

Rancang Bangun Sistem Monitoring Dan Akuisisi Data Kondisi Ruangan Laboratorium Kalibrasi Berbasis IoT Dengan ESP32

Muhammad Ikrar Yamin*; Ariman; Feri Pakpahan

Program Studi Teknik Elektro, FSTT, Insitut Sains Dan Teknologi Nasional

Email: ikrar@istn.ac.id

Abstrak

Monitoring kondisi ruangan Laboratorium Kalibrasi Alat Ukur Radiasi sangat diperlukan untuk menjaga kondisi dan kinerja peralatan standar. Oleh karena itu diperlukan sistem yang dapat memantau kondisi lingkungan secara otomatis dan terintegrasi. Penelitian ini bertujuan membangun sistem monitoring dan akuisi data kondisi ruangan dengan memanfaatkan Internet of Things (IoT).

Implementasi sistem monitoring dan akuisisi data suhu, kelembapan, dan kadar CO₂ berbasis sensor DHT22 dan MQ-135 yang terhubung dengan server Blynk dan Google Sheets telah dilakukan dengan baik. Hasil pengukuran dibandingkan dengan thermohygrometer standar Lutron MHB-382SD. Sebelum penyesuaian, rata-rata kesalahan sensor DHT22 mencapai 6,78 persen untuk suhu dan 20,65 persen untuk kelembapan. Setelah penyesuaian melalui program Arduino IDE, kesalahan berkurang menjadi 0,18% untuk suhu dan 0,71% untuk kelembapan. Sensor MQ-135 menunjukkan kadar CO₂ rata-rata 441,43 ppm, masih dalam batas aman meskipun terdapat fluktuasi. Analisis regresi menunjukkan suhu berbanding lurus dengan kadar CO₂ ($R^2 = 0,7035$), sedangkan kelembapan berbanding terbalik ($R^2 = 0,6215$). Sistem ini terbukti mampu memantau kondisi lingkungan secara real-time dengan akurasi yang baik, sehingga layak digunakan untuk monitoring dan akuisisi data kondisi lingkungan dalam ruangan laboratorium.

Kata kunci: Monitoring, Akuisisi Data, Blynk, Google Sheets, Sensor.

Abstract

Monitoring the condition of the Radiation Measurement Instrument Calibration Laboratory room is essential to maintain the condition and performance of standard equipment. Therefore, a system that can monitor environmental conditions automatically and integrated manner is required. This research aims to develop a monitoring and data acquisition system of room condition utilizing the Internet of Things (IoT).

The implementation of a monitoring and data acquisition system for temperature, humidity, and CO₂ concentration using DHT22 and MQ-135 sensors connected to Blynk and Google Sheets servers has been successfully carried out. The measurement results were compared with a calibrated Lutron MHB-382SD thermohygrometer. Before adjustment, the DHT22 sensor showed an average error of 6.78% for temperature and 20.65% for humidity. After adjustment through the Arduino IDE program, the error decreased significantly to 0.18% for temperature and 0.71% for humidity. The MQ-135 sensor recorded an average CO₂ concentration of 441.43 ppm, which is still within the safe limit despite some fluctuations. Regression analysis indicated that temperature has a positive correlation with CO₂ concentration ($R^2 = 0.7035$), while humidity has a negative correlation ($R^2 = 0.6215$). The system is proven capable of monitoring indoor environmental conditions in real time with good accuracy, making it suitable for laboratory environmental monitoring and data acquisition.

Keyword: Monitoring, Data Acquisition, Blynk, Google Sheets, Sensor

1. PENDAHULUAN

Pengendalian dan pemantauan kondisi ruangan secara kontinu menjadi kebutuhan utama dalam menjaga mutu hasil kalibrasi. Pada praktiknya, pemantauan kondisi lingkungan di banyak laboratorium masih dilakukan secara manual menggunakan alat ukur konvensional. Cara ini memiliki keterbatasan, antara lain keterlambatan dalam memperoleh data, potensi kesalahan pencatatan, serta kurangnya sistem penyimpanan data historis yang terintegrasi. Pengelolaan laboratorium modern menuntut adanya sistem monitoring yang real-time, akurat, serta mampu menyimpan data secara otomatis untuk mendukung proses analisis dan pelaporan seperti yang

dinyatakan dalam SNI ISO/IEC 17025:2017, laboratorium kalibrasi harus melakukan pemantauan, pengendalian, dan perekaman kondisi lingkungan kalibrasi sesuai dengan yang dipersyaratkan [1].

Sistem monitoring dan akuisisi data berbasis IoT merupakan Solusi modern untuk pemantauan lingkungan laboratorium secara real-time. Teknologi ini memanfaatkan jaringan internet untuk mengumpulkan, mengirimkan, dan menganalisis parameter lingkungan seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, dan kualitas udara[10].

Pemanfaatan Mikrokontroler ESP32 yang dilengkapi konektivitas WiFi serta sensor DHT22 sebagai pemantau suhu dan kelembapan, sensor

MQ-135 sebagai pemantau kadar CO₂, sistem dapat mengirimkan data secara real-time ke platform monitoring berbasis cloud menggunakan Blynk dan dapat diintegrasikan dengan sistem akuisisi data menggunakan Google Sheets untuk mempermudah dalam melakukan pencatatan data rekaman. Pengembangan sistem monitoring dan akuisisi data berbasis IoT ini tidak hanya meningkatkan akurasi pengukuran tetapi juga memberikan solusi yang lebih efisien.

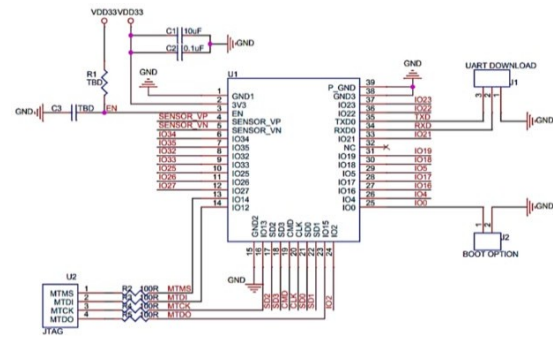
2. LANDASAN TEORI

2.1 Mikrokontroler

Secara arsitektural, sebuah mikrokontroler terdiri dari beberapa blok fungsional utama yang saling terhubung melalui bus sistem. Central Processing Unit (CPU) sebagai otak yang mengeksekusi instruksi, memori flash (non-volatile) untuk menyimpan program dan data konstan, memori RAM (volatile) untuk penyimpanan sementara selama eksekusi program, dan berbagai peripheral input/output yang memungkinkan mikrokontroler berkomunikasi dengan dunia luar. Peripheral ini mencakup port GPIO (General Purpose Input/Output) untuk antarmuka digital, converter analog-ke-digital (ADC) untuk membaca sinyal dari sensor analog, dan modul komunikasi serial seperti UART, I2C, dan SPI untuk berinteraksi dengan chip dan modul lainnya. Keberadaan peripheral khusus seperti timer, pulse-width modulation (PWM), dan controller komunikasi nirkabel dalam satu chip memungkinkan mikrokontroler menangani tugas-tugas real-time dan operasi komunikasi tanpa membebani CPU utama, sehingga meningkatkan efisiensi sistem secara keseluruhan[5].

