

BAB 3 METODE PENELITIAN

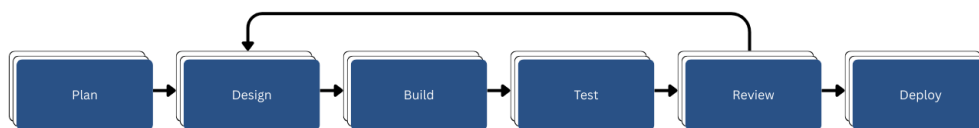
3.1 Jadwal, Lokasi, dan Alur Penelitian

Penelitian ini direncanakan berlangsung selama 6 bulan dengan tahapan yang sistematis sesuai metode *Agile* yang dipadukan dengan prinsip *User Centered Design* (UCD). Tahapan penelitian dimulai dari penjajakan masalah, studi literatur, perancangan metode, implementasi sistem, evaluasi, hingga penyusunan laporan akhir.

Tabel 1. Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Bulan					
		Ke 1	Ke 2	Ke 3	Ke 4	Ke 5	Ke 6
1	Penjajakan dan Perumusan Masalah						
2	Tinjauan Literatur						
3	Penyusunan Metode Penelitian						
4	Implementasi Solusi						
5	Evaluasi dan Validasi Solusi						
6	Penyusunan Laporan Penelitian						

Lokasi penelitian ditetapkan di Pancasari, Kabupaten Buleleng, Bali, yang merupakan salah satu daerah sentra hortikultura. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada kondisi geografis dan iklim Pancasari yang mendukung kegiatan pertanian rumah kaca, namun tetap menghadapi tantangan terkait cuaca, serangan hama, serta keterbatasan sumber daya. Alur penelitian disusun mengikuti kerangka *Agile* dan *User Centered Design* yang bersifat iteratif. Penelitian tidak dilakukan secara linear, melainkan melalui siklus perbaikan berulang sesuai kebutuhan pengguna.

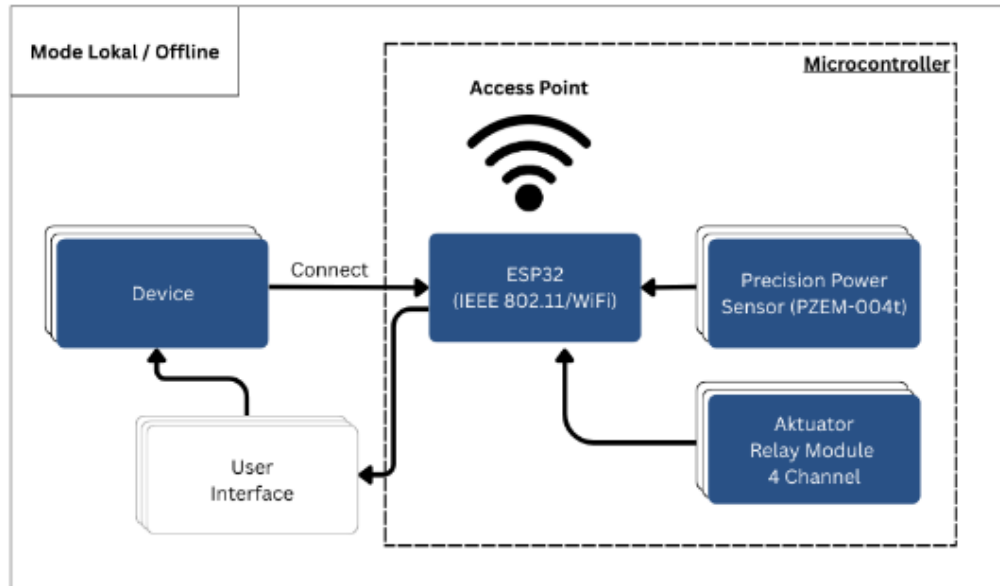


Gambar 1. Alur Penelitian

Tahapan diawali dengan perencanaan yang terdiri dari perumusan masalah, studi literatur, dan analisis kebutuhan pengguna, lalu dilanjutkan dengan perancangan antarmuka menggunakan Preact & PicoCSS, setelah itu implementasi sistem embedded serta implementasi DSS menggunakan Gemini AI, dan juga menguji coba sistem, evaluasi rekomendasi Gemini AI dan testing oleh petani, dan yang terakhir mereview dan menganalisis hasil uji coba, melakukan perbaikan sistem

