

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

2.1.1 *Internet of Things*

Internet of Things (IoT) merupakan konsep yang menghubungkan perangkat fisik ke internet untuk berkomunikasi dan berbagi data secara bebas. Komponen-komponen utama dalam ekosistem IoT termasuk sensor, perangkat terhubung, jaringan komunikasi, platform, dan aplikasi. Teknologi sensor memungkinkan perangkat untuk mendeteksi dan mengukur berbagai parameter fisik, sedangkan konektivitas nirkabel seperti Wi-Fi dan Bluetooth menjadi tulang punggung komunikasi dalam sistem IoT. Selain itu, komputasi awan (*cloud computing*) mendukung penyimpanan dan analisis data dalam skala besar, sedangkan big data dan kecerdasan buatan (AI) berperan penting dalam memproses dan mengambil wawasan dari volume data besar yang dihasilkan oleh perangkat IoT. (Erwin et al., 2023)

2.1.2 *Platform Blynk*

Blynk adalah platform untuk IOS atau Android yang digunakan untuk mengendalikan module arduino, Rasbery Pi, Wemos dan module sejenisnya melalui internet. Aplikasi ini sangat mudah digunakan bagi orang yang masih awam. Aplikasi ini memiliki banyak fitur yang memudahkan pengguna dalam memakainya. Cara membuat projek di aplikasi ini sangat gampang, tidak sampai 5 menit yaitu dengan cara drag and drop. Blynk tidak terkait dengan module atau papan tertentu.

Dari aplikasi inilah kita dapat mengontrol apapun dari jarak jauh dimana pun kita berada dengan catatan terhubung dengan internet. Hal inilah yang disebut dengan IOT (Internet of Things). (Tobing, et al., D. 2024)

2.1.3 Mikrokontroler ESP 32

ESP32-WROOM adalah modul berbasis chip ESP32 yang dirancang oleh *Espressif Systems*. ESP32 adalah SoC (*System on Chip*) yang menawarkan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth. ESP32-WROOM memiliki kemampuan dual-core yang memungkinkan pemrosesan lebih cepat dan efisien. Chip ini juga mendukung frekuensi operasi hingga 240 MHz, memori RAM sebesar 520 KB, serta memiliki berbagai antarmuka digital dan analog yang memungkinkan integrasi dengan berbagai perangkat keras lain, seperti sensor dan aktuator.

2.1.3.1 Fitur Utama ESP32-WROOM (30 Pin)

Modul ESP32-WROOM merupakan salah satu mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan sistem Internet of Things (IoT) karena memiliki berbagai fitur unggulan. Modul ini telah mendukung konektivitas Wi-Fi (802.11 b/g/n), sehingga memungkinkan perangkat untuk terhubung secara nirkabel dalam jaringan IoT. Selain itu, ESP32-WROOM juga dilengkapi dengan Bluetooth versi 4.2 serta Bluetooth Low Energy (BLE), yang memberikan fleksibilitas dalam komunikasi jarak dekat antarperangkat (Espressif Systems, 2023).

Dari sisi pemrosesan, modul ini menggunakan prosesor 32-bit Xtensa LX6 dual-core, yang mampu menjalankan beberapa proses secara paralel dengan efisiensi tinggi. ESP32-WROOM juga menyediakan sekitar 30 pin GPIO (General Purpose Input/Output) yang bersifat multifungsi dan dapat digunakan untuk

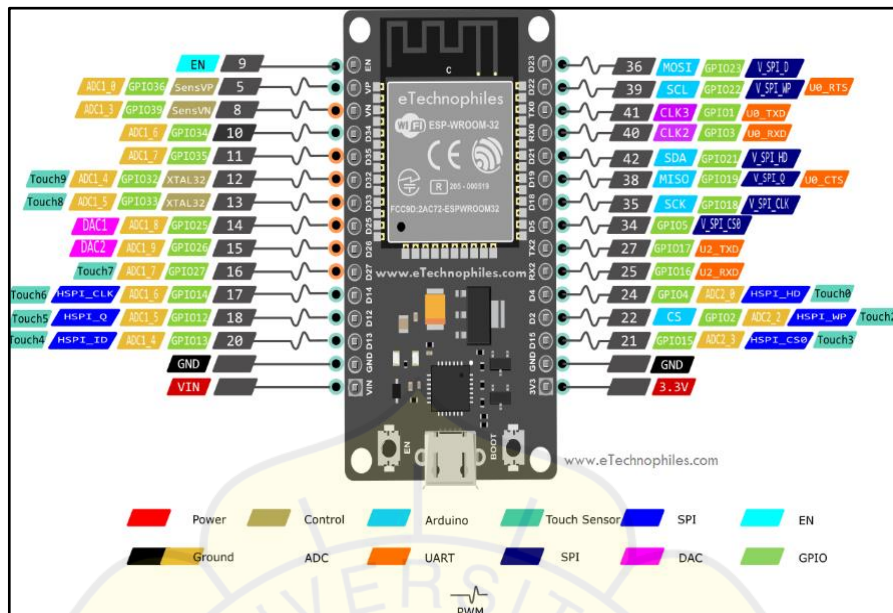
berbagai kebutuhan seperti PWM, I2C, SPI, UART, serta ADC (Espressif Systems, 2023).

