

RANCANG BANGUN SISTEM *INTERNET OF THINGS (IoT)* UNTUK MONITORING DAN PENYIRAMAN OTOMATIS PADA BUDIDAYA MELON DI *GREENHOUSE* MENGGUNAKAN SENSOR pH, KELEMBABAN TANAH, DAN MODUL RTC

^{1st}Fadhlhan Minalloh
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

fadhlhanminalloh@student.telkomuniversity.ac.id

^{2nd}Dr. Ir. Sony Sumaryo M.T.
Fakultas Teknik Elektro
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia

sonysumaryo@telkomuniversity.ac.id

^{3rd}Ir. Yudiansyah Lubis
Business Process Management
PT. Len Industri (Persero)
Bandung, Indonesia
yudiansyah.lubis@len.co.id

Abstrak — Penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem *Internet of Things (IoT)* untuk memantau dan mengotomatisasi penyiraman tanaman melon di *greenhouse*. Sistem ini dirancang untuk menjaga kondisi lingkungan, seperti tingkat pH dan kelembaban tanah, pada kondisi optimal, sehingga meningkatkan efisiensi air dan produktivitas panen. Perangkat utama terdiri dari sensor pH, sensor kelembaban tanah, dan modul RTC yang terintegrasi. Data dari sensor dikirim ke platform IoT yang memungkinkan petani untuk memantau dan mengendalikan budidaya dari jarak jauh.

Sistem ini diuji untuk mengevaluasi kinerja sensor dan efektivitas penyiraman otomatis. Hasilnya menunjukkan bahwa sensor kelembaban tanah memiliki akurasi rata-rata 95,83% dan mampu memicu penyiraman secara akurat saat kelembaban di bawah 40%. Sementara itu, sensor pH menunjukkan fungsi yang stabil dengan koefisien determinasi (R^2) sebesar 0,9439. Secara keseluruhan, sistem IoT ini terbukti efektif dalam mendukung smart farming pada budidaya melon. Penyiraman otomatis yang dikendalikan oleh data sensor dan waktu dapat menghemat tenaga dan sumber daya, serta berkontribusi pada peningkatan kualitas dan kuantitas hasil panen.

Kata kunci— *Internet of Things, pH, Kelembaban Tanah, RTC Module, Greenhouse*

I. PENDAHULUAN

Budidaya melon seringkali menghadapi tantangan internal seperti kualitas air dalam tanah yang tidak stabil, yang dapat menghambat pertumbuhan tanaman dan perkembangan akar [1]. Untuk mengoptimalkan hasil pertanian, kelembaban tanah perlu diperhatikan secara cermat, yang dapat dimonitor menggunakan teknologi komputer dan internet [2]. Proses pertumbuhan melon membutuhkan pengecekan pH, kelembaban tanah, dan suhu

lingkungan, yang sebagian besar masih dilakukan secara manual, memakan waktu dan tenaga [3]. Dalam era Revolusi Industri 4.0, inovasi seperti AI, *Internet of Things (IoT)*, dan robotika telah banyak digunakan untuk mempermudah pekerjaan manusia [4]. Studi sebelumnya telah menggunakan berbagai metode untuk mengembangkan sistem penyiraman otomatis berbasis *Internet of Things*. Murdiyantoro et al. (2021) membuat sistem pemantauan kondisi air hidroponik menggunakan NodeMCU ESP8266. Namun, sistem tersebut hanya memantau parameter air dan tidak mempertimbangkan kelembaban tanah [5]. Dalam penelitian Putri et al. (2019), dibuat sistem penyiraman nutrisi otomatis pada *greenhouse* berukuran kecil. Namun, sistem tersebut tidak menyertakan sensor pH, padahal parameter ini sangat penting untuk memantau kualitas nutrisi tanaman [6]. Sementara itu, Ulinuha dan Riza (2021) merancang sistem pemantauan berbasis aplikasi Android menggunakan Blynk. Akan tetapi, sistem mereka hanya mampu mengukur kelembaban tanah dan tidak menyertakan faktor waktu untuk penyiraman nutrisi [7]. Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, penggabungan sensor pH, kelembaban tanah, dan modul RTC menghasilkan sistem yang lebih lengkap yang memungkinkan pemantauan dan pengendalian yang lebih efisien untuk meningkatkan produktivitas pertanian. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem IoT yang dapat melakukan monitoring dan penyiraman otomatis dengan kemampuan kontrol jarak jauh pada budidaya melon di *greenhouse*, mengintegrasikan sensor pH, sensor kelembaban tanah, dan modul RTC untuk mengoptimalkan jadwal penyiraman serta mencegah pemborosan air, sekaligus membangun sistem penjadwalan yang dapat menyesuaikan waktu dan kondisi *real-time greenhouse*.

II. KAJIAN TEORI

A. Buah Melon

Melon (*Cucumis melo* L.) merupakan komoditas pertanian unggulan karena umur panennya yang singkat dan nilai ekonomi yang tinggi. Buah ini kaya vitamin C, vitamin A, dan air, sehingga baik untuk hidrasi. Melon termasuk dalam tumbuhan berbiji (Divisio Spermatophyta) [8].

Untuk budidaya yang optimal, melon memerlukan perawatan khusus dan pengelolaan lingkungan yang tepat. Tanaman ini tumbuh subur di iklim hangat. Kualitas dan kuantitas hasil panen dapat ditingkatkan jika kondisi tanah dan kelembaban terjaga. Secara spesifik, tanah harus memiliki pH ideal antara 5,6 hingga 6,8 [9]. Sementara kelembaban tanah optimal yang dibutuhkan untuk mendukung pertumbuhan dan produksi buah yang baik adalah sekitar 70% [10].

B. Greenhouse

Greenhouse adalah struktur bangunan transparan (kaca atau plastik polikarbonat) yang dirancang untuk menciptakan dan mempertahankan kondisi lingkungan mikro optimal bagi pertumbuhan tanaman dengan memerangkap panas melalui efek rumah kaca. Keuntungan penggunaan greenhouse meliputi pengendalian lingkungan (suhu, kelembaban, cahaya, CO₂), perlindungan dari hama dan penyakit, efisiensi penggunaan air dan nutrisi, serta peningkatan kualitas dan kuantitas hasil panen [11].

C. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep yang menghubungkan objek fisik ke jaringan digital, memungkinkan perangkat seperti sensor untuk bertukar data melalui internet dengan perangkat atau sistem lain [11]. Arsitektur IoT berfokus pada tiga komponen utama, yaitu objek fisik dengan modul IoT, perangkat yang terhubung ke internet, dan Cloud Data Center sebagai tempat penyimpanan data dan aplikasi [12]. Interaksi antar perangkat ini diatur oleh pemrograman, memungkinkan komunikasi mandiri tanpa campur tangan manusia [13].



Figure 1 Konsep Internet Of Things (IoT)

Penerapan IoT memiliki dampak signifikan, terutama dalam sektor pertanian melalui konsep *smart farming*. Dengan IoT, data *real-time* dari berbagai parameter lingkungan dan kondisi tanaman, seperti kelembaban tanah, suhu, atau pH nutrisi, dapat dikumpulkan [11]. Data-data ini kemudian dianalisis untuk mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik [11]. Berdasarkan data tersebut, sistem otomatis dapat mengelola penyiraman, pemupukan, dan pengendalian hama dengan presisi tinggi, sehingga meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan [1]. Pemanfaatan IoT tidak hanya membantu petani mengoptimalkan hasil panen, tetapi juga mengurangi biaya operasional, meminimalisir pemborosan sumber daya seperti air dan pupuk, dan memastikan kesehatan tanaman yang lebih optimal melalui pemantauan yang terus-menerus [1].

D. Kelembaban Tanah dan pH

Kelembaban tanah dan pH tanah adalah dua parameter krusial yang mempengaruhi pertumbuhan dan produktivitas

tanaman. Kelembaban tanah mengacu pada jumlah air di dalam pori-pori tanah, yang berfungsi sebagai pelarut nutrisi, media transportasi, dan komponen fotosintesis. Kekurangan atau kelebihan air dapat berdampak negatif pada tanaman, seperti menyebabkan layu atau memicu penyakit akar [14]. Penggunaan sensor kelembaban (resistif atau kapasitif) memungkinkan irigasi yang efisien, menghemat air dengan cara menyiram hanya saat diperlukan [15].

pH tanah adalah ukuran keasaman atau kebasaan tanah, dengan skala dari 0 hingga 14. Nilai pH ini sangat memengaruhi ketersediaan unsur hara bagi tanaman [15]. Setiap tanaman memiliki rentang pH optimalnya; pada pH yang terlalu rendah (asam), beberapa unsur mikro bisa menjadi toksik dan fosfor sulit tersedia. Sebaliknya, pada pH yang terlalu tinggi (basa), ketersediaan unsur mikro seperti besi, mangan, dan seng akan terbatas [16]. Oleh karena itu, pemantauan dan pengaturan pH tanah melalui sensor sangat penting untuk memastikan penyerapan nutrisi yang optimal, yang berdampak langsung pada kesehatan dan produktivitas tanaman [14].

Dengan memanfaatkan teknologi ini, sistem otomatis dapat mengontrol penyiraman nutrisi berdasarkan kelembaban tanah dalam rentang 60%-70% [17]. Dan mengukur pH nutrisi dalam rentang 5,5-6,5 untuk memastikan kualitas nutrisi yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman melon [17].

E. Modul RTC (Real-Time Clock)

Modul RTC adalah komponen elektronik yang menjaga catatan waktu secara akurat (detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, tahun) bahkan saat daya utama mati, berkat baterai cadangan internal [18]. Dalam sistem IoT, RTC krusial untuk memberikan *timestamp* pada data sensor, memungkinkan analisis tren, dan penjadwalan tugas otomatis seperti penyiraman terjadwal tanpa bergantung pada koneksi internet yang stabil. RTC juga mencatat peristiwa sistem untuk *debugging* dan pemeliharaan [18]. Dengan RTC, sistem beroperasi secara mandiri dan konsisten dalam penjadwalan waktu [19].

F. Sistem Penyiraman Otomatis

Sistem penyiraman otomatis adalah mekanisme irigasi mandiri yang mengatur pemberian air kepada tanaman secara tepat waktu dan jumlah [20]. Ini vital untuk budidaya melon karena kebutuhan air yang spesifik [1]. Sistem bekerja berdasarkan data sensor kelembaban tanah; jika di bawah ambang batas, pompa air atau katup solenoid diaktifkan hingga kelembaban optimal tercapai [21]. Keuntungan utamanya adalah efisiensi air yang tinggi, penghematan tenaga kerja, dan dukungan pertumbuhan tanaman yang optimal [22]. Integrasi dengan IoT memungkinkan pemantauan status dan kontrol jarak jauh [23].

G. Flutter

Penelitian ini berfokus pada pengembangan aplikasi lintas platform (cross-platform) menggunakan Flutter dan Android Studio. Flutter, framework UI buatan Google, dipilih karena kemampuannya dalam menciptakan aplikasi berkinerja tinggi dari satu basis kode saja. Didukung oleh bahasa

pemrograman Dart dan fitur hot reload, Flutter mampu mempercepat proses pengembangan secara signifikan [24].

Sementara itu, Android Studio digunakan sebagai Integrated Development Environment (IDE) yang menyediakan lingkungan komprehensif. IDE ini mendukung plugin untuk Flutter, yang mempermudah proses penulisan kode, debugging, dan pengujian [25]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa Flutter memiliki performa dan efisiensi yang lebih baik, terutama dalam hal penggunaan CPU dan memori, dibandingkan framework lain seperti React Native [26]. Kombinasi kedua alat ini menawarkan pendekatan yang efisien dan efektif untuk menghasilkan aplikasi yang fungsional dan berkualitas.

III. METODE

A. Gambaran Umum Sistem

Sistem ini merupakan implementasi Internet of Things (IoT) yang dirancang untuk monitoring dan penyiraman otomatis pada budidaya melon di *greenhouse*. Dengan mengintegrasikan sensor pH dan kelembaban tanah, serta modul Real-Time Clock (RTC), sistem secara *real-time* memantau kondisi media tanam dan waktu. Data dari sensor diproses oleh mikrokontroler ESP32, yang kemudian mengaktifkan pompa air dan valve solenoid secara otomatis jika kelembaban tanah di bawah ambang batas atau sesuai jadwal yang ditentukan. Status sistem dan data monitoring dapat diakses dan dikontrol dari jarak jauh melalui aplikasi mobile Android, memungkinkan pengelolaan budidaya yang efisien dan mengurangi intervensi manual.