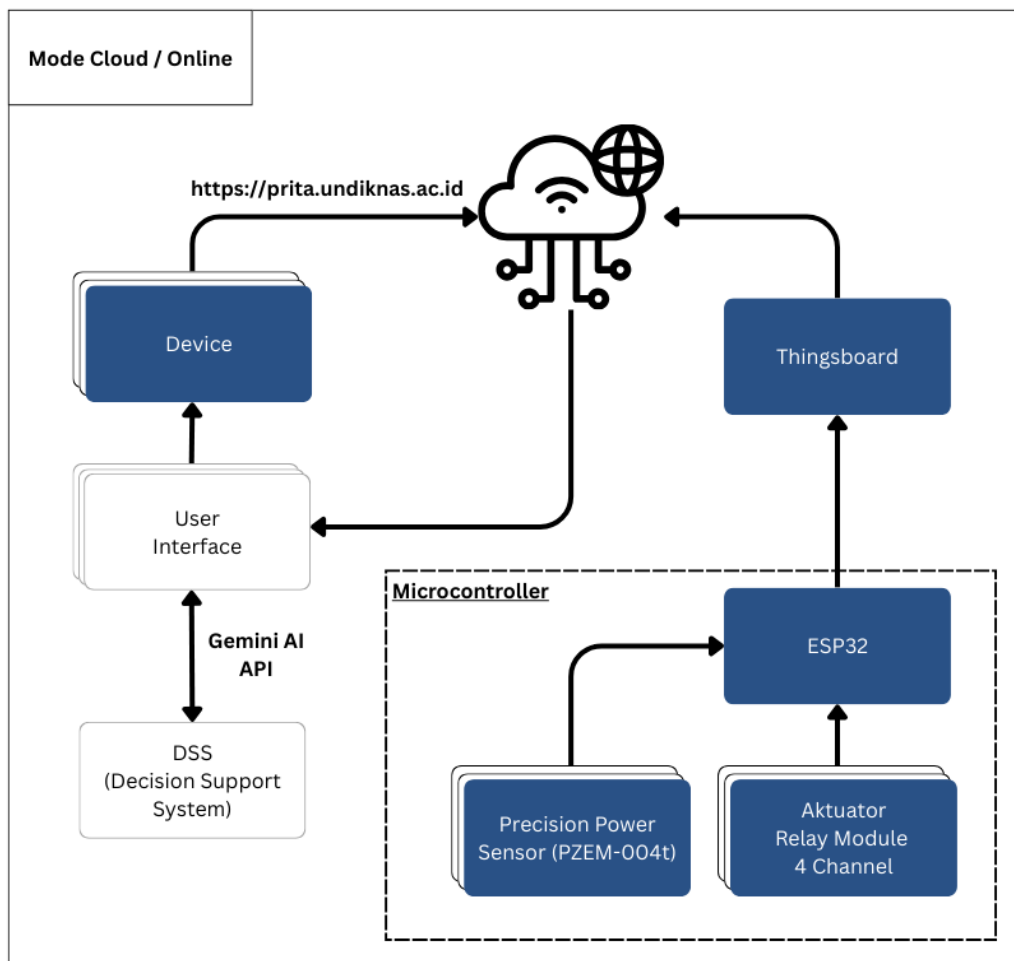
3.2 Gambaran Besar Solusi

Pada penelitian ini, solusi yang dirancang memiliki dua skenario operasional utama, yaitu mode online dan mode offline.



Gambar 2. Gambaran besar solusi mode offline

seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2, yang dirancang untuk kondisi tanpa konektivitas internet. Dalam mode ini, mikrokontroler ESP32 beralih fungsi menjadi *Access Point* (AP), menciptakan jaringan Wi-Fi lokal. Pengguna dapat menghubungkan perangkatnya ke jaringan ini untuk mengakses antarmuka pemantauan dan melihat data instrumen secara langsung. Perlu dicatat bahwa keterbatasan utama dari mode ini adalah nonaktifnya fitur *Decision Support System* (DSS) karena memerlukan akses internet.



