

BAB III

METODE PENELITIAN

Bab ini membahas metode pendekatan serta tahapan yang ditempuh dalam proses pelaksanaan penelitian.

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan jenis penelitian *Research and Development* (R&D), yaitu metode penelitian yang dilakukan untuk menghasilkan dan menguji suatu produk berupa prototipe yang dapat menyelesaikan permasalahan praktis secara sistematis (Fahd dkk., 2021). Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan prototipe berupa sistem *monitoring* dan kontrol otomatis berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk mengelola kelembapan dan pH tanah tanaman Stevia menggunakan metode *Fuzzy Logic* Sugeno. Sistem ini dirancang agar dapat bekerja secara *real-time* dalam memantau dan mengatur parameter lingkungan yang sesuai dengan kebutuhan tanaman.

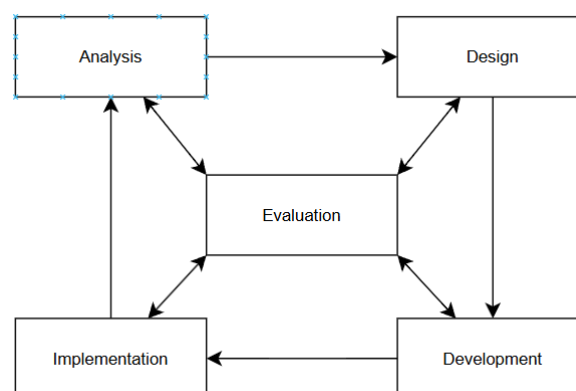
Tujuan penggunaan R&D adalah menghasilkan sistem yang inovatif, praktis, dan efektif sehingga dapat membantu petani meningkatkan kualitas dan produktivitas tanaman Stevia melalui penerapan teknologi otomatisasi pertanian yang lebih akurat dan efisien. Jenis penelitian ini memungkinkan dilakukannya evaluasi secara langsung untuk memastikan prototipe yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna di lapangan.

3.2 Pendekatan ADDIE

Pendekatan penelitian ini menggunakan model ADDIE yang terdiri dari tahapan *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. ADDIE merupakan pendekatan yang dilakukan secara bertahap dan sistematis dalam mengembangkan suatu produk mulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan produk, implementasi langsung di lapangan, hingga evaluasi kinerja akhir produk yang dihasilkan.

Model ADDIE dipilih sebagai kerangka kerja dalam penelitian ini karena pendekatannya yang berpusat pada pengguna dan evaluasi komprehensif di setiap

tahapan pengembangan sistem (Spatioti dkk., 2022). ADDIE memberikan struktur sistematis mulai dari analisis kebutuhan petani stevia, perancangan arsitektur IoT dan algoritma *fuzzy logic*, pengembangan prototipe, implementasi di lapangan, hingga evaluasi kinerja sistem secara menyeluruh. Keunggulan utama ADDIE terletak pada kemampuannya mengintegrasikan aspek teknis dan praktis secara seimbang, memastikan sistem yang dikembangkan tidak hanya secara teknologi canggih tetapi juga mudah digunakan oleh petani. Model ini memfasilitasi iterasi dan penyempurnaan berkelanjutan berdasarkan *feedback* lapangan, sehingga menghasilkan solusi IoT yang benar-benar *applicable* dan efektif untuk budidaya stevia dalam konteks pertanian Indonesia.



Gambar 3. 1 Urutan Kerja Tahap ADDIE

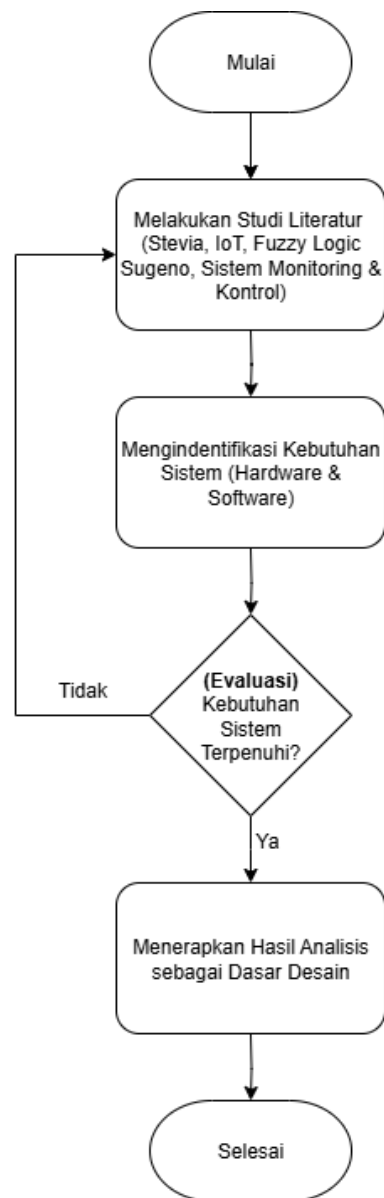
Gambar 3.1 adalah pendekatan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*). Metode ADDIE mampu memberikan tahapan kerja yang sistematis dan terstruktur dalam pengembangan produk inovatif, mulai dari analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan perangkat dan perangkat lunak, implementasi di lapangan, hingga evaluasi kinerja sistem secara menyeluruh.

