

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

A. Kajian Teoritis

1. Sistem Irigasi

Sistem irigasi merupakan salah satu sarana penting dalam kegiatan pertanian, khususnya pada lahan persawahan yang membutuhkan pasokan air secara berkelanjutan. Ketersediaan air yang memadai sangat berpengaruh terhadap pertumbuhan dan perkembangan tanaman padi karena tanaman ini membutuhkan kondisi air yang cukup selama masa budidaya. Oleh karena itu, keberadaan jaringan irigasi yang baik menjadi faktor pendukung utama dalam menjaga ketersediaan air bagi lahan pertanian. Irigasi tidak hanya berfungsi sebagai penyedia air bagi tanaman, tetapi juga membantu proses pengolahan tanah, pemupukan, serta pengendalian gulma dan hama sehingga dapat mendukung peningkatan hasil produksi padi (Nurhaliza, 2025).

Pengaturan dan distribusi air yang efektif merupakan salah satu faktor penting dalam menentukan keberhasilan produksi pertanian. Distribusi air yang tidak merata dan pengelolaan irigasi yang kurang optimal dapat menyebabkan pemborosan sumber daya air, menurunkan efisiensi penggunaan air, serta berdampak pada produktivitas tanaman padi. Seiring meningkatnya kebutuhan pangan dan terbatasnya sumber daya air, pengelolaan irigasi yang efisien menjadi semakin penting untuk menjamin keberlanjutan produksi pertanian. Oleh karena itu, diperlukan

penerapan teknologi yang mampu mengoptimalkan penggunaan air melalui sistem pemantauan dan pengendalian yang lebih efektif sehingga kebutuhan air tanaman dapat terpenuhi tanpa terjadi pemborosan yang berlebihan.

Dalam pengembangan prototipe system irigasi ini memiliki beberapa komponen yang di gunakan untuk implementasi. Adapun komponen yang di gunakan dalam system irigasi ini sebagai berikut

a. Ketinggian Air

Ketinggian air pada lahan persawahan merupakan salah satu faktor penting yang menentukan keberhasilan budidaya padi karena tanaman ini sangat bergantung pada ketersediaan air pada fase-fase pertumbuhan tertentu. Pengelolaan tinggi muka air yang sesuai dapat membantu menjaga kondisi tanah tetap lembap, mendukung pembentukan anakan, serta mengurangi stres air pada tanaman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pengaturan tinggi muka air yang tepat dapat meningkatkan produktivitas padi; pada salah satu studi, perlakuan genangan sekitar 5 cm menghasilkan hasil gabah yang lebih baik dibandingkan perlakuan lain, sementara penelitian lain menemukan bahwa tinggi muka air tanah 5 cm di bawah permukaan tanah juga memberikan pertumbuhan yang lebih optimum pada beberapa varietas padi (Nasyiith et al., 2023).

Selain itu, perbedaan tinggi muka air dan kelembaban tanah di sawah juga berkaitan dengan produktivitas tanaman serta emisi gas

rumah kaca, sehingga pengelolaan air tidak hanya berpengaruh pada hasil panen tetapi juga pada efisiensi budidaya secara keseluruhan. Pada penelitian optimisasi pengelolaan air di lahan padi sawah, kombinasi tinggi muka air pada fase awal, vegetatif, tengah musim, dan akhir musim menunjukkan bahwa pengaturan yang lebih tepat mampu menghasilkan produktivitas yang tinggi dengan dampak lingkungan yang lebih rendah. Dengan demikian, pengendalian ketinggian air di persawahan menjadi aspek penting dalam mendukung pertumbuhan padi secara optimal sekaligus menjaga efisiensi penggunaan air.

b. Kelembapan Tanah

Kelembapan tanah pada tanaman padi sawah berperan besar dalam menunjang pertumbuhan dan produktivitas tanaman. Air yang tersimpan di dalam pori-pori tanah membantu proses penyerapan unsur hara, menjaga aktivitas fisiologis tanaman, serta mendukung pembentukan anakan dan malai. Pada budidaya padi sawah, kelembapan tanah tidak harus selalu berada pada kondisi tergenang, tetapi perlu disesuaikan dengan fase pertumbuhan tanaman. Penelitian menunjukkan bahwa kelembapan tanah optimum pada sistem budidaya padi dapat diatur secara bertahap, yaitu basah pada fase awal dan vegetatif, agak basah pada fase tengah musim, dan kering pada fase akhir musim, sehingga produksi dapat meningkat dan penggunaan air menjadi lebih efisien (Agus et al., 2020).

