

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perubahan iklim secara global yang terjadi beberapa tahun terakhir telah mencapai tahap yang mengkhawatirkan, karena dapat berdampak dalam berbagai sektor termasuk sektor pertanian (Harvian & Yuhan, 2019). Dinyatakan oleh Rozci (2023) bahwa salah satu dampaknya pada perubahan pola cuaca seperti, peningkatan suhu, kekeringan, perubahan pola curah hujan yang dapat mengancam produktivitas hasil pertanian bahkan mengancam ketahanan pangan. Seiring dengan itu, kondisi iklim yang semakin sulit diprediksi dapat memperburuk upaya adaptasi para petani terhadap tantangan tersebut.

Dalam mengatasi hal tersebut, teknologi modern dengan *greenhouse* dapat menjadi sebuah solusi alternatif untuk meningkatkan produktivitas pertanian bahkan di tengah fluktuasi iklim yang tidak menentu (Tando, 2019). Namun, tantangan utama dalam pengelolaan *greenhouse* yang dinyatakan oleh Rustami et al., (2022) masih dilakukan secara konvensional dengan mengandalkan pengamatan manual yang memakan waktu dan sulit mendapatkan data yang akurat. Berdasarkan studi yang dilakukan oleh Kristianto et al., (2023) menunjukkan bahwa ketidakakuratan data tersebut dapat menyebabkan kerusakan pada tanaman dan berpotensi gagal panen. Hal ini menunjukkan perlunya pengembangan sistem pemantauan yang lebih canggih guna meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan *greenhouse*.

Menurut sebuah buku oleh Balas et al., (2019) perkembangan teknologi IoT (*Internet of Things*) dalam bidang instrumentasi yang didorong adanya kebutuhan akan data yang bersifat *real-time* dan akurasi tinggi terus mengalami kemajuan. Selain itu dalam penelitian yang dilakukan oleh Tzounis et al., (2019) menunjukkan bahwa teknologi ini dapat memberikan solusi yang potensial dan data yang dihasilkan lebih akurat dikarenakan hanya terjadi interaksi antara perangkat IoT dan objek tanpa campur tangan dengan manusia dan memiliki cakupan yang luas sehingga dapat digunakan untuk memantau berbagai masalah dan meningkatkan efisiensi, produktivitas dan keberlanjutan pertanian. Kemajuan ini juga didukung dengan berlimpahnya ketersediaan komponen elektronik berupa sensor dan papan pengendali (*controller board*) di pasaran dengan harga yang cukup terjangkau juga menjadi faktor pendorong perkembangan penelitian di bidang instrumentasi



). Tidak hanya itu, menurut Sari et al., (2023) terdapat Arduino yang dapat merasakan lingkungan sekitar dengan menerima sinyal sensor dan bisa beroperasi otomatis setelah dijalankan dengan memungkinkan pengembangan sistem yang lebih efisien dan perubahan kondisi lingkungan.

Berbagai penelitian tentang teknologi IoT di bidang pertanian khususnya yang digunakan untuk memantau kondisi lingkungan telah banyak dilakukan, seperti penelitian oleh Wardihani et al., (2024) yang mengembangkan sistem *monitoring* lingkungan dan kontrol berbasis IoT di *greenhouse* menggunakan protokol MQTT dengan data hasil perekaman suhu dapat diakses melalui *website*. Namun, sistemnya masih memiliki *delay server-gateway* yang tinggi dan rata-rata kehilangan data sebesar 10,6%. Sejalan dengan penelitian itu, Affandy & Raharja, (2021) juga melakukan pemantauan di *greenhouse* yang dapat diakses menggunakan *web* menggunakan NodeMCU ESP8266. Namun, ESP8266 ini memiliki konsumsi daya yang relatif tinggi dan web tidak dapat diakses menggunakan Hp. Penelitian lain juga dilakukan oleh Kevin et al., (2023) dengan menggunakan sensor BME280 untuk memantau suhu, kelembapan, dan tekanan udara di ruang server dengan sistem berhasil mengunggah data ke *cloud*. Namun, penelitian ini masih memiliki keterbatasan yaitu memiliki tingkat *error* yang cukup tinggi dan sistem akan terputus otomatis dan data tidak akan terkumpul jika melewati batas waktu respon. Selain itu, penelitian oleh Tandrianto et al., (2022) menggunakan sensor BH1750 dengan mengintegrasikan ESP32 untuk memantau intensitas cahaya di dalam rumah kaca dengan hasil *monitoring* sensor cukup efektif namun, keterbatasannya sensor tidak mampu membedakan antara intensitas cahaya yang berasal dari sumber buatan dan cahaya matahari. Selain itu, kelemahan lain dari penelitian-penelitian ini adalah keterbatasan fokus pada parameter tunggal tanpa menggabungkan pengukuran yang lebih kompleks, seperti kombinasi beberapa variabel lingkungan dalam satu sistem serta visualisasi data masih terbatas hanya bentuk laporan numerik.

Oleh karena itu, diperlukan perangkat elektronik yang mampu mencatat serta memvisualisasikan data dari beberapa parameter. Sehingga, pada penelitian ini akan dikembangkan sistem pemantauan lingkungan dengan menggunakan tiga parameter yaitu, suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya di *greenhouse*, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin dengan kemampuan pemantauan dari jarak jauh. Sistem ini akan diintegrasikan dengan teknologi IoT untuk pemantauan jarak jauh menggunakan perangkat yang terhubung dengan kondisi lingkungan berupa sensor dan visualisasi data melalui sistem *cloud*. Dengan itu, sistem ini dirancang menggunakan berbagai perangkat elektronik terbaik yaitu, Mikrokontroler ESP32 yang memiliki fitur terlengkap untuk pengontrol, sensor BME280, dan sensor TEMT6000. Selain itu, data pembacaan kedua sensor ini akan dikirim di sistem *cloud* melalui koneksi internet dan data akan divisualisasikan tidak hanya dalam bentuk angka, tapi juga dalam bentuk grafik *time-series* dan *gauge charts*. Hal ini dilakukan



dalam mengidentifikasi fluktuasi data dengan dilengkapi fitur akses dan pengunduhan data historis untuk analisis jangka panjang. Tidak hanya itu, penelitian ini dapat memudahkan jauh dimanapun dan kapanpun secara *real-time*. Dengan data *time*, pengelola *greenhouse* dapat mengambil keputusan yang berkaitan data historis dalam mengevaluasi kondisi *greenhouse* dapat meningkatkan efisiensi dan produktivitas tanaman.

