

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 Teknologi Pertanian Cerdas

Teknologi pertanian cerdas, atau *smart farming* 4.0, merupakan pendekatan modern dalam praktik pertanian yang mengintegrasikan kecerdasan buatan dan teknologi digital untuk meningkatkan efisiensi dan efektivitas proses budi daya pertanian. Di era digital ini, *smart farming* 4.0 mendukung untuk mengatasi tantangan dalam sektor pertanian, termasuk ketergantungan pada musim dan kebutuhan akan mekanisasi dalam setiap tahapan, mulai dari penanaman hingga panen (Rachmawati, 2021).

Teknologi pertanian cerdas atau *Smart Farming* adalah pendekatan modern yang memanfaatkan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk otomatisasi dan pengambilan keputusan di sektor pertanian. Sistem ini memungkinkan petani mengakses data *real-time*, seperti cuaca, kelembapan tanah, dan kondisi tanaman, guna meningkatkan akurasi keputusan. Teknologi ini membantu meningkatkan produktivitas, efisiensi sumber daya, dan mengurangi pemakaian pupuk serta pestisida berlebih. *Smart Farming* menawarkan solusi ramah lingkungan. Teknologi ini juga mendukung otomatisasi untuk mengoptimalkan setiap tahap pertanian, mengurangi kesalahan manual, dan meningkatkan pendapatan petani. Dalam jangka panjang, *Smart Farming* berkontribusi pada pertanian yang lebih modern, berkelanjutan, dan menarik generasi muda untuk berwirausaha di sektor ini (Halawa, 2024).

Penelitian yang akan dikembangkan mengenai "Sistem Monitoring Pertumbuhan Tanaman Pakcoy dengan Menggunakan Sensor Cahaya, Sensor Kelembapan, dan Otomatisasi Pemberian Pupuk Cair Berbasis *Internet of Things*," menekankan pentingnya teknologi pertanian cerdas. Sistem ini memanfaatkan sensor kelembapan untuk memantau kondisi tanah secara *real-time*, sementara pemberian pupuk cair dilakukan secara terjadwal. Sensor cahaya berfungsi menyesuaikan intensitas pencahayaan berdasarkan kondisi sekitar, memungkinkan lampu menyala secara otomatis saat cahaya alami tidak mencukupi. Integrasi teknologi ini mampu meningkatkan efisiensi budidaya tanaman pakcoy melalui pemantauan dan pengendalian yang lebih presisi.

2.1.2 Tanaman Pakcoy

Tanaman Pakcoy (*Brassica rapa* subsp. *chinensis*) adalah jenis sayuran dari keluarga *Brassica* yang berasal dari Tiongkok dan populer di Indonesia karena kaya akan vitamin A, C, K, serta kalsium, kalium, dan zat besi. Berada satu genus dengan sawi putih dan sawi hijau, pakcoy sering digunakan dalam berbagai masakan. Berdasarkan data BPS Jatim (2020), produktivitas sawi di Jawa Timur meningkat signifikan dalam lima tahun terakhir, rata-rata lebih dari 10 ton/ha, meskipun sempat menurun pada 2020 akibat faktor eksternal. Pakcoy dapat dibudidayakan di lahan sawah maupun hidroponik, yang memungkinkan produksi sepanjang tahun tanpa tergantung musim. Sistem hidroponik memberikan efisiensi dalam penggunaan air dan nutrisi, sehingga tanaman dapat tumbuh optimal dengan dukungan nutrisi makro dan mikro yang cukup. Nutrisi yang umum digunakan dalam budidaya hidroponik, seperti AB mix, menyediakan unsur hara yang

diperlukan tanaman, meskipun biaya pupuk ini relatif tinggi, yang dapat meningkatkan biaya produksi (Hartatik & Asmawan, 2022).

Kedalaman tanah yang ideal untuk menanam pakcoy adalah sekitar 15-20 cm. Kedalaman ini mendukung perkembangan sistem akar serabut pakcoy yang tidak membutuhkan penetrasi tanah yang dalam. Akar serabut cenderung tumbuh menyebar di lapisan atas tanah untuk menyerap air dan nutrisi secara optimal. Polybag dengan ukuran tersebut menyediakan ruang yang memadai untuk pertumbuhan akar sekaligus menjaga drainase yang baik, memungkinkan tanaman pakcoy tumbuh subur. Kedalaman ini membantu pakcoy tumbuh optimal dan menghasilkan daun segar tanpa kekurangan nutrisi atau air (Darmansyah et al., 2024).

Penentuan jarak antar lubang tanam menjadi salah satu aspek penting dalam budidaya tanaman pakcoy, khususnya dalam penerapan sistem vertikultur. Berdasarkan informasi yang tersedia, penggunaan jarak lubang tanam 15 cm disarankan karena dapat meningkatkan populasi tanaman dalam satu media tanam vertikal, seperti pipa paralon. Jarak ini memungkinkan pemanfaatan ruang secara maksimal tanpa mengganggu kualitas pertumbuhan tanaman (Neonbeni et al., 2022).

Penerapan jarak tanam 15 cm pada sistem pertanian lahan kering dengan media tanam cocopeat menjadi bagian penting dalam penelitian ini. Cocopeat, dengan kemampuan menyimpan air dan nutrisi, mendukung pertumbuhan tanaman di lingkungan dengan keterbatasan air. Kombinasi media cocopeat dengan jarak tanam 15 cm meningkatkan efisiensi ruang, distribusi sumber daya yang merata, serta produktivitas optimal tanaman pakcoy.

Kebutuhan akan air bagi semua jenis tumbuhan merupakan hal yang cukup krusial, bagi tanaman pakcoy sendiri, ketersediaan air yang cukup membantu tanaman mencapai potensi maksimalnya dalam waktu yang relatif singkat, frekuensi dan volume penyiraman yang tepat sangat mempengaruhi tinggi tanaman, bobot daun, jumlah daun, bobot basah tanaman, dan diameter tanaman, meskipun tidak berpengaruh signifikan terhadap luas daun. Frekuensi penyiraman yang ideal adalah setiap 2 hari sekali dengan volume 620 ml. Ini mencerminkan pentingnya menjaga kelembapan tanah pada tingkat yang optimal. Tanaman pakcoy membutuhkan tanah yang konsisten lembap, dengan kelembapan sekitar 50-70% kapasitas lapang. Ketersediaan air yang cukup dan frekuensi penyiraman yang tepat memastikan bahwa akar tanaman selalu mendapatkan air yang cukup tanpa menyebabkan genangan yang bisa merusak akar (Ardianto Nugroho & Wijaya Setiawan, 2022).

Pencahayaan yang cukup memainkan peran penting dalam mendukung pertumbuhan pakcoy. Secara alami, pakcoy membutuhkan penyinaran matahari 10-12 jam per hari untuk proses fotosintesis dan pertumbuhan. Dalam budidaya indoor, seperti penelitian yang menggunakan cahaya buatan LED, kebutuhan cahaya menjadi lebih intensif untuk menggantikan sinar matahari. Penelitian menunjukkan pencahayaan buatan meningkatkan pertumbuhan pakcoy, baik dalam ukuran, kandungan vitamin C, maupun protein. Cahaya buatan menawarkan presisi lebih tinggi karena intensitas dan durasinya dapat disesuaikan untuk memaksimalkan hasil tanaman (Utami et al., 2023).

Jarak lampu LED 20 cm dari media tanam memberikan hasil lebih baik dibandingkan perlakuan penyinaran buatan lainnya (Susilowati et al., 2015,

sebagaimana dikutip dalam Hutapea et al., 2023).

Pemberian nutrisi secara teratur, terutama pupuk organik, sangat mendukung pertumbuhan dan hasil panen pakcoy. Pupuk organik tidak hanya menyediakan unsur hara penting seperti nitrogen, tetapi juga memperbaiki struktur tanah dan meningkatkan kapasitasnya dalam menyimpan air dan nutrisi. Konsistensi penggunaan pupuk organik pada pakcoy meningkatkan kualitas tanah, mempercepat fotosintesis, serta meningkatkan jumlah daun dan berat total tanaman. Selain itu, pupuk organik lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan, karena dapat menjaga kesuburan tanah dalam jangka panjang tanpa risiko pencemaran seperti pada pupuk kimia sintetis (Damayanti et al., 2019).

Benih mulai bertunas dalam waktu 3-5 hari, dan persemaian diakhiri setelah tanaman memiliki 2-7 helai daun, yang menandakan bahwa bibit siap dipindahkan ke lahan tanam. Setelah memasuki fase panen, pakcoy merupakan jenis sayuran daun yang memiliki umur panen berkisar antara 21-25 hari setelah tanam, tergantung pada kondisi pertumbuhan dan perawatan. Salah satu indikator untuk menentukan waktu panen yang tepat selain umur adalah ketinggian tanaman. Pakcoy biasanya siap dipanen ketika telah mencapai tinggi maksimal sekitar 20-25 cm. Pada tahap ini, daun-daun pakcoy sudah cukup besar dan nutrisi di dalamnya optimal. Ada dua metode yang umum digunakan dalam proses panen pakcoy. Pertama, dengan mencabut seluruh tanaman, termasuk akarnya, yang sering dilakukan dalam sistem pertanian komersial. Kedua, dengan memotong bagian batangnya di dekat pangkal, yang memungkinkan tanaman tumbuh kembali jika sebagian akarnya masih tertinggal di tanah (Mardilla & Pratiwi, 2021).

