



Rancang Bangun Alat Penyiraman, Pemupukan, Dan Penyemprotan Pestisida Pada Bibit Kelapa Sawit Berbasis *Internet of Things*

Wawan Hermanto^{1,*}, Wahyuni Eka Sari², Abdullah Hanif³
^{1,2,3}Politeknik Negeri Samarinda, Samarinda, Indonesia

Informasi Artikel

Sejarah Artikel:
Submit: 19 Juni 2026
Revisi: 01 Juli 2026
Diterima: 07 Juli 2026
Diterbitkan: 10 Juli 2026

Kata Kunci

*Internet of Things, Kelapa Sawit, Penyiraman
Otomatis, ESP32, Firebase.*

Korespondensi

E-mail: wawan.hermanto22@gmail.com

A B S T R A C T

Manual care for oil palm seedlings during the nursery stage is often inefficient, labor-intensive, and prone to inaccuracies regarding the dosage and frequency of water, fertilizer, and pesticide application. This study aimed to design and develop an integrated Internet of Things (IoT)-based automation system that combines watering, liquid fertilization, and pesticide spraying functions into a single device capable of remote monitoring and control. The system was constructed using an ESP32 microcontroller, a soil moisture sensor (YL-69), a rain sensor (FC-37), a DS3231 RTC module, three DC pumps, and relays; sensor data is transmitted to the Firebase Realtime Database and displayed via a web dashboard. Test results demonstrated that the soil moisture sensor automatically activates the pump when levels fall below a 30% threshold, the rain sensor responds to weather changes in under one second, and data communication remains stable with an average delay of 1–2 seconds. This IoT system contributes to improved seedling care efficiency, evidenced by an average seedling height growth of 15 cm over 30 days, compared to 12 cm using manual methods.

Abstrak

Perawatan bibit kelapa sawit secara manual pada tahap pembibitan seringkali tidak efisien, memerlukan banyak tenaga kerja, dan rentan terhadap ketidaktepatan dosis serta frekuensi pemberian air, pupuk, dan pestisida. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan sistem otomasi terpadu berbasis Internet of Things (IoT) yang mengintegrasikan fungsi penyiraman, pemupukan cair, dan penyemprotan pestisida dalam satu perangkat yang dapat dipantau dan dikendalikan secara jarak jauh. Sistem dibangun menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor kelembaban tanah (YL-69), sensor hujan (FC-37), modul RTC DS3231, tiga pompa DC, dan relay, dengan data sensor dikirimkan ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan melalui dashboard web. Hasil pengujian menunjukkan sensor kelembaban tanah menggerakkan pompa secara otomatis di bawah ambang batas 30%, sensor hujan merespons perubahan cuaca dalam kurang dari satu detik, dan komunikasi data berjalan stabil dengan rata-rata delay 1–2 detik. Sistem IoT ini berkontribusi meningkatkan efisiensi perawatan bibit, dibuktikan dengan pertumbuhan tinggi bibit rata-rata 15 cm dalam 30 hari dibandingkan 12 cm pada metode manual.

This is an open access article under the CC-BY-SA license



1. Pendahuluan

Kelapa sawit merupakan tanaman industri/perkebunan yang dimanfaatkan sebagai bahan baku minyak masak, minyak industri, maupun bahan bakar. Dalam budidaya kelapa sawit, tahap

pembibitan menjadi bagian penting karena kualitas bibit sangat menentukan pertumbuhan tanaman sebelum memasuki masa produktif. Pada tahap ini, penyiraman, pemupukan, dan pengendalian hama harus dilakukan secara tepat agar bibit dapat tumbuh sehat. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa sistem pembibitan kelapa sawit berbasis Internet of Things (IoT) dapat membantu proses pemantauan dan pengendalian kondisi bibit dari jarak jauh [1].

Perawatan bibit kelapa sawit yang masih dilakukan secara manual memiliki beberapa kelemahan. Penyiraman biasanya dilakukan menggunakan selang pada waktu tertentu, seperti pagi dan sore hari, sehingga kebutuhan air setiap bibit belum tentu terpenuhi secara merata. Pemupukan dan penyemprotan pestisida manual juga berisiko tidak tepat waktu, tidak konsisten, serta membutuhkan kehadiran petani di lokasi. Sistem monitoring dan kontrol berbasis IoT dapat membantu pengguna memantau kondisi pembibitan secara lebih cepat melalui perangkat yang terhubung internet [2].

Beberapa penelitian telah mengembangkan sistem penyiraman otomatis pada bibit kelapa sawit menggunakan mikrokontroler, NodeMCU, atau sensor kelembapan tanah [3], [4]. Penelitian lain juga menggabungkan penyiraman dan pemupukan otomatis berbasis IoT dengan komponen sensor, relay, pompa, serta aplikasi monitoring [5]. Selain itu, metode Fuzzy Sugeno pernah digunakan untuk menentukan proses penyiraman berdasarkan kondisi suhu dan kelembapan tanah [6].

Bibit kelapa sawit pada tahap main nursery, khususnya usia 3-5 bulan, membutuhkan perawatan yang baik karena rentan terhadap gangguan pertumbuhan dan penyakit, seperti bercak daun. Oleh karena itu, pemantauan media tanam dan respon perawatan yang cepat diperlukan agar bibit tetap sehat sebelum dipindahkan ke lahan perkebunan. Monitoring kelembapan tanah berbasis IoT dapat membantu pengguna mengetahui kondisi tanah secara real-time [7].