1.2 Tujuan dan Manfaat

1.2.1 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini, yaitu:

1. Merancang dan membuat sistem pemantauan lingkungan berbasis *Internet of Things* (IoT) untuk merekam dan mengirimkan data suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya secara *real-time* di *greenhouse*, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.
2. Memantau data secara jarak jauh di *greenhouse*, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin melalui koneksi internet dan melakukan kalibrasi sensor untuk memastikan akurasi pengukuran.

1.2.2 Manfaat

Manfaat dari penelitian ini adalah memperoleh data pemantauan suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya secara *real-time* di *greenhouse*, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin menggunakan teknologi berbasis IoT. Selain itu, penelitian ini mendukung pengembangan sistem pemantauan lingkungan secara jarak jauh yang dapat memudahkan pengelolaan *greenhouse* agar lebih terkontrol dan efisien.

1.3 Landasan Teori

1.3.1 Greenhouse

Pada awalnya, *greenhouse* banyak digunakan di negara subtropis karena memiliki berbagai keunggulan yaitu lebih sehat, bersih, ramah lingkungan serta memberikan perlindungan optimal untuk tanaman. Kemudian, mulai berkembang dan diaplikasikan di negara-negara tropis seperti Indonesia yang sebagian besarnya untuk percobaan budidaya, uji coba pemupukan, dan hidroponik. Tidak hanya itu, *greenhouse* dianggap menjadi solusi atas terbatasnya lahan pertanian untuk menanam berbagai macam tanaman sekaligus menjadi media yang efektif untuk memahami konsep budidaya tanaman mengenai pengendalian lingkungan (Abdurahman et al., 2022).

Greenhouse atau rumah kaca didefinisikan sebagai bangunan yang dirancang untuk melindungi tanaman dari berbagai kondisi lingkungan tertentu seperti paparan sinar matahari langsung, suhu udara *ekstrem*, curah hujan tinggi, serta angin kencang yang dapat berpengaruh pada pertumbuhan dan kualitas dari tanaman. Dengan desainnya yang tertutup seperti pada Gambar 1, *greenhouse* dapat menjaga tanaman dari berbagai hama, sehingga kualitas hasil produksi tanaman dapat terjaga sesuai yang diharapkan. Hal ini memungkinkan tanaman dapat tumbuh dengan kondisi yang optimal dan memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan dengan tanaman yang ditanam di lingkungan terbuka (Linda et al., 2024). Dalam *greenhouse*, berbagai parameter lingkungan yang mempengaruhi pertumbuhan tanaman yaitu, cahaya matahari, suhu udara, kelembapan, pasokan nutrisi, kecepatan angin, dan konsentrasi gas yang dikendalikan secara efisien (Linda et al., 2024).





Gambar 1. Bentuk *Greenhouse* (Saputra et al., 2023)

Prinsip kerja *greenhouse* dalam mempertahankan panas yang serupa, juga terjadi pada skala yang lebih besar dalam fenomena *greenhouse effect* atau efek rumah kaca yang terjadi di atmosfer bumi. Seperti halnya *greenhouse* pertanian, panas dari sinar matahari masuk dan terperangkap di dalam ruangan, untuk menciptakan lingkungan yang optimal dan suhu tetap ideal. Sedangkan, efek rumah kaca terjadi ketika gas rumah kaca seperti karbon dioksida (CO_2), metana (CH_4) dan uap air (H_2O) menyerap serta memerangkap radiasi panas yang dipancarkan oleh permukaan bumi. Proses ini membantu menjaga suhu bumi tetap stabil, namun peningkatan emisi gas rumah kaca akibat aktivitas manusia telah mempercepat proses ini, sehingga menyebabkan pemanasan global dan perubahan iklim yang dapat berdampak negatif pada sektor pertanian (Pratama, 2019).

Dalam menghadapi tantangan ini, penerapan teknologi dalam *greenhouse* menjadi semakin penting. Penggunaan teknologi berbasis IoT memungkinkan pemantauan dan pengendalian parameter lingkungan secara otomatis dapat disesuaikan dengan kebutuhan tanaman. Dengan demikian, penggunaan IoT dapat mengoptimalkan pengelolaan lingkungan, meningkatkan efisiensi kerja, memastikan hasil yang maksimal dalam pengelolaan pertanian yang lebih adaptif dan efisien serta, mengurangi ketergantungan pada metode konvensional juga menjadi strategi adaptif terhadap dampak perubahan iklim, sehingga pertanian berkelanjutan dapat terus berkembang (Abrar & Tukino, 2023).

1.3.2 Monitoring Lingkungan

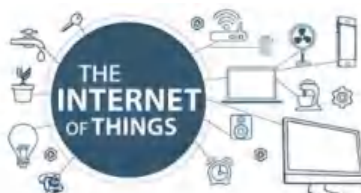
Pemantauan lingkungan merupakan suatu metode untuk memantau kinerja, kondisi, keamanan dan operasional suatu sistem atau proses yang secara terus menerus dengan tujuan utamanya mendeteksi, menganalisis, melaporkan, dan merespon perubahan, anomali atau potensi masalah yang terjadi dalam lingkungan yang difitir, (2020). Selain itu, menurut Ramadoni et al., (2021) *Environmental Monitoring* juga merupakan bagian dari kemampuan untuk memahami keadaan sistem berdasarkan data yang memberikan informasi menyeluruh sehingga apabila dapat dilakukan perbaikan dengan cepat untuk mempertahankan operasional bahkan mengurangi potensi kerugian.



