kurang cocok untuk digunakan pada lokasi uji *outdoor*. Fokus penelitian masih ada pada pengujian kualitas udara dengan sensor dan hasil pembacaannya belum terintegrasikan ke suatu sistem atau perangkat pengguna untuk dapat dimanfaatkan lebih jauh misalnya pelaporan kepada pengguna. Terlebih lagi belum ada metode yang dikembangkan pada penelitian ini. Raka Bagus[9] melakukan penelitian untuk mendeteksi karbon dioksida pada ruangan tertutup seperti kondisi mobil saat parkir dengan sopir di dalamnya. Sensor MQ-7 digunakan untuk melakukan deteksi dan Implementasi metode FSM memungkinkan sistem untuk membuat mode standby sensor berganti antara On dan Off.

Rohmaningtyas[2] dalam penelitiannya mengemukakan solusi yaitu wakaf hutan dalam menghadapi kerusakan lingkungan. Akan tetapi pelaksanaannya masih dilakukan dengan barang wakaf utamanya adalah berbentuk lahan bukan secara langsung hutan atau pohonnya. Proses pelaksanaannya juga belum melibatkan peran teknologi perangkat keras maupun lunak. Padahal bentuk wakaf berbasis lingkungan ini masih belum umum dilakukan oleh masyarakat apalagi difasilitasi dengan baik. Bentuk kontrol dan monitoring barang wakaf juga tidak dijelaskan pelaksanaannya, padahal merupakan salah satu point penting menyangkut wakaf berbasis lingkungan. Sementara itu, penelitian yang dilakukan oleh Ananda Ribelta[10] menerapkan penggunaan berbagai sensor gas untuk membaca kondisi partikel udara. Penelitian ini telah mengintegrasikan hasil pembacaan sensor kepada perangkat smartphone dengan metode uji ISPU. Namun, penelitian ini masih belum menerapkan suatu metode pendekatan terkait algoritma program agar dapat bersifat adaptif terhadap berbagai kemungkinan yang terjadi selama proses monitoring. Sensor yang digunakan hanya dapat mendeteksi partikel dengan jarak yang terbatas. Penelitian yang dilakukan oleh Ahmad dkk[11] berfokus pada pembuatan pembuatan aplikasi wakaf muzaraah. Aplikasi yang dibuat untuk pelaksanaan wakaf pertanian. Belum ada pemanfaatan dan integrasi sensor yang dilakukan. Aplikasi hanya fokus untuk pelaksanaan wakafnya. Pengguna juga tidak difasilitasi dengan bentuk kontrol atau monitoring terhadap barang wakafnya. Metode pendekatan untuk algoritma program juga tidak dijelaskan.

Pelaksanaan kegiatan wakaf berbasis lingkungan dengan barang wakaf berupa pohon menjadi solusi yang dapat diambil karena praktis dan mudah dilakukan oleh masyarakat secara umum[12]. Pelaksanaannya tidak memerlukan kekuatan fisik seperti pada kegiatan sosial semacam penanaman pohon bersama, ataupun memerlukan latihan dan pengetahuan materi intensif seperti pada kegiatan *workshop* dan pelatihan lingkungan[13]. Dalam mendukung jalannya proses wakaf kontemporer ini, diperlukan berbagai fasilitas pendukung untuk memastikan kesuksesannya mengingat rentannya bibit pohon untuk tumbuh pada masa awal penanamannya. Bibit pohon mahoni dipilih sebagai objek uji dalam penelitian ini karena pertumbuhannya yang relatif cepat serta tidak memerlukan lokasi dengan ketinggian cukup tinggi untuk dapat tumbuh. Tidak hanya itu, kayunya juga sangat berharga untuk mebel dan konstruksi. Selain itu, pohon mahoni juga dapat menyerap polusi udara dengan baik.

Perbedaan utama antara sejumlah penelitian yang telah dilakukan terkait monitoring lahan hijau, pohon, maupun tanaman dengan penelitian ini adalah implementasi metode *Finite State Machine* (FSM) kepada logika algoritma rangkaian IoT dalam menentukan langkah yang diambil saat satu atau lebih aspek pengukuran pertumbuhan pohon berada diluar nilai optimal yang telah ditentukan. Mayoritas penelitian pada bidang serupa belum menerapkan logika penalaran dalam bentuk apapun terhadap rangkaian IoT yang dibuat. Implikasinya adalah penalaran logika pada level sederhana dalam menentukan hal-hal apa saja yang dapat dilakukan oleh sistem dan keterbatasan kemampuan maupun fitur yang ada. Saat metode FSM diterapkan, hal tersebut memungkinkan beberapa fungsi dapat dilakukan seperti monitoring dan alerting. FSM juga memungkinkan sistem untuk beralih antara mode aktif, standby, maupun hemat daya. Dampaknya adalah daya tahan perangkat yang lebih lama, penghematan energi, dan memperpanjang usia perangkat IoT. Selain itu, perbedaan lain ada pada lingkup area yang dijadikan sebagai objek penelitian. Luas area turut mempengaruhi penggunaan sensor yang paling optimal untuk digunakan. Kondisi lahan tipe *indoor* maupun *outdoor* juga menjadi faktor tambahan yang mempengaruhi hal tersebut. Mayoritas penelitian yang dilakukan sebelumnya ada pada lahan uji tipe *outdoor* dengan ukuran lahan relatif sedang. Sedangkan pada penelitian ini berfokus pada tipe lahan *indoor* dengan ukuran lahan kecil. Perbedaan lain adalah pada penelitian lain hanya berfokus pada implementasi satu hingga dua sensor untuk menghitung satu aspek pengukuran hasil pertumbuhan tanaman. Sedangkan pada penelitian ini diimplementasikan empat buah sensor yang dalam menghasilkan nilai pengukuran yaitu tinggi pohon dan analisis waktu respon pengguna. Bertambahnya sensor pengukuran tentu mengakomodasi lebih banyak kemungkinan yang bisa terjadi, berbeda dengan fokus implementasi satu sensor saja. Bisa saja terdapat faktor yang tidak terukur selama proses uji dilakukan.

