

Meningkatkan Antarmuka Pengguna dengan Integrasi AR-IoT dalam Sistem Irigasi Tanaman Cerdas

Enhancing User Interface with AR-IoT Integration in Smart Plant Irrigation System

Fathia Frazna Az-Zahra^{1*}, Winda Apriandari², Didik Indrayana³, Prajoko⁴,
Shakira Anadella⁵, Rifki Andriyana⁶, Elvan Nasrul⁷

^{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7} Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Sukabumi
Jl. R. Syamsudin, SH. No. 50 Kota Sukabumi Jawa Barat Indonesia 43113

Telp. (0266) 218345/ Fax. (0266) 218342

fathiafrazna@ummi.ac.id^{1*}, winda.apriandari@ummi.ac.id², didik.ind@ummi.ac.id³,
prajoko-ti@ummi.ac.id⁴, anadellashakira@gmail.com⁵, rifki.andriyana@gmail.com⁶,
ramsifratama@gmail.com⁷

Abstrak – Teknologi Internet of Things (IoT) dan Augmented Reality (AR) menciptakan peluang untuk meningkatkan efisiensi dalam berbagai aktivitas, termasuk perawatan tanaman hias. Pemilik tanaman umumnya menghadapi praktik penyiraman yang tidak konsisten, yang berdampak buruk terhadap pertumbuhan tanaman. Sistem IoT sering memerlukan biaya tambahan untuk perangkat antarmuka fisik seperti layar. Penelitian ini mengusulkan sistem penyiraman tanaman hias berbasis IoT dengan visualisasi data AR, memanfaatkan smartphone sebagai antarmuka utama untuk pemantauan dan kontrol real-time tanpa perangkat tambahan. Tujuannya adalah mengembangkan penyiraman rutin, terjadwal, dan meningkatkan interaksi pengguna melalui antarmuka AR. Metodologi pengembangan menggunakan pendekatan iteratif dan inkremental yang memfasilitasi evaluasi berkelanjutan dan perbaikan hingga mencapai hasil optimal. Produk akhir adalah aplikasi AR yang menampilkan data sensor dan mengontrol perangkat penyiraman yang terhubung ke sistem IoT. Pengujian usability menggunakan skala Likert mencapai skor tinggi: usefulness 90,65%, ease of use 91,2%, ease of learning 89,01%, dan satisfaction 92,3%. Hasil menunjukkan integrasi IoT dan AR yang efektif meningkatkan kepuasan interaksi pengguna dalam pengembangan sistem penyiraman otomatis.

Kata Kunci: Internet of things, augmented reality, antarmuka pengguna, sistem irigasi.

Abstract – Internet of Things (IoT) and Augmented Reality (AR) technologies create opportunities to enhance efficiency in various activities, including ornamental plant care. Plant owners commonly face inconsistent watering practices, adversely affecting plant growth. IoT systems often require additional costs for physical interface devices like displays. This study proposes an IoT-based ornamental plant watering system with AR data visualization, utilizing smartphones as primary interface for real-time monitoring and control without additional devices. The objective is developing routine and scheduled watering while improving user interaction through AR interface. Development methodology employs iterative and incremental approach facilitating continuous evaluation and improvement until achieving optimal results. The final product is an AR application displaying sensor data and controlling watering devices connected to IoT system. Usability testing using Likert scale achieved high scores: usefulness 90.65%, ease of use 91.2%, ease of learning 89.01%, and satisfaction 92.3%. Results demonstrate effective IoT and AR integration enhances user interaction satisfaction in automated watering system development.

Keywords: Internet of Things, Augmented Reality, user interface, smart irrigation.

1. Pendahuluan

Teknologi IoT mengalami perkembangan pesat dalam beberapa tahun terakhir. Pada akhir tahun 2022, tercatat sekitar 14 miliar perangkat terhubung IoT secara global. Jumlah ini diperkirakan meningkat menjadi 30,9 miliar pada tahun 2025 [1]. IoT memungkinkan pengguna mengatur dan memperoleh informasi dari objek terhubung menggunakan internet secara *real-time*. IoT memberikan kemudahan dalam pengelolaan berbagai aktivitas harian, termasuk perawatan tanaman secara efisien. Banyak orang merawat tanaman untuk memperindah rumah. Namun, pemilik tanaman sering lupa melakukan penyiraman. Keterlambatan penyiraman menyebabkan tanaman tidak berkembang atau bahkan mati. Salah satu tantangan penerapan IoT adalah tingginya biaya investasi [2]. Penggunaan layar untuk menampilkan data sensor dapat lebih mahal dari perangkat IoT itu sendiri [3]. Hal ini menjadi kendala bagi pengguna yang ingin menerapkan IoT secara praktis dan hemat biaya. AR merupakan teknologi *immersive-reality* yang memungkinkan interaksi *real-time* dengan objek 3D di dunia virtual. Penggunaan AR terbukti meningkatkan pengalaman pengguna di berbagai bidang, seperti aplikasi IKEA yang menggabungkan AR untuk visualisasi produk [4].