Dengan adanya sistem *monitoring* ini, dapat berperan penting dalam menjaga efisiensi dan keamanan operasional serta memastikan stabilitas lingkungan di dalam *greenhouse* yang dapat mendukung produktivitas tanaman secara maksimal. Proses pemantauan ini dapat dilakukan melalui pengumpulan data secara berkala atau *real-time* menggunakan sensor, perangkat lunak, atau alat lainnya dengan data yang diperoleh kemudian dianalisis untuk memberikan informasi terkait kinerja sistem dan mendukung langkah-langkah pencegahan sebelum terjadi kegagalan sehingga pengambilan keputusan dapat lebih efektif (Maududy & Nursamsi, 2023). Oleh karena itu, pemantauan lingkungan ini dapat menjadi alat yang esensial dalam manajemen teknologi modern berbasis IoT atau sistem yang bergantung pada data besar karena dapat terintegrasi dengan *platform* visualisasi (Nalendra et al., 2023).

1.3.3 Internet of Things (IoT)

Istilah *Internet of Things* (IoT) pertama kali dikenalkan oleh Kevin Ashton pada tahun 1999 di mana menurutnya IoT ini terdiri atas dua bagian, yaitu internet untuk mengatur konektivitas dan *things* yang berarti perangkat atau objek. Jadi, *Internet of Things* merupakan sebuah konsep di mana perangkat atau sensor-sensor yang saling terhubung dengan jaringan untuk bertukar data satu sama lain melalui internet. Perangkat ini dapat beroperasi secara otomatis tanpa campur tangan manusia sehingga sistem dapat bekerja secara mandiri dan efisien (Kisworo, 2022). Dalam sistem IoT ini mencakup beberapa perangkat komputasi seperti, laptop, tablet, *handphone* atau yang biasa disebut perangkat pintar karena kemampuannya untuk terhubung dan berkolaborasi dengan perangkat lain secara otomatis (Darmawan et al., 2021). Dapat dilihat pada Gambar 2. merupakan konsep dasar dari IoT di mana berbagai peralatan dikendalikan dengan bantuan konektivitas dengan Wi-Fi.



Gambar 2. *Internet of Things* (Kisworo, 2022)

Teknologi *Internet of Things* saat ini menjadi inovasi yang memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian. Sebelum teknologi ini hadir, banyak proses di bidang ini masih dilakukan secara manual melalui survei atau pengamatan langsung, yang memakan banyak waktu tetapi juga biaya yang cukup besar. Salah satu masalah utama adalah keterbatasan kemampuan manusia sehingga menyebabkan keterlambatan dalam pengambilan keputusan. Dengan adanya teknologi IoT ini menawarkan solusi yang efektif untuk meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan pertanian. Dengan adanya sistem pemantauan, data dapat dilakukan secara *real-time* menggunakan sensor



sehingga petani dapat lebih cepat mendapatkan informasi terkait kondisi cuaca dan tanaman berdasarkan data yang akurat dan selalu diperbarui (Goda et al., 2024).

Selain itu, IoT ini dapat menghasilkan *big data* melalui perangkat dan sensor yang terus menerus mengumpulkan berbagai jenis informasi seperti teks, gambar, video, dan audio yang setelah itu, datanya dapat dianalisis untuk diidentifikasi pola cuaca dan memantau pertumbuhan tanaman yang nantinya petani dapat mengoptimalkan hasil produksi serta mengurangi risiko kegagalan panen. Dengan teknologi IoT yang terus menerus berkembang, dapat menjadi strategi pertanian yang lebih cerdas dan relevan dalam menghadapi tantangan iklim dan permintaan pangan global yang terus meningkat (Ramadani, 2023).

1.3.4 Suhu, Kelembapan, dan Intensitas Cahaya terhadap Tanaman

Pertumbuhan tanaman di *greenhouse* dipengaruhi oleh berbagai faktor lingkungan yang harus dikontrol secara optimal. Salah satu faktor yang memainkan peran penting dalam proses fotosintesis adalah suhu. Suhu yang terlalu tinggi dapat menyebabkan *stress* termal yang menghambat proses fotosintesis dan respirasi sehingga menurunkan produktivitas tanaman. Sementara, suhu yang terlalu rendah dapat memperlambat laju metabolisme tanaman dan meningkatkan risiko serangan penyakit (Sulaminingasih et al., 2024). Variasi suhu di dalam *greenhouse* seringkali bervariasi karena pengaruh kelembapan, intensitas cahaya dan ventilasi (Pamungkas, 2019).

Kelembapan udara juga memegang peran penting dalam menjaga keseimbangan fisiologis tanaman dikarenakan kelembapan yang terlalu rendah dapat meningkatkan laju transpirasi yang dapat menyebabkan dehidrasi pada tanaman. Sebaliknya kelembapan yang terlalu tinggi dapat mempercepat serangan penyakit jamur seperti embun tepung dan busuk daun yang dapat mengurangi hasil panen karena kerusakan pada tanaman, serta mengurangi efisiensi fotosintesis akibat terbatasnya difusi karbon dioksida. Pengaturan kelembapan di *greenhouse* biasanya dilakukan dengan sistem ventilasi atau kabut (*misting system*) untuk menjaga tingkat kelembapan ideal yaitu sekitar 50-70% tergantung jenis tanaman (Friadi & Junadhi, 2019).

Selain suhu dan kelembapan, intensitas cahaya juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap pertumbuhan tanaman. Cahaya merupakan sumber energi utama bagi fotosintesis dan intensitas yang cukup diperlukan agar pertumbuhan tanaman dapat berjalan dengan baik. Namun, jika intensitas cahaya terlalu tinggi terutama pada siang hari, tanaman dapat mengalami kerusakan akibat *stress* cahaya atau terbakar karena panas berlebih. Sebaliknya, intensitas cahaya yang terlalu rendah dapat memperlambat pertumbuhan tanaman serta menurunkan kualitas hasil panen dari segi rasa buah. Pengaturan pencahayaan yang tepat juga



membantu dalam meningkatkan efisiensi penggunaan air dan nutrisi oleh tanaman, serta meminimalkan stres lingkungan (Resti et al., 2022).

Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Savitri et al., (2023) menunjukkan bahwa suhu dalam *greenhouse* pada siang hari dapat mencapai hingga 50°C dengan suhu lingkungan rata-rata 37°C, sedangkan pada malam hari suhu bisa turun hingga 24 °C. Kelembapan pada tanaman berkisar 60% hingga 88% yang menyebabkan intensitas cahaya rendah sehingga penggunaan plastik UV untuk meningkatkan suhu agar tanaman dapat hidup maksimal. Apabila suhu udara atau kelembapan menyimpang dari rentang normal, tanaman dapat mengalami layu hingga pembusukan yang akhirnya mengurangi hasil panen petani. Maka, pengaturan suhu dan kelembapan yang stabil dan sesuai menjadi kunci keberhasilan dalam budidaya tanaman di *greenhouse*.

1.3.5 Mikrokontroler ESP32

Mikrokontroler ESP32 merupakan perangkat canggih yang dikembangkan di salah satu perusahaan yang ada di Shanghai, China yaitu Perusahaan *Espressif Systems*. ESP32 ini dirancang sebagai Mikrokontroler berdaya rendah yang terintegrasi dengan Wi-Fi dan Bluetooth, sehingga cocok untuk diaplikasikan di *Internet of Things* (IoT). Salah satu keunggulan utama dari ESP32 ini adalah kemampuannya untuk langsung terhubung ke internet tanpa memerlukan modul Wi-Fi tambahan dan didukung oleh seri *chip system in chip* (SoC) sehingga sangat fleksibel, efisien dari segi biaya dan lebih praktis untuk berbagai aplikasi modern (Kurniawan et al., 2021).



Gambar 3. Mikrokontroler ESP32 (Santoso et al., 2022)

ESP32 memiliki dua varian utama, yaitu *chip* ESP32-D0WDQ6 dan sistem dalam paket (SiP) ESP32-PICO-D4 yang dapat mencapai kecepatan *clock* hingga 240 MHz karena memiliki inti CPU, jumlah GPIO yang lebih banyak dan tambahan



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Low Energy serta dilengkapi dengan modul manajemen daya, seperti yang terlihat pada Gambar 3. Tidak hanya itu, dirancang kat elektronik berbasis teknologi IoT dengan menawarkan fitur seperti *dynamic power scaling* dan *multiple power mode* untuk n kemampuan tersebut, ESP32 membuka peluang dalam ek IoT seperti, untuk *monitoring* secara *real-time*, pengendalian agai aplikasi *smart devices* lainnya (Santoso et al., 2022).

Pemilihan Mikrokontroler yang tepat menjadi faktor penting dalam mendukung efisiensi dan kinerja perangkat karena dapat mempengaruhi hasil data pengukuran. ESP32 sebagai salah satu Mikrokontroler yang banyak digunakan karena mempunyai banyak keunggulan dibandingkan dengan *platform* lain. Adapun perbandingan spesifikasi antara ESP32 dan mikrokontroler lain (Rizdania., 2024).

Tabel 1. Perbandingan Spesifikasi ESP 32 dengan Mikrokontroler Lain

Aspek	Arduino UNO	ESP8266	ESP32
Tegangan	5V	3,3 V	3,3 V
CPU	ATmega328P-16 MHZ	Xtensa <i>single core</i> L106-60 MHz	Xtensa <i>dual core</i> LX6-160 MHz
Arsitektur	8 bit	32 bit	32 bit
Flash Memory	32 Kb	16 MB	16 MB
SRAM	2 Kb	160 KB	520 KB
GPIO	14 pin	17 pin	36 pin
Wi-Fi	Tidak	Ya	Ya
Bluetooth	Tidak	Tidak	Ya

1.3.6 Arduino IDE

Integrated Development Environment (IDE) merupakan perangkat lunak yang dirancang khusus untuk pengeditan, penyusunan dan pengunggahan kode ke perangkat berbasis Arduino sehingga dapat mempermudah pengembangan perangkat keras dan lunak, terutama pada *platform* Arduino. Arduino IDE menjadi alat utama untuk pengembangan perangkat elektronika seperti kendali robotik, sistem otomatisasi dan aplikasi *Internet of Things* (IoT) dengan menggunakan bahasa pemrograman C++ yang sederhana dan mudah dipahami bahkan bagi pemula (Susilawati & Sitohang, 2020).



Gambar 4. Arduino IDE (Darmawan et al., 2021)



Optimized using
trial version
www.balesio.com

ditampilkan pada Gambar 4 sebagai perangkat lunak *open-source* digunakan untuk menyusun dan mengunggah kode modul ke perangkat berbasis Arduino. Arduino IDE menyediakan berbagai fungsi bawaan yang dapat mempermudah proses *debugging*, dan penyusunan kode program (Darmawan et al., 2021). Hal ini juga karena didukung berbagai *library* tambahan yang dapat

diintegrasikan dengan berbagai sistem operasi termasuk Windows, macOS, Linux dan *platform* berbasis Java sehingga pengguna dapat lebih fokus pada desain logika dan implementasi perangkat keras juga mudah untuk memperluas fungsionalitas sistem yang sedang dikembangkan (Abrar & Tukino, 2023).

1.3.7 Sensor BME280

Sensor BME280 merupakan pengembangan modul sensor BMP180 dan BMP183 dari *Bosch Sensortec* yang dapat beroperasi pada rentang tegangan 1,71-3,60 Volt dengan mengukur empat parameter yaitu, suhu, kelembapan, tekanan udara dan ketinggian dengan menggunakan prinsip penginderaan yang telah teruji. Namun, dalam penelitian ini hanya menggunakan parameter suhu dan kelembapan karena tekanan udara dan ketinggian secara fisis bergantung pada suhu dan perubahan keduanya cenderung mengikuti pola suhu secara linear (Kusuma et al., 2023). Sensor ini memiliki dimensi yang kecil dan konsumsi daya rendah sehingga sangat cocok digunakan dalam perangkat yang digerakkan baterai seperti ponsel, jam tangan pintar, modul GPS dan perangkat IoT lainnya (Saptadi & Kiswanto, 2020).