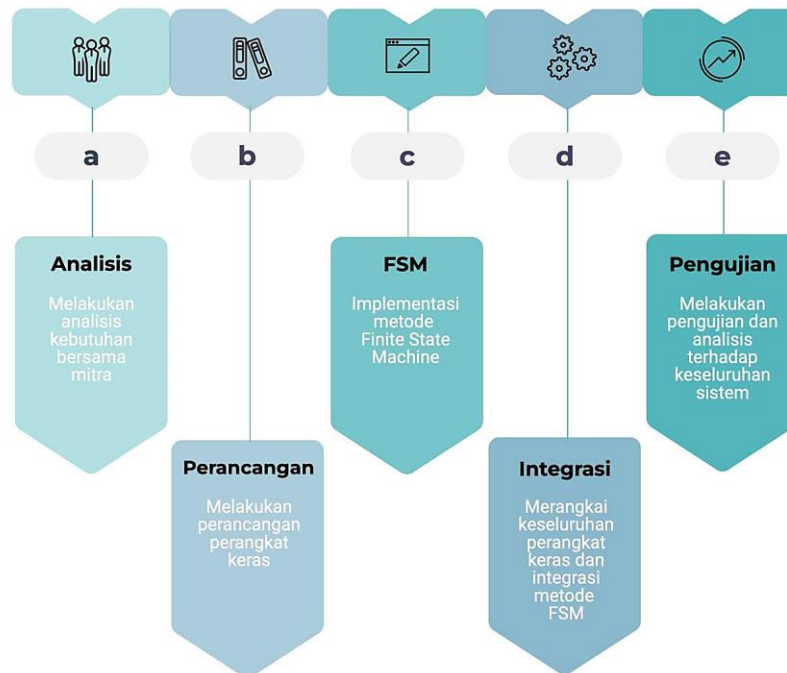
Rangkaian IoT akan dipasang dan berfungsi dalam mendeteksi tingkat air dari curah hujan, kelembaban tanah, suhu, serta partikel karbon pada lokasi wakaf. Berbagai macam data hasil pembacaan sensor ini akan ditampilkan pada layar *display* sebagai informasi kepada pengguna. Sebuah sistem *alerting* (peringatan) berupa suara dari speaker dipasang pada rangkaian IoT. Sistem alerting akan menyala ketika satu atau lebih parameter pengukuran yang terbaca oleh sensor melebihi batas normal. Adapun standar batas parameter didapatkan dari hasil diskusi dan wawancara dengan narasumber AMF (Anwar Muhamad Foundation). Perancangan ini berfungsi sebagai sarana pemantauan, pelaporan, dan tindak lanjut jika diperlukan terhadap kondisi lingkungan

maupun kualitas udara pada lokasi wakaf secara real-time. Tujuannya agar pertumbuhan bibit pohon dapat selalu terpantau dengan baik dan pohon sebagai barang wakaf dapat tumbuh dengan maksimal.

## 2. METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini bekerjasama dengan Anwar Muhamad Foundation (AMF), sebuah badan relawan dan organisasi yang berkomitmen pada pelestarian lingkungan dan pemberdayaan masyarakat. AMF sebagai mitra dalam pelaksanaan penelitian ini berperan aktif dalam diskusi terkait tumbuh kembang tanaman. Hasilnya adalah parameter pengukuran standar untuk suhu udara, pH tanah, kelembaban udara, dan partikel karbon yang digunakan dalam pengerjaan penelitian. Gambar 1 menjelaskan diagram alur penelitian. Terdapat 5 langkah penyelesaian utama yang dilakukan dalam merealisasikan penelitian ini.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian.

a. Melakukan Analisis Kebutuhan Bersama Mitra

Langkah pertama merupakan tahap perencanaan dan analisis kebutuhan. Proses perencanaan awal akan melibatkan diskusi antara tim peneliti dan perwakilan AMF serta pengkajian literatur untuk mendefinisikan berbagai kebutuhan dan teknis pelaksanaan secara lebih rinci. Hasil diskusi dan wawancara akan dianalisis menjadi sebuah rancangan sebagai masukan dalam pelaksanaan penelitian ini. Berdasarkan hasil diskusi, diputuskan untuk menggunakan bibit pohon mahoni sebagai objek uji pada penelitian ini. Mahoni dipilih karena laju pertumbuhannya yang cepat, kemampuan penyerapan karbon yang tinggi, kayu yang berharga dan harga bibit yang terjangkau. Diskusi dan kajian literatur yang dilakukan menghasilkan nilai parameter standar optimal pada sejumlah faktor yang mempengaruhi pertumbuhan pohon mahoni. Adapun nilai parameter standar yang digunakan terdapat pada Tabel 1.

Tabel 1. Nilai Pengukuran Standar Optimal pada Faktor Pertumbuhan Bibit Mahoni

No	Faktor	Nilai Standar
1	Suhu [14]	20 – 28°C
2	pH Tanah [15]	6,5 – 7,5
3	Kelembaban Udara [16][17]	75% - 90%
4	Partikel Karbon [18]	< 700 μmol/mol

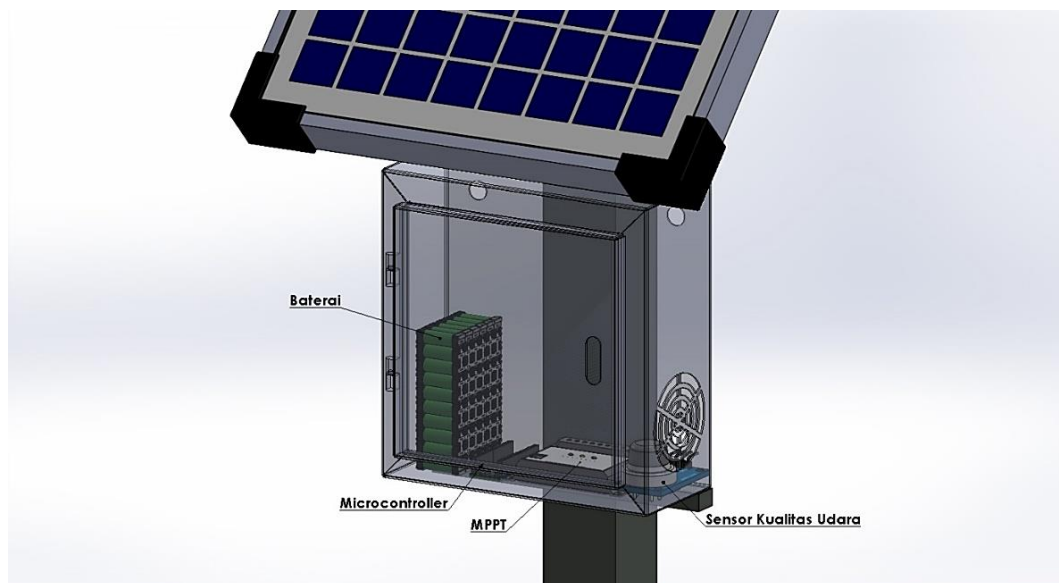
b. Melakukan Perancangan Perangkat Keras

Pada tahap ini, perancangan perangkat keras dilakukan berdasarkan hasil diskusi dengan pihak AMF. Perangkat keras harus dapat mengakomodasi pembacaan seluruh variabel yang ditangkap oleh sensor di lahan wakaf, oleh karena itu posisi penempatan rangkaian harus berada setidaknya lebih dari 1 meter dari tanah. Adapun rancangan awal rangkaian perangkat IoT adalah seperti pada gambar 2.