Mikrokontroler menjadi tulang punggung Internet of Things (IoT) karena didukung dengan konektivitas WiFi/Bluetooth dan kemampuan edge computing. Studi oleh Liang et al. (2021) menunjukkan penggunaan ESP32 untuk smart home dengan latency <10ms. Sementara itu, STM32 dan PLC banyak dipakai di industri otomasi karena keandalan real-time-nya[24].

Salah satu jenis mikrokontroler yang banyak digunakan dalam pengembangan IoT adalah ESP32. ESP32 merupakan sebuah sistem yang dirancang untuk menghubungkan berbagai perangkat elektronik dalam satu lingkungan terpadu. Alasan penggunaan ESP32 adalah karena kemampuannya yang dilengkapi dengan dual-core, di mana satu core berfungsi untuk menangani koneksi WiFi, sedangkan core lainnya menjalankan program yang diupload. Selain itu, ESP32 juga dilengkapi dengan modul WiFi dan Bluetooth, port GPIO (General Purpose Input/Output) sebanyak 30 pin, kapasitas memori yang besar, serta konsumsi daya rendah[25][8]. Gambar 1 menunjukkan skematik ESP32.

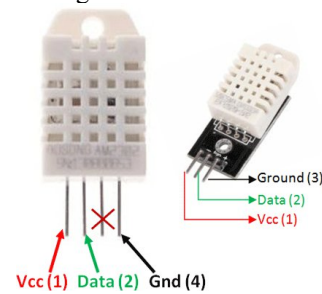


Gambar 1. Skematik ESP32

Gambar 1 merupakan diagram rangkaian minimum sistem (minimum required circuit) untuk modul mikrokontroler ESP32. Rangkaian ini menunjukkan komponen-komponen fundamental yang mutlak diperlukan agar ESP32 dapat beroperasi dengan stabil dan andal. Secara keseluruhan, rangkaian terdiri dari beberapa bagian utama: catu daya, rangkaian reset dan enable, rangkaian clock, serta konfigurasi pin-pin input/output (I/O) [9].

2.2 Modul Sensor DHT22

Pengukuran kelembapan baik pada udara maupun tanah merupakan aspek penting dalam berbagai penelitian ilmiah dan aplikasi praktis, yang memerlukan akurasi dan ketelitian tinggi. Salah satu studi menunjukkan bahwa sensor DHT22 berbasis IoT dapat digunakan untuk monitoring kelembapan dalam rumah penyimpanan tembakau dengan akurasi tinggi: rata-rata deviasi standar pengukuran kelembapan hanya sebesar 1,19 %, dan akurasi mencapai 95,33 % ketika dibandingkan dengan alat referensi HTC-2 [29].

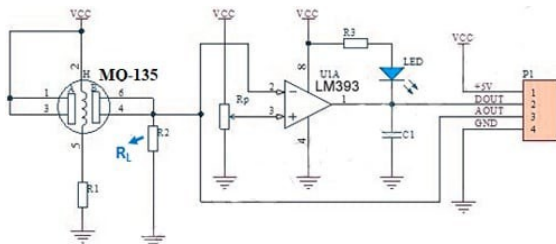


Gambar 2. Sensor DHT22

Modul ini digunakan untuk membaca nilai suhu dan kelembapan di dalam ruangan laboratorium. Sensor DHT22 merupakan generasi lanjutan dari DHT11, memiliki akurasi lebih tinggi yang beroperasi pada tegangan 3.5V – 5.5V dengan arus 0,3mA dan memiliki output berupa data serial. Rentang ukur sensor DHT22 pada suhu -40°C - 80°C dan kelembapan 0% - 100% dengan akurasi ±0.5°C untuk suhu dan ±1% untuk kelembapan.

2.3 Modul Sensor MQ-135

Salah satu sensor yang dapat digunakan untuk melakukan pengukuran kadar CO₂ adalah sensor MQ-135. Sensor MQ-135 merupakan sensor gas yang digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas beracun, termasuk gas amonia (NH₃), karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), gas metana (CH₄), gas propana (C₃H₈), dan berbagai senyawa organik volatil. Sensor MQ-135 bekerja pada tegangan 5V DC pada suhu antara -10°C hingga 50 °C dan dalam kisaran kelembapan relatif 20% hingga 95%. Sensor MQ-135 menghasilkan keluaran nilai analog yang berkaitan dengan konsentrasi gas yang terdeteksi.



Gambar 3. Skematik Sensor MQ-135

Modul ini bekerja pada tegangan operasi +3V hingga +5V, yang sesuai dengan mikrokontroler seperti ESP32. Komponen utama pada modul ini termasuk sensor MQ-135 itu sendiri, sebuah IC komparator LM393, resistor (R1, R2, R3), dan LED indikator. Sensor MQ-135 berfungsi dengan mengubah konsentrasi gas yang terdeteksi menjadi perubahan resistansi. Perubahan resistansi ini kemudian diubah menjadi sinyal analog (voltase) yang dibaca melalui pin AOUT (Analog Output). Sinyal analog ini dapat dihubungkan langsung ke pin ADC mikrokontroler untuk pengukuran kuantitatif. Selain output analog, modul ini juga memiliki output digital (DOUT) yang dihasilkan melalui komparator LM393. Komparator membandingkan sinyal analog dari sensor dengan referensi tegangan yang diatur oleh resistor variabel (potensiometer) pada modul. Ketika konsentrasi gas melebihi ambang batas yang ditentukan, output digital akan berubah status (HIGH atau LOW), dan LED indikator akan menyala sebagai tanda visual. Fitur ini memungkinkan penggunaan modul untuk aplikasi deteksi sederhana tanpa perlu pemrosesan sinyal tambahan.

2.4 Internet Of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) adalah konsep di mana objek fisik termasuk perangkat rumah tangga, mesin industri, kendaraan, dan peralatan lainnya dilengkapi dengan sensor, perangkat lunak, dan teknologi komunikasi sehingga mampu mengumpulkan, mengirim, dan bertukar data secara otomatis melalui jaringan, tanpa perlu intervensi manusia. Hal ini memungkinkan perangkat tersebut untuk berinteraksi dengan

lingkungan internal maupun eksternal dan mengambil keputusan berdasarkan data yang diterima, sehingga meningkatkan efisiensi, akurasi, serta otomatisasi dalam berbagai aspek kehidupan[5] [2].

Internet of Things (IoT) dirancang untuk memungkinkan perangkat elektronik berkomunikasi satu sama lain secara mandiri menggunakan instruksi pemrograman supaya dapat menerima dan mengirimkan data. IoT dapat dimanfaatkan untuk melakukan pemantauan dan pengendalian pada suatu tempat tertentu dengan menggunakan koneksi jaringan [9] [6].

