

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Pertanian merupakan sektor fundamental yang tidak hanya menyediakan kebutuhan pangan bagi masyarakat, tetapi juga berperan strategis dalam mendukung pembangunan ekonomi nasional (Nurani, dkk., 2025). Ruang lingkup pertanian mencakup kegiatan budidaya tanaman pangan, hortikultura, perkebunan, peternakan, perikanan, dan kehutanan. Dalam perekonomian Indonesia, sektor pertanian memegang peranan penting karena menyerap tenaga kerja dalam jumlah besar, khususnya pada subsektor tanaman pangan yang mencapai 14,97 juta orang atau sekitar 39% dari total tenaga kerja di bidang pertanian. Pemerintah menunjukkan komitmen terhadap isu ketahanan pangan melalui Undang-Undang Nomor 18 Tahun 2012 tentang Pangan, yang sejalan dengan tujuan *Sustainable Development Goals* (SDGs) untuk mengakhiri kelaparan, mencapai ketahanan pangan, meningkatkan gizi, serta mendukung pertanian berkelanjutan. Namun, permintaan pangan domestik yang terus meningkat belum diimbangi dengan kapasitas produksi yang memadai. Hal ini menyebabkan ketergantungan pada impor, seperti beras yang pada tahun 2023 diimpor sebanyak 3,06 juta ton (BPS, 2023). Secara teknis, peningkatan kapasitas produksi pangan dapat dilakukan melalui dua cara, yaitu peningkatan produktivitas dan perluasan lahan tanam. Namun, luas lahan pertanian di Indonesia terus berkurang akibat alih fungsi menjadi kawasan industri dan permukiman, terutama di daerah perkotaan (Harianto, 2022). Dengan demikian, peningkatan produktivitas menjadi solusi utama untuk menjaga ketahanan pangan.

Salah satu tantangan terbesar dalam sektor pertanian adalah ketersediaan air irigasi yang semakin terbatas akibat pertumbuhan populasi dan perubahan iklim global yang menyebabkan distribusi curah hujan tidak menentu (BPS Indonesia, 2025). Ketidakseimbangan antara pasokan dan kebutuhan air mengharuskan penerapan metode irigasi yang efisien. Beberapa upaya adaptasi yang dapat dilakukan meliputi pengaturan distribusi air, penggunaan varietas tanaman hemat air, penerapan sistem irigasi tetes (*drip irrigation*), serta pemanfaatan embung (BPS, 2023). Pada banyak daerah, petani masih melakukan penyiraman secara manual dan tradisional dengan mengandalkan pengalaman pribadi. Metode ini sering kali tidak presisi dan mengakibatkan pemborosan air, energi, dan waktu (Anggarda, dkk., 2023). Kondisi tersebut berujung pada pemborosan sumber daya, peningkatan biaya operasional, serta penurunan kualitas dan produktivitas hasil pertanian. Kendala mobilitas juga menjadi masalah, terutama bagi petani yang mengelola lahan luas atau sulit dijangkau.

Perkembangan teknologi, khususnya *Internet of Things* (IoT), membuka peluang besar untuk otomatisasi dalam pertanian. IoT adalah teknologi yang memungkinkan perangkat saling terhubung melalui jaringan internet (Sari, dkk., 2024). Rai, dkk. (2024) menerapkan IoT pada sistem hidroponik budidaya tanaman tomat untuk memantau kelembapan lingkungan, pH, dan konsentrasi gas. Pada p

ino dan modul Wi-Fi GSM ESP8266 sebagai



mikrokontroler. Hal serupa dilakukan oleh Chandana dkk. (2024) pada sistem irigasi pintar berbasis IoT, yaitu menggunakan sensor capacitive V2.0, DHT11, dan DS18B20 dengan mikrokontroler ESP32 serta modul Wi-Fi ESP8266 untuk mengirim data ke platform IoT.