Internet of Things menjadi teknologi yang relevan untuk meningkatkan efisiensi perawatan bibit kelapa sawit. ESP32 banyak digunakan pada sistem pertanian cerdas karena memiliki konektivitas Wi-Fi, mampu membaca data sensor, serta dapat mengontrol aktuator [8]. Sistem irigasi berbasis IoT dengan sensor soil moisture juga dapat membantu meningkatkan efisiensi penggunaan air pada tanaman [9]. Sensor kelembapan tanah dapat digunakan untuk menentukan kondisi tanah kering, lembap, atau basah, sedangkan RTC dapat mendukung pengaturan jadwal pemupukan [10], [11].

Berdasarkan penelitian terdahulu, sebagian besar sistem masih berfokus pada satu fungsi utama, seperti penyiraman otomatis atau monitoring kelembapan tanah. Gap penelitian pada artikel ini adalah belum banyak sistem yang mengintegrasikan tiga fungsi perawatan bibit sawit, yaitu penyiraman, pemupukan, dan penyemprotan pestisida, dengan dashboard web, Firebase Realtime Database, serta pengujian delay komunikasi dalam satu perangkat. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi sensor soil moisture, sensor hujan, RTC, tiga pompa DC, ESP32, Firebase, dan dashboard web untuk mendukung mode otomatis dan manual.

Penelitian-penelitian sebelumnya umumnya hanya berfokus pada satu fungsi perawatan, seperti penyiraman otomatis atau pemupukan saja, tanpa mengintegrasikan ketiganya dalam satu sistem yang terhubung ke dashboard web secara real-time. Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi tiga fungsi sekaligus, yaitu penyiraman otomatis berbasis sensor kelembapan tanah, pemupukan terjadwal, dan penyemprotan pestisida berbasis sensor hujan, yang seluruhnya dikendalikan melalui satu dashboard web berbasis Firebase dalam satu perangkat ESP32. Oleh karena itu, penelitian ini melakukan perancangan dan pembuatan alat yang berjudul "RANCANG BANGUN ALAT PENYIRAMAN, PEMUPUKAN, DAN PENYEMPROTAN PESTISIDA PADA BIBIT KELAPA SAWIT BERBASIS IOT". Implementasi alat ini diharapkan dapat memudahkan proses penyiraman, pemupukan, penyemprotan pestisida, serta mendukung kontrol jarak jauh pada pembibitan kelapa sawit.

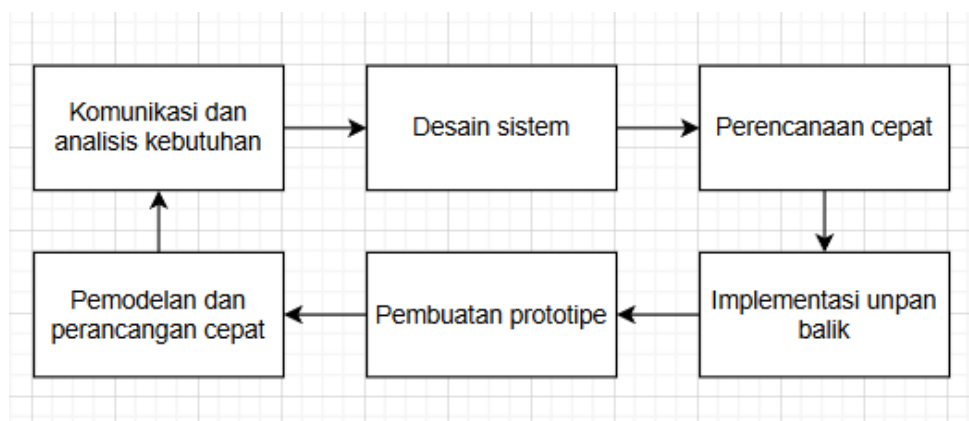
2. Metode Penelitian

2.1. Tahapan Penelitian

Dalam perancangan dan pembuatan "Rancang Bangun Alat Penyiraman, Pemupukan, dan Penyemprotan Pestisida pada Bibit Kelapa Sawit Berbasis IoT", metode pengembangan sistem yang digunakan adalah metode Prototyping. Metode ini merupakan salah satu model SDLC (Software Development Life Cycle) yang dipilih karena proses pengembangan produk (baik perangkat keras maupun lunak) memerlukan evaluasi dan umpan balik secara terus-menerus untuk memastikan alat yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan fungsional. Dengan prototyping, versi awal dari sistem (prototipe) dapat segera dibuat dan diuji coba. Hasil dari evaluasi tersebut kemudian digunakan untuk memperbaiki atau menyempurnakan prototipe pada siklus (iterasi) berikutnya hingga semua kebutuhan terpenuhi.

Metode prototyping sesuai digunakan karena sistem yang dibangun melibatkan perangkat keras dan perangkat lunak, seperti sensor, mikrokontroler, aktuator, database, dan dashboard web. Pengembangan sistem IoT membutuhkan tahapan perancangan, implementasi, pengujian, dan evaluasi agar seluruh komponen dapat bekerja sesuai kebutuhan [12].