**Gambar 2.** Rancangan Perangkat IoT

Rangkaian perangkat IoT yang dibuat dapat dipasangkan dengan sebuah tiang atau digantungkan di tembok dan semacamnya sesuai dengan kondisi lahan. Alasan utama kenapa posisinya harus sedikit tinggi dari tanah adalah karena salah satu faktor yang dimonitoring adalah partikel karbon yang mengharuskan sensor diletakkan sedikit lebih tinggi dari tanah agar terbaca dengan baik. Sensor lain dapat dipasangkan di bagian bawah box control, dekat dengan tanah. Gambar 3 adalah gambaran rancangan perangkat yang lebih detail pada rangkaian IoT yang akan digunakan.



**Gambar 3.** Komponen pada Box Control pada Rancangan Perangkat IoT

Rangkaian utama alat akan terdiri dari panel surya yang terpasang pada ujung bagian tiang dan akan terhubung ke baterai sebagai sumber energi utamanya. Sebuah box control akan dipasang pada bagian bawah panel surya, isinya meliputi baterai, sensor, microcontroller, dan MPPT. Untuk sensor pH tanah, kelembaban, dan suhu diletakkan di bagian bawah tiang. Tahap pembuatan dan perangkaian keseluruhan perangkat keras dimulai dari pemasangan tiang besi dengan panel surya dan box control utamanya yang disambungkan dengan kabel dari sensor dibawahnya. Hasil pembacaan data lewat sensor akan disimpan di server firebase dan ditampilkan di layar display.

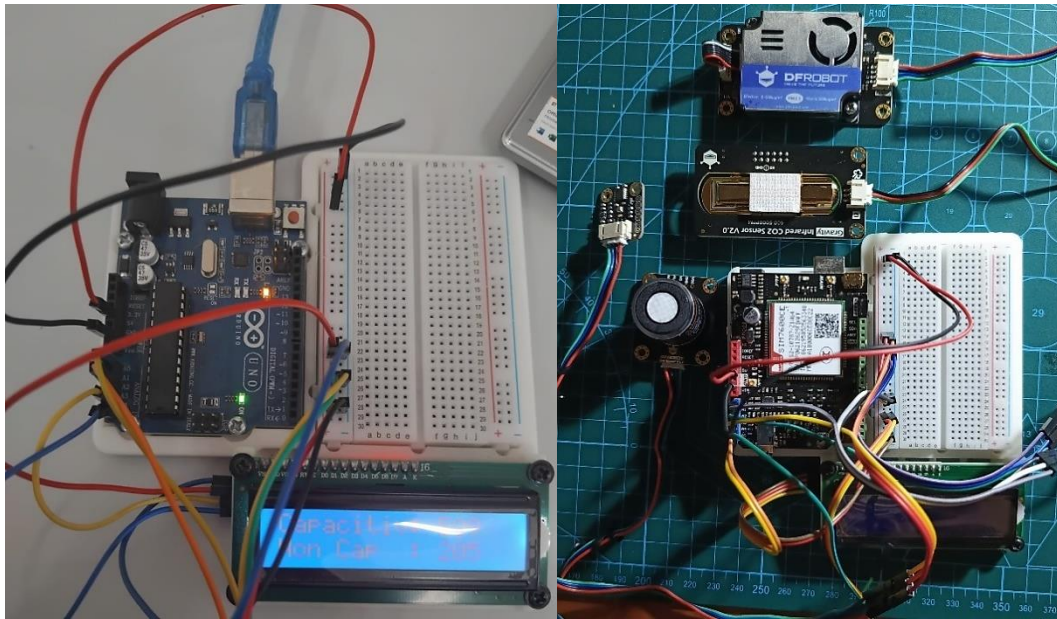
c. Mengimplementasikan Metode Finite State Machine (FSM) sebagai Pengambilan Keputusan

Pada langkah ini, metode finite state machine (FSM) akan diimplementasikan ke dalam algoritma program. Implementasi metode FSM akan melibatkan pemodelan sistem berbasis state machine, di mana sistem akan beroperasi dalam berbagai keadaan (state) dengan transisi antara satu keadaan ke keadaan lainnya berdasarkan input yang diterima[19]. Dalam hal ini, input yang diterima adalah hasil pembacaan data dari sensor kelembaban udara, suhu, pH tanah, dan partikel karbon yang terpasang pada rangkaian perangkat keras. Implementasi metode FSM memungkinkan rangkaian IoT untuk memberikan respon secara otomatis atau sesuai dengan apa yang ditetapkan oleh pengguna terhadap suatu kondisi apabila telah terpenuhi[20].

Aksi respon yang diberikan dari rangkaian yang dibuat berupa alarm yang menyala sebagai pemberitahuan untuk melakukan peninjauan lokasi terhadap benih pohon pada lahan wakaf.

d. Merangkai Keseluruhan Perangkat Keras dan Integrasi Metode Finite State Machine (FSM)

Langkah selanjutnya, adalah mengintegrasikan keseluruhan komponen Internet of Things (IoT) dan perangkat keras lainnya serta keseluruhan program dalam sistem ini. Rangkaian perangkat keras akan dirangkai dan dihubungkan secara fisik, baik melalui koneksi kabel seperti panel surya ke baterai maupun nirkabel seperti hasil pembacaan sensor ke laporan program lalu skrip program akan disesuaikan satu sama lain. Pengguna akan dapat melihat pembacaan sensor dan melakukan monitoring dari layar display yang ada, serta mendapatkan *alerting* lewat speaker pada sistem yang telah terintegrasi tersebut. Gambar 2.3 merupakan rangkaian perangkat IoT dan komponen-komponen di dalamnya.



Gambar 4. Komponen pada Box Control pada Rancangan Perangkat IoT

e. Melakukan Pengujian dan Analisis Terhadap Keseluruhan Sistem yang Telah Dibuat

Setelah integrasi keseluruhan perangkat keras dan lunak selesai, proses pengujian dapat dilakukan. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa semua komponen berfungsi dengan baik dan berkomunikasi secara efektif. Pengujian ini mencakup verifikasi koneksi, pengujian respon sistem terhadap pembacaan sensor dari perangkat keras, fungsi alerting, integrasi antara sistem, dan pembacaan data yang ditangkap oleh sensor. Setelah pengujian selesai, maka dilakukan analisis terhadap hasil kinerja sistem. Hal ini mencakup evaluasi terhadap data pengujian, identifikasi masalah atau kekurangan yang mungkin muncul, serta perbandingan antara hasil pengujian dengan standar kinerja yang telah ditetapkan sebelumnya, dan rencana pengembangan selanjutnya.