Pengolahan data yang dihasilkan oleh sistem IoT dapat dilakukan dengan menggunakan teknik *Artificial Intelligence* (AI) seperti *Deep Learning* (DL) dan *machine learning* (ML) untuk memprediksi, memantau, dan mengambil keputusan secara otomatis (Cordeiro, dkk., 2022). Penggunaan AI dalam pertanian terbukti mampu meningkatkan efisiensi produksi, mempertahankan kualitas tanaman, dan mengurangi biaya (Bourechak, dkk., 2023). Sebagai contoh, penelitian Shukla, dkk. (2023) menunjukkan bahwa sistem *Artificial Intelligence of Things* (AIoT) dapat mengoptimalkan penggunaan sumber daya dan meningkatkan hasil panen (Shukla, dkk., 2023). Basri (2022), juga menerapkan sistem serupa pada pembibitan pala di Kabupaten Fakfak menggunakan algoritma *Support Vector Machine* (SVM) serta sensor kelembapan tanah dan suhu, sehingga proses pemantauan menjadi lebih efisien (Basri, 2022). Hal serupa dilakukan oleh Chourlias, dkk., (2025) yang menggunakan sensor *capacitive soil moisture*, sensor *rain detection*, sensor LTR390UV, dan DHT22. Penelitian tersebut, membandingkan beberapa algoritma ML untuk melatih model di antaranya *Linear Regression*, *Support Vector Regression* (SVR), *Bootsrap Aggregating*, *Boosting*, *Feedforward Neural Network* (FNN), *Time Serial Neural Network* (TSFNN). Hasil perbandingannya menunjukkan model LGBM, XGB, LR, SVM, dan RF memberikan hasil yang sangat akurat (Chourlias, dkk., 2025). Namun, beberapa penelitian sebelumnya masih memiliki kekurangan, salah satunya adalah jenis sensor yang digunakan memiliki rentang pengukuran yang sempit dan sensitivitas yang relatif rendah.

Commented [RA1]: Penulisan referensi

Berdasarkan hasil penelitian terdahulu, penelitian ini mengusulkan pengembangan sistem irigasi tetes cerdas berbasis IoT dan ML yang mampu memantau data sensor secara *real-time* dan menentukan waktu penyiraman optimal. Sensor yang dipakai berupa sensor YL-69 (kelembapan tanah), sensor DHT22 (suhu lingkungan), sensor JSN-SR04 (ketinggian air) dan untuk *machine learning* digunakan algoritma *Random Forest*. Perangkat keras yang digunakan adalah ESP32 karena memiliki kemampuan pemrosesan data yang baik serta modul Wi-Fi bawaan, sehingga lebih efisien dibanding Arduino Uno atau ESP8266 (Saputra & Suryono, 2025). Dengan fitur ini, sistem dapat dioperasikan jarak jauh dan terhubung ke *smartphone* untuk memudahkan pemantauan (Andrian, dkk., 2024).

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Merancang dan membuat sistem irigasi yang menggunakan parameter kelembapan tanah dan suhu udara.
2. Menerapkan dan mengintegrasikan model ML untuk waktu penyiraman tanaman berdasarkan parameter sensor kelembapan tanah dan suhu udara.
3. Membuat antarmuka pengguna untuk memantau data secara *real-time* dan



Optimized using
trial version
www.balesio.com

4. Menguji dan menganalisis sistem irigasi berbasis ML dan IoT.

1.3 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut:

1. Memberikan solusi sistematis untuk memudahkan petani dalam mengelola irigasi dengan memanfaatkan parameter kelembapan tanah dan suhu lingkungan, sehingga tanaman mendapatkan pasokan air pada waktu yang tepat.
2. Sistem ini diharapkan mampu memitigasi *water stress* akibat perubahan iklim dan dapat dikembangkan untuk berbagai jenis tanaman ataupun skala lahan.
3. Mengurangi ketergantungan pada tenaga kerja manual.