Pengujian sistem dilakukan di area pembibitan kelapa sawit selama 30 hari dengan menggunakan 10 bibit kelapa sawit pada tahap main nursery (usia 3–5 bulan). Kalibrasi sensor kelembaban tanah (YL-69) dilakukan dengan membandingkan nilai ADC sensor terhadap kondisi tanah kering, lembap, dan basah yang diverifikasi secara manual menggunakan pengukur kelembaban standar. Berdasarkan hasil kalibrasi, ambang batas kelembaban tanah untuk mengaktifkan pompa air secara otomatis ditetapkan pada nilai di bawah 40%, sedangkan nilai 40% ke atas dikategorikan sebagai cukup lembap sehingga pompa tidak aktif. Skenario pengujian mencakup: (1) pengujian sensor soil moisture dan respons pompa air pada berbagai kondisi kelembaban, (2) pengujian sensor hujan dan respons pompa pestisida, (3) pengujian kontrol manual melalui dashboard web, dan (4) pengujian komunikasi data antara perangkat dan Firebase. Keberhasilan sistem diukur berdasarkan kesesuaian respons aktuator terhadap kondisi sensor, stabilitas pengiriman data secara real-time, serta perbandingan pertumbuhan tinggi bibit antara kelompok yang dirawat menggunakan sistem IoT dan kelompok kontrol yang dirawat secara manual.



Gambar 1. Prototyping

2.2. Komunikasi dan Analisis Kebutuhan

Tahap awal penelitian ini adalah melakukan komunikasi dan analisis kebutuhan untuk memahami permasalahan yang ada pada proses pembibitan kelapa sawit secara manual. Kebutuhan sistem didefinisikan secara konsisten dengan implementasi yang dibangun, sehingga setiap kebutuhan fungsional yang ditetapkan tercermin pada flowchart, diagram blok, dan hasil pengujian.

Tujuan dari tahap ini adalah untuk mendefinisikan dan merinci kebutuhan sistem yang akan dibangun. Hasil yang diharapkan adalah dokumen daftar kebutuhan sistem (system requirements) yang dibagi menjadi dua kategori:

A. Kebutuhan Fungsional

Kebutuhan fungsional adalah fungsi atau layanan inti yang harus disediakan oleh sistem. Berdasarkan hasil analisis, kebutuhan fungsional sistem adalah:

1. Sistem mampu memonitor kelembapan tanah dan melakukan penyiraman air secara otomatis menggunakan sensor soil moisture.
2. Sistem mampu mendeteksi curah hujan untuk mengaktifkan pompa penyemprotan pestisida secara otomatis.
3. Sistem memungkinkan pengguna untuk menjadwalkan dan mengontrol proses pemupukan dari jarak jauh melalui dashboard web.
4. Sistem dapat dioperasikan dalam dua mode, yaitu otomatis (berdasarkan sensor) dan manual (berdasarkan perintah pengguna).

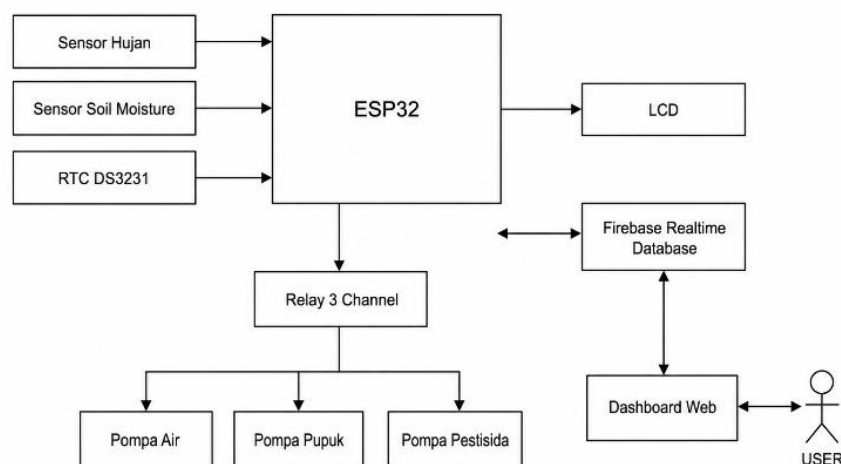
B. Kebutuhan Non-Fungsional

Sub Kebutuhan non-fungsional adalah batasan atau kriteria performa dari sistem. Kebutuhan non-fungsional untuk sistem ini adalah:

1. Sistem dapat mengirimkan data sensor ke dashboard web secara real-time dengan delay seminimal mungkin.
2. Sistem dapat beroperasi secara terus-menerus (24/7) dengan catu daya yang stabil.
3. Antarmuka dashboard web harus mudah dipahami dan digunakan oleh pengguna.
4. Sistem memiliki waktu respon yang cepat (di bawah 3 detik) ketika menerima perintah manual dari dashboard.

Sistem yang dirancang harus mampu membaca data sensor, mengirimkan data ke database, menampilkan data pada dashboard, serta menerima perintah kontrol dari pengguna. Monitoring kelembapan tanah berbasis ESP32 dapat mendukung proses pengambilan keputusan dalam penyiraman tanaman [13].