## 2.2 Metode Finite State Machine (FSM)

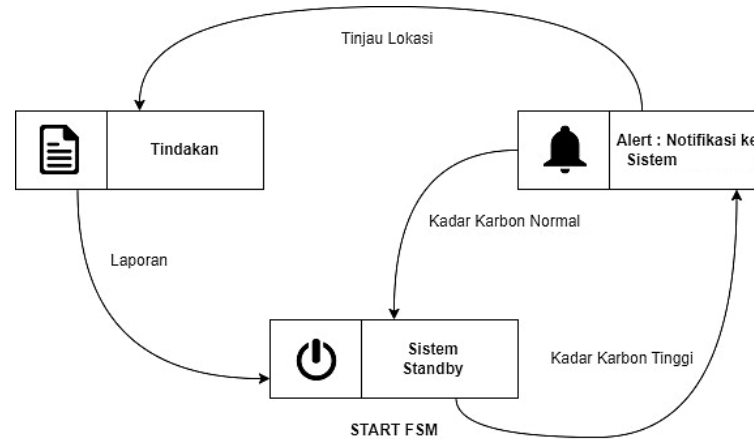
Metode Finite State Machine (FSM) adalah sebuah perancangan sistem kontrol yang menggambarkan tingkah laku atau prinsip kerja sistem dengan menggunakan empat hal utama yaitu: *State* (Keadaan), *Transitions* (Transisi), *Event* (kejadian) dan *action* (aksi) [21]. *States* (Keadaan) adalah segala kondisi yang mungkin dialami oleh sistem. Setiap *state* dapat menggambarkan suatu situasi spesifik atau tahapan tertentu dalam jalannya sistem. Pada penelitian ini, *state* dapat digambarkan sebagai sistem *standby*, pemberitahuan peringatan oleh sistem, dan tindakan yang dilakukan.

*Transitions* (transisi) adalah perubahan dari satu *state* ke *state* lain yang terjadi karena dipicu oleh kondisi tertentu atau *Events* (kejadian). Transisi menentukan bagaimana sistem bergerak dari satu *state* ke *state* berikutnya. Dalam penelitian ini, contoh transisi yang dapat terjadi adalah naiknya kadar partikel karbon, peninjauan lokasi, dan pengiriman laporan ke sistem. Transisi memungkinkan perpindahan secara sistematis sesuai dengan perancangan dan kondisi yang dibuat.

*Action* (aksi) mengandung 2 bagian penting yaitu *Input* (Masukan) yang merupakan data atau peristiwa yang diterima oleh FSM yang mempengaruhi transisi antara *states* dan *Outputs* (Keluaran) yang merupakan tindakan atau hasil yang diproses oleh FSM berdasarkan *state* saat ini dan input yang diterima. Contoh *action* yang diambil pada penelitian ini adalah melakukan peninjauan lokasi wakaf berdasarkan laporan pesan peringatan yang dikirimkan ke pengguna.

Penerapan metode FSM dalam penelitian ini adalah untuk mengatur perilaku sistem, yaitu pemberian notifikasi peringatan kepada pengguna. Kondisi yang harus terpenuhi untuk terjadinya pengiriman *alert* adalah

naik atau turunnya sejumlah nilai standar variabel yang mempengaruhi pertumbuhan bibit pohon dari level yang telah ditentukan. Terdapat empat variabel utama yang digunakan yaitu suhu udara, pH tanah, kelembaban udara, dan partikel karbon. Sistem akan kembali *standby* saat nilai standar untuk tiap variabel kembali pada level tertentu, dimatikan secara manual, atau jika dalam waktu 6 jam tetap *standby*. Pesan peringatan yang dikirimkan berfungsi sebagai bentuk *monitoring* serta kontrol bagi pengguna. Metode FSM membantu mengelola kompleksitas logika kontrol dengan berbagai variabel yang mungkin ditemui dalam sistem IoT dengan cara yang terstruktur dan dapat diprediksi. Gambar 2.3. menjelaskan implementasi logika metode FSM pada algoritma jalannya program.



**Gambar 5.** Implementasi Logika Metode Finite State Machine pada Algoritma Program

FSM dapat digunakan untuk mengelola berbagai mode operasi pada rangkaian perangkat IoT. Integrasi metode ini pada algoritma program untuk rangkaian IoT yang dibuat memungkinkan beberapa fungsi dapat dilakukan. Pertama adalah fungsi *alerting* dengan eksekusi aksi berupa notifikasi suara lewat *speaker* saat terjadi pembacaan nilai *variable* yang telah ditentukan berada pada level diluar nilai optimal. Fungsi kedua adalah kemampuan untuk berganti antara mode siaga, aktif, atau hemat daya. Fungsi ini dapat membantu menghemat daya pada keseluruhan perangkat dan memperpanjang umur baterai maupun perangkat terkait lainnya.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Pengujian Implementasi Metode FSM dengan Rangkaian Perangkat IoT

Implementasi rangkaian perangkat Internet of Things (IoT) yang diintegrasikan dengan logika penalaran menggunakan metode Finite State Machine (FSM) dilakukan sebagai cara untuk melakukan *monitoring* dan *alerting* pada lahan wakaf. Proses uji dilakukan pada 2 jenis model penanaman benih yang berbeda. Lahan pertama diintegrasikan dengan rangkaian perangkat IoT yang dibuat sedangkan lahan kedua tidak diintegrasikan sama sekali. Setiap lahan akan diberikan 10 (sepuluh) buah benih pohon mahoni untuk ditanam. Lama pengujian adalah 2 bulan sejak bibit pohon ditanam. Bibit pohon yang digunakan adalah bibit pohon mahoni siap tanam dalam bentuk biji. Tidak ada penggunaan obat kimia atau penambahan pupuk maupun obat-obatan dalam proses pengujian ini. Proses penyiraman bibit dilakukan dua kali sehari saat pagi dan sore hari. Aspek pengujian yang dilakukan adalah perbandingan tumbuh kembang tanaman antar lahan. Selain itu, waktu respon terhadap *alert* yang dikirimkan juga dicatat.