Gambar 3. Gambaran besar solusi mode online

Skenario operasional kedua adalah mode online yang dapat dilihat pada gambar 3, yang aktif ketika koneksi internet tersedia. Dalam mode ini, ESP32 secara berkala mengirimkan data sensor ke *server cloud*. Tidak hanya memberikan kemudahan akses pemantauan jarak jauh bagi pengguna, tetapi juga memungkinkan penyimpanan data historis untuk analisis lebih lanjut. Yang terpenting, mode online merupakan syarat untuk dapat menggunakan *Decision Support System* (DSS), di mana platform *cloud* bertindak sebagai perantara untuk mengumpulkan data, menyusun *prompt*, dan berkomunikasi dengan API eksternal Gemini AI untuk menghasilkan rekomendasi atas data yang diberikan.

Dalam mode *online* maupun *offline* sensor akan mengukur parameter lingkungan rumah kaca. Data sensor inilah yang menjadi dasar bagi keseluruhan sistem untuk memberikan rekomendasi pengelolaan rumah kaca. ESP32 menerima data dari sensor. *Cloud* juga menyediakan akses jarak jauh sehingga pengguna dapat memantau kondisi rumah kaca dari mana saja selama terhubung

dengan internet. Modul AI yang digunakan adalah Gemini dengan pendekatan *prompt engineering*. Data sensor yang dikirim ke *Thingsboard* dan dilanjutkan ke Gemini dalam bentuk prompt, kemudian AI menghasilkan descriptive feedback berupa rekomendasi pengelolaan rumah kaca. Pengguna berinteraksi dengan sistem melalui antarmuka berbasis Preact dan PicoCSS. Antarmuka ini dirancang ringan, *mobile friendly*. Perlu diingat, pada penelitian ini akan difokuskan hanya untuk pembuatan antarmuka (*web* dan *embedded*) serta integrasi DSS menggunakan API dari Gemini AI.

3.3 Tata Cara Implementasi Solusi

Tata cara implementasi solusi pada penelitian ini dirancang mengikuti kerangka metodologi Agile yang dikombinasikan dengan prinsip *User Centered Design*. Kedua pendekatan ini dipilih karena mampu menghasilkan sistem yang adaptif terhadap perubahan kebutuhan pengguna serta memungkinkan proses pengembangan dilakukan secara berulang dan berfokus pada pengalaman pengguna. *Agile* memberikan fleksibilitas dalam pengembangan sistem melalui tahapan develop yang singkat dan berulang, sementara UCD memastikan bahwa setiap keputusan desain berorientasi pada kebutuhan serta umpan balik dari pengguna inilah yang menjadikan proses penelitian tidak bersifat linier, tapi berulang hingga tercapai solusi optimal.

3.3.1 Tahap Perencanaan

Tahapan awal penelitian dimulai dengan perencanaan, yang mencakup perumusan masalah, studi literatur, dan analisis kebutuhan pengguna. Pada tahap ini, permasalahan utama yang dihadapi oleh pengguna, yaitu petani, diidentifikasi secara mendalam agar solusi yang dikembangkan benar benar menjawab kebutuhan di lapangan. Studi literatur dilakukan untuk meninjau teori, penelitian terdahulu, serta praktik terbaik dalam penerapan metode *Agile*, UCD, sistem *Decision Support System*, dan kecerdasan buatan di bidang pertanian. Setelah itu, dilakukan analisis kebutuhan pengguna dengan metode wawancara dan observasi langsung untuk menggali kebutuhan fungsional dan non fungsional sistem. Hasil dari tahap perencanaan ini berupa kebutuhan pengguna, list fitur awal, serta rencana pengembangan pertama.