2.3. Diagram Blok



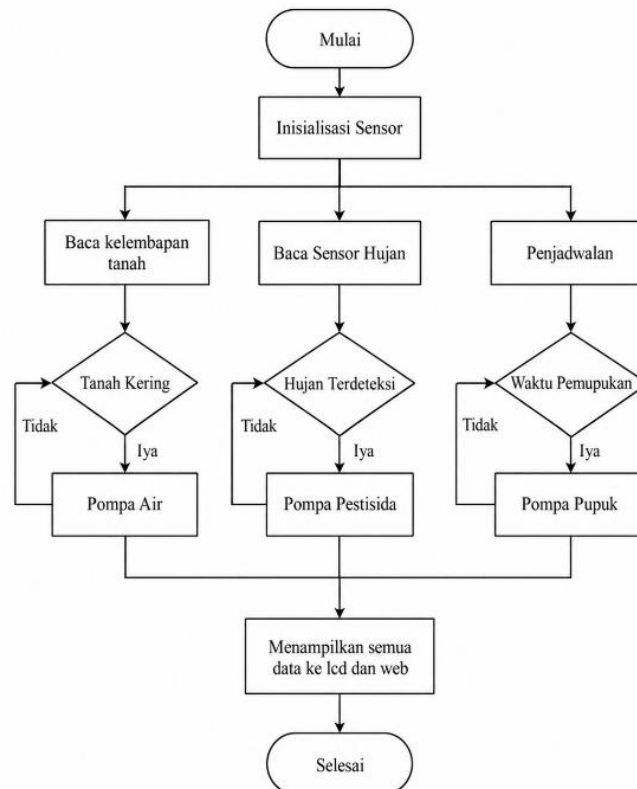
Gambar 2. Diagram Blok

Gambar 2 menunjukkan blok diagram sistem penyiraman, pemupukan, dan penyemprotan pestisida otomatis berbasis Internet of Things. Alur kerja sistem dimulai dari pembacaan kondisi lingkungan oleh sensor. Data dari sensor soil moisture, sensor hujan, dan RTC diproses oleh ESP32, kemudian dikirimkan ke Firebase Realtime Database sebagai penyimpanan data berbasis cloud. Data tersebut ditampilkan melalui dashboard web secara real-time, sedangkan relay digunakan untuk mengontrol pompa berdasarkan kondisi sensor maupun perintah pengguna.

1. ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data dari sensor dan pengendali aktuator. ESP32 menerima data dari sensor soil moisture, sensor hujan, dan modul RTC, kemudian mengirimkan data tersebut ke Firebase serta mengontrol relay sesuai logika sistem.
2. Sensor soil moisture berfungsi untuk membaca tingkat kelembapan tanah pada media tanam bibit kelapa sawit. Data kelembapan tanah digunakan sebagai dasar untuk mengaktifkan atau menonaktifkan pompa air secara otomatis.
3. Sensor hujan berfungsi untuk mendeteksi kondisi basah atau hujan. Data dari sensor hujan dikirimkan ke ESP32 sebagai masukan untuk mengaktifkan pompa pestisida sesuai logika sistem yang telah ditentukan.
4. RTC DS3231 berfungsi sebagai modul waktu untuk mendukung penjadwalan proses pemupukan. Dengan adanya RTC, sistem dapat menjalankan pemupukan berdasarkan waktu yang telah ditentukan.
5. Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang menghubungkan ESP32 dengan aktuator. Relay digunakan untuk mengontrol pompa air, pompa pupuk, dan pompa pestisida.
6. Pompa air berfungsi untuk melakukan penyiraman otomatis ketika sensor soil moisture mendeteksi kelembapan tanah berada di bawah ambang batas yang ditentukan.
7. Pompa pestisida berfungsi untuk menyemprotkan pestisida ketika sensor hujan mendeteksi kondisi basah atau hujan sesuai program sistem.
8. Pompa pupuk berfungsi untuk mengalirkan pupuk cair ke bibit kelapa sawit berdasarkan jadwal atau perintah pengguna melalui dashboard web.
9. Firebase Realtime Database berfungsi sebagai media penyimpanan dan komunikasi data antara alat dan dashboard web. Data sensor, status pompa, mode kerja, dan perintah kontrol disimpan pada Firebase agar dapat diakses secara real-time.
10. Dashboard web berfungsi sebagai antarmuka pengguna untuk memantau nilai sensor, melihat status pompa, memilih mode kerja alat, serta mengontrol pompa secara manual dari jarak jauh.
11. LCD berfungsi untuk menampilkan informasi monitoring secara langsung pada perangkat, seperti nilai kelembapan tanah, status sensor, dan kondisi pompa.

ESP32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data dari sensor soil moisture, sensor hujan, dan RTC. Data sensor dikirimkan ke Firebase Realtime Database untuk ditampilkan pada dashboard web, sedangkan perintah dari dashboard web diteruskan kembali ke ESP32. Relay digunakan untuk mengendalikan pompa air, pompa pupuk, dan pompa pestisida, sehingga sistem dapat dikontrol secara otomatis maupun manual dari jarak jauh [14].