3. METODE PENELITIAN

Penelitian dilakukan menggunakan metode rekayasa dengan pendekatan Research and Development (RnD) dengan tahapan-tahapan penelitian yang dilakukan dengan rincian sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi literatur, dilakukan kajian teori dan konsep mengenai latar belakang masalah yang meliputi sistem monitoring kondisi lingkungan, sistem akuisisi data, IoT, dan ESP32 serta perangkat pendukung yang lainnya.

2. Perancangan Alat

Pada tahapan perancangan, alat dan bahan yang telah diidentifikasi kemudian dirangkai sesuai dengan diagram blok perancangan. Kemudian dilakukan pemrograman pada hardware dan software supaya dapat terintegrasi dengan baik.

3. Pengujian dan Implementasi Sistem

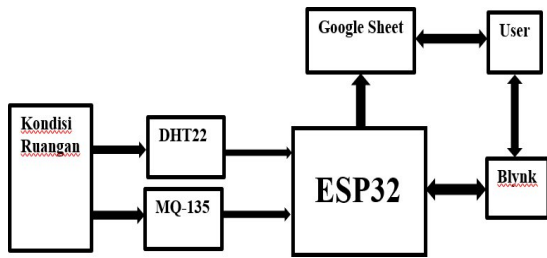
Pada tahapan ini, dilakukan pengujian dari sistem yang telah dirancang kemudian diimplementasikan dalam ruangan tempat dilakukannya penelitian untuk memperoleh data hasil pengukuran.

4. Analisis Hasil

Pada tahapan ini, dilakukan analisa hasil pengukuran yang mencakup evaluasi kinerja sistem dan analisis regresinya.

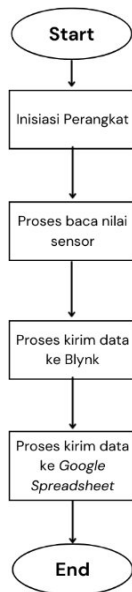
3.1 Perancangan Sistem

Sistem monitoring dan akuisisi data ini dirancang untuk memenuhi kebutuhan pemantauan kondisi lingkungan pada laboratorium kalibrasi alat ukur radiasi, yang mensyaratkan kestabilan suhu, kelembapan dan kualitas udara. Tujuan utama dari perancangan ini adalah menciptakan sistem yang mampu melakukan monitoring dan akuisisi data secara real-time. Perancangan dilakukan dengan pendekatan sistem terintegrasi, di mana komponen sensor, mikrokontroler, dan platform Internet of Things (IoT) saling terhubung melalui jaringan Wi-Fi.



Gambar 4. Blok Diagram Perancangan Sistem

Berdasarkan Gambar 4, input dari sistem adalah data kondisi ruangan yang dibaca oleh sensor DHT22 akan menampilkan nilai suhu dan kelembapan dan sensor MQ-135 akan menampilkan nilai kadar CO2. ESP32 sebagai unit pemrosesan akan mengolah hasil pembacaan sensor dan didistribusikan ke output dari sistem yaitu Blynk sebagai tampilan data monitoring dan Google Sheet untuk perekaman data yang dapat diakses oleh user melalui smartphone dan komputer. Kemudian untuk mempermudah perancangan alat, dibuat flowchart sistem seperti ditunjukkan pada Gambar 5.

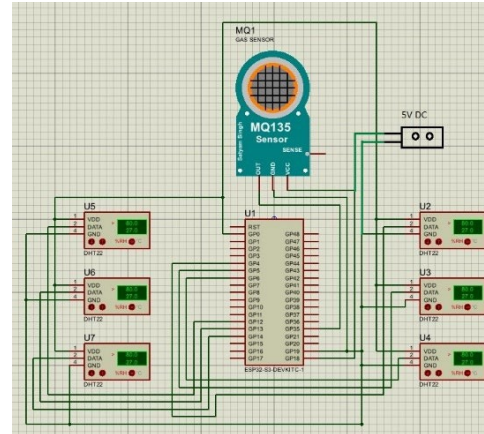


Gambar 5. Flowchart Sistem

Pada tahap awal sensor akan membaca nilai kondisi ruangan berdasarkan parameter yang diukur masing-masing sensor. Jika nilai sensor terbaca, maka akan dilanjutkan ke ESP32 untuk diproses sesuai dengan program sistem yang akan dibuat. Jika nilai sensor tidak terdeteksi maka sistem akan membaca ulang nilai sensor. Nilai sensor yang telah diproses oleh program sistem yang dibuat di ESP32 selanjutnya dikirimkan ke Blynk sebagai sistem monitoring dan Google Sheets sebagai sistem akuisisi datanya.

1. Perancangan Hardware

Perancangan hardware dilakukan setelah menganalisa rancangan sistem dengan menggunakan alat dan bahan sebagai berikut: Modul sensor DHT22, Modul sensor MQ-135, ESP32, Power supply 5V DC, Kabel jumper Alat dan bahan kemudian dirangkai pada papan board ESP32 seperti pada Gambar 6.



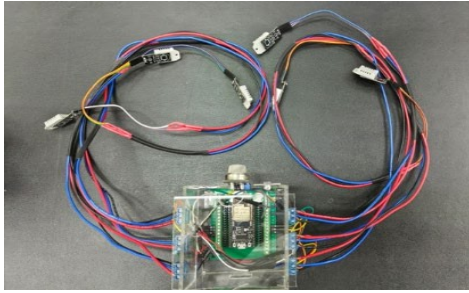
Gambar 6. Perancangan Hardware

Dalam perancangan hardware, koneksi pin pada sensor dan ESP32 ditunjukkan seperti pada Tabel 1.

Tabel 1. Konfigurasi Pin Sensor dan ESP32

Sensor	Pin Sensor	Pin ESP32
DHT 22	VCC	VCC 3.3V
	GND	GND
	DATA	4, 16, 17, 12, 14, 27
MQ-135	VCC	VCC 5V
	GND	GND
	Analog Out	34

Setelah seluruh sensor terhubung ke pin ESP32 seperti pada Tabel 1, lampu indikator akan menyala jika dihubungkan dengan power supply yang menunjukkan bahwa sensor telah mendapatkan tegangan untuk dapat mulai difungsikan. Pin DATA pada sensor dihubungkan dengan pin GPIO (General Purpose Input/Output) untuk diprogram sebagai input data yang akan diolah dalam program. Pemilihan tegangan input VCC pada sensor didasarkan pada datasheet dari masing masing sensor. Gambar 7. menunjukkan hasil perancangan hardware.



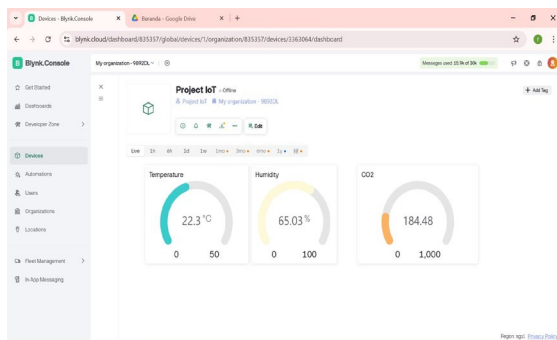
Gambar 7. Hasil Perancangan Hardware

Untuk memberikan suplai tegangan ke ESP32, digunakan power supply tegangan 5V DC.