Gambar 5. Modul Sensor BME280 (Suryana, 2022)

Keunggulan modul sensor BME280 seperti pada Gambar 5 terletak pada efisiensi dayanya dengan konsumsi kurang dari 1mA saat pengukuran aktif dan hanya 5 μ A dalam mode siaga serta dilengkapi dengan regulator 3.3 Volt LM6206 dan pengukur level tegangan I2C bawaan sehingga kompatibel dengan Mikrokontroler berbasis 3.3V atau 5V seperti Arduino juga dirancang untuk mempermudah pengguna karena tidak memerlukan komponen tambahan disertai fitur *pre-calibrated* untuk pengukuran yang akurat. Dengan itu, sangat ideal untuk perangkat hemat energi yang membutuhkan pengoperasian jangka panjang (Suryana, 2022). Dengan kemampuan untuk mengukur kelembapan dengan akurasi tinggi, memonitor tekanan atmosfer dan mendeteksi perubahan suhu dengan cepat, sensor ini cocok untuk aplikasi seperti analisis cuaca, kontrol lingkungan, stasiun cuaca mini dan perangkat pintar yang memerlukan pemantauan kondisi fisik secara

ti et al., 2024).



000

merupakan sensor cahaya berbasis fototransistor NPN untuk ; cahaya yang bekerja pada spektrum tampak antara 390-700 t sensitivitas hingga 60° serta luas permukaan tangkap sebesar hnya dapat mengukur cahaya dari berbagai arah baik di dalam

ataupun di luar ruangan (Pratama et al., 2022). Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Gokrem et al., (2019) dengan menggunakan TEMT 6000 ini sebagai *luxmeter* menunjukkan bahwa jika cahaya yang diterima meningkat, tegangan pada pin sinyal pun semakin meningkat maka, semakin besar tegangan yang dikeluarkan yaitu, sebesar 4-5 Volt dengan waktu respon sekitar 15 ms.



Gambar 6. Sensor Intensitas Cahaya TEMT6000 (Prasetyo, 2022)

Pada Gambar 6, dapat dilihat bentuk fisik dari sensor TEMT6000 beserta pin koneksinya yang harus disambungkan dengan mikrokontroler untuk pengoperasian yang lebih optimal sehingga modul ini cukup andal untuk melakukan pengukuran intensitas cahaya yang cepat, baik untuk sistem *dimmer* atau *on/off* lampu otomatis maupun aplikasi lainnya yang memerlukan sensor cahaya (Prasetyo, 2022).

1.3.9 Cloud System

1.3.9.1 InfluxDB

InfluxDB dikembangkan dari InfluxData menggunakan bahasa pemrograman Go berbasis *time-series database* yang dirancang untuk menyimpan data, menganalisis, dan memproses data historis dalam bentuk matriks dengan penulisan data menggunakan HTTP *Representational State Transfer* (REST) API untuk proses *query* dengan bahasa *query* yang menyerupai SQL sehingga cukup mudah digunakan dalam input dan pemrosesan data (Grzesik & Mrozek, 2020). Dalam penggunaannya, InfluxDB ini memiliki kecepatan yang cukup tinggi dalam melakukan *read* data maupun *write* data bahkan data dapat dimasukkan ke dalam *database* tanpa memerlukan konfigurasi tambahan setelah pembuatan *database* sehingga ideal untuk diterapkan pada aplikasi seperti *machine-learning*, analisis data maupun pemantauan perangkat IoT secara *real-time* (Hendra & Andriyani, 2020). Adapun komponen konfigurasi pada InfluxDB dapat dilihat pada Tabel 2.



Konfigurasi InfluxDB dan Fungsinya

Fungsi

Mengatur koneksi ke sumber data eksternal

Tempat penyimpanan data *time-series*

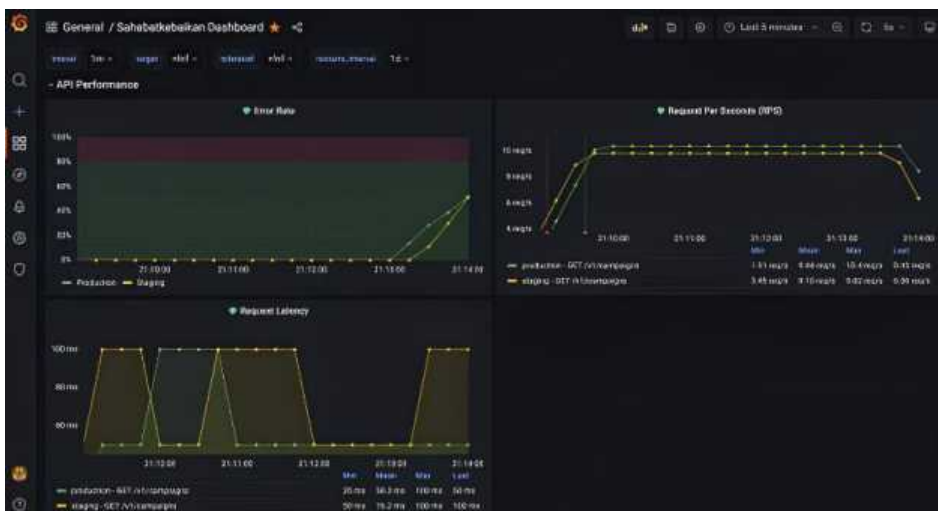
Agan untuk mengumpulkan dan mengirim data ke InfluxDB

Mengatur autentikasi dan otorisasi akses ke InfluxDB

Selain itu, pada Influx DB disediakan fitur konfigurasi data retensi agar pengguna dapat mengatur dan menentukan durasi penyimpanan data, jumlah salinan data yang disimpan dalam sebuah *cluster* dan rentang waktu yang mendukung pemrosesan data. Fleksibilitas ini dapat menjadikan InfluxDB sebagai pilihan yang tepat untuk menyimpan dan mengolah data sensor pada *real-time monitoring* secara efisien dan terstruktur (Noprianto et al., 2023).