Pemilihan tanaman pakcoy dalam penelitian yang akan dikembangkan didasari atas beberapa alasan. Pertama, pakcoy memiliki siklus pertumbuhan yang cepat, dengan waktu panen 21-25 hari setelah tanam, sehingga cocok untuk penelitian yang memerlukan pemantauan cepat dan terukur. Kedua, pakcoy membutuhkan kelembapan tanah yang spesifik, sehingga penggunaan sensor kelembapan dapat memberikan data akurat tentang kondisi tanah yang mendukung pertumbuhannya.

Pakcoy dikenal sebagai tanaman indikator dalam penelitian agrikultur karena responsnya yang sensitif terhadap faktor lingkungan seperti intensitas cahaya, kelembapan, dan nutrisi. Penggunaan otomatisasi untuk pemberian pupuk cair memastikan nutrisi diberikan tepat waktu dan dalam jumlah yang sesuai, mendukung pertumbuhan optimal. Kepakaan pakcoy terhadap lingkungan menjadikannya pilihan ideal untuk mengevaluasi efektivitas teknologi IoT dalam pertanian cerdas.

2.1.3 Media Tanam

2.1.3.1 Cocopeat

Cocopeat adalah media tanam yang dihasilkan dari olahan serbuk sabut kelapa setelah melalui proses pemisahan serat, cocopeat merupakan alternatif pengganti tanah yang ideal, terutama dalam sistem hidroponik. Keunggulannya terletak pada kemampuan menyerap dan menyimpan air dalam jumlah besar, menjaga kelembapan media tanam. Selain itu, pori-porinya mendukung pertukaran udara dan penetrasi sinar matahari, sehingga membantu pertumbuhan akar tanaman yang sehat. Di dalam cocopeat juga terkandung *Trichoderma mold*, sejenis jamur yang menghasilkan enzim yang dapat mengurangi penyakit tanaman, menjaga

media tetap gembur dan subur. Meskipun sering digunakan dalam hidroponik, cocopeat juga cocok untuk pertanian lahan kering berkat kemampuannya menyerap dan menyimpan air dengan sangat baik. Dalam konteks pertanian lahan kering, cocopeat berfungsi sebagai media tanam yang mampu mempertahankan kelembapan lebih lama dibanding tanah biasa, sehingga efektif dalam kondisi minim air. Strukturnya yang berpori mendukung sirkulasi udara, memungkinkan akar tanaman berkembang lebih optimal meskipun di lingkungan dengan ketersediaan air yang terbatas (Kuntardina et al., 2022).

Alasan pemilihan cocopeat dalam penelitian ini didasarkan pada beberapa faktor penting terkait pertanian lahan kering. Pertama, kemampuannya menjaga kelembapan media tanam memastikan suplai air yang cukup untuk pakcoy, sekaligus memaksimalkan kerja sensor kelembapan tanah. Kedua, sifatnya yang gembur mendukung pertumbuhan akar yang efisien dalam menyerap air dan nutrisi. Ketiga, cocopeat membantu menjaga keseimbangan pH yang ideal untuk pakcoy, sementara kandungan *Trichoderma mold* di dalamnya mencegah penyakit akar, masalah umum dalam pertumbuhan tanaman.

2.1.3.2 Sekam Bakar

Sekam bakar merupakan residu pertanian hasil sampingan dari industri penggilingan padi yang banyak tersedia. Media ini mengandung 75-90% bahan organik, termasuk selulosa, lignin, silika, alkali, dan kandungan mineral lainnya. Sekam yang telah dibakar sebagian memiliki manfaat sebagai sumber tambahan kalium bagi pertumbuhan tanaman. Selain itu, sekam bakar mampu mempertahankan kelembapan tanah, menciptakan kondisi yang mendukung pelarutan pupuk anorganik, dan meningkatkan kapasitas tanah dalam menyimpan

nutrisi. Dengan sifat porositas dan kemampuan menyimpan airnya yang baik, sekam bakar menjadi media tanam yang ideal bagi berbagai jenis tanaman (Alwis, 2014, sebagaimana dikutip dalam Jayamali & Karunarathna, 2024).

Penggunaan sekam bakar sebagai media campuran dengan cocopeat merupakan upaya yang dilakukan untuk mendukung pertumbuhan tanaman secara ideal, sebagaimana hasil yang dikemukakan oleh (Jayamali & Karunarathna, 2024) campuran antara sekam bakar dan cocopeat yang seimbang dapat mendukung pertumbuhan ideal untuk daun, akar, serta mendukung percepatan masa panen tanaman. Dalam penelitian ini perbandingan sekam bakar dan cocopeat adalah 2:3, hal ini disesuaikan berdasarkan takaran yang ideal dan seimbang untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

2.1.4 Pupuk Cair Organik

Pupuk organik cair (POC) adalah arutan yang mengandung mikroorganisme dan unsur hara penting untuk meningkatkan kesuburan tanah dan pertumbuhan tanaman. POC dihasilkan melalui proses dekomposisi bahan organik, seperti sisa tanaman, kotoran hewan, dan limbah manusia, sehingga menjadi sumber nutrisi yang kaya dan beragam (Prasetyo & Wiharso, 2022).

Kelebihan POC dibandingkan pupuk anorganik terletak pada kemampuannya yang cepat mengatasi kekurangan hara pada tanaman, serta kemampuannya menyediakan nutrisi yang langsung dapat diserap oleh akar tanaman. Selain itu, POC membantu menjaga kualitas tanah dengan meningkatkan kandungan bahan organik, sehingga tanah tetap subur dan gembur. Penggunaan POC juga mampu mengurangi ketergantungan pada pupuk kimia sintetis, yang

diketahui dapat memberikan dampak negatif jangka panjang terhadap tanah (Hadiwusito 2007, sebagaimana dikutip dalam Prasetyo & Evizal, 2021).

Pemberian pupuk organik cair (POC) adalah komponen penting dalam budidaya pakcoy, terutama pada sistem pertanian lahan kering. POC mengandung nutrisi esensial seperti nitrogen, fosfor, dan kalium yang mudah diserap tanaman, mendukung fotosintesis, perkembangan daun, dan pembentukan biomassa. Pemberian pupuk cair organik pada tanaman pakcoy dengan dosis 100 mL terbukti meningkatkan tinggi tanaman, lebar daun, dan berat basah secara signifikan, memenuhi kebutuhan nutrisi untuk pertumbuhan vegetatif. Namun, dosis ini tidak berpengaruh signifikan terhadap jumlah daun, kemungkinan karena batas alami produksi daun yang ditentukan oleh sifat genetik tanaman (Pandaleke et al., 2023).

Perbandingan antara pupuk organik dan pupuk kimia menunjukkan perbedaan signifikan dalam efektivitas dan dampaknya. Pupuk organik memperbaiki kualitas tanah dengan menambah bahan organik, mendukung pertumbuhan akar yang kuat, serta menghasilkan tanaman dengan kualitas rasa yang lebih baik, seperti butiran padi berkualitas tinggi dengan kandungan amilosa dan protein lebih rendah. Di sisi lain, pupuk kimia memberikan pertumbuhan lebih cepat dan hasil lebih tinggi pada kondisi padat, tetapi dapat mengurangi kualitas rasa serta menyebabkan ketergantungan pada input eksternal. Secara keseluruhan, pupuk organik lebih mendukung keberlanjutan pertanian dengan memperbaiki tanah dan struktur tanaman, sementara pupuk kimia lebih berfokus pada hasil cepat yang dapat berdampak negatif pada kesehatan tanah dan kualitas tanaman dalam jangka panjang (Kakar et al., 2019).

Penelitian yang akan dikembangkan ini berfokus pada mengimplementasikan pemberian pupuk cair organik menggunakan sistem otomatisasi dirancang untuk menyuplai pupuk cair organik dalam jumlah yang tepat sesuai kebutuhan tanaman. Sistem ini didukung oleh sensor kelembapan untuk memantau kondisi media tanam campuran cocopeat dan sekam bakar, sementara RTC (*Real Time Clock*) menentukan waktu pemberian pupuk cair secara otomatis. Pemilihan pupuk cair organik dalam penelitian ini berasal dari merk X, diaplikasikan dengan mencampur 2 ml ke dalam 1 liter air, kemudian disiramkan secara merata ke area perakaran tanaman secukupnya. Penerapan teknologi ini diharapkan tidak hanya meningkatkan efisiensi penggunaan pupuk tetapi juga menjaga keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi risiko *over-fertilization*.