BAB II

METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu

Penelitian ini dilaksanakan sejak Mei hingga November 2025 dengan cakupan dua lokasi utama. Proses kalibrasi sensor dilakukan di Laboratorium Elektronika dan Instrumentasi, Departemen Fisika, FMIPA, Universitas Hasanuddin, Makassar, guna memastikan akurasi dan kestabilan instrumen. Selanjutnya, sistem diimplementasikan dan diuji langsung di Desa Rantela'bi', Kec. Sanggala' Utara, Kab. Tana Toraja.

2.2 Peralatan Penelitian

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut

1. Board ESP32 (30 Pin), berfungsi sebagai mikrokontroler untuk menerima dan mengirim data sensor ke laptop melalui koneksi Wi-Fi.
2. Sensor YL-69, mengukur kelembapan tanah.
3. Sensor DHT22, berfungsi untuk mengukur suhu udara di sekitar tanaman.
4. Sensor JSN-SR04T, untuk mengukur ketinggian air pada tandon.
5. Modul relay 2 *channel*, memutuskan dan menyambungkan daya ke pompa.
6. Pompa air WP-104, memompa air ke dalam wadah dan mendistribusikannya ke lahan pertanian.
7. Laptop, berfungsi menjalannya Arduino IDE dan pemrosesan data.
8. Kabel *jumper*, berfungsi menghubungkan komponen elektronik seperti sensor ke mikrokontroler.
9. *Power bank*, sebagai sumber daya untuk mikrokontroler
10. Selang, menyalurkan air dari tandon ke lahan.
11. *Emitter*, digunakan untuk mengatur laju tetesan air.
12. *Soil tester 3 in 1*, sebagai pembanding akurasi sensor YL-69.
13. Meteran, membandingkan hasil pengukuran jarak dengan pembacaan sensor JSN-SR04T.
14. *Thermohyrometer* HTC-1, membandingkan pembacaan sensor DHT22
15. Lampu pijar 100W, sumber panas untuk meningkatkan suhu lingkungan.
16. *Dimmer*, mengatur tegangan pada lampu pijar.
17. Es kristal, berfungsi untuk menurunkan suhu lingkungan.
18. *Boks container* dan *styrofoam*, sebagai wadah pengujian sensor DHT22.
19. Catu daya, sumber daya untuk lampu pijar.
20. *Polibag* dan tanah, media tanam untuk uji pertumbuhan tanaman.
21. Tandon air, berkapasitas 90 L untuk menampung air.

2.3 Metode Kerja

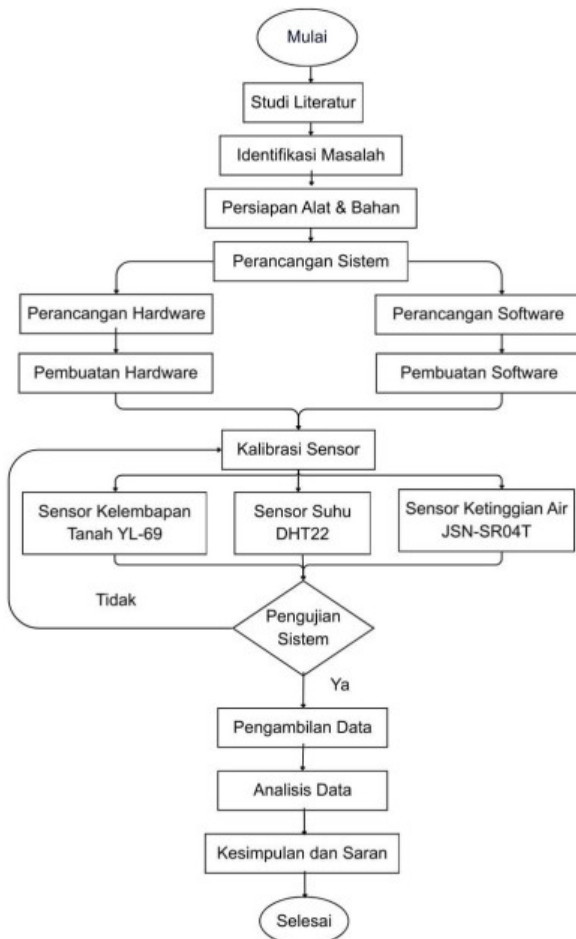
Dalam penelitian ini terdapat beberapa tahapan. Tahapan penelitian dimulai dengan studi literatur untuk mencari referensi terkait sistem irigasi berbasis IoT dan ML. Dilakukan perumusan masalah dan tujuan penelitian berdasarkan analisis literatur. Tahap selanjutnya adalah mempersiapkan alat dan bahan yang digunakan selama