Selain itu, modul ini dilengkapi dengan ADC (Analog to Digital Converter) hingga 18 saluran dengan resolusi 12-bit, yang memungkinkan pembacaan sinyal analog dari sensor, misalnya sensor suhu atau kelembapan. Tersedia pula 2 saluran DAC (Digital to Analog Converter) dengan resolusi 8-bit untuk menghasilkan sinyal analog. ESP32-WROOM juga memiliki 4 timer hardware 64-bit yang dapat dimanfaatkan untuk pengaturan waktu dengan tingkat akurasi tinggi (Suryaningsih et al., 2024).

Fitur PWM (Pulse Width Modulation) memungkinkan kontrol terhadap perangkat seperti motor servo atau intensitas cahaya LED. Selain itu, dukungan terhadap I2C dan SPI memungkinkan komunikasi antarperangkat eksternal seperti sensor dan tampilan LCD, sedangkan UART berfungsi sebagai antarmuka komunikasi serial yang umum digunakan untuk proses debugging maupun koneksi ke modul lain (Prasetyo & Rakhman, 2022).

2.1.3.2 *Arsitektur dan Pin-Out ESP32 (30 Pin)*

Gambar 2.1 berikut memperlihatkan arsitektur pin-out dari modul ESP32-WROOM (30 pin) yang digunakan dalam penelitian ini. Gambar tersebut menunjukkan setiap pin yang memiliki fungsi berbeda sesuai dengan kebutuhan sistem, termasuk pin daya, komunikasi data, dan kontrol sensor. Diagram pin-out ini berfungsi sebagai panduan dalam proses perancangan dan integrasi perangkat keras sistem monitoring IoT yang dikembangkan.



Gambar 2.1. ESP 32

Berdasarkan Gambar 2.1, penjelasan fungsi pin utama ESP32-WROOM adalah sebagai berikut:

A. Pin Daya:

1. 3V3: Pin ini menyediakan tegangan 3.3V untuk modul dan sensor yang membutuhkan daya rendah.
2. GND: Pin ini adalah ground untuk sistem, dihubungkan ke ground dari seluruh rangkaian.
3. EN: Pin ini digunakan untuk mengaktifkan modul ESP32. Jika pin ini diberi tegangan rendah, modul akan masuk ke mode reset. (Nazir et al., 2023)

Selain tiga pin utama tersebut, pin lain seperti GPIO 21 hingga 36 berfungsi untuk komunikasi serial, kontrol sensor, serta pemrosesan sinyal digital dan analog. Arsitektur pin yang fleksibel ini menjadikan ESP32-WROOM ideal untuk sistem

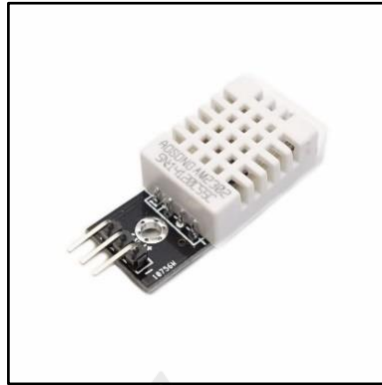
monitoring pertanian berbasis IoT, karena dapat menghubungkan berbagai sensor secara efisien dan real-time (Prasetyo & Rakhman, 2022).

Dengan rancangan pin-out yang terintegrasi sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.1, modul ESP32-WROOM memberikan kemudahan bagi pengembang untuk merancang sistem IoT yang adaptif, hemat daya, dan mendukung berbagai protokol komunikasi modern.

2.1.4 Sensor DHT22 (Suhu dan Kelembapan Udara)

Sensor DHT22 digunakan untuk memantau suhu dan kelembapan udara, dua faktor lingkungan yang sangat penting dalam fotosintesis dan transpirasi tanaman. Suhu optimal berkisar antara 22–26°C dan kelembapan udara di atas 60% diperlukan untuk memastikan metabolisme tanaman berjalan maksimal. Data ini digunakan sebagai acuan dalam mengaktifkan sistem pendingin atau pemanas agar suhu tetap stabil (Okyanida et al., 2024).

Gambar 2.2 memperlihatkan bentuk fisik sensor DHT22 yang digunakan dalam sistem *monitoring IoT* penelitian ini. Sensor ini memiliki bentuk kompak dengan tiga pin utama, yaitu VCC, DATA, dan GND, yang terhubung langsung ke mikrokontroler ESP32. Pin VCC digunakan untuk memberikan suplai daya sebesar 3,3–5V, pin DATA berfungsi sebagai jalur pengiriman sinyal digital hasil pengukuran suhu dan kelembapan, sementara pin GND berfungsi sebagai ground dari sistem.



Gambar 2.2. Sensor DHT 22

Sensor DHT22 bekerja dengan memanfaatkan komponen kapasitif humidity sensor untuk mengukur kelembapan udara dan thermistor untuk mengukur suhu. Sinyal analog dari kedua sensor tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal digital melalui modul internal, sehingga hasil pengukuran dapat langsung dikirimkan ke mikrokontroler tanpa memerlukan konverter eksternal. Keunggulan lain dari DHT22 adalah tingkat akurasi yang tinggi, dengan toleransi kesalahan pengukuran suhu hanya $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dan kelembapan $\pm 2\%$ RH, sehingga cocok digunakan dalam sistem pertanian presisi berbasis IoT (Okryanida et al., 2024).