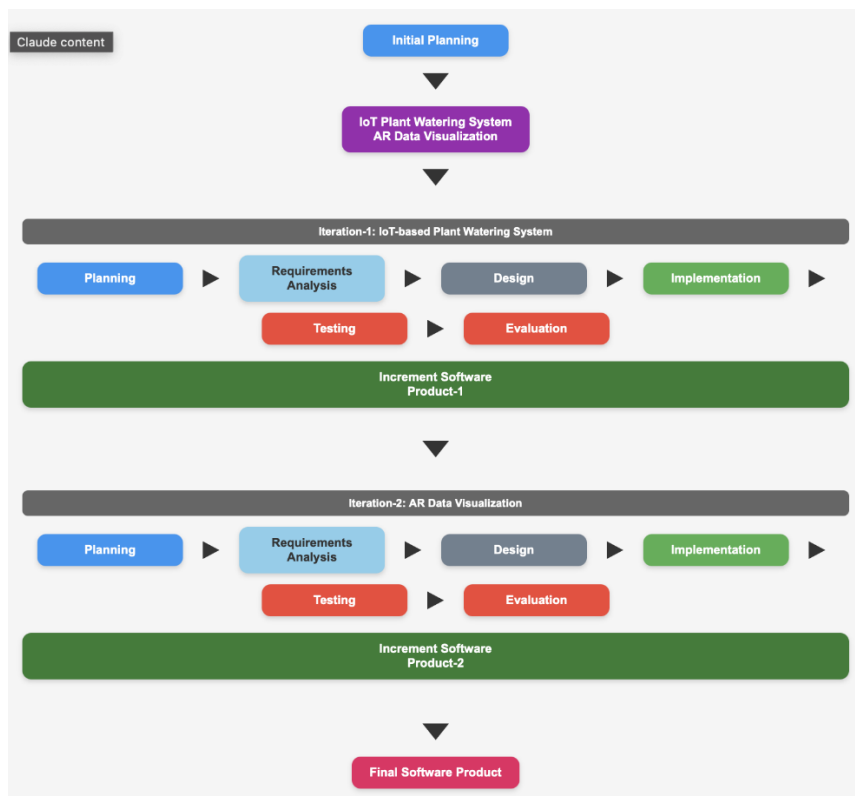
Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dan AR masih terbatas. Dari 43 makalah tahun 2014-2020, terdapat 28 penelitian yang membahas kedua teknologi ini dengan aplikasi terbanyak di bidang kehidupan sosial [5]. Teknologi IoT yang menyediakan akses *real-time* dapat memberikan dukungan signifikan terhadap kinerja AR. IoT digunakan untuk pemantauan dan pengendalian jarak jauh, sementara AR diterapkan dalam antarmuka pengguna untuk memvisualisasikan aktivitas sistem IoT secara virtual dan *real-time*. Penerapan teknologi IoT dan AR pada sistem *smart home* menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan pengalaman pengguna, efisiensi, dan keamanan [6]. Sistem IoT terbukti dapat mengumpulkan data *real-time* mengenai parameter lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kelembaban tanah untuk pertumbuhan tanaman optimal [7]. Integrasi AR dan IoT akan terus menjadi prospek menjanjikan dan jalur penelitian terbaru [8].

Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem penyiraman tanaman hias berbasis IoT secara rutin dan terjadwal. Penelitian ini juga merancang visualisasi data sistem menggunakan AR agar dapat diakses *real-time* melalui perangkat *mobile* untuk meningkatkan efisiensi pemantauan dan interaksi pengguna. Implementasi sistem terdiri dari sensor suhu, timer (RTC), tombol *switch* pada aplikasi AR yang diproses mikrokontroler dan diintegrasikan dengan aplikasi AR pada *smartphone*. Sistem akan menampilkan informasi lingkungan tentang suhu dan kelembaban udara, jadwal penyiraman tanaman, serta memberikan kontrol langsung terhadap pompa air melalui visualisasi digital.

2. Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan model pengembangan *iterative incremental* dalam merancang dan membangun sistem. Model *iterative incremental* dipilih berdasarkan beberapa keunggulan yang sesuai dengan karakteristik pengembangan sistem IoT dan AR. Model ini memungkinkan deteksi dini terhadap kesalahan dan penyimpangan dari kebutuhan sistem, yang sangat penting untuk integrasi teknologi yang berbeda seperti IoT dan AR [9]. Pendekatan *iterative incremental* mendukung pengujian dan validasi berkelanjutan sepanjang siklus pengembangan, memastikan masalah ditemukan dan ditangani dengan cepat [10]. Dibandingkan dengan model *Waterfall* yang memerlukan spesifikasi lengkap di awal, model *iterative incremental* memberikan fleksibilitas untuk merespons perubahan kebutuhan teknis yang sering terjadi [11]. Efektivitas model *iterative incremental* tidak ditentukan oleh kuantitas iterasi, tetapi oleh kemampuan setiap iterasi menghasilkan peningkatan yang berarti dan terukur [12].

Dalam penelitian ini, proses pengembangan dilakukan dalam dua iterasi, proses pengembangan dilakukan melalui serangkaian siklus berulang (iteratif) dan bertahap (inkremental) [13]. Dua iterasi di dalamnya berisi tentang *planning*, analisis kebutuhan, desain, implementasi, pengujian dan evaluasi. Model *iterative incremental* sistem penyiraman tanaman ditampilkan pada Gambar 1.

Gambar 1. Model *Iterative Incremental* Sistem Penyiraman Tanaman.