3.3.2 Tahap Perancangan

Setelah kebutuhan sistem terdefinisi dengan jelas, proses berlanjut pada tahap perancangan. Dalam tahap ini, pendekatan UCD diterapkan untuk memastikan bahwa desain antarmuka dan alur sistem sesuai dengan kebutuhan dan kemampuan pengguna. Petani dilibatkan secara aktif dalam proses *review design* untuk memberikan umpan balik terhadap rancangan awal. Desain antarmuka dikembangkan menggunakan Preact sebagai *framework front end* yang ringan dan modular, serta PicoCSS untuk menghasilkan tampilan yang responsif, sederhana, dan mudah dipahami. Hasil rancangan awal berupa *low fidelity prototype* kemudian dikembangkan menjadi *high fidelity prototype*, yang selanjutnya diuji secara langsung oleh pengguna untuk mengidentifikasi potensi masalah sebelum sistem diimplementasikan secara penuh.

3.3.3 Tahap Implementasi Sistem

Tahapan berikutnya adalah implementasi sistem, penerapan *Decision Support System* berbasis AI dilakukan dengan menggunakan Gemini AI, yang berfungsi sebagai model kecerdasan buatan dalam menghasilkan rekomendasi berdasarkan data yang dikirimkan. Integrasi antara modul sensor dan sistem DSS dilakukan melalui API yang menjamin aliran data berlangsung stabil dan efisien. Setiap modul diuji melalui *unit testing* dan *integration testing* di akhir setiap *cycle*, sesuai dengan prinsip iteratif Agile yang menekankan pengujian berkelanjutan.

3.3.4 Tahap Pengujian dan Evaluasi

Setelah sistem berhasil diimplementasikan, dilakukan tahap pengujian dan evaluasi untuk memastikan bahwa solusi yang dikembangkan berfungsi sesuai dengan kebutuhan pengguna. Pengujian dilakukan dalam dua bentuk utama. Pertama, evaluasi rekomendasi DSS dilaksanakan dengan membandingkan hasil rekomendasi Gemini AI terhadap rekomendasi yang diberikan oleh petani, guna menilai keandalan sistem dalam memberikan keputusan yang tepat. Kedua, *user testing* dilakukan oleh petani menggunakan instrumen *System Usability Scale* untuk menilai tingkat kemudahan penggunaan, konsistensi, dan kepuasan terhadap sistem.

Penelitian ini memanfaatkan pendekatan *prompt engineering* dengan contoh data seperti berikut.

Tabel 2. Contoh data

Data Sumber Listrik			Data Beban (Spesifikasi)			Data Sistem & Konteks			Data Pengukuran	
Variabel	Frekuensi	Tegangan	Jenis Beban	Merk	Daya Spesifikasi	Jenis Tanaman	Usia Tanaman	Metode Pengairan	Input Tambahan	Daya
Value	58 Hz	280 Volt	Pompa Listrik	Shimizu	300 Watt	Tomat	3 Bulan setelah tanam	Sistem Tetes	Pupuk A B Mix	380 Watt

Contoh data diatas akan diformat ke dalam bentuk teks, seperti: **“Saya membaca power sensor di rumah kaca saya menunjukan angka 58 hertz 280 volt. Saya menyalakan beban sebuah pompa listrik bermerek shimizu 300 watt untuk menyiram tanaman tomat yang berumur 3 bulan setelah tanam. Sistem pengairan menggunakan sistem tetes dengan pupuk A B Mix. Power sensor juga menunjukan nilai beban sebesar 380 watt ketika pompa dinyalakan. Buatlah saya analisis kesehatan sumber listrik dan kesehatan instrumen dan instalasi pengairan saya, serta tindakan apa yang harus dilakukan”**. Prompt tersebut dikirim ke Gemini AI melalui API, lalu Gemini memberikan feedback dalam format bahasa sehari-hari, seperti rekomendasi untuk mematikan pompa air karena tegangan yang tidak normal. Hasil ini kemudian dikirim kembali ke antarmuka agar dapat dibaca oleh pengguna secara *real time*.

3.3.5 Tahap Revisi dan Deploy

Apabila hasil evaluasi menunjukkan adanya kelemahan atau fitur yang belum optimal, maka dilakukan tahap revisi. Pada tahap ini, *developer* memperbaiki kekurangan berdasarkan hasil pengujian sebelumnya dan melakukan iterasi ulang sesuai prinsip *continuous improvement* dalam *Agile*. Setelah sistem mencapai kinerja dan tingkat *usability* yang diinginkan, dilakukan proses deployment ke lingkungan operasional. Tahapan ini diakhiri dengan penyusunan laporan penelitian, dokumentasi teknis, serta publikasi hasil pengembangan.

