

PERANCANGAN ALAT MONITOR PARAMETER LINGKUNGAN *GREEN HOUSE PORTABLE* DI FAKULTAS ILMU TERAPAN

(Design Of A Portable Green House Environmental Parameter Monitor In The Faculty Of Applied Sciences)

1st Muhammad Ilham
Kurniawan Nasution
Teknologi Telekomunikasi
Fakultas Ilmu Terapan
Bandung, Indonesia
kurniawann@student.telkomuni
versity.ac.id

2nd. Dr. Sugondo Hadiyoso, S.T., M.T.
Teknologi Telekomunikasi
Fakultas Ilmu Terapan
Bandung, Indonesia
sugondo@telkomuniversity.ac.id

3rd Akhmad Alfaruq, S.T., M.T.
Teknologi Telekomunikasi
Fakultas Ilmu Terapan
Bandung, Indonesia
maruid@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Di era Revolusi Industri 4.0, penerapan sistem otomatisasi yang terhubung dengan internet semakin mendominasi berbagai sektor, termasuk sosial, pendidikan, dan pertanian. Tujuan utama dari teknologi ini adalah untuk mengoptimalkan hasil dan meningkatkan efisiensi penggunaan sumber daya, terutama dalam menghadapi tantangan seperti perubahan cuaca ekstrem yang berdampak pada produktivitas pertanian. Dalam konteks ini, proyek akhir ini merancang alat monitoring parameter lingkungan *Greenhouse* berbasis *Internet of Things (IoT)* yang diimplementasikan di *rooftop* Fakultas Ilmu Terapan (FIT). Sistem ini menggunakan *Microcontroller* ESP32 dengan sensor DHT22 dan MQ135, di mana data yang dikumpulkan dikirimkan ke *Firestore* untuk ditampilkan secara *real-time* pada *dashboard monitoring*. Alat ini juga dirancang *portable* dengan sumber daya dari baterai 18650.

Hasil pengujian menunjukkan akurasi sensor yang baik, dengan *percent error* untuk sensor suhu berkisar antara 1.4% hingga 1.8% dan kelembapan antara 1.6% hingga 1.9% pada berbagai waktu pengukuran. *Monitoring* ruangan *Greenhouse* dilakukan setiap 2 menit selama 40 menit, menghasilkan rata-rata suhu pagi 28°C, siang 33°C, sore 31°C, serta kelembapan dan kadar CO₂ yang bervariasi sepanjang hari. Dengan data ini, sistem terbukti efektif dalam membantu mengurangi waktu dan tenaga yang diperlukan untuk merawat tanaman di ruangan *Greenhouse*, sekaligus memberikan informasi yang berguna untuk pengambilan keputusan dalam pertanian.

Kata kunci — *IoT*, Suhu, *Greenhouse*, Tanaman.

I. PENDAHULUAN

Di era Revolusi Industri 4.0, teknologi otomatisasi berbasis internet semakin banyak diterapkan untuk meningkatkan efisiensi berbagai sektor, termasuk pertanian. Perubahan cuaca ekstrem dan pergeseran musim di Indonesia menyebabkan penurunan produktivitas serta perubahan kalender tanam, yang menjadi perhatian utama pemerintah dalam rencana strategis pembangunan nasional periode 2015-2019 [1]. Penelitian ini mengembangkan sistem kendali otomatis dan manual berbasis internet dalam *greenhouse* untuk menciptakan iklim mikro yang optimal, sehingga tanaman dapat tumbuh dengan baik meskipun dalam kondisi cuaca ekstrem [2]. *Greenhouse* berfungsi

melindungi tanaman dari curah hujan berlebih, paparan cahaya matahari langsung, serta hama, sambil memastikan pengaturan faktor lingkungan seperti suhu udara, kelembapan, dan kadar karbon dioksida (CO₂) yang memengaruhi proses fotosintesis [3][4].

Sistem ini menggunakan ESP32 sebagai pusat kendali, dengan sensor DHT22 dan sensor CO₂ untuk memantau suhu, kelembapan, serta kadar CO₂ di dalam *greenhouse*. ESP32 menerima data dari sensor untuk menentukan parameter yang sesuai bagi pertumbuhan tanaman. Efektivitas sistem diuji melalui uji coba lapangan. Teknologi *IoT* memungkinkan pemantauan kondisi secara *real-time*, otomatisasi pengendalian, dan pengumpulan data, yang dapat meningkatkan efisiensi manajemen *greenhouse* [5]. Implementasi alat ini dilakukan di *greenhouse* Fakultas Ilmu Terapan (FIT).

II. KAJIAN TEORI

1. Sistem Monitoring

Monitoring adalah kegiatan untuk memantau jalannya suatu program yang telah direncanakan guna memastikan kesesuaiannya dengan prosedur, mengidentifikasi hambatan, dan menentukan solusi untuk mengatasinya [6]. Tujuan utama *monitoring* adalah memastikan bahwa proses berjalan sesuai prosedur yang telah ditetapkan, di mana sistem *monitoring* yang efektif dapat mempermudah pelaksanaan tugas. Tahapan dalam sistem *monitoring* mencakup tiga proses utama: pengumpulan data, analisis data, dan penyajian data hasil. Proses analisis data melibatkan pemilihan atau manipulasi data untuk menghasilkan informasi yang relevan, sedangkan penyajian data bertujuan menyampaikan informasi yang berguna untuk pengambilan keputusan atau kebijakan, dalam berbagai format seperti tabel, grafik, kurva, maupun animasi.

2. Parameter Lingkungan Tanaman

Temperatur dan karbon dioksida (CO₂) adalah dua faktor penting yang memengaruhi pertumbuhan tanaman. Temperatur

menunjukkan derajat panas suatu benda atau lingkungan udara, di mana semakin tinggi energi atom-atom penyusunnya, semakin tinggi pula suhunya. Suhu ideal bagi pertumbuhan tanaman berkisar antara 10°C-38°C, dan suhu di luar rentang ini dapat menyebabkan pertumbuhan tanaman melambat atau berhenti. Di sisi lain, karbon hadir di udara sebagai karbon dioksida (CO₂), yang juga ditemukan di air sebagai CO₂ terlarut dan di tanah dalam bentuk batuan karbonat. CO₂ berperan penting dalam siklus kehidupan, di mana peningkatan kadar CO₂ dapat meningkatkan laju asimilasi daun dan penyerapan CO₂ untuk menghasilkan karbohidrat melalui proses fotosintesis, sehingga mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal.

3. MQ 135

Sensor MQ135 adalah sensor gas atau sensor kimia yang mendeteksi perubahan resistansi (Rs) saat terpapar berbagai jenis gas. Sensor ini dilengkapi dengan pemanas (*heater*) yang berfungsi membersihkan area sensor dari kontaminasi udara luar. MQ135 digunakan untuk memantau kualitas udara dengan mendeteksi gas seperti amonia (NH₃), nitrogen dioksida (NO₂), alkohol/etanol (C₂H₅OH), benzena (C₆H₆), karbon dioksida (CO₂), hidrogen sulfida (H₂S), serta asap dan gas lainnya. Deteksi kualitas udara dilaporkan melalui perubahan nilai resistansi analog pada pin keluaran sensor.

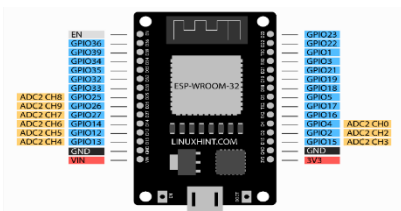
Pin keluaran ini dapat dihubungkan ke pin ADC (*Analog-to-Digital Converter*) pada mikrokontroler atau pin input analog Arduino dengan tambahan resistor sebagai pembagi tegangan. ADC mengubah sinyal analog yang kontinyu menjadi sinyal digital, sehingga memungkinkan pemrosesan data oleh sistem digital. ADC berfungsi sebagai penghubung antara sensor analog dan sistem digital, yang dapat berupa modul, rangkaian elektronik, atau *chip IC*.