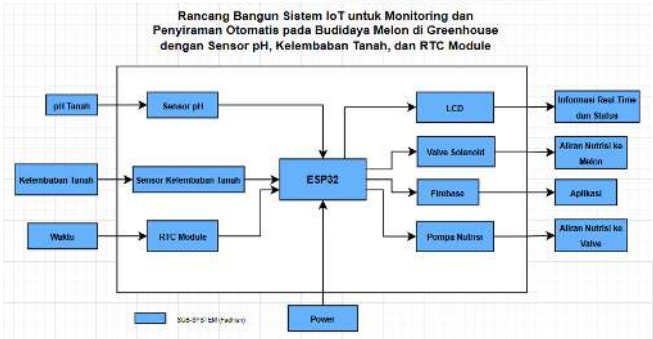


Figure 2 Diagram Blok Sistem

B. Perancangan Perangkat Keras

Perangkat yang digunakan dalam sistem ini adalah ESP32, modul *Real Time Clock* (RTC) DS3231, sensor kelembaban tanah Resistive Humidity HQ (3 unit), sensor pH tanah + DMS (1 unit), serta rangkaian lainnya yang saling terintegrasi satu sama lain

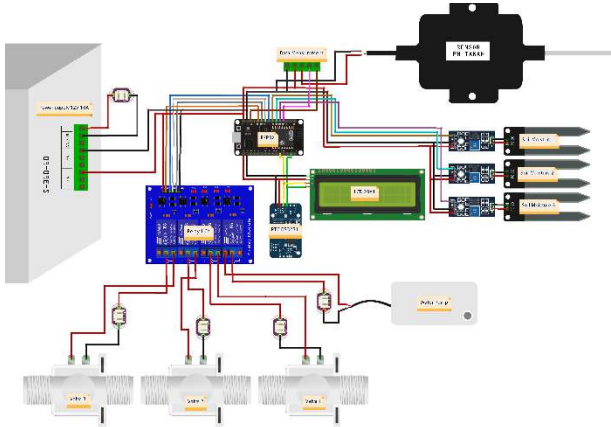


Figure 3 Diagram Blok Sistem

Table 1 Daftar Komponen yang digunakan

No	Komponen	Jenis/Tipe	Jumlah
1	Power Supply	12V 10A	1
2	Node MCU	ESP32	1
3	Sensor Kelembaban Tanah	Resistive Humidity HQ	3
4	Sensor pH Tanah	Sensor pH + DMS	1
5	RTC	DS3231	1
6	Pompa Air	TaffWare	1
7	Solenoid Valve	Valve Plastik	3
8	Relay	Module 4-Ch	1
9	LCD	Blue LCD 20x4	1

C. Flowchart Sistem

Berdasarkan flowchart, sistem irigasi otomatis dimulai dengan inisialisasi perangkat dan koneksi WiFi. Setelah berhasil terhubung, sistem akan terus-menerus membaca data dari sensor pH dan kelembaban tanah. Logika utamanya berfokus pada dua kondisi: jika sudah waktunya penyiraman terjadwal, pompa dan semua katup akan menyala selama durasi yang ditentukan; atau jika kelembaban tanah kering di bawah 40%, pompa dan katup yang relevan akan menyala sampai tanah tidak lagi kering. Setelah penyiraman selesai, baik berdasarkan waktu maupun kondisi sensor, pompa dan katup akan mati.

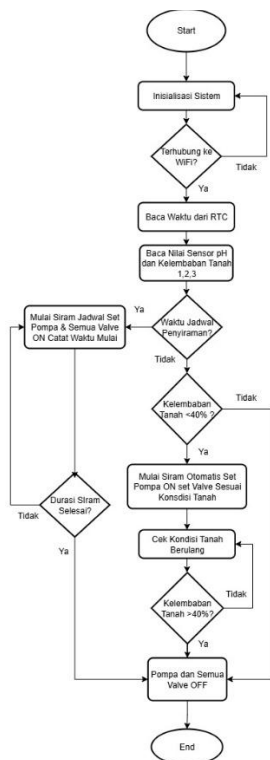


Figure 4 Flowchart Sistem

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bagian ini akan dibahas hasil pengujian masing-masing komponen sensor, modul RTC, serta pengujian kinerja sistem penyiraman otomatis secara terintegrasi. Analisis terhadap hubungan parameter yang diukur dengan tujuan optimalisasi budidaya melon juga akan diuraikan.

A. Pengujian Modul Sensor pH Tanah

Pengujian sensor pH tanah dilakukan untuk mendeteksi tingkat keasaman (acid) atau kebasaan (alkali) pada tanah, dengan rentang ukur 3,5 hingga 8. Sensor dapat disambungkan ke pin analog ESP32 dengan modul DMS untuk menstabilkan pembacaan data. Agar pembacaan nilai ADC tidak fluktuatif, sensor harus tertancap pada tanah. Terdapat dua varian probe, stik mengkilap dan buram, dengan rumus regresi linier yang berbeda. Pada pengujian, probe sensor pH ditancapkan sedalam 8 cm ke tanah. Kalibrasi dilakukan dengan mengukur pH sampel tanah basa dan asam menggunakan pH meter analog, kemudian mencatat nilai ADC dari sensor pH yang ditancapkan pada kedalaman yang sama.

Table 2 Hasil Pengukuran pH dan ADC

Tanah Basa			Tanah Asam		
Cairan basa (ml)	ADC	pH Terukur	Cairan asam (ml)	ADC	pH Terukur
0	272	7	0	266	7
6	232	7,2	6	295	6
12	215	7,5	12	338	5
18	210	7,5	18	356	4
24	211	7,5	24	383	3,5

Berdasarkan data yang diperoleh, didapatkan persamaan regresi linier antara nilai ADC dengan nilai pH aktual: $y = -0.0233x + 12.698$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.9439$. Hal ini menunjukkan tingkat keakuratan yang tinggi untuk mengukur kondisi tanah di *greenhouse*. Pengukuran pH yang akurat sangat penting untuk memastikan media tanam berada dalam rentang optimal (5,6-6,8) untuk budidaya melon. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata akurasi sensor pH mencapai 94,63%, dengan rata-rata error sebesar 5,37%. Hal ini membuktikan bahwa sensor pH yang digunakan memiliki tingkat keandalan dan akurasi yang tinggi untuk memantau kondisi keasaman tanah.