c. Kebutuhan Ketinggian Air pada Setiap Fase Pertumbuhan Tanaman Padi

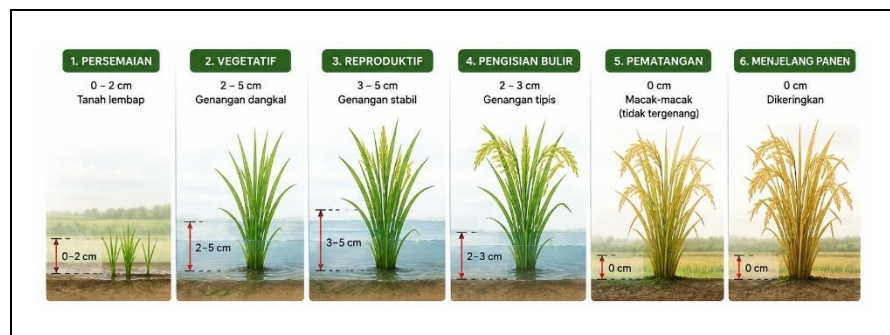
Ketersediaan air merupakan salah satu faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan dan produktivitas tanaman padi. Pengelolaan tinggi muka air yang sesuai pada setiap fase pertumbuhan mampu meningkatkan pembentukan anakan produktif, memperbaiki perkembangan akar, serta mengoptimalkan pembentukan malai dan pengisian bulir. Sebaliknya, pemberian air yang terlalu tinggi atau terlalu rendah pada fase tertentu dapat menyebabkan penurunan pertumbuhan maupun hasil panen. Oleh karena itu, pengaturan tinggengan perlu disesuaikan dengan kebutuhan fisiologis tanaman pada setiap fase pertumbuhan (Hidayah et al., 2019).

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa kebutuhan tinggi muka air berbeda pada setiap fase pertumbuhan tanaman padi (Santhiawan et al., 2019). Melaporkan bahwa pada metode System of Rice Intensification (SRI), tinggi muka air selama fase awal pertumbuhan (0–40 HST) dipertahankan sangat dangkal, yaitu sekitar 2 cm atau sedikit berada di bawah permukaan tanah. Kondisi tersebut terbukti mampu meningkatkan pembentukan anakan sehingga hasil panen meningkat sekitar 13% dibandingkan sistem penggenangan terus-menerus (Dwi et al., 2018).

Penerapkan kondisi macak-macam pada umur 1–40 HST, kemudian memberikan perlakuan penggenangan 0 cm, 5 cm, 10 cm,

dan 15 cm selama umur 41–75 HST. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggenangan 5 cm menghasilkan jumlah anakan steril paling rendah dan produktivitas gabah tertinggi dibandingkan perlakuan lainnya. Setelah umur 76 HST hingga panen, kondisi lahan kembali dipertahankan dalam keadaan macak-macak (Santosa et al., 2023).

Sementara itu, (Stevano et al., 2017) menguji beberapa tinggi genangan, yaitu 2 cm, 3 cm, 4 cm, dan 5 cm. Hasil penelitian menunjukkan bahwa tinggi genangan 4 cm memberikan pertumbuhan tanaman, jumlah anakan produktif, dan jumlah bulir yang lebih baik dibandingkan perlakuan lainnya pada varietas M70D.



Gambar 2. 1 Konsep ketinggian air pada setiap fase

Berdasarkan hasil sintesis beberapa penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa kebutuhan tinggi muka air pada setiap fase pertumbuhan tanaman padi tidak bersifat tetap, tetapi bergantung pada fase pertumbuhan serta metode budidaya yang diterapkan. Ringkasan kebutuhan tinggi muka air berdasarkan penelitian terdahulu disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 1 Sintesis Ketinggian Air Berdasarkan Beberapa Penelitian

No	Fase	Peneliti		
		(Dwi et al., 2018)	(Santosa et al., 2023)	(Stevano et al., 2017)
1	Adaptasi	± 2 cm	Macak-macak	2–5 cm (perlakuan)
2	Vegetatif	± 2 cm	Macak-macak	2–5 cm (perlakuan)
3	Reproduktif	Intermittent, sekitar permukaan tanah	5 cm terbaik	4 cm terbaik
4	Pematangan	-	Macak-macak	-