2.3. Flowchart



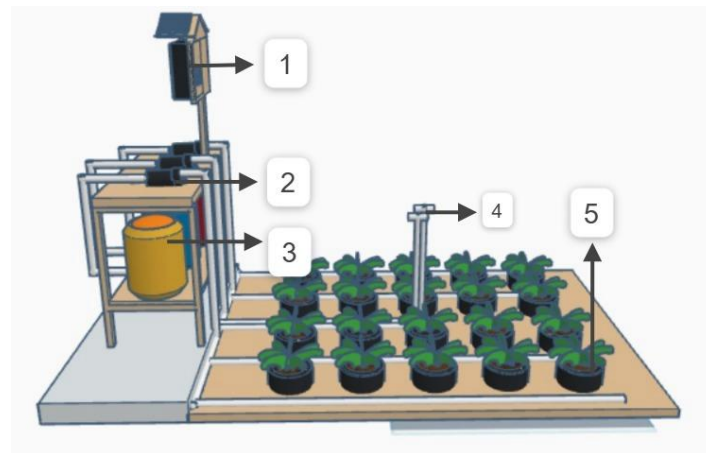
Gambar 3. Flowchart

Pada Gambar 3 menunjukkan alur proses kerja sistem penyiraman, pemupukan, dan penyemprotan pestisida otomatis berbasis Internet of Things. Alur sistem dimulai dari proses inisialisasi sensor, kemudian sistem membaca data kelembapan tanah, sensor hujan, dan penjadwalan pemupukan. Jika tanah terdeteksi kering, maka ESP32 akan mengaktifkan pompa air. Jika sensor hujan mendeteksi kondisi hujan atau basah, maka ESP32 akan mengaktifkan pompa pestisida. Selanjutnya, jika waktu pemupukan sesuai dengan jadwal, maka ESP32 akan mengaktifkan pompa pupuk. Data hasil pembacaan sensor dan status pompa kemudian ditampilkan pada LCD dan dashboard web. Dengan alur tersebut, sistem dapat melakukan penyiraman, penyemprotan pestisida, dan pemupukan secara otomatis sesuai kondisi sensor dan jadwal yang telah ditentukan.

1. Sistem dimulai dengan proses inisialisasi sensor dan komponen utama yang digunakan pada alat.
2. Sensor soil moisture membaca kondisi kelembapan tanah. Jika tanah terdeteksi kering, maka pompa air akan aktif. Jika tanah tidak kering, maka pompa air tidak aktif.
3. Sensor hujan membaca kondisi hujan atau basah. Jika hujan terdeteksi, maka pompa pestisida akan aktif. Jika hujan tidak terdeteksi, maka pompa pestisida tidak aktif.
4. Penjadwalan digunakan untuk mengatur proses pemupukan. Jika waktu pemupukan sesuai jadwal, maka pompa pupuk akan aktif. Jika belum sesuai jadwal, maka pompa pupuk tidak aktif.
5. Data hasil pembacaan sensor dan status kerja pompa ditampilkan pada LCD dan dashboard

web agar pengguna dapat memantau kondisi sistem.

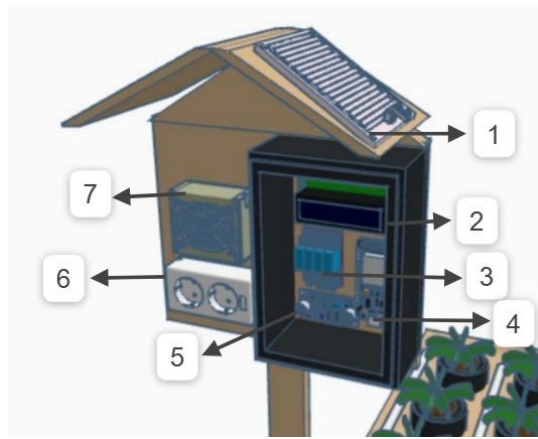
2.3. Desain Prototype



Gambar 4. Desain

Pada Gambar 4 menunjukkan desain prototype alat penyiraman, pemupukan, dan penyemprotan pestisida pada bibit kelapa sawit berbasis Internet of Things. Desain ini memperlihatkan susunan komponen utama sistem, yaitu panel, pompa, tampungan, sprinkler, dan sensor soil moisture. Seluruh komponen dirancang agar saling terintegrasi dengan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali sistem. Adapun fungsi masing-masing bagian pada prototype dijelaskan sebagai berikut.

1. Panel berfungsi sebagai tempat pelindung komponen elektronik yang tidak boleh terkena air, seperti ESP32, relay, step-down, power supply, dan modul pendukung lainnya. Panel ini digunakan agar komponen tetap aman, rapi, dan terlindungi selama alat beroperasi.
2. Pompa berfungsi sebagai pendorong cairan dalam sistem, yaitu air, pupuk cair, dan pestisida. Masing-masing pompa bekerja sesuai perintah dari ESP32 melalui relay, baik secara otomatis berdasarkan sensor maupun berdasarkan jadwal yang telah ditentukan.
3. Tampungan berfungsi sebagai wadah penyimpanan cairan yang digunakan dalam sistem, yaitu air, pupuk cair, dan pestisida. Cairan dari tampungan akan dialirkan oleh pompa menuju media tanam sesuai kebutuhan proses penyiraman, pemupukan, atau penyemprotan pestisida.
4. Sprinkler berfungsi untuk menyebarkan air dan pestisida secara merata ke area bibit kelapa sawit. Dengan penggunaan sprinkler, distribusi cairan menjadi lebih merata sehingga proses penyiraman dan penyemprotan dapat dilakukan dengan lebih efektif.
5. Sensor soil moisture berfungsi untuk mendeteksi tingkat kelembapan tanah pada media tanam. Data yang dibaca sensor akan dikirimkan ke ESP32 sebagai masukan untuk menentukan kondisi tanah. Jika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, maka ESP32 akan mengaktifkan relay sehingga pompa air bekerja secara otomatis.