1.3.9.2 Grafana

Grafana merupakan perangkat lunak berbasis *open-source* yang berfungsi untuk memvisualisasikan, mengubah data *time-series* menjadi bentuk grafik dan *chart* yang menarik, serta menganalisis data dalam berbagai bentuk seperti *metrik*, *log*, dan *traces* dari berbagai sistem secara *real-time*. Perangkat ini juga mendukung integrasi dengan sumber data menggunakan berbagai macam tipe *datasource* seperti, Graphite, Prometheus, Elasticsearch, OpenTSDB, MySQL, PostgreSQL, CloudWatch bahkan Grafana menyediakan *plugin datasource* lengkap untuk InfluxDB dengan kode sumber Grafana dapat diakses secara bebas di *GitHub* (Ramadoni et al., 2021). Berikut adalah tampilan *dashboard* Grafana pada Gambar 7.



Gambar 7. Tampilan *Dashboard* Grafana (Kusuma & Oktawati, 2022)

Berdasarkan Gambar 7, tampilan *dashboard* Grafana dapat disesuaikan sesuai kebutuhan karena sudah dilengkapi berbagai fitur dan panel bawaan, seperti *at*, *dashlist* dan teks, menyediakan template *dashboard* yang mengumpulkan variabel data yang digunakan, menambahkan untuk menandai peristiwa penting pada grafik, dan memiliki untuk menghasilkan visualisasi yang lebih informatif. Dengan itu, memantau kinerja aplikasi, server, sensor IoT, pengamatan cuaca, proses operasional (Rahman et al., 2020).



Optimized using
trial version
www.balesio.com

BAB II METODE PENELITIAN

2.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Oktober 2024 hingga Januari 2025 di *greenhouse*, Program Studi Teknik Pertanian, Departemen Teknologi Pertanian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin yang terletak secara geografis pada $5^{\circ}13'11.09''$ S dan $119^{\circ}48'11.55''$ E dan Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam yang berada pada koordinat $5^{\circ}07'55.09''$ S dan $119^{\circ}29'11.64''$ E.



Gambar 8. Peta Lokasi Penelitian

2.2 Alat dan Bahan

2.2.1 Alat

Alat yang digunakan pada penelitian ini, yaitu:

1. Perangkat keras terdiri atas:

a. Laptop berfungsi sebagai alat yang menjalankan program, visualisasi data, atau data *monitoring* lingkungan.



• ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang mengontrol dan menerima data masukan pada sensor.

• DHT22 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan di dalam ruang penelitian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

• T6000 berfungsi untuk mengukur intensitas cahaya di dalam ruang penelitian, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.

- e. Solder berfungsi sebagai alat untuk merekatkan setiap komponen.
 - f. Kabel *jumper* berfungsi untuk menghubungkan tiap komponen.
 - g. *Breadboard* berfungsi sebagai tempat untuk menghubungkan setiap komponen yang telah dirangkai.
 - h. *Power supply* (*Powerbank* dan/atau *charger*) berfungsi sebagai penyuplai tegangan pada komponen.
 - i. Kabel *Universal Serial Bus* (USB) berfungsi untuk menghubungkan Mikrokontroler ESP32 ke *power supply*.
 - j. *Automatic Weather Station* (AWS) berfungsi sebagai alat pembanding pada sensor.
2. Perangkat lunak terdiri atas:
- a. Arduino IDE berfungsi sebagai *software* yang digunakan untuk membuat *sketch* pemrograman.
 - b. Fritzing berfungsi sebagai *software* yang merancang pembuatan sistem.
 - c. InfluxDB berfungsi sebagai basis/pangkalan data (*database*) yang menyimpan data hasil pemantauan dari sensor.
 - d. Grafana berfungsi sebagai *software* yang dapat memantau dan memvisualisasikan data secara *real-time*.
 - e. Microsoft Excel 2021 berfungsi untuk menyimpan data pemantauan yang dihasilkan dari Grafana.
 - f. Hoboware berfungsi sebagai *software* yang mengunduh dan memvisualisasikan data dari AWS.
 - g. MATLAB R2021a berfungsi sebagai *software* yang digunakan untuk mencari nilai faktor koreksi serta memvisualisasikan data pembanding dan data sensor.

2.2.2 Bahan

Adapun bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data perekaman suhu, kelembapan dan intensitas cahaya dalam jangka waktu 15 menit pada *greenhouse*, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin.
2. Data kalibrasi sensor dan alat pembanding yaitu, *Automatic Weather System* (AWS) dalam rentang waktu 3 jam, dengan proses kalibrasi dilakukan di Departemen Geofisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Hasanuddin.

2.3 Prosedur Penelitian

2.3.1 Studi Literatur

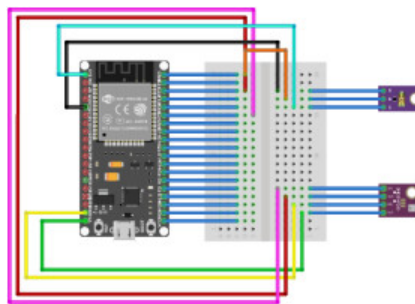


dengan studi literatur untuk mengumpulkan referensi yang relevan, jurnal, artikel maupun sumber terpercaya lainnya sebagai landasan sistem yang akan dikembangkan serta sebagai landasan awal penelitian ini. Studi literatur ini bertujuan untuk memahami kaitan dengan sistem pemantauan lingkungan di *greenhouse* yang dirancang dapat lebih optimal dan sesuai dengan kebutuhan.