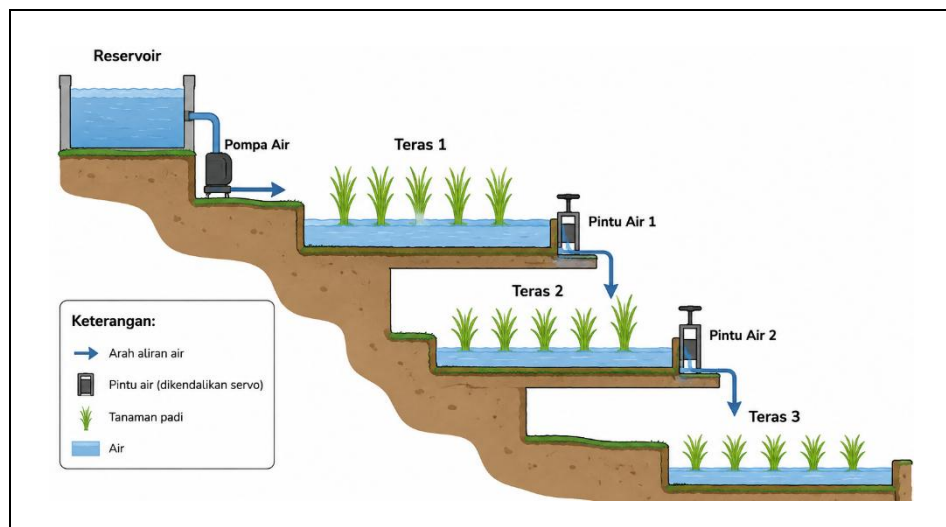
2. Persawahan Terasering

Persawahan terasering merupakan sistem budidaya padi yang diterapkan pada lahan berkontur miring atau berbukit dengan membentuk lahan menjadi beberapa tingkat (teras). Penerapan sistem ini bertujuan untuk mengurangi erosi, meningkatkan konservasi tanah dan air, serta mengoptimalkan pemanfaatan lahan pertanian. Setiap petak teras memiliki perbedaan elevasi yang memungkinkan air mengalir secara bertahap dari teras bagian atas menuju teras di bawahnya melalui saluran atau bukaan penghubung antarteras (Putu et al., 2021).

Meskipun memanfaatkan aliran gravitasi, pengelolaan air pada persawahan terasering memerlukan pengaturan yang baik agar distribusi air pada setiap petak tetap sesuai dengan kebutuhan tanaman. Apabila aliran air tidak dikendalikan, beberapa petak dapat mengalami kelebihan air, sedangkan petak lainnya belum memperoleh pasokan air yang mencukupi. Oleh karena itu, diperlukan sistem pengendalian distribusi air

yang mampu mengatur aliran secara bertingkat sehingga ketinggian air pada setiap teras dapat dipertahankan sesuai dengan kebutuhan tanaman padi (Tsuchiya et al., 2021).

Pengaturan distribusi air pada persawahan terasering umumnya dilakukan melalui pintu air yang dipasang pada saluran penghubung antarpetak. Pintu air berfungsi mengatur bukaan saluran sehingga aliran air dari teras bagian atas menuju teras di bawahnya dapat dikendalikan sesuai kebutuhan. Dengan pengaturan tersebut, tinggi muka air pada setiap petak sawah dapat dipertahankan sehingga risiko kelebihan maupun kekurangan air dapat dikurangi.



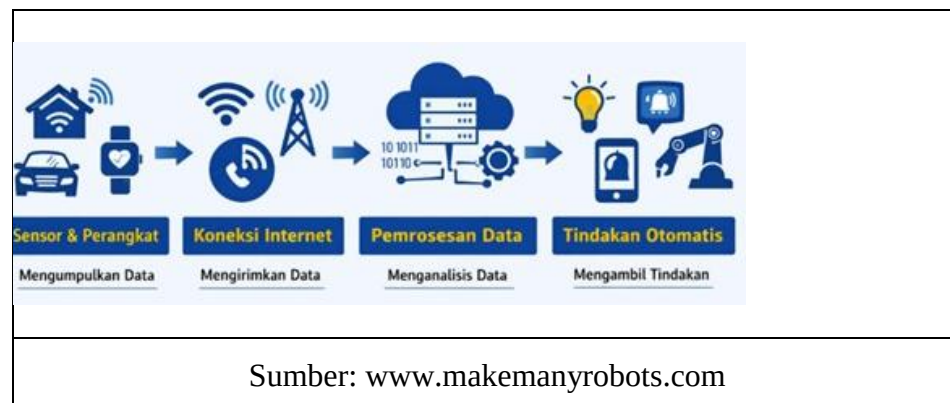
Gambar 2. 2 Konsep pengaliran air

Pada penelitian ini, mekanisme pengaturan aliran air diterapkan pada setiap saluran penghubung antar teras menggunakan pintu air yang digerakkan oleh motor servo. Bukaan pintu air dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32 berdasarkan hasil pembacaan sensor ketinggian air, sensor kelembapan tanah, dan fase pertumbuhan tanaman padi. Dengan

demikian, distribusi air dari satu teras ke teras berikutnya dapat berlangsung secara otomatis sesuai kebutuhan masing-masing petak persawahan.

3. Internet of Things (IoT)

Melalui jaringan internet, berbagai perangkat fisik dapat saling terhubung untuk secara otomatis mengumpulkan, bertukar, serta mengolah data tanpa adanya intervensi langsung dari manusia, yang merupakan inti dari konsep Internet of Things (IoT). Umumnya, tiga komponen utama membentuk sistem IoT, yaitu sensor yang berperan mengumpulkan data, mikrokontroler yang bertugas mengolah data, dan jaringan komunikasi yang berfungsi sebagai media transmisi data. Kemampuan suatu sistem tidak terbatas pada pemantauan real-time saja ketika memanfaatkan teknologi ini, karena sistem tersebut juga dapat membuat keputusan dan menjalankan aksi otomatis sesuai kondisi yang tercatat. (Kumar, 2017).