3.4 Tata Cara Evaluasi dan Validasi Solusi

Evaluasi dan validasi solusi bertujuan untuk memastikan bahwa sistem rumah kaca menggunakan antarmuka Preact dan PicoCSS yang terintegrasi dengan Gemini AI benar benar sesuai dengan kebutuhan pengguna dan mampu menjawab permasalahan penelitian. Proses ini dilakukan melalui tiga tahap utama, yaitu pengujian teknis sistem, pengujian kegunaan antarmuka, serta validasi fungsi deskriptif yang dihasilkan oleh Gemini AI.

1. Sistem diuji dengan mengakses antarmuka melalui layanan *cloud* untuk memastikan kelancaran integrasi API, serta layanan Gemini AI. Parameter yang diuji meliputi kecepatan respon antarmuka, ketersediaan sistem (*uptime*), konsistensi data sensor yang diterima dan ditampilkan, serta keberhasilan mengakses API dari Gemini AI. Seluruh hasil evaluasi teknis dicatat dalam bentuk log, mencakup *response time*, tingkat ketersediaan sistem, serta tingkat kegagalan atau error yang muncul. Aspek *uptime* dianalisis dengan menghitung persentase total waktu aktif dibandingkan dengan total waktu pengamatan. Sebagai contoh, jika sistem berhasil beroperasi selama 90 jam dari total 100 jam pengamatan, maka *uptime* tercatat sebesar 90%. Standar keberhasilan ditetapkan pada minimal 96%, dengan mempertimbangkan bahwa dalam sistem IoT pertanian modern, kebutuhan reliabilitas dan ketersediaan layanan sangat penting agar data dan rekomendasi AI tetap dapat diakses terus menerus oleh pengguna [22].
2. Pengujian *usability testing* yang berfokus pada *user experience*. Pengujian ini melibatkan sepuluh petani hortikultura skala kecil sebagai responden yang mewakili target pengguna sistem. Pemilihan jumlah tersebut didasarkan pada praktik umum penelitian *usability*, di mana melibatkan 10 peserta sudah dianggap memadai untuk mengidentifikasi sebagian besar masalah kegunaan, khususnya dalam konteks pengujian awal. Studi dalam bidang pertanian juga menunjukkan bahwa jumlah responden sekitar 10 orang cukup representatif untuk menggali kebutuhan, preferensi, dan kendala pengguna pada sistem berbasis digital [23], [24]. Para responden dalam penelitian ini diminta melaksanakan skenario penggunaan yang menyerupai kondisi nyata, seperti memantau data sensor melalui *dashboard*, menelusuri riwayat data dalam bentuk grafik, serta membaca rekomendasi yang dihasilkan Gemini AI. Aspek kegunaan dinilai secara

kuantitatif menggunakan *System Usability Scale (SUS)*, sementara pertanyaan terbuka dalam kuesioner dipakai untuk memperoleh masukan kualitatif terkait desain, kemudahan navigasi, serta kendala yang dialami pengguna. Untuk memastikan keberhasilan sistem, setiap indikator kinerja dievaluasi menggunakan rumus perhitungan yang jelas dan terukur. Aspek kegunaan antarmuka dinilai dengan instrumen *System Usability Scale*. SUS terdiri atas sepuluh butir pertanyaan dengan skala Likert seperti berikut:

Tabel 3. Detail skala penelitian

Nilai	Deskripsi
1	Sangat tidak setuju
2	Tidak setuju
3	Netral
4	Setuju
5	Sangat setuju

Skor SUS diperoleh dengan menjumlahkan nilai dari masing-masing pernyataan sesuai aturan konversi, kemudian dikalikan dengan 2.5 untuk menghasilkan skor akhir antara 0 - 100. Interpretasi skor SUS dibagi menjadi beberapa kategori seperti ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Threshold nilai SUS

