

Rancang Bangun dan Uji Kinerja Monitoring Kualitas Udara Sebagai Salah Satu Perangkat Kesehatan dan Keselamatan Kerja Di Laboratorium Rekayasa Pangan

*Design and Performance Test of Air Quality Monitoring as a Work Health
and Safety Device in Food Engineering Laboratory*

Angga Herviona Ikhwanudin^{1*}, Jefry Oktanuriawan²

¹Teknologi Rekayasa Pangan, Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

²Komputasi, Teknologi Pertanian, Politeknik Negeri Jember

*Email Koresponden: angga_herviona@polije.ac.id

Received : 11 Juli 2025 | Accepted : 26 September 2025 | Published : 8 November 2025

Kata Kunci	ABSTRAK
DHT22, ESP32, MQ-135, Udara	Keselamatan dan kesehatan kerja (K3) di laboratorium merupakan aspek penting dalam dunia pendidikan. Salah satu indikator K3 di laboratorium salah satunya yaitu kualitas udara di lingkungan yang mencakup suhu, kelembaban, dan kadar CO ₂ . Laboratorium rekayasa pangan merupakan salah satu laboratorium yang digunakan untuk kegiatan tridharma, dimana setiap kegiatannya berpotensi menimbulkan pencemaran udara. Prototipe monitoring kualitas udara diperlukan untuk memonitor kualitas udara di laboratorium. Tujuan penelitian ini adalah membuat prototipe monitoring kualitas udara berbasis mikrokontroler ESP32, Memonitor kualitas udara di laboratorium berdasarkan kandungan CO ₂ , suhu, dan kelembaban menggunakan sensor gas MQ135 dan sensor suhu DHT-22, dan melakukan validasi data suhu dan kelembaban menggunakan alat ukur suhu dan kelembaban yang telah dikalibrasi. Prototipe ini mampu menampilkan suhu, kelembaban, kadar CO ₂ , klasifikasi kualitas udara, dan waktu secara <i>real time</i> . Komponen utama dari prototipe ini yaitu sensor gas MQ-135, sensor suhu dan kelembaban DHT22, RTC DS3231, ESP32, dan LED Matriks RGB P5. Berdasarkan data penelitian dapat disimpulkan bahwa akurasi data suhu cukup baik, hal ini dapat dilihat dari perbedaan suhu yang ditampilkan dengan suhu termohigro yang telah dikalibrasi hanya memiliki perbedaan 0,4 ⁰ C. Akurasi kelembaban kurang baik, hal ini dapat dilihat dari perbedaan kelembaban yang ditampilkan dengan kelembaban termohigro yang telah dikalibrasi memiliki perbedaan yang cukup signifikan yaitu 7 %. Sedangkan akurasi kadar CO ₂ juga kurang baik karena memiliki standar deviasi cukup tinggi yaitu 25 ppm.

Keywords	ABSTRACT
Air, ESP32, DHT22, MQ-135	<i>Occupational safety and health (K3) in the laboratory is an important aspect in the world of education. One of the K3 indicators in the laboratory is air quality in the environment which includes temperature, humidity and CO2 levels. The food engineering laboratory is one of the laboratories used for tridharma activities, where every activity has the potential to cause air pollution. An air quality monitoring prototype is needed to monitor air quality in the laboratory. The aim of this research is to create an ESP32 microcontroller-based air quality monitoring prototype, monitor air quality in the laboratory based on CO2 content, temperature and humidity using an MQ135 gas sensor and a DHT-22 temperature sensor, and validate temperature and humidity data using a calibrated temperature and humidity measuring instrument. This prototype is capable of displaying temperature, humidity, CO2 levels, air quality classification, and time in real time. The main components of this prototype are the MQ-135 gas sensor, DHT22 temperature and humidity sensor, RTC DS3231, ESP32, and RGP P5 Matrix LED. Based on research data it can be concluded that the accuracy of the temperature data is quite good, this can be seen from the difference between the displayed temperature and the calibrated thermohygro temperature which only has a difference of 0.40 C. The humidity accuracy is not good, this can be seen from the difference in the displayed humidity with the calibrated thermohygro humidity which has quite a significant difference, namely 7%. Meanwhile, the accuracy of CO2 levels is also not good because it has a fairly high standard deviation, namely 25 ppm.</i>

1. PENDAHULUAN

Laboratorium Rekayasa Pangan merupakan salah satu laboratorium yang berada di Jurusan Teknologi Pertanian Politeknik Negeri Jember. Laboratorium ini melayani kegiatan praktikum dan penelitian di bidang rekayasa pangan. Pada saat praktikum, Laboratorium rekayasa mampu menampung 25 – 30 orang mahasiswa dan beberapa mahasiswa penelitian. Laboratorium ini melayani praktikum mata kuliah satuan operasi, mesin dan peralatan, perawatan dan pemeliharaan mesin pengolahan, otomasi dan pengendalian otomatis, fisika pangan, pengendalian proses, perancangan unit pengolahan, dan teknologi pengemasan. Mesin – mesin yang sering digunakan untuk kegiatan praktikum dan penelitian adalah roasting kopi, kompor, penggiling tepung, distilator, oven, evaporator, mixer, HPEF, dan Ozon.

Potensi pencemaran lingkungan yang diakibatkan karena kegiatan praktikum dan penelitian di laboratorium cukup tinggi dan beragam. Jumlah mahasiswa yang melaksanakan aktivitas di laboratorium yang cukup banyak dapat mengakibatkan peningkatan konsentrasi CO2 yang ada di ruangan sehingga dapat menurunkan kualitas udara di laboratorium. Proses praktikum dan penelitian yang menghasilkan asap seperti roasting kopi, kompor, oven, HPEF dan mesin pengering dapat meningkatkan konsentrasi

CO₂ yang ada di laboratorium. Proses kimia seperti evaporasi, distilasi, dan ozon meningkatkan cemaran di udara laboratorium karena bahan kimia yang menguap dan bercampur di udara laboratorium. Semua potensi pencemaran lingkungan di area laboratorium ini dapat mengakibatkan masalah kesehatan dan kenyamanan civitas akademika saat melakukan kegiatan tridharma di laboratorium.