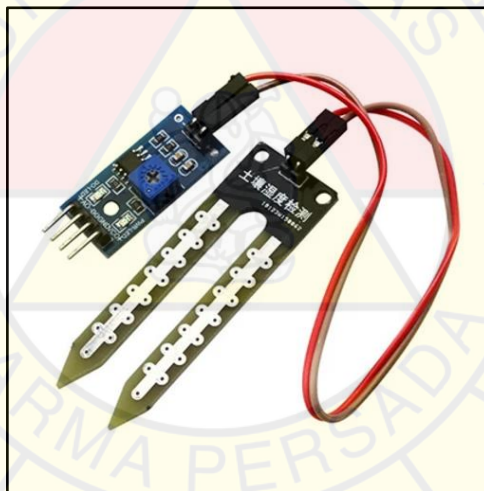
Penelitian oleh Safitrah et al. (2024) menunjukkan bahwa suhu lingkungan berpengaruh signifikan terhadap tinggi tanaman dan kandungan nutrisi seperti klorofil. Dengan memanfaatkan DHT22, sistem dapat mengurangi risiko stres termal yang berakibat buruk pada produktivitas tanaman *microgreen*.

2.1.5 Sensor *Soil Moisture* (Kelembapan Tanah)

Sensor soil moisture mengukur kadar air dalam media tanam. Hal ini penting karena kelebihan atau kekurangan air dapat menghambat penyerapan nutrisi oleh akar. Berdasarkan data dari Laksana et al. (2023), tingkat kelembapan ideal media

tanam berkisar antara 30–60%, dan penyiraman otomatis diperlukan saat nilai turun di bawah ambang batas.

Gambar 2.3 memperlihatkan bentuk fisik sensor *Soil Moisture* yang digunakan dalam sistem *Internet of Things (IoT)* penelitian ini. Sensor ini terdiri atas dua bagian utama, yaitu probe pengukur kelembapan dan modul pengendali sinyal digital. Probe terbuat dari dua elektroda logam yang berfungsi untuk mendeteksi resistansi tanah. Nilai resistansi tersebut kemudian diubah menjadi sinyal analog oleh modul pengendali, yang selanjutnya dikonversi menjadi data digital oleh mikrokontroler untuk dianalisis.



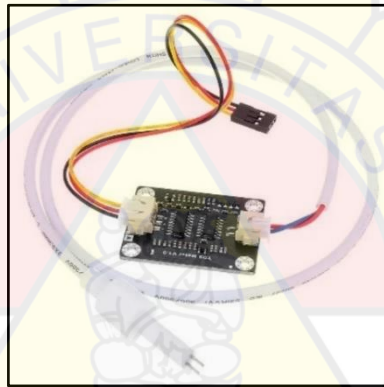
Gambar 2.3. Sensor Soil Moisture

Sensor ini bekerja berdasarkan prinsip konduktivitas listrik tanah, di mana tanah yang lembap memiliki resistansi rendah, sedangkan tanah kering memiliki resistansi tinggi. Nilai kelembapan yang terukur kemudian dikirim ke mikrokontroler ESP32 sebagai variabel input untuk mengontrol sistem penyiraman otomatis. Berdasarkan hasil penelitian oleh Laksana et al. (2023), tingkat

kelembapan ideal media tanam berkisar antara 30–60%, dan penyiraman otomatis direkomendasikan ketika kadar air turun di bawah ambang batas tersebut.

Dalam penelitian oleh Saputra et al. (2022), pemanfaatan *soil moisture* sensor terbukti meningkatkan efisiensi penggunaan air hingga 35% dibanding metode manual. Sensor ini menjadi variabel input kunci dalam sistem irigasi otomatis berbasis kebutuhan aktual tanaman.

2.1.6 Sensor TDS (*Total Dissolved Solids*)



Gambar 2.4. Sensor TDS

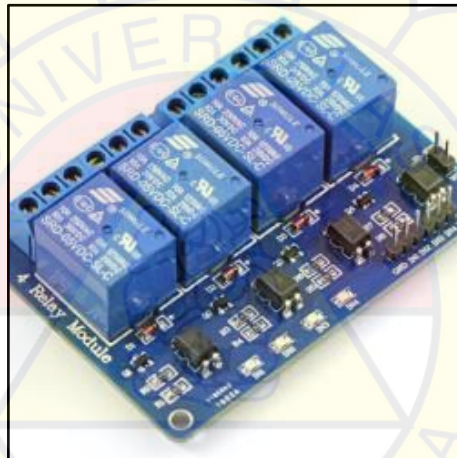
Sensor TDS digunakan untuk mengukur tingkat kepekatan larutan nutrisi (ppm). Dalam sistem *hidroponik* atau *microgreen*, kadar TDS yang tepat mendukung penyerapan unsur hara oleh tanaman. Nilai ideal berkisar antara 560–840 ppm untuk tanaman daun seperti sawi hijau (Fuada et al., 2023).