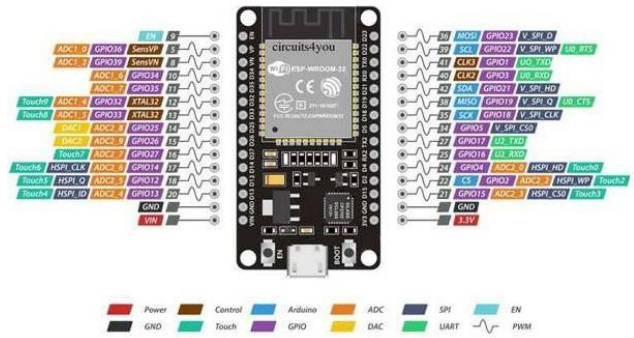
Gambar 1. Sensor MQ 135

4. ESP32

ESP32 adalah mikrokontroler yang dikenalkan oleh *Espressif System* merupakan penerus dari mikrokontroler ESP8266. Pada mikrokontroler ini sudah tersedia modul *WiFi* dalam *chip* sehingga sangat mendukung untuk membuat sistem aplikasi *Internet of Things*. Untuk spesifikasi dari ESP32 dapat dilihat pada gambar 3 merupakan pinout dari ESP32. Pin tersebut dapat dijadikan input atau output untuk menyalakan LCD, lampu, bahkan untuk menggerakkan motor DC.



Gambar 2. ESP32



Gambar 3. Spesifikasi Modul ESP32

5. DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban relatif. Sensor ini bekerja dengan menggunakan kapasitor dan termistor untuk mendeteksi kondisi udara di sekitarnya dan mengirimkan sinyal melalui pin data. DHT22 sangat mudah diterapkan pada mikrokontroler jenis Arduino karena memiliki stabilitas yang baik dan dapat diandalkan, serta mampu memberikan hasil kalibrasi yang sangat akurat.

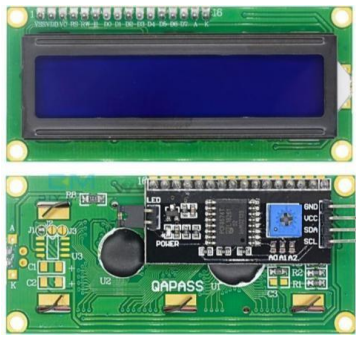
Salah satu jenis Arduino yang sering digunakan adalah Arduino Uno, yang merupakan papan mikrokontroler sistem minimum bersifat *open source*. Arduino memiliki sejumlah keistimewaan dibandingkan dengan board mikrokontroler lainnya, salah satunya adalah kemampuan untuk diprogram menggunakan bahasa pemrograman khusus yang disediakan oleh perangkat lunak Arduino.



Gambar 4. Sensor DHT22

6. LCD I2C

LCD (*Liquid Crystal Display*) adalah perangkat yang digunakan untuk menampilkan informasi elektronik seperti teks, gambar, dan animasi, serta diterapkan dalam berbagai perangkat seperti monitor, televisi, panel instrumen, dan perangkat elektronik lainnya. Dalam sistem mikrokontroler, LCD berfungsi sebagai antarmuka output untuk menampilkan informasi berupa huruf atau angka. Salah satu jenis yang umum digunakan adalah LCD 16x2, yang memanfaatkan 16 pin kontrol. Untuk menghemat penggunaan pin, modul I2C (*Inter-Integrated Circuit*) digunakan sebagai driver, sehingga LCD 16x2 hanya memerlukan empat pin untuk berfungsi: GND terhubung ke *ground*, VCC terhubung ke 5V, SDA sebagai I2C data yang dihubungkan ke pin D2, dan SCL sebagai I2C *clock* yang dihubungkan ke pin D1. Hal ini memungkinkan penggunaan LCD yang efisien tanpa mengorbankan banyak pin pada NodeMCU.



Gambar 5. LCD I2C

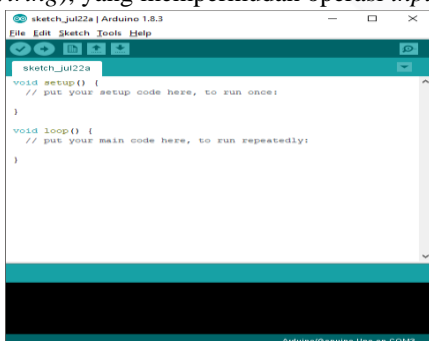
7. Greenhouse

Greenhouse adalah bangunan yang dirancang untuk mendukung pertumbuhan tanaman dengan memaksimalkan masuknya cahaya matahari serta melindungi tanaman dari kondisi cuaca ekstrem, hama, dan penyakit. Selain itu, *greenhouse* memungkinkan pengaturan kondisi lingkungan, seperti suhu dan kelembaban, sesuai kebutuhan tanaman tertentu. Beberapa ciri utama *greenhouse* meliputi struktur transparan dari bahan seperti kaca atau polikarbonat untuk memaksimalkan pencahayaan, sistem kontrol iklim yang mencakup ventilasi, pemanas, kipas angin, sistem irigasi, dan pencahayaan tambahan, serta perlindungan tanaman dari angin kencang, hujan deras, salju, dan serangan hama. Jenis *greenhouse* meliputi *greenhouse* konvensional, *high tunnel* atau *hoop house*, dan *greenhouse* komersial.

Greenhouse memiliki berbagai manfaat bagi tanaman, seperti memungkinkan kontrol suhu dan kelembaban agar tanaman dapat tumbuh optimal tanpa terpengaruh cuaca ekstrem. Selain itu, *greenhouse* memperpanjang musim tanam sehingga tanaman dapat tumbuh sepanjang tahun tergantung jenis tanaman dan teknologi yang digunakan. Struktur tertutup ini juga melindungi tanaman dari hama dan penyakit, serta meningkatkan kualitas tanaman. Dengan lingkungan yang terkontrol, tanaman di *greenhouse* cenderung memiliki ukuran, bentuk, warna, dan kualitas yang lebih baik, sehingga mendukung hasil produksi yang berkualitas tinggi.

8. Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk membuat sketsa pemrograman, atau dengan kata lain, sebagai media untuk memprogram *board* yang ingin diprogram. Arduino IDE berguna untuk mengedit, membuat, meng-*upload* ke *board* yang dipilih, serta menulis kode untuk program tertentu. Dibangun menggunakan bahasa pemrograman *java*, Arduino IDE dilengkapi dengan pustaka C/C++ (*wiring*), yang mempermudah operasi *input/output*.



Gambar 6. Software Arduino

9. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah teknologi canggih yang merujuk pada berbagai perangkat dan sistem di seluruh dunia yang saling terhubung melalui internet dan dapat berbagi data satu sama lain. Teknologi ini melibatkan penggunaan sensor dan perangkat lunak untuk berkomunikasi, mengendalikan,

menghubungkan, dan bertukar data antar perangkat selama tetap terhubung dengan internet, tanpa memerlukan kabel, dan berbasis nirkabel. IoT juga memiliki hubungan erat dengan konsep *machine-to-machine* (M2M), di mana perangkat-perangkat yang memiliki kemampuan komunikasi M2M sering disebut sebagai perangkat cerdas atau *smart devices*.



Gambar 7. Internet of Things

10. Firebase

Firebase Realtime Database adalah layanan *Backend as a Service* (BaaS) milik *Google* yang dirancang untuk mempermudah pengembangan aplikasi *mobile*. Sebagai basis data *cloud NoSQL*, *Firebase Realtime Database* menyinkronkan data secara *real-time* di seluruh klien dan menyediakan fungsionalitas *offline*. Data disimpan dalam format *JSON*, dan semua klien yang terhubung akan menerima pembaruan secara otomatis dengan data terbaru. Teknologi ini menjadi pilihan andal untuk aplikasi yang memerlukan pengiriman informasi cepat dan *real-time*, dengan arsitektur yang berbeda dari *database* konvensional, baik dalam penamaan data maupun atributnya.