Gambar 2. 3 Konsep *internet of things* (IoT)

Salah satu keunggulan utama Internet of Things (IoT) adalah kemampuannya dalam mendukung proses monitoring dan pengendalian

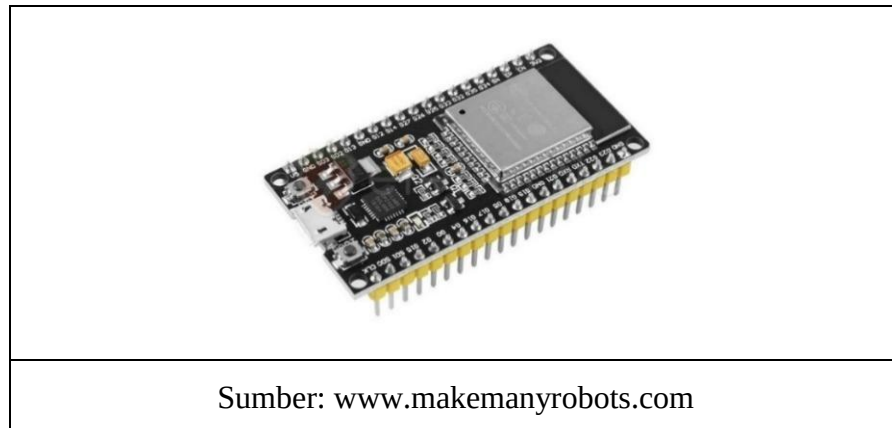
jarak jauh. Data yang diperoleh dari sensor dapat dikirimkan melalui jaringan internet menuju server atau platform cloud untuk diproses dan dianalisis, kemudian hasilnya ditampilkan kepada pengguna melalui aplikasi monitoring (Yudhanto & Azis, 2019). Selain itu, penerapan IoT memungkinkan sistem bekerja secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional serta mengurangi ketergantungan terhadap pengendalian manual.

Dalam sistem ini memiliki beberapa hardware dan software yang digunakan untuk kebutuhan membuat prototipe. Adapun hardware dan software yang digunakan dalam implementasi IoT sebagai berikut :

a. ESP32

ESP32 Devkit V1 merupakan papan pengembangan mikrokontroler yang banyak digunakan dalam aplikasi Internet of Things (IoT). Mikrokontroler ini telah dilengkapi dengan fitur Wi-Fi dan Bluetooth terintegrasi, sehingga mampu mendukung komunikasi data secara nirkabel. Selain memiliki performa yang baik dan konsumsi daya yang relatif rendah, ESP32 juga mendukung berbagai protokol komunikasi seperti UART, SPI, I2C, PWM, dan ADC, sehingga mudah diintegrasikan dengan berbagai sensor dan aktuator dalam sistem otomasi dan monitoring berbasis IoT (Cameron, 2023)

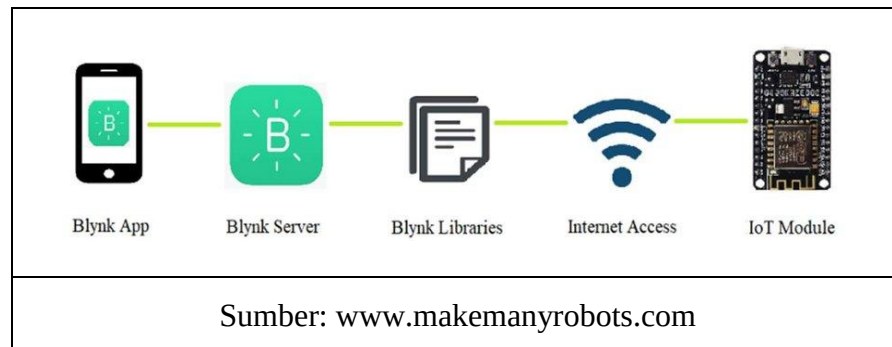
Adapun *hardware* ESP 32 dapat di lihat pada Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2. 4 ESP32