Kualitas udara di laboratorium memiliki standar tertentu dan memiliki parameter tertentu untuk mengetahui apakah kualitas udara di lingkungan tersebut baik atau buruk. Parameter kualitas udara berdasarkan peraturan menteri lingkungan hidup dan kehutanan republik Indonesia nomor P.14/Menlhk/Setjen/Kum.1/7/2020 tentang indeks standar pencemar udara yaitu partikulat (PM 10 dan PM 2,5), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), Sulfur Dioksida (SO₂), Ozon (O₃), dan Hidrokarbon (HC). (Kusnandar, 2020). Selain parameter tersebut, berdasarkan buletin WHO yang dikutip Holzworth & Commick (1976) standar CO₂ untuk udara bersih adalah 310-330 ppm dan untuk udara tercemar adalah 350 – 700 ppm. Kandungan CO₂ sebesar 3% dari total volume udara mengakibatkan peningkatan tekanan darah dan menurunkan daya dengan, kandungan sebesar 5% mengakibatkan pusing dan kesulitan bernafas, sedangkan kandungan sebesar 8% mengakibatkan penglihatan buram, sakit kepala, dan kehilangan kesadaran (Mudhofar, 2023). Selain kualitas udara, suhu dan kelembaban juga menjadi salah satu parameter untuk lingkungan laboratorium yang baik dan nyaman. Suhu ideal yang baik di antara 20 – 25⁰ C, sedangkan kelembaban berada di rentang antara 40 – 60 %. Kelembaban yang terlalu rendah dapat membuat lingkungan menjadi kering dan mempengaruhi hasil percobaan. (Muttaqin et al., 2024)

Monitoring kualitas udara di laboratorium diperlukan untuk memantau kualitas udara di laboratorium supaya civitas akademika tetap nyaman dan menurunkan resiko kesehatan akibat kualitas udara yang buruk. Tujuan penelitian ini adalah membuat *prototype* monitoring kualitas udara berbasis mikrokontroler ESP32, Memonitor kualitas udara di laboratorium berdasarkan kandungan CO₂, suhu, dan kelembaban menggunakan sensor gas MQ135 dan sensor suhu DHT-22, dan melakukan validasi data suhu dan kelembaban menggunakan alat ukur suhu dan kelembaban yang telah dikalibrasi. Monitoring kualitas udara dapat dibuat menggunakan sensor gas mq135 sebagai sensor gas yang mendeteksi kandungan CO₂, CO, NH₃, NO₂, dan SO₂. Selain itu terdapat sensor DHT 22 yang mendeteksi tingkat suhu dan kelembaban yang ada di laboratorium. RTC DS3231 digunakan sebagai komponen penunjuk waktu secara *real time*. Semua sensor dan komponen ini dihubungkan ke mikrokontroler esp32 sebagai wadah program yang dibuat dan ditampilkan di LED RGB matriks P5.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Alat dan Bahan

Penelitian ini memerlukan berbagai kombinasi alat dan bahan untuk dapat menghasilkan sensor warna yang diinginkan. Rincian detail dan spesifikasi alat dan bahan yang diperlukan sebagai berikut:

1. ESP 32

Mikrokontroler ESP32 merupakan mikrokontroler SoC (*System on Chip*) terpadu dengan dilengkapi *WiFi* 802.11 b/g/n, *Bluetooth* versi 4.2, dan berbagai *peripheral*. ESP32 adalah *chip* yang cukup lengkap, terdapat prosesor, penyimpanan dan akses pada GPIO (*General Purpose Input Output*). ESP32 bisa digunakan untuk

rangkaian pengganti pada arduino, ESP32 memiliki kemampuan untuk mendukung terkoneksi WiFi secara langsung. Adapun spesifikasi dari ESP32 adalah sebagai berikut:

Board ini memiliki dua versi, yaitu 30 GPIO dan 36 GPIO. Keduanya memiliki fungsi yang sama tetapi versi yang 30 GPIO dipilih karena memiliki dua pin GND. Semua pin diberi label di bagian atas *board* sehingga mudah untuk dikenali. *Board* ini memiliki *interface USB to UART* yang mudah diprogram dengan program pengembangan aplikasi seperti Arduino IDE. Sumber daya board bisa diberikan melalui konektor *micro USB*.(Nizam et al., 2022)



Gambar 1. ESP 32

2. Sensor Gas MQ 135

Sensor gas MQ-135 adalah sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia (NH₃), Nitrogen Oksida (NO_x), alkohol, ethanol (C₂H₅OH), benzene (C₆H₆), Karbondioksida (CO₂), gas belerang/sulfur hidroksida (H₂S) dan asap / gas-gas lainnya di udara. Sensor ini melaporkan hasil deteksi kualitas udara berupa perubahan nilai resistensi analog di pin keluarannya. Pin keluaran ini bisa disambungkan dengan pin ADC (analog-to-digital converter) di mikrokontroller / pin analog input arduino anda dengan menambahkan satu buah resistor saja (berfungsi sebagai pembagi tegangan / voltage divider).(Wicaksono, 2017)

Tabel 1. Spesifikasi Sensor Gas MQ-135

Symbol	Parameter Name	Technical	Remarks
Vc	Circuit voltage	5V±0,1	AC or DC
VH	Heating voltage	5V±0,1	AC or DC
RL	Load Resistance	Can adjust	
RH	Heater	33Ω±5%	Room Temp.
PH	Heating	Less than 800 mW	



Gambar 2. Sensor gas MQ 135

3. Sensor suhu DHT 22

Sensor suhu DHT memiliki 2 tipe yaitu sensor DHT 11 dan DHT 22. Sensor DHT 22 memiliki akurasi yang lebih baik daripada DHT11 dengan galat relative pengukuran suhu 4% dan kelembaban 18% (Saptadi, 2015). Sensor DHT 22

memiliki jangka pengukuran yang lebih besar dibandingkan sensor DHT 22. Spesifikasi dari sensor DHT 22 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 2. Spesifikasi Sensor Suhu DHT 22 (Liu, 2013)