2.1. Initial Planning

Pada tahap ini dilakukan identifikasi tujuan, sasaran, serta berbagai iterasi yang diperlukan untuk menyelesaikan sistem penyiraman tanaman hias berbasis IoT dan AR. Tujuan utama sistem ini adalah mengotomatisasi penyiraman tanaman secara rutin dan terjadwal, memudahkan pemantauan, serta meningkatkan pengalaman pengguna dengan teknologi AR. Sasaran pengguna mencakup pemilik tanaman hias rumahan, pengelola taman hias skala kecil hingga menengah, serta penghobi tanaman yang ingin mengadopsi teknologi modern. Setelah itu merancang iterasi yang diperlukan, iterasi pertama dilakukan terlebih dahulu membuat sistem penyiraman berbasis IoT kemudian iterasi kedua membuat visualisasi data AR yang terhubung dengan sistem IoT menggunakan protokol MQTT.

2.2. Iterasi 1

Pada tahap ini masuk ke dalam iterasi pertama meliputi penjadwalan penyiraman otomatis beserta pemantauan *real-time* suhu dan kelembaban. Tahap *planning* pada iterasi pertama adalah pengembangan fitur dasar berupa membuat *monitoring* lingkungan berupa suhu dan kelembaban tanaman, status penyiraman menggunakan manual dan otomatis sesuai waktu yang diinginkan menggunakan RTC. Pada tahap analisis kebutuhan mencakup pemilihan mikrokontroler dengan ESP32, sensor suhu dan kelembaban menggunakan DHT22, *actuator* berupa *relay* 5v untuk penyiraman, dan RTC untuk melacak waktu secara *real-time* sesuai waktu saat ini. Kebutuhan konektivitas jaringan juga dianalisis agar data dapat dikirimkan secara *real-time* ke *server* atau aplikasi pengguna. Pada tahap desain melibatkan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak yaitu membuat alur proses rangkaian (jalur kabel) yang mencakup koneksi sensor, *actuator*, dan RTC ke mikrokontroler. dan program (*flowchart*) yang akan dibuat untuk proses penyiraman tanaman. Tahap ini melibatkan perakitan dan pengujian perangkat keras (sensor, aktuator, RTC dan ESP32) serta penulisan program mikrokontroler untuk membaca data sensor, mengendalikan pompa air, dan mengirim data ke *server* menggunakan protokol komunikasi seperti HTTP atau

MQTT. Pada tahap pengujian dilakukan pengujian pada sistem penyiraman untuk memastikan nilai suhu, kelembaban dan waktu penyiraman dapat terbaca oleh mikrokontroler. Kemudian sistem dapat mengendalikan pompa air sesuai dengan status penyiraman, dan mengirim data ke *server* menggunakan protokol komunikasi MQTT. MQTT digunakan untuk mengelola komunikasi antara perangkat AR dan komponen IoT, memungkinkan transfer data sensor secara *real-time* ke antarmuka AR tanpa *delay* yang signifikan [14].

2.3. Iterasi 2

Pada tahap ini masuk ke dalam iterasi kedua meliputi kebutuhan perangkat lunak untuk membuat tampilan aplikasi menggunakan AR. Tahap *planning* pada iterasi kedua adalah pembuatan tampilan aplikasi di Unity untuk dapat melihat waktu sekarang, data suhu dan kelembaban, mengatur status penyiraman berupa kontrol manual dan otomatis melalui aplikasi dan visualisasi AR. Pada tahap analisis kebutuhan mencakup identifikasi kebutuhan perangkat lunak untuk membangun fitur AR, termasuk *engine* AR seperti Vuforia, serta kebutuhan API untuk koneksi dengan sistem IoT melalui protokol MQTT. Pada tahap desain mencakup pembuatan *wireframe* dan *mockup* untuk aplikasi *mobile*. Selain itu, pembuatan *marker* untuk deteksi *control interface* yaitu untuk mengubah status penyiraman tanaman secara manual atau otomatis dan *monitoring* data suhu beserta kelembaban. Pada tahap implementasi dilakukan integrasi fitur AR ke dalam aplikasi *mobile* dan dihubungkan dengan sistem IoT melalui protokol MQTT melewati MQTT Server agar sistem memungkinkan pengguna menyiram tanaman secara manual ataupun otomatis, memantau data sensor secara *real-time*, dan melihat informasi tersebut dalam bentuk AR. Pada tahap pengujian dilakukan pengujian integrasi dengan fokus pada sinkronisasi data sensor, kontrol manual, dan visualisasi AR. Pengujian memastikan semua komponen berfungsi sesuai yang diinginkan. Pada tahap evaluasi dilakukan pengujian *usability* karena produk telah selesai dilakukan. Pengujian *usability* menggunakan kuisiioner USE *Questionnaire* yang sudah sesuai dengan standar internasional untuk membantu dalam pengukuran *usability* produk maupun jasa.

2.4. USE Questionnaire

Evaluasi dilakukan terhadap sistem SIRAMI (Sistem Irigasi *Real-time Augmented Monitoring* IoT) menggunakan metode *USE Questionnaire*. Instrumen kuesioner terdiri dari 30 butir pernyataan yang mencerminkan 4 dimensi *usability* ditampilkan pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Jumlah Pertanyaan Berdasarkan Dimensi.

