

**SISTEM MONITORING KADAR GAS KARBON MONOKSIDA, KARBON  
DIOKSIDA, HIDROGEN, DAN AMONIA MENGGUNAKAN SENSOR  
MQ-2 DAN MQ-135 BERBASIS NODEMCU ESP32 SEBAGAI  
PEMANTAU PENCEMARAN UDARA**

**(Skripsi)**

**Oleh**

**Mayola Prantica  
1817041063**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2022**

## **ABSTRAK**

### **SISTEM MONITORING KADAR GAS KARBON MONOKSIDA, KARBON DIOKSIDA, HIDROGEN, DAN AMONIA MENGGUNAKAN SENSOR MQ-2 DAN MQ-135 BERBASIS NODEMCU ESP32 SEBAGAI PEMANTAU PENCEMARAN UDARA**

**Oleh**

**Mayola Prantica**

Pada penelitian ini, telah dirancang sistem monitoring kualitas udara yang mampu memonitor kadar gas karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), hidrogen (H<sub>2</sub>) dan amonia (NH<sub>3</sub>) berbasis nodeMCU ESP32. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-135 yang dikendalikan oleh mikrokontroler ESP32. Prinsip kerja sistem ini adalah ketika sensor dibiarkan di udara terbuka, sensor akan mendeteksi kualitas udara di suatu daerah percobaan sensor. Hasil pengukuran akan diproses oleh ESP32 dan ditampilkan pada DMD P10 sebagai display dari sistem monitoring ini. DMD P10 dapat menerima data pada saat pengukuran menggunakan komunikasi *serial peripheral interface*. Mekanisme pengujian sensor, untuk sensor MQ-2 gas CO dan sensor MQ-135 gas CO<sub>2</sub> dilakukan dengan membandingkan nilai sensor dan nilai alat standar yang terkalibrasi. Sensor MQ-2 untuk gas H<sub>2</sub> dilakukan dengan perhitungan gas H<sub>2</sub> yang didapat dari penguapan H<sub>2</sub>O dan sensor MQ-135 untuk gas NH<sub>3</sub> dilakukan dengan perhitungan nilai gas yang terdapat pada penguapan cairan amonia. Hasil penelitian menunjukkan sensor mampu mendeteksi nilai gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> dengan masing-masing nilai *error* 2,30%, 2,78%, 4,51% dan 1,69%.

Kata kunci : nodeMCU ESP32, Kualitas Udara, Monitoring, MQ-2, MQ-135.

## **ABSTRACT**

### **MONITORING SYSTEM FOR LEVELS OF CARBON MONOXIDE, CARBON DIOXIDE, HYDROGEN AND AMMONIUM USING SENSORS MQ-2 AND MQ-135 ARE BASED ON NODEMCU ESP32 FOR AIR POLLUTING**

**By**

**Mayola Prantica**

*In this research, an air quality monitoring system was designed that is capable of monitoring the levels of carbon monoxide (CO), carbon dioxide (CO<sub>2</sub>), hydrogen (H<sub>2</sub>) and ammonia (NH<sub>3</sub>), based on nodeMCU ESP32. This study uses MQ-2 and MQ-135 sensors controlled by an ESP32 microcontroller. The working principle of this system is that when the sensor is left in the open air, the sensor will detect the air quality in the sensor's experimental area. The measurement results will be processed by the ESP32 and displayed on the DMD P10 as a display for this monitoring system. DMD P10 can receive data at the time of measurement using serial peripheral interface communication. The sensor test mechanism, for the sensor MQ-2 CO gas and the MQ-135 sensor for CO<sub>2</sub>, is carried out by comparing the sensor value and the calibrated standard instrument value. The MQ-2 sensor for H<sub>2</sub> gas is carried out by calculating the H<sub>2</sub> gas obtained from the evaporation of H<sub>2</sub>O and the MQ-135 sensor for NH<sub>3</sub> gas is carried out by calculating the value of the gas contained in the evaporation of liquid ammonia. The results show that the sensor can detect CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> and NH<sub>3</sub> gas values with error values of 2.30%, 2.78%, 4.51% and 1.69%, respectively.*

*Keywords: nodeMCU ESP32, air quality, monitoring system, MQ-2, MQ-135.*

**SISTEM MONITORING KADAR GAS KARBON MONOKSIDA, KARBON  
DIOKSIDA, HIDROGEN, DAN AMONIA MENGGUNAKAN SENSOR  
MQ-2 DAN MQ-135 BERBASIS NODEMCU ESP32 SEBAGAI  
PEMANTAU PENCEMARAN UDARA**

**Oleh**

**Mayola Prantica**

**Skripsi**

**Sebagai salah satu syarat untuk mencapai gelar**

**SARJANA SAINS**

**Pada**

**Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Lampung**



**JURUSAN FISIKA**

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM**

**UNIVERSITAS LAMPUNG**

**BANDAR LAMPUNG**

**2022**

Judul Skripsi : **SISTEM MONITORING KADAR GAS KARBON MONOKSIDA, KARBON DIOKSIDA, HIDROGEN, DAN AMONIA MENGGUNAKAN SENSOR MQ-2 DAN MQ-135 BERBASIS NODEMCU ESP32 SEBAGAI PEMANTAU PENCEMARAN UDARA**

Nama Mahasiswa : **Mayola Prantica**

Nomor Pokok Mahasiswa : **1817041063**

Jurusan : **Fisika**

Fakultas : **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



1. **Komisi Pembimbing**

**Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 19631228 198610 2 001

**Donni Kis Apriyanto, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 19880403 201903 1 005

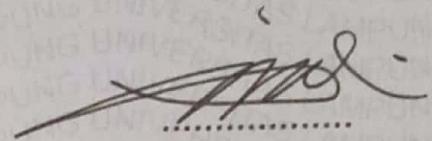
2. **Ketua Jurusan Fisika**

**Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 19801010 200501 1 002

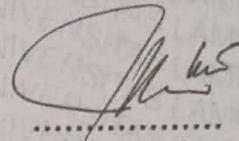
**MENGEAHKAN**

1. Tim Penguji

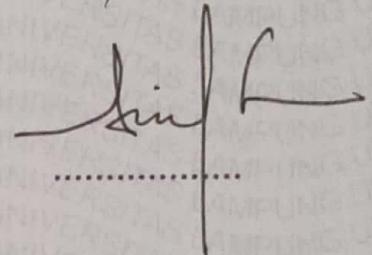
Ketua : **Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**



Sekretaris : **Donni Kis Apriyanto, S.Si., M.Sc.**



Anggota : **Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng**



2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam



**Dr. Eng. Satripto Dwi Yuwono, M.T.**  
NIP. 19740705 200003 1 001

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **20 Desember 2022**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam skripsi ini tidak terdapat karya yang pernah dilakukan orang lain, dan sepengetahuan saya tidak ada karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan oleh orang lain kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan pula bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila ada pernyataan saya yang tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi sesuai dengan hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Desember 2022



**Mayola Prantica**

NPM. 1817041063

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Mayola Prantica, dilahirkan pada tanggal 29 April 2000 di Bandar Lampung, Lampung. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara dari pasangan Bapak Firdaus dan Ibu Elya Sari. Pendidikan yang telah ditempuh penulis adalah SD Negeri 6 Penengahan

Bandar Lampung pada tahun 2006 - 2012, SMP Nusantara Bandar Lampung pada tahun 2012 - 2015, SMA Negeri 6 Bandar Lampung pada tahun 2015 - 2018.

Penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN) pada tahun 2018. Penulis mengambil KBK Instrumentasi pada Jurusan Fisika. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten praktikum Elektronika Digital pada tahun 2021. Pada tahun 2021 penulis melaksanakan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika - Stasiun Geofisika Kelas III Lampung Utara, Lampung. Penulis juga aktif melakukan pengabdian terhadap masyarakat dengan mengikuti program Kuliah Kerja Nyata (KKN) Universitas Lampung pada tahun 2021 di Desa Sukarame II, Kec. Teluk Betung Barat, Kota Bandar Lampung, Prov. Lampung. Pada akhir perkuliahan

penulis pernah mengikuti program Magang dan Studi Independen Bersertifikat (MSIB) Kemendikbud *batch 3* di PT Zona Edukasi Nusantara (*Zenius education*) *Accelerated Machine Learning Program* selama 1 semester, Pelatihan *Fresh Graduate Academy* (FGA) Digitalent Kominfo *Batch 3 2022 Artificial intelligence with machine learning* di *Oracle Corporation (Oracle academy)* selama 1 Bulan. Serta mengikuti pelatihan bisnis untuk UMKM oleh Kementerian Koperasi dan UKM Republik Indonesia yang bekerja sama dengan inkubator bisnis LPPM Universitas Lampung selama 1 bulan.

## MOTTO

*Bila Kamu Tidak Tahan Dengan Lelahnya Belajar, Maka Kamu Akan Menanggung Perihnya Kebodohan*

*(Imam Syafi'i)*

*Belajar dan bekerjalah sampai kau tidak perlu memperkenalkan dirimu ketika bertemu orang baru*

*(Deddy Corbuzier)*

*Penyesalan adalah neraka terkejam dalam hidup, bebanmu tak berat hanya kau yang lemah dan berpikir tanpa bertindak*

*(Vincenzo cassano)*

*Kesalahan terbesar dalam hidup adalah meremehkan, berhenti mengemis berhenti sombong lakukan yang terbaik pasrahkan hasilnya fokus pada dirimu*

*(Mayola Prantica)*

*All izz well, hanya ada 2 orang di dunia ini yang apapun kesalahan mereka tetap kau yang harus meminta maaf yaitu orang tua*

*(Arie Syanjaya)*

## **PERSEMBAHAN**

Dengan penuh rasa syukur kepada Allah SWT, kupersembahkan karya kecil ini kepada:

***Kedua Orang Tua (Bapak Firdaus & Ibu Elya Sari)***

yang telah tulus, ikhlas dan sabar membesarkan, merawat dan mendidiknya dengan limpahan kasih dan sayang.

***Kakak, Ayuk serta ponakan (Arie Syanjaya, Icha, Noprida & Lala)***

yang selalu memberikan dukungan, dan doa yang terbaik.

***Bapak dan Ibu Dosen***

Terimakasih atas bekal ilmu pengetahuan, nasihat, dan saran yang membangun sehingga membuka hati dan wawasan.

***Sahabat dan rekan-rekan seperjuangan Fisika 2018***

Terimakasih untuk memori selama kuliah yang sangat berarti. Semoga saat-saat indah itu akan selalu menjadi kenangan yang paling indah.

Serta

Almamaterku tercinta

**“UNIVERSITAS LAMPUNG”**

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah memberi hikmat, karunia serta rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sistem Monitoring Kadar Gas Karbon Monoksida, Karbon Dioksida, Hidrogen, dan Amonia Menggunakan Sensor MQ-2 dan MQ-135 Berbasis NodeMCU ESP32 Sebagai Pemantau Pencemaran Udara”** yang merupakan syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si.) pada KBK Instrumentasi Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun dari berbagai pihak demi perbaikan dan penyempurnaan skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya agar lebih sempurna dan dapat memperkaya ilmu pengetahuan.

Bandar Lampung, 20 Desember 2022

**Mayola Prantica**  
NPM. 1817041063

## SANWACANA

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, yang telah memberi kesehatan, hikmat, karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Sistem Monitoring Kadar Gas Karbon Monoksida, Karbon Dioksida, Hidrogen, dan Amonia Menggunakan Sensor MQ-2 dan MQ-135 Berbasis NodeMCU ESP32 Sebagai Pemantau Pencemaran Udara”**. Terwujudnya skripsi ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak, untuk itu dengan segala kerendahan hati dan rasa hormat, penulis ucapkan terimakasih kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing utama serta pembimbing akademik yang telah memberikan bimbingan dan arahan serta ilmunya dari awal perkuliahan sampai akhir dan menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Donni Kis Apriyanto, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembimbing kedua yang telah memberikan bimbingan dan saran sehingga skripsi ini menjadi lebih baik sampai akhir penulisan.
3. Bapak Arif Surtono, S.Si., M.Si., M.Eng. selaku penguji utama yang telah mengoreksi kekurangan dan memberikan masukan serta saran selama penulisan skripsi ini.

4. Bapak Gurum Ahmad Fauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.
5. Bapak Dr. Eng. Suropto Dwi Yuwono, M.T selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
6. Para bapak/ibu dosen serta karyawan di Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung
7. Kedua orang tua, kakak ku Arie syanjaya, Icha kurniawati, Noprida serta keponakanku Azma hafiza syanjaya yang selalu sabar dan menguatkan untuk terus mengusahakan yang terbaik meski banyak yang telah terjadi. Juga keluarga besar serta sepupuku Rita, Indah, Ridho dan lainnya yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.
8. Teman-temanku Eza Ariyani, Husnul Khotimah, Khairunnisa pertiwi, Hauzan, Putu, Anggi, Dendi, Rahma, Sayyidah, Mega, Munir, dan anggota grup ESP serta Lapet yang tidak bisa saya sebutkan satu per satu.

Semoga Allah SWT memberikan imbalan berlipat dan memudahkan langkah semua pihak yang telah membantu penulis menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 20 Desember 2022

Penulis

Mayola Prantica

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACK</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b> .....	<b>iv</b>
<b>HALAMAN PENGESAAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>HALAMAN PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>ix</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>x</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	7
1.3 Tujuan .....	7
1.4 Batasan Masalah .....	7
1.5 Manfaat .....	8
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>9</b>
2.1 Penelitian Terkait .....	9
2.2 Teori Dasar.....	17
2.2.1 Sistem Monitoring .....	17
2.2.3 Display p10 .....	18
2.2.4 Gas Polutan .....	20
a. Gas Karbon monoksida.....	20

b. Gas Karbon dioksida.....	21
c. Gas Hidrogen .....	22
d. Gas Amonia.....	22
2.2.5 Sensor .....	23
a. Sensor MQ-2.....	25
b. Sensor MQ-135.....	25
2.2.6 nodeMCU ESP 32 .....	27
2.2.7 Teori Perhitungan .....	30
<b>III. METODE PENELITIAN .....</b>	<b>33</b>
3.1 Alat-alat Penelitian .....	33
3.2 Bahan-bahan Penelitian .....	34
3.3 Prosedur Penelitian .....	35
3.4 Prosedur Penelitian .....	44
3.5 Prosedur Penelitian .....	35
<b>IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>48</b>
4.1 Realisasi Alat.....	48
4.1.1. Perangkat Keras Sistem Monitoring .....	48
4.1.2. Perangkat Lunak Sistem Monitoring .....	52
4.2 Pengujian dan Kalibrasi Sensor .....	58
4.2.1. Kalibrasi Sensor MQ-2 untuk gas CO .....	58
4.2.2. Kalibrasi Sensor MQ-135 untuk gas CO <sub>2</sub> .....	61
4.2.3. Kalibrasi Sensor MQ-2 untuk gas H <sub>2</sub> .....	63
4.2.4. Kalibrasi Sensor MQ-135 untuk gas NH <sub>3</sub> .....	67
4.2.5. Pengujian DMD P10 .....	70
4.3 Pengambilan Data.....	72
<b>V. SIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>76</b>
5.1. Simpulan.....	76
5.2. Saran .....	76
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>78</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>82</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1 Komponen alat .....	10
2.2 Grafik perbandingan nilai ralat penelitian mengenai gas CO .....	12
2.3 Tampilan monitoring kualitas udara .....	14
2.4 (a) (b) Komponen P10 (c) Modul P10. ....	20
2.5 (a)Tampilan dalam sensor MQ (b) Modul sensor MQ (c) Tampilan luar sensor MQ .....	26
2.6 Kurva karakteristik sensor MQ-135.....	26
2.7 (a) Modul nodeMCU 32 (b)Pinout nodeMCU ESP32 .....	28
3.1 Diagram alir penelitian.....	36
3.2 Diagram blok sistem monitoring.....	37
3.3 Desain alat sistem monitoring (a) Tampak depan (b) tampak belakang.....	38
3.4 Desain alat sistem monitoring.....	39
3.5 (a) Rangkaian sensor MQ-2 (b) skematik rangkaian sensor MQ-2 .....	40
3.6 (a) Rangkaian sensor MQ-135 (b) skematik rangkaian sensor MQ-135 .....	41
3.7 Rancangan rangkaian sistem monitoring (a) rangkaian dalam (b) tampilan luar .....	42
3. 8 Analisis perbandingan kadar CO alat yang dibuat dengan alat standar .....	44
3.9 Analisis perbandingan kadar CO <sub>2</sub> alat yang dibuat dengan alat standar.....	45
3.10 Analisis perbandingan kadar H <sub>2</sub> alat yang dibuat dengan alat standar .....	45
3.11 Analisis perbandingan kadar NH <sub>3</sub> alat yang dibuat dengan alat standar.....	46