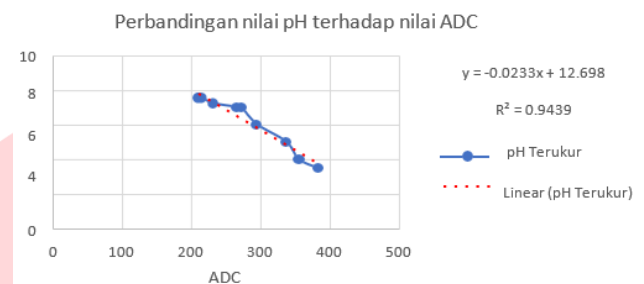


Figure 5 Grafik nilai pH terhadap ADC

Table 3 Hasil Rumus Konversi Probe

ADC	pH Terukur	pH Sensor	Error Absolut	Error (%)	Akurasi (%)
210	7.5	7.8	0.3	4.0	96.0
211	7.5	7.8	0.3	4.0	96.0
215	7.5	7.7	0.2	2.6	97.0
232	7.2	7.3	0.1	1.3	98.6
266	7	6.5	0.5	7.1	92.8
272	7	6.4	0.6	8.5	91.4
295	6	5.8	0.2	3.3	96.6
338	5	4.8	0.2	4.0	96.0
356	4	4.4	0.4	10.0	90.0
383	3.5	3.8	0.3	8.5	91.4
Rata - rata				5.37%	94.63%

B. Pengujian *Resistive Soil Moisture Sensor*

Modul *Resistive Soil Moisture Sensor* digunakan untuk mengukur kelembaban tanah dalam proses pemantauan kondisi *greenhouse*. Sensor ini mendeteksi perubahan resistansi atau kapasitansi kelembaban air dalam tanah dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang diolah oleh modul komparator.

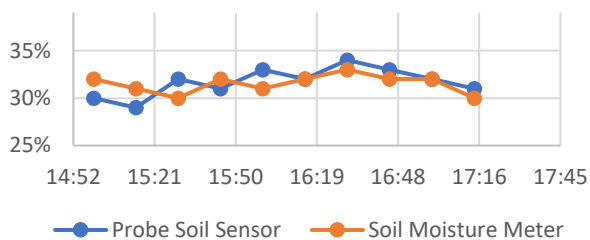
Pengujian kinerja sensor kelembaban tanah dilakukan pada tiga kondisi: kering (<40%), normal (40%-60%), dan lembab/basah (>60%), masing-masing diuji 10 kali.

1. Kondisi Tanah Kering (<40%): Hasil pengujian menunjukkan rata-rata *error* 3,83% dengan akurasi rata-rata 96,17%. Sensor menunjukkan kemampuan yang baik dalam mendeteksi kelembaban rendah, mengindikasikan kebutuhan penyiraman

Table 4 Hasil Pengukuran *Resistive Soil Moisture Sensor* pada Kondisi Tanah Kering (<40%)

No	Waktu	Probe Soil Sensor	Soil Moisture Meter	Error (%)	Akurasi (%)
1	15:00	30%	32%	6.6	93.3
2	15:15	29%	31%	6.9	93.1
3	15:30	32%	30%	6.2	93.7
4	15:45	31%	32%	3.2	96.7
5	16:00	33%	31%	6.0	93.9
6	16:15	32%	32%	0	100.0
7	16:30	34%	33%	2.9	97.0
8	16:45	33%	32%	3.0	96.9
9	17:00	32%	32%	0	100.0
10	17:15	31%	30%	3.2	96.7
Rata - rata				3.83%	96.17%

Kondisi Tanah Kering < 40%

Figure 6 Grafik Pengujian *Resistive Soil Moisture Sensor* pada Kondisi Tanah Kering (<40%)

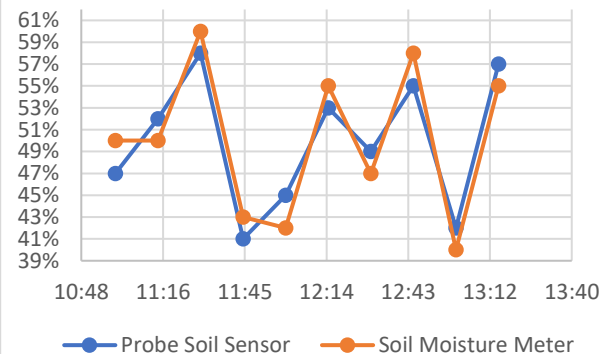
2. Kondisi Tanah Normal (40%-60%): Sensor menunjukkan kinerja sangat baik dengan rata-rata error 4,7% dan akurasi 95,3%. Pembacaan dari Probe Soil Sensor sangat mendekati nilai Soil Moisture Meter, menunjukkan presisi tinggi pada rentang kelembaban relevan untuk budidaya tanaman.

Table 5 Hasil Pengukuran *Resistive Soil Moisture Sensor* pada Kondisi Tanah Normal (40%-60%)

No	Waktu	Probe Soil Sensor	Soil Moisture Meter	Error (%)	Akurasi (%)
1	11:00	47%	50%	6.0	94.0
2	11:15	52%	50%	4.0	96.0
3	11:30	58%	60%	3.3	96.7
4	11:45	41%	43%	4.7	95.3
5	12:00	45%	42%	7.1	92.9
6	12:15	53%	55%	3.6	96.4

7	12:30	49%	47%	4.3	95.7
8	12:45	55%	58%	5.2	94.8
9	13:00	42%	40%	5.0	95.0
10	13:15	57%	55%	3.6	96.4
Rata - rata				4.7%	95.3%

Kondisi Tanah Normal 40% - 60%

Figure 7 Grafik Pengujian *Resistive Soil Moisture Sensor* pada Kondisi Tanah Normal (40%-60%)

3. Kondisi Tanah Lembab/Basah (>60%): Sensor menunjukkan performa terbaiknya dengan rata-rata error 4,09% dan akurasi 95,91%. Kemampuan ini penting untuk memastikan penyiraman berhenti ketika kelembaban tanah telah mencapai batas yang diinginkan, mencegah kondisi *over-watering* yang dapat merusak akar tanaman melon.