Dimensi	Jumlah Pertanyaan
Usefulness	8
Ease of Use	11
Ease of Learning	4
Satisfaction	7
Total	30

2.5. Skala Likert

Pada penelitian ini, instrumen kuesioner yang digunakan untuk mengevaluasi tingkat penerimaan dan persepsi pengguna terhadap sistem disusun menggunakan skala Likert. Skala likert dapat digunakan untuk mengukur sikap, pendapat, dan persepsi seseorang maupun sekelompok orang mengenai suatu kejadian [15]. Melalui pendekatan ini, setiap responden diminta memberikan penilaian berdasarkan tingkat persetujuan mereka terhadap sejumlah pertanyaan yang telah dirancang berdasarkan kerangka USE *Questionnaire* yang terdiri dari empat dimensi utama yaitu kegunaan (*usefulness*), kemudahan penggunaan (*ease of use*), kemudahan pembelajaran (*ease of learning*), dan kepuasan (*satisfaction*) [16].

Dalam proses evaluasi sistem, penelitian ini menggunakan instrumen kuesioner yang disusun berdasarkan skala Likert tujuh poin. Skala ini dipilih karena mampu memberikan representasi yang lebih detail mengenai tingkat persetujuan yang diajukan terhadap responden.. Skema penilaian dalam skala Likert tujuh poin dapat dilihat pada Tabel 2 berikut :

Tabel 2. Skema Penilaian Skala Likert.

Nilai	Keterangan
1	Sangat Tidak Setuju
2	Tidak Setuju
3	Agak Tidak Setuju
4	Netral
5	Agak Setuju
6	Setuju
7	Sangat Setuju

Rumus yang digunakan :

$$Skor\ Total = T \times Pn \quad (1)$$

Keterangan :

T = Jumlah responden

Pn = Angka skor Likert

Jika total skor telah didapat, langkah selanjutnya adalah menghitung skor maksimum dan minimum yang mungkin diperoleh untuk setiap pertanyaan. Skor ini dihitung berdasarkan jumlah responden dan rentang skala Likert yang digunakan, dengan rumus sebagai berikut :

$$Skor\ maksimum = Skor\ tertinggi\ pada\ skala\ Likert \times jumlah\ responden \quad (2)$$

$$Skor\ minimum = Skor\ terendah\ pada\ skala\ Likert \times Jumlah\ responden \quad (3)$$

Rumus Interval :

$$I = 100 / jumlah\ skor\ (Likert) \quad (4)$$

Kriteria interpretasi skor berdasarkan interval:

- 1) Angka 14,29% - 28,57% = Tidak setuju
- 2) Angka 28,58% - 42,86% = Agak tidak setuju
- 3) Angka 42,87% - 57,15% = Netral
- 4) Angka 57,16% - 71,43% = Agak setuju
- 5) Angka 71,44% - 85,72% = Setuju
- 6) Angka 85,73% - 100% = Sangat setuju

Langkah terakhir, yaitu melakukan perhitungan index %, dengan rumus sebagai berikut :

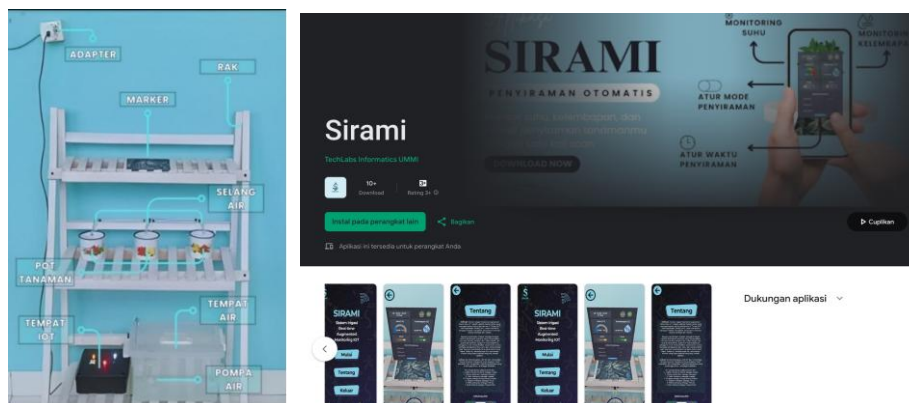
$$Rumus\ Index\ \% = (Total\ Skor / Skor\ maksimum) \times 100 \quad (5)$$

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan model pengembangan, bab ini menyajikan hasil dan pembahasan dari penelitian pengembangan sistem penyiraman tanaman otomatis berbasis IoT dengan visualisasi *Augmented Reality* (AR). Hasil penelitian dibagi menjadi dua bagian utama, yaitu hasil implementasi sistem yang mencakup kinerja perangkat keras (ESP32, sensor DHT22, relay, dan RTC) serta integrasi aplikasi mobile dengan fitur AR, dan hasil pengujian *usability* yang diperoleh melalui evaluasi pengguna menggunakan kuesioner USE *Questionnaire*.

3.1 Sistem Penyiraman Tanaman Berbasis IoT dan Visualisasi Data AR

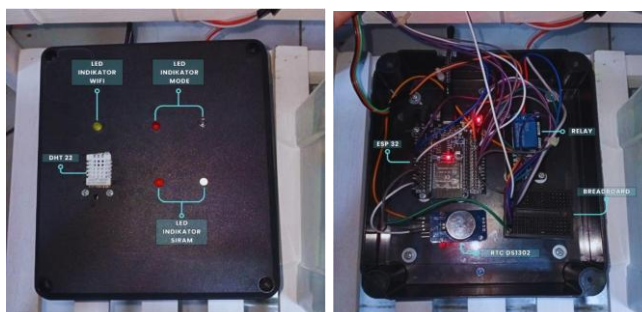
Penelitian ini telah mengembangkan sistem monitoring dan penyiraman tanaman otomatis menggunakan teknologi IoT yang dapat memantau dan menampilkan setiap data yang dikumpulkan oleh sensor melalui aplikasi AR pada *smartphone* pengguna.