b. Blynk

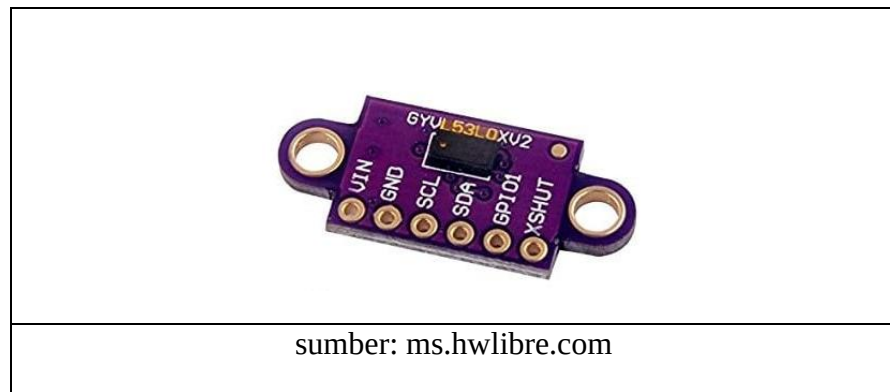
Sebagai platform Internet of Things (IoT), Blynk berfungsi untuk mengawasi serta mengendalikan perangkat elektronik secara daring melalui jaringan internet. Dengan menggunakan *smartphone*, pengguna dapat memanfaatkan antarmuka aplikasi yang tersedia di *platform* ini untuk mengamati data sensor secara *real-time* dan mengendalikan sistem dari lokasi yang berjauhan. Blynk dapat terhubung dengan berbagai mikrokontroler, seperti ESP32, melalui jaringan Wi-Fi sehingga memudahkan proses pengiriman dan visualisasi data. Dengan kemudahan penggunaan dan fitur monitoring yang lengkap, Blynk banyak digunakan dalam pengembangan sistem otomatisasi dan pemantauan berbasis IoT (Yudhanto & Azis, 2019).



Gambar 2. 5 Prinsip Kerja Blynk

c. VL53L0X

VL53L0X merupakan sensor pengukur jarak berbasis teknologi Time of Flight (ToF) yang dikembangkan oleh STMicroelectronics. Sensor ini bekerja dengan memancarkan sinar laser inframerah dan mengukur waktu yang dibutuhkan cahaya untuk dipantulkan kembali oleh objek sehingga jarak dapat dihitung dengan tingkat akurasi yang tinggi. Dibandingkan dengan sensor ultrasonik, VL53L0X memiliki ukuran yang lebih kecil, respons yang lebih cepat, serta lebih tahan terhadap gangguan lingkungan tertentu karena menggunakan sinar laser sebagai media pengukuran. Sensor ini mampu mengukur jarak hingga sekitar 2 meter dengan akurasi dalam satuan milimeter dan berkomunikasi dengan mikrokontroler melalui antarmuka Inter-Integrated Circuit (I2C), sehingga mudah diintegrasikan ke dalam berbagai sistem monitoring dan kontrol berbasis mikrokontroler (Da Costa & Tavares, 2025).



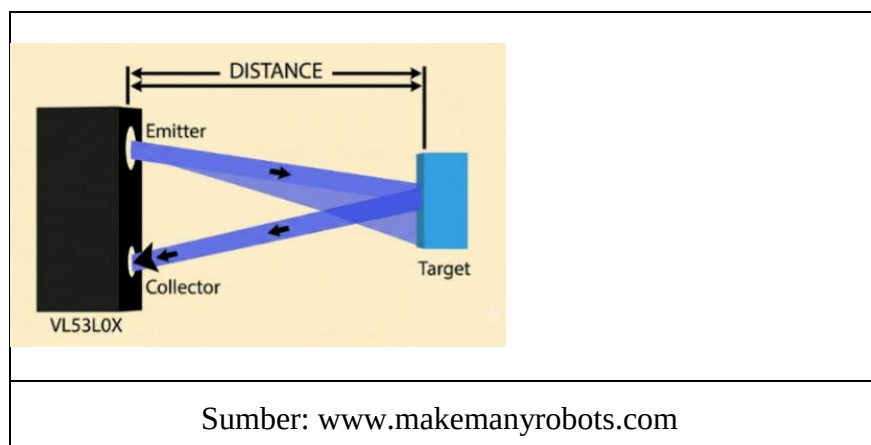
Gambar 2. 6 Sensor VL53L0X

Prinsip Pengukuran Ketinggian Air Menggunakan VL53L0X:

Tinggi air diperoleh dengan mengurangi tinggi wadah terhadap jarak yang terukur oleh sensor, sehingga dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\text{Tinggi Air} = \text{Tinggi Wadah} - \text{Jarak Sensor}$$

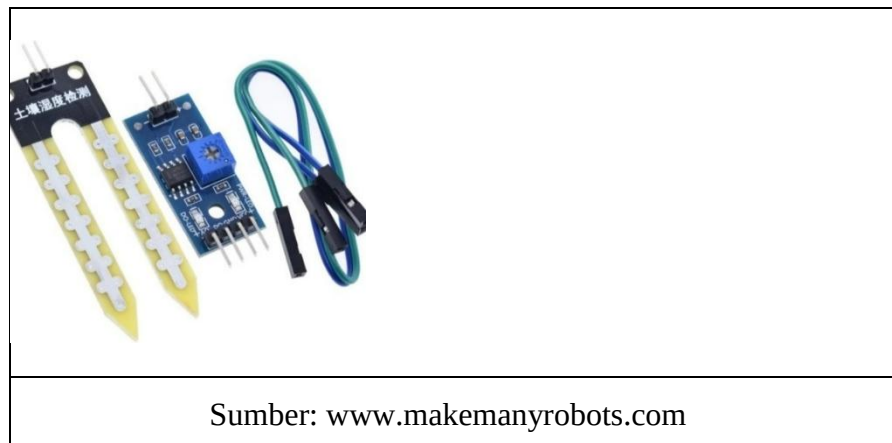
Dengan metode tersebut, perubahan ketinggian air pada setiap teras dapat dipantau secara kontinu dan ditampilkan pada platform monitoring secara real-time.