2.3.2 Perancangan dan Pembuatan Sistem

Perancangan dan pembuatan sistem ini didasarkan pada studi literatur sebelumnya yang mencakup perancangan perangkat keras dan perangkat lunak. Pada proses ini, sistem akan dirancang agar mampu merekam dan memantau data suhu, kelembapan dan intensitas cahaya secara *real-time* dengan mempertimbangkan efisiensi biaya sesuai rincian harga di Lampiran 12. Proses perancangan meliputi, pemilihan komponen yang sesuai dengan kebutuhan dengan rincian harga, pemilihan mikrokontroler juga harus disesuaikan dengan jumlah dan jenis sensor yang digunakan, kapasitas pemrosesan data serta kebutuhan komunikasi sistem.

Pada tahap perancangan ini, dilakukan pemilihan komponen yang digunakan dalam sistem yaitu, sensor BME280 seperti yang ditampilkan pada Gambar 5, memiliki akurasi tinggi dalam mengukur suhu dan kelembapan serta mendukung komunikasi I2C yang efisien dalam membaca data sekaligus mudah dihubungkan dengan Mikrokontroler, sedangkan pemilihan sensor TEMT6000 sebagaimana yang terlihat pada Gambar 6, berfungsi mengukur nilai intensitas cahaya dengan keluaran sinyal analog yang dapat dihubungkan langsung ke pin ADC Mikrokontroler. Selain pemilihan kedua sensor, juga dilakukan pemilihan Mikrokontroler ESP32 yang ditunjukkan pada Gambar 3, dipilih karena memiliki dukungan Wi-Fi yang dapat lebih mempermudah pengiriman data ke *cloud* secara *real-time*. Adapun Skema perancangan sistem pemantauan lingkungan yang telah dibuat menggunakan *software* Fritzing dapat dilihat pada Gambar 9.

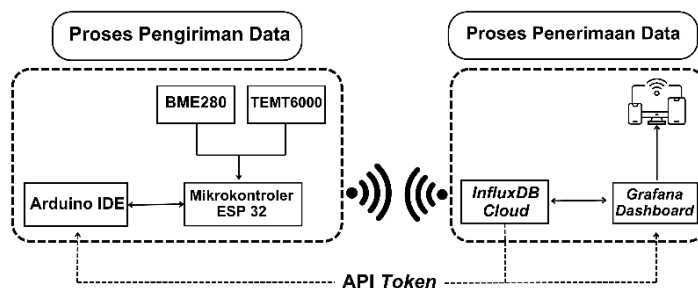


Gambar 9. Desain Skematik Perangkat Keras Sistem Pemantauan

Berdasarkan desain skematik di atas, dilakukan konfigurasi dengan menghubungkan sensor BME280 ke ESP32 melalui pin SCL (GPIO 22) dan SDA (GPIO 21). Kemudian, sensor TEMT6000 dikoneksikan ke GPIO 34 pada ESP32



ai pin ADC. Sementara itu, kedua sensor dihubungkan ke 3.3V dan GND ESP32. Dengan konfigurasi ini, Mikrokontroler ESP32 dapat membaca data suhu, kelembapan, dari BME280 melalui komunikasi I2C serta intensitas cahaya dari TEMT6000 melalui pin analog. Selanjutnya, data yang diterima oleh Mikrokontroler ESP32 supaya bisa mengolah dan menyimpan data yang sudah dibaca melalui *software* Arduino IDE, dari kedua sensor.



Gambar 10. Diagram Alur Sistem Kerja Alat

Setelah pemrograman selesai, sistem ini bekerja dengan alur yang sistematis seperti yang ditunjukkan pada Gambar 10. Di mana, sensor akan merekam parameter lingkungan dan mengirimkannya ke Mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pengendali dan pengatur sistem untuk diproses lebih lanjut. Mikrokontroler ini selanjutnya akan mengirimkan data ke server *cloud* yakni InfluxDB sebagai tempat penyimpanan data melalui koneksi internet. Pada tahap ini, digunakan API token sebagai identitas penghubung antar perangkat dan *database* untuk memastikan pengiriman data berlangsung dengan aman dan terautentikasi. Selanjutnya, data yang telah tersimpan di InfluxDB akan diteruskan ke *software* Grafana untuk divisualisasikan dalam berbagai bentuk dengan tampilan *dashboard* yang digunakan dalam sistem ini memiliki konsep visualisasi yang serupa dengan yang ditunjukkan pada Gambar 7. Selama proses ini, koneksi antara InfluxDB dan Grafana juga dilindungi dengan autentikasi menggunakan API token untuk memastikan keakuratan data yang ditampilkan. Visualisasi data ini memberikan gambaran secara *real-time* yang dapat memudahkan dalam memantau kondisi lingkungan serta analisis terhadap data historis untuk kebutuhan evaluasi berkelanjutan dan pengambilan keputusan berbasis data.

2.3.3 Pengujian Sistem

Pengujian sistem *monitoring* dilakukan secara menyeluruh untuk memastikan setiap komponen berfungsi dengan baik. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam memantau kondisi lingkungan secara *real-time* dan mendukung pemantauan jarak jauh. Pengujian sistem dilakukan dengan pengambilan data selama 15 menit melalui proses demonstrasi yang dimulai dengan memasang sistem di dalam area *greenhouse*, Fakultas Pertanian, Universitas Hasanuddin. Setelah alat terpasang dan tersambung dengan sumber daya, baik berupa *powerbank* atau



, kemudian nyalakan *hotspot* dan sistem secara otomatis mulai kirimkan data suhu, kelembapan, dan intensitas cahaya yang secara *real-time* di *dashboard* Grafana. Selain itu, diuji pula data ke server termasuk kestabilan koneksi untuk memastikan berjalan lancar dan stabil. Hasil dari pengujian ini diharapkan bahwa sistem bekerja dengan baik dalam mendukung an secara *real-time*.

