

RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN DAN PENGATURAN JARAK JAUH PADA FERTIGASI TETES BERBASIS INTERNET OF THINGS

Angga Gemilang, Yudi Widhiyasana, Lukmannul Hakim Firdaus

Teknik Informatika, Politeknik Negeri Bandung

Jl. Gegerkalong Hilir, Ciwaruga, Kec. Parongpong, Kabupaten Bandung Barat

angga.gemilang.tif20@polban.ac.id

ABSTRAK

Seiring berjalannya waktu, teknologi Internet of Things (IoT) berkembang pesat dan diterapkan dalam berbagai bidang, termasuk pertanian untuk mengotomatisasi kegiatan irigasi dan fertilisasi. Hasil survei dan literatur menunjukkan masih banyaknya penggunaan metode manual, berpotensi mengakibatkan ketidakakuratan dosis dan keterbatasan dalam menghadapi anomali. Contohnya seperti ketika kadar air dalam tanah lebih cepat habis pada malam hari atau kadar air yang sudah tercukupi karena terjangkit hujan. Oleh karena itu, dikembangkan sistem fertigasi otomatis berbasis IoT dengan metode tetes untuk meningkatkan ketepatan dosis, penanganan anomali, dan memungkinkan pengaturan dinamis. Sistem ini juga memungkinkan pemantauan real-time, menampilkan notifikasi pada kondisi gangguan tertentu, serta kemampuan menjalankan irigasi dan fertilisasi secara terpisah. Pada bagian *hardware*, alat ini terbagi menjadi dua perangkat, yaitu perangkat pemantau dan utama. Sedangkan pada bagian *software* dikembangkan dengan menerapkan metodologi SDLC waterfall menggunakan Kotlin dan C sebagai bahasa pemrogramannya. Untuk media penyimpanan dan pentransmisiannya sistem ini menggunakan Firebase. Cabai rawit merah digunakan sebagai sample pengujian, yaitu tanaman yang memiliki nilai ekonomis tinggi, sejalan dengan diperlukannya biaya pengembangan sistem awal yang tinggi.

Kata kunci : *Internet of Things, Pengaturan, Pemantauan, Aplikasi Mobile, Sistem Fertigasi, Metode Tetes*

1. PENDAHULUAN

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi yang diciptakan untuk memudahkan manusia dalam mengendalikan perangkat atau membuat sebuah mesin dapat bekerja secara otomatis. Seiring berjalannya waktu, teknologi ini berkembang dengan sangat pesat dan dimanfaatkan secara luas dalam berbagai bidang, seperti kesehatan, keuangan, manufaktur, properti, dan pertanian. Pada bidang pertanian, teknologi ini berpotensi untuk bisa diterapkan pada beberapa studi kasus dengan tujuan memberikan efisiensi dan kemudahan terhadap petani dalam melaksanakan pekerjaan rutinnya. Studi kasus tersebut seperti pemantauan kesuburan tanah dan curah hujan, otomatisasi kegiatan irigasi dan fertilisasi, serta penerapan sistem keamanan pada lahan pertanian [1].

Berdasarkan beberapa hasil penelitian terkait penerapan teknologi IoT dalam studi kasus kegiatan fertigasi tetes [2]–[4], ditemukan sejumlah potensi pengembangan yang dapat dilakukan. Dalam aspek pemantauan, tidak hanya dilakukan pada parameter tetapi juga pada kondisi anomali dan gangguan yang segera diinformasikan kepada petani melalui notifikasi *smartphone*. Potensi ini diharapkan dapat meningkatkan responsibilitas petani dalam menanggapi kondisi tertentu. Selain itu, dalam aspek pengaturan konfigurasi, dapat dilakukan oleh petani secara dinamis melalui *smartphone*. Hal ini diperlukan untuk memudahkan petani dalam penyesuaian terhadap perubahan jenis tanaman. Apalagi, pada dasarnya petani akan melakukan *trial and error* sampai menemukan dosis, jenis pupuk, dan jenis pestisida yang paling cocok dalam penanaman tanaman tertentu. Lalu, implementasi sensor

kelembaban tanah dengan menggunakan kabel panjang dari *microcontroller* ke setiap barisan tanaman perlu dipertimbangkan. Hal ini disebabkan dampak potensial terhadap aktivitas pertanian dan risiko kerusakan yang lebih besar, seperti menghambat kegiatan pertanian dan adanya potensi pemotongan, atau penarikan kabel yang tidak disengaja dan dapat mengganggu aliran listrik. Terakhir, kegiatan irigasi yang dapat dilakukan secara terpisah dengan kegiatan fertilisasi, karena pada dasarnya selain pupuk, tanaman juga membutuhkan air. Frekuensi kegiatan irigasi juga lebih banyak dibanding dengan kegiatan fertilisasi [5].

Disamping itu, berdasarkan hasil wawancara yang telah dilakukan terhadap pemilik lahan pertanian di daerah Cileunyi berskala menengah menyatakan bahwa kegiatan irigasi dan fertilisasi masih menggunakan metode manual. Hal tersebut dilatarbelakangi oleh biaya awal yang rendah, tenaga kerja yang murah, metode yang mudah dipahami, dan didukung dengan luas lahan yang masih bisa dijangkau. Metode manual tersebut juga diterapkan oleh petani di Lampung dan Kabupaten Sikka sebagai representasi bahwa penggunaan metode manual ini masih banyak digunakan. Hal ini sejalan dengan pernyataan seorang praktisi pertanian bahwa meskipun sudah banyak teknologi irigasi dan fertilisasi, namun masih banyak petani yang mengandalkan metode manual. Penggunaan metode tersebut padahal berpotensi menyebabkan ketidakakuratan dosis, yang dapat memicu gangguan pertumbuhan tanaman. Kekurangan air dapat mengakibatkan kerontokan bunga dan buah, sementara kelebihan air dapat menyebabkan akar membusuk. Begitu pula dengan pupuk, kekurangan dapat membuat tanaman kurang