3.12 Diagram alir perancangan <i>software</i> sistem monitoring .....	47
4.1 Realisasi sistem monitoring kualitas udara (a) tampak depan dan (b) tampak belakang (1a) tampak depan panel H <sub>2</sub> (1b) tampak belakang panel H <sub>2</sub> (2a) tampak depan panel CO (2b) tampak belakang panel CO (3a) tampak depan panel NH <sub>3</sub> (3b) tampak belakang panel panel NH <sub>3</sub> (4a) tampak depan panel CO <sub>2</sub> (4b) tampak belakang panel CO <sub>2</sub> .....	49
4.2 (1) konverter DMD P10 (2) kabel jumper (3) mikrokontroler.....	50
4.3 Skematik rangkaian display DMD P10 (1) Kabel (2) panel gas H <sub>2</sub> .....	51
4.4 Kalibrasi Sensor MQ-2 untuk Gas CO dan CO <sub>2</sub> (1) laptop (2) Air Quality Detector (3) jumper (4) NodeMCU ESP32 (5) Sensor MQ-2 atau MQ-135 (6) Kabel USB .....	58
4.5 Grafik Kalibrasi Gas CO .....	59
4.6 Grafik Kalibrasi Gas CO <sub>2</sub> .....	61
4.7 Kalibrasi Sensor MQ-2 untuk gas H <sub>2</sub> (1) Laptop (2) Kompor listrik.....	64
4.8 Grafik Kalibrasi Gas H <sub>2</sub> .....	67
4.9 Kalibrasi Sensor MQ-135 untuk Gas NH <sub>3</sub> (1) Laptop (2) Sensor.....	68
4.10 Grafik Kalibrasi Gas NH <sub>3</sub> .....	70
4.11 Kalibrasi (a) Panel DMD P10 dengan (b)Serial Monitor node.....	71
4.12 Pengambilan data di lingkungan FMIPA.....	72
4.13 Grafik Pengambilan Data di FMIPA.....	73

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
3.1 Alat-alat penelitian .....	33
3.2 Bahan-bahan penelitian.....	34
3.3 Perangkat lunak penelitian .....	35
3.4 Data nilai pengujian sensor MQ-2 dan MQ-135.....	44
3.5 Nilai kalibrasi sensor MQ-2 dan MQ-135. ....	44
4.1 Perhitungan Kalibrasi Nilai Kadar Gas CO .....	60
4.2 Perhitungan Kalibrasi Nilai Kadar Gas CO <sub>2</sub> .....	63
4.3 Perhitungan Gas Hidrogen .....	65
4.4 Perhitungan Data Kalibrasi Gas H <sub>2</sub> .....	66
4.5 Perhitungan Gas Amonia .....	69
4.6 Perhitungan data kalibrasi gas NH <sub>3</sub> .....	69
4.7 Perbandingan nilai gas yang tampil pada DMD P10 dan nilai yang.....	71
4.8 Pengambilan data di FMIPA.....	74

## I. PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Polusi merupakan permasalahan lingkungan yang sering terjadi terutama di daerah perkotaan, hal ini bisa disebabkan banyak faktor salah satunya karena peningkatan perkembangan daerah industri dan transportasi. Gas buangan atau emisi gas dari kendaraan bermotor merupakan salah satu yang paling signifikan menjadi sumber dari polusi udara. Hiruk-pikuk kendaraan bermotor yang menyebabkan kemacetan cukup parah di jalan-jalan besar di Indonesia. Tidak mengherankan jika kota-kota besar menjadi asupan utama penyebaran polusi di udara. Gas-gas hasil pembakaran kendaraan bermotor ini dikategorikan sebagai pencemaran lingkungan. Polutan di udara yang paling utama berasal dari gas buangan kendaraan bermotor dimana tiap tahunnya bertambah dengan pesat. Kontribusi pencemaran udara yang berasal dari sektor transportasi menimbulkan masalah kualitas udara (Kurniasih dkk., 2020).

Udara merupakan komponen yang penting bagi pernafasan demi kelangsungan hidup makhluk hidup di bumi. Komposisi biologis, fisik serta kimiawi udara sangatlah berpengaruh langsung terhadap pernafasan makhluk hidup. Umumnya udara yang menyelimuti bumi mengandung 0,03% Karbon dioksida, 0,9% Argon, 21% Oksigen, 76% Nitrogen serta sejumlah kecil gas lain seperti Metana, Helium

dan Neon. Udara yang mengandung lebih banyak kontaminan bahan berbagai jenis seperti gelombang mikro serta gelombang elektromagnetik dapat berpengaruh besar terhadap kesehatan manusia. Zat-zat polutan seperti karbon monoksida, karbon dioksida, formaldehid dan sebagainya pada dasarnya akan ternetralisasi secara alami jika masih dalam jumlah normal. Aktivitas manusia umumnya dapat mengubah komposisi kimia di udara dan jumlah spesi serta konsentrasi zat kimia, terlebih jika aktivitas tersebut dikerjakan pada ruang tertutup dengan sirkulasi kurang baik (Dewi dkk., 2021).

Kualitas udara dapat dinilai dari konsentrasi parameter kandungan zat di udara yang ketika diukur dan dibandingkan dengan nilai baku mutu ambien nasional terukur lebih tinggi ataupun rendah. Baku mutu udara merupakan batas ukuran atau kandungan unsur pencemaran di udara bebas. Sedangkan udara ambien sendiri merupakan ungkapan untuk udara bebas pada permukaan bumi di bagian lapisan udara pada ketinggian 16 km dari permukaan bumi (troposfer). Baku mutu nilai udara ambien nasional merupakan penetapan batas maksimum nilai mutu udara yang dilakukan oleh pemerintah sebagaimana terlampir pada Peraturan Pemerintah RI No.11 Th 2020 yang diubah nomor serta tahun peraturannya saja dari Peraturan Pemerintah RI no 41 Tahun 1999. Untuk nilai Baku Mutu zat *Aerosol* (PM10) dalam waktu 24 jam sebesar  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , untuk CO dalam 1 jam  $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , 24 jam  $10000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , Ozon ( $\text{O}_3$ ) dalam 1 jam  $235 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , untuk Sulfur dioksida ( $\text{SO}_2$ ) dalam 24 jam  $365 \mu\text{g}/\text{m}^3$  serta untuk Nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dalam 1 jam hanya  $0,25 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dan 1 tahun  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (Kurniawan, 2018).

Polutan yang dihasilkan oleh zat-zat pencemaran udara biasa berupa gas CO, Hidrokarbon (HC), Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ), Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ),  $\text{CO}_2$ ,

*Chlorofluorocarbon* (CFC) dan Timah Hitam (Pb). Polutan CO merupakan jenis gas paling banyak yang dihasilkan oleh kendaraan bermotor serta memberikan dampak yang tidak baik bagi kesehatan manusia. Polutan ini berbentuk gas beracun yang mengikat Hemoglobin (Hb). Hb sendiri sangat penting bagi manusia yakni berfungsi untuk mengantarkan Oksigen ke seluruh tubuh, jika fungsi ini terganggu maka akan terjadi sesak yang diakibatkan oleh kurangnya persediaan Oksigen di tubuh. Zat polutan yang ada di udara bebas memiliki sifat beragam ada yang berbau, tak terlihat dan tak berwarna namun juga ada yang berbau, terlihat, berwarna dan sebagainya (Abidin dan Hasibuan, 2019).

Reaksi kimia pada atmosfer terkadang berlangsung dalam rantai reaksi yang sangat panjang dan rumit, sampai menghasilkan produk akhir yang lebih reaktif jika dibandingkan dengan senyawa aslinya. Sebagai contoh, adanya reaksi di udara yang dapat mengubah Nitrogen Monoksida (NO) yang terdapat pada gas buangan kendaraan bermotor menjadi Nitrogen Dioksida yang lebih reaktif dan gas ini juga dapat menimbulkan asap awan fotokimia (*photochemical smog*). Pembentukan awan fotokimia bergantung pada kondisi reaksi serta kecepatan angin. Bahan-bahan pencemar yang memiliki sifat lebih stabil seperti limbah Timbal (Pb) dapat jatuh langsung ke tanah bersamaan dengan air hujan ataupun mengendap bersama debu yang kemudian akan mengkontaminasi tanah dan air. Senyawa berbahaya tersebut selanjutnya dapat masuk ke dalam rantai makanan yang sampai ke tubuh manusia melalui susu, ternak, sayuran dan sebagainya. Selain itu, pencemaran udara juga dapat masuk ke tubuh manusia melalui cara lain yakni inhalasi, dan penetrasi kulit. Inhalasi merupakan cara pencemaran masuk melalui perantara sistem pernafasan manusia, bahan dari pencemaran ini dapat mengakibatkan

terjadinya gangguan pada paru-paru dan saluran pernafasan. Sedangkan penetrasi kulit yakni cara pencemaran masuk melalui kulit yang sebagian besar hanya menimbulkan efek di permukaan saja (Haruna dkk., 2019).

Survei yang telah dilakukan Buanawati dkk. (2017) mengenai penyebab polusi udara membuktikan bahwa gas buangan dari transportasi merupakan penyumbang tertinggi pencemaran udara hingga mencapai angka 85%. Adapun setiap liter bahan bakar yang dikonsumsi kendaraan atau di bakar oleh mesin kendaraan diperkirakan akan menghasilkan emisi gas buangan sebesar 0,25 liter karbon dioksida, 0,01 liter karbon monoksida, serta 0,03 liter nitrogen dioksida juga gas lainnya seperti sulfur. Hal tersebut mengartikan bahwa sebagian besar dari kendaraan bermotor menghasilkan gas buangan yang tidak baik, gas buangan ini bisa disebabkan oleh perawatan yang kurang memadai ataupun dari penggunaan bahan bakar yang memiliki kualitas rendah seperti banyak mengandung timbal (Buanawati dkk., 2017).

Pemantauan atau monitoring kualitas udara sangat diperlukan untuk mengetahui kadar zat yang terkandung di udara sehingga jika membahayakan dapat langsung dilakukan tindakan penetralan. Perkembangan teknologi juga dapat sangat bermanfaat dalam hal pemantauan. Sensor gas merupakan bagian dari perkembangan teknologi yang dapat diaplikasikan untuk memonitoring gas buangan yang berbahaya bagi manusia. Sistem yang telah dirancang oleh Fuadi (2021) telah berhasil mendeteksi gas karbon monoksida sebagai pencemaran udara di ruangan tertentu berbasis *Internet of Things* menggunakan android.

Prinsip kerja sistem tersebut yakni dengan membaca tingkat pencemaran udara kemudian memberikan notifikasi tentang status pencemaran udara secara online melalui aplikasi *blynk*. Alat tersebut akan membaca masukan pada mikrokontroler dari sensor MQ-7 yang telah terpasang pada NodeMCU ESP8266 untuk mengetahui kadar gas pada ruangan yang telah ditentukan. Mikrokontroler kemudian dihubungkan dengan *wifi hotspot* android untuk memberikan notifikasi pada aplikasi *blynk* berdasarkan kualitas udara dalam kategori normal, sedang, dan bahaya. Seperti juga pada Penelitian Kualitas Udara Dalam Ruangan yang dilakukan oleh (Waworundeng dan Lengkong, 2018). Pada penelitian tersebut dirancang sebuah prototipe alat pendeteksi kualitas udara di dalam ruangan dengan menggunakan mikrokontroler dan sensor MQ135 yang terhubung dengan platform IoT sebagai sistem monitoring. Pada penelitian (Arya dkk., 2018) mengenai Sistem Monitoring dan Klasifikasi Kualitas Udara dirancang sebuah pengaplikasian konsep *wireless sensor network* (WSN) untuk pemantauan kualitas udara dengan pemasangan lebih dari satu perangkat node sensor pada lokasi tertentu dan satu perangkat yang bertindak untuk mengumpulkan data dari node sensor lalu mengirimkannya ke server. Penelitian yang dilakukan oleh (Widodo dkk., 2017) mengenai Monitoring Kadar Udara Bersih dan Gas Berbahaya telah membuktikan bahwa tegangan yang didapat dari hasil pengukuran dipengaruhi oleh jumlah kadar gas berbahaya. Semakin tinggi kadar gas maka semakin tinggi pula tegangan yang diperoleh masing-masing sensor. Sehingga penelitian mengenai monitoring kadar gas berbahaya dapat berdasarkan nilai tegangan yang didapat dari masukan sensor. Pada penelitian (Virdaus dan Ihsanto, 2021) dengan judul Monitoring Kualitas Udara, yang membahas mengenai pembuatan sebuah alat yang dapat memberikan

informasi keadaan udara pada lingkungan setiap waktu. Alat tersebut berbasis mikrokontroler yang disusun dengan sensor MQ-7 dan sensor MQ-135 sebagai sensor pendeteksi gas karbon monoksida serta untuk menentukan keadaan udara dalam ruangan gudang apakah berbahaya dan beracun. Serta pada penelitian (Shruthi dkk., 2022) mengenai Sistem Monitoring Udara Sehat yang membahas mengenai kualitas udara yang baik bagi tubuh menggunakan sensor MQ serta mikrokontroler Arduino Mega 2560. Namun dari sistem-sistem tersebut masih memiliki beberapa kelemahan dikarenakan display dari sistem tersebut berupa aplikasi android yang tak semua orang Indonesia paham cara menggunakannya, juga beberapa sistem yang telah dibuat hanya dapat mendeteksi satu atau dua polutan gas saja. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan untuk membuat sebuah sistem monitoring kadar pencemaran udara yang dapat mendeteksi lebih banyak gas, yang menjadi polutan berbahaya bagi makhluk hidup seperti gas CO, CO<sub>2</sub>, Hidrogen (H<sub>2</sub>) dan Amonia (NH<sub>3</sub>).

Pada penelitian ini akan menggunakan masukan dari sensor MQ-2 dan MQ-135 kemudian akan diproses oleh mikrokontroler nodeMCU ESP32 dengan mengubah tegangan menjadi nilai kadar gas tersebut yang selanjutnya akan ditampilkan melalui LED display P10 sebagai keluaran dari sensor. Sehingga dapat memberikan informasi terkait kualitas udara, terutama di sekitar Fakultas Matematika dan Ilmu Pengatauan Alam, Universtas Lampung agar dapat meminimalisir pencemaran udara yang terjadi di lingkungan tersebut.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang tersebut maka dapat diuraikan rumusan masalah yang muncul adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana cara merancang sebuah alat ukur kualitas udara menggunakan sensor gas MQ-2 dan MQ-135 dengan display P10?.
2. Bagaimana perbandingan data yang diperoleh dari alat ukur dengan data yang didapat melalui alat standar pengukur gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> yang telah ada?.