2.3.4 Kalibrasi

Kalibrasi dilakukan untuk mengetahui nilai akurasi dari tiap sensor yang digunakan dalam sistem pemantauan lingkungan. Dalam penelitian ini, kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil perekaman suhu dan kelembapan dari sensor BME280 serta data intensitas cahaya dari sensor TEMT6000 dengan *Automatic Weather System* (AWS) sebagai alat pembanding. Sebelum proses kalibrasi dilakukan, terlebih dahulu dilakukan pengambilan data awal untuk mencari nilai rata-rata serta faktor koreksi dengan tabel data dapat dilihat pada Lampiran 4. Nilai rata-rata diperoleh dengan membagi total keseluruhan data dengan jumlah data sebelum kalibrasi. Sementara, faktor koreksi dicari menggunakan MATLAB dengan scriptnya dapat dilihat pada Lampiran 5, di mana faktor koreksi ini dihitung dari selisih hasil pengukuran dari AWS dengan data yang direkam sensor yang dapat dirumuskan (Satya & Puspasari, 2019):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x_i \quad (1)$$

$$\text{Faktor Koreksi} = \text{Nilai Alat Pembanding} - \text{Hasil Pengukuran Sensor} \quad (2)$$

Nilai faktor koreksi ini diprogram ke dalam Mikrokontroler ESP32 melalui Arduino IDE untuk meningkatkan akurasi hasil pengukuran saat diterapkan di lapangan. Selanjutnya, proses kalibrasi dilakukan dalam jangka waktu 3 jam. Setelah data terkumpul, dilakukan pengolahan data menggunakan *software* Microsoft Excel dan MATLAB. Pada tahap ini, data dari AWS dan sensor dianalisis menggunakan metode regresi linear, di mana pada rumus (3) dan (4) diprogramkan ke dalam MATLAB pada Lampiran 10 untuk mengevaluasi tingkat akurasi hasil pengukuran dan melihat hubungan antar variabel (Husdi & Dalai, 2023):

$$Y = aX + b \quad (3)$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^m (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^m (\bar{Y} - Y_i)^2} \quad (4)$$

Persamaan regresi ini digunakan untuk menilai akurasi sensor dalam menghasilkan data yang sesuai dengan alat pembanding. Jika nilai a (koefisien regresi) mendekati 1 dan b (*offset*) mendekati 0, maka sensor dianggap memiliki tingkat akurasi yang baik. Sedangkan, nilai koefisien determinasi (R^2) juga dihitung untuk mengevaluasi sejauh mana data sensor sesuai dengan data referensi dari AWS. Jika nilai R^2 semakin mendekati 1 maka semakin baik model regresi dalam menggambarkan hubungan antara variasi data serta nilai R^2 yang tinggi menunjukkan

kerja secara optimal dalam mengukur parameter lingkungan yang minimal. Klasifikasi nilai R^2 dapat dilihat pada Gambar 2.1. (Lukaraja et al., 2020).

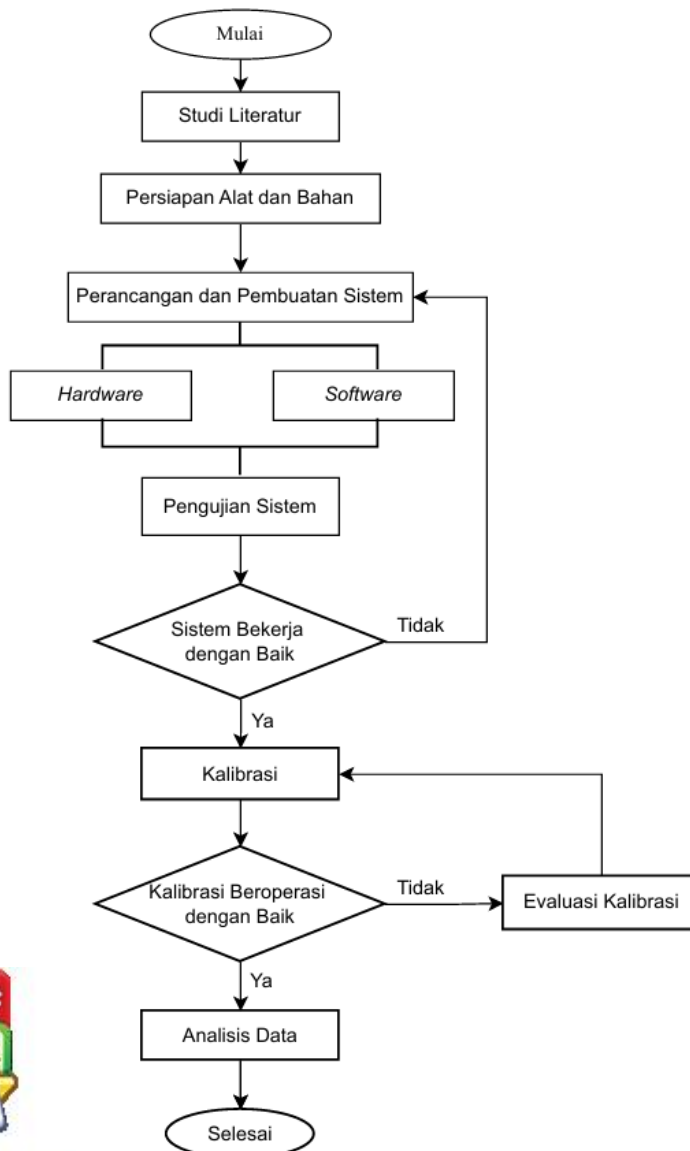


Tabel 3. Klasifikasi nilai R^2 (Chin 1998 dalam Lukaraja et al., 2020)

Nilai R^2	Tingkat Hubungan
0.1	Lemah
0.3	Moderat
0.6	Kuat
0.8	Sangat Kuat

2.4 Bagan Alir Penelitian

Secara umum, bagan alir dari penelitian ini ditunjukkan pada gambar di bawah:

**Gambar 11.** Bagan Alir Penelitian