penelitian. Setelah itu, dilakukan perancangan dan pembuatan sistem untuk irigasi tetes cerdas. Perancangan sistem mencakup komponen perangkat keras seperti sensor, mikrokontroler, dan aktuator, sedangkan perangkat lunak berupa algoritma ML dan antarmuka pengguna. Selanjutnya sensor dikalibrasi agar memastikan pembacaan akurat. Kemudian dilakukan pengujian sistem, yang meliputi implementasi algoritma ML dan pemantauan kinerja sistem. Setelah sistem berjalan dengan baik, maka dilakukan pengambilan dan analisis data yang diperoleh. Tahapan penelitian secara umum ditunjukkan pada Gambar 1.



Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 1. Bagan alir penelitian.

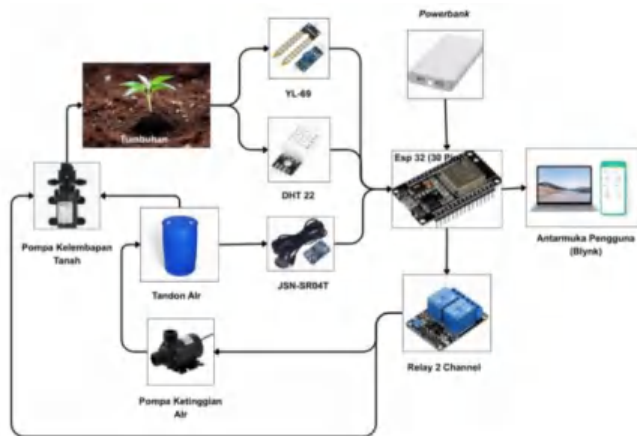
2.3.1 Perancangan *Hardware*

Penelitian ini dimulai dengan perancangan *hardware*. Komponen *hardware* meliputi laptop untuk pemrosesan algoritma, dan 3 sensor di antaranya sensor YL-69 untuk kelembapan tanah, dan DHT22 untuk mengukur suhu lingkungan, dan



Commented [RA2]: Konsisten penulisan kelembaban jadi kelembapan

terakhir sensor JSN-SR04T untuk mengukur ketinggian air pada tandon. Adapun diagram blok perangkat keras sistem irigasi tetes ditunjukkan pada Gambar 2.

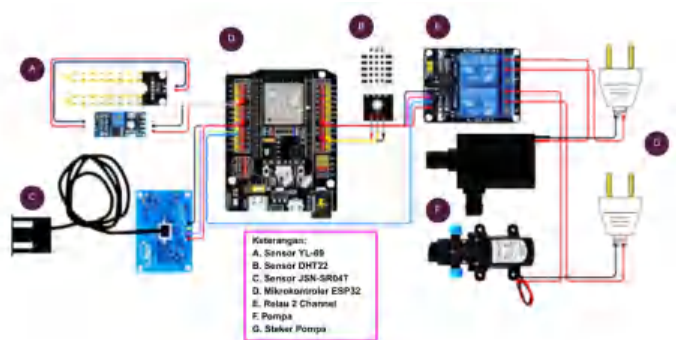


Gambar 2. Blok diagram rancangan sistem hardware.