3.3 Tahapan ADDIE

Dalam penelitian ini, proses pengembangan sistem dilakukan melalui lima tahapan utama berdasarkan model ADDIE, yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*, *Implementation*, dan *Evaluation*. Setiap tahapan dilakukan secara sistematis agar sistem yang dihasilkan benar-benar sesuai dengan kebutuhan serta mampu menyelesaikan permasalahan di lapangan. Tahapan ADDIE ini diawali dengan tahap *Analysis*.

3.3.1 *Analysis*

Tahap *analysis* (analisis) dilaksanakan dengan mengidentifikasi kebutuhan perangkat keras, perangkat lunak, dan integrasi sistem yang akan dikembangkan. Selain itu, studi literatur secara mendalam dilakukan untuk menentukan pemilihan teknologi serta metode yang tepat, sehingga sistem yang dirancang benar-benar relevan dengan kebutuhan pengguna dan dapat menyelesaikan masalah di lapangan secara efektif.



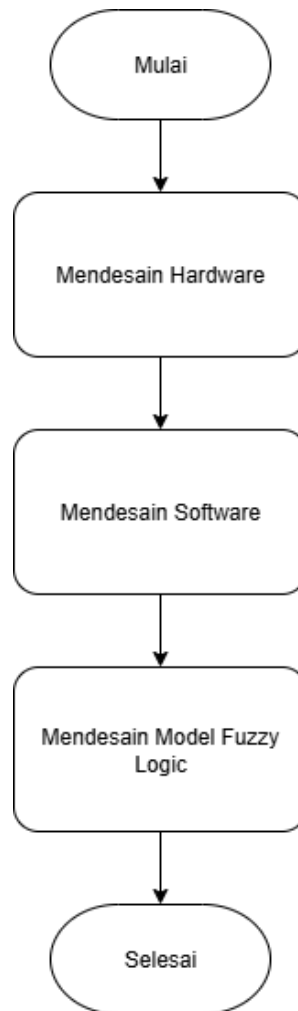
Gambar 3. 2 Urutan Kerja Tahap Analisis

Gambar 3.2 menggambarkan tahapan analisis yang dimulai dari studi literatur, identifikasi kebutuhan sistem (baik *hardware* maupun *software*), hingga penyusunan hasil analisis yang digunakan sebagai dasar dalam tahap perancangan sistem selanjutnya.

3.3.2 Design

Tahap *design* atau desain dilakukan dengan merancang sistem secara rinci berdasarkan hasil analisis sebelumnya. Pada tahap ini, desain sistem meliputi tiga

aspek utama, yaitu perancangan *hardware*, *software*, serta model *fuzzy logic* yang digunakan untuk mengontrol sistem secara otomatis yang diperlihatkan pada gambar 3.3.



Gambar 3. 3 Urutan Kerja Tahap Desain

Pada perancangan *hardware*, dilakukan desain sistem elektronik yang terdiri dari mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor kelembapan tanah tipe YL69, sensor pH tanah, modul relay, dan pompa air mini DC. Proses desain *hardware* meliputi pembuatan diagram blok, skematik rangkaian elektronik, *wiring diagram*, serta desain *Printed Circuit Board* (PCB) agar seluruh perangkat keras dapat terintegrasi dengan baik.

Pada aspek *software*, dirancang sistem *backend* yang mencakup komunikasi data antara mikrokontroler ESP32 dengan *platform cloud* Firebase untuk penyimpanan dan pemantauan data secara *real-time*. Selain itu, dibuat juga desain antarmuka berbasis web sebagai *dashboard monitoring* yang dapat menampilkan informasi kondisi kelembapan dan pH tanah serta status perangkat secara *real-time*.