Firebase memiliki beberapa komponen utama yang mendukung pengembangan aplikasi. *Database Realtime* memungkinkan penyimpanan dan sinkronisasi data secara langsung di semua perangkat pengguna, cocok untuk aplikasi dengan interaksi langsung seperti pesan instan. *Firestore*, sebagai alternatif lebih canggih, memungkinkan pengelolaan data dalam bentuk koleksi dan dokumen, memberikan fleksibilitas dan efisiensi untuk aplikasi dengan data kompleks. *Autentikasi Pengguna* menyediakan berbagai metode *login*, termasuk *email*, autentikasi sosial, dan anonim, sehingga mempermudah integrasi keamanan tanpa membangun sistem dari awal. Selain itu, layanan Pesan dan Notifikasi memungkinkan pengiriman notifikasi langsung ke perangkat pengguna untuk memberikan informasi penting, pembaruan, atau pemberitahuan lainnya. *Firebase*, dengan fitur-fitur ini, telah diimplementasikan dalam berbagai aplikasi untuk mendukung kebutuhan pengiriman informasi secara cepat dan *real-time*.



Gambar 8. Platform Firebase

11. Holder Baterai

Holder baterai merupakan komponen yang dirancang untuk menampung dan menghubungkan baterai ke dalam rangkaian atau sistem elektronik. Tujuan utamanya adalah untuk menyimpan baterai dengan aman, memastikan koneksi yang tepat antara terminal baterai dan rangkaian, serta mempermudah proses penggantian atau pemeliharaan baterai. *Holder* baterai banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, mulai dari perangkat portabel hingga sistem penyimpanan energi yang lebih besar.



Gambar 9. Holder Baterai

12. Baterai 18650

Nama baterai 18650 merujuk pada ukuran fisiknya yang berbentuk silinder. Angka 18 menunjukkan diameter baterai sebesar 18 mm, sementara angka 650 menggambarkan tinggi baterai yang mencapai 65,0 mm. Angka "0" di belakang koma menunjukkan toleransi tinggi total baterai berdasarkan jenis produk tersebut. Tegangan operasional baterai 18650 adalah 3,7 Volt, dengan kapasitas pengisian maksimum hingga 4,2 Volt, dan batas minimal ketika baterai kosong adalah 3,0 Volt. Kemampuan baterai untuk menyimpan arus listrik bervariasi tergantung pada proses produksinya, namun secara umum, baterai ini dapat memiliki kapasitas hingga 3600 mAh.



Gambar 10. Baterai 18650

13. Step Down

Komponen *step down converter* (*buck converter*) berfungsi untuk mengubah tegangan 5V yang diterima dari port USB menjadi tegangan lebih rendah, yakni 3.3V, yang diperlukan agar ESP32 dapat beroperasi dengan aman. Proses ini dilakukan dengan efisiensi yang tinggi dan menghasilkan output tegangan yang stabil, sehingga menjaga kestabilan dan kinerja ESP32.

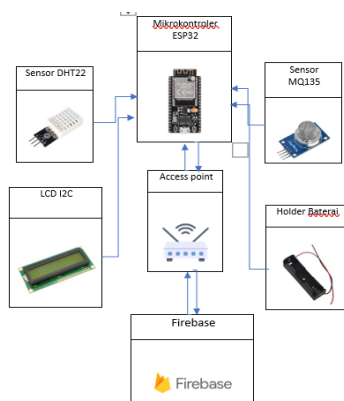


Gambar 11. Step Down

III. METODE

1. Perancangan Sistem

1.1. Blok Diagram Sistem Alat Monitoring Parameter Lingkungan Greenhouse



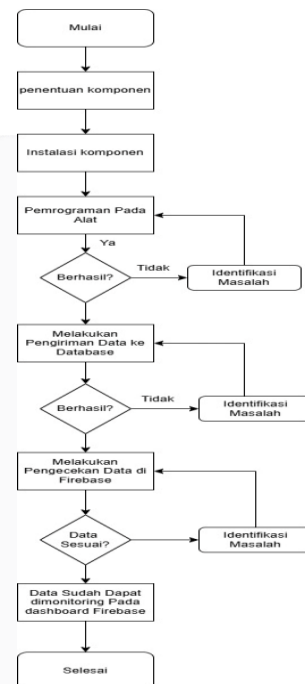
Gambar 12. Blok Diagram Sistem

Adapun cara kerja sistem diagram blok diatas adalah sebagai berikut:

1. DHT22 yang terhubung pada ESP32 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan pada ruangan *Greenhouse*.
2. *Microcontroller* ESP32 secara berkala mengambil dan membaca data dari setiap sensor untuk mendapatkan data informasi mengenai kondisi lingkungan *greenhouse*.
3. Sensor MQ135 yang terhubung pada ESP32 berfungsi untuk mengukur kadar (CO2) pada ruangan *Greenhouse*.
4. Baterai terhubung ke ESP32 untuk menyediakan daya yang stabil untuk board ESP32 dan mengatur tegangan yang masuk agar sesuai dengan kebutuhan ESP32 (3.3V atau 5V).
5. *Access point* sebagai penghubung untuk mengirim data dari ESP32 ke *Firestore*.
6. *Firestore* berfungsi untuk menyimpan *data base* dan menerima data yang dikirim dari ESP32.

1.2. Flowchart System

Dalam tahap kedua perancangan model sistem, dibuat *flowchart*, tujuannya adalah untuk menjelaskan tahapan cara kerja sistem. *Flowchart system* terdiri dari dua komponen utama yang saling terintegrasi, yakni sistem penyiraman tanaman dan sistem *monitoring* lingkungan tanaman..



Gambar 13. Flowchart System

Gambar 13 merupakan *flowchart system* yang dibuat untuk tahapan skema cara kerja sistem *monitoring* parameter lingkungan *Greenhouse*. Penjelasan mengenai tahapan untuk menjalankan dari kedua sistem sebagai berikut.

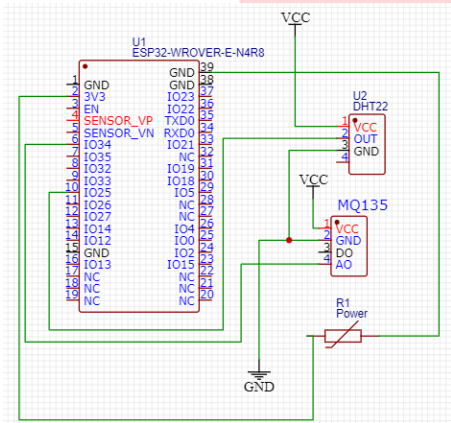
- a. Sistem dimulai dengan *microcontroller* ESP32 diberikan tegangan sebesar 5V untuk menjalankan sistem.
- b. Inisialisasi alat dan sistem, yang berfungsi untuk menampung data pada memori, dimana menampung nilai data yang dapat berubah-ubah, pin-pin yang terhubung dari komponen ke *microcontroller* ESP32 dideteksi, akses untuk terhubung ke *firebase* memasukkan *library* dari komponen yang digunakan *password* dan kata kunci Wi-Fi.
- c. Pembacaan data dari sensor DHT22 dan sensor MQ135. Di tahap ini sensor aktif dan akan mendeteksi nilai suhu, kelembapan dan kualitas udara sesuai kondisi lingkungan

Greenhouse.

- d. *Microcontroller* ESP32 berhasil menerima data dari sensor dan dikirim untuk ditampilkan melalui LCD dan *microcontroller* ESP32 yang terhubung ke internet akan mengirim data yang sudah didapat ke *Firestore*.
- e. *Firestore* berhasil menerima data sensor dan data dikirim ke real time *database*.
- f. Data diterima dan ditampilkan pada LCD dan antarmuka *dashboard firestore monitoring* secara *realtime*. Dalam hal ini, data ditampilkan pada *dashboard monitoring* berupa angka.