Model	DHT 22
Power Supply	3,3 – 6 V DC
Output Signal	Digital signal via single bus
Sensing element	Polymer Capacitor
Operating Range	Humidity 0 – 100% RH; Temperature -40 – 80 ⁰ C
Accuracy	Humidity $\pm 2\%$ RH(Max $\pm 5\%$ RH); Temperature $< \pm 0,5^0$ C
Resolution or sensitivity	Humidity 0,1% RH; Temperature 0,1 C
Repeatability	Humidity $\pm 1\%$ RH; Temperature $\pm 0,2$ C
Humidity hysteresis	$\pm 0,3\%$ RH
Long term Stability	$\pm 0,5\%$ RH / year
Sensing Period	Average : 2 s
Interchangeability	Fully interchangeability
Dimensions	Small size 14*18*5,5 mm Big size 22*28*5 mm



Gambar 3. Sensor DHT 22

4. RTC DS 3231

Komponen RTC DS3231 merupakan jam waktu nyata (*real time clock*) I2C (*Inter Integrated Circuit*) yang berbiaya rendah dan sangat akurat yang terintegrasi dengan TCXO (*Temperature Compensated Crystal Oscillator*). Perangkat ini menggunakan tenaga baterai dan tetap mempertahankan keakuratan waktu ketika daya utama terputus. Integrasi dengan TCXO meningkatkan tingkat akurasi dari perangkat dalam jangka panjang serta mengurangi bagian komponen yang digunakan dalam pembuatan komponen ini. RTC DS3231 tersedia untuk keperluan industry maupun perorangan dengan berbagai rentang suhu kerja. RTC DS3231 menampilkan informasi data waktu seperti detik, menit, jam, hari, tanggal, bulan, dan tahun. Tanggal di akhir bulan, secara otomatis akan menyesuaikan apabila terdapat bulan dengan jumlah hari dibawah 31 hari, termasuk koreksi tahun kabisat. Jam ini beroperasi baik dalam format 24 jam maupun 12 jam dengan indikator am/pm. Perangkat ini dilengkapi dengan fitur alarm sebanyak 2 kali per hari dan fitur *square-wave output*. Alamat dan data ditransfer secara serial melalui terminal 2 arah I2C. Komponen dari RTC yaitu *precision temperature compensated voltage reference* dan *comparator circuit* memonitor status Vcc (Daya input) untuk mendeteksi kegagalan daya dan memerintahkan reset komponen, serta secara otomatis mengalihkan ke daya cadangan apabila diperlukan. Selain itu, terdapat pin RST yang digunakan sebagai tombol reset secara manual. Spesifikasi dari RTC DS3231 dapat dilihat pada tabel di bawah ini.(Maxim, 2015)

Tabel 3. Spesifikasi RTC DS3231

Model	RTC DS3231
Power Supply	2,3 – 5,5 V DC
Accuracy	±2 ppm from 0 ⁰ C to +40 ⁰ C ±3,5 ppm from -40 ⁰ C to +85 ⁰ C
Input Power	Battery backup input for continuous time keeping
Operating temperature range	Commercial : 0 ⁰ C to +70 ⁰ C Industrial : -40 ⁰ C to +85 ⁰ C
Data	Real time clock counts second, minutes, hours, day, date, month, and year with leap year compensation valid up to 2100
Fitur	Two time-of-day alarms Programmable square-wave output Fast (400kHz) I2C interface RST input/output
Digital Temp sensor output	±3 ⁰ C accuracy



Gambar 4. RTC DS3231

5. LED Matriks RGB P5

RGB-Matrix-P5-64x32 adalah panel LED matrik berwarna dengan jumlah LED RGB di panel sebanyak 2048 buah dan jarak antar LED 5 mm. Kelengkapan komponen LED ini terdiri dari panel LED matriks 64x32, kabel data 16 pin, dan kabel power. LED matriks ini memerlukan daya input minimal sebesar 5V 4A per panel. LED matriks ini memiliki 16 pin input untuk mengontrol sinyal yang dapat dilihat pada tabel di bawah ini (Liang et al., 2025)

Tabel 4. Pin input LED matrik P5

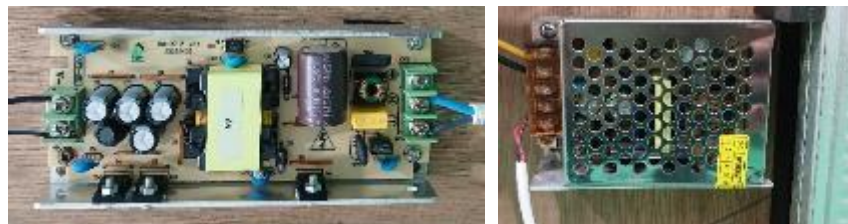
Pin	Fungsi
R1, G1, B1	Data warna untuk separuh bagian atas dari panel
R2, G2, B2	Data warna untuk separuh bagian bawah dari panel
A, B, C, D	Pilih salah satu dari 8 baris di dalam matriks yang akan ditampilkan
CLK	<i>Clock signal</i> untuk mengganti data warna sesuai yang diinginkan
LAT	Ketika hidup, data dalam program akan ditampilkan dalam LED
OE	Mengaktifkan output daya rendah, nyalakan fitur ini untuk mematikan semua tampilan di LED sementara
GND x3	Pin untuk menghubungkan ke ground



Gambar 5. LED Matriks RGB P5

6. *Power Supply*

Power supply digunakan untuk memberikan daya kepada LED matriks dan mikrokontroller yang digunakan. *Power supply* 5 V dan 20 A digunakan untuk LED matriks, sedangkan *power supply* 5 V dan 3 A digunakan untuk mikrokontroller ESP 32.