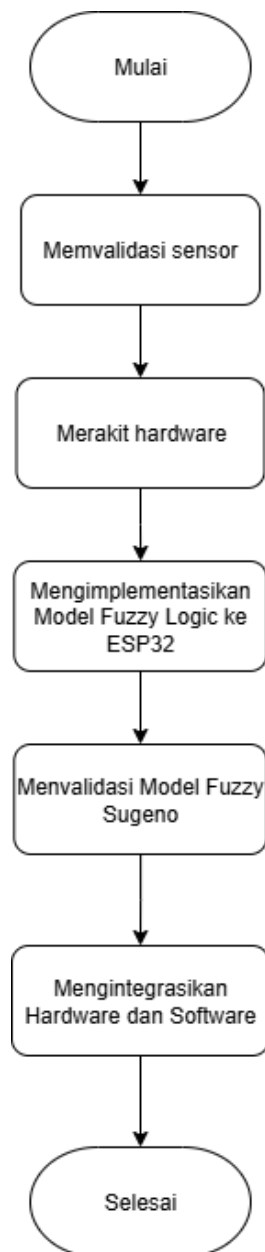
Untuk mendukung otomatisasi kontrol, model *fuzzy logic* dirancang menggunakan metode Sugeno. Perancangan *fuzzy logic* ini mencakup penentuan variabel *input* dan *output*, pembuatan himpunan *fuzzy* serta fungsi keanggotaannya, hingga penyusunan aturan-aturan *fuzzy (rule base)* yang digunakan dalam pengambilan keputusan otomatis sistem.

3.3.3 Development

Tahap *development* atau pengembangan sistem diawali dengan validasi sensor, yaitu pengujian dan kalibrasi sensor kelembapan tanah dan sensor pH untuk memastikan akurasi pembacaan sebelum digunakan dalam sistem utama. Setelah sensor tervalidasi, dilakukan perakitan komponen *hardware* yang terdiri dari mikrokontroler ESP32, sensor kelembapan YL69, sensor pH, relay, dan pompa DC pada PCB yang telah dirancang agar terintegrasi secara fungsional.

Langkah berikutnya adalah pemrograman mikrokontroler ESP32 menggunakan Arduino IDE. Pada tahap ini, dilakukan konfigurasi pembacaan data sensor, pengiriman data ke *cloud* (Firebase) secara *real-time*, serta pengendalian aktuator melalui relay secara otomatis. Selain itu, algoritma *Fuzzy Logic* Sugeno diimplementasikan pada ESP32 untuk pengambilan keputusan penyiraman atau pengaturan pH tanah secara otomatis berdasarkan data sensor.

Selanjutnya, dilakukan validasi logika *fuzzy* Sugeno dengan membandingkan hasil *output* mikrokontroler dengan hasil perhitungan manual di MATLAB, guna memastikan kesesuaian algoritma yang diimplementasikan. Setelah itu, dilakukan integrasi seluruh *hardware* dan *software* sehingga sistem dapat beroperasi sebagai satu kesatuan dan siap diuji di lapangan.

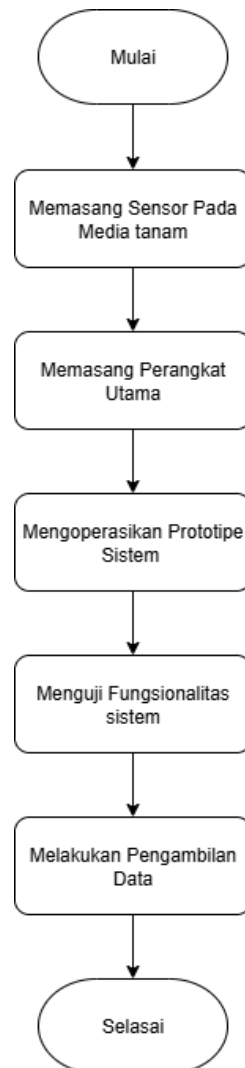


Gambar 3. 4 Urutan Kerja Tahap *Development*

Gambar 3.4 memperlihatkan urutan tahapan mulai dari validasi sensor, perakitan hardware, implementasi dan validasi algoritma *fuzzy logic* Sugeno, hingga proses integrasi *hardware* dan *software* sebagai dasar prototipe siap diuji coba.

3.3.4 Implementation

Tahapan *implementation* atau implementasi dalam penelitian ini dapat digambarkan melalui urutan kerja tahap pada Gambar 3.5



Gambar 3. 5 Urutan Kerja Tahap Implementasi

Gambar 3.4 memperlihatkan langkah-langkah sistematis yang dilakukan selama proses implementasi sistem di lapangan. Implementasi diawali dengan pemasangan sensor pada media tanam, di mana sensor kelembapan tanah YL69 dan sensor pH diletakkan pada pot tanaman Stevia yang menjadi objek penelitian. Tahap ini sangat penting untuk memastikan bahwa sensor dapat mendeteksi kondisi lingkungan tanah secara langsung dan akurat. Setelah sensor terpasang, dilanjutkan

dengan pemasangan perangkat utama, yaitu mikrokontroler ESP32, relay, dan pompa air DC. Semua perangkat utama dihubungkan ke sumber daya listrik dan jaringan internet agar dapat melakukan pemantauan dan pengendalian secara *real-time*.