## **1.3 Tujuan**

Tujuan dilakukannya penelitian ini, sebagai berikut.

1. Membuat alat ukur kualitas udara menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-135 dengan display P10 yang digunakan sebagai monitoring kualitas udara.
2. Menganalisis perbandingan data yang didapat melalui alat yang dibuat dan data yang didapat melalui alat standar pengukur yang telah ada.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah dalam penelitian ini, sebagai berikut:

1. Prototipe alat yang dibuat menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-135.
2. Mikrokontroler yang digunakan adalah nodeMCU ESP32.
3. Gas yang dideteksi adalah CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, dan NH<sub>3</sub>
4. Alat ukur tersebut memanfaatkan modul P10 sebagai display dari sensor yang digunakan.
5. Variasi analisis data yang diamati yaitu mulai dari pukul sembilan pagi hingga pukul empat sore.

6. Analisa pengujian alat serta perbandingan dengan data yang didapat melalui alat standar yang telah ada dilakukan di Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

### **1.5 Manfaat**

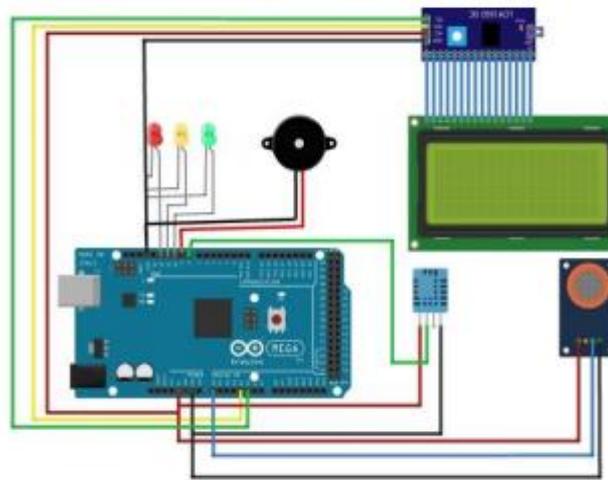
Adapun manfaat dilakukannya penelitian ini adalah teralisasinya alat ukur kualitas udara yang dapat dimanfaatkan sebagai media informasi untuk pemantau kandungan udara yang ada di sekitar FMIPA UNILA.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Kualitas udara di suatu wilayah penting untuk diketahui sebagai pamantau pencemaran udara yang ada di daerah tertentu, untuk itu perlu dibangun suatu sistem yang dapat memonitor kualitas udara. Pada penelitian Handayani dkk. (2020) telah bangun suatu sistem monitoring yang dapat menganalisis kualitas udara menggunakan *wireless sensor network* (WSN). WSN terdiri dari tiga komponen utama yakni target, node sensor, serta *base station*. WSN merupakan jaringan nirkabel yang terdiri dari *autonomus device* yang mana di dalamnya terpasang sensor secara terpadu dan membaca kondisi fisik yang terjadi di lingkungan. Setiap node sensor yang terpasang di beberapa tempat akan mengirimkan data secara berkala kemudian data tersebut akan diteruskan serta disimpan ke *personal computer* (PC), setelah itu data yang diterima akan diproses sampai menjadi informasi yang dapat dimanfaatkan oleh *user* ataupun masyarakat umum. Tugas yang dilakukan oleh WSN secara *real time* dapat pula diterapkan dalam kehidupan nyata seperti contohnya pada transportasi, otomatisasi pabrik, tanggap bencana, komunikasi bidang militer sebagai pengawasan medan perang, aplikasi kesehatan, pelacakan target, pemantau lingkungan, pemantauan habitat dan lain-lain (Handayani dkk., 2020).

Polusi yang terjadi akibat pembakaran yang tidak sempurna misalkan dari mesin kendaraan ataupun proses industri menghasilkan beberapa gas yang tidak baik bagi kesehatan. Senyawa gas yang ada di udara dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia apabila kadarnya melampaui batas. Penting kiranya dilakukan penelitian lebih lanjut dengan tujuan untuk meningkatkan kesadaran mengenai pentingnya kualitas udara sehingga masyarakat dapat meminimalisir resiko dari menghirup udara yang telah terkontaminasi dan berbahaya. Pada penelitian Husni dkk. (2020) telah direalisasikan sebuah robot sampah yang tidak hanya berfungsi sebagai tempat pembuangan sampah, namun dapat juga sebagai alat monitoring kualitas udara, berikut merupakan rangkaian komponen yang digunakan seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1.** Komponen alat (Husni dkk., 2020).

Pada penelitian ini menggunakan sensor MQ-135 sebagai pendeteksi kualitas udara, sensor DHT22 sebagai pendeteksi suhu dan kelembaban serta LED sebagai lampu peringatan mengenai kualitas udara. Jika LED merah menyala, maka *buzzer* secara otomatis berbunyi yang menandakan bahwa daerah tersebut telah tercemari udara yang melebihi ambang batas yang telah disesuaikan sebelumnya. Sistem

monitoring tersebut dirancang juga dengan sistem komunikasi dari jarak jauh dengan pemanfaatan aplikasi *Blynk*. Hasil dari penelitian ini menampilkan tiga kondisi kualitas udara di daerah sekitar percobaan sensor yakni kondisi baik, sedang serta buruk melalui LCD.

Indonesia yang termasuk salah satu negara yang bergerak di bidang industri, memberikan dampak pada lingkungan hidup termasuk dalam kualitas udara. Polusi udara yang dihasilkan oleh cerobong asap dari kawasan industri tidak dapat diproses dengan baik, oleh karena itu polusi tersebut akan dapat berdampak buruk bagi kesehatan manusia. Pada penelitian Arya dkk. (2018) telah diaplikasikan sebuah alat dengan konsep *wireless* sebagai pemantau kualitas udara dengan pemasangan node sensor lebih dari satu pada lokasi tertentu serta perangkat yang bertindak sebagai pengumpul data dari masing-masing node sensor yang kemudian akan dikirimkan ke server.

Peningkatan jumlah dari polusi udara dapat menyebabkan pemanasan global namun tidak hanya itu, adapun gas yang dihasilkan seperti gas CO, NO dsb dapat memberikan dampak bagi kesehatan manusia sampai menyebabkan kematian. Sehingga, pada penelitian Maharani dan Kholis (2020) telah direalisasikan sebuah sistem monitoring kualitas udara. Sistem ini menggunakan sensor gas TGS 2600, MQ-7, dan MQ-9, sebagai sensor yang mengukur kadar emisi gas karbon monoksida dan sensor TGS 2601 dan MQ-2 sebagai pengukur kadar emisi gas HC terakhir TGS 2201 sebagai pengukur kadar NO<sub>2</sub>. Adapun hasil presentase nilai ralat penelitian dan perbandingannya dengan penelitian sebelumnya ditunjukkan oleh **Gambar 2.2.**



**Gambar 2.2.** Grafik perbandingan nilai ralat penelitian mengenai gas CO (Maharani dan Kholis, 2020).

Pada penelitiannya mereka membandingkan hasil yang di dapat oleh prototipe dengan nilai hasil pengukuran standar alat yang telah ada juga membandingkannya dengan hasil penelitian sebelumnya. Hasil pengukuran kedua alat tersebut akan dibandingkan dengan persentase nilai ralat. Persentase nilai ralat di pengukuran emisi gas CO paling rendah ada pada sensor MQ-7 dengan nilainya sebesar 2,92% untuk persentase nilai ralat paling tinggi ada pada sensor MQ-9 dengan nilai sebesar 29,65%. Pengukuran HC persentase nilai ralat paling rendah ada pada sensor TGS 2201 yakni sebesar 6,88% sedangkan persentase ralat paling tinggi ada pada sensor MQ-2 yaitu sebesar 38,61%. Pengkajian persentase nilai ralat terendah pada tiap sensor gas akan dijadikan acuan untuk merancang prototipe sehingga dapat diproduksi secara masal. Aktivitas manusia yang menyebabkan masalah udara dan lingkungan tercemari oleh polusi udara salah satunya adalah pembakaran yang menimbulkan asap polusi udara.

Pada penelitian Rachman dkk. (2021) telah direalisasikan rancang bangun sistem sebagai pendeteksi kualitas udara dengan menggunakan nodeMCU sebagai mikrokontroler, sensor MQ-2, DHT 11, *buzzer* serta LED sebagai pemberi tanda jika telah terjadi pencemaran udara. Pada penelitian ini juga ditambahkan monitoring secara online atau *mobile* yang berbasis *web*. Pada penelitiannya Rachman melakukan deteksi gas asap, CO serta gas LPG dengan tambahan suhu dan kelembaban agar mempermudah monitoring kualitas udara. Adapun pada penelitian Putri dkk. (2020) juga telah dirancang sebuah *web* yang dapat berfungsi sebagai monitoring serta media yang menginformasikan kualitas udara.

Udara yang merupakan salah satu elemen penunjang kehidupan di muka bumi memiliki peran penting bagi pertahanan hidup manusia, hewan maupun tumbuhan. Namun, kualitas udara yang ada dapat terkontaminasi oleh pengotor. Karbon dioksida adalah salah satu kontaminan, zat ini memiliki sifat yang tidak berbau, tidak berasa serta tidak berwarna. Hal tersebut yang sering membuat makhluk hidup tidak menyadari telah menghirup udara berbahaya yang telah terkontaminasi, akibatnya bagi kesehatan sangatlah fatal yakni kematian. Pada penelitian Novelan (2020) telah dirancang sebuah alat untuk memonitoring kualitas udara dengan memanfaatkan kecanggihan serta kemajuan ilmu pengetahuan dan teknologi, alat tersebut dapat dipantau melalui *smartphone*. Tampilan alat yang dirancang seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.3.**Tampilan monitoring kualitas udara (Novelan, 2020).

Penelitian ini menggunakan mikrokontroler sebagai pusat unit kontrol serta menghubungkannya dengan komunikasi *bluetooth*, adapun sensor gas MQ-135 yang dimanfaatkan sebagai sensor pengukur karbon dioksida, dan sensor LM35 yang digunakan sebagai pengukur suhu. Kemudian hasil dari pembacaan kedua sensor ini nantinya akan diteruskan ke mikrokontroler Arduino Uno untuk mengirimkan informasi terkait kualitas udara secara berkala atau *realtime* ke *smartphone*.

Penelitian yang hampir sama dilakukan oleh Akbar (2021) pada penelitiannya juga memanfaatkan *smartphone* dengan aplikasi *Blynk*. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-135 sebagai sensor pendeteksi gas *ammonia*, *bensol*, *alcohol*, CO<sub>2</sub>, asap dsb. Setelah sensor membaca kadar gas yang ada maka mikrokontroler akan mengolah data kemudian akan ditampilkan melalui *LCD* 16x2 selain itu juga dapat ditampilkan melalui *smartphone* dengan pemanfaatan aplikasi *blynk* yang dapat

diunduh dengan mudah di *playstore* pada penelitian yang telah dilakukan tersebut didapatkan hasil kualitas udara di tempat pengujian yang relatif aman.

Sepeda motor adalah kendaraan terbanyak yang mendominasi di jalan-jalan raya. Pengendara motor lebih mudah terkena paparan polusi udara secara langsung dibandingkan dengan pengendara bermotor lainnya seperti mobil maupun angkutan umum terutama saat terjadi kemacetan lalu lintas. Meski demikian masih banyak pengendara yang tetap tidak melindungi diri dengan pelindung seperti masker ataupun helm yang dapat membantu menyaring polusi udara agar tidak terkontaminasi dengan emisi gas kendaraan yang tidak baik bagi kesehatan. Pada penelitian Hariyanto dkk. (2017) telah direalisasikan sebuah prototipe helm yang dapat mengukur kualitas udara yang juga dilengkapi dengan keluaran berupa suara sebagai pengingat, diharapkan dengan penelitian tersebut masyarakat dapat lebih sadar akan bahaya dari emisi gas hasil pembakaran yang dapat mengganggu kesehatan manusia bahkan dapat menyebabkan kematian. Hasil penelitian tersebut akan berguna bagi pengendara sebab akan memberikan peringatan secara *real time*. Penelitian tersebut melakukan pengujian dan penganalisisan terhadap 50 sampel dengan mengobservasi secara langsung di lapangan sehingga didapatkan tingkat akurasi sistem yang telah dipasang pada helm tersebut.

Penelitian Windarto dkk. (2016) juga dilakukan sebagai pencegahan hal buruk yang mungkin terjadi dalam kehidupan. Jika Hariyanto dkk. (2017) melakukan pencegahan dari bahaya emisi gas kendaraan di jalan, maka pada penelitian Windarto dilakukan pencegahan kebakaran menggunakan sensor DHT11 dan sensor gas MQ-2. Pada penelitiannya Windarto menggunakan Arduino Uno sebagai

mikrokontroler, sensor DHT11 sebagai pemantau suhu serta sensor MQ-2 sebagai pemantau asap. Sistem yang telah diciptakan tersebut tak hanya mampu mendeteksi suhu dan asap yang melebihi batas normal yang telah ditentukan, namun juga dapat mencegah jika terjadi hubungan arus pendek dari listrik dan kebakaran, dikarenakan sistem ini dilengkapi dengan peringatan suara dengan pemanfaatan *buzzer* dan pengendali listrik melalui *relay*. Windarto pada penelitiannya menggunakan *web* sebagai media pengumpulan data untuk mempermudah pengguna dalam pemantauan.

Pada penelitian Pratama dan Setiawan (2018) perangkat IoT yang bersifat *open source* menggunakan module NodeMCU 8266 serta sensor MQ-135 berhasil dibuat. Prototipe tersebut digunakan sebagai monitoring kualitas udara. Penelitian tersebut berhasil memonitoring kualitas udara di area yang telah ditentukan juga berhasil membuat peramalan dengan memanfaatkan data yang telah diperoleh sebelumnya sebagai antisipasi jika terjadi pencemaran yang membahayakan. Hal yang sama juga telah dilakukan oleh Widyadara dan Sari (2021) pada penelitiannya mereka melakukan pemantauan terhadap kualitas udara dengan pemanfaatan modul sensor MQ-135 sebagai pendeteksi kadar gas karbon monoksida yang berbahaya bagi kesehatan, karena dapat mengganggu pengikatan oksigen dalam darah sehingga mengganggu pernafasan serta NodeMCU sebagai mikrokontroler yang akan mengatur proses distribusi data sehingga dapat ditampilkan pada aplikasi. Penelitian tersebut menggunakan aplikasi *android Blynk* dan *Thingspeak* sebagai aplikasi IoT yang dapat mempermudah dalam pengontrolan kualitas udara.

## 2.2 Teori Dasar

### 2.2.1 Sistem Monitoring

Monitoring adalah suatu kegiatan analisis dan pengumpulan data dengan indikator yang tersusun secara sistematis dan terus menerus (kontinu) mengenai suatu kegiatan atau program agar dapat melakukan koreksi dan tindakan selanjutnya (Rahayu dkk., 2014).

Dalam menjalankan fungsinya, monitoring memiliki tujuan untuk mengkaji suatu kegiatan yang sedang atau telah dilaksanakan, mengidentifikasi suatu masalah yang timbul, melakukan penilaian mengenai pola kerja yang digunakan, mengetahui hubungan antara kegiatan dan tujuannya sebagai tolak ukur kemajuan yang diperoleh dan menyelesaikan suatu kegiatan yang bersesuaian dengan tujuan awal. Memantau kinerja sistem yang digunakan terhadap sensor-sensor merupakan tujuan dari perancangan sistem monitoring (Pujiana dkk., 2017).