Gambar 2. 7 prinsip kerja sensor VL53L0X

d. Sensor Kelembaban Tanah (*Soil Moisture Sensor*)

Sensor kelembaban tanah (*Soil Moisture Sensor*) merupakan sensor yang digunakan untuk mengukur kadar air di dalam tanah. Sensor ini bekerja berdasarkan perubahan konduktivitas atau resistansi tanah yang dipengaruhi oleh kandungan air. Semakin tinggi kadar air dalam tanah, semakin besar nilai kelembaban yang terdeteksi oleh sensor. Sensor ini banyak digunakan pada sistem pertanian dan irigasi otomatis karena mampu memberikan informasi kondisi tanah secara real-time sehingga penggunaan air dapat dilakukan dengan lebih efisien (Gani, 2023).



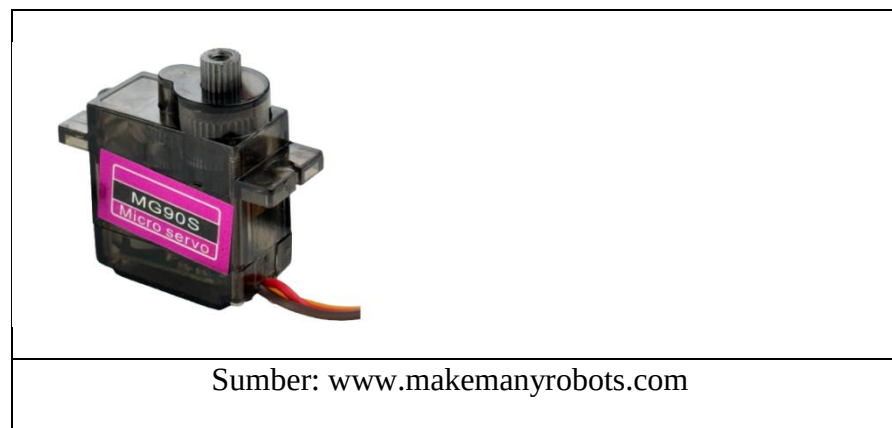
Gambar 2. 8 Sensor Kelembaban Tanah (*Soil Moisture Sensor*)

e. Motor Servo

Motor servo merupakan aktuator elektromekanik yang digunakan untuk menghasilkan gerakan sudut secara presisi berdasarkan sinyal kendali dari mikrokontroler. Servo bekerja menggunakan motor DC, rangkaian kontrol, dan sistem umpan balik (*feedback*) yang memungkinkan poros bergerak serta

mempertahankan posisi pada sudut tertentu melalui sinyal *Pulse Width Modulation* (PWM). Pada penelitian ini, motor servo digunakan sebagai penggerak pintu air untuk mengatur distribusi air antar tingkat persawahan terasering secara otomatis. Dua buah servo digunakan untuk mengendalikan aliran air antara teras pertama ke teras kedua dan dari teras kedua ke teras ketiga berdasarkan data ketinggian air dan kelembapan tanah yang diperoleh dari sensor. Penggunaan motor servo dipilih karena memiliki ukuran yang relatif kecil, konsumsi daya rendah, mudah diintegrasikan dengan ESP32, serta mampu mengatur bukaan pintu air dengan lebih akurat sehingga distribusi air dapat berlangsung secara otomatis dan efisien (Sihotang, 2024b).

Adapun hardware motor servo dapat di lihat pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2. 9 Motor Servo

f. *Water Pump* DC 5V

water pump DC merupakan perangkat elektromekanik yang digunakan untuk mengalirkan air dengan memanfaatkan sumber listrik arus searah (*Direct Current*). Pompa ini banyak digunakan pada sistem otomasi karena memiliki ukuran yang relatif kecil, konsumsi daya rendah, dan mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler. Dalam sistem irigasi otomatis, *water pump* DC berfungsi sebagai aktuator yang mengalirkan air dari reservoir ke lahan pertanian sesuai kebutuhan. Pengoperasiannya dikendalikan oleh mikrokontroler melalui relay sehingga pompa dapat bekerja secara otomatis berdasarkan kondisi ketinggian air atau kelembapan tanah yang terdeteksi oleh sensor (Nugrahanto, 2017).

Adapun hardware *water pump* dapat di lihat pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2. 10 *Water Pump* DC

g. Monitoring

Monitoring merupakan proses pengamatan, pengukuran, dan pengumpulan data terhadap suatu objek atau sistem secara

berkelanjutan untuk mengetahui kondisi yang sedang berlangsung. Tujuan utama monitoring adalah memperoleh informasi yang akurat sehingga perubahan kondisi dapat diketahui lebih cepat dan menjadi dasar dalam pengambilan keputusan. Dalam suatu sistem otomatis, proses monitoring dilakukan dengan memanfaatkan sensor yang mampu mendeteksi parameter tertentu, kemudian hasil pengukuran dikirim dan ditampilkan kepada pengguna secara *real-time* (Sachio et al., n.d.).