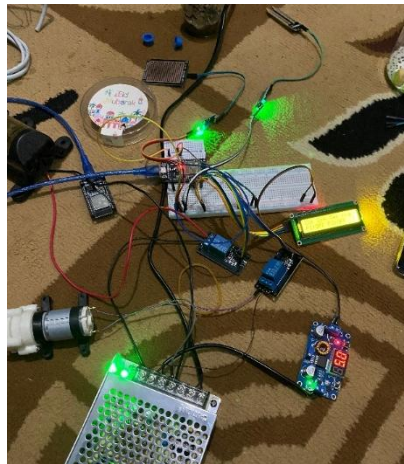
Gambar 5. Desain

1. Jika Sensor raindrop berfungsi untuk mendeteksi kondisi hujan atau basah. Ketika sensor raindrop mendeteksi adanya air, sensor akan mengirimkan sinyal ke ESP32. Selanjutnya, ESP32 akan memproses data tersebut dan mengaktifkan relay agar pompa pestisida dapat bekerja.
2. LCD berfungsi untuk menampilkan informasi sistem, seperti data dari sensor soil moisture, sensor raindrop, serta status pompa dalam kondisi aktif atau tidak aktif.
3. Relay berfungsi sebagai saklar elektronik yang digunakan untuk membuka dan menutup aliran tegangan. Relay bekerja berdasarkan perintah dari ESP32 untuk menghidupkan atau mematikan pompa.
4. ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem. ESP32 menerima data dari sensor, memproses data tersebut, mengirimkan data ke sistem monitoring, serta memberikan perintah kepada relay, pompa, dan LCD agar bekerja sesuai logika program.
5. Modul step-down berfungsi untuk menurunkan tegangan input yang lebih tinggi, misalnya dari 12V menjadi 5V, agar sesuai dengan kebutuhan tegangan komponen seperti ESP32, relay, dan LCD.
6. Stop kontak berfungsi sebagai penghubung sumber listrik utama menuju power supply agar sistem mendapatkan suplai energi listrik.
7. Power supply berfungsi untuk mengubah arus AC menjadi DC dan menyuplai tegangan ke berbagai komponen elektronik, seperti ESP32, LCD, relay, sensor, dan modul pendukung lainnya.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Implementasi Sistem

Tahap implementasi dilakukan setelah seluruh rancangan sistem selesai dibuat. Pada tahap ini, perangkat keras dan perangkat lunak dirakit serta diprogram agar dapat bekerja sesuai fungsi. Komponen utama yang digunakan meliputi ESP32, sensor soil moisture, sensor hujan (*raindrop*), RTC DS3231, relay 3 channel, modul step-down LM2596, LCD 20x4, serta tiga pompa DC untuk penyiraman air, pemupukan, dan penyemprotan pestisida. Komponen perangkat keras ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Perangkat Keras

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem yang membaca data sensor, memproses kondisi sistem, serta mengendalikan pompa melalui relay. Sensor soil moisture digunakan untuk membaca kelembapan tanah, sensor hujan untuk mendeteksi kondisi hujan atau basah, sedangkan RTC digunakan untuk mendukung penjadwalan pemupukan. Koneksi utama komponen sistem ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Koneksi Komponen Utama Sistem

No	Komponen	Fungsi
1	Sensor soil moisture	Membaca kelembapan tanah
2	Sensor hujan	Mendeteksi kondisi hujan atau basah
3	RTC DS3231	Mendukung jadwal pemupukan
4	LCD 20x4	Menampilkan data sensor dan status pompa
5	Relay 3 channel	Mengontrol pompa air, pupuk, dan pestisida
6	Step-down LM2596	Menurunkan tegangan sesuai kebutuhan modul
7	Pompa DC	Mengalirkan air, pupuk cair, dan pestisida

Dashboard web dirancang untuk menampilkan data sensor, status pompa, dan mode kerja alat secara *real-time*. Data dari ESP32 dikirimkan ke Firebase Realtime Database, kemudian ditampilkan pada dashboard web. Selain monitoring, dashboard juga digunakan untuk mengontrol pompa dari jarak jauh. Tampilan dashboard web ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Dashboard Web

Berdasarkan hasil implementasi, perangkat keras dan perangkat lunak dapat bekerja secara terintegrasi. Sistem mampu membaca data sensor, mengirim data ke Firebase, menampilkan data pada dashboard web dan LCD, serta menerima perintah kontrol dari pengguna. Komunikasi antara alat,

Firestore, dan dashboard web memiliki delay rata-rata 1–2 detik, sehingga masih sesuai untuk kebutuhan monitoring dan kontrol jarak jauh secara *real-time*.