unsur, sedangkan kelebihan dapat mengakibatkan overdosis dan efek *toxic* [6]. Selain itu, penggunaan metode manual juga memberikan keterbatasan dalam menghadapi anomali seperti ketika kadar air dalam tanah lebih cepat habis di luar penjadwalan atau kadar air yang sudah tercukupi karena terjangan hujan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, akan dikembangkan sebuah sistem fertigasi tetes yang dapat menjalankan kegiatan irigasi dan fertilisasi secara akurat. Dengan sistem ini, pengguna dapat melakukan pemantauan terhadap parameter, anomali, dan gangguan, serta pengaturan terhadap konfigurasi parameter dari jarak jauh melalui aplikasi mobile berbasis Android. Secara sistem, alat ini dirancang memiliki pengaturan parameter yang dinamis, sehingga memungkinkan untuk digunakan pada berbagai jenis tanaman. Namun, diperlukan adanya pengetahuan mendalam tentang tanaman terkait agar nilai parameter tersebut dapat ditentukan secara ideal. Fertigasi tetes ini cocok digunakan pada tanaman yang rakus nutrisi [7], memiliki akar yang tidak terlalu panjang, dan ditanam secara berderet dengan jarak yang rapat [8]. Oleh karena itu diambil sample pengujian tanaman cabai rawit merah. Tanaman ini memiliki kecocokan dengan ketentuan sebelumnya dan memiliki nilai ekonomis tinggi, sehingga sejalan dengan biaya pengembangan awal yang tinggi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Internet of Things (IoT)

Internet of things (IoT) merupakan sebuah teknologi yang menginovasi benda-benda di sekitar kita untuk terhubung dengan internet dan mengefisienkan aktivitas sehari-hari. Saat ini, implementasi IoT pada bidang pertanian dinilai dapat menurunkan pengeluaran dan juga memaksimalkan hasil pertanian. Disamping kelebihanannya yang mampu memudahkan dan mempercepat proses berbagi informasi, tanpa adanya mekanisme keamanan yang efektif untuk melindungi data pribadi, penggunaan teknologi ini dapat menjadi sebuah masalah. Dalam pengembangan sistem berbasis IoT, setidaknya meliputi tiga lapisan, diantaranya *perception layer*, *network layer* dan *application layer* [9].

2.2. Perhitungan Persentase Kapasitas Penampung Air

Untuk mendapatkan informasi mengenai nilai persentase dari kapasitas sebuah penampung air yang telah terisi, dapat dilakukan dengan memanfaatkan sensor ultrasonik. Pada dasarnya sensor ultrasonik merupakan sebuah sensor suara, namun dijalankan pada frekuensi di atas kemampuan pendengaran manusia, yang dapat mengembalikan nilai dengan jarak di antara 2 sampai 300 cm. Cara kerja dari sensor ini yaitu dengan menggunakan suara untuk menentukan jarak antara sensor dan objek terdekat di jalurnya. Untuk mengubah nilai jarak menjadi persentase kapasitas penampung air, dapat dilakukan

dengan menggunakan rumus volume silinder [10] sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Persentase} &= (\text{Volume Silinder} / \text{VMS}) * 100 \\ \text{Tinggi Air} &= \text{Tinggi} - \text{JS} \\ \text{Volume Silinder} &= \text{Luas Alas} \cdot \text{Tinggi Air} \\ \text{Luas Alas} &= \pi \cdot r^2\end{aligned}\quad (1)$$

Keterangan:

Tinggi = Tinggi silinder JS = Nilai sensor

VMS = Volume Maks. Silinder $\pi = \text{pi}$

r = jari-jari lingkaran

2.3. Perhitungan Persentase Kelembaban Tanah

Sensor kelembaban tanah menghasilkan keluaran berupa resolusi analog yang diproses menggunakan ADC, dalam rentang 0 sampai 4095. Sebagai contoh, ketika tanah kering, keluaran yang dihasilkan berupa ADC 12 bit, yaitu 4096 dimana ketika dikonversi menghasilkan nilai 0% [11]. Pengkonversian tersebut dilakukan untuk memudahkan pengguna dalam memahami nilai kelembaban tanah secara umum, baik itu pada saat memantau ataupun mengatur konfigurasi. Hal ini dapat dilakukan dengan rumus yang ditunjukkan pada rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned}\text{Output} &= \frac{\text{ADCValue}}{4095} \\ \text{Persentase} &= 100 - (\text{Output} * 100)\end{aligned}\quad (2)$$

Keterangan:

ADCValue = Nilai keluaran yang dihasilkan sensor

Output = Hasil perhitungan

2.4. Perhitungan Durasi Fertigasi Tanaman

Setiap tanaman memiliki dosisnya masing-masing, baik dalam kegiatan irigasi maupun fertilisasi. Dengan metode tetes yang digunakan, volume air yang dibutuhkan oleh tanaman akan dikonversi terlebih dahulu menjadi waktu operasional. Pada dasarnya, waktu operasional merupakan durasi atau waktu lamanya kegiatan irigasi atau fertilisasi dilakukan. Hal tersebut dapat ditentukan melalui rumus laju tetesan emitter dan waktu operasional [12] yang ditunjukkan pada rumus sebagai berikut:

$$\text{Waktu Operasional} = \frac{\frac{\text{dosis (ml)}}{\text{luas area (mm)}}}{\frac{q}{s \cdot l}}\quad (3)$$

Keterangan:

EDR = Laju tetesan

emitter (mm/jam)

Dosis = Dosis kegiatan

Luas area = Luas area

kegiatan

q = Debit emitter (l/jam)

s = Jarak lubang emitter (m)

l = Jarak lateral emitter (m)

2.5. Prosedur Fertilisasi Pada Sistem Fertigasi

Kegiatan fertigasi dalam sistem ini tidak dapat dilakukan secara sembarangan, sedikit kesalahan saja dapat menimbulkan endapan pada selang atau pipa jalur air dan mengganggu jalannya sistem. Oleh karena

itu, terdapat prosedur khusus dalam mencegah hal ini terjadi. Dimulai dari proses pelarutan pupuk yang terbagi menjadi tiga tahap, yaitu pelarutan pupuk dengan air yang dilakukan pada penampung air, pendiaman larutan pupuk sampai endapannya terpisah di dasar penampung air, dan penyaringan sampai endapan terpisah dari penampung air. Selain itu, pada prosedur kegiatan fertilisasinya itu sendiri, dimana dibagi menjadi tiga tahap, yaitu diawali dengan 25% irigasi, lalu 50% fertigasi, dan diakhiri dengan 25% irigasi kembali dengan durasi berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya [13].