1.3 Rangkaian Sistem Alat Parameter Lingkungan *Greenhouse*

Pada tahap ketiga perancangan model sistem, dilakukan perancangan dengan menyusun rangkaian sistem. Tujuan dari pembuatan rangkaian sistem ini adalah untuk mempermudah proses pembuatan setiap bagian dari sistem, sehingga sistem yang terbentuk dapat memenuhi kebutuhan yang telah ditetapkan.



Gambar 14. Rangkaian Sistem Alat

Pada gambar 14, dapat dilihat bahwa setiap pin yang terdapat dalam komponen terhubung ke *microcontroller* ESP32.

1. Sensor DHT22, sebagai pendeteksi nilai suhu udara saat monitoring. Sensor ini memiliki 4 pin utama, yaitu VCC, GND, DATA, dan NC. Pin VCC dan GND terhubung ke sumber tegangan *microcontroller* ESP32 dan pin DATA terhubung dengan pin 25.
2. Sensor MQ135, sebagai pendeteksi kadar karbon dioksida (CO2) disekitar lingkungan tanaman saat *monitoring*. Sensor ini memiliki 4 pin utama, yaitu VCC, GND, DO, dan AO. Pin VCC dan GND terhubung ke sumber tegangan *microcontroller* ESP32 dan pin AO terhubung dengan pin 34.
3. Power, sebagai pemberi daya untuk ESP32 saat monitoring. Alat ini memiliki 2 pin utama, yaitu VCC dan GND. Pin VCC dan GND terhubung ke sumber tegangan *microcontroller* ESP32.

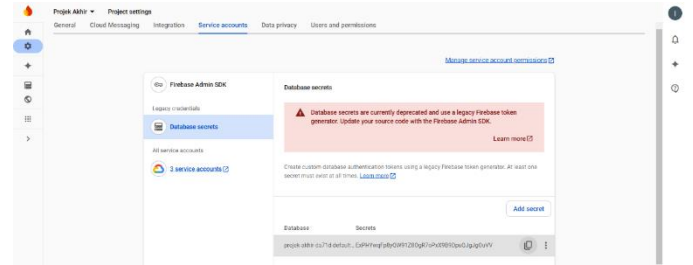
2. Perancangan Perangkat Lunak

Dalam proses perancangan perangkat lunak, digunakan *platform Firestore* sebagai antarmuka *dashboard* yang menampilkan data informasi *monitoring*.

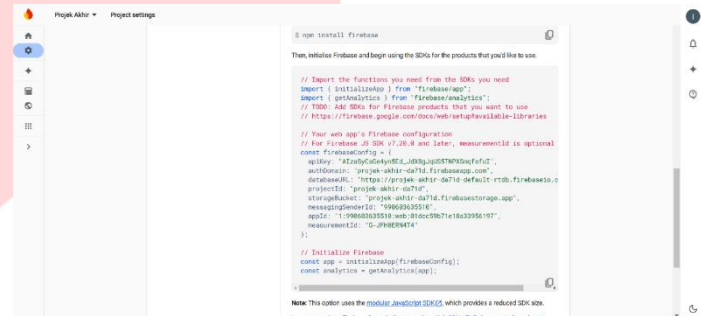
2.1 Perancangan *Firestore*

Perancangan *Firestore* dilakukan sebagai *database real-time* untuk sinkronisasi data. Tujuan dari perancangan ini adalah untuk memperoleh *URL Authentication*, konfigurasi SDK

Setup, dan *Firestore Host* yang akan dimasukkan ke dalam program di *Arduino IDE*, sehingga perangkat dapat terintegrasi dengan *Firestore*. Langkah pertama adalah mengaktifkan *Authentication*, yang berfungsi untuk mendapatkan *URL Authentication* dan konfigurasi SDK *Setup Firestore*. Berikut ini adalah *URL Authentication* dan konfigurasi SDK *Setup Firestore* yang telah diperoleh.

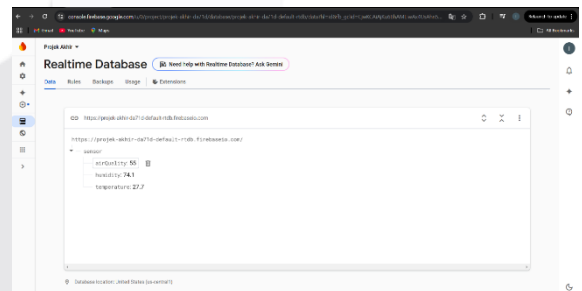


Gambar 15. *URL Authentication*



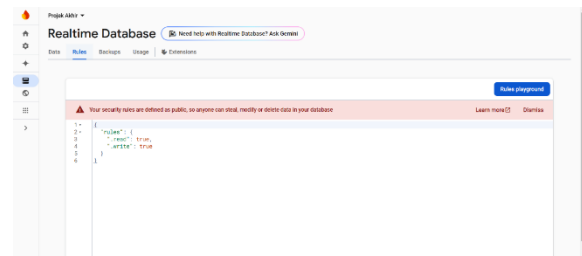
Gambar 16. SDK Set Up Configuration

Langkah selanjutnya adalah membuat *database real-time* yang dapat menyimpan dan menyinkronkan data secara langsung. Setelah mendapatkan *URL Authentication* dan konfigurasi SDK *Setup*, masukkan *URL Authentication* dan *Host Firestore* ke dalam program di *Arduino IDE*. Informasi mengenai *Host Firestore* dapat ditemukan pada bagian *Realtime Database*. Langkah ini memungkinkan perangkat untuk terhubung dengan *Firestore Realtime Database*. Berikut ini adalah hasil dari pembuatan *database real-time* tersebut.



Gambar 17. *Realtime Database*

Pada *dashboard realtime database* di *firebase*, pilih bagian *rules*, lalu ubah nilainya menjadi "true" pada bagian "read" dan "write". Aturan ini berfungsi agar data dari perangkat dapat terbaca. Seperti pada gambar dibawah ini.



Gambar 18. Rules Realtime Database

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Pengujian Komponen Hardware

Pengujian komponen *hardware* bertujuan untuk mengevaluasi kinerja masing- masing komponen dalam sistem, yaitu sistem pengukuran parameter lingkungan *greenhouse* yang mencakup integrasi *microcontroller* ESP32. Integrasi ini juga melibatkan *microcontroller* ESP32, LCD, sensor DHT22, sensor MQ135 untuk memantau kondisi lingkungan *Greenhouse*. Hasil pengujian untuk setiap komponen disajikan dalam tabel berikut.

Tabel 1. Pengujian Komponen Hardware

No.	Pengujian	Keterangan
1.	Integrasi antara <i>microcontroller</i> ESP32, sensor DHT22, sensor MQ135 dan power supply dalam sistem pengukuran parameter dan monitoring parameter suhu udara,kelembapan,dan kadar CO2	Berhasil
2.	Integrasi antara Baterai untuk menyalurkan daya kepada alat pengukuran parameter	Berhasil

$$\text{Percent Error (\%)} = \left| \frac{y-x}{x} \right| \times 100$$

Keterangan :

x = Pengukuran menggunakan *thermometer*.

y = Pengukuran menggunakan sensor DHT22.