Gambar 2. Sistem Penyiraman Tanaman dan Aplikasi SIRAMI.

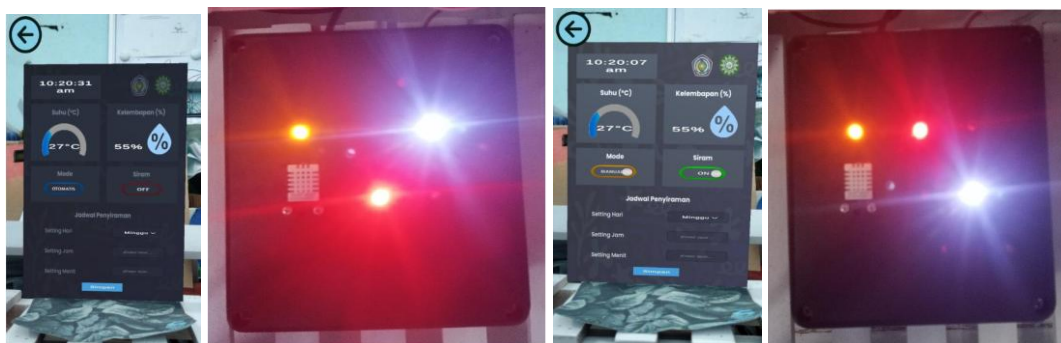
Gambar 2 menunjukkan sistem penyiraman IoT yang akan aktif ketika terhubung ke adapter 5V sebagai sumber daya utama. Pompa air ditempatkan di dalam tempat air (*reservoir*) sehingga ketika relay aktif, pompa akan menyedot air dan menyalurkannya ke setiap pot tanaman melalui selang air yang terpasang pada rak sistem. Untuk memungkinkan pengguna memantau data suhu dan kelembaban serta mengatur penyiraman tanaman secara manual maupun otomatis, terdapat marker AR yang akan dideteksi ketika aplikasi "SIRAMI" dibuka pada *smartphone*.

Pengguna dapat memantau data suhu dan kelembaban juga dapat mengontrol sistem penyiraman secara manual maupun otomatis dari *smartphone* menggunakan aplikasi bernama "SIRAMI". Aplikasi SIRAMI telah tersedia dan dapat diunduh secara gratis melalui Google Play Store dengan nama "Sirami - Sistem Irigasi *Real-time Augmented Monitoring* IoT". Melalui Play Store, pengguna dapat dengan mudah menginstal aplikasi pada perangkat Android dengan sistem operasi minimum Android 10.0, serta dapat melihat *preview interface* aplikasi yang menampilkan fitur-fitur utama seperti monitoring suhu dan kelembaban, pengaturan mode penyiraman (manual/otomatis), dan pengaturan jadwal waktu penyiraman.



Gambar 3. Komponen Sistem Penyiraman Tanaman.

Sistem ini terintegrasi dengan tempat IoT yang berisi perangkat ESP32 dan sensor untuk mengontrol seluruh operasi penyiraman tanaman yang dapat dilihat pada Gambar 3. ESP32 digunakan sebagai pusat kendali seluruh sistem, menerima data sensor dan mengendalikan output seperti relay dan LED. Sensor DHT22 dihubungkan pada ESP32 untuk mengukur suhu dan kelembaban lingkungan secara *real-time*. *Relay module* digunakan untuk mengontrol pompa air yang akan melakukan penyiraman tanaman. Modul RTC DS3231 menggunakan komunikasi I2C, berfungsi untuk menyediakan informasi waktu yang akurat untuk sistem penjadwalan penyiraman otomatis. Sistem dilengkapi dengan lima LED indikator yaitu koneksi Wi-Fi menunjukkan status internet, mode manual aktif saat operasi manual, penyiraman ON/OFF mengindikasikan status pompa air, dan mode auto menyala pada mode otomatis. Data sensor ditransmisikan ke server MQTT melalui koneksi Wi-Fi. Tampilan aplikasi dengan mengaktifkan mode otomatis dan manual dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Tampilan Aplikasi dan IoT saat Mode Otomatis (kiri) dan Manual (kanan) Diaktifkan.

Penelitian ini berhasil mengembangkan sistem penyiraman tanaman otomatis yang mengintegrasikan teknologi IoT dan AR. Sistem menunjukkan pembacaan sensor DHT22 yang relatif stabil dalam kondisi normal (suhu antara 25 – 30°C). Responsivitas sistem dalam koneksi jaringan yang stabil antara *delay* 1 – 2 detik kecepatan perintah antara aplikasi AR hingga aktivasi pompa, namun *delay* ini dapat meningkat pada kondisi jaringan WiFi yang tidak stabil. Sinkronisasi data *real-time* antara sensor IoT dan antarmuka AR mengalami sejumlah kendala operasional, dimana kegagalan sinkronisasi terjadi karena limitasi protokol MQTT dalam menangani beberapa koneksi secara bersamaan dan batas waktu *broker* MQTT untuk dapat berkomunikasi dengan *smartphone*. Temuan ini mengindikasikan bahwa sistem masih rentan terhadap variabilitas kondisi jaringan dan keterbatasan *hardware*, yang menjadi isu kritis untuk implementasi IoT dan AR.