2.6. Dosis Irigasi dan Fertilisasi Tanaman Cabai Merah

Kegiatan irigasi dilakukan dua kali sehari setiap hari pada waktu pagi dan sore. Kegiatan tersebut dilakukan dengan dosis irigasi 270 ml air per tanaman pada masa vegetatif, yaitu berumur 1-4 MST. Sedangkan pada masa generatif, yaitu berumur 5-15 MST dosis yang diberikan sebesar 540 ml air per tanaman [5]. Dengan nilai kelembaban tanah ideal pada tanaman cabai rawit merah yaitu berkisar antara 60% sampai 70% [14]. Hal tersebut mempengaruhi cara alat menghadapi anomali, dimana ketika kelembaban tanah berada di bawah nilai ideal, alat akan melakukan irigasi secara otomatis. Sedangkan, ketika kelembaban tanah sudah berada dalam nilai ideal, kegiatan irigasi rutin akan dilewati.

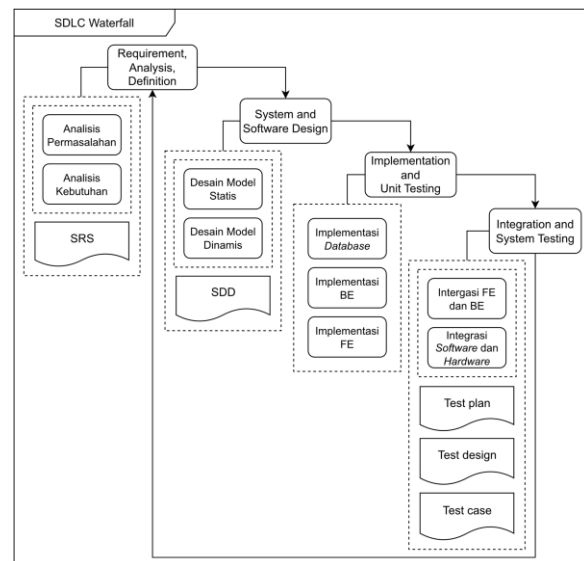
Sedangkan, kegiatan fertilisasi dilakukan setiap tiga hari sekali dengan dosis 1700 ml larutan pupuk per tanaman. Pada masa vegetatif, yaitu berumur 1-4 MST, pupuk yang digunakan diantaranya GANDASIL D 1 gram, MKP 3 gram, CANTIK 1 gram, ZA 1 gram, dan KCl 1 gram dilarutkan secara merata dalam ember berisi air sebanyak empat liter. Sedangkan pada masa generatif, yaitu berumur 5-15 MST, komposisi pupuk yang digunakan masih sama, namun dilarutkan dalam ember berisi air sebanyak tiga liter [15].

3. METODE PENELITIAN

3.1. Tahapan Pelaksanaan

Pengerjaan sistem ini dilakukan mengacu pada tahap pelaksanaan yang telah dirancang sebelumnya. Tahapan tersebut mengimplementasikan SDLC waterfall mulai dari *requirement, analysis, and definition* sampai *integration and system testing*. Tahap *requirements, analysis, and definition* bertujuan untuk melakukan analisis secara mendalam mengenai domain masalah, cakupan, batasan, dan tujuan dari pengembangan sebuah perangkat lunak. Hal ini dilakukan berdasarkan hasil informasi yang diperoleh pada saat wawancara dan studi literatur yang telah dilakukan, khususnya pada karya ilmiah sejenis dan produk komersial irigasi dan fertilisasi otomatis. Hal tersebut akan memberikan referensi terkait pengembangan sistem yang akan dibangun dalam mendefinisikan kebutuhan. Kegiatan mendefinisikan kebutuhan tersebut akan menghasilkan daftar kebutuhan *functional* dan *non-functional*, *use case*

diagram, dan *system sequence diagram*. Hasil pengerjaan tersebut lalu akan didokumentasikan pada dokumen *software requirement specification* (SRS).



Gambar 1. Tahapan Pelaksanaan

Selanjutnya tahap *system and software design* bertujuan untuk menggambarkan kebutuhan-kebutuhan yang diperlukan ke dalam bentuk arsitektur sebelum tahapan implementasi dimulai. Perancangan sistem ini terbagi menjadi sembilan tahapan, meliputi desain arsitektur, *subsystem*, *decomposition*, *domain model*, *class diagram*, *object diagram*, *sequence diagram*, serta *mockup* aplikasi dan LCD. Perancangan diagram-diagram tersebut beracuan pada metode Unified Modelling Language (UML). Hasil analisis tersebut lalu didokumentasikan pada dokumen berupa *Software Design Documentation* (SDD).

Tahap *implementation and unit testing* dilakukan proses implementasi berdasarkan dokumen desain yang telah dibuat ke dalam bentuk kode program. Kode program ini dibagi menjadi dua, yaitu *back-end* menggunakan C dan Kotlin, serta *front-end* menggunakan XML untuk mendefinisikan layout dan Kotlin itu sendiri dalam mengatur tingkah laku dan mengendalikan elemen-elemen UI-nya. Setelah proses implementasi selesai, dilanjutkan dengan tahap pengujian fungsionalitas menggunakan pendekatan black-box. Penggunaan metode ini bertujuan untuk memvalidasi kesesuaian hasil keluaran dari setiap fungsi yang ada dengan persyaratan yang telah ditentukan. Untuk memastikan pengujian berjalan secara terstruktur dan terdokumentasikan dengan baik, disusun dokumen berupa *unit testing document*.