Sistem monitoring merupakan suatu proses untuk mengumpulkan data dari berbagai sumber daya. Biasanya data yang dikumpulkan merupakan data yang *realtime*. Secara umum tujuan monitoring adalah untuk mendapatkan data-data atau pandangan agar diperoleh umpan balik bagi kebutuhan tertentu. Secara garis besar tahapan dalam sebuah sistem monitoring terbagi ke dalam tiga proses besar yaitu pengumpulan data monitoring, penganalisisan data monitoring serta proses penampilan data hasil monitoring. Monitoring yang masih bersifat konvensional memiliki kelemahan antara lain data hasil monitoring tidak akurat, membutuhkan waktu yang lama untuk memonitoring suatu keadaan serta membutuhkan aktifitas

yang lebih banyak dalam pengumpulan data hasil monitoring yang diinginkan (Simbar dan Syahrin, 2016).

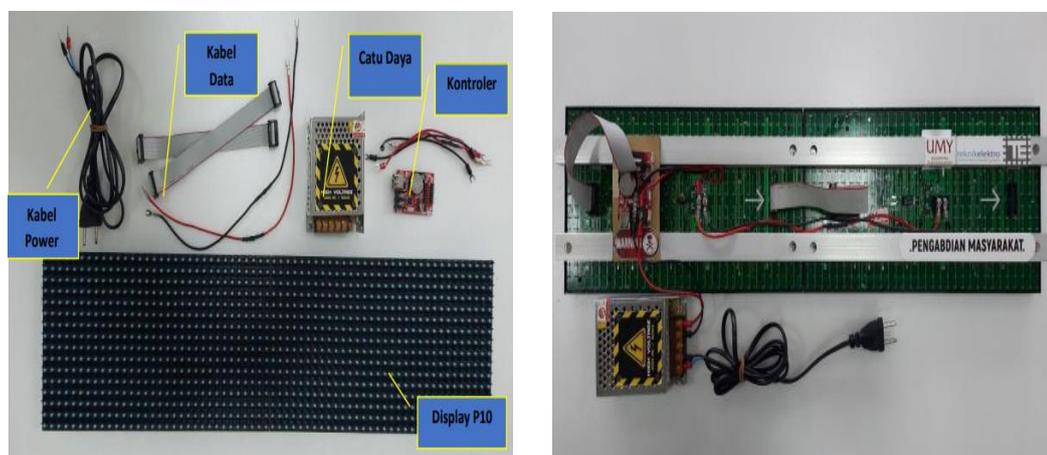
### **2.2.2 Pengantar *Internet of Things* (IoT)**

IoT merupakan sebuah jaringan internet yang dapat menyediakan, mengolah dan mentransfer informasi secara digital yang diperoleh dari sebuah sensor. Sensor yang ada dalam sebuah jaringan IoT berfungsi sebagai pendeteksi dan pengidentifikasi parameter-parameter sebuah sistem melalui jaringan komunikasi kabel atau nirkabel sehingga dapat memperoleh data yang akurat dan proses kontrol secara *real time* (Hidayatullah, 2017). IoT menjadi sebuah istilah yang muncul dengan pengertian sebuah akses perangkat elektronik melalui media internet. Akses perangkat tersebut terjadi akibat hubungan manusia dengan perangkat atau perangkat dengan perangkat dengan memanfaatkan jaringan internet. IoT dimanfaatkan sebagai media pengembangan kecerdasan akses dalam dunia industri, rumah tangga dan beberapa sektor yang sangat luas dan beragam contohnya sektor lingkungan, sektor rumah sakit, sektor keamanan, sektor umum dan sektor energi serta transportasi. IoT dapat dikembangkan dengan media perangkat elektronika seperti Arduino untuk keperluan yang spesifik. IoT juga dapat dikembangkan melalui aplikasi terpadu dengan sistem operasi android (Wasista dkk., 2019).

### **2.2.3 Display p10**

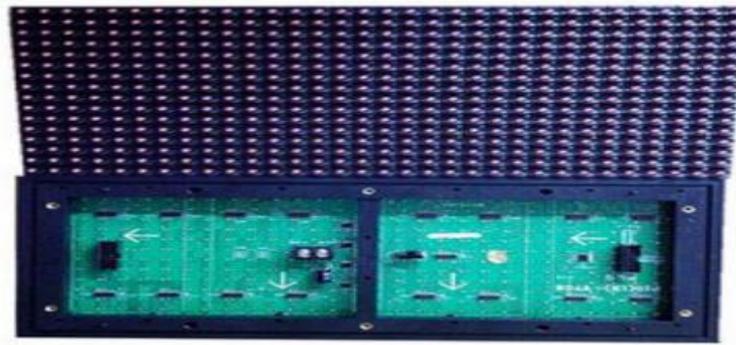
*Dot Matrix Display P10* merupakan kumpulan beberapa *light emitting diode* (LED) yang memiliki jarak tertentu dimana mampu menampilkan karakter huruf, angka maupun gambar. Modul *running text P10* merupakan salah satu jenis modul *display*

yang terdiri atas 16 baris serta 32 kolom LED yang mana tersusun secara matriks dengan kerapatan mencapai 10 mm. LED P10 telah dilengkapi IC 74HC595 yang memiliki fungsi sebagai digital *shift register* yang berarti bahwa untuk mengendalikannya hanya cukup menggunakan komunikasi data serial *serial peripheral interface* (Hamdani dkk., 2020). *System display matrix p10* saat ini sangat populer untuk dimanfaatkan sebagai penampil iklan berupa *running text*, pengumuman ataupun juga penunjuk waktu. dikarenakan sifatnya yang informatif atau mampu menampilkan banyak karakter angka atau huruf serta dinamis, *system display matrix p10* saat ini lebih disukai dibandingkan dengan alat penampil berbentuk *neon box*. Permintaan untuk *system display matrix p10* sangat besar sebab banyak usaha-usaha seperti pertokoan beralih ke *display matrix p10* untuk menginformasikan produknya. Adapun komponen dan modul dari P10 seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4.** (Wiyagi dkk., 2020) .



(a)

(b)



(c)

**Gambar 2. 4.** (a-b) Komponen P10 (Wiyagi dkk., 2020) dan (c) Modul P10 (Hamdani dkk., 2020).

#### 2.2.4 Gas Polutan

##### a. Gas Karbon monoksida

Karbon monoksida merupakan gas yang memiliki sifat membunuh makhluk hidup termasuk untuk manusia. Gas CO yang ada di lingkungan banyak berasal dari pembakaran fosil yakni udara berupa gas buangan kendaraan transportasi darat. Selain itu, Gas CO dapat juga dihasilkan dari proses industri. Zat yang terkandung pada gas CO akan mengganggu pengikatan Oksigen di darah dikarenakan CO lebih mudah terikat di darah dibandingkan dengan Oksigen ataupun gas-gas lainnya (kevin, 2019). Batas pemaparan karbon monoksida yang diperbolehkan oleh OSHA (*Occupational Safety and Health Administration*) adalah 35 PPM untuk waktu 8 jam/hari kerja. Kadar yang dianggap langsung berbahaya terhadap kehidupan atau kesehatan adalah 1.500 PPM (0,15%). Paparan 1.000 PPM (0,1%) selama beberapa menit dapat menyebabkan 50% kejenuhan dari karboksihemoglobin (COHb) dan dapat berakibat fatal (Rivanda, 2015). Pada kasus darah yang telah tercemar karbon monoksida dalam kadar antara 70% hingga 80% dapat berakibat pada kematian.

Ada banyak kasus mengenai keracunan gas karbon monoksida namun yang paling sering terjadi pada bayi, anak-anak, perokok, orang dengan masalah kardiovaskular, serta petugas pemadam kebakaran dan pengecat yang menggunakan cat dengan kandungan metil klorida hal ini dikarenakan asapnya yang mudah diserap melalui paru-paru sehingga dapat masuk ke peredaran darah (Zid dan Hardi, 2019).

#### **b. Gas Karbon dioksida**

Karbon dioksida memiliki rumus kimia  $\text{CO}_2$  merupakan senyawa kimia yang terdiri atas dua atom oksigen dengan satu atom karbon. Gas tersebut sebenarnya diperlukan oleh tubuh sebagai pengatur tingkat keasaman darah dan mendukung proses pernapasan namun jika kadarnya melebihi akan menyebabkan keracunan dikarenakan gas tersebut menghalangi pelepasan oksigen dalam tubuh. Zat tersebut berbentuk gas di temperatur serta tekanan standar yang terdapat di atmosfer bumi. Karbon dioksida dihasilkan oleh semua hewan, fungi, serta mikroorganisme melalui proses respirasi yang kemudian digunakan oleh tumbuhan pada proses fotosintesis. Karbon dioksida juga dapat dihasilkan oleh pembakaran fosil. Karbon dioksida anorganik dikeluarkan melalui gunung merapi pada proses *geothermal*. Karbon dioksida memiliki bentuk cair pada tekanan dibawah 5,1 atm, namun langsung berubah menjadi padat pada suhu di bawah  $-78^\circ\text{C}$ . Dalam bentuk padat Karbon dioksida disebut juga dengan es kering (Zid, 2019). Nilai ambang batas  $\text{CO}_2$  yaitu 5.000 ppm yang dapat menyebabkan infeksi saluran pernafasan (Pamungkas, 2015)

### c. Gas Hidrogen

Hidrogen merupakan unsur yang paling melimpah di permukaan bumi. Hidrogen dapat berbahaya karena berpotensi menimbulkan ledakan dan kebakaran, sebab zat ini mengandung api yang tak terlihat oleh mata manusia sehingga pada beberapa kasus menyebabkan kebakaran yang tak terduga. Hidrogen merupakan unsur paling sederhana yang memiliki rumus kimia  $H_2$ . Hidrogen merupakan gas tak berbau, berwarna, dan tak berasa yang hampir tak larut di air dan dikenal sebagai gas teringan. Hidrogen mempunyai titik didih ( $-235\text{ }^\circ\text{C}$ ) dan titik beku ( $-259\text{ }^\circ\text{C}$ ) (Fitri, 2019). Gas hidrogen sangat mudah terbakar, ketika gas  $H_2$  di udara bebas bercampur dengan gas oksigen di udara maka hidrogen akan meledak ketika disulut api atau akan meledak ketika pada temperatur  $560\text{ }^\circ\text{C}$ . Kadar hidrogen pada kondisi udara normal sebesar 2.288 ppm (Sandi dkk., 2018).

### d. Gas Amonia

Gas Amonia merupakan senyawa yang memiliki sifat nonkarsinogen atau tidak menimbulkan efek kanker, gas ini merupakan gas yang tidak memiliki warna dan berbau tajam. Amonia dapat mengiritasi jalur napas dan menyebabkan batuk, juga iritasi mata dan kulit jika dalam bentuk cairan dan terpapar secara langsung (dr. citra, 2021). Nilai normal gas  $NH_3$  adalah 0 - 5 ppm di udara bebas (Pamungkas, 2015). Zat ini merupakan cairan yang mudah larut di dalam air. Amonia yang berionisasi di dalam air akan berubah menjadi ion  $NH_4^+$ . Gas ini disebut sebagai salah satu pencemaran udara di lingkungan terbuka sebab memiliki bau yang tajam. Adapun salah satu cara untuk meminimalisir kadar emisi gas amonia adalah dengan penggunaan enzim protease. Dua puluh studi yang telah dilakukan di Brazil menunjukkan bahwa penggunaan protease dapat menurunkan kadar amonia hingga

25% dari sebelumnya. Penelitian lain menegaskan bahwa seharusnya ada peraturan tegas terkait sanitasi keluaran dari gas yang dikategorikan sebagai polutan udara bebas dan kebijakan kesehatan mengenai keamanan lingkungan terbuka yang aman bagi makhluk hidup terutama kesehatan manusia, amonia dikategorikan sebagai gas buangan yang mengganggu dikarenakan bau yang ditimbulkan oleh gas amonia tersebut sangat tidak sedap (Andarini dkk., 2017).

### **2.2.5. Sensor**

Sensor berasal dari kata bahasa inggris *sense* yakni merasakan atau mengindera merupakan definisi sensor sebagai piranti yang dapat menerima sebuah stimulus serta meresponnya dengan menghasilkan sebuah sinyal listrik. Ilmuan bernama Fraden mendefinisikan rangsangan atau stimulus sebagai kondisi atau kuantitas sifat tertentu yang dapat dirasakan serta diubah menjadi sinyal listrik. Sensor ini terdiri atas tabung alumunium yang dikelilingi silikon dan terdapat elektroda di pusatnya sebagai pemanas, ketika sensor diberi tegangan maka tabung yang bersifat semikonduktor akan menghantarkan panas dan melepas elektron. Ketika gas dideteksi dan mencapai elektroda sensor akan mengeluarkan keluaran berupa tegangan. Tujuan utama dari sebuah sensor yakni untuk merespon sejenis masukan dan mengubah masukan tersebut menjadi sinyal listrik. Keluaran dari sensor dapat berupa beda potensial atau arus. Setiap sensor pada dasarnya memiliki prinsip yang sama yaitu mengubah energi (*energy converter*). Sensor termasuk dalam suatu jenis tranduser yang digunakan sebagai pengubah besaran magnetis, panas, sinar, mekanis dan kimia menjadi arus listrik dan tegangan. Sensor juga sering digunakan sebagai pendeteksi saat melakukan pengendalian dan pengukuran. Kalibrasi sensor

hal yang penting dilakukan untuk mengetahui seberapa besar performa sensor yang telah dirancang (Gessal dkk., 2019).

a. **Sensor MQ-2**

Sensor gas MQ-2 merupakan sensor yang terbuat dari bahan semikonduktor yakni Timah ( $\text{SnO}_2$ ), bahan ini sangat sensitif terhadap gas terutama gas yang mudah terbakar seperti metana ( $\text{CH}_4$ ), LPG, dan jenis gas lainnya seperti CO,  $\text{H}_2$  dan asap. Bahan-bahan tersebut memiliki konduktivitas yang relatif rendah pada udara bersih. Bahan semikonduktor  $\text{SnO}_2$  langsung mengalami perubahan hambatan listriknya ketika berinteraksi dengan senyawa kimia yang dapat berupa gas atau uap senyawa organik atau anorganik. Sensor gas MQ-2 memiliki rangkaian simpel harga yang relatif murah, namun sensitif terhadap gas serta memiliki jangkauan yang luas.