Table 6 Hasil Pengukuran *Resistive Soil Moisture Sensor* pada Kondisi Tanah Lembab/Basah (> 60%)

No	Waktu	Probe Soil Sensor	Soil Moisture Meter	Error (%)	Akurasi (%)
1	07:00	68%	70%	2.8	97.1
2	07:15	71%	69%	2.9	97.1
3	07:30	65%	68%	4.4	95.5
4	07:45	63%	60%	5.0	95.0
5	08:00	65%	62%	4.4	95.1
6	08:15	69%	72%	4.1	95.8
7	08:30	78%	75%	4.0	96.0
8	08:45	70%	73%	4.1	95.8
9	09:00	66%	69%	4.3	95.6
10	09:15	74%	71%	4.2	95.7
Rata - rata				4.09%	95.91%

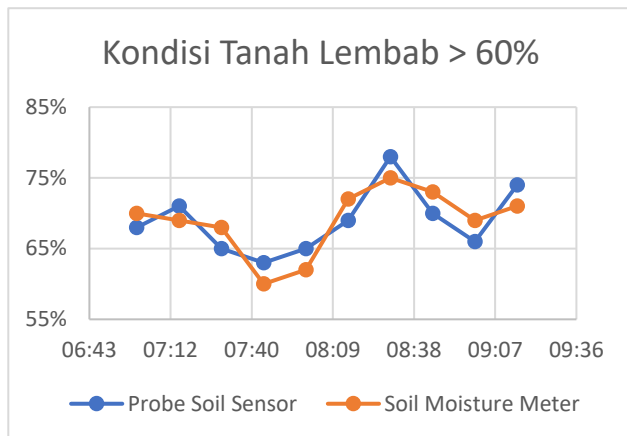


Figure 8 Grafik Pengujian *Resistive Soil Moisture Sensor* pada Kondisi Tanah Lembab/Basah (> 60%)

C. Pengujian Modul Real Time Clock (RTC)

Modul Real-Time Clock (RTC) DS3231 berfungsi melacak waktu secara akurat, termasuk detik, menit, jam, tanggal, bulan, dan tahun. Modul ini dapat terus berjalan bahkan saat daya utama terputus berkat baterai cadangan internal. Kalibrasi RTC dilakukan dengan menyinkronkannya ke *Network Time Protocol (NTP)*, menggunakan server NTP Indonesia (zona waktu WIB). Hasil pengujian menunjukkan kinerja akurasi yang sangat baik dan konsisten. Meskipun terdapat fluktuasi perbedaan waktu yang acak antara 0 hingga 3 detik dibandingkan dengan waktu Server Online, rata-rata perbedaan waktu dari 30 percobaan secara keseluruhan hanya tercatat sekitar 2 detik (0:00:02). Hal ini mengindikasikan bahwa modul RTC sangat dapat diandalkan untuk menyediakan data waktu yang presisi bagi sistem IoT, terutama untuk fungsi-fungsi yang memerlukan penjadwalan waktu yang akurat.

Table 7 Hasil Pengukuran Perbedaan Waktu RTC dengan *Server Online*

No	Waktu		Perbedaan Waktu
	Server Online	Real Time Clock	
1	20:00:00	20:00:01	0:00:01
2	20:09:00	20:09:03	0:00:03
3	20:17:00	20:17:00	0:00:00
4	20:29:00	20:29:02	0:00:02
5	20:36:00	20:36:01	0:00:01
6	20:47:00	20:46:58	0:00:02
7	20:56:00	20:56:00	0:00:00
8	21:09:00	21:09:03	0:00:03
9	21:14:00	21:13:59	0:00:01
10	21:28:00	21:28:02	0:00:02
11	21:33:00	21:33:00	0:00:00
12	21:44:00	21:44:03	0:00:03
13	21:55:00	21:55:01	0:00:01

14	22:01:00	22:01:00	0:00:00
15	22:15:00	22:15:02	0:00:02
16	22:20:00	22:20:03	0:00:03
17	22:31:00	22:30:58	0:00:02
18	22:39:00	22:39:01	0:00:01
19	22:52:00	22:52:00	0:00:00
20	23:05:00	23:05:02	0:00:02
21	23:18:00	23:18:01	0:00:01
22	23:25:00	23:25:03	0:00:03
23	23:36:00	23:36:00	0:00:00
24	23:43:00	23:43:02	0:00:02
25	0:00:00	0:00:01	0:00:01
26	0:08:00	0:08:00	0:00:00
27	0:20:00	0:20:03	0:00:03
28	0:30:00	0:30:01	0:00:01
29	0:43:00	0:43:02	0:00:02
30	0:55:00	0:55:00	0:00:00
Rata-rata perbedaan waktu			0:00:02

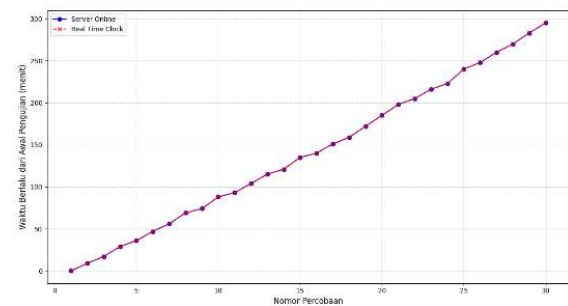


Figure 9 Grafik Pengujian Perbedaan Waktu RTC dengan *Server Online*

D. Pengujian Sistem Penyiraman Terjadwal

Pengujian sistem pada jadwal penyiraman otomatis pagi (07:00) dan sore (16:00) menunjukkan respons sistem yang efektif.

1. Pengujian Sistem pada Jadwal Penyiraman Pagi (07:00): Berdasarkan data pemantauan selama 12 jam, sistem otomatis menunjukkan efektivitasnya dalam menjaga kondisi tanah. Kelembaban tanah terlihat menurun secara bertahap, mencapai 38% pada Soil 1 dan 39% pada Soil 2 sekitar pukul 03:00. Saat kelembaban mencapai ambang batas, sistem secara otomatis melakukan penyiraman. Tindakan ini tidak hanya berhasil menaikkan kelembaban tanah secara signifikan, tetapi juga mengoreksi nilai pH dari 5.5 menjadi 6.0. Pola serupa terjadi pada penyiraman berikutnya, termasuk pada pukul 07:00, di mana kelembaban meningkat dan pH kembali naik dari 5.8 ke 6.4. Hasil ini membuktikan bahwa sistem dapat bekerja secara efektif untuk menjaga tingkat kelembaban optimal dan mengoreksi pH tanah, memastikan lingkungan tumbuh yang stabil bagi tanaman.