Gambar 2.4 menunjukkan bentuk fisik sensor TDS yang digunakan dalam penelitian ini. Sensor ini terdiri dari probe elektroda pengukur dan modul pengolahan sinyal yang terhubung ke mikrokontroler melalui kabel penghubung tiga jalur. Probe elektroda berfungsi mendeteksi konduktivitas larutan, sedangkan modul

konversi sinyal mengubah hasil pengukuran menjadi data digital untuk diproses oleh sistem.

Syahputra (2024) menyatakan bahwa konsentrasi TDS yang tidak dikontrol dapat menyebabkan gejala defisiensi atau kelebihan unsur hara, sehingga mengganggu pertumbuhan tanaman. Oleh karena itu, TDS menjadi variabel krusial dalam kontrol kualitas larutan nutrisi secara otomatis dalam sistem ini.

2.1.7 Relay 4 Channel & Power Supply



Gambar 2.5. Relay 4 Channel

Relay 4 channel bertindak sebagai saklar elektronik yang dikendalikan mikrokontroler untuk mengatur hidup-matinya pompa, dan LED secara otomatis. Dalam sistem monitoring ini, setiap saluran relay dapat menjalankan satu aktuator, memungkinkan pengaturan yang fleksibel dan efisien. Laksana et al. (2023) menyebut bahwa penggunaan relay penting untuk memastikan kestabilan arus dan pengaturan logika otomatis berbasis kondisi lingkungan.

Gambar 2.5 memperlihatkan bentuk fisik modul Relay 4 Channel yang digunakan dalam penelitian ini. Modul ini terdiri dari empat komponen relay biru

utama, masing-masing terhubung dengan terminal input, output, dan *signal control* yang dihubungkan ke mikrokontroler. Setiap relay berfungsi sebagai saklar independen yang bekerja berdasarkan sinyal logika tinggi (HIGH) atau rendah (LOW) dari mikrokontroler.

Sementara itu, power supply berperan menyediakan daya konstan ke semua komponen elektronik. Ketidakkonsistenan daya dapat menyebabkan kerusakan sensor dan error pembacaan. Saputra et al. (2022) menekankan pentingnya sumber daya stabil agar sistem IoT dapat berfungsi secara kontinu tanpa gangguan.

2.1.8 Pompa



Gambar 2.6. Pompa 12 V

Pompa digunakan untuk mengalirkan air ke media tanam, sedangkan sprinkle mendistribusikan air secara merata. Kedua alat ini diaktifkan oleh sistem secara otomatis berdasarkan pembacaan sensor *soil moisture*. Safitrah et al. (2024) membuktikan bahwa sistem penyiraman otomatis menghemat hingga 45% penggunaan air tanpa mengurangi hasil panen.

Gambar 2.6 menunjukkan bentuk fisik pompa air tipe R385 yang digunakan dalam penelitian ini. Pompa ini memiliki spesifikasi tegangan kerja 6–12V atau 24V, dengan kemampuan menghasilkan tekanan yang cukup tinggi untuk mendukung sirkulasi air dalam sistem pertanian skala kecil hingga menengah. Pompa terhubung dengan sistem melalui modul relay yang berfungsi sebagai saklar otomatis untuk menghidupkan atau mematikan pompa sesuai kebutuhan tanaman.

Fungsi ini sangat penting pada *urban farming*, di mana efisiensi menjadi faktor utama. Dalam penelitian Rintyarna et al. (2023), sistem irigasi berbasis sensor yang dikontrol relay dan pompa menunjukkan respons cepat terhadap perubahan kelembapan tanah, menjaga kondisi tanaman tetap optimal setiap saat.

2.1.9 Sensor *Soil Analyzer* NPK



Gambar 2.7 Sensor *Soil Analyzer* NPK

Dalam implementasi IoT untuk pertanian presisi, sensor NPK tanah berbasis IoT dan Arduino sangat berperan dalam mengukur konsentrasi Nitrogen (N), Posfor (P), dan Kalium (K) secara real-time. Penelitian oleh Pratama & Zaeni (2024) menunjukkan bahwa sensor NPK mampu mendeteksi kadar nutrisi meskipun kondisi kelembapan tanah bervariasi—basah, lembab, dan sangat kering—dengan

akurasi tinggi pada kondisi basah dan lembab, serta mentransmisikan data secara langsung ke smartphone melalui platform IoT.

Gambar 2.7 memperlihatkan bentuk fisik sensor NPK tanah berbasis IoT yang digunakan dalam penelitian ini. Sensor ini memiliki tiga probe logam yang berfungsi untuk mendeteksi Nitrogen (N), Posfor (P), dan Kalium (K) dalam tanah, serta dilengkapi dengan kabel penghubung yang terintegrasi dengan modul komunikasi berbasis RS485. Modul ini mengirimkan data hasil pengukuran ke mikrokontroler Arduino atau ESP32 untuk kemudian diteruskan ke platform IoT melalui jaringan nirkabel.