Gambar 6. *Power supply* 5v20a (kiri), *power supply* 5v3a(kanan)

7. Kotak Elektronik

Kotak elektronik berukuran 18 x 12 x 6 cm digunakan sebagai wadah komponen mikrokontroller ESP 32, sensor gas MQ-135, sensor suhu DHT 22, dan RTC DS3231.

8. *Akrilik*

Akrilik berukuran 100 x 100 cm dengan ketebalan 2 mm digunakan sebagai pelindung LED matriks dari depan.

9. Baja ringan galvalum

Baja ringan berukuran 1 x 2 cm digunakan sebagai penyangga LED matriks dan baja ringan berukuran 2 x 4 cm digunakan sebagai rangka utama dari wadah perangkat monitoring kualitas udara ini.

10. Triplek

Triplek berukuran 100 x 100 cm digunakan sebagai dasar dari stiker untuk menampilkan keterangan suhu, kelembaban, kadar CO₂, dan satuannya.

11. Seng galvalum

Seng galvalum berukuran 100 x 100 cm digunakan sebagai pelindung bagian belakang dari LED matriks.

12. Solder listrik dan timah

Solder digunakan untuk merangkai komponen elektronika dari perangkat ini.

13. Kabel jumper

Kabel jumper digunakan untuk menghubungkan pin mikrokontroller ESP 32 dengan pin sensor dan pin input dari LED matriks

14. Kabel AWG

Kabel AWG merah dan hitam digunakan untuk menghubungkan pin Vcc dan GND dari LED matriks ke power supply.

15. Bor listrik

Bor listrik digunakan untuk merangkai wadah utama dari perangkat ini.

16. Modul PCB

Modul PCB digunakan untuk menghubungkan pin-pin komponen elektronika supaya lebih rapih dan kokoh.

2.2 Prosedur Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan. Metode penelitian merupakan metode yang digunakan untuk meneliti, merancang, memproduksi, dan menguji validitas produk yang telah dihasilkan. Desain penelitian yang digunakan adalah penelitian dan pengembangan untuk membuat produk yang belum ada dan dibutuhkan dalam kegiatan tridharma laboratorium teknologi rekayasa pangan (Savira & Suharsono, 2013). Penelitian ini menghasilkan produk monitoring kualitas udara yang akan digunakan untuk mengukur kualitas udara di laboratorium rekayasa pangan.

1. Pengumpulan Data dan Informasi

Pengumpulan data dan informasi dalam penelitian ini menggunakan teknik wawancara dan studi literatur. Tahapan teknik wawancara dimaksudkan untuk memperoleh informasi mengenai parameter kualitas udara beserta komponen yang digunakan untuk mengukurnya. Wawancara dilakukan kepada dosen jurusan teknologi informasi politeknik negeri jember. Tahapan studi literatur dimaksudkan untuk memperoleh informasi mengenai rancangan monitoring kualitas udara dan cara kalibrasi yang digunakan untuk sensor gas MQ-135.

2. Pembuatan Alat

Perancangan dan pembuatan alat terdiri dari pembuatan rangkaian Prototipe, pembuatan program, dan pembuatan wadah serta pemasangan komponen ke wadah. Pada pembuatan rangkaian Prototipe menggunakan LED matriks RGB P5, ESP 32, Sensor MQ-135, Sensor DHT22, RTC DS3231, dan power supply. Pembuatan program menggunakan software arduino IDE dan kabel USB untuk melakukan upload program ke ESP 32. Wadah alat dibuat menggunakan besi baja ringan dan kaca akrilik.

3. Uji Kinerja Alat

Uji kinerja perlu dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan monitoring kualitas udara. Uji kinerja yang dilakukan yaitu sebagai berikut:

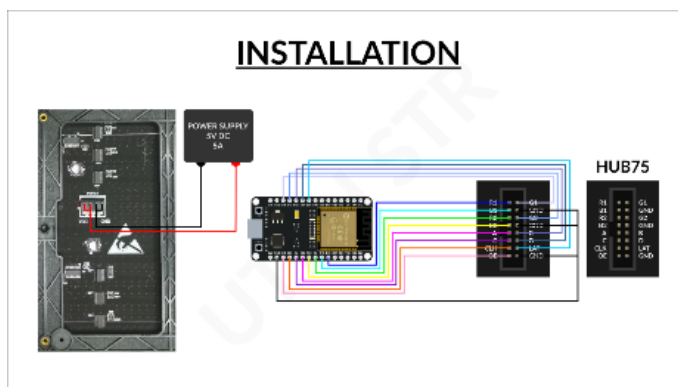
- Kalibrasi sensor MQ-135
- Uji lapangan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

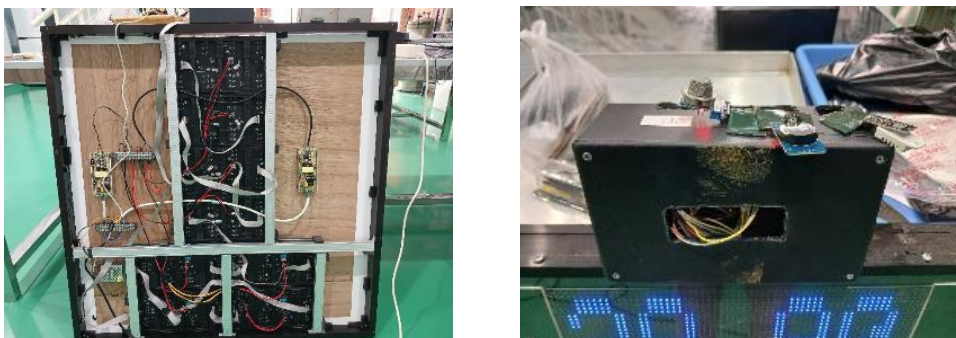
Pada penelitian ini, perancangan alat monitoring kualitas udara menggunakan berbagai macam komponen elektronika dan menggunakan bahasa pemrograman C untuk sistem perangkat lunaknya. Alat ini mampu untuk mengukur kadar CO₂ dengan satuan PPM, suhu, kelembaban, dan waktu *real time* sesuai kondisi lingkungan saat ini. Prototipe yang dibuat memiliki frekuensi pembacaan setiap detik sekali. Untuk lebih detailnya akan dijelaskan di bawah ini.