Penelitian terkait mengembangkan sistem kontrol perangkat rumah menggunakan ESP32 dan Blynk API, dimana AR digunakan untuk menempatkan objek 3D yang dapat mengontrol perangkat IoT secara efektif [17]. Studi lain mengimplementasikan sistem monitoring panel daya menggunakan sensor untuk mengambil data tegangan, arus, dan daya. Data disimpan pada database Firebase melalui NodeMCU dan ditampilkan dalam bentuk aplikasi AR untuk monitoring real-time [18]. Berbeda dengan kedua penelitian tersebut, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini mengusulkan pada domain otomatisasi pertanian dengan mengintegrasikan sensor lingkungan (DHT22), logika penjadwalan berbasis RTC, dan kontrol aktuator untuk penyiraman tanaman. Sementara penelitian Jaivignesh menggunakan Blynk API untuk keperluan umum rumah pintar dan Asriyadi berfokus pada monitoring pasif sistem kelistrikan, penelitian ini mengimplementasikan protokol MQTT dengan kombinasi penjadwalan otomatis dan kemampuan kontrol manual melalui antarmuka AR berbasis marker.

3.2 Usability Testing

Tahap awal dalam proses *usability testing* adalah merancang instrumen evaluasi berupa daftar pertanyaan yang akan digunakan dalam bentuk kuesioner. Kuesioner ini disusun dengan tujuan untuk mengukur persepsi pengguna terhadap sistem yang dikembangkan. Dalam rangka mengevaluasi tingkat kegunaan dan pengalaman pengguna terhadap sistem SIRAMI, dilakukan pengujian *usability* dengan pendekatan langsung (*on-site-testing*) melalui media rak IoT demonstrasi. Sistem SIRAMI dipajang di area strategis kampus untuk memberikan kesempatan kepada mahasiswa mencoba secara langsung fitur-fitur utama, seperti kontrol penyiraman otomatis, integrasi aplikasi *mobile*, serta visualisasi sensor suhu dan kelembaban dengan teknologi AR. Setelah berinteraksi dengan sistem, pengguna diminta untuk memberikan umpan balik melalui kuesioner yang telah disediakan dalam bentuk QR code. Responden yang terlibat adalah mahasiswa dari berbagai jurusan, dengan total sebanyak 26 responden, yang secara sukarela berpartisipasi dalam pengujian.

3.3 Analisis Usability Testing

Instrumen kuesioner yang digunakan disusun berdasarkan kerangka USE *Questionnaire* yang terdiri dari empat faktor utama yaitu kegunaan (*usefulness*), kemudahan penggunaan (*ease of use*),

kemudahan pembelajaran (*ease of learning*), dan kepuasan (*satisfaction*). Sebanyak 30 pertanyaan dikembangkan berdasarkan dimensi tersebut, dengan skala pengukuran menggunakan Likert 7 Poin. Mulai dari sangat tidak setuju hingga sangat setuju. Hasil dari pengisian kuesioner digunakan untuk mengidentifikasi kekuatan dan kelemahan sistem dari sudut pandang pengguna, serta sebagai dasar penyusunan rekomendasi pengembangan lebih lanjut.

3.4 Perhitungan dengan Skala Likert *Usability Testing*

Untuk memahami tingkat persepsi responden terhadap pernyataan yang diberikan, dilakukan perhitungan dengan menggunakan skala Likert. Skala ini mengukur sikap atau tanggapan responden dalam bentuk skor numerik dari pilihan jawaban yang tersedia, mulai dari "Sangat Tidak Setuju" hingga "Sangat Setuju". Setiap kategori jawaban diberi bobot skor tertentu, yang kemudian dikalikan dengan jumlah responden yang memilih kategori tersebut. Hasil perkalian ini menghasilkan total skor dari masing-masing kategori, yang akan digunakan untuk melakukan analisis lebih lanjut. Pada Tabel 3 dan Tabel 4 menampilkan hasil perhitungan berdasarkan jawaban dari 26 responden:

Tabel 3. Hasil Penilaian Responden.

Kategori Jawaban	Jumlah Responden	Skor	Total Skor
Sangat Setuju	9 responden	7	63
Setuju	15 responden	6	90
Agak Setuju	2 responden	5	10
Netral	0 responden	4	0
Agak Tidak Setuju	0 responden	3	0
Tidak Setuju	0 responden	2	0
Sangat Tidak Setuju	1 responden	1	1
Total	26 responden		164

Tabel 4. Perhitungan Keseluruhan Hasil Penilaian.

Deskripsi	Nilai
Skor Maksimum	$26 \times 7 = 182$
Skor Minimum	$26 \times 1 = 26$
Total Skor Diperoleh	164
Indeks (%)	$(164 / 182) \times 100 = 90,1\%$

Nilai indeks yang didapatkan dari perhitungan adalah 90,1%, maka dapat disimpulkan bahwa responden "Sangat Setuju" sistem SIRAMI ini dapat membantu untuk penyiraman tanaman hias menjadi lebih efektif dalam mengelola tanaman. Setelah dilakukan perhitungan pada setiap pertanyaan kuesioner dengan menggunakan perhitungan likert tersebut, maka didapatkan presentase nilai *usability* seperti pada Tabel 5 berikut :

Tabel 5. Pertanyaan Kuisisioner dan Hasil Presentase.