Selain akurasi bacaannya, aspek jaringan IoT juga memberikan keuntungan dalam efisiensi pengelolaan lahan. Studi pada tanaman anggur menunjukkan bahwa penggunaan Wireless Sensor Network (WSN) yang menggabungkan node-sensor NPK dan logika fuzzy memungkinkan pemantauan kontinu serta keputusan pemupukan otomatis berdasarkan data nutrisi aktual. Pendekatan ini terbukti mengurangi penggunaan pupuk berlebih dan mengoptimalkan pertumbuhan tanaman dengan meminimalkan residu lingkungan. (Setiawan et al., 2023)

Lebih jauh, aplikasi langsung pada tanaman Brassica (pak-coy) memperlihatkan bahwa sensor NPK berbasis IoT meningkatkan pertumbuhan tanaman secara signifikan dibandingkan metode manual. Hasilnya adalah peningkatan biomassa dan efisiensi nutrisi menunjukkan bahwa teknologi ini sangat potensial untuk *ecocultivation microgreen* sawi hijau. Dengan demikian, penggunaan sensor NPK IoT membawa manfaat ganda: akurasi nutrisi, otomatisasi pertanian, dan kinerja tanaman yang lebih optimal. (Sari & Hidayat, 2023)

2.1.10 LED *Grow Light*



Gambar 2.8. LED *Grow Light*

LED *grow light* seperti pada Gambar 2.8 digunakan untuk menggantikan sinar matahari dan memberikan spektrum cahaya yang sesuai untuk pertumbuhan vegetatif tanaman. Warna merah dan biru pada LED mempercepat fotosintesis dan pembentukan daun. Menurut Okyanida et al. (2024), pencahayaan dengan intensitas $200 \mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ dan durasi 14–16 jam/hari menghasilkan tinggi tanaman terbaik dan kadar nutrisi yang lebih tinggi.

LED dapat dikendalikan menggunakan relay dan dikombinasikan dengan sensor cahaya atau timer. Penelitian oleh Safitrah et al. (2024) juga menyatakan bahwa penggunaan LED *grow light* meningkatkan tinggi tanaman hingga 25% dibanding tanpa pencahayaan buatan.

2.1.11 Tanaman *Microgreen* Sawi Hijau (*Brassica juncea*)



Gambar 2.9. Tanaman *Microgreen* Sawi Hijau

Tanaman *microgreen* sawi hijau seperti pada Gambar 2.9 adalah jenis sayuran *microgreen* yang dapat dipanen dalam waktu 7–14 hari. Karena daur hidupnya pendek, pengaruh dari suhu, kelembapan, cahaya, dan nutrisi sangat signifikan terhadap hasil akhir seperti tinggi, warna daun, dan kandungan gizi. Menurut Syahputra (2024), sawi hijau cocok untuk *urban farming* karena cepat panen dan tidak memerlukan lahan besar.

Penelitian oleh Okyranida et al. (2024) menunjukkan bahwa pengaturan parameter lingkungan seperti suhu dan pencahayaan secara tepat akan meningkatkan tinggi tanaman hingga 15% dan kandungan vitamin C secara signifikan. Oleh karena itu, semua variabel dalam sistem IoT ini secara langsung mendukung hasil pertumbuhan optimal dari tanaman *microgreen*.

2.2 Paper Penelitian Terkait

2.2.1 Paper 1

Saputra, S., Jaenul, A., & Olivia, A. (2022). *Prototype sistem monitoring dan controlling budidaya microgreen dengan menggunakan website berbasis Internet of Things (IoT)*. *Jurnal Media Elektro*, 11(2), 178–188.

Jurnal ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring dan pengendalian budidaya tanaman *microgreen* secara otomatis menggunakan teknologi Internet of Things (IoT). Sistem ini mampu memantau suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan ketinggian air serta mengontrol penyiraman dan pencahayaan secara otomatis. Dengan dukungan website sebagai antarmuka, pengguna dapat memantau dan mengendalikan kondisi lingkungan tumbuh tanaman dari jarak jauh. Budidaya *microgreen* menjadi solusi pertanian *urban* di lahan sempit, namun perawatan parameter lingkungan yang tidak konsisten sering menjadi kendala. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menghadirkan solusi inovatif untuk menjaga stabilitas lingkungan tumbuh *microgreen* agar menghasilkan pertumbuhan yang optimal dengan pemanfaatan teknologi IoT.

2.2.1.1 Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem monitoring dan pengendalian budidaya *microgreen* secara otomatis.
2. Mengintegrasikan sensor-sensor lingkungan dengan sistem berbasis website.
3. Memberikan kontrol suhu, kelembapan, cahaya, dan penyiraman media tanam untuk meningkatkan kualitas pertumbuhan tanaman *microgreen*.

2.2.1.2 Alat dan Sensor yang Digunakan

1. Arduino Mega 2560 digunakan sebagai otak sistem pengontrol dan penghubung sensor serta aktuator.
2. ESP8266 digunakan untuk modul Wi-Fi untuk menghubungkan sistem ke website.
3. Sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara.
4. Sensor *Soil Moisture* digunakan untuk mengukur kelembapan media tanam.
5. Sensor *Water Level* digunakan mengukur ketinggian air dalam tangki.
6. Sensor LDR & *Lux Meter* digunakan untuk mengukur intensitas cahaya.
7. RTC DS323 digunakan untuk mengatur waktu aktif LED *Grow Light*.
8. Aktuator dalam penelitian ini terdapat LED *Grow Light*, kipas, motor pompa air, dan buzzer.