Pada perkembangan teknologi saat ini, proses monitoring banyak diintegrasikan dengan Internet of Things (IoT), sehingga data yang diperoleh dari sensor dapat diakses melalui jaringan internet tanpa dibatasi oleh jarak. Informasi yang ditampilkan secara *real-time* memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi sistem kapan saja dan di mana saja menggunakan perangkat seperti komputer maupun *smartphone*. Dengan demikian, penerapan sistem monitoring tidak hanya meningkatkan kemudahan dalam pengawasan, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan yang lebih cepat, tepat, dan efisien.

B. Kajian Empiris

Kajian empiris merupakan kajian yang dilakukan berdasarkan hasil penelitian terdahulu yang memiliki keterkaitan dengan topik penelitian. Kajian ini bertujuan untuk mengetahui perkembangan penelitian yang telah dilakukan sebelumnya, mengidentifikasi kelebihan dan kekurangan penelitian terdahulu,

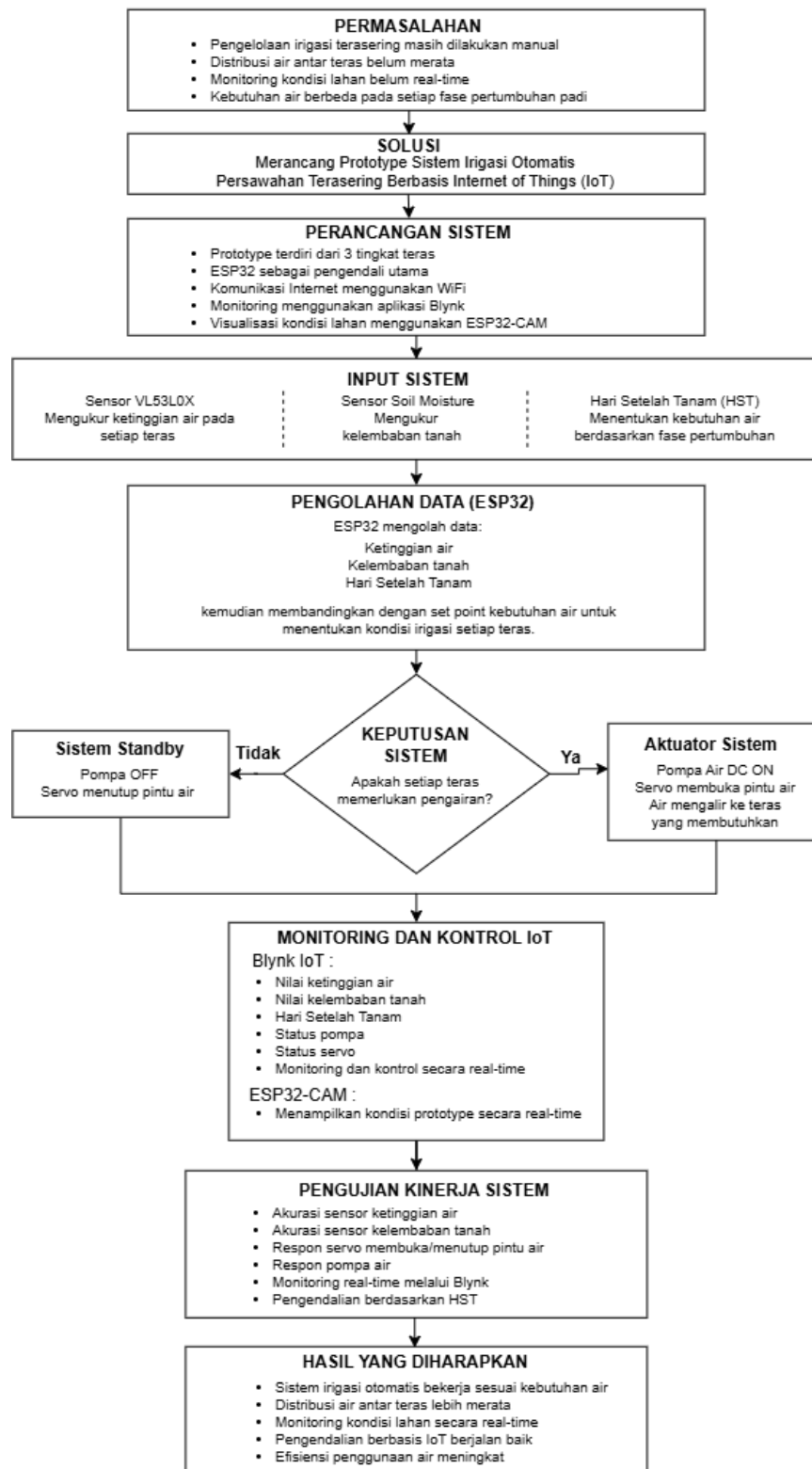
serta menemukan research gap yang dapat dijadikan dasar dalam pengembangan penelitian yang dilakukan. Beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan sistem irigasi otomatis, monitoring ketinggian air, monitoring kelembaban tanah, serta sistem pengendalian irigasi pada sektor pertanian disajikan pada Tabel 2.1.