Tabel 2. Pengujian Sensor DHT22 Pagi

Percobaan (Pagi)	waktu	Suhu (DHT22)	Kelembapan (DHT22)	Suhu (Alat Pemandang)	Kelembapan (Alat Pemandang)
1	08:13 – 08:15	27°C	64%	26°C	62%
2	08:15 – 08:17	27°C	62%	27°C	61%
3	08:17 – 08:19	28°C	65%	28°C	65%
4	08:19 – 08:21	28°C	63%	28°C	63%
5	08:21 – 08:23	28°C	62%	27°C	63%
6	08:23 – 08:25	27°C	66%	27°C	65%
7	08:25 – 08:27	28°C	63%	28°C	61%
8	08:27 – 08:29	28°C	66%	27°C	63%
9	08:29 – 08:31	27°C	64%	27°C	62%
10	08:31 – 08:33	28°C	63%	28°C	63%
11	08:33 – 08:35	28°C	64%	28°C	62%
12	08:35 – 08:37	27°C	64%	28°C	62%
13	08:37 – 08:39	27°C	61%	27°C	60%
14	08:39 – 08:41	28°C	63%	27°C	61%
15	08:41 – 08:43	27°C	63%	27°C	63%
16	08:43 – 08:45	27°C	62%	27°C	62%
17	08:45 – 08:47	28°C	64%	27°C	62%
18	08:47 – 08:49	28°C	65%	27°C	63%
19	08:49 – 08:51	29°C	63%	28°C	63%
20	08:51 – 08:53	29°C	62%	27°C	63%

2. Pengujian Sensor

2.1. Sensor DHT22

Pengujian sensor DHT22 dilakukan dengan membandingkannya dengan alat pengukur suhu. Kedua perangkat ini digunakan untuk mengukur data suhu dan kelembapan. Pengambilan data dilakukan dengan cara meletakkan sensor dan alat pengukur suhu di lokasi yang sama, kemudian melakukan pengukuran secara berkala.

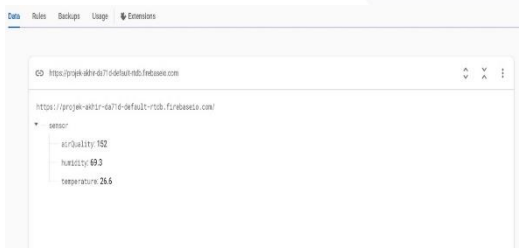
Tabel 3. Pengujian Sensor DHT22 Siang

Percobaan (Siang)	waktu	Suhu (DHT22)	Kelembapan (DHT22)	Suhu (Alat Pemandang)	Kelembapan (Alat Pemandang)
1	13:15 – 13:17	32°C	60%	31°C	58%
2	13:17 – 13:19	32°C	58%	32°C	57%
3	13:19 – 13:21	32°C	59%	32°C	58%
4	13:21 – 13:23	32°C	53%	31°C	52%
5	13:23 – 13:25	33°C	61%	32°C	60%
6	13:25 – 13:27	33°C	55%	33°C	53%
7	13:27 – 13:29	33°C	56%	33°C	55%
8	13:29 – 13:31	32°C	57%	33°C	57%
9	13:31 – 13:33	33°C	55%	33°C	54%
10	13:33 – 13:35	33°C	60%	33°C	58%
11	13:35 – 13:37	34°C	54%	33°C	52%
12	13:37 – 13:39	35°C	52%	35°C	52%
13	13:39 – 13:41	35°C	54%	34°C	52%
14	13:41 – 13:43	34°C	57%	33°C	56%
15	13:43 – 13:45	34°C	60%	32°C	59%
16	13:45 – 13:47	35°C	56%	33°C	55%
17	13:47 – 13:49	34°C	53%	33°C	53%
18	13:49 – 13:51	34°C	53%	33°C	53%
19	13:51 – 13:53	33°C	58%	34°C	56%
20	13:53 – 13:55	33°C	54%	33°C	55%

Tabel 4. Pengujian Sensor DHT22 Sore

Hasil pengujian dicatat dalam tabel untuk menghitung nilai error, yaitu perbedaan antara suhu udara yang terdeteksi oleh sensor dan alat pengukur suhu. pengujian ini dilakukan di pagi, siang dan sore untuk melihat perbedaan di pagi, siang dan sore.

Tujuan utama dari pengujian ini adalah untuk mengetahui bagaimana respon sensor terhadap perubahan suhu udara, serta untuk memahami seberapa cepat dan akurat sensor dalam merespons perubahan tersebut.



Gambar 19. Pengujian Sensor DHT22

Untuk menentukan dan menghitung persentase *error* dari setiap percobaan yang telah dilakukan, penulis menggunakan persamaan matematis yang telah ditetapkan. Persamaan ini digunakan sebagai dasar perhitungan untuk menilai seberapa dekat hasil percobaan dengan nilai yang diharapkan. Nilai kesalahan ini merupakan komponen penting dalam mengevaluasi kinerja keseluruhan sistem yang dikembangkan dalam proyek akhir ini. Berikut adalah rumus untuk mencari persentase error:

Percobaan (Sore)	waktu	Suhu (DHT22)	Kelembapan (DHT22)	Suhu (Alat Perbandingan)	Kelembapan (Alat Perbandingan)
1	16:06 – 16:08	30°C	62%	30°C	60%
2	16:08 – 16:10	30°C	60%	30°C	60%
3	16:10 – 16:12	31°C	56%	30°C	55%
4	16:12 – 16:14	31°C	58%	30°C	56%
5	16:14 – 16:16	30°C	59%	30°C	59%
6	16:16 – 16:18	31°C	58%	31°C	55%
7	16:18 – 16:20	31°C	60%	30°C	61%
8	16:20 – 16:22	32°C	58%	31°C	53%
9	16:22 – 16:24	32°C	59%	30°C	58%
10	16:24 – 16:26	31°C	62%	31°C	61%
11	16:26 – 16:28	32°C	63%	30°C	62%
12	16:28 – 16:30	32°C	61%	31°C	60%
13	16:30 – 16:32	31°C	61%	30°C	59%
14	16:32 – 16:34	30°C	57%	30°C	55%
15	16:34 – 16:36	30°C	60%	31°C	58%
16	16:36 – 16:38	31°C	59%	30°C	59%
17	16:38 – 16:40	31°C	57%	31°C	56%
18	16:40 – 16:42	32°C	60%	30°C	60%
19	16:42 – 16:44	31°C	62%	31°C	61%
20	16:44 – 16:46	31°C	60%	31°C	60%



Gambar 20. Pengujian Sensor MQ135

Untuk menentukan dan menghitung persentase *error* dari setiap percobaan yang telah dilakukan, penulis menggunakan persamaan matematis yang telah ditetapkan. Persamaan ini digunakan sebagai dasar perhitungan untuk menilai seberapa dekat hasil percobaan dengan nilai yang diharapkan. Nilai kesalahan ini merupakan komponen penting dalam mengevaluasi kinerja keseluruhan sistem yang dikembangkan dalam proyek ini. Berikut adalah rumus untuk mencari persentase *error*:

$$\text{Percent Error (\%)} = \frac{|y-x|}{x} \times 100$$

Keterangan :

x = Pengukuran menggunakan *air quality detector* .

y = Pengukuran menggunakan sensor MQ135.

Tabel 5. Pengujian CO2 Pagi

Percobaan Pagi	Waktu	Co2 (MQ135)	Co2 (alat Pengukur)
1	08:13 – 08:15	436	424
2	08:15 – 08:17	432	429
3	08:17 – 08:19	428	421
4	08:19 – 08:21	426	407
5	08:21 – 08:23	424	404
6	08:23 – 08:25	429	410
7	08:25 – 08:27	420	411
8	08:27 – 08:29	425	423
9	08:29 – 08:31	382	415
10	08:31 – 08:33	395	389
11	08:33 – 08:35	384	369
12	08:35 – 08:37	375	371
13	08:37 – 08:39	387	396
14	08:39 – 08:41	379	378
15	08:41 – 08:43	386	370
16	08:43 – 08:45	390	382
17	08:45 – 08:47	402	386
18	08:47 – 08:49	396	379
19	08:49 – 08:51	385	371
20	08:51 – 08:53	374	362

Pengujian ini dilakukan selama 40 menit dengan pengambilan data pada pagi, siang dan sore setiap 2 menit. Berdasarkan hasil perbandingan pengukuran suhu, diperoleh rata-rata kesalahan di pagi hari sebesar 1,4%, rata-rata kesalahan di siang hari sebesar 1,5% dan rata-rata kesalahan di sore hari sebesar 1,8% antara pengukuran suhu sensor DHT22 dan alat pengukur suhu.