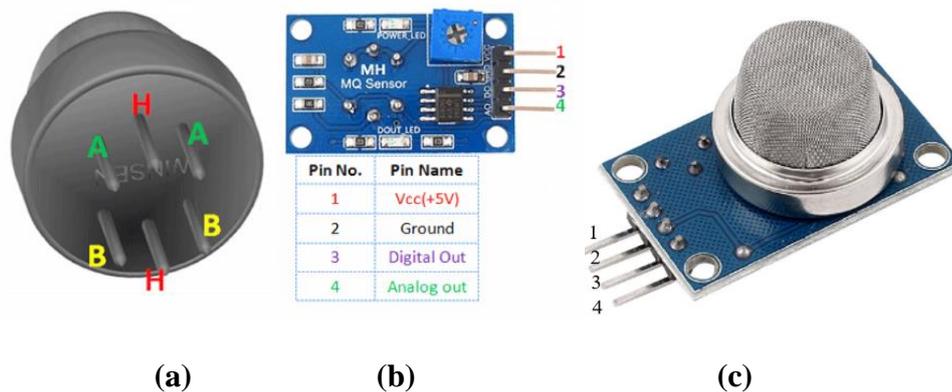
Adapun spesifikasi dari sensor gas MQ-2 yaitu sebagai berikut:

- a. Catu daya pemanas *internal*: 5 VDC
- b. Catu daya: 5 VDC
- c. Pengukuran Hidrogen: 300-5000 ppm
- d. Pengukuran *Methane* ( $\text{CH}_4$ ): 5000-20000 ppm
- e. Pengukuran *Butane* ( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ ): 300-5000 ppm
- f. Pengukuran Karbon monoksida: 200-10000 ppm
- g. Pengukuran LPG dan *Propane* ( $\text{C}_3\text{H}_8$ ): 200-5000 ppm
- h. Pengukuran konsentrasi gas mudah terbakar antara 300-10000 ppm
- i. Keluaran sensor masih berupa tegangan analog
- j. Beroperasi pada suhu  $-200\text{ }^\circ\text{C}$  sampai  $500\text{ }^\circ\text{C}$

k. Arus yang dibutuhkan kurang dari 150 mA pada tegangan 5 V (Hadi dan Adil, 2019).

### b. Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan sensor yang dapat digunakan untuk mendeteksi kualitas udara di dalam ruangan ataupun di luar ruangan. Sensor MQ-135 termasuk transduser sebuah sensor gas. Sensor ini mempunyai nilai hambatan atau resistansi  $R_s$  yang akan berubah apabila terpapar gas dan juga memiliki sebuah pemanas (*heater*) yang digunakan sebagai pembersih ruangan sensor dari kontaminasi udara luar. Adapun tampilan sensor gas ditunjukkan oleh **Gambar 2.5**.

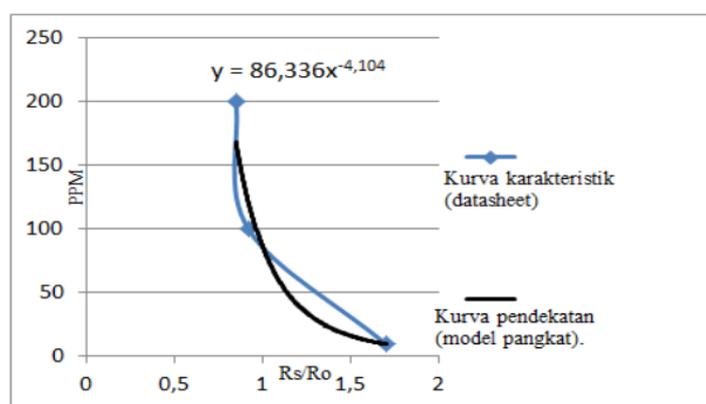


**Gambar 2.5** (a) Tampilan dalam sensor MQ (b) Modul sensor MQ (c) Tampilan luar sensor MQ (Anonim, 2021).

Pada **Gambar 2.5** (a) merupakan tampilan dalam sensor MQ dengan pin H sebagai pin pemanas, pada sensor terdapat dua pin H yang masing-masing pin akan menjadi pin VCC dan pin GND. Pin A merupakan pin yang akan menjadi pin analog sensor. Serta pin B yang dihubungkan dengan ground serta ditambahkan resistor sebesar 2 k $\Omega$  sampai 4.7 k $\Omega$  akan menjadi pin ground namun pin A dan B dapat saling ditukar. (b) merupakan modul sensor yang memudahkan kita dengan penambahan

pin digital pada sensor (c) merupakan tampilan sensor MQ yang telah dilengkapi dengan modul sensor sehingga memudahkan dalam pengaplikasian sensor tersebut. Sensor MQ-135 merupakan sensor yang memonitoring kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia, alkohol/etanol ( $C_2H_5OH$ ), karbon dioksida, benzene ( $C_6H_6$ ), aseton, dan gas belerang/sulfurhidroksida di udara. Range pengukuran gas  $CO_2$  mencapai 3.500 PPM dengan pengukuran di udara bebas berkisar 550-700 PPM sedangkan untuk gas  $NH_3$  mencapai 300 PPM. (Gessal dkk., 2019).

Pada penelitian sebelumnya telah dilakukan karakterisasi sensor, dengan hasil yang didapatkan dari *datasheet* sensor maka didapatkan persamaan dari sensor tersebut seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.6**



**Gambar 2.6** Kurva karakteristik sensor MQ-135 (Subagiyo dkk., 2020).

Terlihat pada kurva, persamaan dari kurva tersebut dijadikan pendekatan persamaan untuk mengubah nilai  $\frac{R_s}{R_o}$  menjadi nilai PPM sehingga persamaan pada kurva nilai X akan menjadi nilai  $\left(\frac{R_s}{R_o}\right)$  seperti pada **Persamaan (2.1)**

$$C_{NO_2} = 86,336 \left(\frac{R_s}{R_o}\right)^{-4,014} \quad (2.1)$$

$C_{NO_2}$  merupakan nilai konsentrasi dari gas dengan satuan PPM,  $R_s$  merupakan nilai resistansi sensor dengan pengukuran kondisi yang berbeda sedangkan  $R_o$  merupakan nilai resistansi sensor pada keadaan udara bersih (6 k $\Omega$ ). Nilai  $R_s$  didapatkan melalui **Persamaan (2.2)**

$$R_s = \left( \frac{V_c}{V_{RL}} \right)^{-1} \cdot R_o \quad (2.2)$$

nilai  $V_c$  merupakan nilai tegangan sensor (5 V),  $V_{RL}$  merupakan nilai tegangan analog keluaran dari modul sensor serta  $R_L$  yang merupakan nilai resistansi keluaran dari modul sensor (10 k $\Omega$ ). Dikarenakan pembacaan tegangan keluaran dari sensor dilakukan melalui ADC yang *internal* dengan mikrokontroler Arduino dengan resolusi 10 bit dan tegangan referensi 5 V maka untuk mendapatkan tegangan keluaran analog sensor  $V_{RL}$  digunakan **Persamaan (2.3)**

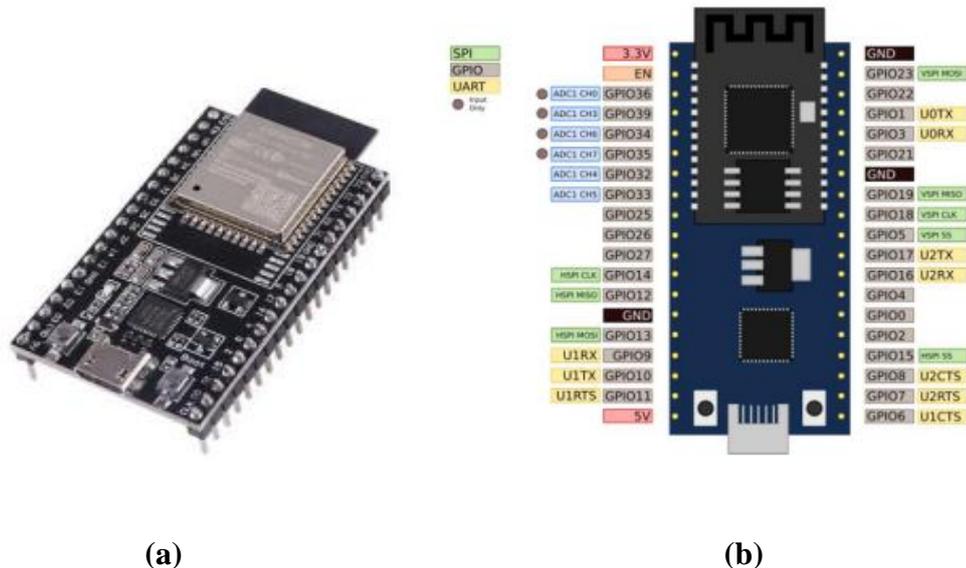
$$V_{RL} = \frac{V}{1023} \times 5 \quad (2.3)$$

nilai  $V$  merupakan nilai data digital hasil pembacaan keluaran dari sensor oleh mikrokontroler melalui ADC *internal* (Subagiyo dkk., 2020).

### 2.2.6 nodeMCU ESP 32

NodeMCU adalah salah satu perangkat yang *open source*. NodeMCU memiliki *board* berukuran sangat kecil yaitu dengan panjang 4,83 cm dan lebar 2,54 cm serta dengan berat 7 gram. Selain itu, NodeMCU memiliki harga yang relatif terjangkau. Namun walaupun dengan ukuran yang kecil dan harga yang terjangkau *board* ini telah dilengkapi dengan fitur *Wi-Fi* serta *firmware* yang bersifat *opensource* (Putra dkk., 2021). Nilai resolusi yang ada pada nodeMCU ESP 32 mencapai 12 bit, yang

mengartikan bahwa nilai pembacaan sensor sebenarnya mencapai dua angka di belakang koma seperti 0,00 dikarenakan  $\frac{5}{4095} = 0,001$ . Adapun modul dan pin outnya seperti yang ditunjukkan oleh **Gambar 2.7**



**Gambar 2.7** (a) Modul nodeMCU 32 (Putra dkk., 2021) dan (b) Pin out nodeMCU ESP32 (Kusumah dan Pradana, 2019).

NodeMCU ESP32 merupakan sistem yang memiliki daya rendah. ESP32 adalah penerus dari ESP8266 yang cukup populer yang digunakan sebagai aplikasi IoT. Pada ESP32 terdapat *Wi-Fi* yang lebih cepat serta GPIO yang lebih banyak, (Sanaris dan Suharjo, 2020).

Pada ESP32 pin yang digunakan dapat diklasifikasikan berdasarkan dengan fungsi pin tersebut, fungsi-fungsi dari pin yang ada pada ESP32 ini antara lain:

**a. Serial Peripheral Interface (SPI)** merupakan standar komunikasi sinkron dari data serial yang diperkenalkan oleh Motorola. SPI merupakan komunikasi yang memungkinkan untuk penggunaan perangkat lebih dari satu karena pendistribusian data dan penyimpanan data dapat dilakukan secara langsung dan

bersamaan, sehingga memungkinkan untuk dilakukan rangkaian *multy* juga terdapat pengaturan pada kecepatan transfer data. Port SPI memiliki empat jalur untuk sinyal yaitu SS, MOSI, MISO, dan SCK.

1. *Slave Select (SS)* yaitu pin yang berguna dalam mengkonfigurasi piranti mikrokontroler dimana berfungsi sebagai *master* atau *slave*. Jika pin SS diberi logika *low* maka piranti SS tersebut dikonfigurasi sebagai *slave*, dan sebaliknya
  2. *Master Out Slave In (MOSI)* yaitu pin ketika piranti tersebut dikonfigurasi sebagai *master*, maka pin MOSI ini berfungsi sebagai keluaran, namun jika piranti sebagai *slave*, maka pin MOSI ini sebagai masukan.
  - c. *Master In Slave Out (MISO)* yaitu pin ketika piranti tersebut dikonfigurasi sebagai *master*, maka pin MISO ini berfungsi sebagai masukan, namun jika piranti sebagai *slave*, maka pin MISO ini sebagai keluaran
  - d. *Serial Clock (SCK)* yaitu sebuah pin ketika piranti dikonfigurasi sebagai *master*, maka pin SCK sebagai keluaran atau pembangkit *clock*, namun jika piranti sebagai *slave*, maka pin SCK berfungsi sebagai penerima *clock* dari suatu *periferal master*.
- b. ***Universal Asynchronous Receiver-Transmitter (UART)***, merupakan sebuah perangkat yang ada di dalam mikrokontroler digunakan sebagai komunikasi data serial. Perangkat keras UART dibagi menjadi tiga bagian besar yakni *receiver*, *transmitter* dan *clock generator*. Blok *transmitter* berfungsi untuk melakukan pengiriman data melalui pin TX. *Receiver* berfungsi untuk melakukan penerimaan data melalui pin RX. Sedangkan *clock generator* digunakan untuk hal yang berhubungan dengan *setting* kecepatan transfer data

- c. *Inter-Integrated Circuit (I2C)*, merupakan protokol *interface* kembangan Philips. Semikonduktor yang memiliki konsep dasar komunikasi dua arah menggunakan dua kabel (Kusumah dan Pradana, 2019).

### 2.2.7 Teori Perhitungan

#### a. Nilai *Error*, Akurasi dan Presisi

Pada penelitian penting dilakukannya perhitungan mengenai nilai *error*, akurasi dan presisi sebuah alat. *Error* merupakan kesalahan yang terjadi pada proses pengukuran, dapat terjadi karena alat, teknik, maupun subjek pengukur. Akurasi merupakan tingkat kedekatan pengukuran kuantitas terhadap nilai sebenarnya. Sedangkan presisi merupakan nilai sejauh mana pengulangan pengukuran dalam kondisi yang tidak berubah mendapatkan nilai yang sama (Yusuf dan Daris, 2018). Perhitungan menjadi penting dilakukan untuk melihat tingkat keberhasilan sebuah penelitian. Data hasil pengukuran dihitung nilai *error*, akurasi serta presisi menggunakan **Persamaan (2.4), (2.5), dan (2.6)**.

$$\%E = \left| \frac{Y - \bar{X}_n}{Y} \right| \times 100\% \quad (2.4)$$

$$\%A = \left( 1 - \left| \frac{Y - \bar{X}_n}{Y} \right| \right) \times 100\% \quad (2.5)$$

$$\%P = \left( 1 - \left| \frac{X - \bar{X}_n}{\bar{X}_n} \right| \right) \times 100\% \quad (2.6)$$

nilai %E merupakan nilai persentase *error*, %A merupakan nilai persentase akurasi, %P merupakan nilai persentase presisi,  $Y$  merupakan nilai referensi,  $X_n$  merupakan nilai hasil pengukuran,  $\bar{X}_n$  merupakan Rata-rata nilai hasil pengukuran (Jones dan Chin, 1991). Pengukuran dalam ilmu dan teknologi sangat sering dilakukan terutama untuk besaran fisis seperti besaran jarak, waktu, massa, kecepatan dan sebagainya. Pengukuran yang dilakukan biasanya diteruskan untuk dimanfaatkan oleh umum agar pengukuran dapat diuji untuk pemanfaatan lebih lanjut terutama dalam skala penelitian. Namun karena banyak faktor yang mempengaruhi, pengukuran terkadang memiliki nilai *error* yang dapat merusak hasil pengukuran. Ketidakpastian nilai pengukuran merupakan salah satu cara untuk memperbesar ketelitian suatu pengukuran, nilai ketidakpastian dapat memberikan nilai toleransi yang penting bagi pengamatan dan analisis perhitungan nilai pengukuran. Nilai ketidakpastian pengukuran dapat dihitung dalam **Persamaan (2.7) dan (2.8)**.

$$\text{Pengukuran tunggal} : \quad 1/2 \times (\text{nst}) \quad (2.7)$$

$$\text{Pengukuran berulang} : \quad \sqrt{\frac{\sum \chi_i - (\sum \bar{\chi})^2}{n(n-1)}} ; \sqrt{\frac{\sum \chi_i^2 - (\sum n \bar{\chi})^2}{n(n-1)}} \quad (2.8)$$

nst sebagai nilai skala terkecil dalam pengukuran (Ravi, 2017).