Alur kerja sistem dimulai ketika ketiga sensor membaca nilai dan mengirimnya ke mikrokontroler. ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler dan pusat kendali utama yang memungkinkan pengiriman informasi ke laptop melalui konektivitas Wi-Fi. Sistem ini mendapat suplai daya dari *power bank* dengan tegangan 5 V. Modul *relay 2 channel* berfungsi sebagai saklar untuk mematikan dan menghidupkan dua pompa air secara otomatis berdasarkan instruksi dari ESP32. Sensor YL-69 akan mendeteksi kadar air dalam tanah atau kelembapan tanah dan sensor DHT22 memberikan data kondisi suhu lingkungan sebagai analisis tambahan untuk pengambilan keputusan penyiraman tanaman. Untuk memastikan ketersediaan air, maka sistem dilengkapi dengan sensor ketinggian air berbasis ultrasonik yang dipasang pada tandon air. Sensor ini akan mendeteksi ketinggian air dalam tandon dan menginformasikannya ke ESP32. Jika air berkurang sesuai ambang batas yang ditentukan maka pompa akan menyala. Skema rangkaian antar komponen *hardware* dapat dilihat pada Gambar 3.



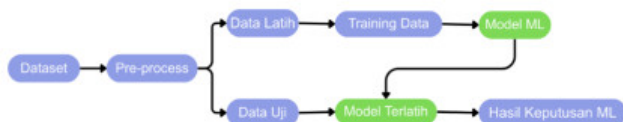
Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 3. Skema rangkaian sistem.

2.3.2 Perancangan Software

Pada perancangan perangkat lunak, terdapat 2 bagian utama: pelatihan ML dan antarmuka pengguna. Proses pelatihan model ML dimulai dengan pengambilan data sekunder sebagai *dataset* dari Kaggle dan melatihnya di Python. Kemudian *dataset* tersebut dilakukan *pre-processing* data seperti pembersihan data untuk menghapus data duplikat dan mengambil data berdasarkan kebutuhan. Setelah dilakukan *pre-processing* data, *dataset* kemudian dibagi menjadi data latih dan data validasi. Kemudian, dilakukan *training* data atau pelatihan model, di mana data latih akan dimasukkan ke dalam algoritma *machine learning*. Algoritma akan belajar menemukan pola antara *input* (kelembapan tanah dan suhu lingkungan) dengan *output* (keputusan pompa menyala/mati). Proses pelatihan model ML dapat dilihat pada Gambar 4



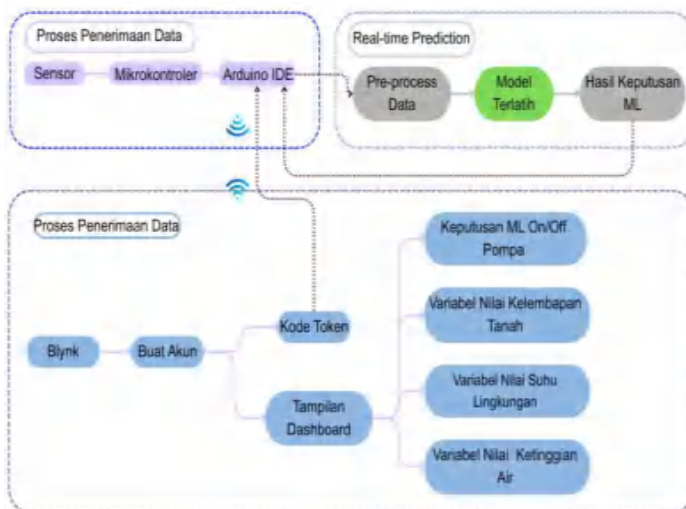
Gambar 4. Pelatihan model ML.