3.1 Rangkaian Prototipe Monitoring Kualitas Udara

Untuk membuat monitoring kualitas udara dibutuhkan beberapa alat dan bahan yaitu project board, ESP 32, LED RGB P5, Kabel data Hub 75, Kabel AWG, Socket Power, Power Supply 5V 20A, Power Supply 5V, 3 A, Kabel Steker, Sensor Gas MQ135, Sensor DHT22, RTC DS3231, Kabel Male to female/female to female, male to male, PCB Board, Besi Galvalum Hollow, Triplek, Kaca Akrilik, dan seng. Rangkaian Prototipe dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



Gambar 4. Rangkaian Prototipe Monitoring Kualitas Udara (ESP 32 to LED Matriks)

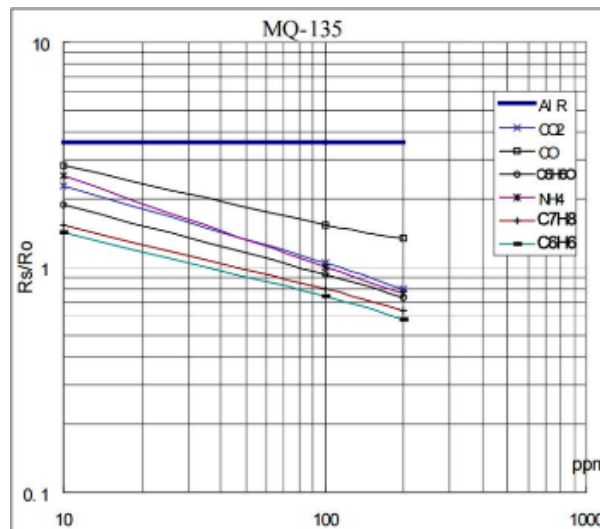


Gambar 5. Rangkaian Lengkap Monitoring Kualitas Udara

3.2. Kalibrasi Sensor Gas MQ-135

Setelah rangkaian prototipe dibuat, perlu dilakukan kalibrasi sensor gas MQ-135 supaya data yang dihasilkan akurat. Kalibrasi sensor dilakukan berdasarkan grafik hubungan antara nilai hambatan (R_s/R_o) yang dihasilkan oleh sensor terhadap kadar ppm sesuai data sheet dari sensor gas MQ-135. Langkah pertama yang dilakukan yaitu mencari persamaan grafik dari kadar CO₂ sesuai data sheet sensor gas MQ-135. Detail langkah kalibrasi dapat dilakukan sebagai berikut:

- upload gambar grafik datasheet sensor gas MQ-135 ke halaman web <https://automeris.io/wpd/?v=5.2>



Gambar 6. Grafik Sensor Gas MQ-135

- Masukkan data hubungan x dan y disetiap titik garis CO₂, sehingga didapatkan nilai a dan b pada persamaan garis tersebut

To find a power regression equation, simply enter a list of values for a predictor variable and a response variable in the boxes below, then click the "Calculate" button:

Predictor values:

1.5817704900087404,	1.4191694747369572,
1.324511320458429,	1.2484171986707713,
1.1883557360636785,	1.131183835771446,
1.0767624606937741,	1.0453746120180167,
0.8010142771701092	

Response values:

10,	20.09751349812425,	29.984350062524403,
39.70918217454169,	49.96962609869128,	
59.75030285244389,	69.05365828260543,	
79.80558247523265,	89.9061248672007,	
100.42652350146702,	198.4252985946665	

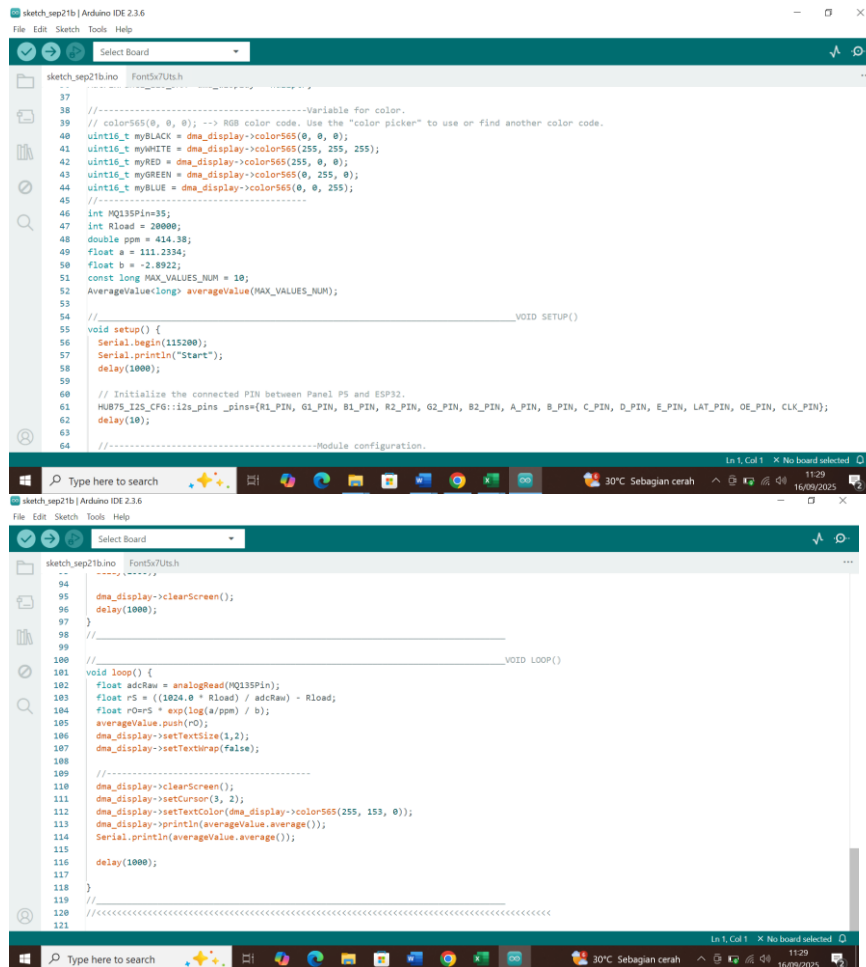
Calculate

Power Regression Equation:

$$y = 111.2334x^{-2.8922}$$

Gambar 7. Persamaan garis kadar CO₂

- Masukkan nilai a dan b pada program kalibrasi sensor gas MQ-135

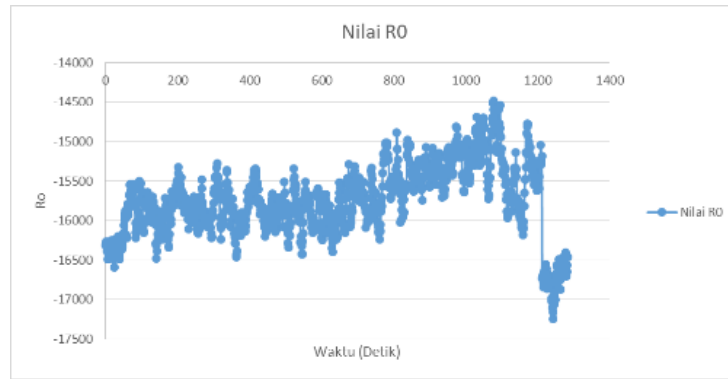


Gambar 7. Program menentukan nilai r0 untuk konversi nilai hambatan menjadi satuan ppm

d. Jalankan program hingga nilai r0 stabil dan catat nilai r0



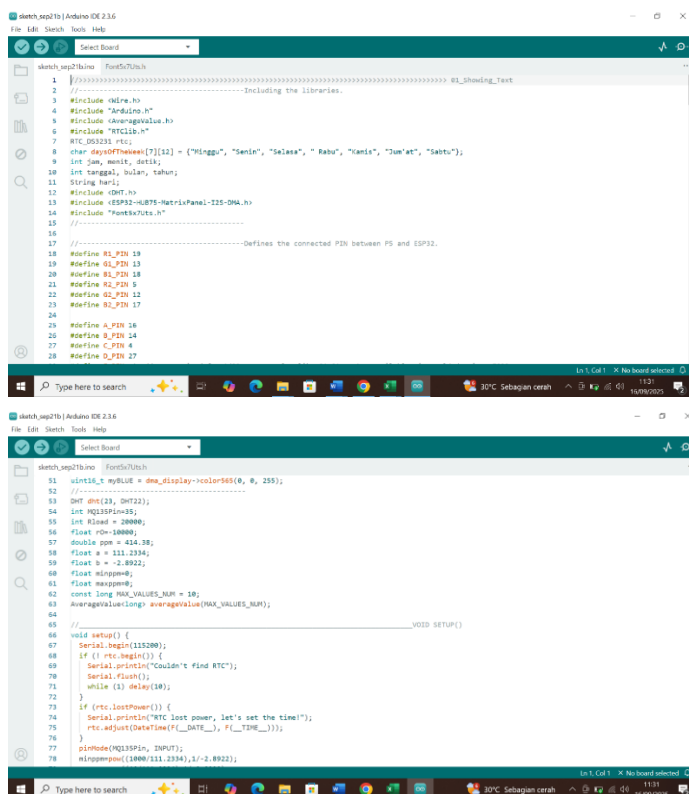
Gambar 8. Nilai R0 hasil kalibrasi.

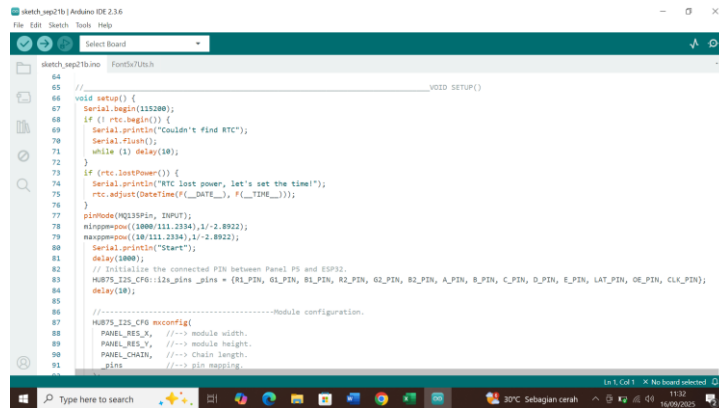


Gambar 9. Grafik Nilai R0

3.3. Program menampilkan kualitas udara

Untuk menjalankan rangkaian Prototipe diatas maka diperlukan program yang diupload ke ESP 32. Program ini dibuat di software arduino IDE. Software Arduino IDE memiliki *environment* yang ditulis dalam java. Arduino IDE juga memiliki *compiler* untuk bahasa C atau C++. Arduino IDE memang bertujuan untuk membantu pembuatan *script* atau *code* untuk berbagai macam *board* atau *microprocessor*. (Herlan et al., 2021) Sebelum menulis program, ada beberapa *library* yang perlu diupdate di software arduino IDE. Library tersebut yaitu RTCLib untuk menampilkan waktu *realtime*, DHT untuk menampilkan suhu dan kelembaban, ESP32 Hub Matrix Panel untuk menampilkan data di LED matriks RGB P5, dan Font5x7Uts untuk menampilkan font LED matriks sesuai keinginan. Masukkan nilai r0 hasil pengamatan sebelumnya, nilai rload = 20.000 (sesuai dengan hambatan di sensor gas MQ135), kadar co2 di atmosfer (414,38 ppm), nilai a dan nilai b ke dalam program. hasil Program yang dibuat dapat dilihat pada gambar di bawah ini.