2. Perancangan Software

Perancangan software dimulai dengan pembuatan akun google lalu membuat google sheet baru, selanjutnya diberikan keterangan pada header tabel dengan parameter yang dibutuhkan sebagai media penyimpanan data. Parameter yang digunakan yaitu tanggal dan waktu pengambilan data, serta nilai hasil pembacaan sensor dan rata-rata pembacannya.

Untuk visualisasi data, digunakan platform Blynk yang dapat diakses melalui website maupun smartphone dari jarak jauh. Visualisasi data dilakukan pada website Blynk.io. proses selanjutnya adalah membuat template baru dengan nama project, hardware yang digunakan, serta konektivitas yang digunakan. Selanjutnya dilakukan pembuatan datastream menggunakan virtual pin yang nantinya akan menjadi pin acuan untuk mengirimkan data dari pembacaan sensor. Nama virtual pin disesuaikan dengan data nama data yang akan ditampilkan, untuk tipe data dipilih dengan jenis double dengan jumlah desimal 2 supaya dapat menampilkan seluruh angka hasil pembacaan sensor. Setelah datastream virtual pin selesai dibuat, selanjutnya dilakukan pembuatan tampilan dashboard dengan memilih menu Web Dashboard kemudian menambahkan widget Gauge. Datastream yang telah dibuat sebelumnya dipilih sesuai dengan judul data yang akan ditampilkan sehingga diperoleh hasil akhir tampilan visualisasi data.



Gambar 8. Visualisasi Data dengan Blynk

Data yang divisualisasikan dengan Blynk

merupakan nilai rata-rata suhu dan kelembapan sensor DHT22 serta nilai kadar CO2 dari sensor MQ-135.

3. Pemrograman Alat

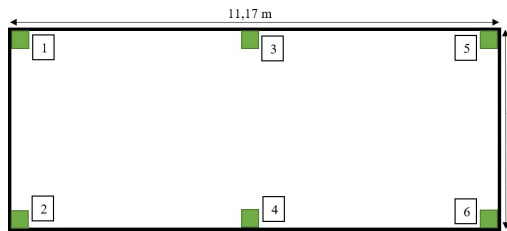
Setelah software akuisisi dan visualisasi data selesai dibuat, proses selanjutnya adalah melakukan integrasi antara pembacaan sensor, pemrosesan data di ESP32 serta akuisisi dan visualisasi data dengan menggunakan software pemrograman Arduino IDE. Pemilihan ESP32 sebagai unit pemrosesan didasarkan pada spesifikasi teknisnya yang mendukung komunikasi nirkabel (Wi-Fi), prosesor dual-core, serta kompatibilitas dengan berbagai protokol digital seperti I2C dan GPIO digital. Sensor yang digunakan terdiri atas DHT22, untuk pengukuran suhu dan kelembapan relatif. Dan MQ-135, untuk mendeteksi kadar CO2 didalam ruangan.

Integrasi dilakukan melalui pemrograman mikrokontroler menggunakan Arduino IDE dengan library yang sesuai dengan masing-masing sensor. Data sensor dibaca secara berkala dan dikirim ke server Blynk dan Google Sheet melalui koneksi Wi-Fi. Pemrograman alat dibuat sesuai dengan blok diagram. Template Blynk diperoleh dari identitas device yang telah dibuat pada website dan digunakan sebagai inisiasi. Konfigurasi pin sensor pada program dilakukan untuk mendefinisikan nomor pin yang terhubung dengan komponen sensor. Pada sensor DHT22 digunakan fungsi array untuk mempermudah dalam inisiasi pin yang digunakan pada ESP32. Setelah konfigurasi pin dan library dilakukan, kemudian dilanjutkan dengan melakukan integrasi program dengan link dokumen Google Spreadsheet yang akan digunakan untuk menyimpan data sensor. Selanjutnya supaya masing-masing sensor dapat digunakan untuk membaca data, dilakukan perintah dengan program membaca nilai masing-masing sensor DHT22 dan MQ-135 kemudian menghitung rata-rata pembacaan suhu dan kelembapan. Setelah nilai masing-masing sensor terbaca dan menampilkan nilai suhu, kelembapan, rata-rata suhu, rata-rata kelembapan, dan kadar CO2 selanjutnya nilai hasil pembacaan dikirimkan ke Blynk untuk visualisasi data serta Google Sheet menggunakan komunikasi pada URL untuk akuisisi data dengan program. Selanjutnya program pengulangan dilakukan supaya alat dapat membaca nilai sensor dan mengirim data ke Blynk dan Google Sheets secara bersamaan dengan jeda waktu pengambilan data setiap 4 jam (14.400 detik). Google Sheet yang telah dibuat ditambahkan ekstensi Google Apps Script supaya dapat terintegrasi dengan sistem monitoring untuk menerima dan menyimpan data. Pembuatan ekstensi Google Apps Script menggunakan metode HTML. Setelah ekstensi Google Apps Script selesai, kemudian diterapkan dan diatur akses untuk semua orang sehingga

program dari ESP32 dapat menambahkan data nilai sensor kedalam Google Sheets. Alamat link URL selanjutnya disalin untuk dimasukkan dalam program Arduino IDE sebagai link tujuan akuisisi data menggunakan Google Sheets.

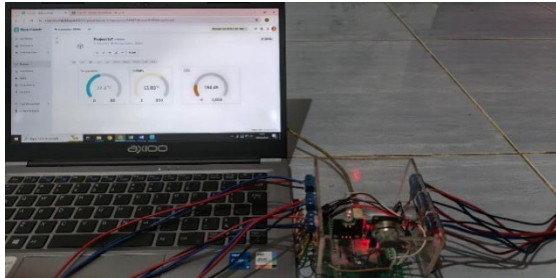
4. Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan dengan meletakkan sensor DHT22 pada 6 titik dan sensor MQ-135 didalam ruangan laboratorium dengan luas 11,17 m x 5,28 m seperti pada Gambar 9.

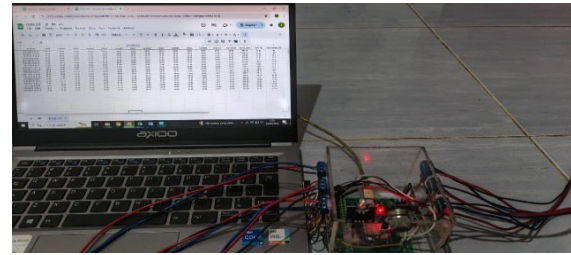


Gambar 9. Peletakan Sensor

Sensor DHT22 diletakkan sesuai dengan nomor titik penempatan dengan ketinggian 1,5 meter dari lantai. Kemudian alat dihubungkan ke power supply untuk memeriksa kinerja sistem yang telah dibuat. Jika sistem yang telah dibuat bekerja dengan baik maka akan menampilkan nilai suhu dan kelembapan serta kadar CO2 didalam ruangan laboratorium seperti ditunjukkan pada Gambar 10 dan 11.