Pengujian sensor soil moisture dilakukan untuk mengetahui respon pompa air terhadap perubahan kelembapan tanah. Pompa air akan aktif ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas 30%. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Pengujian Sensor Soil Moisture

Kondisi Tanah	Soil Moisture	Status Pompa Air	Keterangan
Kering	11%	ON	Pompa aktif
Lembap	39%	OFF	Di atas ambang batas
Lembap	44%	OFF	Tanah cukup lembap
Lembap	60%	OFF	Tanah cukup lembap
Basah	80%	OFF	Tanah basah
Basah	88%	OFF	Tanah basah
Basah	100%	OFF	Tanah sangat basah

3.2. Pengujian Sensor dan Aktuator

Tabel 3. Tabel Ringkasan Hasil Pengujian Sensor dan Aktuator

No	Pengujian	Kondisi	Hasil	Jumlah Uji	Berhasil	Keberhasilan
1	Sensor soil moisture dan pompa air	Tanah kering 11%	Pompa air ON	5	5	100%
2	Sensor soil moisture dan pompa air	Tanah lembap/basah 60%–80%	Pompa air OFF	5	5	100%
3	Sensor hujan dan pompa pestisida	Sensor kering 4%	Pompa pestisida OFF	5	5	100%
4	Sensor hujan dan pompa pestisida	Sensor basah 75%	Pompa pestisida ON	5	5	100%
5	Relay dan pompa	Kontrol dari dashboard web	Pompa dapat ON/OFF	5	5	100%

Berdasarkan Tabel 3, sensor soil moisture mampu mengaktifkan pompa air ketika tanah kering dan menonaktifkan pompa ketika tanah lembap atau basah. Sensor hujan juga mampu mengaktifkan pompa pestisida ketika kondisi basah terdeteksi. Selain itu, relay dan pompa dapat merespons perintah dari dashboard web dengan baik. Dari seluruh skenario pengujian, sistem memperoleh tingkat keberhasilan 100%, sehingga sensor dan aktuator dapat dinyatakan bekerja sesuai rancangan.

3.3. Pengujian Komunikasi dan Sistem Keseluruhan

Tabel 4. Tabel Ringkasan Hasil Komunikasi dan Sistem Keseluruhan

No	Skenario Pengujian	Hasil Pengujian	Delay Min	Delay Maks	Rata-rata	Keterangan
1	Sensor soil moisture mengirim data ke dashboard	Nilai kelembapan tampil real-time	1 detik	2 detik	1,5 detik	Berhasil
2	Kontrol pompa melalui dashboard web	Status pompa berubah ON/OFF	1 detik	2 detik	1,5 detik	Berhasil
3	Mode otomatis saat tanah kering	Pompa air aktif otomatis	1 detik	2 detik	1,5 detik	Berhasil
4	Mode otomatis saat hujan terdeteksi	Pompa pestisida aktif otomatis	1 detik	2 detik	1,5 detik	Berhasil

5	Pengujian sistem	seluruh	Sensor, Firebase, dashboard, relay, dan pompa bekerja terintegrasi	1 detik	2 detik	1,5 detik	Berhasil
---	------------------	---------	--	---------	---------	-----------	----------

Berdasarkan Tabel 4, komunikasi antara alat, Firebase, dan dashboard web berjalan dengan baik. Data sensor dapat dikirimkan ke Firebase dan ditampilkan pada dashboard web dengan rata-rata delay 1-2 detik. Perintah dari dashboard web juga dapat diterima oleh ESP32 untuk mengontrol relay dan pompa. Dengan demikian, sistem dapat bekerja secara terintegrasi, baik pada mode otomatis berdasarkan sensor maupun mode manual melalui dashboard web.

3.4. Analisis Kebutuhan Daya dan Pembahasan

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan daya, total konsumsi daya maksimum sistem ketika seluruh pompa aktif secara bersamaan adalah sekitar 25,65 Watt. Power supply yang digunakan memiliki keluaran 12V 10A atau setara 120 Watt, sehingga masih mencukupi untuk menjalankan seluruh komponen sistem. Dengan demikian, sistem memiliki kapasitas daya yang aman untuk digunakan pada kondisi beban maksimum.

Rincian konsumsi daya sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu ESP32, sensor soil moisture, sensor hujan, LCD 20x4, relay 3 channel, modul RTC, modul step-down LM2596, dan tiga pompa DC. Pompa DC menjadi komponen dengan konsumsi daya terbesar karena digunakan untuk mengalirkan air, pupuk cair, dan pestisida. Sementara itu, komponen seperti ESP32, sensor, LCD, relay, dan RTC memiliki konsumsi daya yang lebih kecil dibandingkan pompa.

Analisis kebutuhan daya diperlukan agar seluruh komponen seperti ESP32, sensor, LCD, relay, dan pompa dapat bekerja stabil. Pada pengembangan berikutnya, sistem dapat dipadukan dengan panel surya agar lebih sesuai digunakan pada area pembibitan yang terbatas akses listrik [15].

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, sistem penyiraman, pemupukan, dan penyemprotan pestisida pada bibit kelapa sawit berbasis Internet of Things berhasil dirancang dan berjalan sesuai dengan tujuan penelitian. Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, sensor soil moisture untuk membaca kelembapan tanah, sensor hujan untuk mendeteksi kondisi hujan atau basah, RTC untuk mendukung penjadwalan pemupukan, relay sebagai pengendali aktuator, serta tiga pompa DC untuk penyiraman air, pemupukan, dan penyemprotan pestisida. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu bekerja dalam mode otomatis dan manual. Pada mode otomatis, pompa air aktif ketika kelembapan tanah berada di bawah ambang batas 30%, pompa pestisida aktif ketika sensor hujan mendeteksi kondisi basah, dan pompa pupuk dapat bekerja berdasarkan jadwal pemupukan. Pada mode manual, pengguna dapat mengontrol pompa melalui dashboard web yang terhubung dengan Firebase Realtime Database.