Langkah berikutnya adalah pengoperasian prototipe, yaitu mengaktifkan sistem secara keseluruhan untuk memulai proses *monitoring* dan kontrol otomatis. Pada tahap ini, seluruh perangkat diintegrasikan dan sistem mulai berjalan sesuai program yang telah diimplementasikan. Agar sistem dapat dipastikan bekerja dengan baik, dilakukan pengujian fungsionalitas sistem. Pengujian ini meliputi pengecekan pembacaan sensor, respons kontrol pompa air oleh sistem *fuzzy logic*, serta kelancaran pengiriman dan penerimaan data ke *dashboard monitoring* berbasis web. Jika semua fitur berjalan sesuai harapan, maka sistem dianggap siap untuk masuk ke tahap selanjutnya.

Tahap akhir adalah pengambilan data dari sistem yang telah beroperasi. Data yang dikumpulkan digunakan sebagai dasar evaluasi kinerja sistem serta analisis efektivitas implementasi IoT dan *fuzzy logic* pada proses *monitoring* dan pengendalian kelembapan serta pH tanah tanaman Stevia.

3.3.5 Evaluasi

Evaluasi dilakukan untuk memastikan bahwa sistem *monitoring* dan kontrol kelembapan serta pH tanah tanaman stevia berbasis IoT dengan logika *fuzzy* Sugeno telah memenuhi tujuan dan mampu berfungsi secara efektif di lapangan. Tahap evaluasi dibagi menjadi empat kegiatan utama, yaitu kalibrasi dan validasi sensor, validasi implementasi logika *fuzzy* Sugeno, pengujian fungsionalitas sistem, serta pengujian keefektifan sistem dalam menjaga kondisi tanah secara optimal.

3.3.5.1 Kalibrasi dan Validasi Sensor

Proses kalibrasi pada sensor pH dan sensor kelembapan tanah dilakukan dengan prinsip yang sama, yaitu membandingkan hasil pembacaan sensor dengan alat ukur standar yang telah terkalibrasi sebelumnya (*pH meter* dan *moisture meter*). Pada tahap awal, sensor pH dan sensor kelembapan tanah diuji pada beberapa

sampel dengan nilai pH dan tingkat kelembapan yang bervariasi. Untuk sensor pH, kedua sensor (sensor pH dan pH meter standar) dicelupkan ke dalam larutan dengan nilai pH berbeda. Sementara itu, untuk sensor kelembapan, sensor dan *moisture meter* ditempatkan pada tanah dengan kadar air berbeda-beda.

Setiap pengukuran menghasilkan dua data utama, yaitu nilai ADC (hasil pembacaan sensor) dan nilai aktual yang diukur oleh alat standar. Data-data tersebut kemudian dianalisis menggunakan regresi linear untuk memperoleh hubungan matematis antara hasil pembacaan sensor (nilai ADC) dan nilai aktual (nilai pH atau kelembapan tanah). Persamaan regresi yang dihasilkan digunakan untuk mengonversi hasil pembacaan sensor menjadi nilai yang lebih akurat sesuai dengan nilai aktual.

Setelah sensor selesai dikalibrasi dan hasil pembacaan sudah dikonversikan menggunakan persamaan regresi, akurasi sensor dievaluasi dengan cara membandingkan kembali hasil konversi sensor dengan nilai aktual dari alat standar. Evaluasi ini menggunakan dua parameter utama, yaitu *Mean Absolute Error* (MAE) pada rumus 3.1 dan *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) pada rumus 3.2.

$$MAE = \frac{\sum |Hasil\ Konversi - Moisture/pH\ Meter|}{n} \quad (3.1)$$

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum \left| \frac{Hasil\ Konversi - Moisture/pH\ Meter}{Moisture/pH\ Meter} \right| \times 100 \quad (3.2)$$

MAE digunakan untuk mengukur rata-rata selisih absolut antara hasil sensor dan alat standar, sedangkan MAPE mengukur rata-rata persentase selisih tersebut. Nilai MAE dan MAPE yang semakin kecil menunjukkan hasil kalibrasi yang semakin akurat. Dengan demikian, proses kalibrasi pada kedua sensor ini tidak hanya bertujuan untuk memperoleh pembacaan yang akurat, tetapi juga untuk memastikan sensor dapat digunakan secara andal pada pengukuran di lapangan.