Gambar 10 menunjukkan pengujian sistem monitoring Blynk dengan tampilan website. Pada dashboard monitoring ditampilkan nilai rata-rata suhu, rata-rata kelembapan, dan kadar CO2 di dalam ruangan laboratorium. Sistem monitoring dapat bekerja dengan baik untuk melakukan monitoring secara real-time. Gangguan utama dalam sistem monitoring yang dirancang adalah kecepatan koneksi yang digunakan. Dengan kecepatan koneksi yang stabil, sistem monitoring dapat menerima dan menampilkan data tanpa adanya delay.



Gambar 11. Pengujian Sistem Akuisisi Data Google Sheets

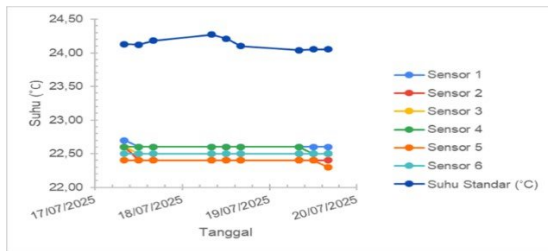
Gambar 11 menunjukkan pengujian sistem akuisisi data menggunakan Google Sheets. Sistem akuisisi data yang dirancang dapat menyimpan nilai hasil pembacaan sensor DHT22 dan sensor MQ-135 dengan baik. Data pengukuran diperoleh dari hasil pembacaan suhu dan kelembapan dari sensor DHT22 serta kadar CO2 dari sensor MQ-135 di dalam ruangan laboratorium pada pagi, siang, dan sore hari yang telah tercatat pada Google Sheet. Nilai rata-rata suhu dan kelembapan yang terbaca oleh sistem kemudian dibandingkan dengan thermohygrometer standar yang telah terkalibrasi untuk melihat penyimpangan data dari sistem yang telah dibuat. Setelah diperoleh nilai penyimpangan/koreksi suhu dan kelembapan, kemudian dilakukan penyesuaian pada nilai rata-rata suhu dan kelembapan sehingga diperoleh nilai rata-rata yang mendekati dengan nilai pembacaan thermohygrometer standar yang telah terkalibrasi. Nilai rata-rata suhu dan kelembapan selanjutnya dibandingkan dengan pembacaan nilai kadar CO2 untuk mencari korelasinya menggunakan analisis regresi. Analisis regresi linier digunakan untuk mengetahui pengaruh perubahan suhu dan kelembapan terhadap kadar CO2 di dalam ruangan laboratorium.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian dilakukan untuk melihat performa dan akurasi alat yang telah dibuat dengan membandingkan nilai hasil pengukuran dengan thermohygrometer standar yang telah terkalibrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa semua sensor dapat berfungsi secara serempak tanpa mengalami konflik komunikasi yang signifikan. Pengiriman data ke server Blynk dan Google Sheet diatur setiap 4 jam sehingga menghasilkan data untuk sensor DHT22 seperti pada Tabel 2 sampai dengan Tabel 3 dan Gambar 12 sampai dengan Gambar 13 yang dibandingkan dengan data suhu dan kelembapan thermohygrometer standar.

Tabel 2. Data Hasil Pembacaan Suhu Sensor DHT22

Timestamp		Suhu (°C)						Lutron MHB-382SD Suhu (°C)
Tanggal	Waktu	1	2	3	4	5	6	
17/07/2025	08:04:19	22,70	22,60	22,60	22,60	22,40	22,50	24,13
17/07/2025	12:04:31	22,60	22,40	22,50	22,60	22,40	22,50	24,12
17/07/2025	16:04:38	22,60	22,40	22,50	22,60	22,40	22,50	24,18
18/07/2025	08:04:47	22,60	22,40	22,50	22,60	22,40	22,50	24,27
18/07/2025	12:04:55	22,60	22,40	22,50	22,60	22,40	22,50	24,21
18/07/2025	16:05:03	22,60	22,40	22,50	22,60	22,40	22,50	24,10
19/07/2025	08:05:12	22,60	22,40	22,50	22,60	22,40	22,50	24,04
19/07/2025	12:05:19	22,60	22,40	22,50	22,50	22,40	22,50	24,05
19/07/2025	16:05:29	22,60	22,40	22,50	22,50	22,30	22,50	24,05



Gambar 12. Grafik Hasil Pembacaan Suhu DHT22

Pada Tabel 2 dan Gambar 12, keenam sensor alat membaca suhu dengan nilai dibawah dari alat standar.

Tabel 3. Data Hasil Pembacaan Kelembapan Sensor DHT22

Timestamp		Kelembapan (%)						Lutron MHB-382SD Kelembapan (%)
Tanggal	Waktu	1	2	3	4	5	6	
17/07/2025	08:04:19	56,00	56,50	56,20	55,30	58,20	59,20	48,00
17/07/2025	12:04:31	56,80	57,40	57,00	55,50	58,50	59,40	48,00
17/07/2025	16:04:38	56,90	57,40	57,10	55,70	58,60	59,60	48,10
18/07/2025	08:04:47	56,90	57,40	57,00	55,70	58,50	59,60	47,80
18/07/2025	12:04:55	56,80	57,50	56,90	55,60	58,50	59,50	47,50
18/07/2025	16:05:03	56,70	57,40	56,90	55,60	58,40	59,50	47,00
19/07/2025	08:05:12	56,80	57,30	57,00	55,60	58,40	59,50	47,20
19/07/2025	12:05:19	56,80	57,40	57,00	55,60	58,40	59,40	47,30
19/07/2025	16:05:29	56,80	57,30	57,00	55,60	58,40	59,50	47,30



Gambar 13. Grafik Hasil Pembacaan Kelembapan Sensor DHT22

Pada Tabel 3 dan Gambar 13, keenam sensor alat membaca kelembapan dengan nilai dibawah dari alat standar.