Algoritma yang digunakan adalah algoritma *Random Forest* (RF) karena memiliki kemampuan yang sangat baik dalam memproses data yang kompleks dan bersifat non-linear, serta efektif dalam meminimalkan potensi *overfitting*. RF beroperasi dengan membentuk sejumlah pohon keputusan (*decision trees*) selama tahap pelatihan, kemudian menggabungkan hasil prediksi dari setiap pohon untuk menghasilkan prediksi akhir yang lebih akurat dan konsisten. Dalam proses pelatihan, model ini mempelajari pola serta hubungan antara variabel independen (suhu, kelembapan tanah, dan status pompa) dengan variabel dependen (status pompa) (Inzaghi, dkk., 2025).



Setelah proses pelatihan selesai, maka didapatkan model terlatih, model ini akan digunakan untuk melakukan pengambilan keputusan secara *real-time* berdasarkan nilai *input*. Sebelum diaplikasikan, model terlatih terlebih dulu diuji menggunakan data validasi, tujuannya untuk mengetahui model dapat bekerja dengan baik pada data baru (*generalization*) dan memastikan akurasi. Kinerja model tersebut kemudian dinilai dengan menggunakan metrik evaluasi, seperti: akurasi, presisi, *recall*, dan *F1-Score* (Chandana, dkk., 2024).

Setelah model terlatih berhasil divalidasi, maka model siap digunakan untuk menentukan kapan pompa menyala atau mati berdasarkan *real-time prediction*. Proses pembuatan antarmuka pengguna dimulai dengan membuat akun Blynk untuk pemantauan *real-time*, kemudian membuat tampilan *dashboard* dan token untuk dimasukkan di Arduino IDE. Adapun rancangan *software* lebih rinci dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perancangan software.

2.4 Kalibrasi Sensor

2.4.1 Kalibrasi Sensor Kelembapan Tanah YL-69

Tahap kalibrasi sensor kelembapan tanah YL-69 dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan nilai analog sensor YL-69 dengan alat pembanding *Soil Tester 3 in 1*. *Soil tester 3 in 1* merupakan alat yang dapat digunakan untuk membaca tingkat suhu, pH, dan kelembapan tanah. Tahap awal kalibrasi dilakukan dengan cara memvariasikan kelembapan tanah, tanpa pengukuran volume air yang dituangkan p pengukuran kelembapan tanah menggunakan



sensor dan alat pembanding secara bersamaan dengan posisi berdekatan. Rentang pengukuran di ambil dari kelembapan 0% hingga 90%, karena ambang batas pengukuran alat pembanding maksimal 90%.

2.4.2 Kalibrasi Sensor Suhu Lingkungan DHT22

Tahap kalibrasi sensor DHT22 untuk melihat nilai suhu lingkungan dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan nilai analog dari sensor dengan pembacaan *hygrometer* HTC-1, yang dapat digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan lingkungan. Kalibrasi dilakukan dengan cara menempatkan sensor dan alat pembanding secara berdampingan di dalam wadah tertutup. Untuk memvariasikan suhu lingkungan dalam wadah, digunakan es kristal dan lampu pijar 100W. Kemudian hasil pembacaan sensor tersebut dibandingkan dengan *hygrometer*, dalam hal ini rentang suhu yang diukur mulai dari 15°C hingga 40°C.

2.4.3 Kalibrasi Sensor Ketinggian Air JSN-SR04T

Tahap kalibrasi sensor JSN-SR04T dilakukan dengan membandingkan pembacaan nilai sensor JSN-SR04T dengan meteran. Kalibrasi dilakukan dengan menempatkan sensor sejajar dengan pembanding pada ketinggian 90 cm pada tandon. Namun, sensor JSN-SR04T memiliki threshold 20 cm (Kumar, dkk., 2023), sehingga pengukuran dimulai dari jarak 70 cm hingga 0 cm ke target, dengan pengukuran setiap penurunan 0,5 cm. Kemudian hasil pembacaan jarak pada sensor dibandingkan dengan meteran.