Kegiatan integrasi pada bagian software tidak akan terlalu banyak, karena pada dasarnya pengerjaan *front-end* (FE) dan *back-end* (BE) dilakukan pada lingkungan pengembangan yang sama, sehingga proses integrasi FE dan BE berjalan secara beriringan. Oleh karena itu, kegiatan integrasi dengan hardware pun akan dilakukan pada tahapan ini. Kegiatan integrasi ini dilakukan untuk memastikan bahwa

bagian informatika, elektronika, dan mekanik sudah bekerja dan saling berinteraksi satu sama lain menjadi satu kesatuan. Setelah proses integrasi dapat dipastikan sudah berjalan dengan baik, langkah berikutnya adalah menguji setiap item integrasi sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan sebelumnya. Untuk memastikan pengujian berjalan secara terstruktur dan terdokumentasikan dengan baik, disusun dokumen berupa integration testing document.

3.2. Analisis Pengguna

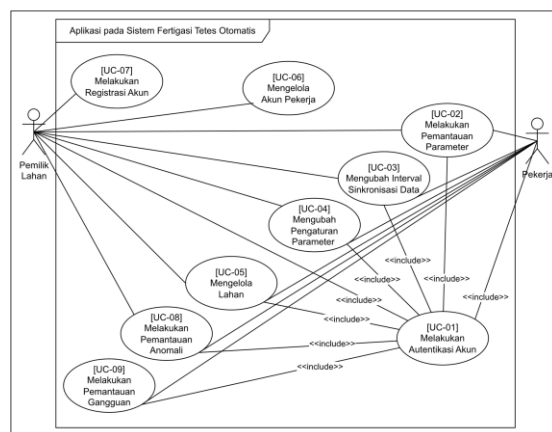
Aplikasi pada pengembangan sistem ini dapat digunakan oleh dua peran pengguna, yaitu pemilik lahan dan pekerja yang memiliki perbedaan hak akses.

Tabel 1. Analisis Pengguna

No	Pengguna	Peran	Tugas
1	Pemilik Lahan	Primary Actor	1. Mengelola lahan 2. Mengelola akun pekerja 3. Mengatur konfigurasi parameter 4. Memantau parameter, anomali, dan gangguan
2	Pekerja	Supporting Actor	1. Mengatur konfigurasi parameter 2. Memantau parameter, anomali, dan gangguan.

3.3. Analisis Kebutuhan Pengguna

Kebutuhan pengguna dan interaksinya dengan sistem digambarkan melalui *use case diagram* di bawah:



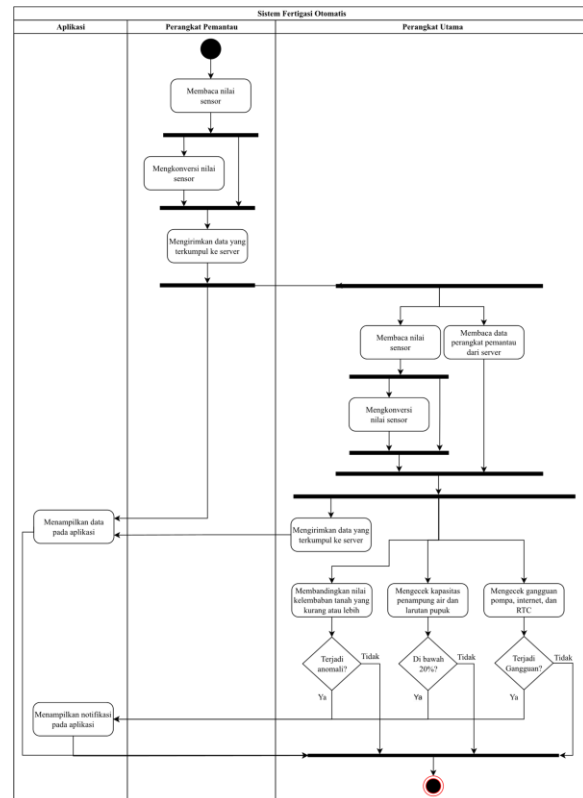
Gambar 2. Use Case Diagram

Pengembangan aplikasi ini dilengkapi dengan fitur-fitur yang dapat menunjang seluruh kebutuhan pengguna. Pemilihan fitur ini merupakan solusi dari hasil analisis yang telah dilakukan sebelumnya dengan total *functional requirement* sebanyak 46 buah.

3.4. Analisis Pemantauan Jarak Jauh

Kegiatan pemantauan dapat dilakukan terhadap parameter, anomali, dan gangguan dengan alur mulai dari pembacaan sensor, pengolahan data, pengiriman ke server, pengecekan anomali, gangguan, serta menampilkan pemantauan parameter pada aplikasi dan/atau menampilkan notifikasi ketika kondisi

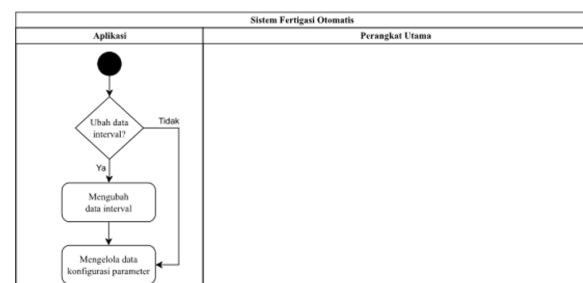
anomali atau gangguan terdeteksi. Detail alur dapat dilihat pada activity diagram sebagai berikut:

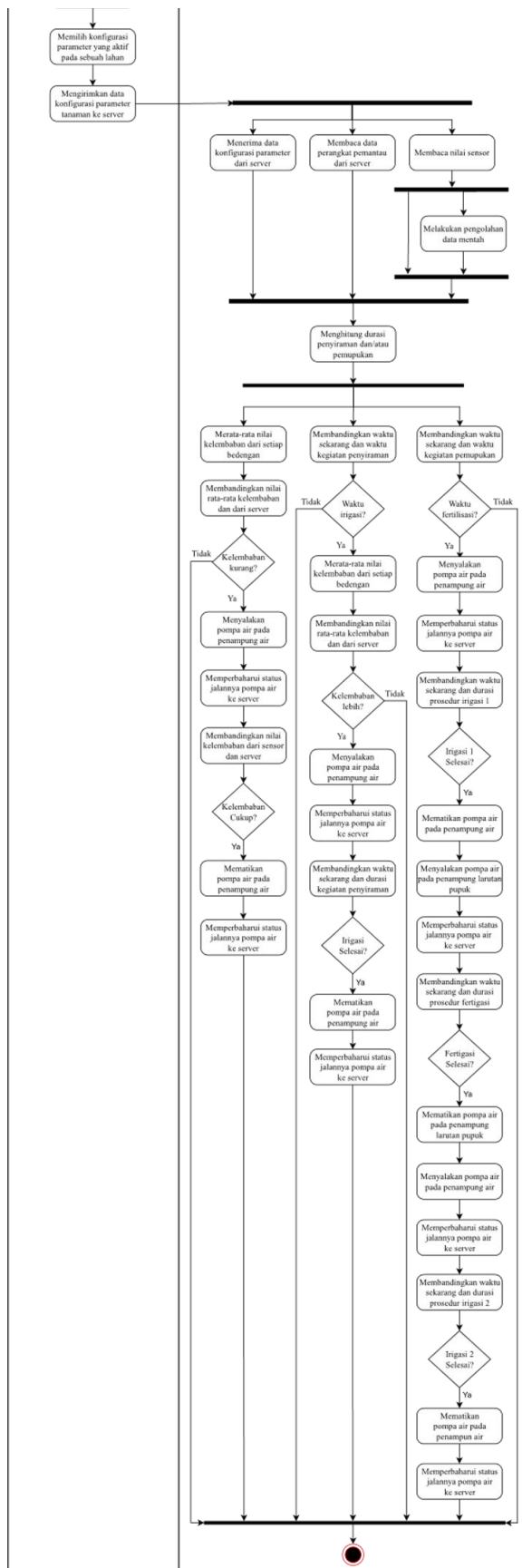


Gambar 3. Alur Pemantauan Jarak Jauh

3.5. Analisis Pengaturan Jarak Jauh

Kegiatan pengaturan dapat dilakukan terhadap interval dan konfigurasi parameter dengan alur mulai dari pengaturan interval pada aplikasi, lalu pada alat elektronika akan dilakukan pembacaan sensor, membaca konfigurasi parameter dan data perangkat pemantau dari server. Data-data tersebut kemudian digunakan dalam menentukan kegiatan yang akan dijalankan, mulai dari irigasi otomatis, serta irigasi dan fertigasi penjadwalan. Detail alur dapat dilihat pada activity diagram sebagai berikut:

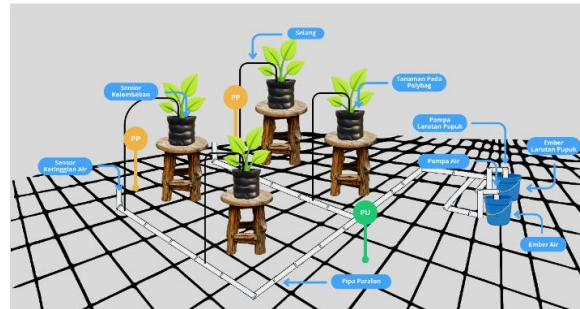




Gambar 4. Alur Pengaturan Jarak Jauh

3.6. Analisis Penerapan Lingkungan

Pengembangan sistem ini diimplementasikan dalam bentuk purwarupa yang menyerupai lingkungan sesungguhnya, yang diilustrasikan sebagai berikut:

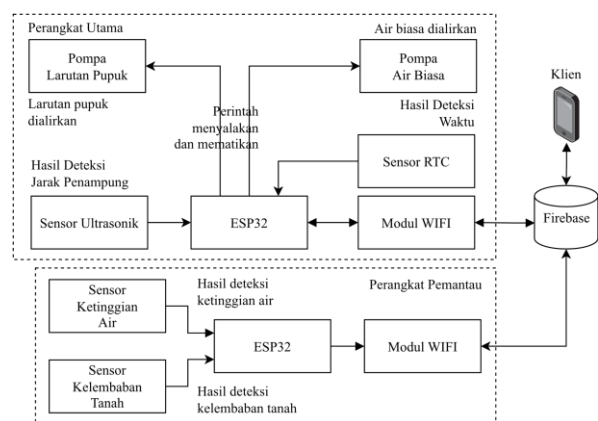


Gambar 5. Penerapan Lingkungan

Terdapat dua baris tanaman yang terpisah dengan jarak 50 cm dan berisi masing-masing dua buah tanaman dengan jarak 40 cm. Dengan begitu, akan menghasilkan luas lahan sebesar total 80 x 250 cm. Terdapat satu buah perangkat utama dan dua buah perangkat pemantau. Selain itu, terdapat juga dua penampung air berupa ember untuk menampung air biasa untuk kegiatan irigasi dan larutan pupuk untuk kegiatan fertilisasi. Setiap ember akan dipasang sensor ultrasonik pada bagian atasnya. Masing-masing penampung tersebut kemudian akan disambungkan dengan pompa air dan berjalan sesuai waktu penjadwalan. Air atau larutan pupuk kemudian akan dihisap dan dialirkan ke setiap barisan tanaman menggunakan pipa paralon, dan dialirkan kembali ke setiap tanaman dengan emitter melalui selang PE.