Tabel 4. Hasil Rata-rata Pembacaan Sensor DHT22

Timestamp		Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Thermohygrometer Lutron MHB-382SD	
Tanggal	Waktu			Suhu (°C)	Kelembapan (%)
17/07/2025	08:04:19	22,57	56,90	24,13	48,00
17/07/2025	12:04:31	22,50	57,43	24,12	48,00
17/07/2025	16:04:38	22,50	57,55	24,18	48,10
18/07/2025	08:04:47	22,50	57,52	24,27	47,80
18/07/2025	12:04:55	22,50	57,47	24,21	47,50
18/07/2025	16:05:03	22,50	57,42	24,20	47,00
19/07/2025	08:05:12	22,50	57,43	24,04	47,20
19/07/2025	12:05:19	22,48	57,43	24,05	47,30
19/07/2025	16:05:29	22,47	57,43	24,05	47,30

Nilai pembacaan rata-rata suhu dan kelembapan sensor DHT22 pada Tabel 4 terdapat perbedaan dengan nilai pembacaan thermohygrometer standar sehingga untuk mengetahui nilai koreksi pembacaan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Koreksi = \frac{Nilai\ Terukur}{Nilai\ Standar} \dots\dots\dots (1)$$

Untuk mengetahui kesalahan pembacaan dilakukan perhitungan menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$Kesalahan = \left(\frac{Koreksi}{Nilai\ Standar} \right) \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

Dengan menggunakan kedua persamaan tersebut, diperoleh data seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Nilai Koreksi Pembacaan dan Kesalahan Pembacaan Alat

Koreksi			Kesalahan (%)				
Suhu (°C)	Rata-rata (°C)	Kelembapan (%)	Rata-rata (%)	Suhu	Rata-rata	Kelembapan	Rata-rata
1,56	1,64	-8,90	-9,82	6,46	6,78	18,54	20,65
1,62		-9,43		6,72		19,65	
1,68		-9,45		6,95		19,65	
1,77		-9,72		7,29		20,33	
1,71		-9,97		7,06		20,99	
1,70		-10,42		7,02		22,17	
1,54		-10,23		6,41		21,67	
1,57		-10,13		6,53		21,42	
1,58		-10,13		6,57		21,42	

Dari perhitungan yang telah dilakukan, diperoleh rata-rata nilai koreksi suhu 1,64°C dengan rata-rata kesalahan pembacaan alat 6,78%, rata-rata nilai koreksi kelembapan -9.82% dengan rata-rata kesalahan pembacaan alat 20.65%. Persentase rata-rata kesalahan pembacaan untuk suhu dan kelembapan pada sensor DHT22 tergolong besar dikarenakan selisih antara nilai pembacaan rata-rata alat dengan thermohyrometer standar yang cukup besar. Hal ini menyebabkan adanya perbedaan yang signifikan antara hasil pembacaan alat yang dibuat dengan alat standar. Untuk mengurangi persentase kesalahan pembacaan, dilakukan penyesuaian (adjustment) pada alat yang dibuat dengan menambahkan nilai koreksi kedalam program Arduino IDE pada nilai pembacaan rata-rata sensor DHT22. Sehingga diperoleh nilai pembacaan yang telah dikoreksi seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Nilai Pembacaan Sensor DHT22 Setelah Penyesuaian

Timestamp		Rata-rata Suhu (°C)	Rata-rata Kelembapan (%)	Thermohyrometer Lutron MHB-382SD	
Tanggal	Waktu			Suhu (°C)	Kelembapan (%)
20/07/2025	08:04:19	24,21	47,08	24,18	48,10
20/07/2025	12:04:31	24,14	47,61	24,17	48,00
20/07/2025	16:04:38	24,14	47,73	24,18	48,15
21/07/2025	08:04:47	24,14	47,70	24,20	47,92
21/07/2025	12:04:55	24,14	47,65	24,21	47,56
21/07/2025	16:05:03	24,14	47,60	24,17	47,50
22/07/2025	08:05:12	24,14	47,61	24,19	47,27
22/07/2025	12:05:19	24,12	47,61	24,15	47,35
22/07/2025	16:05:29	24,11	47,61	24,17	47,39

Dengan menggunakan persamaan (1) dan (2), diperoleh koreksi nilai pembacaan dan persentase kesalahan pembacaan seperti pada Tabel 7.

Tabel 7. Nilai Koreksi Pembacaan dan Kesalahan Pembacaan Alat Setelah Penyesuaian

Koreksi			Kesalahan (%)					
Suhu (°C)	Rata-rata (°C)	Kelembapan (%)	Rata-rata (%)	Suhu	Rata-rata	Kelembapan	Rata-rata	
-0,03	0,04	1,02	0,12	0,12	0,18	2,12	0,71	
0,03		0,39		0,12		0,81		
0,04		0,42		0,17		0,87		
0,06		0,22		0,25		0,46		
0,07		-0,09		0,29		0,19		0,21
0,03		-0,10		0,12		0,21		0,72
0,05		-0,34		0,21		0,12		0,55
0,03		-0,26		0,12		0,25		0,46
0,06		-0,22		0,25				

Setelah dilakukan penyesuaian, rata-rata nilai koreksi pembacaan suhu dan kelembapan pada Tabel 7 menjadi lebih kecil yaitu 0,04°C dengan

rata-rata kesalahan pembacaan alat 0,18% untuk suhu dan rata-rata nilai koreksi pembacaan 0,12% dengan rata-rata kesalahan pembacaan alat 0,71% untuk kelembapan. Hal ini dapat diartikan bahwa sensor DHT22 pada alat telah menunjukkan nilai yang hampir sama dengan nilai pembacaan standar.

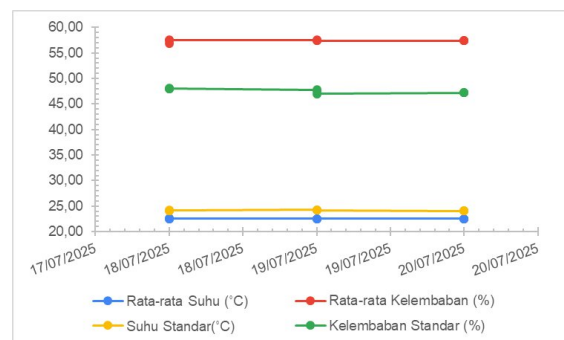
Pada pengujian pengukuran kadar CO2 di dalam ruangan laboratorium dilakukan secara paralel dengan pengukuran suhu dan kelembapan. Sensor MQ-135 yang digunakan dapat membaca nilai kadar CO2 di dalam ruangan dengan data pengukuran ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Pengukuran Kadar CO2

Timestamp		Kadar CO2 (ppm)
Tanggal	Waktu	
20/07/2025	08:04:19	474,75
20/07/2025	12:04:31	445,27
20/07/2025	16:04:38	448,88
21/07/2025	08:04:47	434,56
21/07/2025	12:04:55	434,56
21/07/2025	16:05:03	441,68
22/07/2025	08:05:12	424,03
22/07/2025	12:05:19	438,11
22/07/2025	16:05:29	431,03

Rata-rata kadar CO2 yang terukur didalam ruangan laboratorium yang ditunjukkan pada Tabel 4.8 yaitu 441,43 ppm.

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, karakteristik sensor DHT22 sebelum dilakukan penyesuaian menunjukkan hasil pengukuran suhu yang cenderung lebih rendah +1,54°C hingga +1,77°C dari nilai standar sehingga menghasilkan akurasi pengukuran yang lebih besar jika dibandingkan dengan datasheet sensor yaitu 0.5°C seperti ditunjukkan menggunakan grafik pada Gambar 14.