Commented [RA3]: Spesifikasi alat pembanding sensor, di lampirkan di bagian lampiran kak menurut prof (lampiran 10)

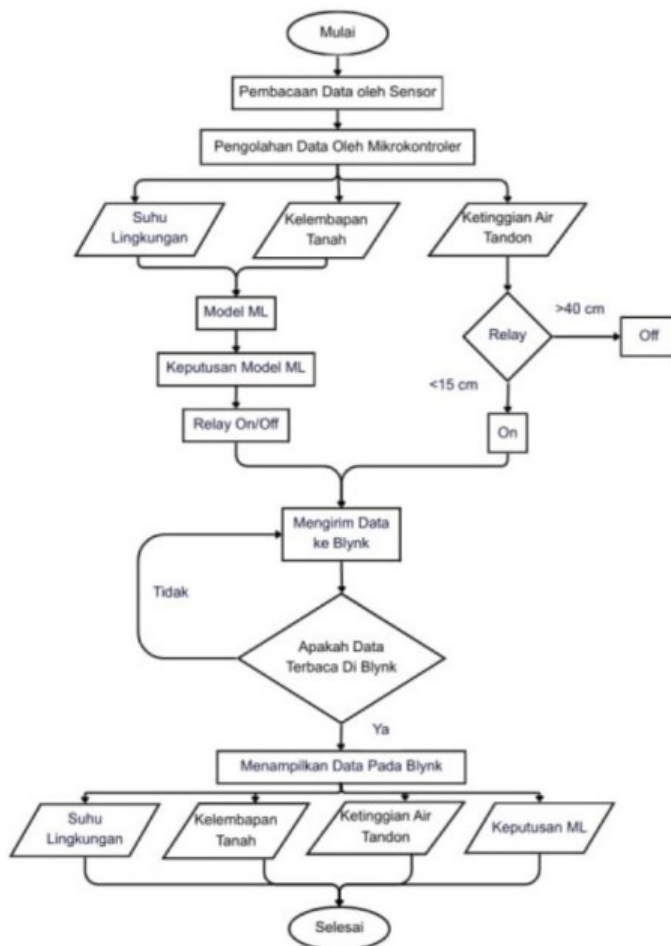
2.5 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan terhadap sistem yang telah dirangkai untuk memastikan seluruh komponen bekerja dengan optimal, baik pada implementasi hasil kalibrasi masing-masing sensor, nyala/mati pompa pada ketinggian air, maupun antarmuka Blynk. Pengujian respon pompa terhadap ketinggian air, didasarkan pada pembacaan sensor ketinggian air JSN-SR04T terhadap tandon air, yang dilakukan dengan menentukan ambang batas (nilai batas atas dan nilai batas bawah) untuk perintah nyala/mati pompa air. Kemudian, dilakukan pengujian monitoring pada aplikasi Blynk untuk menampilkan data secara *real-time*.

2.6 Bagan Alir Sistem Kerja Alat

Alur kerja sistem dimulai dari sensor membaca nilai kelembapan, suhu lingkungan, dan ketinggian air, yang kemudian diolah oleh mikrokontroler ESP32. Kemudian algoritma ML akan mengambil keputusan untuk menyalakan/mematikan *relay* pompa 1, berdasarkan hasil pembacaan sensor kelembapan tanah dan suhu lingkungan secara *real-time*. Ketika sensor ketinggian air membaca ketinggian air dibawah 15 cm, maka pompa untuk ketinggian air akan nyala dan jika sensor membaca ketinggian di atas 40 cm maka pompa akan mati. Data ketiga sensor dan hasil keputusan algoritma ML akan ditampilkan pada aplikasi Blynk secara *real-time*. Alur kerja sistem secara keseluruhan ditunjukkan pada Gambar 6.





Gambar 6. Bagan alir sistem kerja alat.