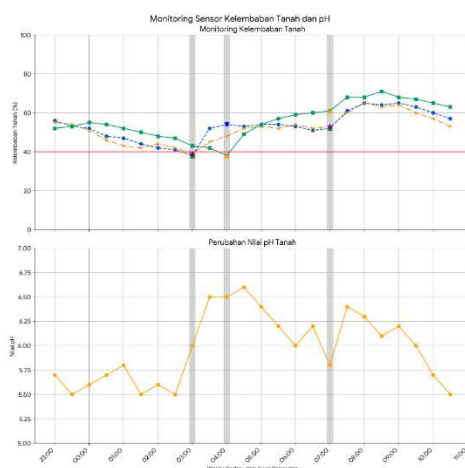


Figure 10 Grafik Dinamika Sistem Monitoring dan Penyiraman Pagi

2. Pengujian Sistem pada Jadwal Penyiraman Sore (16:00): Data visualisasi selama 12 jam menunjukkan respons efektif sistem terhadap perubahan kondisi tanah. Pada pukul 13:00, ketika kelembaban pada Soil 2 turun hingga 39%, sistem secara otomatis melakukan penyiraman. Tindakan ini tidak hanya berhasil menaikkan kelembaban, tetapi juga meningkatkan nilai pH secara signifikan dari 5.5 menjadi 6.0. Respons serupa terjadi pada pukul 16:00, di mana sistem kembali menyiram semua zona saat kelembaban menurun. Penyiraman ini menyebabkan kelembaban di ketiga zona meningkat drastis, dengan Soil 2 mencapai 68%, dan nilai pH mencapai puncaknya di 6.5. Data ini secara jelas membuktikan bahwa sistem berfungsi optimal dalam menjaga kelembaban dan mengoreksi kondisi pH tanah sepanjang hari, memastikan lingkungan yang stabil untuk pertumbuhan tanaman.

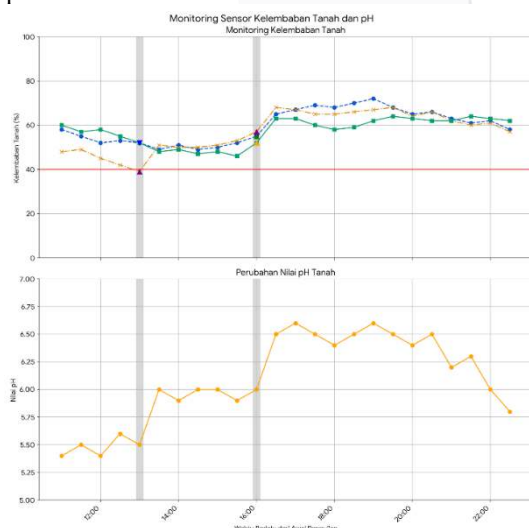


Figure 11 Grafik Dinamika Sistem Monitoring dan Penyiraman Sore

E. Pengukuran Delay dan Penggunaan Firebase

Pengujian delay merupakan evaluasi penting untuk mengukur responsivitas sistem IoT, yang diukur dari waktu pembacaan sensor hingga data ditampilkan di aplikasi seluler. Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan menggunakan platform cloud Firebase untuk membandingkan timestamp saat data dikirim dari mikrokontroler ESP32 dengan waktu data diterima di aplikasi Android. Hasil pengujian 10 kali menunjukkan nilai delay yang minimal, membuktikan sistem ini mampu memberikan pemantauan real-time. Berikut adalah rinciannya:

- Delay Sensor ke ESP32: Waktu yang dibutuhkan sekitar 2 detik untuk sensor kelembaban dan 13 detik untuk sensor pH. Keterlambatan ini berasal dari waktu stabilisasi sensor.
- Delay ESP32 ke Firebase: Rata-rata waktu pengiriman data dari ESP32 ke Firebase adalah sekitar 350 ms.
- Delay Firebase ke Aplikasi: Waktu yang diperlukan untuk pembaruan data dari Firebase ke aplikasi Android rata-rata 148 ms.
- Total Delay (Sensor ke Aplikasi): Total delay dari pembacaan sensor hingga data muncul di aplikasi adalah sekitar 498 ms, tidak termasuk waktu stabilisasi sensor.
- Delay Aplikasi ke ESP32 (Kontrol Manual): Untuk kontrol manual, delay dari aplikasi ke ESP32 adalah sekitar 450 ms.

Table 8 Hasil Pengukuran Delay Pengiriman Data ke Firebase

No	Waktu Penerimaan (dari ESP32)	Waktu Penerimaan (di Aplikasi)	Selisih (Delay)
1	10:30:05.120	10:30:05.670	550 ms
2	10:30:15.890	10:30:16.350	460 ms
3	10:30:25.430	10:30:26.010	580 ms
4	10:30:35.780	10:30:36.250	470 ms
5	10:30:45.090	10:30:45.540	450 ms
6	10:30:55.310	10:30:55.800	490 ms
7	10:31:05.220	10:31:05.710	490 ms
8	10:31:15.650	10:31:16.140	490 ms
9	10:31:25.040	10:31:25.550	510 ms
10	10:31:35.910	10:31:36.400	490 ms
Rata-rata			498 ms

Dengan rata-rata delay transmisi data sebesar 498 ms, sistem ini memiliki latensi rendah. Performa ini sangat penting untuk mendukung fitur pemantauan dan kontrol jarak jauh. Nilai delay di bawah 1 detik ini mengategorikan sistem sebagai "soft real-time", yang sangat memadai untuk aplikasi *smart farming* karena penundaan yang terjadi tidak akan berdampak buruk pada tanaman.

F. Penjelasan Sampling data

Strategi sampling data adalah aspek penting dalam sistem pemantauan berbasis IoT. Menentukan interval pengambilan

data yang tepat dapat menghemat konsumsi daya, memori, dan bandwidth jaringan tanpa mengorbankan kualitas data. Dalam sistem ini, interval sampling disesuaikan dengan karakteristik perubahan setiap parameter yang diukur:

- Sensor Kelembaban Tanah: Mengingat kelembaban tanah dapat berubah dengan cepat, terutama setelah penyiraman, interval sampling yang lebih sering diperlukan. Interval pendek (misalnya, 1 menit) direkomendasikan agar sistem penyiraman otomatis dapat merespons dengan cepat saat tanah kering.
- Sensor pH: Perubahan pada pH tanah cenderung lebih lambat dan stabil, sehingga interval sampling yang lebih panjang (misalnya, 30 menit) sudah memadai untuk efisiensi sumber daya.