##### 3.1.1 Hasil Implementasi Metode FSM dengan Rangkaian Perangkat IoT

Rangkaian IoT yang dibuat, diimplementasikan dengan metode FSM untuk mengelola berbagai mode operasi pada rangkaian perangkat IoT. Integrasi metode ini memungkinkan beberapa fungsi dapat dilakukan seperti fungsi *alerting* berupa notifikasi suara, lampu, layar display dan pergantian mode antara siaga, aktif, dan hemat daya. Metode FSM efektif dalam menjaga efisiensi daya dan memperpanjang masa aktif perangkat IoT melalui pengaturan waktu dan kondisi setiap mode operasi. Berikut ini adalah penjelasan dari tiga mode yang berhasil diimplementasikan:

###### a. Mode Aktif

Saat sensor mendeteksi parameter yang berada di luar rentang nilai pengukuran standar yang telah ditentukan (terlalu rendah atau tinggi), maka perangkat IoT otomatis beralih ke mode aktif. Dalam mode ini lampu peringatan menyala sebagai tanda visual adanya kondisi abnormal. Notifikasi suara akan diaktifkan melalui speaker untuk memperingatkan pengguna. Layar display dihidupkan untuk menampilkan informasi terkait kondisi yang terdeteksi. Mode ini akan terus berjalan hingga tindakan korektif dilakukan, misalnya penyiraman jika kelembaban tanah terlalu rendah. Ketika nilai kelembaban sudah kembali normal, mode

aktif akan berakhir baik secara otomatis atau melalui pematian manual. Selanjutnya perangkat IoT akan beralih kembali ke mode siaga.

b. Mode Siaga

Pada mode ini layar display akan tetap menyala untuk memberikan informasi lingkungan saat ini dan hasil pembacaan sensor. Sistem tetap siap untuk mendeteksi perubahan kondisi secara cepat namun dengan konsumsi daya yang lebih rendah dibandingkan mode aktif. Jika selama 12 jam tidak ada deteksi kondisi abnormal yang membutuhkan perhatian, maka perangkat akan beralih ke mode hemat daya.

c. Mode Hemat Daya

Saat perangkat IoT memasuki mode hemat daya, layar display otomatis mati untuk mengurangi konsumsi daya. Notifikasi suara, lampu peringatan, dan fungsi lain yang tidak esensial akan dinonaktifkan sementara. Rangkaian IoT akan menjalankan sensor dalam mode pemindaian yang lebih jarang, sehingga perangkat hanya menggunakan energi minimum untuk melakukan pemeriksaan berkala.

Dengan adanya kemampuan untuk berganti mode ini, baterai akan lebih bertahan lama sehingga mengurangi resiko rusak dan frekuensi pergantian baterai, implikasinya adalah kemudahan bagi pengguna, mengurangi biaya operasional alat, dan memperpanjang umur untuk keseluruhan komponen rangkaian IoT dengan mengeliminasi penggunaan daya yang berlebihan. Hal ini berarti komponen seperti sensor, lampu peringatan, dan layar display tidak terus-menerus bekerja pada daya penuh, yang dapat memperpanjang umur perangkat secara keseluruhan. Dengan penggunaan daya yang efisien, risiko kerusakan akibat panas berlebih atau keausan pada komponen mekanis dan elektronik menjadi lebih rendah.

### 3.2 Perbandingan Lahan Terintegrasi IoT dan Tidak Terintegrasi

Pengujian yang dilakukan berfungsi untuk mengevaluasi efektivitas sistem IoT dan logika metode FSM yang diimplementasikan pada sistem dalam meningkatkan tingkat hidup serta pertumbuhan bibit pohon yang optimal di lahan wakaf. Perbandingan dilakukan terhadap aspek tumbuh kembang bibit pohon mahoni dan waktu respon terhadap *alert*/pemberitahuan dari sistem IoT yang dirangkai. Berdasarkan pengujian yang dilakukan, didapatkanlah hasil perbandingan antar bibit pohon mahoni pada lahan uji yang berbeda.

#### 3.2.1 Tumbuh Kembang Bibit Pohon

Proses pengujian tumbuh kembang bibit pohon dilakukan di dua lahan uji terpisah. Proses uji dilakukan dalam masa 2 bulan penanaman dan proses pencatatan perkembangan bibit pohon mahoni dilakukan setiap minggu. Proses uji ini bertujuan untuk membandingkan tingkat perkembangan bibit pohon mahoni antara lahan yang terintegrasi dengan rangkaian IoT dengan lahan tanpa integrasi IoT. Gambar 6 merupakan benih pohon mahoni sebagai objek uji yang digunakan dalam penelitian ini.



**Gambar 6.** Benih Pohon Mahoni Sebagai Objek Uji Penelitian

Setelah 2 bulan proses uji dilakukan, benih telah bertumbuh menjadi pohon mahoni yang cukup besar dan tinggi. Rata-rata tumbuh kembang pohon mahoni pada tahun-tahun awal adalah sekitar 1 meter hingga 1,5 meter [22]. Berdasarkan hal tersebut, pada proses uji yang dilakukan selama 2 bulan maka pertumbuhan bibit pohon dapat mencapai ukuran 15 cm hingga 20 cm. Gambar 7 merupakan kondisi bibit pohon mahoni pada masa akhir uji.



**Gambar 7.** Kondisi Akhir Perkembangan Bibit Pohon Mahoni Setelah 2 Bulan

Dapat terlihat perkembangan tumbuh kembang bibit pohon mahoni yang begitu pesat. Kondisi batang utama mayoritas sampel uji adalah sehat dengan daun yang segar. Dari keseluruhan sampel uji pada dua lokasi, tidak ada satupun bibit pohon yang mati atau gagal tumbuh. Perbedaan yang paling mencolok berdasarkan hasil uji yang dilakukan ada pada ketinggian yang berhasil dicapai oleh tanaman di kedua lahan tersebut. Tabel 2 adalah hasil pengukuran sampel bibit pohon mahoni pada lahan yang terintegrasi dengan perangkat IoT.

**Tabel 2.** Hasil Proses Uji Tumbuh Kembang Bibit Pohon Mahoni dengan Integrasi IoT

No	Tanaman	Ketinggian
1	Mahoni A	19 cm
2	Mahoni B	22 cm
3	Mahoni C	21 cm
4	Mahoni D	18 cm
5	Mahoni E	20 cm
6	Mahoni F	23 cm
7	Mahoni G	21 cm
8	Mahoni H	24 cm
9	Mahoni I	22 cm
10	Mahoni J	22 cm
Rata-Rata		21,2 cm

Sampel bibit pohon mahoni pada lahan yang terintegrasi dengan perangkat IoT dapat mencapai ketinggian berkisar antara 18 cm hingga 24 cm. Mayoritas sampel berhasil tumbuh melewati ketinggian 20 cm dan hanya beberapa yang tidak berhasil mencapainya. Berdasarkan sepuluh sampel uji yang didapatkan pada lahan terintegrasi IoT, ketinggian rata-rata bibit pohon mahoni adalah 21,2 cm. Nilai ini berada diatas perhitungan rata-rata tumbuh kembang pohon mahoni dalam dua bulan yaitu antara ketinggian 15 cm hingga 20 cm. Pada lahan kedua yang dibiarkan tumbuh tanpa integrasi perangkat IoT sebagai media *monitoring* dan *alerting*, dapat diamati perkembangan sampel uji yang berbeda. Tabel 3 merupakan hasil pengukuran sampel bibit pohon mahoni pada lahan tanpa integrasi IoT.