2.1.5 *Internet of Things* (IoT)

Konsep *Internet of Things* (IoT) merujuk pada perluasan koneksi internet ke perangkat fisik yang digunakan dalam aktivitas sehari-hari. Era industri 4.0, yang dikenal juga sebagai "*Internet of Things*", telah memengaruhi kebiasaan dan gaya hidup masyarakat. Kini, masyarakat memasuki era society 5.0, di mana penggunaan teknologi internet dalam kehidupan sehari-hari semakin akrab dan umum. Dengan adanya internet, berbagai aktivitas dapat dilakukan secara jarak jauh atau remote. (Budiyanti, 2021, hlm. 3-8).

Internet of Things (IoT) adalah jaringan perangkat komputasi yang terintegrasi dalam berbagai objek sehari-hari, memungkinkan pertukaran dan penerimaan data melalui koneksi internet. (Mambang et al., 2022, hlm. 1).

Internet of Things (IoT) adalah gagasan yang memungkinkan perangkat dan aplikasi yang terhubung ke Internet untuk berkomunikasi satu sama lain. Dalam

IoT, objek fisik, atau "benda", dapat berkomunikasi melalui Internet (Kamal, 2017, hlm. 1- 2).

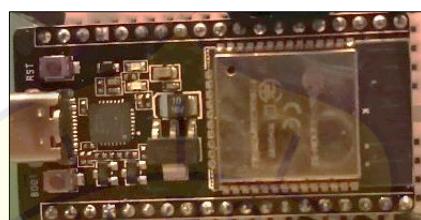
Dapat disimpulkan dari pengertian menurut para ahli sebelumnya, bahwa *Internet of Things* (IoT) adalah konsep di mana perangkat fisik yang digunakan dalam kehidupan sehari-hari terhubung ke internet, memungkinkan untuk berkomunikasi, mengumpulkan data, dan menukar data secara otomatis. Melalui integrasi teknologi ini, objek-objek tersebut dapat saling berinteraksi dan berbagi informasi, sehingga memudahkan berbagai aktivitas dalam era industri 4.0 dan era *society 5.0*. IoT memungkinkan interaksi jarak jauh dan mengoptimalkan cara orang bekerja, berkomunikasi, dan menjalankan kegiatan sehari-hari melalui koneksi internet.

Penggunaan IoT dalam otomasi sistem pertanian menjadi fokus penelitian yang akan dikembangkan. Sensor cahaya memantau intensitas cahaya di sekitar tanaman, dan ketika intensitas kurang, sistem otomatis menyalakan lampu LED *grow light* untuk memberikan pencahayaan optimal. Sensor kelembapan tanah mengukur tingkat kelembapan; ketika nilainya di bawah ambang batas tertentu, sistem mengaktifkan pompa air untuk menjaga kebutuhan air tanaman tetap terpenuhi. Modul RTC (*Real Time Clock*) memastikan pemberian pupuk cair dilakukan secara terjadwal, sehingga nutrisi diberikan pada waktu yang tepat. Data dari sensor cahaya dan kelembapan dikirim ke platform IoT untuk memungkinkan pemantauan kondisi secara *real-time*, menjadikan sistem lebih efisien, akurat, dan adaptif terhadap perubahan lingkungan.

2.1.6 ESP32

ESP32 dibangun menggunakan teknologi ultra-rendah daya TSMC 40 nm

untuk mencapai kinerja daya dan RF terbaik, dan memiliki kemampuan *Wi-Fi* dan Bluetooth 2,4 GHz. ESP32 sangat tahan, fleksibel, dan andal dalam berbagai aplikasi IoT karena jumlah GPIO yang besar. Desain papan ESP32 menunjukkan kekuatan dalam desain modul IoT yang mudah diakses, yang menjadikannya pilihan yang baik untuk berbagai skenario dan aplikasi (Budijanto et al., 2021, hlm. 2).



Gambar 2.1 ESP32

ESP32 digunakan pada penelitian yang akan dikembangkan karena kemampuannya untuk terhubung langsung ke *Wi-Fi*, memungkinkan pengembangan sistem otomasi yang dapat dipantau atau dikendalikan dari jarak jauh. Data dari sensor dapat dikirim ke platform IoT atau disimpan di cloud, sehingga memungkinkan pemantauan secara *real-time* tanpa memerlukan perangkat tambahan. Fleksibilitas dalam pemrograman, dukungan interface USB to UART, serta kompatibilitasnya dengan Arduino IDE juga memudahkan pengembangan dan pengujian sistem dengan cepat.

2.1.7 Sensor *Light Dependent Resistor* (LDR)

Light Dependent Resistor (LDR) adalah jenis resistor yang nilai hambatannya dipengaruhi oleh intensitas cahaya yang mengenainya (Sasmoko, 2021, hlm. 48).

Light Dependent Resistor (LDR) atau juga dikenal sebagai photoresistor, adalah resistor yang nilai hambatannya bergantung pada intensitas cahaya yang

diterima. Semakin rendah intensitas cahaya yang diterima, nilai hambatan LDR akan semakin besar, sedangkan semakin tinggi intensitas cahaya, nilai hambatannya akan semakin kecil (Junaidi & Prabowo, 2018, hlm. 56).

Sensor cahaya LDR (*Light Dependent Resistor*) adalah perangkat elektronika yang berfungsi mengubah intensitas cahaya menjadi besaran listrik. LDR termasuk jenis resistor yang nilai resistansinya bergantung pada tingkat intensitas cahaya yang diterima. Ketika tidak terkena cahaya, nilai resistansi LDR dapat mencapai sekitar $10M\Omega$. Sebaliknya, ketika terkena cahaya, nilai resistansinya menurun hingga sekitar $1k\Omega$ (Ma’arif et al., 2023, hlm. 54).

Penelitian yang akan dikembangkan memanfaatkan sensor cahaya untuk memantau intensitas cahaya disekitar sehingga lampu LED *grow light* dapat menyala dan memberikan pencahayaan kepada tanaman, khususnya pakcoy. Pencahayaan dapat diatur secara optimal sesuai kebutuhan tanaman, seperti durasi ideal 16 jam, untuk mendukung fotosintesis tanpa pemborosan energi listrik. Teknologi ini memungkinkan penciptaan kondisi pencahayaan yang sesuai secara otomatis, sehingga menghasilkan pakcoy berkualitas dengan kandungan gizi tinggi, seperti vitamin C dan protein, sekaligus menekan konsumsi energi.

Penggunaan sensor cahaya pada pertumbuhan pakcoy berfokus pada kemampuannya menciptakan kondisi pencahayaan yang tepat secara otomatis, sehingga tanaman mendapatkan intensitas dan kualitas cahaya yang sesuai untuk setiap tahap pertumbuhannya.



Gambar 2.2 Sensor LDR

2.1.8 Sensor *Soil Moisture*

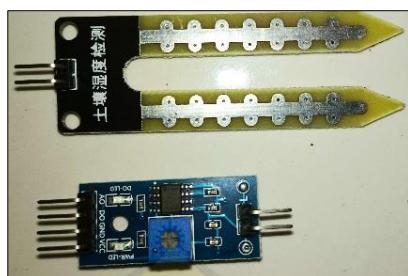
Sensor kelembapan tanah (Sensor *Soil Moisture*) adalah perangkat yang mengukur tingkat kelembapan tanah berdasarkan resistansi arus listrik. Tanah basah memiliki resistansi lebih rendah dibanding tanah kering, sehingga perubahan resistansi ini dapat menunjukkan kadar air dalam tanah. Sensor ini memberikan data secara *real-time* mengenai kelembapan tanah, yang sangat berguna dalam mengoptimalkan proses irigasi di bidang pertanian, sehingga efisiensi penggunaan air dapat ditingkatkan (Al-Jufri et al., 2023).

Sensor kelembaban tanah digunakan untuk mendeteksi tingkat kelembaban tanah dengan memanfaatkan dua probe yang mengalirkan arus listrik melalui tanah. Probe tersebut kemudian mengukur resistansi tanah untuk menentukan tingkat kelembabannya. Cara kerja alat ini adalah dengan menanamkan sensor langsung ke dalam tanah (Ma'arif et al., 2023, hlm. 4).

Sensor kelembapan tanah memungkinkan pemantauan tingkat kandungan air di media tanam seperti cocopeat secara *real-time*. Data yang dihasilkan membantu sistem otomatisasi mengatur waktu dan jumlah pemberian air atau pupuk cair sesuai kebutuhan tanaman pakcoy. Ketika sensor mendeteksi tanah mulai kering, sistem secara otomatis mengaktifkan irigasi untuk menjaga kelembapan optimal. Sebaliknya, ketika tanah cukup basah, sistem menunda pemberian air untuk mencegah kelebihan air yang dapat merusak tanaman (Kolo et al., 2023).

Pemanfaatan sensor kelembapan tanah ini juga mendukung efisiensi penggunaan air dalam pertanian lahan kering, seperti yang diterapkan dalam penelitian yang akan dikembangkan. Dengan mengoptimalkan penggunaan air,

tanaman pakcoy dapat tumbuh secara optimal tanpa risiko kekurangan atau kelebihan air, yang pada akhirnya akan meningkatkan hasil panen dan menjaga kualitas nutrisi tanaman.