2.2.1.3 Metodologi

1. Desain sistem menggunakan pendekatan kuantitatif dan deskriptif dengan tahapan mulai dari perancangan hardware, software (website), dan pengujian sistem.
2. Website monitoring penelitian ini dibangun dengan PHP dan Bootstrap, berfungsi untuk mengontrol serta memantau parameter lingkungan secara real-time.
3. Pengumpulan data melalui pengukuran parameter selama 14 hari masa tanam dan analisis pertumbuhan tanaman *microgreen*.

2.2.1.4 Platform Website

Website berfungsi sebagai antarmuka monitoring dan pengendalian dari jarak jauh, memungkinkan pengguna untuk:

1. Memantau suhu, kelembapan, dan pencahayaan.
2. Mengatur waktu hidup/mati LED *Grow Light*.
3. Mengontrol penyiraman secara otomatis berdasarkan kelembapan media tanam.

2.2.1.5 Hasil dan Manfaat

1. Efektivitas sensor ini terjadi karena sensor DHT11 memiliki error suhu - 0,1% dan kelembapan 2%. *Soil Moisture* rata-rata 43%.
2. Kontrol otomatis menggunakan kipas aktif saat suhu $>30^{\circ}\text{C}$, pompa aktif saat kelembapan $<20\%$, dan LED menyala otomatis 12–18 jam/hari.
3. Pertumbuhan tanaman *microgreen* tumbuh hingga 8 cm dalam 14 hari. Lingkungan terkendali lebih efektif dibandingkan lingkungan luar.
4. Manfaat sistem dari penelitian ini mempermudah perawatan, meningkatkan efisiensi waktu, serta menjaga kualitas tanaman secara optimal.

2.2.1.6 Kesimpulan

Sistem monitoring dan *controlling microgreen* berbasis IoT yang dirancang dapat beroperasi otomatis dan dikendalikan jarak jauh. Sistem ini efektif dalam menjaga parameter lingkungan yang mendukung pertumbuhan optimal tanaman *microgreen* hingga mencapai 8 cm dalam 14 hari. Inovasi ini menawarkan solusi praktis bagi budidaya tanaman di ruang terbatas dengan efisiensi tinggi.

2.2.2 Paper 2

Okyanida, I. Y., Widia, C., Rayhan, A. S., Salsabila, D., & Seramaidra, C. I. (2024). Pengaruh intensitas cahaya dan suhu lingkungan terhadap pertumbuhan dan kandungan nutrisi *microgreen*. *Prosiding Seminar Nasional Sains (SINASIS)*, 5(1), 91–94. Universitas Indraprasta PGRI.

Jurnal ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh intensitas cahaya dan suhu lingkungan terhadap pertumbuhan serta kandungan nutrisi tanaman *microgreen* dalam kondisi terkendali. *Microgreen* merupakan tanaman mini bernutrisi tinggi yang digemari karena waktu panennya singkat dan cocok untuk pertanian *urban*. Namun, pengaturan suhu dan cahaya yang kurang tepat sering menjadi kendala bagi petani modern, khususnya yang memiliki keterbatasan lahan dan waktu. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menemukan kombinasi intensitas cahaya dan suhu yang optimal guna menghasilkan pertumbuhan *microgreen* yang maksimal baik dari segi tinggi tanaman, biomassa, maupun kandungan gizi seperti vitamin C dan antioksidan.

2.2.2.1 Tujuan Penelitian

1. Menganalisis pengaruh intensitas cahaya dan suhu terhadap pertumbuhan *microgreen*.
2. Menentukan kombinasi lingkungan yang menghasilkan tinggi tanaman dan biomassa terbaik.
3. Mengidentifikasi kondisi yang dapat meningkatkan kandungan vitamin C dan antioksidan.

2.2.2.2 Alat dan Variabel yang Digunakan

1. Jenis tanaman penelitian ini adalah *Microgreen* selada (*Lactuca sativa*).
2. Intensitas Cahaya terdapat di 100, 200, dan 300 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$.
3. Suhu lingkungan terdapat di 20°C, 25°C, dan 30°C.
4. Parameter yang diamati yaitu tinggi tanaman, biomassa basah dan kering, kadar klorofil, protein, vitamin C, dan antioksidan.

2.2.2.3 Metodologi

1. Desain eksperimen faktorial dengan 9 kombinasi perlakuan (cahaya \times suhu).
2. Masing-masing perlakuan diulang 3 kali.
3. Penelitian dilakukan di laboratorium dalam kondisi lingkungan terkendali.
4. Data dianalisis menggunakan ANOVA dan uji lanjut untuk melihat kombinasi terbaik.