Gambar 6. Program monitoring kualitas udara

3.4. Pembuatan Wadah

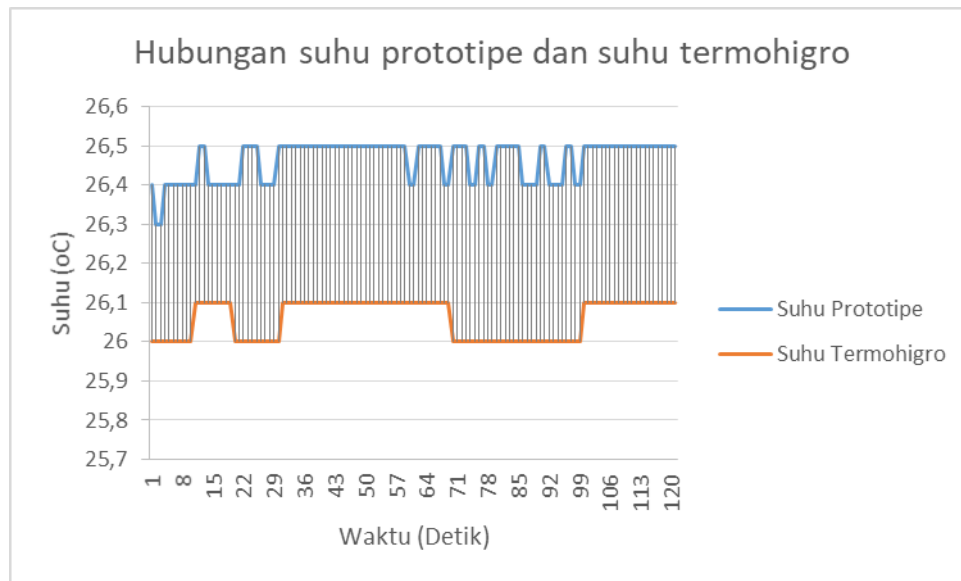
Wadah komponen diperlukan untuk melindungi komponen dari kerusakan dan memudahkan pengguna dalam penggunaannya. Wadah komponen dibuat dari besi galvalum, kaca akrilik, triplek, dan seng dengan ukuran 100 x 100 cm. Untuk rangkaian elektronika diletakkan di box elektronik ukuran 18 x 12 x 6 cm. Prototipe dengan wadah komponen yang sudah jadi dapat dilihat pada gambar di bawah ini.



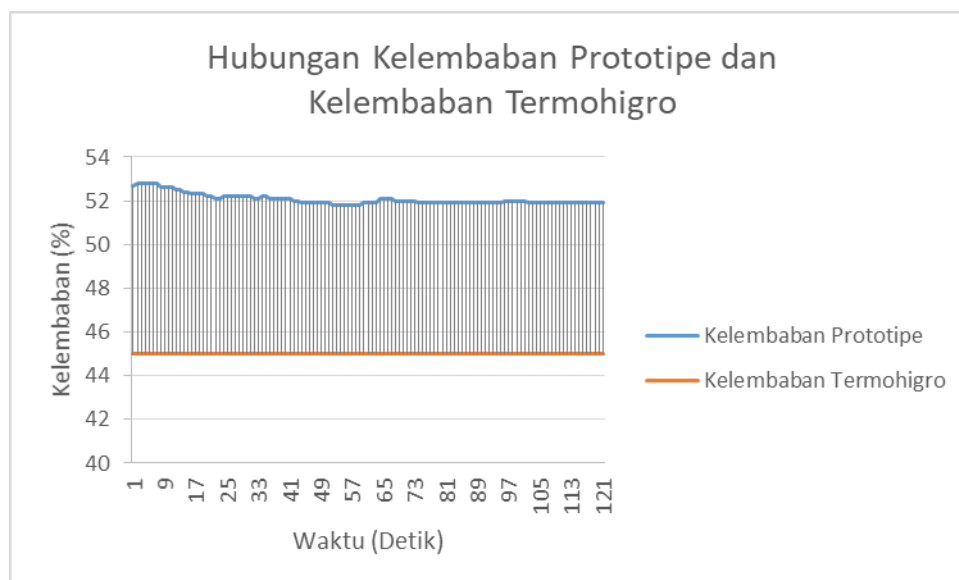
Gambar 7. Prototipe sensor warna

3.4. Uji Kinerja

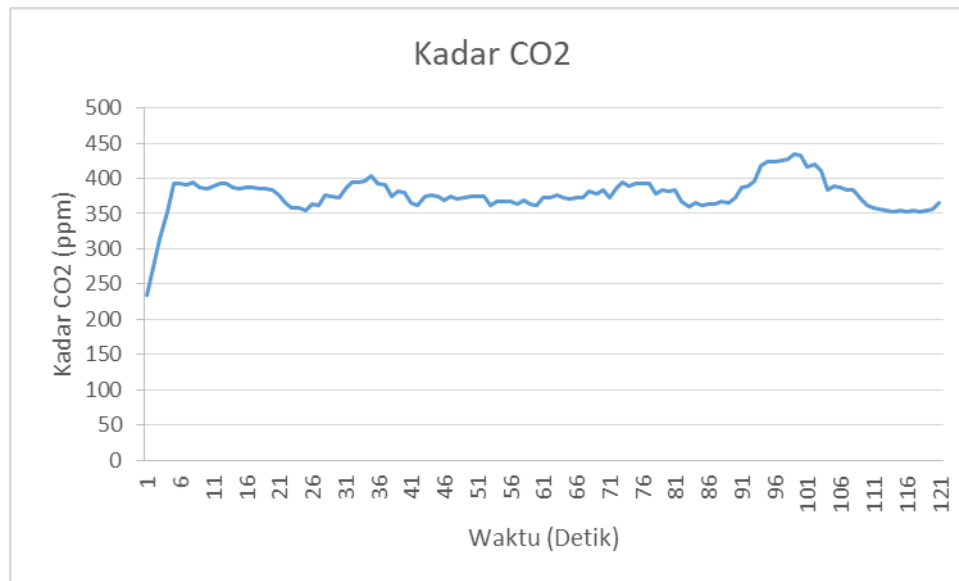
Setelah dilakukan kalibrasi, alat monitoring kualitas udara diuji di ruang laboratorium untuk pengukuran suhu, kelembaban, dan kadar CO2. Hasil pengukuran dibandingkan dengan termohigro yang sudah dikalibrasi. Hasil pengukuran alat monitoring kualitas udara dapat dilihat pada grafik di bawah ini.