Gambar 2.3 Sensor *Soil Moisture*

Penelitian yang akan dikembangkan memanfaatkan sensor kelembapan tanah sangat berkaitan dengan pengelolaan irigasi yang lebih efisien dan tepat waktu. Pakcoy, sebagai tanaman sayuran yang membutuhkan keseimbangan air yang optimal, memerlukan kondisi tanah yang cukup lembap untuk mendukung pertumbuhannya. Jika tanah terlalu basah atau terlalu kering, hal ini dapat mempengaruhi pertumbuhan tanaman, produktivitas, dan kualitas hasilnya.

2.1.9 *Real Time Clock (RTC)*

Real Time Clock (RTC) adalah perangkat yang berfungsi untuk menyimpan dan mengatur waktu dengan akurat, mencakup informasi hari, tanggal, bulan, dan tahun. RTC secara otomatis menyesuaikan data waktu, termasuk perbedaan jumlah hari dalam bulan yang memiliki 30 atau 31 hari (Rahardjo, 2021).

Real Time Clock (RTC) adalah chip jam elektronik yang berfungsi untuk menghitung dan menyimpan data waktu secara *real-time*. RTC dilengkapi dengan baterai pada IC, sehingga tetap dapat bekerja meskipun perangkat utama dimatikan. RTC memiliki akurasi tinggi sebagai perekta (*timer*) karena menggunakan osilator kristal (Suhaeb et al., 2017, hlm. 155).

Sistem otomatisasi pemberian pupuk cair dengan menggunakan RTC (*Real Time Clock*) adalah sistem yang dirancang untuk secara otomatis memberikan pupuk cair kepada tanaman sesuai jadwal yang diatur berdasarkan waktu nyata. RTC berfungsi sebagai pengatur waktu dalam sistem ini, sehingga pemberian pupuk dapat dilakukan secara presisi dan terjadwal tanpa memerlukan intervensi manual.

Keterkaitan antara otomatisasi pemberian pupuk cair dan pertumbuhan pakcoy sangat penting, terutama dalam memastikan bahwa nutrisi yang diberikan . Pemberian pupuk secara tepat waktu dan konsisten dapat meningkatkan kualitas pertumbuhan pakcoy, meningkatkan kandungan nutrisi tanaman, dan memastikan produktivitas yang optimal. Dengan menggabungkan teknologi RTC untuk otomatisasi dan penggunaan POC yang ramah lingkungan, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menghasilkan sistem pertanian yang efisien, berkelanjutan, dan ramah lingkungan.



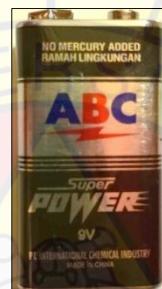
Gambar 2.4 *Real Time Clock (RTC)*

2.1.10 Baterai

Baterai adalah alat penyimpan energi listrik yang menyediakan arus saat dibutuhkan, dengan dua kutub, positif dan negatif, yang memiliki beda potensial. Saat arus mengalir melalui resistansi, panas dihasilkan akibat pergerakan elektron. Baterai menghasilkan arus searah (DC) atau bolak-balik (AC), sesuai kebutuhan

perangkat. Salah satu jenisnya adalah baterai primer, yaitu baterai sekali pakai (*disposable*) yang ekonomis dan mudah ditemukan di pasaran.

Baterai primer ini umumnya terdiri dari tiga komponen utama, yaitu karbon berperan sebagai anoda (kutub positif), seng (Zn) bertindak sebagai katoda (kutub negatif), dan pasta elektrolit yang berfungsi sebagai pengantar ion di antara kedua kutub. Mekanisme ini memungkinkan baterai mengonversi energi kimia menjadi energi listrik yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai perangkat elektronik (Nasution, 2021).



Gambar 2.5 Baterai 9V

Penelitian yang akan dikembangkan menggunakan baterai 9V sebagai sumber daya utama untuk mendukung operasional sistem otomatisasi. Baterai ini menawarkan tegangan stabil dan cukup tinggi untuk menjalankan komponen seperti aktuator dalam sistem monitoring dan pemberian pupuk cair berbasis *Internet of Things* (IoT), yaitu pompa. Selain mudah didapatkan dan berukuran kompak, baterai 9V mampu menyediakan daya yang cukup untuk operasional sistem dalam jangka waktu tertentu, terutama di lingkungan tanpa sumber listrik permanen.

2.1.11 *Power Supply*

Power Supply adalah perangkat keras yang bertugas menyediakan tegangan langsung untuk berbagai komponen dalam casing komputer, seperti *motherboard*, *hard disk*, kipas, dan lainnya. Sebagai sumber input, *power supply* menerima arus

bolak-balik (AC) dan mengonversinya menjadi arus searah (DC), karena komponen komputer hanya dapat beroperasi menggunakan arus DC (Sumarno, 2020).

Power supply banyak digunakan dalam rangkaian elektronik untuk menyediakan daya yang stabil bagi komponen seperti mikrokontroler, sensor, motor, dan aktuator. Dalam penelitian ini, *power supply* digunakan sebagai sumber daya utama untuk memastikan setiap komponen mendapatkan arus listrik yang cukup dan sesuai kebutuhan operasionalnya. Ini sangat penting dalam sistem otomatisasi dan *Internet of Things* (IoT), di mana stabilitas arus memengaruhi kinerja dan keandalan perangkat.



Gambar 2.6 *Power Supply*

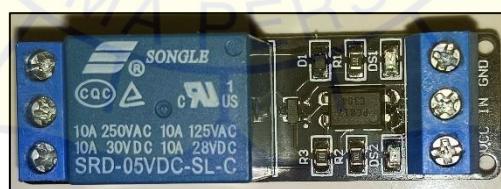
Penelitian yang akan dikembangkan menggunakan *power supply* sebagai sumber daya utama yang menyediakan arus listrik stabil dan sesuai untuk beberapa komponen dalam sistem, seperti mikrokontroler, sensor, *relay* dan lampu. *Power supply* memastikan bahwa semua perangkat menerima arus searah (DC) yang stabil, yang sangat penting untuk menjaga kinerja optimal komponen elektronik. Fluktuasi arus dapat menyebabkan malfungsi atau kerusakan pada perangkat, sehingga stabilitas daya menjadi krusial. *Power supply* juga memungkinkan penyesuaian tegangan untuk memenuhi kebutuhan spesifik setiap komponen, memastikan bahwa mereka beroperasi pada tingkat efisiensi maksimal.

Penggunaan *power supply* yang tepat juga meminimalkan risiko overcurrent dan overheating, meningkatkan keandalan keseluruhan sistem, terutama dalam

aplikasi yang beroperasi secara otomatis dan mungkin tidak selalu diawasi. Selain itu, dalam konteks sistem berbasis *Internet of Things* (IoT), *power supply* memungkinkan perangkat beroperasi secara mandiri di lokasi yang mungkin tidak memiliki akses ke sumber listrik tetap, sehingga mendukung fleksibilitas dalam penempatan perangkat. Dengan demikian, *power supply* merupakan komponen krusial dalam penelitian ini, mendukung pengembangan sistem otomatis yang efisien dan efektif untuk pengelolaan pertumbuhan tanaman.

2.1.12 Relay Module

Relay module adalah komponen elektromekanik yang berfungsi sebagai saklar untuk mengoperasikan atau mengendalikan perangkat listrik lainnya dengan memanfaatkan tenaga listrik sebagai sumber energinya. Ketika arus listrik mengalir melalui lilitan atau koil pada *relay*, ia menciptakan medan magnet yang menarik inti besi, sehingga menghubungkan atau memutuskan jalur arus pada kontak *relay*. Dengan cara ini, *relay* dapat mengontrol aliran listrik ke perangkat yang lebih besar atau bertegangan tinggi menggunakan sinyal dari komponen yang bertegangan rendah, seperti mikrokontroler (Mukminin et al., 2023).



Gambar 2.7 *Relay Module*

Penelitian yang akan dikembangkan menggunakan *relay module* untuk mengendalikan berbagai komponen seperti pompa air dan lampu. Dengan menggunakan *relay*, sistem dapat menghidupkan atau mematikan perangkat tersebut secara otomatis berdasarkan data yang diperoleh dari sensor, seperti sensor

kelembapan tanah atau sensor cahaya. Hal ini memungkinkan sistem untuk berfungsi dengan lebih efisien dan responsif, sesuai dengan kebutuhan tanaman. Penggunaan *relay module* juga meningkatkan keamanan, karena memungkinkan pengendalian perangkat yang bertegangan tinggi tanpa langsung menghubungkannya ke mikrokontroler. *Relay module* menjadi elemen vital dalam merancang dan mengimplementasikan sistem otomatis yang dapat meningkatkan pertumbuhan tanaman secara efektif.

2.1.13 Buzzer

Buzzer adalah komponen elektronik yang berfungsi mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Cara kerjanya mirip dengan *loudspeaker*, di mana kumparan yang terhubung ke diafragma menghasilkan medan magnet saat dialiri arus listrik. Medan magnet ini membuat diafragma bergetar dan menghasilkan suara. *Buzzer* dapat bekerja pada berbagai frekuensi dan tingkat intensitas suara, sehingga sering dimanfaatkan dalam aplikasi yang membutuhkan sinyal audio (Mukminin et al., 2023).