**Tabel 3.** Hasil Proses Uji Tumbuh Kembang Bibit Pohon Mahoni tanpa Integrasi IoT

No	Tanaman	Ketinggian
1	Mahoni 1	17 cm
2	Mahoni 2	15 cm
3	Mahoni 3	20 cm
4	Mahoni 4	18 cm
5	Mahoni 5	21 cm
6	Mahoni 6	18 cm
7	Mahoni 7	19 cm
8	Mahoni 8	14 cm
9	Mahoni 9	16 cm
10	Mahoni 10	20 cm
Rata-Rata		18,8 cm

Bibit pohon mahoni yang tumbuh pada lingkungan lahan tanpa *alerting* maupun *monitoring* perangkat IoT memiliki ketinggian yang berikisar antara 14 cm hingga 21 cm. Ketinggian rata-rata yang dicapai pada lahan ini adalah 18,8 cm. Terdapat beberapa sampel uji yang berhasil tumbuh melewati angka 20 cm. Namun, ada beberapa sampel uji yang justru tumbuh berada dibawah ketinggian 15 cm. Secara keseluruhan, pertumbuhan bibit pohon mahoni pada lahan ini masih berada pada kisaran perhitungan ketinggian yang dapat dicapai dalam 2 bulan, tetapi tentunya terlihat sangat jelas masih tertinggal jika dibandingkan dengan lahan dengan integrasi IoT sebagai media *monitoring* dan *alerting* sebelumnya.

### 3.3 Pembahasan

#### a. Perkembangan Tumbuh Kembang Bibit Pohon Mahoni

Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan kepada dua lahan yang berbeda yaitu dengan integrasi IoT dan tanpa integrasi, didapatkanlah hasil perkembangan bibit pohon yang berbeda juga. Secara keseluruhan, nilai rata-rata sampel uji masih berada pada perhitungan rata-rata tumbuh kembang pohon mahoni yang dapat dicapai dalam dua bulan. Pada lahan yang terintegrasi dengan IoT dan dilakukan fungsi *monitoring* serta *alerting*, ketinggian rata-rata tanaman uji dapat melewati perkiraan ketinggian normal yang berada pada angka 15 cm hingga 20 cm. Rata-rata ketinggian tanaman pada lahan terintegrasi IoT dapat mencapai ketinggian 21,2 cm dengan beberapa sampel uji berhasil tumbuh hingga ketinggian 23 cm dan 24 cm.

Pada lahan tanpa integrasi dan tidak dilakukan monitoring serta alerting lewat sistem IoT, pertumbuhan tanaman uji mencapai rata-rata ketinggian 18,8 cm. Terdapat perbandingan ketinggian rata-rata sebesar 2,4 cm antara lahan uji. Selisih nilai tersebut cukup jauh mengingat periode pengujian yang dilakukan adalah dua bulan. Apabila laju pertumbuhan dan perawatan tanaman dilakukan dengan *effort*/usaha yang sepadan serta kondisi yang sama seperti pengujian ini, maka dalam satu tahun perbandingan ketinggian antar lahan dapat mencapai angka 14,4 cm, nilai perbedaan yang sangat signifikan.

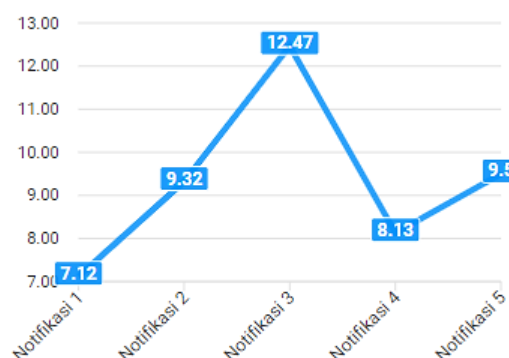
Perbedaan hasil perkembangan bibit pohon mahoni antar lahan ini dipengaruhi oleh beberapa faktor. Tentunya dalam pelaksanaan pengujian yang dilakukan selama dua bulan, terdapat banyak hal yang terjadi terkait faktor-faktor yang mempengaruhi tumbuh kembang tanaman. Suhu dan kelembaban udara menjadi salah satu faktor yang sangat krusial. Proses uji dilakukan saat musim kemarau, kondisi suhu rata-rata naik dan pada beberapa kesempatan mencapai titik yang sangat tinggi hingga melebihi nilai batas normal yaitu 20 – 28°C. Kondisi musim kemarau dengan suhunya yang tinggi mengakibatkan kelembaban udara menjadi cenderung kering. Hal yang sama juga terjadi yaitu kelembaban udara menjadi sangat kering dan turun jauh dibawah nilai kelembaban 75% - 90%.

Dalam menghadapi berbagai kondisi tersebut, lahan uji dengan sistem yang terintegrasi akan memberikan *alert* kepada pengguna melalui suara lewat speaker. Pengguna juga dapat memantau berbagai *parameter* nilai standar optimal pertumbuhan pohon mahoni melalui layar yang ada dalam rangkaian IoT. Berdasarkan alert yang diberikan tersebut, pengguna akan dapat menindaklanjuti kondisi yang terjadi. Pada kasus yang dihadapi, suhu tinggi dan kelembaban yang kering dapat ditindaklanjuti dengan memberikan air pada lahan uji untuk menurunkan suhu dan meningkatkan kelembaban. Nilai pH tanah relatif normal dan tidak mengalami lonjakan selama proses uji dilakukan. Hal yang sama juga terjadi pada konsentrasi emisi karbon, selama pengujian nilainya cenderung normal dan tidak mengalami banyak lonjakan.

#### b. Waktu Respon Sistem

Rangkaian sistem IoT dengan penalaran FSM untuk aksi berupa *alert* kepada pengguna yang diterapkan mampu memberikan fungsi pemantauan dan pengelolaan lahan secara *real time* dengan efektif. Data dari sensor mengenai suhu, pH tanah, kelembaban udara, dan partikel karbon diproses secara kontinu dan digunakan untuk mengambil keputusan berdasarkan logika FSM yang dibuat. Misalnya, ketika terjadi lonjakan suhu yang melewati ambang batas maka sistem akan memberikan notifikasi pada pengguna untuk melakukan pengecekan dan melakukan tindakan di lahan jika diperlukan misal melakukan penyiraman dan blower untuk mengurangi debu dan partikel yang menumpuk. Hasilnya menunjukkan bahwa bibit pohon pada lahan yang terintegrasi dengan sistem IoT dan FSM menghasilkan perbedaan ketinggian sebesar 2,4 cm dibandingkan lahan tanpa integrasi dan fungsi *monitoring* serta *alerting* per 2 bulan dan perbedaan sebesar 14,4 cm per tahunnya.