Gambar 14. Grafik Pengukuran Rata-rata Sensor Sebelum Penyesuaian

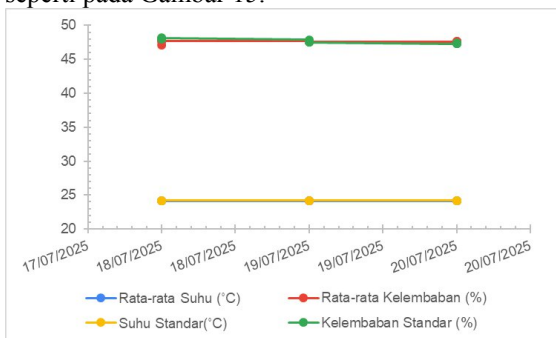
Perbedaan ini terjadi akibat efek panas yang timbul dari arus listrik saat sensor beroperasi. Selain itu, sensor membutuhkan waktu untuk menyesuaikan dengan perubahan suhu lingkungan. Pada

pengukuran kelembapan, sensor ini memberikan hasil yang sekitar -8,90% hingga -10,42% lebih tinggi dari nilai standar dan memiliki akurasi

pengukuran yang lebih besar jika dibandingkan

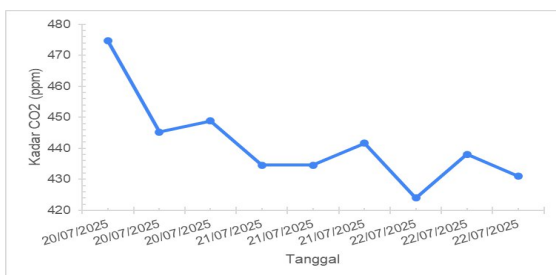
dengan datasheet sensor yaitu 2% seperti yang ditunjukkan pada Gambar 14.

kemungkinan karena perubahan sifat material sensor seiring waktu penggunaan dan adanya gangguan listrik kecil dalam komponen elektroniknya. Meskipun demikian, nilai pembacaan sensor masih tergolong stabil dan setelah dilakukan penyesuaian dalam program Arduino IDE, hasil pengukuran sudah mendekati dengan nilai pengukuran yang ditunjukkan standar seperti pada Gambar 15.



Gambar 15. Grafik Pengukuran Rata-rata Sensor Setelah Penyesuaian

Karakteristik sensor MQ-135 sebagai pendeteksi CO₂ memiliki beberapa keterbatasan. Hasil pengukuran menunjukkan adanya fluktuasi meskipun kondisi ruangan stabil, dan memerlukan waktu pemanasan untuk memberikan pembacaan yang konsisten seperti ditunjukkan pada Gambar 16.



Gambar 16. Grafik Pengukuran Kadar CO₂

Ketidastabilan ini muncul karena bahan sensor SnO₂ yang bereaksi dengan berbagai jenis gas, bukan hanya CO₂, serta ketidakkonsistenan suhu pada elemen pemanas internalnya.

Untuk mengetahui hubungan antara suhu dan kelembapan dengan kadar CO₂ di dalam ruangan laboratorium, dilakukan analisis regresi linier berdasarkan data pada Tabel 6 dan Tabel 7 kemudian dilakukan perhitungan. Analisis regresi linier digunakan karena hanya terdapat satu variabel bebas (X) dan variable terikat (Y). Perhitungan regresi linier dengan variabel suhu

terhadap kadar CO₂ adalah sebagai berikut:

$$9(95916,62) - (217,28 \times 3972,87)$$

$$b = \frac{9(95916,62) - (217,28 \times 3972,87)}{9(5245,63) - 5245,63}$$

$$a = 441,43 - b(24,14222222)$$

$$R^2 = \frac{9(95916,62) - (217,28 \times 3972,87)}{9(5245,63) - 5245,63 \times 9(1755440,87) - 1755440,87}$$

Pergitungan regresi linier dengan variabel kelembapan terhadap kadar CO₂ adalah sebagai berikut:

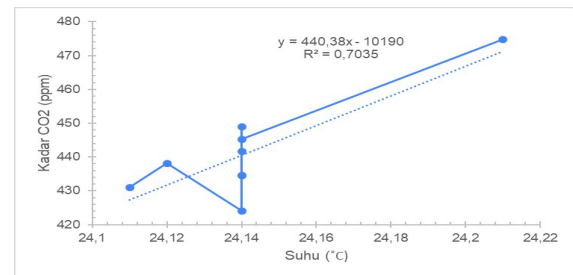
$$9(189002,66) - (428,20 \times 3972,87)$$

$$= \frac{9(189002,66) - (428,20 \times 3972,87)}{9(20373,10) - 20373,10}$$

$$a = 441,43 - b(47,57777778)$$

$$R^2 = \frac{9(189002,66) - (428,20 \times 3972,87)}{9(20373,10) - 20373,10 \times 9(1755440,87) - 1755440,87}$$

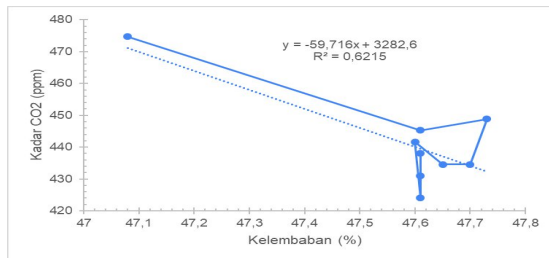
Hasil perhitungan kemudian dimasukkan kedalam grafik seperti yang ditunjukkan pada Gambar 17 dan Gambar 18.



Gambar 17. Grafik Pengaruh Suhu Terhadap Kadar CO₂

dengan R² = 0,7035, hal ini berarti sekitar 70,35% variasi kadar CO₂ dapat dijelaskan oleh perubahan suhu, sedangkan sisanya sebesar 29,65% dipengaruhi oleh faktor lain di luar model. Dengan demikian, terdapat hubungan positif yang cukup kuat antara suhu dan kadar CO₂, meskipun data menunjukkan adanya penyebaran yang tidak sepenuhnya mengikuti garis regresi.

Meskipun garis regresi menunjukkan kecenderungan umum hubungan linear, sebaran data pada Gambar 17 terlihat tidak sepenuhnya mengikuti pola lurus sempurna. Hal ini mengisyaratkan adanya variasi alami atau faktor eksternal yang menyebabkan fluktuasi nilai CO₂ pada suhu tertentu. Namun demikian, nilai R² yang relatif tinggi menandakan bahwa model regresi ini masih cukup baik digunakan untuk menjelaskan hubungan suhu dengan kadar CO₂ pada kondisi pengamatan tersebut. Dengan kata lain, hasil analisis ini memberikan bukti empiris bahwa suhu memiliki peranan penting dalam memengaruhi konsentrasi CO₂ di udara, meskipun terdapat faktor-faktor lain yang juga turut berkontribusi.



Gambar 18. Grafik Pengaruh Kelembapan Terhadap Kadar CO2

dengan $R^2 = 0,6215$, tanda negatif pada koefisien regresi menunjukkan adanya hubungan negatif, yaitu semakin tinggi kelembapan maka kadar CO₂ cenderung menurun.