## b. Perhitungan Nilai PPM

PPM (*parts per million*) merupakan nilai yang mewakili bagian dari bilangan bulat dalam satuan 1/1000000. Konsentrasi untuk uap dan gas umumnya dinyatakan dalam satuan PPM yaitu bagian gas atau uap per sejuta bagian volume udara (Agustin, 2018). Pengukuran nilai PPM dinyatakan dalam **Persamaan (2.9)** dan **Persamaan (2.10)**

$$\text{PPM} = \frac{m \text{ (mg)}}{V \text{ (l)}} \quad (2.9)$$

dengan

$$m = \text{Konsentrasi} \times \text{Volume zat} \quad (2.10)$$

(Agustin dkk., 2018).

Struktur molekul air tersusun atas dua atom hidrogen dan satu atom oksigen (Bintang dkk., 2020). Menurut hukum Avogadro “gas-gas yang volumenya sama, jika diukur pada suhu dan tekanan yang sama, akan memiliki jumlah molekul yang sama pula” sehingga perbandingan volume gas hidrogen, gas oksigen, dan uap air pada reaksi pembentukan uap air = 2 : 1 : 2. Oleh karena itu, molekul gas hidrogen dan molekul gas oksigen harus merupakan molekul dwiatom, sedangkan molekul uap air harus merupakan molekul triatom. Perbandingan volume gas dalam suatu reaksi sesuai dengan koefisien reaksi gas-gas tersebut. Hal ini berarti bahwa, jika volume salah satu gas diketahui, volume gas yang lain dapat ditentukan dengan cara membandingkan koefisien reaksinya.

Pada reaksi pembentukan uap air dinyatakan dalam **Persamaan (2.11)**.



Jika volume gas H<sub>2</sub> yang diukur pada suhu 25°C dan tekanan 1 atm sebanyak 10 L volume gas O<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub>O pada tekanan dan suhu yang sama dapat ditentukan berdasarkan pada **Persamaan (2.12)**.

$$\text{Volume H}_2 : \text{Volume O}_2 = \text{Koefisien H}_2 : \text{Koefisien O}_2 \quad (2.12)$$

(Jisman, 2019).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan April 2022 sampai dengan November 2022. Kegiatan terdiri dari perancangan dan pembuatan alat sistem monitoring, pengujian dan kalibrasi sensor, pembuatan program untuk menampilkan nilai sensor pada modul DMD P10, pengambilan data, dan analisis hasil. Tahap perancangan, pembuatan, pengujian, dan kalibrasi sensor dilaksanakan di ruang Workshop Laboratorium Fisika Dasar, Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung. Pengambilan data dilakukan di lingkungan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Alat yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

**Tabel 3.1** Alat-alat penelitian

NO	Nama	Fungsi
1.	Laptop	Untuk membuat program menggunakan <i>software</i> Arduino IDE
2.	Solder	Untuk menggabungkan komponen
3.	Gunting	Memotong bahan
4.	Kabel USB	Mengunduh program Arduino
5.	Multimeter	Digunakan untuk mengukur besaran elektrik
6.	<i>Glue gun</i>	Untuk merekatkan dua komponen

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3.2** Bahan-bahan penelitian.

NO	Nama	Fungsi
1.	Node MCU ESP32	Sebagai sistem kontrol masukan keluaran (I/O) untuk pembacaan data sensor dan mengatur proses pengiriman dan menerima data
2.	<i>Power supply</i>	Sebagai sumber tegangan
3.	Sensor MQ-2	Untuk mengukur kadar CO dan H <sub>2</sub>
4.	Sensor MQ-135	Untuk mengukur kadar CO <sub>2</sub> dan NH <sub>3</sub>
5.	<i>Protoboard</i>	Sebagai papan rangkaian
6.	<i>Kabel jumper</i>	Untuk menghubungkan dua komponen pada <i>protoboard</i>
7.	<i>Kotak project</i>	Sebagai wadah untuk mikrokontroler, sensor, <i>protoboard</i> dan kabel <i>jumper</i>
8.	Kabel tis	Menyatukan komponen
9.	Timah	Menyatukan komponen logam
10.	Lem tembak	Menyatukan komponen
11.	LED <i>display</i> P10	Untuk menampilkan keluaran sensor
12.	Kabel	Penghubung komponen elektronika
13.	Gas CO	Sampel gas untuk kalibrasi sensor MQ-2
14.	Gas CO <sub>2</sub>	Sampel gas untuk kalibrasi sensor MQ-135
15.	Gas H <sub>2</sub>	Sampel gas untuk kalibrasi sensor MQ-2
16.	Gas NH <sub>3</sub>	Sampel gas untuk kalibrasi sensor MQ-135

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.3**

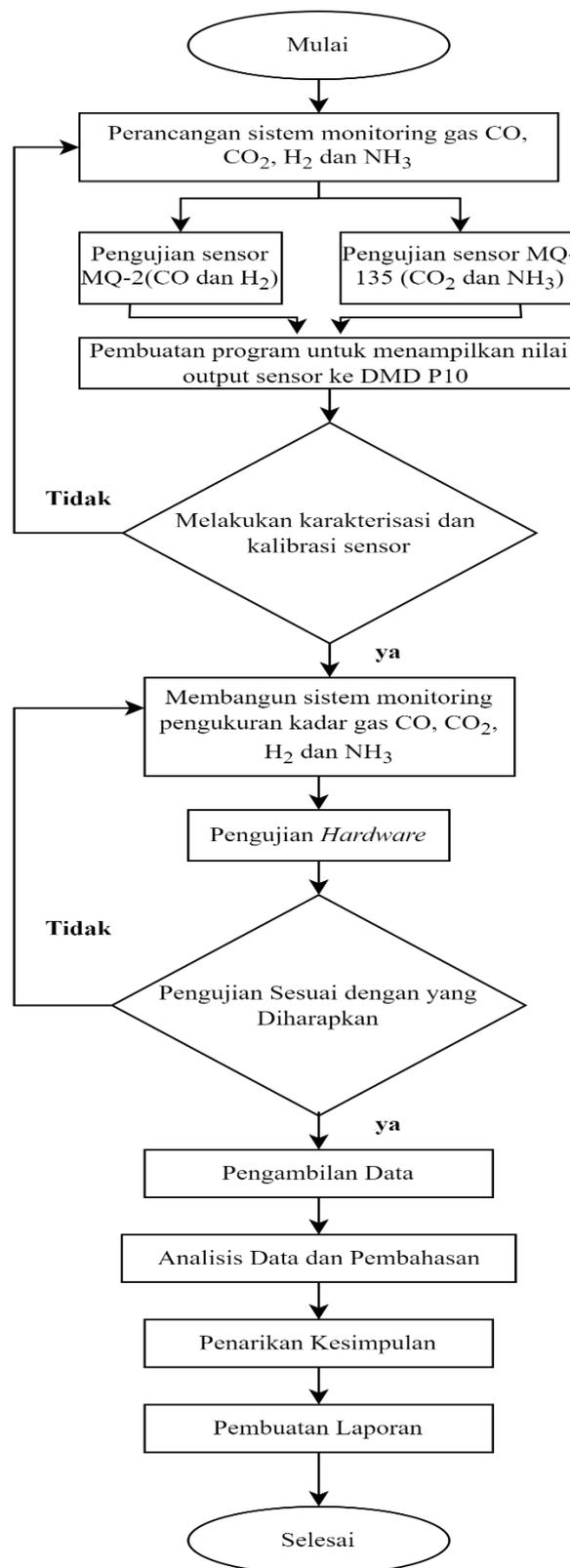
**Tabel 3.3** Perangkat lunak penelitian

NO	Nama	Fungsi
1.	Arduino IDE	Membuat dan mengupload program ke nodeMCU ESP32
2.	Diagram <i>software</i> dan <i>flowchart maker</i>	Membuat <i>flowchart</i>
3.	Adobe AI	Untuk membuat design alat

### 3.3 Prosedur Penelitian

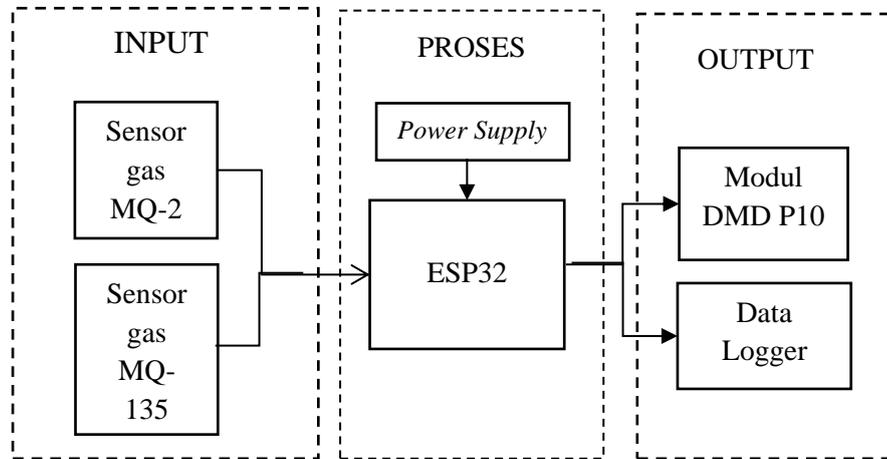
Metode yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa langkah, dimulai dari merancang dan pembuatan alat, melakukan kalibrasi sensor, pembuatan program untuk menampilkan nilai keluaran sensor ke DMD P10 serta pengujian sensor MQ-2 dan sensor MQ-135 secara *realtime* menggunakan mikrokontroler NodeMCU ESP32, terakhir melakukan analisis data. Secara keseluruhan, pembuatan sistem alat monitoring kualitas udara menggunakan sensor MQ-2 (CO dan H<sub>2</sub>) dan sensor MQ-135 (CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>) disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan seperti pada

#### **Gambar 3.1**



**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

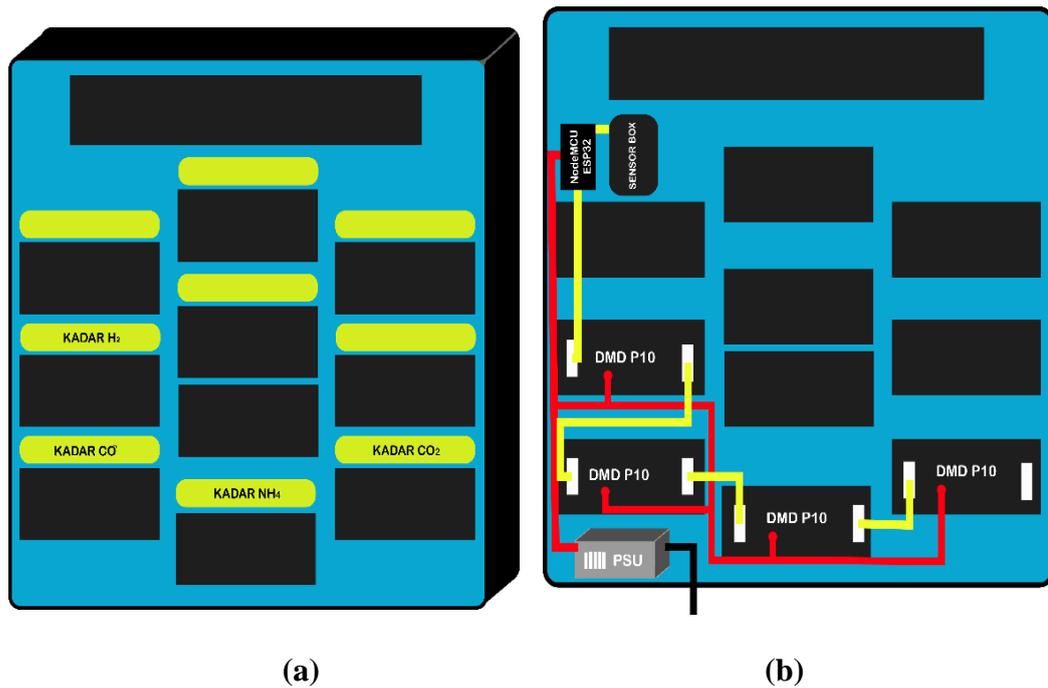
Berikut ini adalah diagram blok rancangan alat monitoring yang digunakan untuk mendeteksi kadar gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> yang diperlihatkan pada **Gambar 3.2**



**Gambar 3.2** Diagram blok sistem monitoring

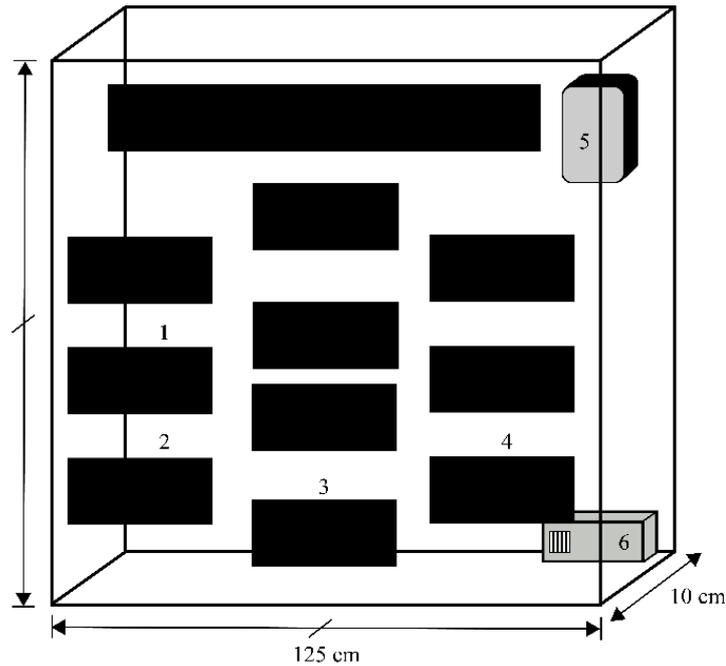
Pada sistem monitoring masukan berupa nilai gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>. Nilai tersebut merupakan hasil dari deteksi sensor MQ-2 dan MQ-135. Sensor akan mengirimkan data berupa data tegangan ke mikrokontroler nodeMCU ESP32 yang kemudian akan dikonversi oleh mikrokontroler melalui program yang telah dibuat. Data yang diterima oleh mikrokontroler akan dikirim ke DMD P10 untuk ditampilkan secara *realtime*. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan dalam pembuatan alat monitoring.

1. Tahap perancangan sistem monitoring diawali dengan membuat skema rangkaian dan desain hardware dari sistem monitoring kadar gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>. Sensor yang digunakan yaitu MQ-2 dan MQ-135. Berikut merupakan tampilan desain sistem monitoring yang digunakan untuk mendeteksi kadar emisi gas diperlihatkan pada **Gambar 3.3**



**Gambar 3.3** Desain alat sistem monitoring (a) Tampak depan (b) tampak belakang.

Sensor MQ-2, sensor MQ-135, dan mikrokontroler diletakkan pada sensor *box*. DMD P10 dihubungkan ke panel lainnya menggunakan kabel data DMD sehingga menjadi multi *display*. DMD P10 yang digunakan sebanyak empat buah, Untuk menampilkan nilai kadar gas dari tiap sensor. NodeMCU ESP32 hanya perlu menghubungkan ke satu DMD P10. Tampilan skematik dari desain alat sistem monitoring ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.