Gambar 2.8 *Buzzer*

Penelitian yang akan dikembangkan menggunakan *buzzer* sebagai alat penting untuk memberikan notifikasi atau peringatan kepada pengguna. Ketika pompa air dan pompa pupuk menyala, *buzzer* mengeluarkan suara sebagai tanda bahwa sistem sedang aktif mengairi atau memberikan pupuk ke tanaman. *Buzzer* tidak hanya memberikan umpan balik langsung kepada pengguna tentang aktivitas sistem, tetapi juga membantu memantau proses penyiraman dan pemupukan.

Penggunaan *buzzer* dalam konteks ini menawarkan cara sederhana namun efektif untuk memberitahu pengguna bahwa sistem sedang bekerja, sehingga meningkatkan interaktivitas dan mempermudah pengelolaan pertumbuhan tanaman secara keseluruhan.

2.1.14 Pompa Air

Pompa air adalah perangkat yang dilengkapi dengan motor untuk menghisap atau menyedot fluida dari tempat yang lebih rendah ke tempat yang lebih tinggi. Selain itu, perangkat ini juga berfungsi untuk meningkatkan tekanan cairan, mengalirkan cairan dari area bertekanan rendah ke area bertekanan tinggi. Dengan mekanisme ini, pompa air menjadi komponen penting dalam sistem irigasi dan pengelolaan air, memungkinkan distribusi air secara efektif dan efisien (Mukminin et al., 2023).



Gambar 2.9 Pompa Air

Penelitian yang akan dikembangkan menempatkan pompa air sebagai komponen penting, baik dalam sistem penyiraman otomatis untuk tanaman maupun dalam pemberian pupuk cair secara otomatis. Pompa penyiraman diaktifkan berdasarkan data yang dikumpulkan dari sensor kelembapan tanah, sedangkan pompa pemberian pupuk cair bekerja otomatis sesuai jadwal yang diatur melalui *Real Time Clock* (RTC). Pendekatan ini memastikan efisiensi dalam penyiraman dan pemberian pupuk, sekaligus mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal dengan penggunaan air dan pupuk yang lebih efektif.

2.1.15 Lampu LED *Grow Light*

Lampu LED *grow light* adalah lampu yang dirancang untuk memancarkan panjang gelombang cahaya yang spesifik dan diperlukan oleh tanaman untuk melakukan fotosintesis. Penggunaan LED sangat tepat untuk meningkatkan produksi tanaman sayur dan buah, karena mampu memperpanjang proses fotosintesis, terutama saat malam hari ketika matahari tidak tersedia. Proses fotosintesis yang lebih lama akan meningkatkan produktivitas tanaman secara ekonomi, namun durasi paparan cahaya lampu LED harus dibatasi hingga 14-16 jam per hari agar tanaman tetap sehat.

Lampu LED *grow light* memancarkan panjang gelombang cahaya merah (600-700 nm) dan biru (400-500 nm), yang sesuai dengan spektrum yang diserap oleh klorofil tanaman. Cahaya biru mendukung fase vegetatif, sedangkan cahaya merah penting untuk fase generatif, yang berarti LED *grow light* dapat dioptimalkan untuk mendukung pertumbuhan tanaman dari fase awal sehingga berbunga dan berbuah (Putri et al., 2021).



Gambar 2.10 Lampu LED *Grow Light*

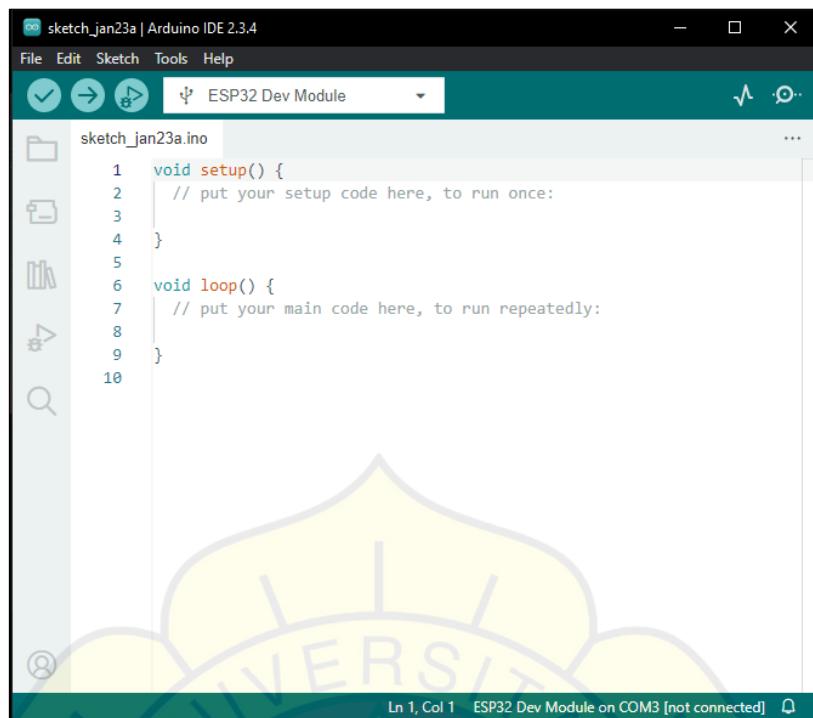
Penelitian yang akan dikembangkan menganggap pemilihan LED *grow light* sangat relevan untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman pakcoy. Sensor cahaya dalam sistem digunakan untuk mengontrol intensitas dan durasi

pencahayaan lampu LED *grow light*, memastikan tanaman menerima jumlah cahaya yang tepat untuk fotosintesis tanpa risiko kelebihan paparan. Dengan memanfaatkan spektrum cahaya biru dan merah, lampu LED *grow light* mendukung fase vegetatif dan generatif tanaman pakcoy, sejalan dengan tujuan untuk memaksimalkan produktivitas tanaman dalam lingkungan terkontrol.

2.1.16 Software Arduino IDE

Arduino *Integrated Development Environment* (IDE) adalah perangkat lunak yang dirancang untuk mempermudah pengembangan aplikasi mikrokontroler. Perangkat ini memungkinkan pengguna menulis kode sumber, melakukan kompilasi, mengunggah hasil kompilasi ke mikrokontroler, dan menguji program melalui terminal serial. Kode sumber untuk aplikasi mikrokontroler Arduino ditulis dalam bahasa C/C++ dan dapat digabungkan dengan bahasa assembly. Selain itu, Arduino IDE dapat dijalankan di berbagai platform komputer, sehingga fleksibel untuk berbagai kebutuhan pengguna (Romadhon & Umam, 2022, hlm. 14-15).

Penelitian yang akan dikembangkan menggunakan Arduino IDE karena kemudahan dan keandalannya dalam pemrograman mikrokontroler seperti ESP32. Platform ini menyediakan akses ke berbagai library dan contoh kode yang memudahkan pengembangan serta pengujian sistem otomatisasi. Kompatibilitasnya dengan berbagai mikrokontroler, ditambah dengan dukungan komunitas yang luas, memberikan fleksibilitas yang mempermudah penyesuaian perangkat lunak sesuai kebutuhan penelitian. Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman C++ untuk mengembangkan perangkat lunak, karena struktur dan efisiensinya yang sesuai untuk pemrograman sistem tertanam.



Gambar 2.11 Tampilan Software Arduino IDE

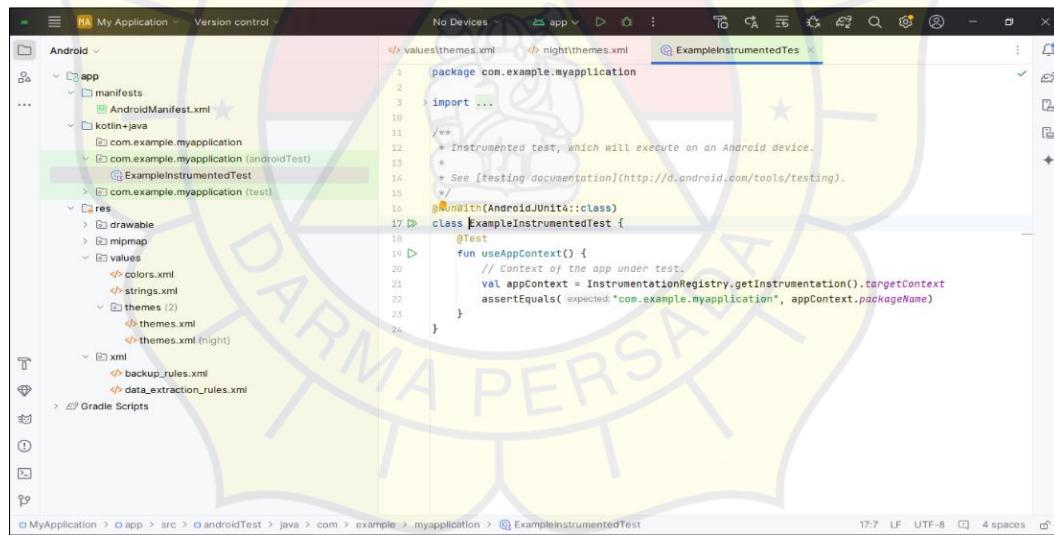
2.1.17 Software Android Studio

Android Studio adalah *Integrated Development Environment* (IDE) yang dibuat khusus untuk mengembangkan aplikasi di platform Android. IDE ini dibangun di atas IntelliJ IDEA Community Edition, menawarkan pengalaman pengembangan yang efisien melalui beragam fitur canggih. Salah satu keunggulan utamanya adalah integrasi dengan Gradle sebagai alat otomatisasi build proyek. Gradle memanfaatkan *Domain Specific Languages* (DSL) berbasis Groovy, memberikan fleksibilitas dan kemudahan dalam pengaturan build dibandingkan dengan alat seperti Ant atau Maven yang menggunakan XML (Affandi & Wibowo, 2021).