Dengan menerapkan strategi ini, sistem dapat memberikan data yang relevan dan responsif, sambil tetap menjaga efisiensi penggunaan sumber daya secara keseluruhan.

G. Tampilan *User Interface* Aplikasi

Aplikasi *HydroCare* dirancang untuk memantau dan mengontrol sistem budidaya melon di *greenhouse*. Aplikasi ini terbagi menjadi tiga tab utama: *Dashboard*, *Control*, dan *History*.

1. *Dashboard* Aplikasi: Tampilan utama ini menyajikan informasi real-time mengenai status sistem dan kondisi lingkungan budidaya. Informasi yang ditampilkan meliputi status operasional aktuator utama (Pump, Valve 1, Valve 2, Valve 3), data kelembaban tanah dari masing-masing sensor (Sensor 1, Sensor 2, Sensor 3) dengan indikator persentase kelembaban dan status (Dry, Medium, Wet), informasi kualitas air berdasarkan tingkat pH (nilai pH aktual dan indikator status pH), serta jadwal penyiraman otomatis (Jadwal 1, Jadwal 2, dan Durasi).



Figure 12 Dashboard Aplikasi

2. *Control* Aplikasi: Bagian ini memungkinkan pengguna untuk melakukan pengaturan manual dan menjadwalkan operasi sistem. Pengguna dapat mengontrol aktuator secara manual (Pompa, Valve 1, Valve 2, Valve 3) melalui toggle switch, serta mengatur jadwal penyiraman otomatis dengan memasukkan jam, menit, dan durasi penyiraman.



Figure 13 Control Aplikasi

3. *History* Aplikasi: Bagian ini berfungsi untuk menampilkan riwayat data sensor dan status sistem berdasarkan waktu. Setiap rekaman data menampilkan timestamp dan detail data seperti persentase kelembaban tanah dari masing-masing sensor (Kelembaban Tanah 1, 2, 3), nilai pH yang terukur (Tingkat pH), dan status operasional aktuator (Pompa, Valve 1, Valve 2, Valve 3) pada waktu tersebut.

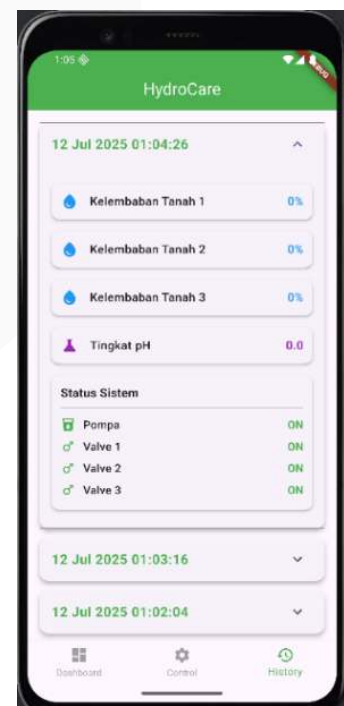


Figure 14 History Aplikasi

V. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, berikut adalah poin-poin kesimpulan mengenai sistem monitoring dan penyiraman otomatis untuk budidaya melon:

- Sistem *Internet of Things (IoT)* untuk monitoring dan penyiraman otomatis pada budidaya melon telah berhasil dirancang dan diimplementasikan. Sistem ini efektif dalam memantau kondisi lingkungan dan mengotomatisasi penyiraman.
- Sistem menggunakan sensor kelembaban tanah dengan akurasi rata-rata 95,83% dan sensor pH dengan akurasi rata-rata 94,63%. Keduanya memenuhi atau melampaui target akurasi yang ditetapkan, memastikan data yang andal untuk menjaga kondisi mikro lingkungan yang optimal.
- Integrasi antara sensor kelembaban, pH, dan modul *Real-Time Clock (RTC)* DS3231 memungkinkan pembuatan jadwal penyiraman yang adaptif. Sistem ini secara efektif mencegah pemborosan air dan nutrisi dengan menyiram hanya saat kelembaban tanah di bawah ambang batas 40%. Akurasi waktu modul RTC juga sangat andal, dengan perbedaan rata-rata hanya 2 detik dari online server.
- Sistem ini menawarkan dua mode penjadwalan: otomatis (berdasarkan sensor) dan manual (berdasarkan waktu). Integrasi dengan platform Firebase memungkinkan pemantauan dan kontrol dari jarak jauh melalui aplikasi Android dengan latensi rendah, yaitu sekitar 498 ms. Fleksibilitas ini membantu petani dalam mengelola budidaya melon secara efisien dan mengambil keputusan dengan cepat.