Dalam waktu 2 bulan penelitian, didapatkan 5 kali pengiriman notifikasi peringatan dari sistem. Gambar 8 menjelaskan waktu respon yang diambil oleh pengguna setelah menerima notifikasi *alert* dari sistem.



Gambar 8. Grafik Waktu Respon dengan Alert

Dapat kita lihat bahwa waktu yang dibutuhkan relatif sangat singkat untuk direspon oleh pengguna dan dilakukan tindak lanjut di lapangan. Waktu respon paling lama adalah 12 menit 47 detik. Tidak ada notifikasi yang direspon lebih dari 15 menit. Respon yang mudah diterima dan dibaca serta tindak lanjut yang cepat berdasarkan notifikasi yang dikirimkan oleh sistem adalah faktor utama tingginya pertumbuhan tanaman uji pada lahan yang terintegrasi dengan IoT.

c. Lahan Tidak Terintegrasi

Lahan yang tidak terintegrasi dengan sistem IoT dan FSM mengandalkan pengecekan dan pengelolaan secara manual. Keseluruhan parameter seperti suhu udara, pH tanah, kelembaban udara, serta partikel karbon sama sekali tidak dapat dihitung dan diidentifikasi. Proses perawatan dikerjakan sesuai penjadwalan dan penyiraman berdasarkan perkiraan saja. Tindakan yang diambil lebih berdasarkan pada rutinitas bukan respon terhadap hal yang ditemui. Dampaknya adalah respon yang terlambat atau bahkan tidak ada respon ketika terjadi anomali pada lokasi sekitar lahan uji yang menyebabkan keseluruhan pertumbuhan ketinggian tanaman menjadi jauh berbeda dengan lahan dengan integrasi IoT dan fungsi *monitoring* serta *alerting*.

## 4. KESIMPULAN

Implementasi rangkaian perangkat Internet of Things (IoT) yang diberikan logika penalaran dengan metode Finite State Machine (FSM) telah dilakukan dan menghasilkan sebuah cara untuk melakukan fungsi *monitoring* dan *alerting* terhadap lahan penanaman bibit pohon mahoni. Implementasi yang dilakukan dapat mengakomodasi fungsi pemantauan dan deteksi berbagai kondisi lingkungan dan faktor utama pendukung pertumbuhan pohon mahoni pada lahan wakaf, seperti suhu udara, pH tanah, kelembaban udara, dan partikel karbon. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan selama 2 bulan terhadap 2 lahan yang berbeda yaitu 1 lahan terintegrasi dengan rangkaian sistem IoT sedangkan 1 lahan tanpa integrasi IoT menghasilkan pertumbuhan ketinggian pohon mahoni yang berbeda. Pada lahan dengan integrasi IoT, rata-rata pertumbuhan ketinggian pohon mencapai 21,2 cm sedangkan ketinggian pohon pada lahan tanpa integrasi IoT hanya mencapai 18,8 cm. Terdapat perbedaan ketinggian sejauh 2,4 cm per 2 bulan dan 14,4 cm per tahun. Perbedaan tersebut cukup signifikan dan dipengaruhi oleh sejumlah faktor selama 2 bulan waktu pengujian yang dilakukan. Kondisi musim kemarau saat periode pengujian membuat suhu rata-rata lingkungan menjadi tinggi dari biasanya dan pada sejumlah kesempatan melewati ambang batas yang telah ditentukan. Suhu yang tinggi mengakibatkan kelembaban udara yang semakin kering dan rendah. Implementasi rangkaian IoT pada lahan uji memungkinkan pengiriman *alert* kepada pengguna untuk melakukan tindak lanjut terhadap kondisi *abnormal* tersebut. Lahan tanpa integrasi IoT tidak mampu mengidentifikasi atau mendeteksi secara tepat dan akurat kondisi *abnormal* yang terjadi. Proses perawatan dikerjakan sesuai penjadwalan dan penyiraman berdasarkan perkiraan saja. Tindakan yang diambil lebih berdasarkan pada rutinitas bukan respon terhadap hal yang ditemui. Dampaknya adalah respon yang terlambat atau bahkan tidak ada respon sama sekali ketika terjadi anomali pada lokasi sekitar lahan uji yang menyebabkan keseluruhan pertumbuhan ketinggian tanaman menjadi jauh berbeda jika dibandingkan pada lahan dengan integrasi IoT dengan fungsi *monitoring* serta *alerting* yang ada. Selama masa pengujian yang dilakukan, terjadi pengiriman *alert* sebanyak 5 kali dengan mayoritas faktor berupa suhu udara dan kelembaban. Lama respon *alert* berkisar antara 7 menit 12 detik hingga 12 menit 47 detik. Respon yang cepat terhadap kondisi abnormal yang terjadi memungkinkan tindak lanjut yang lebih efisien dalam mengoptimalkan tumbuh kembang pohon mahoni. Integrasi rangkaian IoT dan metode FSM memberikan manfaat signifikan dalam mengelola dan memantau lahan wakaf berbasis lingkungan. Beberapa keuntungan utama dari integrasi ini meliputi monitoring secara *real time* yang memungkinkan pemantauan kondisi lingkungan dan pengambilan tindakan cepat untuk mengatasi kondisi yang kurang optimal. Meningkatkan tumbuh kembang bibit pohon baru yang ditanam. Penghematan daya dan memperpanjang umur sejumlah perangkat IoT yang terpasang. Efisiensi penggunaan air dengan hanya menyiram saat diperlukan. Pengembangan penelitian selanjutnya dapat mulai membangun interface yang lebih baik dan nyaman digunakan seperti versi mobile atau website dan mengintegrasikan pembacaan data dari sensor dan fungsi *alerting* secara *online* agar pengguna bisa mendapatkan kabar dan informasi terkait lahannya kapanpun dan dimanapun selama memiliki akses internet.