2.2.2.4 Hasil dan Manfaat

1. Kondisi optimal di intensitas cahaya 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ dan suhu 25°C menghasilkan tinggi tanaman 15% lebih tinggi dan biomassa 20% lebih besar dibanding kombinasi lain.
2. Kandungan vitamin C dan antioksidan meningkat signifikan pada kondisi optimal.
3. Cahaya terlalu tinggi atau suhu terlalu rendah/tinggi menyebabkan stres tanaman dan penurunan kualitas nutrisi.
4. Hasil ini memberikan pedoman praktis bagi petani *urban* untuk mengatur suhu dan cahaya demi efisiensi dan kualitas hasil budidaya *microgreen*.

2.2.2.5 Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa pengaturan intensitas cahaya dan suhu yang tepat sangat penting dalam budidaya *microgreen*. Kombinasi 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2/\text{s}$ dan 25°C terbukti memberikan hasil terbaik dalam hal pertumbuhan dan kandungan nutrisi. Temuan ini diharapkan dapat menjadi solusi praktis untuk petani *urban* yang ingin meningkatkan kualitas produksi *microgreen* di lingkungan terbatas dan terkendali secara efisien dan berkelanjutan.

2.2.3 Paper 3

Safitrah, T., Khabibah, D. U., Eben Ezer, A., Fernando, B. S., Kauripan, E. B., Satrio, M. A., Maulidan, M. H., Aisy, N. A., Marcelita, F., & Fathonah, L. (2024). Optimasi pertumbuhan *microgreen* red radish melalui otomatisasi penyiraman, penyinaran, dan penyesuaian suhu berbasis IoT. *Jurnal ElektriKa*, 16(2), 111–119.

Jurnal ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sistem otomatisasi berbasis IoT untuk mengoptimalkan pertumbuhan tanaman *microgreen* red radish. Sistem ini mengintegrasikan pengendalian pencahayaan, penyiraman, dan suhu lingkungan secara otomatis serta memungkinkan pemantauan kondisi tanaman dari jarak jauh melalui website. *Microgreen* semakin diminati dalam praktik *urban farming* karena waktu panen yang singkat dan kandungan nutrisi yang tinggi. Namun, petani sering menghadapi tantangan dalam menjaga parameter lingkungan secara konsisten, terutama bagi mereka yang memiliki kesibukan tinggi.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem yang dapat mengatur kondisi lingkungan pertumbuhan *microgreen* secara otomatis dan efisien.

2.2.3.1 Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem otomatisasi untuk pencahayaan, penyiraman, dan pengaturan suhu tanaman *microgreen*.
2. Mengintegrasikan sistem dengan website untuk pemantauan jarak jauh.
3. Meningkatkan kualitas dan hasil panen tanaman *microgreen* red radish secara efisien.

2.2.3.2 Alat dan Sensor yang Digunakan

1. Mikrokontroler ESP32 dapat Mengelola sensor dan aktuator, serta terhubung ke jaringan untuk kontrol IoT.
2. LED Strip WS2812B Sebagai sumber cahaya untuk fotosintesis dengan spektrum warna yang disesuaikan.
3. Sensor *Soil Moisture* dapat Mengukur kelembapan media tanam dan mengaktifkan penyiraman otomatis.
4. Sensor Suhu DHT22 dapat Mengukur suhu dan kelembapan udara.
5. Sensor Ultrasonik HC-SR04 dapat Mengukur level air dalam tangki.
6. Sensor Suhu Air DS18B20 dapat Mengatur suhu air untuk kebutuhan optimal akar tanaman.
7. Solenoid Valve & Pompa Synleader dapat Mengatur aliran air ke media tanam secara otomatis.
8. Sensor LDR dapat Mendeteksi intensitas cahaya untuk memastikan LED berfungsi optimal.

2.2.3.3 Metodologi

1. Desain sistem dalam penelitian ini dirancang 3D dan skema rangkaian elektronik dilakukan menggunakan software seperti Fusion 360 dan Fritzing.
2. Pengumpulan data dipenelitian ini Menggunakan kombinasi data literatur dan observasi langsung selama 7 hari masa tanam.
3. Analisis data dalam penelitian ini menggunakan metode deskriptif dan korelasi untuk melihat hubungan antara parameter pertumbuhan dan respon sistem IoT terhadap perubahan lingkungan.
4. Website Monitoring penelitian ini mengembangkan web dashboard yang terhubung ke ESP32 dan memperbarui data tiap 30 detik.

2.2.3.4 Platform Aplikasi Website

Platform berbasis website digunakan untuk:

1. Melihat data suhu, kelembapan, intensitas cahaya, dan level air secara real-time.
2. Memantau status LED dan pompa air.
3. Memastikan seluruh sistem berjalan otomatis tanpa perlu pemantauan terus-menerus secara manual.

2.2.3.5 Hasil dan Manfaat

1. Efektivitas pertumbuhan dalam penelitian ini Tinggi batang meningkat 27,94% dan lebar daun meningkat 25% dibandingkan metode manual.

2. Efisiensi Waktu dan Biaya dengan Sistem otomatis mengurangi beban pemeliharaan dan intervensi manual.
3. Kontrol Optimal ini terdapat Suhu, pencahayaan, dan penyiraman dijaga secara otomatis pada kondisi ideal pertumbuhan.
4. Pemantauan Jarak Jauh dengan website memungkinkan pengguna mengakses dan memantau data dari mana saja.