Sementara itu, untuk pengukuran kelembapan, rata-rata kesalahan di pagi hari sebesar adalah 1,6%, rata-rata kesalahan di siang hari sebesar 1,8% dan rata-rata kesalahan di sore hari sebesar 1,9% antara sensor DHT22 dan alat pengukur kelembapan. Kesalahan ini disebabkan oleh sensitivitas masing-masing sensor. Meskipun demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor masih berfungsi dengan baik dan dapat diterapkan dalam sistem.

2.2. Sensor MQ135

Pengujian sensor MQ135 dilakukan dengan membandingkannya dengan *air quality detector*. Serangkaian pengujian dilakukan di mana sensor dan *air quality detector* ditempatkan di lokasi yang sama untuk mengukur konsentrasi CO2 dalam satuan ppm. Data yang dikumpulkan dari pengujian ini dicatat dalam tabel untuk menghitung nilai *error*, yaitu perbedaan antara konsentrasi CO2 yang terdeteksi oleh sensor dan *air quality detector*. Tujuan pengujian ini adalah untuk memahami respon sensor terhadap perubahan konsentrasi CO2. Berikut adalah hasil dari pengujian sensor MQ135.

Tabel 6. Pengujian CO2 Siang

Percobaan Siang	Waktu	Co2 (MQ135)	Co2 (alat Pengukur)
1	13:15 – 13:17	201	198
2	13:17 – 13:19	198	196
3	13:19 – 13:21	210	198
4	13:21 – 13:23	206	211
5	13:23 – 13:25	195	190
6	13:25 – 13:27	184	178
7	13:27 – 13:29	190	183
8	13:29 – 13:31	193	185
9	13:31 – 13:33	217	214
10	13:33 – 13:35	187	189
11	13:35 – 13:37	183	180
12	13:37 – 13:39	202	196
13	13:39 – 13:41	178	172
14	13:41 – 13:43	180	182
15	13:43 – 13:45	209	198
16	13:45 – 13:47	192	187
17	13:47 – 13:49	186	180
18	13:49 – 13:51	179	169
19	13:51 – 13:53	165	171
20	13:53 – 13:55	169	165

Tabel 7. Pengujian CO2 Sore

Percobaan Sore	Waktu	Co2 (MQ135)	Co2 (alat Pengukur)
1	16:06 – 16:08	295	290
2	16:08 – 16:10	297	288
3	16:10 – 16:12	287	279
4	16:12 – 16:14	284	274
5	16:14 – 16:16	280	278
6	16:16 – 16:18	304	289
7	16:18 – 16:20	292	285
8	16:20 – 16:22	290	289
9	16:22 – 16:24	301	296
10	16:24 – 16:26	286	279
11	16:26 – 16:28	281	278
12	16:28 – 16:30	274	270
13	16:30 – 16:32	283	277
14	16:32 – 16:34	279	274
15	16:34 – 16:36	291	288
16	16:36 – 16:38	271	269
17	16:38 – 16:40	284	274
18	16:40 – 16:42	295	286
19	16:42 – 16:44	275	268
20	16:44 – 16:46	282	279

antara sensor MQ135 dan alat deteksi kualitas udara yang tersedia di pasaran menunjukkan rata-rata kesalahan di pagi hari sebesar 2%, rata-rata kesalahan di siang hari sebesar 2,2% dan rata-rata kesalahan di sore hari sebesar 2.1% Kesalahan ini disebabkan oleh sensitivitas masing-masing sensor. Meskipun ada kesalahan, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor masih berfungsi dengan baik dan dapat digunakan dalam sistem.

3. Sistem Monitoring

Dalam pengujian ini, setelah masing-masing sensor berhasil diuji dan sistem berhasil mengintegrasikan seluruh sensor, dilakukan pengujian di lingkungan *Greenhouse* dengan menganalisis parameter data yang diperoleh dari sensor. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui apakah alat yang telah dibuat dapat berfungsi dengan baik untuk pemantauan, dengan mempertimbangkan parameter seperti suhu udara dan konsentrasi CO2 di lingkungan *greenhouse* tersebut. Pengujian ini juga bertujuan untuk memperoleh data mengenai kondisi lingkungan *greenhouse* yang terletak di area *rooftop* Fakultas Ilmu Terapan (FIT), Telkom *University*. Pengujian sistem monitoring ini dilakukan di ruangan *greenhouse* selama 40 menit pada pagi, siang dan sore dengan pengambilan data setiap 2 menit.

3.1 Tabel Suhu Udara pada *Greenhouse*

Tabel 8. Monitoring Suhu Pagi

Percobaan Pagi	Waktu	Suhu
1	08:13 – 08:15	27°C
2	08:15 – 08:17	27°C
3	08:17 – 08:19	28°C
4	08:19 – 08:21	28°C
5	08:21 – 08:23	28°C
6	08:23 – 08:25	27°C
7	08:25 – 08:27	28°C
8	08:27 – 08:29	28°C
9	08:29 – 08:31	27°C
10	08:31 – 08:33	28°C
11	08:33 – 08:35	28°C
12	08:35 – 08:37	27°C
13	08:37 – 08:39	27°C
14	08:39 – 08:41	28°C
15	08:41 – 08:43	27°C
16	08:43 – 08:45	27°C
17	08:45 – 08:47	28°C
18	08:47 – 08:49	28°C
19	08:49 – 08:51	29°C
20	08:51 – 08:53	29°C

Pengujian ini dilakukan selama 1 jam dengan pengambilan data setiap 3 menit. Hasil perbandingan pengukuran kadar CO2

Tabel 9. Monitoring Suhu Siang

Percobaan Siang	Waktu	Suhu
1	13:15 – 13:17	32°C
2	13:17 – 13:19	32°C
3	13:19 – 13:21	32°C
4	13:21 – 13:23	32°C
5	13:23 – 13:25	33°C
6	13:25 – 13:27	33°C
7	13:27 – 13:29	33°C
8	13:29 – 13:31	32°C
9	13:31 – 13:33	33°C
10	13:33 – 13:35	33°C
11	13:35 – 13:37	34°C
12	13:37 – 13:39	35°C
13	13:39 – 13:41	35°C
14	13:41 – 13:43	34°C
15	13:43 – 13:45	34°C
16	13:45 – 13:47	35°C
17	13:47 – 13:49	34°C
18	13:49 – 13:51	34°C
19	13:51 – 13:53	33°C
20	13:53 – 13:55	33°C

Tabel 10. Monitoring Suhu Sore

Percobaan Sore	Waktu	Suhu
1	16:06 – 16:08	30°C
2	16:08 – 16:10	30°C
3	16:10 – 16:12	31°C
4	16:12 – 16:14	31°C
5	16:14 – 16:16	30°C
6	16:16 – 16:18	31°C
7	16:18 – 16:20	31°C
8	16:20 – 16:22	32°C
9	16:22 – 16:24	32°C
10	16:24 – 16:26	31°C
11	16:26 – 16:28	32°C
12	16:28 – 16:30	32°C
13	16:30 – 16:32	31°C
14	16:32 – 16:34	30°C
15	16:34 – 16:36	30°C
16	16:36 – 16:38	31°C
17	16:38 – 16:40	31°C
18	16:40 – 16:42	32°C
19	16:42 – 16:44	31°C
20	16:44 – 16:46	31°C

Greenhouse rooftop FIT, Telkom University, selama 40 menit di pagi hari dengan pengambilan data setiap 2 menit. Rata-rata suhu yang tercatat adalah 28°C, yang berada dalam kisaran ideal 24°C hingga 30°C untuk kondisi tanaman yang optimal.

Tabel 9 menunjukkan pembacaan suhu di siang hari, dengan rata-rata mencapai 33°C. Suhu ini sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kisaran ideal 28°C hingga 32°C. Meskipun masih dalam batas toleransi untuk beberapa jenis tanaman, diperlukan pengelolaan yang lebih baik, seperti peningkatan ventilasi atau penggunaan sistem pendingin, untuk menjaga kenyamanan suhu bagi tanaman.