Nilai	Deskripsi
< 51	<i>Poor</i> (tidak dapat diterima)
51 – 70	<i>Acceptable</i>
≥ 70	<i>Good – Excelent</i> (baik hingga sangat baik)

Nilai threshold skor SUS ≥ 70 digunakan sebagai batas minimal untuk menandakan bahwa sistem telah memiliki tingkat usability yang dapat diterima secara internasional [25], [26]. Skor di bawah nilai tersebut mengindikasikan perlunya perbaikan pada aspek desain antarmuka atau alur interaksi pengguna. Threshold skor SUS ditetapkan ≥ 70 karena standar *usability* internasional menyebut skor tersebut sebagai minimal dalam kategori *acceptable usability* [27]. Adapun daftar pertanyaan SUS yang digunakan dalam penelitian ini ditampilkan pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Daftar pertanyaan SUS

No	Pertanyaan
1	Saya berpikir akan menggunakan sistem ini lagi
2	Saya merasa sistem ini rumit untuk digunakan
3	Saya merasa sistem ini mudah digunakan
4	Saya membutuhkan bantuan dari orang lain atau teknisi dalam menggunakan sistem ini
5	Saya merasa fitur-fitur sistem ini berjalan dengan semestinya
6	Saya merasa ada banyak hal yang tidak konsisten
7	Saya merasa orang lain akan memahami cara menggunakan sistem ini dengan cepat
8	Saya merasa sistem ini membingungkan
9	Saya merasa tidak ada hambatan dalam menggunakan sistem ini
10	Saya perlu membiasakan diri terlebih dahulu sebelum menggunakan sistem ini

3. Tahap ketiga adalah validasi fungsi deskriptif Gemini AI. Pada tahap ini, rekomendasi yang dihasilkan AI akan dibandingkan dengan standar teknis budidaya hortikultura. Validasi tidak hanya dilakukan pada aspek ketepatan teknis, tetapi juga menekankan keterbacaan, kejelasan bahasa, serta kebermanfaatan rekomendasi dalam praktik lapangan. Petani sebagai pengguna akhir dilibatkan secara aktif untuk menilai sejauh mana keluaran AI dapat dipahami dan benar-benar membantu dalam pengambilan keputusan. Dengan demikian, evaluasi tidak berhenti pada kecerdasan sistem, tetapi juga mempertimbangkan nilai praktisnya bagi keberlangsungan usaha hortikultura. Aspek keberhasilan integrasi AI dihitung dengan metode persentase, yaitu membandingkan jumlah keluaran yang relevan dengan total pengujian. Misalnya, jika dilakukan sepuluh kali pengujian dan delapan diantaranya menghasilkan rekomendasi yang relevan serta mudah dipahami, maka tingkat keberhasilan integrasi AI adalah $\frac{8}{10} \times 100\% = 80\%$. Untuk keberhasilan integrasi AI, ditetapkan minimal = 90% akurasi mengacu pada studi pertanian terkini yang menggunakan angka 90% sebagai batas minimal [28].

Hasil dari ketiga tahap tersebut dianalisis dengan pendekatan kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif mencakup hasil uji teknis dan skor *usability testing*, seperti *response time*, *uptime*, dan tingkat keberhasilan integrasi AI. Data ini

disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar mudah dipahami. Sementara itu, data kualitatif berupa *feedback* dan pengalaman responden dianalisis untuk menemukan pola kelemahan sistem, aspek antarmuka yang perlu diperbaiki, serta peluang pengembangan fitur baru. Melalui ketiga indikator ini, evaluasi sistem dilakukan secara terukur dan transparan. Pendekatan kuantitatif pada SUS, integrasi AI, dan uptime memungkinkan peneliti menilai kinerja sistem tidak hanya dari persepsi pengguna, tetapi juga dari aspek teknis dan fungsional. Dengan demikian, hasil evaluasi dapat memberikan dasar yang kuat untuk menilai kesesuaian solusi terhadap permasalahan penelitian dan memastikan kontribusinya dalam mendukung pengelolaan rumah kaca hortikultura skala kecil berbasis teknologi informasi dan kecerdasan buatan.