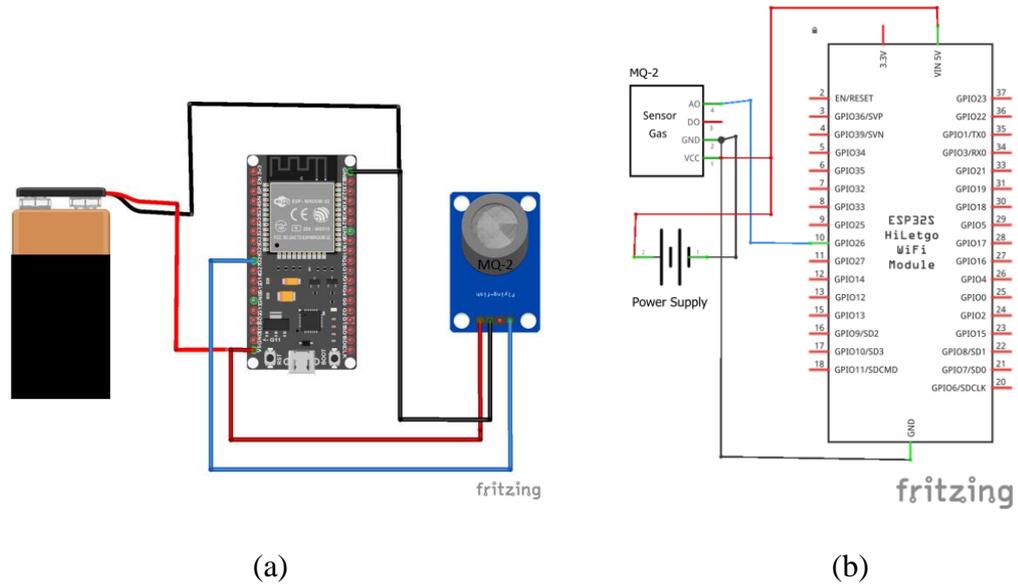


**Gambar 3.4** Desain alat sistem monitoring.

Keterangan mengenai desain alat sistem monitoring pada **Gambar 3.4** adalah sebagai berikut:

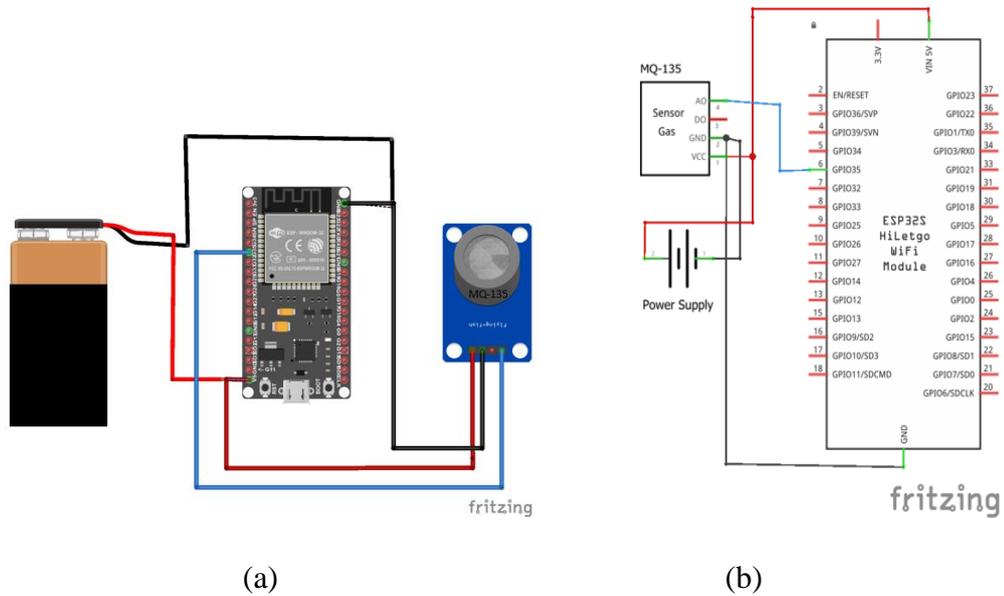
1. Panel DMD P10 menampilkan nilai kadar gas  $H_2$  (PPM).
2. Panel DMD P10 menampilkan nilai kadar gas CO (PPM).
3. Panel DMD P10 menampilkan nilai kadar gas  $NH_3$  (PPM).
4. Panel DMD P10 menampilkan nilai kadar gas  $CO_2$  (PPM).
5. Sensor *Box* yang di dalamnya terdiri dari:
  - a. Mikrokontroler nodeMCU ESP32.
  - b. Sensor gas MQ-2.
  - c. Sensor gas MQ-135.
6. *Power supply*.

Rancangan rangkaian serta skematik sistem monitoring kualitas udara dari masing-masing sensor yang ditunjukkan pada **Gambar 3.5** dan **Gambar 3.6**.



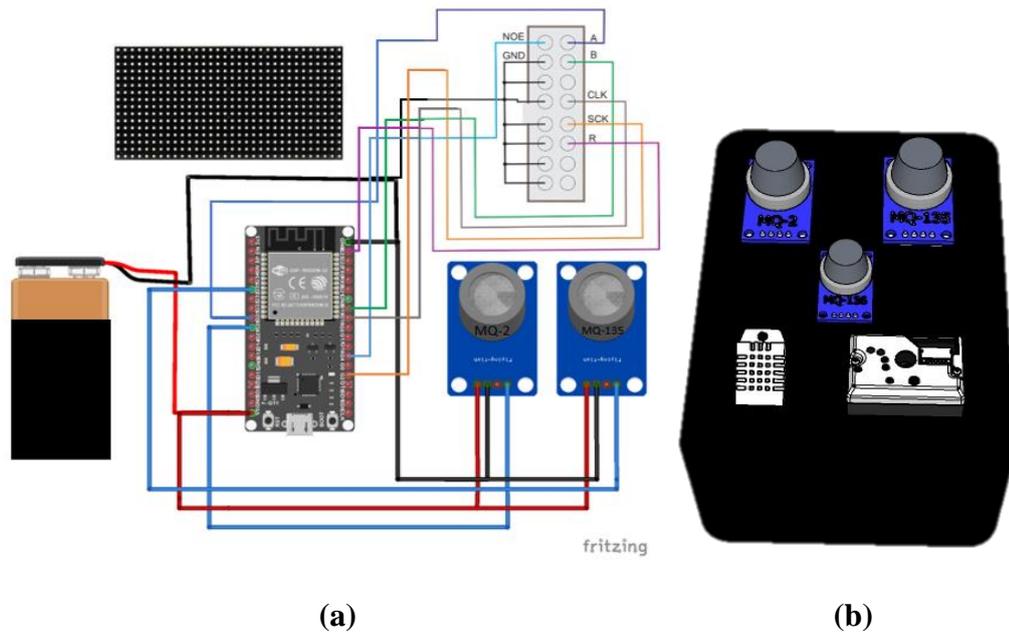
**Gambar 3.5** (a) Rangkaian sensor MQ-2 (b) skematik rangkaian sensor MQ-2

Pada rangkaian **Gambar 3.5** ditampilkan bahwa sensor MQ-2 dihubungkan langsung dengan mikrokontroler node MCU ESP-32, dengan tegangan yang digunakan sebesar 5 V kemudian pin ground sensor dihubungkan dengan pin ground mikrokontroler dan yang terakhir pin data analog sensor dihubungkan dengan pin GPIO-26 pada mikrokontroler. Setelah terhubung kemudian dihubungkan dengan *power supply* yang terhubung pula dengan display LED DMD P10 sebagai keluaran dari sensor.



**Gambar 3.6** (a) Rangkaian sensor MQ-135 (b) skematik rangkaian sensor MQ-135

Pada rangkaian **Gambar 3.6** ditampilkan bahwa sensor MQ-135 dihubungkan langsung dengan mikrokontroler node MCU ESP-32, dengan tegangan yang digunakan sebesar 5 V kemudian pin ground sensor dihubungkan dengan pin ground mikrokontroler dan yang terakhir pin data analog sensor dihubungkan dengan pin GPIO-4 pada mikrokontroler. Setelah terhubung kemudian dihubungkan dengan *power supply* yang terhubung pula dengan display LED DMD P10 sebagai keluaran dari sensor. Rangkaian keseluruhan dari sistem monitoring kualitas udara yang ditunjukkan pada **Gambar 3.7**.



**Gambar 3.7** Rancangan rangkaian sistem monitoring (a) rangkaian dalam (b) tampilan luar

keterangan mengenai *box* sensor sistem monitoring pada **Gambar 3.7** sebagai berikut.

1. Sensor MQ-2 sebagai masukan awal gas CO dan H<sub>2</sub> sedangkan sensor MQ-135 sebagai masukan awal gas CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub> pada sistem monitoring kualitas udara. sensor MQ merupakan sensor SnO<sub>2</sub> dengan konduktifitas rendah pada udara bersih. Jika terdapat kebocoran gas konduktifitas sensor menjadi lebih tinggi, setiap kenaikan konsentrasi gas maka konduktifitas sensor juga naik. sensor ini terdiri dari tabung aluminium yang dikelilingi oleh silikon serta elektroda pada bagian tengah tabung. Ketika terjadi proses pemanasan, kumparan akan dipanaskan sehingga SnO<sub>2</sub> keramik menjadi semikonduktor atau sebagai penghantar, sehingga melepaskan elektron dan ketika gas yang dideteksi sensor mencapai elektroda maka output sensor MQ-2 dan MQ-135 akan menghasilkan tegangan analog.

2. NodeMCU ESP-32 digunakan sebagai mikrokontroler yang akan memproses masukan dari sensor MQ-2 dan MQ-135.
  3. *Power supply* 12 V 5 A digunakan sebagai sumber tegangan pada sistem monitoring kualitas udara.
  4. Modul LED DMD P10 digunakan sebagai display dari keluaran sensor.
2. Tahap kalibrasi dan pengujian sensor, ini bertujuan untuk mengetahui nilai kondisi dan sensitivitas sensor.
- a. Pengujian dan kalibrasi sensor MQ-2 dan MQ-135. Pada tahap ini untuk gas CO dan CO<sub>2</sub> kalibrasi dilakukan dengan membandingkan nilai alat yang direalisasikan dengan nilai alat standar yang telah terkalibrasi.
  - b. Pengujian untuk gas H<sub>2</sub> dilakukan dengan memanaskan volume air tertentu sesuai dalam perhitungan, hingga mendidih (100 °C) untuk menghasilkan uap air. Kemudian ditutup untuk menghindari pelepasan gas dan pencampuran gas lain di udara bebas. Lalu didinginkan hingga mencapai suhu <50 °C agar sensor gas MQ-2 dapat bekerja dengan baik. Pendinginan memakan waktu ±15-20 menit. Setelah pendinginan sensor kemudian didekatkan dengan sampel pengujian. Serta untuk gas NH<sub>3</sub> dilakukan dengan pengambilan cairan NH<sub>3</sub> kemudian diletakkan kedalam wadah lalu didiamkan ±3-5 menit untuk penguapan cairan tersebut. Setelahnya dekatkan sensor MQ-135 untuk membaca kadar gas NH<sub>3</sub> yang ada pada wadah yang telah dihitung volume ruangnya. Pada **Tabel 3.4** dan **Tabel 3.5** dibawah ini merupakan tabel data pengujian dan kalibrasi sensor MQ-2 dan sensor MQ-135.

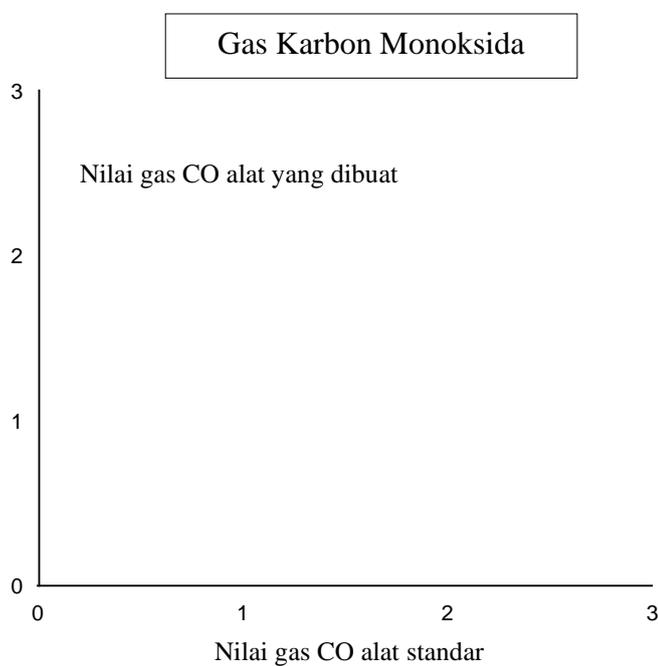
**Tabel 3.4.** Data nilai pengujian sensor MQ-2 dan MQ-135.

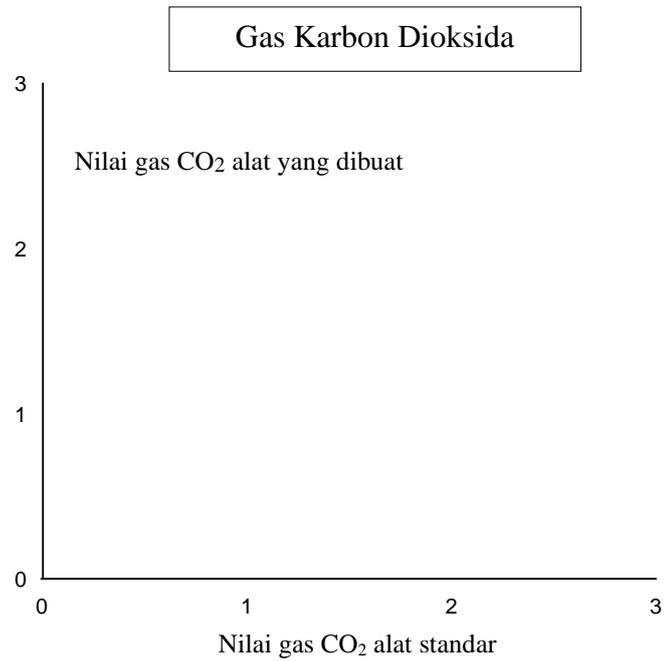
No	Parameter yang diuji	Nilai terukur (PPM)						Ralat (%)
		Alat yang dibuat			Alat standar			
		1	2	3	1	2	3	
1	CO							
2	CO <sub>2</sub>							
3	H <sub>2</sub>							
4	NH <sub>3</sub>							

**Tabel 3.5.** Nilai kalibrasi sensor MQ-2 dan MQ-135.

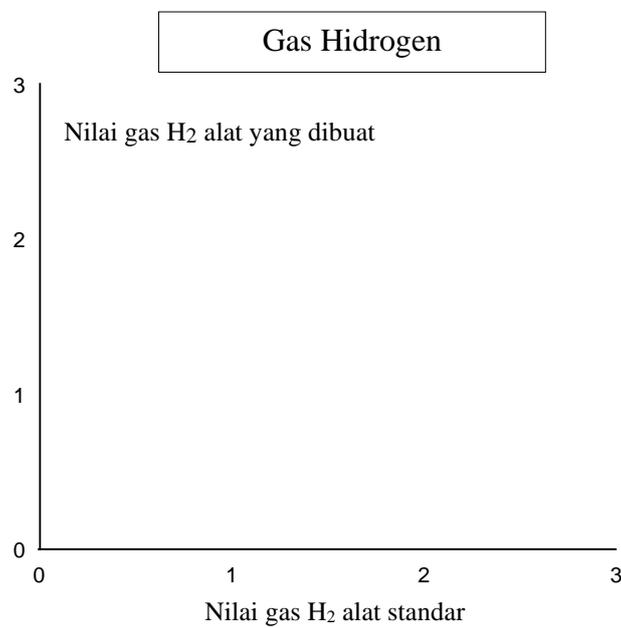
No.	Parameter yang diuji	Akurasi	Presisi	Ralat
1.	CO			
2.	CO <sub>2</sub>			
3.	H <sub>2</sub>			
4.	NH <sub>3</sub>			

Adapun grafik kalibrasi sensor seperti yang di tunjukkan pada **Gambar 3.8** Sampai **Gambar 3.11**.