Tabel 10 mencatat suhu di sore hari dengan rata-rata 31°C. Suhu ini juga sedikit lebih tinggi dari kisaran ideal 28°C hingga 30°C. Meskipun masih dapat diterima untuk sebagian besar tanaman, pengelolaan suhu yang baik tetap diperlukan untuk mencegah kondisi yang terlalu panas. Secara keseluruhan, pengukuran suhu di ketiga waktu ini menunjukkan perlunya perhatian dalam pengelolaan suhu untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

3.2 Tabel Kelembapan Pada Greenhouse

Tabel 11. Monitoring Kelembapan Pagi

Percobaan pagi	Waktu	Kelembapan
1	08:13 – 08:15	64%
2	08:15 – 08:17	62%
3	08:17 – 08:19	65%
4	08:19 – 08:21	63%
5	08:21 – 08:23	62%
6	08:23 – 08:25	60%
7	08:25 – 08:27	61%
8	08:27 – 08:29	66%
9	08:29 – 08:31	64%
10	08:31 – 08:33	62%
11	08:33 – 08:35	64%
12	08:35 – 08:37	60%
13	08:37 – 08:39	61%
14	08:39 – 08:41	63%
15	08:41 – 08:43	62%
16	08:43 – 08:45	60%
17	08:45 – 13:47	64%
18	08:47 – 08:49	61%
19	08:49 – 08:51	63%
20	08:51 – 08:53	62%

Tabel 12. Monitoring Kelembapan Siang

Percobaan siang	Waktu	Kelembapan
1	13:15 – 13:17	60%
2	13:17 – 13:19	58%
3	13:19 – 13:21	59%
4	13:21 – 13:23	53%
5	13:23 – 13:25	61%
6	13:25 – 13:27	55%
7	13:27 – 13:29	56%
8	13:29 – 13:31	57%
9	13:31 – 13:33	55%
10	13:33 – 13:35	60%
11	13:35 – 13:37	54%
12	13:37 – 13:39	52%
13	13:39 – 13:41	54%
14	13:41 – 13:43	57%
15	13:43 – 13:45	60%
16	13:45 – 13:47	56%
17	13:47 – 13:49	53%
18	13:49 – 13:51	53%
19	13:51 – 13:53	58%
20	13:53 – 13:55	54%

Tabel 13. Monitoring Kelembapan Sore

Percobaan sore	Waktu	Kelembapan
1	16:06 – 16:08	62%
2	16:08 – 16:10	60%
3	16:10 – 16:12	56%
4	16:12 – 16:14	58%
5	16:14 – 16:16	59%
6	16:16 – 16:18	58%
7	16:18 – 16:20	60%
8	16:20 – 16:22	58%
9	16:22 – 16:24	59%
10	16:24 – 16:26	62%
11	16:26 – 16:28	63%
12	16:28 – 16:30	61%
13	16:30 – 16:32	61%
14	16:32 – 16:34	57%
15	16:34 – 16:36	60%
16	16:36 – 16:38	59%
17	16:38 – 16:40	57%
18	16:40 – 16:42	60%
19	16:42 – 16:44	58%
20	16:44 – 16:46	59%

Tabel 11 menunjukkan hasil pembacaan kelembapan DHT22 di *Greenhouse rooftop* FIT, Telkom University, selama 40 menit di pagi hari dengan interval 2 menit. Rata-rata kelembapan tercatat 63%, yang tergolong baik karena berada dalam kisaran ideal 60% hingga 80% untuk mendukung pertumbuhan tanaman.

Tabel 12 mencatat kelembapan di siang hari dengan rata-rata 56%. Kelembapan ini sedikit di bawah kisaran ideal 60% hingga 70%. Meskipun masih dapat diterima, pengelolaan kelembapan melalui penyiraman atau sistem irigasi mungkin diperlukan untuk mencapai kondisi yang lebih optimal.

Tabel 13 menunjukkan kelembapan sore hari dengan rata-rata 59%. Meskipun sedikit di bawah kisaran ideal 60% hingga 70%, kelembapan ini masih dapat diterima dengan pengelolaan yang baik. Secara keseluruhan, pengukuran kelembapan di ketiga waktu ini menunjukkan perlunya perhatian dalam pengelolaan kelembapan untuk mendukung pertumbuhan tanaman yang optimal.

3.3 Tabel Kadar CO2 Pada Greenhouse

Tabel 14. Kadar CO2 Pagi

Percobaan Pagi	Waktu	CO2
1	08:13 – 08:15	436
2	08:15 – 08:17	432
3	08:17 – 08:19	428
4	08:19 – 08:21	426
5	08:21 – 08:23	424
6	08:23 – 08:25	429
7	08:25 – 08:27	420
8	08:27 – 08:29	425
9	08:29 – 08:31	382
10	08:31 – 08:33	395
11	08:33 – 08:35	384
12	08:35 – 08:37	375
13	08:37 – 08:39	387
14	08:39 – 08:41	379
15	08:41 – 08:43	386
16	08:43 – 08:45	390
17	08:45 – 13:47	402
18	08:47 – 08:49	396
19	08:49 – 08:51	385
20	08:51 – 08:53	374

Tabel 15. Kadar CO2 Siang

Percobaan siang	Waktu	CO2
1	13:15 – 13:17	201
2	13:17 – 13:19	198
3	13:19 – 13:21	210
4	13:21 – 13:23	206
5	13:23 – 13:25	195
6	13:25 – 13:27	184
7	13:27 – 13:29	190
8	13:29 – 13:31	193
9	13:31 – 13:33	217
10	13:33 – 13:35	187
11	13:35 – 13:37	183
12	13:37 – 13:39	202
13	13:39 – 13:41	178
14	13:41 – 13:43	180
15	13:43 – 13:45	209
16	13:45 – 13:47	192
17	13:47 – 13:49	186
18	13:49 – 13:51	179
19	13:51 – 13:53	165
20	13:53 – 13:55	169

Tabel 16. Kadar CO2 Sore

Percobaan sore	Waktu	CO2
1	16:06 – 16:08	295
2	16:08 – 16:10	297
3	16:10 – 16:12	287
4	16:12 – 16:14	284
5	16:14 – 16:16	280
6	16:16 – 16:18	304
7	16:18 – 16:20	292
8	16:20 – 16:22	290
9	16:22 – 16:24	301
10	16:24 – 16:26	286
11	16:26 – 16:28	281
12	16:28 – 16:30	274
13	16:30 – 16:32	283
14	16:32 – 16:34	279
15	16:34 – 16:36	291
16	16:36 – 16:38	271
17	16:38 – 16:40	284
18	16:40 – 16:42	295
19	16:42 – 16:44	275
20	16:44 – 16:46	282

Tabel 14 menyajikan hasil pembacaan sensor MQ135 di *Greenhouse rooftop FIT, Telkom University*, selama 40 menit di pagi hari dengan interval 2 menit. Rata-rata kadar CO2 tercatat 403 ppm, sedikit lebih tinggi dari standar ideal 300 ppm hingga 400 ppm. Meskipun masih dalam batas toleransi, pengelolaan ventilasi yang baik diperlukan untuk menjaga kadar CO2 optimal bagi pertumbuhan tanaman.

Tabel 15 menunjukkan kadar CO2 di siang hari dengan rata-rata 191 ppm, yang berada di bawah standar ideal. Kadar ini mencerminkan ventilasi yang baik di *Greenhouse*, menghindari penumpukan CO2 berlebihan, terutama karena jumlah tanaman yang tidak terlalu banyak pada siang hari.

Tabel 16 mencatat kadar CO2 di sore hari dengan rata-rata 286 ppm. Meskipun sedikit di bawah kisaran ideal 300 ppm hingga 400 ppm, kadar ini masih dianggap baik untuk mendukung fotosintesis tanaman. Secara keseluruhan, pengukuran kadar CO2 di ketiga waktu menunjukkan perlunya perhatian dalam pengelolaan ventilasi untuk mendukung kondisi yang optimal bagi tanaman.