Tabel 2. 2 Penelitian Terdahulu

No	Nama peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
1	(Husna & Wildian, 2023)	Sistem Otomasi Pengendalian Irigasi dan Pemantauan Lahan Sawah dengan Notifikasi Via Telegram	Prototipe sistem otomasi irigasi berbasis Telegram berhasil diimplementasikan untuk pemantauan dan pengendalian pintu irigasi dari jarak jauh menggunakan sensor <i>water level</i> , motor servo, Arduino Uno, dan ESP32-Cam. Sistem mampu mendeteksi ketinggian air hingga 4 cm dan terhubung melalui Wi-Fi dengan jangkauan maksimum 23 meter.	Penelitian ini hanya menggunakan parameter ketinggian air. Penelitian yang dilakukan mengintegrasikan ketinggian air, kelembaban tanah, dan fase pertumbuhan tanaman padi (HST) pada persawahan terasering.
2	(Sihotang, 2024a)	Rancang Bangun Prototipe sistem Pengairan Sawah Berbasis Iot	Sistem pengairan sawah berbasis IoT berhasil diimplementasikan untuk monitoring dan pengendalian ketinggian air	Penelitian ini diterapkan pada sawah umum dengan fokus pada ketinggian air. Penelitian yang dilakukan diterapkan pada

No	Nama peneliti	Judul Penelitian	Hasil Penelitian	Perbedaan Penelitian
			secara jarak jauh menggunakan smartphone, dengan akurasi pembacaan sensor mencapai 96% saat pengisian air dan 89% saat pengurangan air.	prototipe persawahan terasering dengan beberapa parameter pengendalian.
3	(Rahmadhoni, 2020)	Pengaturan Irigasi Berbasis IoT Untuk Persawahan	Sistem pengontrolan irigasi berbasis Telegram berhasil diimplementasikan untuk mengatur distribusi air dan mengendalikan pintu air dari jarak jauh menggunakan Arduino Uno, sensor <i>water level</i> , dan motor servo, sehingga mempermudah pengelolaan irigasi persawahan.	Penelitian ini berfokus pada pengendalian pintu air berbasis Telegram. Penelitian yang dilakukan mengintegrasikan monitoring dan irigasi otomatis berdasarkan ketinggian air, kelembaban tanah, dan HST.
4	(Pradana et al., 2025)	Implementasi Sistem Irigasi Otomatis Berbasis IoT untuk Pertanian Greenhouse	Sistem irigasi otomatis berbasis IoT berhasil diimplementasikan menggunakan ESP32 dan sensor kelembaban tanah, dengan kemampuan monitoring real-time serta penghematan penggunaan air sebesar 30% dibandingkan metode konvensional.	Penelitian ini diterapkan pada greenhouse dengan parameter kelembaban tanah. Penelitian yang dilakukan diterapkan pada persawahan terasering dengan parameter ketinggian air, kelembaban tanah, dan HST.

C. Kerangka berfikir



Gambar 2. 11 Kerangka Berfikir

Kerangka berpikir penelitian ini diawali dengan identifikasi permasalahan pada persawahan terasering, yaitu pengelolaan irigasi yang masih dilakukan secara manual, distribusi air yang belum merata, belum tersedianya monitoring secara real-time, serta perbedaan kebutuhan air pada setiap fase pertumbuhan tanaman padi. Sebagai solusi, dirancang prototype sistem irigasi otomatis berbasis Internet of Things (IoT). Sistem diimplementasikan pada prototype persawahan terasering yang terdiri atas tiga tingkat teras dengan menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, sensor VL53L0X untuk mengukur ketinggian air, sensor soil moisture untuk mengukur kelembapan tanah, serta parameter Hari Setelah Tanam (HST) sebagai dasar penentuan kebutuhan air. Data tersebut diproses oleh ESP32 untuk mengendalikan pompa air DC dan motor servo dalam mengatur aliran air secara otomatis. Seluruh data sensor dan status aktuator ditampilkan melalui aplikasi Blynk, sedangkan ESP32-CAM digunakan untuk memantau kondisi prototype secara real-time. Tahap akhir penelitian dilakukan melalui pengujian kinerja sistem untuk mengevaluasi kemampuan monitoring dan pengendalian irigasi berdasarkan ketinggian air, kelembapan tanah, dan fase pertumbuhan tanaman padi sehingga diharapkan mampu mendistribusikan air lebih merata dan meningkatkan efisiensi penggunaan air.