Gambar 8. Grafik hubungan suhu prototype dan suhu termohigro



Gambar 9. Grafik hubungan kelembaban prototype dan kelembaban termohigro



Gambar 10. Grafik data kadar Co2 dari prototype

Berdasarkan hasil uji kinerja pengukuran suhu, kelembaban, dan kadar CO₂ menggunakan prototype dapat dilihat bahwa masih terdapat perbedaan data suhu dan kelembaban dengan data yang didapat dari alat termohigro. Data suhu memiliki perbedaan $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$ dan data kelembaban memiliki perbedaan $\pm 7\%$. Data perbedaan kelembaban didapatkan masih cukup tinggi. Sedangkan untuk pengukuran kadar CO₂ memiliki standar deviasi ± 25 ppm. Penggunaan sensor MQ-135 sudah cukup ideal untuk melakukan pendeteksian gas-gas berbahaya seperti CO₂. Namun untuk melakukan pengukuran dengan akurasi tinggi, sensor harus melewati proses *heating* dan pengukuran Rs/Ro lebih lama yaitu 1-3 hari (Satria et al., 2023). Menurut *data sheet* sensor DHT 22 bahwa kelembaban yang terukur memiliki rentang akurasi 2 – 5 % dan akurasi suhu sebesar $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ (Puspasari et al., 2020). Berdasarkan data penelitian dapat disimpulkan bahwa untuk suhu sudah sesuai dengan *data sheet* yaitu memiliki akurasi $\pm 0,4^{\circ}\text{C}$, namun untuk kelembaban melebihi standar *data sheet* yaitu $\pm 7\%$. Hal ini disebabkan karena beberapa factor diantaranya yaitu posisi sensor dht 22 dan sensor termohygro yang tidak sama, dimana posisi termohygro posisinya lebih rendah dibanding sensor dht22.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dapat diambil kesimpulan bahwa prototipe monitoring kualitas udara telah berhasil dibuat dan dapat menampilkan suhu, kelembaban, kadar CO₂, klasifikasi kualitas udara (baik, cukup, buruk), dan waktu secara *real time* (tanggal, bulan, tahun, jam, menit, dan detik). Akurasi data suhu cukup baik, hal ini dapat dilihat dari perbedaan suhu yang ditampilkan dengan suhu termohigro yang telah dikalibrasi hanya memiliki perbedaan $0,4^{\circ}\text{C}$. Akurasi kelembaban kurang baik, hal ini dapat dilihat dari perbedaan kelembaban yang ditampilkan dengan kelembaban termohigro yang telah dikalibrasi memiliki perbedaan yang cukup signifikan yaitu 7 %. Sedangkan akurasi kadar CO₂ juga kurang baik karena memiliki standar deviasi cukup tinggi yaitu 25 ppm. Oleh karena itu, perlu adanya peningkatan akurasi pada pembacaan kelembaban dan kadar CO₂. Hal ini bisa dilakukan dengan mengganti sensor kelembaban dengan sensor

yang lebih akurat dan melakukan kalibrasi ulang pada sensor gas MQ-135 supaya lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Herlan, A., Fitri, I., & Nuraini, R. (2021). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Data Sebaran Covid-19 Secara Real-Time menggunakan Arduino Berbasis Internet of Things (IoT)*. April. <https://doi.org/10.35870/jtik.v5i2.212>
- Kusnandar, M. (2020). Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020. *Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)*, 1–16.
- Liang, Q., Sakaemura, T., & Zhao, T. (2025). *Waveshare RGB-Matrix-P5-64x32 Guide*. 1–5.
- Liu, T. (2013). Aosong Electronics Co., Ltd. *Digital-Output Relative Humidity & Temperature Sensor/Module(DHT22)*, 22, 1–10.
- Maxim. (2015). RTC DS3231 Datasheet. *Datasheet*, 1–20.
- Mudhofar, M. A. (2023). *Analisis Kualitas Udara Ambien Parameter CO Dan CO2 Di Terminal Jombor D.I. Yogyakarta*.
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot (Internet Of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(2), 102–115. <https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115>
- Nizam, M. N., Haris Yuana, & Zunita Wulansari. (2022). Mikrokontroler Esp 32 Sebagai Alat Monitoring Pintu Berbasis Web. *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, 6(2), 767–772. <https://doi.org/10.36040/jati.v6i2.5713>
- Puspasari, F., Satya, T. P., Oktiawati, U. Y., Fahrurrozi, I., & Prisyanti, H. (2020). *Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar*. 1–6.
- Saptadi, A. H. (2015). Perbandingan Akurasi Pengukuran Suhu dan Kelembaban Antara Sensor DHT11 dan DHT22 Studi Komparatif pada Platform ATMEL AVR dan Arduino. *Jurnal Informatika, Telekomunikasi Dan Elektronika*, 6(2). <https://doi.org/10.20895/infotel.v6i2.73>
- Satria, B., Alam, H., & Rahmانيar. (2023). Desain Alat Ukur Pencemaran Udara Portabel Berbasis Sensor Mq-135 Dan Mq-7. *Universitas Bina Insan Lubuk Linggau*, 1278–1285.
- Savira, F., & Suharsono, Y. (2013). Bab Iii Metode Penelitian Dan Pengembangan. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 01(01), 1689–1699.
- Wicaksono, H. A. (2017). *Rancang Bangun Sistem Monitoring Konsentrasi Gas Nitrogen Oksida (NOx) Sebagai Emisi Gas Buang Menggunakan Sensor Gas MQ – 135 Berbasis Mikrokontroler STM32F4 Discovery*.