Penelitian yang akan dikembangkan menggunakan Android Studio karena beberapa alasan utama. Android Studio menyediakan fitur yang lengkap dan terintegrasi untuk mengembangkan aplikasi Android, termasuk desain antarmuka

visual, debug tools, dan emulator Android. Fitur-fitur tersebut mempermudah proses pengembangan aplikasi yang diperlukan untuk menghubungkan perangkat IoT dengan pengguna. Kedua, Android Studio mendukung pengembangan aplikasi yang kompatibel dengan berbagai versi Android, memastikan bahwa aplikasi dapat dijalankan pada berbagai perangkat pengguna. Dengan fitur-fitur ini, Android Studio menjadi pilihan yang tepat dalam penelitian ini untuk menciptakan aplikasi yang dapat memantau data sensor secara *real-time*, mudah digunakan, dan diimplementasikan secara luas.

Penelitian ini menggunakan bahasa pemrograman Kotlin karena sintaksnya yang ringkas, fitur keamanannya, serta kompatibilitasnya dengan ekosistem Android, sebagaimana dijelaskan dalam dokumentasi resmi *Android Developer*.



Gambar 2.12 Tampilan Software Android Studio

2.1.18 Bahasa Pemrograman C++

C++ adalah bahasa pemrograman tingkat tinggi yang dikembangkan oleh Bjarne Stroustrup pada tahun 1979 di Bell Laboratories dan dirilis secara komersial pada tahun 1985. Bahasa ini merupakan perluasan dari bahasa C dengan

penambahan fitur-fitur berorientasi objek, seperti kelas, pewarisan, enkapsulasi, polimorfisme, dan abstraksi. Nama "C++" mencerminkan peningkatan dari bahasa C, di mana simbol "++" adalah operator penambahan dalam C. Dengan fitur-fitur seperti template, pengecualian, dan overloading operator, C++ dirancang untuk efisiensi tinggi dan fleksibilitas, memungkinkan pengembang untuk membangun perangkat lunak yang kompleks sekaligus mengoptimalkan kinerja (Lincopinis et al., 2023).

C++ dapat mendukung berbagai paradigma pemrograman, termasuk prosedural, berorientasi objek, dan generik, menjadikannya bahasa yang serbaguna untuk pengembangan sistem operasi, driver perangkat, sistem embedded, permainan video, serta aplikasi perangkat lunak yang membutuhkan performa tinggi. Beberapa fitur utama C++ meliputi alokasi memori dinamis, manajemen memori yang efisien, kemampuan *multi-threading*, dukungan *library* yang luas, serta sifatnya yang case-sensitive dan berbasis kompilasi. Popularitasnya tetap tinggi karena fleksibilitas dan efisiensinya dalam pengelolaan sumber daya perangkat keras (Lincopinis et al., 2023).

Penggunaan C++ dalam penelitian ini didasarkan pada kemampuannya untuk menangani pemrosesan data secara *real-time* dan efisiensi dalam pengelolaan memori, yang sangat penting untuk aplikasi berbasis sensor dalam sistem monitoring pertumbuhan tanaman pokcoy. C++ memungkinkan komunikasi langsung dengan perangkat keras seperti sensor cahaya dan kelembapan, serta mendukung pengembangan sistem multi-threading untuk mengelola beberapa tugas sekaligus, seperti pengambilan data sensor dan pengiriman data ke platform IoT. Dengan kemampuan ini, C++ memberikan stabilitas, kecepatan, dan fleksibilitas

yang diperlukan untuk menciptakan aplikasi monitoring yang andal dan berkinerja tinggi.

2.1.19 Bahasa Pemrograman Kotlin

Kotlin adalah bahasa pemrograman statically typed yang dikembangkan oleh JetBrains dan pertama kali dirilis pada tahun 2016. Bahasa ini dirancang untuk berjalan di atas *Java Virtual Machine* (JVM) serta dapat mengompilasi kode JavaScript (Damingo & Elliot, 2022).

Sebagai bahasa pemrograman modern, Kotlin menawarkan sintaks yang intuitif dan mirip dengan Java, sehingga mudah dipelajari oleh pengembang yang sudah terbiasa dengan ekosistem Java. Kotlin juga dapat diintegrasikan dengan mudah ke dalam *Integrated Development Environments* (IDEs) seperti IntelliJ IDEA dan NetBeans (Damingo & Elliot, 2022).

Penggunaan kotlin dalam penelitian dilandasi karena Kotlin memiliki interoperabilitas penuh dengan Java, memungkinkan integrasi dengan *library* yang relevan tanpa kendala, sehingga sangat mendukung pengolahan data sensor dalam sistem ini. Dengan sintaks yang ringkas dan efisien, Kotlin dapat mengurangi jumlah kode yang harus ditulis, mempercepat pengembangan, serta meminimalkan potensi bug, terutama dalam aplikasi yang kompleks.

2.1.20 Android

Android adalah sistem operasi berbasis Linux yang dirancang khusus untuk perangkat seluler, seperti smartphone dan tablet. Sistem ini menyediakan platform terbuka yang memungkinkan pengembang untuk membuat dan mengembangkan aplikasi mereka sendiri, yang dapat dijalankan pada berbagai perangkat mobile (Prabowo et al., 2020).

Android banyak digunakan pada perangkat seperti *smartphone* dan tablet PC. Sistem ini menawarkan berbagai fitur dan komponen utama, meliputi kapabilitas konektivitas seperti Wi-Fi untuk mendukung jaringan, kode libraries yang mencakup teknologi browser seperti WebKit, serta dukungan *database* menggunakan SQLite (Albeson, 2009, sebagaimana dikutip dalam (Prabowo et al., 2020, hlm. 4).

Pengembangan aplikasi menggunakan Android dalam penelitian ini didasarkan pada berbagai alasan, Android merupakan sistem operasi yang fleksibel dan mendukung platform terbuka, sehingga memungkinkan pengembang untuk menciptakan aplikasi dengan kustomisasi yang tinggi sesuai kebutuhan penelitian. Dalam konteks sistem monitoring berbasis IoT, Android menjadi pilihan ideal karena kompatibilitasnya dengan berbagai perangkat keras dan kemampuan integrasi dengan sensor IoT.

2.1.21 Aplikasi Berbasis Android

Aplikasi adalah perangkat lunak yang dirancang untuk memenuhi kebutuhan tertentu, baik untuk aktivitas personal maupun profesional, seperti pelayanan publik, perdagangan, periklanan, game, dan aktivitas lainnya. Aplikasi ini dibuat untuk menjalankan fungsi-fungsi spesifik yang dapat diakses dan digunakan melalui perangkat komputer atau ponsel (Koloay et al., 2020).

Aplikasi berbasis Android adalah aplikasi yang dirancang khusus untuk sistem operasi Android, sebuah platform berbasis Linux yang dibuat untuk perangkat seluler layar sentuh seperti smartphone dan tablet. Awalnya dikembangkan untuk perangkat kamera digital, Android kemudian beralih fokus ke pasar smartphone. Dengan jumlah pengguna yang besar, Android memungkinkan

berbagai aplikasi berjalan secara optimal, meningkatkan interaksi dan pengalaman pengguna pada perangkat seluler (Huda, 2013, sebagaimana dikutip dalam Koloay et al., 2020).

Penelitian yang dikembangkan memanfaatkan aplikasi berbasis Android karena beberapa alasan utama. Android adalah salah satu sistem operasi seluler paling populer di dunia, termasuk di Indonesia, sehingga pengembangan aplikasi di platform ini memungkinkan jangkauan luas dan kemudahan penggunaan bagi banyak pengguna. Android menyediakan ekosistem yang ramah pengguna, sehingga aplikasi dapat diakses oleh berbagai kalangan dengan mudah.