Faktor	Pertanyaan	Persentase	Keterangan
Usefulness	Sistem ini meningkatkan produktivitas saya dalam merawat tanaman hias.	89,56%	Sangat Setuju
	Sistem AR-IoT ini bermanfaat untuk perawatan tanaman hias.	89,01%	Sangat Setuju
	Sistem ini memberikan saya kontrol lebih besar terhadap aktivitas pengelolaan tanaman dalam kehidupan sehari-hari.	89,01%	Sangat Setuju
	Sistem AR-IoT mempermudah saya dalam mencapai tujuan perawatan tanaman.	89,01%	Sangat Setuju
	Saya menghemat waktu dengan menggunakan sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman.	90,65%	Sangat setuju
	Sistem ini memenuhi kebutuhan saya dalam pengelolaan tanaman hias.	90,65%	Sangat setuju
	Sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman melakukan semua fungsi yang saya harapkan.	85,71%	Setuju
	Sistem AR untuk penyiraman tanaman hias berbasis IoT membantu saya menjadi lebih efektif dalam	85,71%	Setuju

	mengelola tanaman.		
Ease of Use	Sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman hias mudah digunakan.	88,46%	Sangat Setuju
	Pengoperasian sistem ini sederhana.	91,2%	Sangat Setuju
	Antarmuka sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman ramah pengguna.	88,46%	Sangat Setuju
	Sistem ini memerlukan langkah-langkah minimal untuk mencapai apa yang saya inginkan.	89,01%	Sangat Setuju
	Sistem AR-IoT ini fleksibel dalam penggunaannya.	86,26%	Sangat Setuju
	Penggunaan sistem ini terasa mudah dan tanpa usaha yang berarti.	85,16%	Setuju
	Saya dapat menggunakan sistem ini tanpa instruksi tertulis.	84,06%	Setuju
	Saya tidak menemukan ketidakkonsistenan saat menggunakan sistem AR-IoT ini.	82,41%	Setuju
	Sistem ini dapat disukai oleh pengguna sesekali maupun pengguna rutin.	85,71%	Setuju
	Saya dapat memperbaiki kesalahan dengan cepat dan mudah saat menggunakan sistem.	84,61%	Setuju
	Saya dapat menggunakan sistem ini dengan sukses setiap kali digunakan.	85,71%	Setuju
Ease of Learning	Saya mempelajari cara menggunakan sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman dengan cepat.	86,26%	Sangat Setuju
	Saya dengan mudah mengingat cara menggunakan sistem ini.	89,01%	Sangat Setuju
	Sistem AR-IoT ini mudah dipelajari penggunaannya.	87,36%	Sangat Setuju
	Saya dengan cepat menjadi terampil menggunakan sistem ini.	87,36%	Sangat Setuju
Satisfaction	Saya puas dengan sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman hias.	88,46%	Sangat Setuju
	Saya akan merekomendasikan sistem ini kepada teman.	90,1%	Sangat Setuju
	Menggunakan sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman terasa menyenangkan.	81,19%	Setuju
	Sistem ini bekerja sesuai dengan keinginan saya.	86,81%	Sangat Setuju
	Sistem AR-IoT ini mengagumkan.	92,3%	Sangat Setuju
	Saya merasa perlu memiliki sistem ini untuk perawatan tanaman hias.	90,65%	Sangat Setuju
	Penggunaan sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman hias menyenangkan.	91,2%	Sangat Setuju

Berdasarkan hasil perhitungan kuesioner dari Tabel 5, faktor *Usefulness* menunjukkan skor tertinggi pada pernyataan “sistem SIRAMI dapat memenuhi kebutuhan dalam pengelolaan tanaman hias, serta menghemat waktu dengan menggunakan sistem AR-IoT untuk penyiraman tanaman”, dengan nilai indeks sebesar 90,65%. Untuk faktor *ease of use*, skor tertinggi diperoleh pada pernyataan “Pengoperasian sistem ini sederhana” dengan nilai indeks sebesar 91,2%. Selanjutnya pada faktor *ease of learning*, pernyataan dengan skor tertinggi adalah “Saya dengan mudah mengingat cara menggunakan sistem ini” dengan nilai indeks 89,01%, yang mencerminkan bahwa sistem mudah diakses oleh pengguna baru sehingga mudah mengingatnya. Adapun pada faktor *satisfaction*, nilai tertinggi diperoleh dari pernyataan “Sistem AR-IoT ini mengagumkan” dengan indeks 92,3%. Secara keseluruhan, keempat faktor tersebut memperlihatkan bahwa sistem SIRAMI telah memenuhi aspek *usefulness*, *ease of use*, *ease of learning*, serta *satisfaction* yang menjadi indikator penting dalam evaluasi *usability* sistem berbasis teknologi.

4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dan AR dapat diterapkan secara efektif dalam sistem penyiraman tanaman *real-time*. Kontribusi utama adalah implementasi antarmuka AR berbasis aplikasi *mobile* yang mengeliminasi kebutuhan perangkat keras tambahan, memberikan pengalaman pengguna yang lebih interaktif. Evaluasi *usability*

menghasilkan skor rata-rata 90,7%, memvalidasi tingkat penerimaan pengguna yang tinggi dan memperkaya literatur AR dalam sektor pertanian.