3.7. Perancangan Sistem

Sistem secara keseluruhan digambarkan melalui blok diagram, sebagai berikut:

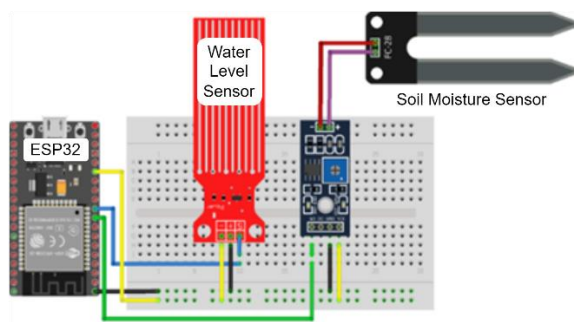


Gambar 6. Blok Diagram

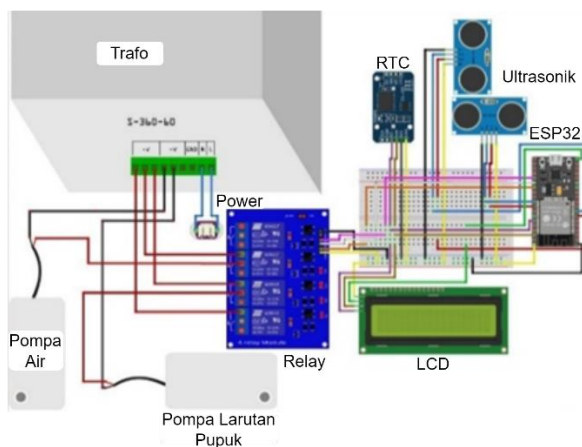
Terdapat dua jenis perangkat, yaitu perangkat pemantau untuk melakukan pemantauan terhadap kondisi lingkungan tanaman, dan perangkat utama sebagai pusat pengolahan data dan pengendalian terhadap kondisi kegiatan irigasi dan fertilisasi yang akan dijalankan. Dengan adanya kebutuhan data

terhadap perangkat pemantau dan konfigurasi parameter yang sedang aktif.

Dalam mentransmisikan data, digunakan Firebase, khususnya real-time database. Pertama-tama, *microcontroller* akan menjalankan perintah pada modul Wi-Fi untuk menyambungkan terlebih dahulu dengan jaringan internet. Setelah itu, baru proses *post request* data yang berisi informasi yang tersedia pada *microcontroller* perangkat masing-masing akan dijalankan. Selain melakukan *post request*, *microcontroller* juga melakukan *get request*. Terutama pada perangkat utama dengan tujuan untuk mendapatkan data pemantauan kondisi tanaman dari perangkat pemantau dan data konfigurasi preset yang sedang aktif untuk mendukung prosedur kegiatan irigasi dan fertilisasi. Interaksi dengan Firebase juga dilakukan oleh aplikasi. Pada aplikasi dijalankan proses *post request* untuk mengatur konfigurasi parameter beroperasinya alat dan menjalankan *get request* untuk melakukan pemantauan terhadap parameter berdasarkan interval yang telah ditentukan. Skema desain alat pada pengerjaan alat elektronika ini dapat dilihat pada Gambar 5 dan Gambar 6.



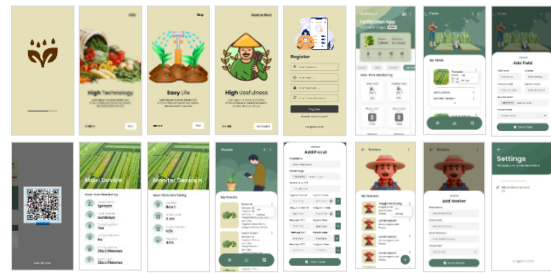
Gambar 7. Skema Desain Perangkat Pemantau



Gambar 8. Skema Desain Perangkat Utama

3.8. Desain Mockup Aplikasi

Terdapat halaman mockup aplikasi total berjumlah 16 buah, sebagai berikut:



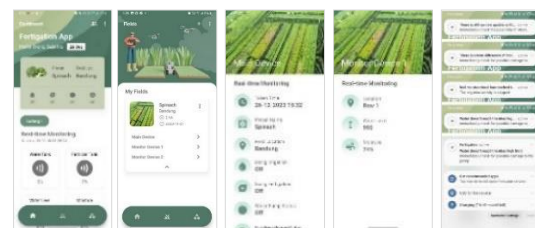
Gambar 9. Desain Mockup Aplikasi

Halaman tersebut yang terdiri dari halaman *splash screen*, *onboarding*, *login*, *register*, *dashboard*, *fieldlist*, *add/edit field*, *scanner*, detail perangkat utama, detail perangkat pemantau, *presetlist*, *add/edit preset*, *workerlist*, *add/edit worker*, dan pengaturan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

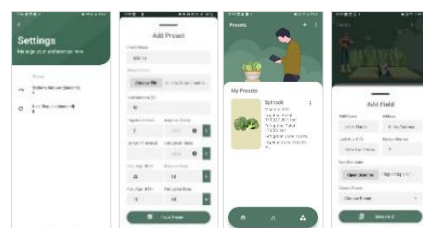
4.1. Implementasi Aplikasi

Implementasi aplikasi terbagi menjadi dua, yaitu pada bagian pemantauan parameter, anomali, dan gangguan, serta bagian pengaturan terhadap interval dan konfigurasi parameter.