Nilai R^2 sebesar 0,6215 menunjukkan bahwa sekitar 62,15% variasi kadar CO₂ dapat dijelaskan oleh perubahan kelembapan, sedangkan 37,85% sisanya dipengaruhi oleh faktor lain di luar model, seperti suhu, pergerakan udara, atau aktivitas biologis di lingkungan sekitar. Meskipun garis regresi memperlihatkan tren menurun, sebaran data tidak sepenuhnya mengikuti garis lurus, terlihat adanya fluktuasi nilai CO₂ pada tingkat kelembapan tertentu. Hal ini mengindikasikan adanya faktor-faktor eksternal yang berkontribusi terhadap kadar CO₂ meskipun kelembapan berperan cukup signifikan. Dengan demikian, analisis ini memperlihatkan bahwa kelembapan memiliki pengaruh yang cukup kuat terhadap kadar CO₂, namun hubungan yang terbentuk adalah berbanding terbalik. Artinya, kondisi udara yang lebih lembab cenderung menekan konsentrasi CO₂ di udara, meskipun variabilitas data menunjukkan bahwa faktor lingkungan lain juga perlu diperhitungkan untuk memperoleh gambaran yang lebih komprehensif.

5. KESIMPULAN

Untuk monitoring dan akuisisi data kondisi lingkungan laboratorium kalibrasi dapat dilakukan berbasis IoT dengan sensor DHT22 untuk membaca nilai suhu dan nilai kelembapan serta sensor MQ-135 untuk membaca nilai kadar CO₂. Dengan memanfaatkan enam sensor DHT22 yang ditempatkan pada posisi pengujian didapatkan nilai suhu rata-rata dan kelembapan rata-rata yang mendekati nilai alat standar termohyrometer Lutrom MHB-382SD. Hasil pengujian menunjukkan bahwa performa alat dapat menyimpan data dari sensor sensor ke Google sheet dan menampilkan ke Blynk secara realtime dengan pengiriman data setiap 4 jam.

Daftar Referensi

[1] Ariesta, A. P. (2024). Internet of Things (IoT) for the Implementation of Intelligent Energy System. *IJEEE: Indonesian Journal of Electrical Engineering and Electronics*, 49-54.

- [2] A. Syaroni, H. Abrianto, A. D. Sidik, and Irmayani. (2025). Rancang Bangun Pintu Gerbang Secara Otomatis Berbasis IoT Menggunakan Aplikasi Blynk,” *J. Sci. Mandalika*, vol. 6, no. 5, pp. 1136–1158, 2025, doi: 10.36312/10.36312/vol6iss5pp1136-1158.
- [3] Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI ISO/IEC 17025 : 2017 Persyaratan Umum Kompetensi Laboratorium Pengujian dan Laboratorium Kalibrasi. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional. Hal. 7.
- [4] Espressif Systems. (2023). ESP32 technical reference manual (Version 5.1). Retrieved from www.espressif.com: <https://www.espressif.com/en/products/socs/esp32>
- [5] Gea, A. (2024). Sistem Pengendali Air Conditioner (AC) Berbasis Internet of Think (IoT). Skripsi. Yogyakarta: Institut Teknologi Nasional Yogyakarta.
- [6] H. R. Abdillah, H. Abrianto, A. D. Sidik, and Irmayani. (2025). Rancang Bangun Sistem Auto dan Manual Pompa untuk Monitor dan Kontrol Level Air Berbasis IoT dengan NodeMCU ESP 8266 dan Aplikasi Blynk,” *J. Sci. Mandalika*, vol. 6, no. 5, pp. 543–2809, doi: <https://doi.org/10.36312/10.36312/vol6iss5pp1124-1135>.
- [7] IPCC. (2022). *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change*. Intergovernmental Panel on Climate Change, pp. ISBN 978-92-9169-160-9. pp. 1-20.
- [8] I. Irmayani, F. Marwita, I. Newton, and L. Hakim. (2025). Prototipe Sistem Komunikasi Data Text Wireless Topologi Mesh Untuk meningkatkan area Cakupan Berbasis ESP 32, *Sinusoida J. Penelit. dan Pengkaj. Elektro*, vol. 27, no. 1, pp. 1–12, doi: 10.37277/s.v27i1.2417.
- [9] I. Irmayani, E. Nadine, and M. F. Abdillah. (2025). Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Peminjaman Arsip Berbasis ESP32 Menggunakan Komunikasi LoRa, *Sinusoida J. Penelit. dan Pengkaj. Elektro*, vol. 27, no. 2, pp. 1–11, doi: 10.37277/s.v27i2.2606.
- [10] Liang, W.-Z., Possignolo, I., Qiao, X., DeJonge, K., Irmak, S., Heeren, D., & Rudnick, D. (2021). Utilizing digital image processing and two-source energy balance model for the estimation of evapotranspiration of dry edible beans in

-
- western Nebraska. *Irrigation Science*, 617-631. doi:10.1007/s00271-021-00721-7.
- [11] Marwita, Fivit. "Sistem Monitoring Sirkulasi Udara Pada Ruang Dapur Hotel." *SINUSOIDA* 23.1 (2021): 32-39.
- [12] Noergaard, T. (2005). *Embedded Systems Architecture: A Comprehensive Guide for Engineers and Programmers*. Burlington: Elsevier Inc. pp. 30-69.
- [13] Robial, S. M. (2016). ANALISIS REGRESI UNTUK MELIHAT HUBUNGAN TEGANGAN REGANGAN PADA BAJA MENGGUNAKAN LEAST SQUARE METHOD. *Jurnal SANTIKA : Jurnal Ilmiah Sains dan Teknologi*, Vol 6. No 2.
- [14] Santosa, R., Putri, A. S., & Anato, T. S. (2023). Sistem Monitoring Suhu dan Kelembaban Berbasis IoT (Internet of Thing) pada Gudang Penyimpanan PT Sakafarma Laboratories. *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi Bisnis*, Vol. 5 No. 4, Hal. 391-400.
- [15] Shafiq, M., Gu, Z., Cheikhrouhou, O., Alhakami, W., & Hamam, H. (2022). The Rise of "Internet of Things": Review and Open Research Issues Related to Detection and Prevention of IoT-Based Security Attacks. *Wireless Communications and Mobile Computing*, <https://doi.org/10.1155/2022/8669348>.
- [16] Siregar, A., Dedi, S., & Iswan, M. (2020). KONTROL RUMAH PINTAR DENGAN GOOGLE ASSISTANT BERBASIS IOT (INTERNET OF THINGS). *Jurnal CyberTech*, E-ISSN : 2615-3475.
- [17] Valvano, J. W. (2014). *EMBEDDED SYSTEMS: INTRODUCTION TO ARM@CORTEX M MICROCONTROLLERS* (Fifth Edition). New York: Texas Instruments. pp. 17-22.
- [18] Wilamowski, B. M., & Irwin, J. D. (2018). *The Industrial Electronics Handbook – Fundamentals of Industrial Electronics* (2nd ed.). London: CRC Press. pp. 1-31.
- [19] Zhou, Y., Chen, X., & Wang, L. (2022). IoT-based environmental monitoring in laboratory settings. *IEEE Sensors Journal*, p.15263-15272.