Komunikasi antara alat, Firebase, dan dashboard web berjalan stabil dengan rata-rata delay 1-2 detik. Data sensor dan status pompa dapat ditampilkan pada dashboard web secara real-time, sedangkan perintah dari pengguna dapat diterima oleh ESP32 dan dijalankan melalui relay. Dengan demikian, sistem ini dapat membantu proses perawatan bibit kelapa sawit menjadi lebih efisien, terkontrol, dan dapat dipantau dari jarak jauh.

Daftar Pustaka

- [1] S. Wati, J. D. Irawan, and Y. A. Pranoto, "Rancang Bangun Pembibitan Kelapa Sawit Berbasis IoT (Internet of Things)," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 6, no. 1, pp. 145-153, 2022, doi: 10.36040/jati.v6i1.4509.
- [2] G. D. Utomo, D. Triyanto, and U. Ristian, "Sistem Monitoring dan Kontrol Pembibitan Kelapa Sawit Berbasis Internet of Things," *Coding: Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 9, no. 2, pp. 176-185, 2021, doi: 10.26418/coding.v9i02.47344.
- [3] R. Rilandani, W. Prima, and R. Efendi, "Design of Watering Tools for NodeMCU-Based Palm Seedlings: Rancang Bangun Alat Penyiraman Bibit Kelapa Sawit Berbasis NodeMCU," *Journal of Vocational Education and Information Technology (JVEIT)*, vol. 1, no. 1, pp. 20-26, 2020, doi: 10.56667/jveit.v1i1.56.
- [4] S. Ardiyanto, Z. Azmi, and A. A. Hafiz, "Automatic Watering System for Oil Palm Seeds," *International Journal of Informatics, Economics, Management and Science*, vol. 1, no. 1, pp. 32-40, 2022, doi: 10.52362/ijiems.v1i1.682.
- [5] M. Daud, M. Y. Zulfikar, A. Hasibuan, and M. Isa, "Prototype of Automatic Watering and Fertilizing System for Oil Palm Seeds Based on Internet of Things," *Andalas Journal of Electrical and Electronic Engineering Technology*, vol. 3, no. 1, pp. 1-9, 2023, doi: 10.25077/ajeet.v3i1.37.
- [6] A. Suprasetyo, A. D. Kalifa, and S. Diwandari, "Penyiraman Otomatis dan System Monitoring Bibit Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno," *Jurnal FASILKOM*, vol. 13, no. 3, pp. 431-437, 2023, doi: 10.37859/jf.v13i3.6150.
- [7] N. Effendi, D. Handoko, F. Azim, and F. Farida, "Rancangan Sistem Monitoring Kelembapan Tanah Pembibitan Kelapa Sawit Berbasis Internet of Things," *Jurnal CoSciTech (Computer Science and Information Technology)*, vol. 5, no. 2, pp. 358-366, 2024, doi: 10.37859/coscitech.v5i2.7572.
- [8] G. P. Pereira, M. Z. Chaari, and F. Daroge, "IoT-Enabled Smart Drip Irrigation System Using ESP32," *IoT*, vol. 4, no. 3, pp. 221-243, 2023, doi: 10.3390/iot4030012.
- [9] N. Aisyah, E. D. Ulhaq, A. Dharmawan, and R. Purbakawaca, "Design of an IoT-Based Smart Irrigation System Using Soil Moisture Sensors for Water Efficiency," *Journal Online of Physics*, vol. 11, no. 1, pp. 89-97, 2025, doi: 10.22437/jop.v11i1.48928.
- [10] 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, 2022, doi: 10.37859/coscitech.v3i2.3923.
- [11] M. Roziqin, A. F. Kabes, and S. Z. N. Haq, "Rancang Bangun Penyiraman Tanaman Cabe Otomatis Menggunakan ESP32 dan Sensor Kelembapan Tanah," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 13, no. 3S1, 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i3S1.7966.
- [12] E. W. Kenali, D. Rofianto, K. Amaliah, J. Fitra, H. Fathoni, T. K. Khoerunnisa, and H. P. Sari, "IoT-Based Smart Irrigation and Fertilization System with Realtime Cloud Integration," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi*, vol. 15, no. 1, pp. 34-43, 2026, doi: 10.22146/jnteti.v15i1.23124.
- [13] I. N. Afifah, "An IoT-Based Real-Time Soil Moisture Monitoring System for Smart Agriculture Using ESP32," *Journal of Sustainable Supply Chain and Technology*, vol. 1, no. 1, pp. 49-56, 2026.
- [14] M. Mohiuddin, M. S. Islam, and S. Shanjida, "Internet of Things (IoT)-Based Smart Agriculture Irrigation and Monitoring System Using Ubidots Server," *Engineering Proceedings*, vol. 82, no. 1, p. 99, 2024, doi: 10.3390/ecsa-11-20528.
- [15] A. F. Ardianto, E. S. Rahmasari, and A. P. Pratama, "Smart Irrigation System Berbasis IoT dengan Sensor Soil Moisture dan DHT22 Menggunakan Sumber Daya Terbarukan," *Prosiding Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Bisnis*, pp. 500-511, 2025, doi: 10.47701/2p6nej88.