4. Delay Pengiriman Data

Tahap terakhir dalam sistem *monitoring* lingkungan *Greenhouse* adalah menampilkan data pada *Real-time database*. Melalui *dashboard Firebase*, informasi mengenai suhu udara, kelembapan, dan Co2. Pengujian ini penting dilakukan untuk mengetahui *delay* dalam pengiriman data dengan membandingkan waktu pengiriman data dari perangkat dengan waktu penerimaan data pada *Firebase*. Dalam pengujian *delay* ini dilakukan dengan cara manual yaitu dengan *screen recording* pada serial monitor arduino IDE dengan *screen* pada *realtime database firebase*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan agar data sampai dan ditampilkan adalah 6 detik.

Tabel 17. Pengujian Delay

No	Waktu Data Dikirim	Waktu Diterima Database	Delay
1	11.08.29	11.08.36	00.00.07
2	11.08.33	11.08.42	00.00.09
3	11.08.42	11.08.45	00.00.03
4	11.09.47	11.09.02	00.00.05
5	11.09.03	11.09.09	00.00.06
6	11.09.10	11.09.16	00.00.06
7	11.09.17	11.09.22	00.00.05
8	11.09.23	11.09.29	00.00.06
9	11.09.30	11.09.35	00.00.05
10	11.09.36	11.09.41	00.00.05
11	11.09.42	11.09.48	00.00.06
12	11.09.49	11.09.54	00.00.05
13	11.10.55	11.10.01	00.00.06
14	11.10.01	11.10.07	00.00.06
15	11.10.08	11.10.13	00.00.05
16	11.10.14	11.10.19	00.00.05
17	11.10.20	11.10.26	00.00.05
18	11.10.27	11.10.33	00.00.06
19	11.10.33	11.10.39	00.00.06
20	11.10.39	11.10.45	00.00.06
Rata-rata			00.00.06

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pengujian dan analisa yang telah dilakukan maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil pengujian fungsionalitas terhadap fitur-fitur *Firestore* yang telah dibuat dapat disimpulkan bahwa semua fungsi 100% berjalan dengan baik sebagaimana semestinya.
2. Sistem *monitoring* lingkungan *Greenhouse* yang menggunakan *microcontroller* ESP32, LCD 16x2 I2C, sensor DHT22 dan sensor MQ135 dapat berfungsi dengan baik. Data yang diperoleh dari sensor ditampilkan pada LCD serta dikirim ke *Firestore* untuk kemudian ditampilkan pada *dashboard monitoring*
3. *Firestore* berhasil berfungsi sebagai *realtime database* untuk menyinkronkan data dan menampilkan hasil pada *dashboard*.
4. Hasil pengujian *delay* menunjukkan bahwa rata-rata waktu yang dibutuhkan untuk mengirim data dari alat ke *Firestore* adalah 6 detik. Waktu pengiriman ini dipengaruhi oleh kecepatan *internet* yang digunakan.
5. Berdasarkan hasil pengujian alat sistem *monitoring*, didapatkan persentase kesalahan akurasi pengujian sebagai berikut: sensor suhu pada pagi hari sebesar 1.4%, pada siang hari sebesar 1.5%, pada sore hari sebesar 1.8%, sensor kelembapan pada pagi hari sebesar 1.6%, pada siang hari 1.8%, pada sore hari 1.9%, sensor MQ135 pada pagi hari sebesar 2%, pada siang hari 2.2%, dan pada sore hari 2.1%.

REFERENSI

- [1] I. Islam, K. Muhammad, and A. Al Banjarii, "Sistem Alat Monitoring Untuk Pengendali Suhu dan Kelembapan Greenhouse Berbasis Internet Of Things Arafat dan Ibrahim," vol. 21, no. 1, pp. 25–34, 2020.
- [2] U. Ristian, I. Ruslianto, and K. Sari, "Sistem Monitoring Smart Greenhouse pada Lahan Terbatas Berbasis Internet of Things (IoT)," Jurnal Edukasi dan Penelitian Informatika (JEPIN), vol. 8, no. 1, p. 87, Apr. 2022, doi: 10.26418/jp.v8i1.52770.
- [3] R. Gunawan, T. Andhika, . S., and F. Hibatulloh, "Monitoring System for Soil Moisture, Temperature, pH and Automatic Watering of Tomato Plants Based on Internet of Things," Telekontran : Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan, vol. 7, no. 1, pp. 66–78, Apr. 2019, doi: 10.34010/telekontran.v7i1.1640.
- [4] D. Mardhiana, A. Hamid, and A. Farhan, "Pengaruh Suhu Media Tanam Terhadap Waktu Perkecambahan Kacang Hijau," Jurnal Penelitian dan Pembelajaran Fisika Indonesia, vol. 3, no. 2, Jan. 2022, doi: 10.29303/jppfi.v3i2.132.
- [5] W. S. W. T. W. S. A. A. Ikhwanuddin Mawardi1, "Analisis Capaian Nol Bersih Emisi Karbon Sebagai Acuan Indonesia Dalam Pemenuhan Komitmen Mitigasi Perubahan Iklim," Jurnal Sains dan Teknologi Mitigasi Bencana, vol. 16, no. No. 2, 2022.
- [6] F. Vinola, A. Rakhman, and Sarjana, "Sistem Monitoring dan Controlling Suhu Ruang Berbasis Internet of Things," Jurnal Teknik Elektro dan Komputer, vol. 9, pp. 117–126, 2020.
- [7] M. Bagus, R. Huda, and W. D. Kurniawan, "Analisa Sistem Pengendalian Temperatur Menggunakan Sensor DS18B20 Berbasis Mikrokontroler Arduino."
- [8] I. Gobel, L. Tondobala, and Sela R, "Sebaran Spasial Emisi Gas Karbon Dioksida (CO₂) Pada Kawasan Permukiman di Kecamatan Singkil Kota Manado," pp. 628–636, 2019.
- [9] C. Gessal, A. Lumenta, and B. Sugiarto, "Kolaborasi Aplikasi Android Dengan Sensor MQ-135 Melahirkan Detektor Polutan Udara," Jurnal Teknik Informatika, vol. 14, pp. 109–0, 2019.
- [10] M. Nizam, H. Yuana, and Z. Wulansari, "MIKROKONTROLER ESP 32 SEBAGAI ALAT MONITORING PINTU BERBASIS WEB," 2022.
- [11] A. Roihan, A. Mardiansyah, A. Pratama, A. A. Pangestu, P. S. Komputer, and U. Raharja, "Simulasi Pendeteksi Kelembapan pada Tanah Menggunakan Sensor DHT22 dengan Proteus," Jurnal METHODIKA, vol. 7, no. 1, 2021.
- [12] H. S. Weku, V. C. Eng, S. T. Poekoel, R. F. Robot, and M. Eng, "Rancang Bangun Alat Pemberi Pakan Ikan Otomatis Berbasis Mikrokontroler," Teknik Elektro dan Komputer, vol. 5, no. 7, 2015.
- [13] U. Mahanin Tyas, A. Apri Buckhari, P. Studi Pendidikan Teknologi Informasi, and P. Studi Pendidikan Teknologi dan Kejuruan, "Implementasi Aplikasi Arduino IDE pada Mata Kuliah Sistem Digital," vol. 1, no. 1, 2023.
- [14] A. Selay et al., "Internet Of Things," Karimah Tauhid, vol. 1, 2022.
- [15] Sugiyatno, "Pengiriman Informasi Real Time Menggunakan Teknologi Database Firebase pada Aplikasi Mobile Android Abstrak (Bahasa Indonesia)," Bisnis dan Manajemen, vol. 21, no. 2, May 2023.
- [16] R. Saputra and B. Yulianti, "Alat Pendeteksi Originalitas Baterai Tipe 18650 Berbasis Arduino Nano