3.3.5.2 Validasi Implementasi Logika *Fuzzy* Sugeno

Validasi logika *fuzzy* Sugeno dilakukan dengan membandingkan *output* sistem kontrol yang dihasilkan mikrokontroler terhadap hasil perhitungan manual menggunakan MATLAB. Beberapa kombinasi *input* (nilai kelembapan dan pH

tanah) diuji untuk melihat konsistensi dan kesesuaian *output*, apakah sistem memberikan *output* kendali (misalnya pengaktifan pompa air) yang sesuai dengan hasil perhitungan *fuzzy* berbasis MATLAB. Validasi ini bertujuan memastikan bahwa implementasi algoritma *fuzzy* pada mikrokontroler sesuai dengan desain logika *fuzzy* yang dirancang.

3.3.5.3 Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian ini dilakukan dengan pendekatan *Black Box Testing*, yaitu dengan menguji seluruh fungsi sistem berdasarkan *input* dan *output* tanpa memperhatikan proses internal. Beberapa skenario diuji seperti pada tabel 3.8.

Tabel 3. 1 Metode Pengujian Fungsionalitas

Fitur yang Diuji	Deskripsi Pengujian	Output yang Diharapkan	Hasil Pengujian	Status
Koneksi Internet	Menguji apakah perangkat terhubung ke jaringan WiFi dan internet	Perangkat berhasil terhubung (indikator koneksi aktif atau log koneksi sukses)		
Pembacaan Sensor Kelembapan & pH	Menguji apakah sensor mengirimkan data aktual	Nilai ADC / pH yang berubah sesuai kondisi tanah di serial monitor/ <i>dashboard</i>		
<i>Fuzzy Logic Output</i>	Menguji keputusan sistem berdasarkan pembacaan sensor	Pompa air dan Pompa pH aktif jika kondisi berada di luar rentang optimal		
Pengiriman Data ke Firebase	Menguji apakah data sensor terkirim dan tersimpan di Firebase secara <i>real-time</i>	Data muncul/update di Firebase <i>Database</i> atau Firestore		
Pengiriman Data ke Google Spreadsheets	Menguji apakah data terkirim otomatis ke <i>spreadsheet</i> sesuai format	<i>Spreadsheet</i> ter-update otomatis sesuai kolom waktu, pH, kelembapan		
Tampilan Web Dashboard	Menguji apakah <i>dashboard</i> menampilkan	Data pH dan kelembapan tampil, <i>update</i> otomatis		

	data sensor secara <i>real-time</i>	(tanpa <i>reload</i> manual)		
--	--	---------------------------------	--	--

3.3.5.4 Pengujian Keefektifan Sistem Dalam Menjaga Kondisi Tanah

Pengujian keefektifan sistem dilakukan dengan membandingkan dua metode pengendalian kondisi tanah, yaitu penyiraman manual dan penyiraman otomatis menggunakan sistem IoT berbasis logika *fuzzy* Sugeno. Uji dilakukan selama tujuh hari pada dua pot tanaman stevia. Pot A menggunakan penyiraman manual 1–2 kali sehari, sedangkan Pot B dikendalikan otomatis berdasarkan pembacaan sensor kelembapan dan pH tanah. Selama pengujian, data kelembapan dan pH tanah dipantau secara berkala. Rentang optimal kelembapan ditetapkan antara 40%–60%, sedangkan pH tanah berada pada kisaran 6,5–7,5. Untuk mengukur efektivitas sistem IoT dalam menjaga kondisi tanah, data durasi pH optimal yang terekam kemudian diolah. Persentase waktu di mana tanah berada dalam kondisi ideal dihitung berdasarkan rumus (3.5).

$$\text{Presentase Waktu Optimal (\%)} = \frac{\text{Waktu Dalam Kondisi Optimal}}{\text{Total Waktu Pengujian}} \times 100\% \quad (3.1)$$

Hasil dari kedua pot kemudian dibandingkan untuk menarik kesimpulan mengenai keunggulan metode yang digunakan. Pengujian ini juga memberikan gambaran sejauh mana penerapan sistem IoT berbasis *fuzzy logic* dapat membantu dalam mempertahankan kondisi tanah yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman, serta menunjukkan potensi penghematan waktu dan sumber daya melalui otomasi penyiraman yang cerdas dan adaptif terhadap kondisi lingkungan.