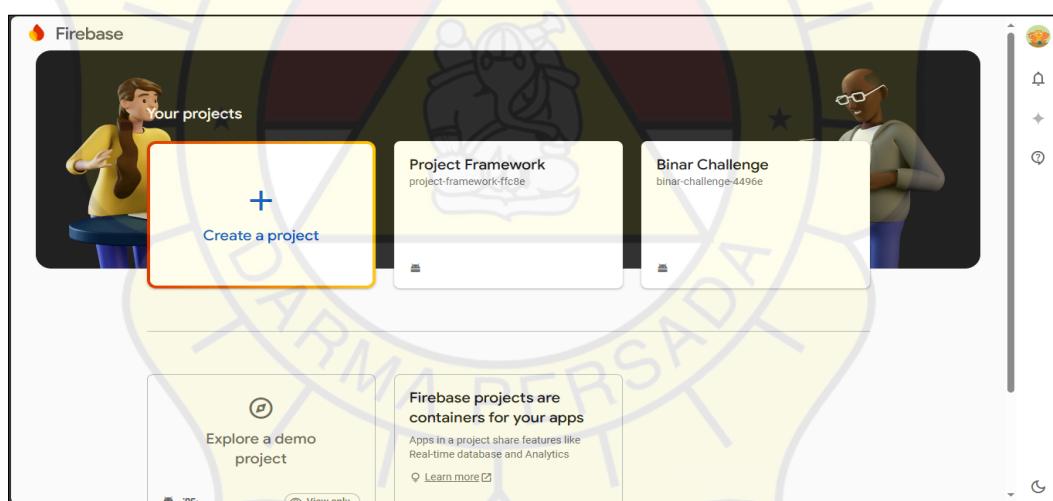
Keunggulan lainnya adalah kompatibilitas Android dengan berbagai perangkat *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan aplikasi mendukung koneksi dan memantau kondisi tanaman secara *real-time*. Sebagai platform *open-source*, Android memberikan fleksibilitas bagi pengembang untuk menyesuaikan aplikasi sesuai kebutuhan tanpa biaya lisensi, sehingga lebih ekonomis. Selain itu, skalabilitas Android memudahkan aplikasi berjalan di berbagai perangkat dengan spesifikasi berbeda, menjadikannya pilihan ideal untuk sistem yang dapat diperluas dan disesuaikan di masa depan.

2.1.22 *Firebase*

Firebase merupakan layanan milik Google yang dirancang untuk mempermudah para developer dalam mengembangkan aplikasi. Dengan menggunakan *Firebase*, Google menyediakan berbagai alat dan fitur yang mendukung proses pengembangan aplikasi, sehingga developer dapat menciptakan aplikasi dengan lebih efisien dan praktis. Dengan menggunakan layanan cloud service provider dan backend, developer aplikasi dapat fokus mengembangkan

aplikasi tanpa perlu membangun fitur yang sudah ada pada aplikasi sebelumnya. *Firebase* menyediakan berbagai SDK yang memungkinkan integrasi aplikasi dengan berbagai platform, seperti Unity, Android, iOS, JavaScript, dan C++ (Purnomo et al., 2020, hlm. 24-25).

Penelitian yang akan dikembangkan memanfaatkan *Firebase* karena fitur-fiturnya yang meliputi penyimpanan data, otentikasi pengguna, notifikasi, dan berbagai library yang mendukung integrasi dengan platform seperti Android dan iOS. Salah satu keunggulan *Firebase* adalah kemampuan menyinkronkan data secara *real-time* melalui *Firebase Realtime Database*. Dengan *Firebase*, peneliti dapat memantau kondisi dan performa sistem melalui aplikasi, sehingga mempermudah evaluasi dan pengumpulan data secara efektif.

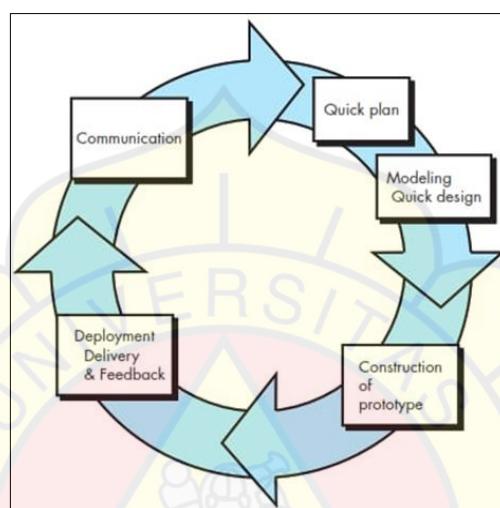


Gambar 2.13 Tampilan *Firebase Console*

2.1.23 Metode *Prototype*

Metode prototipe adalah pendekatan dalam pengembangan perangkat lunak yang bertujuan untuk memodelkan dan membuat aplikasi secara efektif. Pendekatan ini sering digunakan dalam sistem informasi ketika pengguna memiliki visi umum tentang perangkat lunak, tetapi belum dapat merinci kebutuhan fitur dan

fungsinya. Prototipe berfungsi sebagai alat untuk mendapatkan umpan balik dari pengguna mengenai sistem yang diusulkan sekaligus menggambarkan bagaimana sistem tersebut dapat memenuhi kebutuhan informasi mereka. Metode ini sering diterapkan dalam pengembangan sistem informasi, terutama ketika spesifikasi rinci dari klien masih belum ditentukan sepenuhnya (Syarif & Risdiansyah, 2024).



Gambar 2.14 Pengembangan Penelitian Dengan Metode Prototype

(Sumber: Syarif & Risdiansyah, 2024)

Uraian metode prototipe untuk perancangan sistem terdiri dari beberapa tahap:

1. *Communication*, tahap komunikasi adalah fase awal yang sangat penting, di mana terjadi interaksi intens antara pengembang sistem dan pengguna akhir. Pada tahap ini, pengembang melakukan wawancara semi-terstruktur untuk mengidentifikasi masalah yang dihadapi pengguna. Tujuannya adalah untuk mengumpulkan informasi yang relevan dan menentukan prioritas masalah yang perlu diatasi.
2. *Quick Plan*, setelah tahap komunikasi, pengembang melanjutkan ke tahap perencanaan cepat. Pada fase ini, langkah-langkah awal direncanakan untuk memulai proyek dengan efisien. Pengembang mengidentifikasi tujuan

utama dan sasaran proyek, menentukan ruang lingkup, serta merencanakan sumber daya dan penjadwalan. Dengan merumuskan rencana yang jelas, pengembang dapat menghindari kebingungan dan keterlambatan yang disebabkan oleh detail yang berlebihan.

3. *Modeling Quick Design* (MQD), di tahap *Modeling Quick Design* (MQD), fokus beralih ke pembuatan desain sistem dengan cepat. Pengembang menciptakan model atau desain sistem yang dapat dilakukan dengan efisien seperti diagram pemodelan sistem menggunakan *use case* diagram dan *activity* diagram. Tahap ini bertujuan untuk merangkum kebutuhan sistem dalam bentuk visual yang memudahkan pemahaman.
4. *Construction of Prototype*, tahap ini adalah fase implementasi di mana prototipe sistem dibangun. Pengembang menggunakan aplikasi seperti Figma untuk mendesain antarmuka sistem. Figma dipilih karena kemudahan penggunaannya dalam proses desain interface, terutama untuk rancangan berbasis *mobile*. Dengan Figma, peneliti dapat mendesain antarmuka kapan saja dan di mana saja asalkan terhubung dengan internet. Tahap ini juga mencakup pengujian desain antarmuka yang telah dibuat untuk memastikan bahwa antarmuka yang dihasilkan sesuai dengan kebutuhan pengguna.
5. *Deployment Delivery and Feedback*, tahap terakhir adalah penyampaian prototipe kepada pengguna dan pengumpulan umpan balik. Umpan balik ini penting untuk mengevaluasi desain yang telah dibuat dan mengidentifikasi area yang perlu disempurnakan. Metode yang digunakan untuk mengumpulkan umpan balik adalah *Black-Box Testing*, yang memberikan wawasan tentang bagaimana fungsi sistem bekerja sesuai spesifikasi yang

diharapkan oleh pengguna. Informasi yang diperoleh dari umpan balik ini akan digunakan untuk mengimplementasikan perubahan dan menyempurnakan rancangan sistem yang sedang dikembangkan.

Penelitian yang akan dikembangkan menggunakan metode prototipe untuk merancang sistem monitoring pertumbuhan tanaman yang mengintegrasikan sensor, otomatisasi penyiraman, dan pemberian pupuk cair. Proses dimulai dengan tahap komunikasi, di mana peneliti dan pengguna berinteraksi untuk mengidentifikasi masalah dan menentukan prioritas. Tahapan berikutnya adalah perencanaan proyek, disusul oleh *Modeling Quick Design* (MQD) yang fokus pada desain sistem cepat dan efisien. Setelah desain dibuat, prototipe dibangun dan diuji untuk mengevaluasi antarmuka yang dihasilkan. Tahap akhir adalah pengiriman dan pengumpulan umpan balik dari pengguna, menggunakan metode seperti *Black-Box Testing* untuk mengevaluasi efektivitas sistem. Umpan balik ini sangat penting untuk menyempurnakan dan mengimplementasikan desain sistem informasi yang dikembangkan, memastikan bahwa sistem akhir sesuai dengan harapan dan kebutuhan pengguna. Dengan menerapkan metode prototipe, penelitian ini dapat menghasilkan solusi yang lebih baik dan lebih sesuai untuk masalah yang dihadapi dalam pemantauan pertumbuhan tanaman.