REFERENSI

- [1] Fathurrohman, Prasetya Tio, Lin, and Mulyawan, "SISTEM MONITORING PENYIRAMAN OTOMATIS BERBASIS IOT MENGGUNAKAN SOIL MOISTURE PADA TANAMAN MELON," Cirebon, Feb. 2024.
- [2] U. A. Pringsewu, V. A. Rahardjo, and D. Setiyadi, "Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering IMPLEMENTASI SENSOR PENGUKUR KELEMBAPAN TANAH DAN PENYIRAMAN OTOMATIS SERTA MONITORING PADA KEBUN TANAMAN CABAI RAWIT", [Online]. Available: <http://jti.aisyahuniversity.ac.id/index.php/AJIEE>
- [3] T. Diva Muftashiva and M. Munadi, "SISTEM SMART PLANT MONITORING PADA HIDROPONIK MELON BERBASIS INTERNET OF THINGS," 2024.
- [4] M. Zhang, Y. Han, D. Li, S. Xu, and Y. Huang, "Smart Horticulture as an Emerging Interdisciplinary Field Combining Novel Solutions: Past Development, Current Challenges, and Future Perspectives," *Hortic Plant J*, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.hpj.2023.03.015.
- [5] R. A. Murdiyantoro, A. Izzinnahadi, and E. U. Armin, "Sistem Pemantauan Kondisi Air Hidroponik Berbasis Internet of Things Menggunakan NodeMCU ESP8266," *Journal of Telecommunication, Electronics, and Control Engineering (JTECE)*, vol. 3, no. 2, pp. 54–61, Sep. 2021, doi: 10.20895/jtece.v3i2.258.
- [6] Putri Astriana Rahma, Suroso, and Nasron, "Perancangan Alat Penyiram Tanaman Otomatis pada Miniatur Greenhouse Berbasis IOT," Palembang, Feb. 2019.
- [7] Ulinuha Agus and Riza Almas Ghulam, "SISTEM MONITORING DAN PENYIRAM TANAMAN OTOMATIS BERBASIS ANDROID DENGAN APLIKASI BLYNK," *Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Surakarta*, vol. 2, no. 2, pp. 27–31, Jul. 2021, Accessed: Oct. 28, 2024. [Online]. Available: <http://journals2.ums.ac.id/index.php/abditeknoyasa/>
- [8] B. Setiadi Daryono, S. Dwi Maryanto, S. Nissa, and G. Riza Aristya, "Analisis Kandungan Vitamin Pada Melon (Cucumis melo L.) Kultivar Melodi Gama 1 dan Melon Komersial," 2016.
- [9] B. W. Wisnu, "Karakteristik Lahan Untuk Tanaman Melon (Siswanto, Bakti Wisnu W dan Purwadi) Karakteristik Lahan Untuk Tanaman Melon (Cucumis Melo L.) dalam Kaitannya Dengan Peningkatan Kadar Gula (Land Characteristics for Melon Crops (Cucumis melo L.) in Relation to Increase the Sugar Content)," 2010.
- [10] Lisa Susanti, Budi Wijayanto, and Geraldo Adinugra Rimartin, "Penerapan Sistem Irigasi Otomatis Berbasis Kelembaban Tanah Pada Produksi Benih Melon (Cucumis melo L.) dalam Greenhouse," *Jurnal Pengabdian Masyarakat dan Riset Pendidikan*, vol. 3, no. 4, pp. 3435–3440, Jun. 2025, doi: 10.31004/jerkin.v3i4.1005.
- [11] N. Effendi, W. Ramadhani, and F. Farida, "Perancangan Sistem Penyiraman Tanaman Otomatis Menggunakan Sensor Kelembapan Tanah Berbasis IoT," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 3, no. 2, pp. 91–98, Aug. 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [12] Y. Efendi, "INTERNET OF THINGS (IOT) SISTEM PENGENDALIAN LAMPU MENGGUNAKAN RASPBERRY PI BERBASIS MOBILE," *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 1, 2018, [Online]. Available: <http://ejournal.fikom-unasman.ac.id>
- [13] B. Artono and F. Susanto, "LED control system with cayenne framework for the Internet of Things (IoT)," JEECAE.
- [14] B. Helvia Vien, E. Yurisinthae, P. Studi, and T. Elektro, "SISTEM MONITORING PH TANAH, SUHU DAN KELEMBABAN TANAH PADA TANAMAN JAGUNG BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)."
- [15] S. N. Aurellia, "IMPLEMENTASI SISTEM MONITORING KELEMBABAN TANAH, PH TANAH DAN INTENSITAS CAHAYA TANAMAN LAHAN TERBUKA DENGAN WSN BERBASIS MODUL NRF24L01," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, Oct. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.5263.
- [16] R. Daniel, A. Desy, N. Utomo, and Y. A. Setyoko, "LEDGER: Journal Informatic and Information

- Technology Rancangan Bangun Alat Monitoring Kelembaban, PH Tanah dan Pompa Otomatis pada Tanaman Tomat dan Cabai,” *OPEN ACCESS LEDGER*, vol. 1, no. 4, 2022, doi: 10.20895/LEDGER.V1I4.862.
- [17] M. Srbinovska, C. Gavrovski, V. Dimcev, A. Krkoleva, and V. Borozan, “Environmental parameters monitoring in precision agriculture using wireless sensor networks,” *J Clean Prod*, vol. 88, pp. 297–307, Feb. 2015, doi: 10.1016/j.jclepro.2014.04.036.
- [18] S. Mubarak, D. Wisnu Dwi Wahyudi, and D. Octaviany, “Pemanfaatan Modul RTC Berbasis Arduino Mega Sebagai Penentu Variabel Nutrisi Pada Sistem Kontrol Hidroponik,” 2018.
- [19] D. S. I. S. Ronaldo Siregar and K. Tgd, “Implementasi Internet OF Thing Dan RTC Pada Smart Watering System Tanaman Kedelai Berbasis Nodemcu,” vol. 1, no. 6, pp. 287–295, 2022, [Online]. Available: <https://ojs.trigunadharma.ac.id/index.php/jskom>
- [20] F. Rozie *et al.*, “ENTRIES (Journal of Electrical Network Systems and Sources) Jurusan Teknik Elektro-Politeknik Negeri Ketapang Penyiraman Tanaman Cabai Otomatis Dalam Greenhouse Berbasis Iot Menggunakan Platform Thingspeak”, doi: 10.58466/entries.
- [21] N. Fauzia, N. Kholis, and H. K. Wardana, “Otomatisasi Penyiraman Tanaman Cabai Dan Tomat Berbasis Iot,” 2021.
- [22] Z. Avista, E. Kurniawan, S. Fadly, Y. Witanto, and D. S. Ajitomo, “Rancang Bangun Sistem Penyiram Tanaman Otomatis Hemat Biaya Berbasis Internet of Things,” *Jurnal Elektronika dan Otomasi Industri*, vol. 11, no. 3, pp. 748–760, Sep. 2024, doi: 10.33795/elkolind.v11i3.5958.
- [23] N. Dilla Regita, M. I. Nasution, and N. Nasution, “VISA: Journal of Visions and Ideas Rancang Bangun Sistem Monitoring pada Tanaman Greenhouse Berbasis Internet of Things (IOT)”.
- [24] S. H. Hutabarat, “PENGEMBANGAN APLIKASI MOBILE BERBASIS CROSS-PLATFORM MENGGUNAKAN FRAMEWORK FLUTTER.”
- [25] M. Kamil, P. Lestari Lokapitasari B, D. Lutfi, and B. Ilmawan, “Buletin Sistem Informasi dan Teknologi Islam Implementasi Framework Flutter Pada Rancang Bangun Aplikasi Konsultasi Dokter Hewan INFORMASI ARTIKEL ABSTRAK,” vol. 4, no. 4, pp. 296–305, 2023.
- [26] L. Anggit, B. Pamungkas, and D. M. Imrona, “Analisa Perbandingan Kinerja Cross Platform Mobile Framework React Native dan Flutter,” vol. 7, no. 1, p. 2195, 2020.