## REFERENCES

- [1] N. Rohmaningtyas, "Hutan Wakaf Sebagai Solusi Deforestasi di Indonesia," *ADILLA J. Ilm. Ekon. Syari'ah*, vol. 5, no. 2, 2022, doi: 10.52166/adilla.v5i2.3560.
- [2] C. Dhea, U. Mardhatillah, and F. P. Jingga, "Greenhouse Effect Triggers of Global Warming and Countermeasures Efek Rumah Kaca Pemicu Pemanasan Global dan Upaya Penanggulangannya," *UIN Syarif Hidayatullah Jakarta*, vol. 2, no. 2, 2022.
- [3] O. O. Husen, J. Mukaddas, and A. Ishak, "Analisis Karbonmonoksida (CO), OksidaNitrogen (NOx) dan Sulfurdioksida (SO2) pada Kualitas Lingkungan Udara Ambien Jalan Raya Kota Kendari," *Sang Pencerah J. Ilm. Univ. Muhammadiyah But.*, vol. 9, no. 2, 2023, doi: 10.35326/pencerah.v9i2.3021.
- [4] N. Ramadhany, "Laju Deforestasi Hutan Akibat Aktivitas Pertambangan di Provinsi Kalimantan Timur," *J.*

- Rekayasa Hijau*, vol. 7, no. 1, 2023, doi: 10.26760/jrh.v7i1.10-19.
- [5] F. Hasyim and Y. A. Nurohman, "Adopsi Teori Perilaku Berencana dalam Menganalisis Niat Melakukan Wakaf Tunai," *Among Makarti*, vol. 14, no. 1, 2021, doi: 10.52353/ama.v14i1.201.
- [6] M. Y. Saifuddin and D. Aghsari, "KONSEP HUTAN WAKAF DALAM PELESTARIAN HUTAN DAN PENCAPAIAN SDGs: PELUANG DAN TANTANGAN PADA PROVINSI KONSERVASI PAPUA BARAT," *Ekon. Islam*, vol. 13, no. 2, 2022, doi: 10.22236/jei.v13i2.8842.
- [7] Hilman Hakiem, Irfan Syauqi Beik, and Idqan Fahmi, "Faktor-Faktor yang Memengaruhi Minat Masyarakat Berwakaf Uang/Melalui Uang dalam Mendukung Pembangunan Berkelanjutan Kota Bogor," *AL-MUZARA'AH*, vol. 10, no. 2, 2022, doi: 10.29244/jam.10.2.155-168.
- [8] A. Lahal, "Rancang Bangun Alat Monitoring Polusi Udara Berbasis Arduino," 2021.
- [9] R. B. Perdana, "Pengembangan Low Power System Monitoring Karbon Monoksida (CO) Menggunakan Metode State Machine," *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 3, 2019.
- [10] A. Ribelta, "Implementasi Monitoring Kualitas Udara Taman di Kota Malang menggunakan Low Power Mode pada Android berbasis Arduino Uno," *J. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput.*, vol. 4, 2020.
- [11] M. A. Ahmad, A. J. Abdullah, and M. H. M. Shafiai, "Aplikasi Wakaf Muzaraah dalam Program Pembasmian Kemiskinan," *Proc. Borneo Islam. ...*, vol. 13, 2022.
- [12] W. S. Ambarwati and M. Hasanuddin, "ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI PERSEPSI WAKIF TENTANG WAKAF UANG," *LIKUID J. Ekon. Ind. Halal*, vol. 2, no. 1, 2022, doi: 10.15575/likuid.v2i1.15310.
- [13] S. N. Setyorini, "Wirdayaningasih, & Hazna, CA (2020). Wakaf lingkungan hidup dalam rangka pelaksanaan pembangunan berkelanjutan dan penegakkan keadilan ...," *J. Islam. Law Stud. Sharia J.*, 2019.
- [14] A. N. Aktsar Roskiana Ahmad, Virsa Handayani, Rezki Amriati Syarif, "MAHONI (Swietenia mahagoni (L) Jacq) Herbal untuk Penyakit Diabetes," *Nas Media Pustaka ISBN 976-623-7340-04-1*, 2019, [Online]. Available: [https://www.researchgate.net/publication/334573925\\_MAHONI\\_Swietenia\\_mahagoni\\_L\\_Jacq\\_Herbal\\_Untuk\\_Penyakit\\_Diabetes](https://www.researchgate.net/publication/334573925_MAHONI_Swietenia_mahagoni_L_Jacq_Herbal_Untuk_Penyakit_Diabetes)
- [15] E. S. Elda Meivita Hutapea, Guswarni Anwar, "RESPON PERTUMBUHAN SEMAI MAHONI (Swietenia macrophylla King) TERHADAP PEMBERIAN DOSIS DOLOMIT PADA KOMPOSISI MEDIA TANAM KOMPOS TANDAN KOSONG KELAPA SAWIT DAN TANAH GAMBUT PERTANIAN UNIVERSITAS BENGKULU," *J. Glob. For. Environ. Sci.*, vol. 2, no. 2, pp. 92–105, 2022.
- [16] N. Nurheni Wijayanto, "Intensitas Cahaya, Suhu, Kelembaban dan Perakaran Lateral Mahoni (Swietenia macrophylla King.) di RPH Babakan Madang, BKPH Bogor, KPH Bogor," *J. SILVIKULTUR Trop.*, vol. 03, no. 01, pp. 8–13, 2012, [Online]. Available: <https://journal.ipb.ac.id/index.php/jsilvik/article/view/5389/3968>
- [17] J. A. B. & R. P. S. Dinesha, Mihir Ranjan Panda, Devbratha Pradhan, S. Rakesh, Amarendra Nath Dey, "Ecosystem carbon budgeting under Swietenia macrophylla King plantation in sub humid foothills of Eastern Himalayans of India," *Environ. Dev. Sustain. J.*, vol. 26, pp. 4661–4677, 2023, doi: <https://doi.org/10.1007/s10668-022-02902-6>.
- [18] R. G. M. Robinson J. Herrera-Feijoo , Bolier Torres , Rolando López-Tobar , Cristhian Tipán-Torres, Theofilos Toulkeridis, Marco Heredia, "Modelling Climatically Suitable Areas for Mahogany (Swietenia macrophylla King) and Their Shifts across Neotropics: The Role of Protected Areas," *Biodivers. Conserv. For.*, vol. 14, no. 2, 2023, doi: <https://doi.org/10.3390/f14020385>.
- [19] J. Wang, X. Zhang, P. Shi, B. Cao, and B. Wang, "A DNA Finite-State Machine Based on the Programmable Allosteric Strategy of DNzyme," *Int. J. Mol. Sci.*, vol. 24, no. 4, 2023, doi: 10.3390/ijms24043588.
- [20] Y. M. Arif *et al.*, "An Artificial Neural Network-Based Finite State Machine for Adaptive Scenario Selection in Serious Game," *Int. J. Intell. Eng. Syst.*, vol. 16, no. 5, 2023, doi: 10.22266/ijies2023.1031.42.
- [21] A. Agustin, A. Evel, S. Susanti, and R. Rahmaddeni, "Implementasi Metode Finite State Machine pada Permainan Tradisional Setatak Berbasis Android," *JATISI (Jurnal Tek. Inform. dan Sist. Informasi)*, vol. 8, no. 2, 2021, doi: 10.35957/jatisi.v8i2.580.
- [22] F. of A. S. UGM, "Swietenia macrophylla Growth Study in Agroforestry Systems," *J. Agrofor. Sustain. Dev.*, 2020.