2.2.3.6 Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem otomatisasi berbasis IoT efektif dalam meningkatkan pertumbuhan dan kualitas tanaman *microgreen* red radish. Integrasi kontrol pencahayaan, suhu, dan penyiraman dalam satu sistem memungkinkan pengelolaan tanaman yang lebih efisien dan akurat. Sistem ini sangat bermanfaat bagi petani *urban* maupun hobiis yang ingin mendapatkan hasil maksimal dengan intervensi minimal. Selain itu, penggunaan website sebagai alat pemantauan juga memberikan kemudahan tambahan dalam manajemen budidaya.

2.2.4 Paper 4

Laksana, R. W., Rintyarna, B. S., & Nugroho, A. B. (2023). Pemanfaatan teknologi IoT pada smart farming *microgreen* dan akuisisi data. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputasi (ELKOM)*, 5(2), 302–316.

Jurnal ini bertujuan untuk merancang sistem smart farming berbasis Internet of Things (IoT) untuk budidaya tanaman *microgreen* yang dapat dimonitor dan dikontrol secara real-time. Sistem ini memungkinkan pengendalian suhu, kelembapan udara, kelembapan media tanam, pencahayaan, penyiraman, serta audio stimulasi melalui koneksi internet dan aplikasi Blynk. Budidaya *microgreen*

secara manual sering kali terkendala oleh jadwal yang tidak konsisten, ketidaktepatan dosis perawatan, dan keterbatasan waktu pemilik. Oleh karena itu, penelitian ini dirancang untuk memberikan solusi otomatisasi yang dapat menjaga lingkungan tumbuh tanaman *microgreen* tetap optimal, bahkan saat ditinggal oleh pemiliknya."

2.2.4.1 Tujuan Penelitian

1. Merancang sistem pemantauan dan pengendalian pertumbuhan *microgreen* berbasis IoT.
2. Mengintegrasikan sensor dan aktuator untuk otomatisasi penyiraman, pendinginan, pencahayaan, dan pemutaran audio.
3. Menyediakan pemantauan dan kontrol jarak jauh melalui aplikasi Blynk.

2.2.4.2 Alat dan Sensor yang Digunakan

1. ESP32 sebagai otak sistem dan penghubung ke jaringan internet.
2. DHT22 untuk sensor suhu dan kelembapan udara.
3. Capacitive *Soil Moisture* Sensor untuk mengukur kelembapan media tanam secara kapasitif.
4. LED sebagai sumber cahaya untuk mendukung fotosintesis.
5. Pompa Air dapat menyiram otomatis saat tanah kering.
6. *Cooling System* dapat mengatur suhu saat mencapai batas maksimum.
7. *MP3 Player & Speaker* memberikan stimulasi audio.

2.2.4.3 Metodologi

1. Perancangan Sistem dalam penelitian ini meliputi desain perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software).

2. Diagram Blok & Flowchart dalam penelitian ini menjelaskan alur kerja dari sensor ke aktuator melalui ESP32.
3. Platform Pemantauan dalam penelitian ini terdapat aplikasi dan web Blynk digunakan untuk menampilkan data sensor, mengatur jadwal kerja LED dan MP3 Player, serta mengontrol perangkat.
4. Pengujian Sistem dalam penelitian ini meliputi uji power supply, keakuratan sensor, respons sistem terhadap kondisi lingkungan, dan stabilitas koneksi IoT.

2.2.4.4 Platform Aplikasi Blynk

1. Memantau data suhu, kelembapan udara, dan tanah secara real-time.
2. Mengontrol LED, speaker, dan pompa dari jarak jauh.
3. Melihat grafik tren data melalui fitur Superchart.
4. Menjadwalkan penyalan LED dan MP3 Player otomatis.

2.2.4.5 Hasil dan Manfaat

1. Stabilisasi suhu otomatis dalam penelitian ini adalah *cooling system* aktif saat suhu $>27^{\circ}\text{C}$ dan berhenti di 25°C .
2. Penyiraman efisien yang dihasilkan dalam penelitian ini terdapat di pompa aktif saat kelembapan $<40\%$ dan nonaktif saat $>60\%$.
3. Penjadwalan cahaya & audio dalam penelitian ini di LED dan MP3 otomatis aktif dari pukul 07.00 hingga 19.00.
4. Pemantauan jarak jauh dalam penelitian ini pengguna dapat memantau dan mengontrol sistem dari smartphone.

5. Pertumbuhan optimal ditanaman *microgreen* tumbuh sehat, dapat dipanen dalam 7 hari dengan daun hijau dan akar kuat.

2.2.4.6 Kesimpulan

Penelitian ini membuktikan bahwa sistem otomatisasi berbasis IoT mampu meningkatkan efektivitas dan efisiensi budidaya *microgreen*. Dengan kontrol otomatis terhadap suhu, kelembapan, pencahayaan, dan penyiraman, serta dukungan pemantauan real-time melalui Blynk, sistem ini sangat cocok bagi petani *urban* atau individu sibuk yang ingin tetap menjaga kualitas tanaman secara optimal tanpa harus hadir langsung setiap saat.