Penelitian mengidentifikasi keterbatasan kritis termasuk dependensi konektivitas jaringan dan limitasi protokol MQTT dalam menangani koneksi yang bersamaan. Temuan ini memperkuat pernyataan bahwa AR dapat berfungsi sebagai antarmuka efektif untuk sistem IoT, namun hambatan teknis dan kebutuhan infrastruktur masih menjadi faktor pembatas untuk implementasi yang lebih luas. Arah penelitian selanjutnya meliputi pengembangan *edge computing* untuk mengurangi dependensi jaringan dan algoritma penyiraman prediktif berbasis *machine learning*. Penelitian ini membuka jalan eksplorasi lebih lanjut AR-IoT dalam bidang pertanian.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Allah, segala puji bagi-Nya, sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini dengan baik. Tak lupa kepada pihak yang terlibat langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat disebutkan satu persatu atas doa dan dukungan yang diberikan selama ini. Penelitian ini dibiayai oleh APB Riset Muhammadiyah Batch VIII tahun 2024.

Referensi

- [1] S. Kumar S and Xavier, "An Analysis of Emerging IOT Trends In 2024," *International Journal of Research Publication and Review IJRPR*, vol. 5, Feb., pp. 3625-362, 2024.
- [2] H. Alloui and Y. Mourdi, "Exploring the Full Potentials of IoT for Better Financial Growth and Stability: A Comprehensive Survey," *Sensors*, vol. 23, no. 19, Sep., pp. 8015, 2023.
- [3] D. Fuentes, L. Correia, N. Costa, A. Reis, J. Barroso, and A. Pereira, "SAR.IoT: Secured Augmented Reality for IoT Devices Management," *Sensors*, vol. 21, no. 18, Sep., pp. 6001, 2021.
- [4] S. Stumpp, T. Knopf, and D. Michelis, "User Experience Design With Augmented Reality (AR)," *ECIE 2019 14th European Conference on Innovation and Entrepreneurship*, 1032-1040, 2019.
- [5] A. A. Syahidi, K. Arai, H. Tolle, A. A. Supianto, and K. Kiyokawa, "Augmented Reality in the Internet of Things (AR + IoT): A Review," *IJICS International Journal of Informatics and Computer Science*, vol. 5, no. 3, Nov., pp. 258-265, 2021.
- [6] Yoheswari S, "Augmented Reality and IoT-Integrated Smart Homes: Enhancing User Experience and Automation," *Journal of Science Technology Research JSTAR*, vol. 5, no. 1, pp. 389-394, 2024.
- [7] S. Huda et al., "IoT-Enabled Plant Monitoring System with Power Optimization and Secure Authentication," *Computers, Materials & Continua*, vol. 81, no. 2, pp. 3165-3187, 2024.
- [8] G. R. Shinde, P. S. Dhotre, P. N. Mahalle, and N. Dey, "Internet of Things Integrated Augmented Reality," *Springer*, 2020.
- [9] M. Saad and R. Rasli, "Web based expert system in area & land value calculation and faraid distribution," *International Journal of Artificial Intelligence*, vol. 9, no. 2, 2022.
- [10] J. Salshabillah, M. Saputra, and W. Puspitasari, "Interactive alv report customization of business process tracing on sap s/4hana with iterative and incremental methodology in telecommunication company," *Jipi (Jurnal Ilmiah Penelitian Dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 7, no. 2, 2022.
- [11] A. Cruz, C. Rodrigues, et al., "Iterative and Incremental Development of The Atlas Publication Tracking System," *EPJ Web of Conferences*, vol. 295, 2024.
- [12] X. Jia, C. Li, L. Wang, J. Liu, and Y. Cui, "Application of incremental development model based on use cases in spacecraft system modeling," *Journal of Physics Conference Series*, vol. 2965, no. 1, 2025.
- [13] W. Novianti, R. Amalia, and F. S. Hasanusi, "Implementasi Metode Iterative Incremental pada Sistem Administrasi Organisasi Gerakan Antasari Sedekah Jakarta," *Jurnal Riset Dan Aplikasi Mahasiswa Informatika*, vol. 2, no. 3, 2021.

- [14] F. A. A. S. D. T. Rometsch, A. E. M. Casini, A. Drepper, A. Cowley, J. C. F. de Winter, and J. Guo, "Design and evaluation of an Augmented Reality tool for future human space exploration aided by an Internet of Things architecture," *Advances in Space Research*, vol. 70, pp. 2145-2166, 2022.
- [15] W. I. Rahayu and M. R. Shafina, "Aplikasi analisis kelayakan sistem untuk pengukuran usability dengan menerapkan metode USE questionnaire," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 14, no. 3, 2022.
- [16] A. Sasongko, W. E. Jayanti, and D. Risdiansyah, "USE Questionnaire Untuk Mengukur Daya Guna Sistem Informasi e-Tadkzirah," *Jurnal Khatulistiwa Informatika*, vol. 8, no. 2, 2020.
- [17] R. Jaivignesh et al., "Smart Home Automation using IoT and Augmented Reality," *Journal of Physics: Conference Series*, vol. 2325, 2022.
- [18] Asriyadi, S. Pranoto, A. AR, Sulaeman, A. Taufiq, S. M. Ramadhan, and F. Asanawi, "Aplikasi IoT-AR sebagai sistem monitoring pada panel daya," *Prosiding 5th Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat*, pp. 102-108, 2021.