Gambar 10. Pemantauan Parameter, Anomali, dan Gangguan

Pemantauan terhadap parameter dapat dilakukan melalui dua cara. Pertama, halaman beranda yang dapat menampilkan seluruh informasi yang tersedia, baik itu pada perangkat utama, perangkat pemantau pada sebuah lahan yang dimiliki oleh seorang pemilik lahan, dan preset yang diterapkan pada lahan tersebut. Kedua, halaman detail dari setiap perangkat yang dapat dilihat dari halaman *fieldlist*. Dengan mengakses halaman tersebut, pengguna bisa melakukan pemantauan terhadap parameter secara spesifik pada jenis perangkat yang ingin dilihat. Bahkan jika dalam suatu alat memiliki perangkat pemantau lebih dari satu, sistem ini juga dapat mengakomodir hal tersebut.



Gambar 11. Pengaturan terhadap Interval dan Konfigurasi Parameter

Selain pemantauan, pengguna juga dapat melakukan pengaturan melalui aplikasi. Pengaturan tersebut meliputi interval dan konfigurasi parameter. Perubahan interval dapat dilakukan melalui halaman pengaturan dalam bentuk detik dengan nilai minimal lima detik dan maksimal lima menit (300 detik). Sedangkan untuk melakukan pengaturan konfigurasi parameter, dimulai dari mengelola terlebih dahulu konfigurasi tersebut melalui halaman *add/edit preset*. Setelah itu, pengguna bisa menerapkannya pada halaman *add/edit field* terhadap sebuah lahan. Konfigurasi parameter aktif tersebut kemudian akan diterapkan pada alat elektronika terkait.

4.2. Implementasi Alat

Implementasi alat terbagi menjadi dua, yaitu alat fertigasi dan alat elektronika.



Gambar 12. Implementasi Alat Fertigasi

Alat fertigasi berfungsi sebagai media untuk mengalirkan cairan air dan larutan pupuk dari penampung sampai ke akar tanaman. Pengaliran cairan ke setiap tanaman dimulai dari pompa pada penampung yang akan menyala. Dalam menghubungkan pipa paralon dengan pompa, digunakan sebuah sambungan drat dalam sebagai perantaranya. Ketika terdapat kebutuhan untuk mengubah arah jalur pipa paralon, digunakan sambungan *elbow*. Pada awal jalur, terdapat dua buah cabang yang terdiri dari cabang penampung air, dan cabang penampung larutan pupuk. Cabang tersebut kemudian akan bersatu kembali dan memanjang pada setiap barisan tanaman, dimana pada bagian ujung paralon diakhiri dengan sambungan *dop* dengan posisi yang lebih tinggi. Pada titik tertentu, pipa paralon kemudian akan dilubangi kembali menggunakan paku panas lalu dimasukkan nepel ulir. Selanjutnya, nepel ulir tersebut dipasang selang dan *emitter* pada bagian ujungnya. Dengan begitu, cairan berhasil dialirkan ke setiap tanaman. Untuk mencegah adanya kebocoran, selang dan nepel ulir diikat menggunakan kabel ties. Sementara itu, setiap emitter akan disangga oleh spike stake agar tidak mudah berubah posisi.

Perangkat elektronika digunakan untuk membaca nilai sensor dan menjalankan komponen output secara otomatis tanpa campur tangan manusia secara

langsung. Kebutuhan perangkat elektronika ini dibagi menjadi dua, yaitu perangkat utama dan perangkat pemantau. Pada perangkat pemantau digunakan *microcontroller* ESP32 yang disambungkan dengan komponen input berupa dua sensor, yaitu sensor kelembaban tanah dan ketinggian air. Sedangkan, pada perangkat utama digunakan *microcontroller* ESP32 yang disambungkan dengan komponen *input* dan *output*. Untuk komponen *input* terdiri dari dua sensor, yaitu sensor ultrasonik dan sensor RTC, sedangkan komponen *output* terdiri dari LCD dan pompa air yang membutuhkan komponen *transformator* dan *relay* untuk dapat menghidupkannya.



Gambar 13. Implementasi Alat Elektronika

4.3. Pengujian

Pengujian dilakukan berdasarkan *functional requirement* sejumlah 46 menggunakan metode black-box testing dan berfokus pada fungsionalitas alat. Untuk memudahkan penjelasan, pengujian dibagi menjadi beberapa kelompok fitur, diantaranya: (1) Melakukan autentikasi akun, (2) Melakukan pemantauan parameter, (3) Mengubah interval sinkronisasi data, (4) Mengubah pengaturan parameter, (5) Mengelola lahan, (6) Melakukan registrasi akun, (7) Mengelola akun pekerja, (8) Melakukan pemantauan anomali, (9) Melakukan pemantauan gangguan. Pengujian telah dilakukan dan didapatkan bahwa seluruh *functional requirement* telah berjalan sesuai dengan seharusnya. Hasil tersebut dapat dilihat sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Pengujian

No	Fitur	Status
1	Melakukan autentikasi akun	Berjalan
2	Melakukan pemantauan parameter	Berjalan
3	Mengubah interval sinkronisasi data	Berjalan
4	Mengubah pengaturan parameter	Berjalan
5	Mengelola lahan	Berjalan
6	Melakukan registrasi akun	Berjalan
7	Mengelola akun pekerja	Berjalan
8	Melakukan pemantauan anomali	Berjalan
9	Melakukan pemantauan gangguan	Berjalan

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan menghasilkan kesimpulan sebagai berikut: Sistem dapat melakukan kegiatan irigasi dan fertilisasi pada tanaman secara simultan dan otomatis, dengan cara membiarkan air atau larutan pupuk menetes secara perlahan menuju akar berdasarkan parameter konfigurasi yang aktif. Sistem dapat meningkatkan ketepatan dalam pemberian dosis dan memberikan kemampuan penanganan yang baik terhadap anomali yang berpotensi terjadi. Aplikasi dapat melakukan pengaturan konfigurasi parameter secara dinamis. Alat elektronika kemudian bisa berjalan berdasarkan konfigurasi parameter yang telah ditentukan tersebut. Sistem dapat melakukan memberikan informasi pemantauan secara *real-time* terhadap parameter utama dan gangguan-gangguan yang berpotensi terjadi melalui notifikasi pada aplikasi. Sistem memiliki kemampuan untuk menjalankan kegiatan irigasi dan fertilisasi secara terpisah. Penggunaan perangkat terpisah untuk melakukan pemantauan terhadap kondisi tanaman, dimana proses transmisi data dilakukan secara *wireless* dengan cara dikirimkan langsung Firebase.