2.2 Kajian Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul	Tahun	Penulis	Hasil Penelitian
1	Rancang Bangun Smart Greenhouse untuk Budidaya Tanaman Sawi	2023	Kolo et al.	Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa sistem otomasi dalam budidaya tanaman pakcoy melalui <i>smart greenhouse</i> berbasis mikrokontroler telah menunjukkan hasil yang

	Pakcoy (<i>Brassica rapa</i> <i>subsp.</i>) Berbasis Android			<p>signifikan dalam mengoptimalkan suhu dan kelembapan untuk pertumbuhan tanaman pakcoy. Sistem tersebut memanfaatkan sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara secara akurat, serta melibatkan teknologi Arduino Uno untuk mengendalikan penyiraman tanaman secara otomatis.</p> <p>Penelitian tersebut berfokus pada pemantauan dan pengendalian dari jarak jauh menggunakan aplikasi berbasis Android, yang memungkinkan penyesuaian kondisi iklim guna mengoptimalkan pertumbuhan tanaman.</p>
2	<i>Growth and Yield Production of Pakcoy as Influenced by Artificial Light Irradiation</i>	2023	Utami et al.	<p>Penelitian ini mendapatkan hasil bahwa penggunaan cahaya buatan dalam sistem hidroponik <i>indoor</i> telah terbukti mempengaruhi pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy secara signifikan.</p> <p>Penelitian ini menunjukkan bahwa lama penyinaran LED pada tingkat intensitas 100 umol/m²/s berpengaruh pada pertumbuhan, hasil, serta kandungan nutrisi tanaman. Hasil terbaik untuk pertumbuhan dan kandungan vitamin C pakcoy diperoleh dengan penyinaran selama 24 jam per hari, sementara kandungan protein tertinggi diperoleh pada penyinaran selama 16 jam per hari. Namun, tantangan utama dalam penelitian ini adalah penggunaan energi listrik yang tinggi, yang masih menjadi kendala dalam budidaya tanaman <i>indoor</i> dengan cahaya buatan.</p>

3	Aplikasi Sistem Irigasi Tetes Berbasis Mikrokontroler Arduino dalam Budidaya Tanaman Pakcoy (<i>Brassica rapa L.</i>)	2023	Silitonga et al.	<p>Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem irigasi tetes berbasis mikrokontroler Arduino dengan berbagai sensor telah berhasil mendukung pertumbuhan dan hasil tanaman pakcoy secara optimal.</p> <p>Sistem ini menggunakan sensor kelembapan tanah untuk mendeteksi kelembapan di bawah 60%, sehingga katup otomatis membuka untuk mengairi tanaman. Sensor lainnya, seperti sensor ultrasonik untuk memantau ketinggian air, sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, serta sensor cahaya GY-49 Lux untuk memantau intensitas cahaya, juga berperan penting dalam operasional sistem.</p> <p>Hasil penelitian menunjukkan sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air dalam budidaya pakcoy, meskipun pengembangan lebih lanjut diperlukan untuk mengatasi potensi kendala seperti ketergantungan pada daya listrik.</p>
4	Implementasi Alat Penyiram Tanaman Otomatis Menggunakan Mikrokontroler NodeMCU ESP8266 Lolin	2023	Malis et al.	<p>Penelitian ini membuktikan bahwa sistem otomatis berbasis NodeMCU ESP8266 efektif dalam memudahkan proses penyiraman tanaman secara jarak jauh. Sistem ini bekerja dengan menggunakan sensor kelembapan tanah untuk memantau kadar air di sekitar tanaman, serta sensor ultrasonik untuk memantau ketersediaan air pada wadah penyiraman.</p> <p>NodeMCU ESP8266, yang dilengkapi dengan modul WiFi, memungkinkan pemilik tanaman</p>

				<p>untuk memantau dan mengontrol penyiraman dari jarak jauh melalui aplikasi Telegram pada smartphone. Sistem ini mengirimkan notifikasi mengenai kadar kelembapan tanah dan ketinggian air serta memberikan peringatan penyiraman secara <i>real-time</i>.</p> <p>Pengujian alat menunjukkan keakuratan sistem mencapai rata-rata 75%, sehingga sistem ini efektif digunakan, terutama ketika pemilik tanaman harus meninggalkan lokasi untuk jangka waktu yang lama. Dengan metode prototipe yang diterapkan, penelitian ini berhasil merancang alat penyiraman otomatis yang responsif terhadap kondisi tanaman dan dapat dioperasikan tanpa harus berada di lokasi penyiraman.</p>
5	Pemantauan Penyiraman Tanaman Secara Otomatis Menggunakan NodeMCU ESP8266 Berbasis Web	2022	Aditama & Mulyati	<p>Penelitian ini membuktikan bahwa sistem otomatis berbasis NodeMCU ESP8266 yang terhubung ke internet efektif dalam memudahkan proses pemantauan dan penyiraman tanaman dari jarak jauh. Sistem ini menggunakan Capacitive Soil Moisture Sensor untuk mendeteksi kelembapan tanah, yang secara otomatis akan mengaktifkan pompa air ketika nilai kelembapan tanah mencapai atau melebihi 550 Pa.</p> <p>Selain itu, alat ini dilengkapi dengan sensor DHT11 yang mengukur suhu udara, kelembapan udara, dan kondisi cuaca. Data tersebut dikirimkan melalui bot Telegram dan dapat ditampilkan di halaman web, memungkinkan pemilik tanaman untuk melakukan pemantauan</p>

				<p>secara <i>real-time</i> dan mengontrol alat dari mana saja tanpa mengganggu aktivitas atau kesibukan sehari-hari.</p> <p>Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini bekerja secara otomatis sesuai dengan kondisi tanah, serta memberikan notifikasi melalui aplikasi Telegram, sehingga pengguna dapat memantau dan mengontrol penyiraman tanaman dengan mudah. Hal ini menjadikan sistem ini sebagai solusi berbasis IoT yang praktis dan responsif terhadap kondisi lingkungan tanaman.</p>
6	Rancangan Alat Penyiram dan Pemupukan Tanaman Otomatis Menggunakan RTC dan <i>Soil Moisture</i> Sensor Berbasis Arduino	2020	Sinaga & Aswardi	<p>Penelitian ini membuktikan bahwa sistem otomatisasi penyiraman dan pemupukan berbasis Arduino berhasil menjadi solusi yang efektif untuk membantu petani dalam perawatan tanaman. Sistem ini menggunakan sensor kelembaban tanah (<i>Soil Moisture Sensor</i>) untuk mendeteksi kadar air dalam tanah dan mengontrol penyiraman berdasarkan nilai <i>set point</i> tertentu (dengan penyiraman mulai saat kelembaban tanah di atas 700 dan berhenti pada kisaran 650). Selain itu, alat ini dilengkapi dengan <i>Real Time Clock</i> (RTC) untuk menjadwalkan pemberian pupuk cair secara otomatis pada waktu yang telah diatur sebelumnya, sesuai dengan kebutuhan tanaman.</p> <p>Sistem otomatis ini terbukti mampu menghemat waktu dan tenaga yang biasanya dihabiskan untuk penyiraman dan pemupukan manual. Dengan</p>

				<p>adanya mikrokontroler Arduino sebagai pusat kendali, alat ini dapat secara akurat mengatur pemberian air dan pupuk sesuai dengan kondisi tanah, yang pada gilirannya dapat meningkatkan produktivitas tanaman. Hal ini penting terutama bagi petani yang membutuhkan efisiensi dalam perawatan tanaman yang berkelanjutan.</p>
7	<i>Smart Indoor Plantation System Using Soil Moisture Sensor and Light Dependent Resistor Sensor</i>	2022	Abu et al.	<p>Penelitian ini membuktikan bahwa sistem otomatisasi penanaman dalam ruangan menggunakan sensor kelembapan tanah resistif dan sensor cahaya (<i>Light Dependent Resistor</i>) berhasil diterapkan dan berfungsi dengan baik. Sistem ini memungkinkan irigasi otomatis dengan kontrol yang optimal, menjaga kelembapan tanah sesuai kebutuhan tanaman.</p> <p>Penelitian ini menemukan bahwa tanaman tidak memerlukan banyak air untuk bertahan hidup, tetapi penyiraman berlebihan justru dapat merusak tanaman. Sensor kelembapan tanah membantu menentukan kelembapan di setiap area, sehingga pompa air dapat menyiram tanaman sesuai jumlah yang diperlukan, memberikan solusi bagi individu dengan jadwal padat yang tidak dapat memantau tanaman secara rutin. Sistem ini dirancang untuk memungkinkan pemilik tanaman meninggalkan tanaman di dalam ruangan tanpa perlu pemantauan harian, dan cocok bagi mereka yang memiliki rutinitas sibuk.</p> <p>Penelitian ini juga menyarankan peningkatan di masa depan,</p>

				termasuk mengganti sensor kelembapan tanah resistif dengan sensor yang lebih presisi, penggunaan panel surya untuk efisiensi daya, dan pengembangan aplikasi berbasis <i>Internet of Things</i> (IoT) yang terhubung dengan perangkat seluler untuk meningkatkan kemudahan kontrol dan pemantauan.
--	--	--	--	--