Terdapat beberapa saran yang dapat dilakukan agar bisa menjadi lebih baik lagi, diantaranya: Penggunaan tambahan komponen solenoid valve untuk meningkatkan kemampuan untuk mengontrol tingkat presisi terhadap aliran cairan berupa air atau larutan pupuk. Hal ini dapat memastikan bahwa tanaman menerima jumlah cairan yang tepat sesuai dengan kebutuhan dan meningkatkan efisiensi penggunaan cairan. Kemampuan untuk dapat melakukan prosedur pencampuran pupuk hingga menjadi larutan pupuk yang siap digunakan. Penggunaan sensor EC dan pH untuk melakukan pemantauan terhadap kualitas air dan mengukur tingkat keasaman atau kebasaaan. Fitur pembersihan dan kalibrasi komponen secara otomatis, khususnya terhadap komponen-komponen fertigasi dan elektronika.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ganesa Heru Sandi dan Yulia Fatma, "PEMANFAATAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS (IOT) PADA BIDANG PERTANIAN," *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika*, vol. 7, no. 1, hlm. 1–5, Feb 2023.
- [2] Yuniarti, Umar Katu, Ananda Nurul Chumaerah M, dan Nur Hikma, "SISTEM FERTIGASI BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)," *Prosiding Seminar Nasional Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat 2019*, hlm. 58–62, 2019.
- [3] Iswadi Hasyim Rosma, Dian Yayan Sukma, dan Ikhrum Minata Solihin, "Otomatisasi Sistem Fertigasi Tetes untuk Tanaman Berbasis Mikrokontroler," *Jurnal Teknik Elektro*, vol. 13, no. 1, hlm. 34–41, Okt 2021, doi: 10.15294/jte.v13i1.31123.
- [4] Nurwahidah Jamal, Qory Hidayati, Zulkarnain, dan La Adesfar, *SISTEM IRIGASI TETES DENGAN TEKNOLOGI INTERNET OF THINGS*. 2021.
- [5] Vivit F. Alviana dan Anas D. Susila, "Optimasi Dosis Pemupukan pada Budidaya Cabai (*Capsicum annum* L.) Menggunakan Irigasi Tetes dan Mulsa Polyethylene Optimizing of Fertilizer Rate for Drip Irrigated and Polyethylene Mulched Chili Peper (*Capsicum annum* L.)," *J. Agron. Indonesia*, vol. 37, no. 1, hlm. 28–33, 2009.
- [6] kumparan.com, "Lima Tepat Pemupukan, Simak Penjelasannya agar Budi Daya Berhasil," kumparan.com. Diakses: 17 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://kumparan.com/kabar-harian/lima-tepat-pemupukan-simak-penjelasannya-agar-budi-daya-berhasil-1wIOgkXy9DL>
- [7] Rahma Dewi Ayuningrum, "Mengenal Fertigasi, Sistem Pertanian yang Bisa Menghemat Biaya Produksi," neurafarm.com. Diakses: 15 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.neurafarm.com/blog/InfoTania/Teknologi%20Pertanian/mengenal-fertigasi-sistem-pertanian-yang-bisa-menghemat-biaya-produksi-1>
- [8] Wuryanti Puspitasari, "Akademisi sebut Irigasi tetes bisa jadi solusi tanam saat kemarau," jateng.antaranews.com. Diakses: 17 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://jateng.antaranews.com/berita/399282/akademisi-sebut-irigasi-tetes-bisa-jadi-solusi-tanam-saat-kemarau>
- [9] M. Aldiki Febriantono, "Tantangan Keamanan pada IoT (Internet of Things)," binus.ac.id. Diakses: 15 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://binus.ac.id/malang/2020/09/tantangan-keamanan-pada-iot-internet-of-things/>
- [10] Farhan Rizky Ramadhan, Muhammad Difa Ramadhan, dan Muhammad Yusuf Indradewa, "Pengamatan dan Pengendalian Volume Air pada Tangki menggunakan Sensor Ultrasonik HC-SR04 dan Modul Arduino UNO," 2019. [Daring]. Tersedia pada: <https://bitsbilaspur.com/product/arduino-uno-r3-2/>
- [11] electronicwings.com, "Soil Moisture Sensor Interfacing with ESP32," electronicwings.com. Diakses: 15 Desember 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.electronicwings.com/esp32/soil-moisture-sensor-interfacing-with-esp32>
- [12] I Made Udiana, Wilhelmus Bunganaen, dan Rizky A. Pa Padja, "PERENCANAAN SISTEM IRIGASI TETES (DRIP IRRIGATION) DI DESA BESMARAK KABUPATEN KUPANG," *Jurnal Teknik Sipil*, vol. 3, no. 1, hlm. 64–74, Apr 2014.
- [13] dsrriirrigation.com, "FERTIGATION IN DRIP IRRIGATION," dsrriirrigation.com. Diakses: 15 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada:

- <https://www.dsirrigation.com/fertigation-in-drip-irrigation/>
- [14] Aditya Ferdianto dan Sujono, "PENGENDALIAN KELEMBABAN TANAH PADA TANAMAN CABAI BERBASIS FUZZY LOGIC," *Jurnal Maestro*, vol. 1, no. 1, hlm. 86–91, Apr 2018.
- [15] Daun Talas Chanel, "Membuat Nutrisi Hidroponik Sayuran Buah Dengan Pupuk MKP," Youtube, Indonesia, 8 April 2020. Diakses: 16 Oktober 2023. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.youtube.com/watch?v=7dqfuTu0cO8&t=300s>