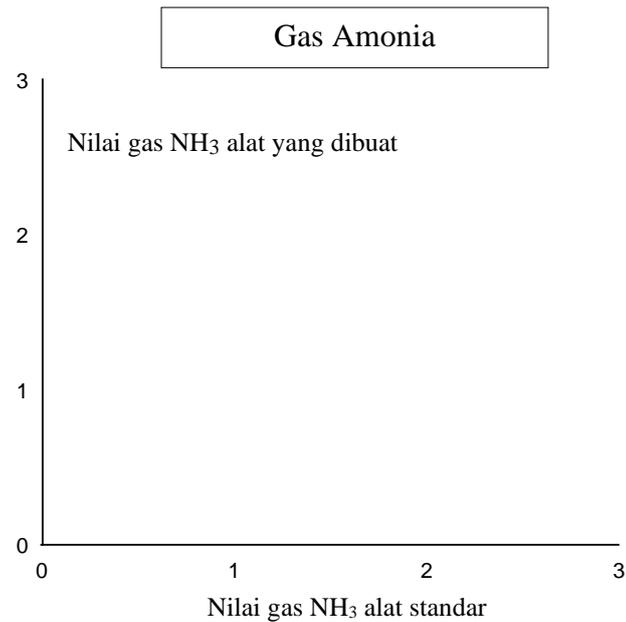
**Gambar 3. 8** Analisis perbandingan kadar CO alat yang dibuat dengan alat standar



**Gambar 3.9** Analisis perbandingan kadar CO<sub>2</sub> alat yang dibuat dengan alat standar

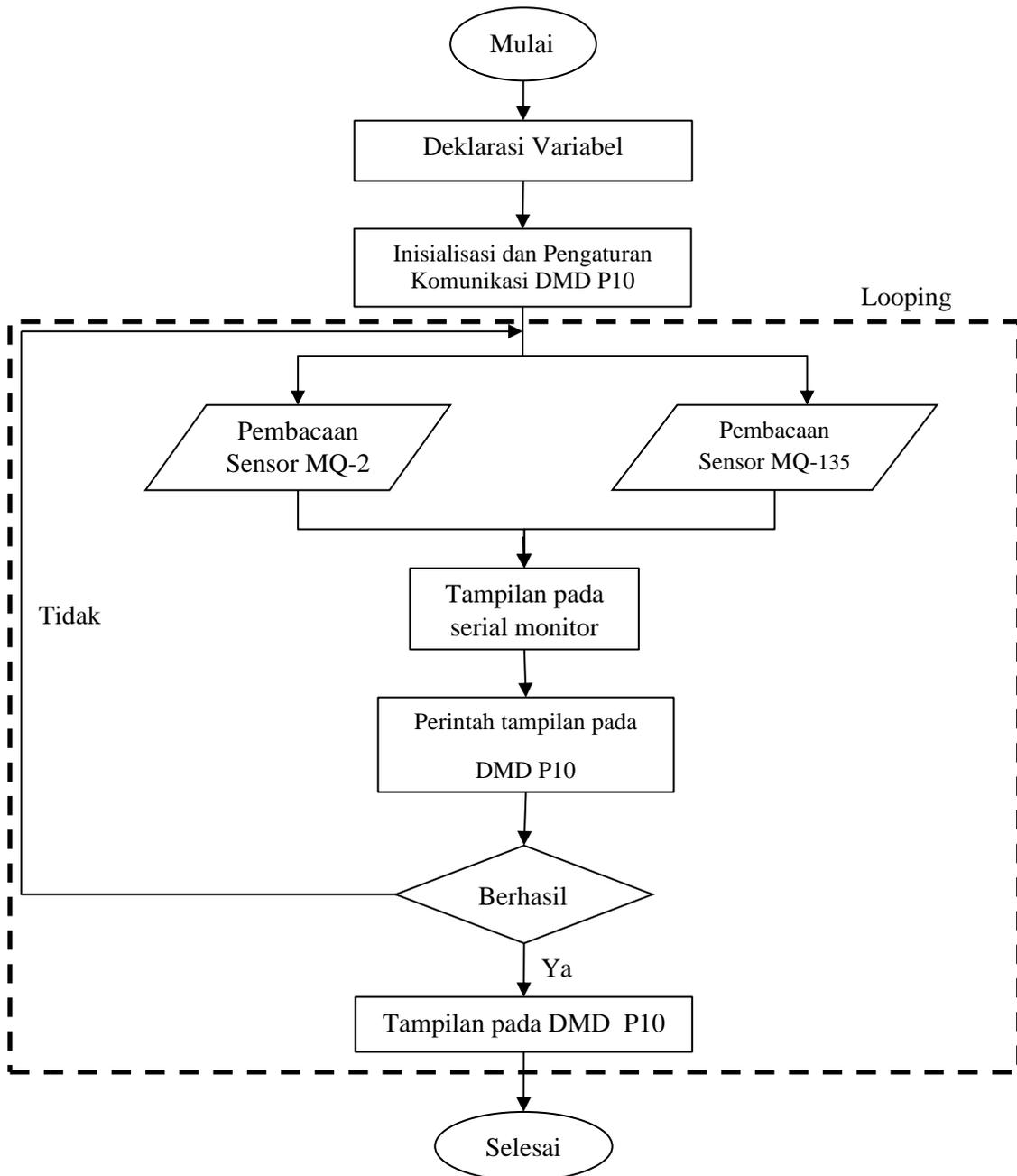


**Gambar 3.10** Analisis perbandingan kadar H<sub>2</sub> alat yang dibuat dengan alat standar



**Gambar 3.11** Analisis perbandingan kadar NH<sub>3</sub> alat yang dibuat dengan alat standar

3. Tahap pemrograman yang bertujuan untuk menampilkan nilai sensor MQ-2 dan MQ-135 yang telah diuji dan dikalibrasi ke dalam DMD P10 menggunakan software Arduino dan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Pembuatan program sistem monitoring kualitas udara menggunakan sensor MQ-2 (CO dan H<sub>2</sub>) dan sensor MQ-135 (CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>) disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan oleh **Gambar 3.12**.



**Gambar 3.12** Diagram alir perancangan *software* sistem monitoring

Pada **Gambar 3.12** diawali dengan mendeklarasikan sensor yang digunakan kemudian mengatur tampilan yang akan tertampil pada DMD P10, lalu mengatur pembacaan berulang yang akan dilakukan oleh sensor.

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1. Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisa data yang telah dilakukan diperoleh beberapa simpulan sebagai berikut:

1. Rancang bangun sistem monitoring kualitas udara menggunakan sensor gas MQ-2 dan MQ-135 dengan display DMD P10 telah mampu memonitoring kadar gas yang ada pada daerah percobaan sensor.
2. Nilai pada sistem monitoring kadar gas CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> dan H<sub>2</sub> jika dibandingkan dengan nilai standar yang telah ada didapatkan nilai *error* 2,30% untuk gas CO, 2,78% untuk gas CO<sub>2</sub>, 1,69% untuk gas NH<sub>3</sub> dan 4,51% untuk gas H<sub>2</sub>.
3. Sistem monitoring kadar gas ini berhasil memonitoring kadar gas di FMIPA dengan nilai tertinggi terjadi pada pukul 9-12 WIB .

### 5.2. Saran

Saran dari penelitian yang dapat dilakukan untuk perkembangan riset selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Menggunakan sensor yang lebih sensitif terhadap gas CO<sub>2</sub> dan H<sub>2</sub> untuk meningkatkan sensitifitas sistem monitoring.
2. Menggunakan variasi sensor untuk menguji lebih lanjut sistem monitoring.
3. Memperbanyak variasi sampel data untuk lebih memantau kualitas udara di suatu tempat.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, J., dan Hasibuan, F. A. 2019. Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya dari Polusi Udara. *Jurnal Kesehatan*, 06(03), 1–7.
- Agustin, E. I., Amrulloh, D. W., dan Cahyani, S. R. 2018. Aplikasi Sensor Gas untuk Sistem Peringatan Dini Deteksi Gas Amoniak. *J-Innovation*, 7(1), 5–10.
- Akbar, M. F. 2021. Pemanfaatan Sensor MQ-135 Sebagai Monitoring Kualitas Udara pada Aula Gedung Fasilkom. *Jurnal Teknologi*, 6(3), 567–579.
- Andarini, D., Lestari, M., dan Baharudin, M. 2017. Analisis Resiko Paparan Gas Amonia pada Pekerja Peternakan Ayam di Desa Lembak Sumatera Selatan. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(2), 74–82.
- Arya, T. F., Faiqurahman, M., dan Azhar, Y. 2018. Aplikasi Wireless Sensor Network untuk Sistem Monitoring dan Klasifikasi Kualitas Udara. *Sistemasi*, 7(3), 281.
- Bintang, M., Rahmawati, F., Safira, U. M., dan Andriyanto, D. 2020. *Biokimia Fisik*. IPB PRESS. Bogor
- Buanawati, T. T., Huboyo, H. setiyo, dan Samadikun, B. P. 2017. Estimasi Emisi Pencemaran Udara Konvensional (SO<sub>x</sub>, NO<sub>x</sub>, CO dan PM) Kendaraan Pribadi Berdasarkan Metode *Internasional Vehicle Emission (IVE)* di Beberapa Ruas Jalan Kota Semarang. *Jurnal Teknik Lingkungan*, 6(3), 1–12.
- Dewi, W. C., Raharjo, M., dan Wahyuningsih, N. I. 2021. Hubungan antara Kualitas Udara Ruang dengan Gangguan Kesehatan pada Pekerja. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(1), 88–94.
- Fuadi, A. 2021. Sistem Monitoring Tingkat Pencemaran Udara pada Ruangan Berbasis Android Menggunakan Mikrokontroler. *Jurnal Teknik*, 7(1), 56–70.
- Gessal, C. I. Y., Lumenta, A. S. ., dan Sugiarto, B. A. 2019. Kolaborasi Aplikasi

- Android dengan Sensor MQ-135 Melahirkan Detektor Polutan Udara. *Jurnal Teknik Informatika*, 14(1), 109–120.
- Hadi, S., dan Adil, A. 2019. Rancang Bangun Pendeteksi Gas Berbasis MQ-2. *Jurnal Teknik Informatika*, 6(3), 327–334.
- Hamdani, Tharo, Z., dan Solly, A. 2020. Rancang Bangun Pengukur Suhu Tubuh Mandiri Tanpa Sentuh Sebagai Fasilitas Adaptasi Kebiasaan Baru. *Jurnal Kesehatan*, 06(03), 276–286.
- Handayani, A. S., Diyah, R. . H., Aldi, R. R., dan Husni, N. L. 2020. Perancangan Wireless Sensor Network Menggunakan Teknologi Multisensor sebagai Sistem Monitoring Kualitas Udara. *Jurnal Qua Teknika*, 10(2), 1–13.
- Hariyanto, E., Lubis, S. A., dan Sitorus, Z. 2017. Perancangan Prototipe Helm Pengukur Kualitas Udara. *Konferensi Nasional Teknologi Informasi dan Komputer (KOMIK)*, 1(1), 145–148.
- Haruna, Lahming, Faisal, A., dan Asrib, A. R. 2019. Pencemaran Udara Akibat Gas Buang Kendaraan Bermotor dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *Jurnal Lingkungan UMN*, 2(2), 57–61.
- Husni, N. L., Rasyid, J. Al, Hidayat, M. R., Hasan, Y., Rasyad, S., dan Anisah, M. 2020. Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Robot Sampah. *Jurnal Ampere*, 5(1), 1.
- Jones, L. D., dan Chin, A. F. 1991. *Electronics Instruments and Measurements*. Upper Saddle River: Prentice-Hall.
- Kurniasih, S., Munarti, Prasaja, D., dan Lestari, A. A. 2020. Potensi Lichen Sebagai Bioindikator Kualitas Udara di Kawasan Sentul Bogor. *Jurnal Fisika*, 03, 178–180.
- Kurniawan, A. 2018. Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan Pm10) di Bukit Kototabang Berbasis Ispu. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1–13.
- Kusumah, H., dan Pradana, R. A. 2019. Penerapan Trainer Interfacing Mikrokontroler dan Internet of Things Berbasis ESP32 pada Mata Kuliah Interfacing. *Jurnal Sistem*, 5(2), 120–134.
- Maharani, S. H., dan Kholis, N. 2020. Pengaruh Penggunaan Sensor Gas Terhadap Presentase Nilai *Error* Karbonmonoksida (CO) dan Hidrokarbon (HC) Pada Prototipe Vehicle Gas Detector (VGD). *Jurnal Teknik Elektro*, 09(3), 569–578.
- Medina Nadila Prima Putri, Handayani, A. S., dan Rose, M. M. 2020. Sistem Monitoring Kualitas Udara dengan Platform Web. *Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknik Informatika*, 12(2), 54–61.

- Novelan, M. S. 2020. Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruang Menggunakan Mikrokontroler dan Aplikasi Android. *InfoTekJar : Jurnal Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*, 4(2), 50–54.
- Pamungkas, S. 2015. Pengaruh Paparan Gas Metana (Ch<sub>4</sub>), Karbon Dioksida (Co<sub>2</sub>) Dan Hidrogen Sulfida (H<sub>2</sub>S) Terhadap Keluhan Gangguan Pernapasan Pemulung Di Tempat Pembuangan Akhir (Tpa) Sampah Klotok Kota Kediri. *jurnal Ekosains*, 7(02). 777-780
- Pratama, K., dan Setiawan, E. B. 2018. Implementasi Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Peramalan Exponential Smoothing dan NodeMCU Berbasis Mobile Android. *Jurnal ULTIMA Computing*, 9(2), 58–66.
- Putra, A. P., Ariyanto, Y., dan Hamdana, E. N. 2021. Pengembangan Alat Pendeteksi Kebocoran Gas Menggunakan Protokol Massage Queuing Telemetry Transport Berbasis Internet of Thing. *Jurnal Teknik Informatika*, 6(3), 14–21.
- Rachman, T., Purnomo, I. I., dan Ridho, I. I. 2021. Sistem Monitoring Kualitas Udara Pada Lingkungan Perumahan Berbasis Iot Dengan Nodemcu. *Jurnal Teknologi*, 06(03), 1–10.
- Ravi, Ni ketut. 2017. *Laboratorium Fisika 1*. Raja Grafindo Persada. Depok.
- Rivanda, A. 2015. Pengaruh Paparan Karbon Monoksida Terhadap Daya Konduksi Trakea. *Jurnal Teknik*, 4(8). 153-160
- Sanaris, A., dan Suharjo, I. 2020. Protipe Alat Kendali Otomatis Penjemur Pakaian Menggunakan nodeMCU ESP32 dan Telegram Bot Berbasis Internet of Things. *Jurnal Teknik Informatika*, 6(3), 17–24.
- Sandi, H. A., Sudjadi, dan Darjat. 2018. Perancangan Sistem Akuisisi Data Multisensor (Sensor Oksigen, Hidrogen, Suhu, Dan Tekanan) Melalui Website Berbasis Android. *jurnal teknik*, 7(02). 457-463
- Setiawan, A., dan Purnamasari, A. I. 2019. Pengembangan Smart Home dengan Mikrokontroler ESP-32 dan MC-38 Door Magnetic Switch Sensor Berbasis Internet of Things (IoT) Untuk Meningkatkan Deteksi Dini Keamanan Perumahan. *Jurnal Resti*, 3(3), 451–457.
- Shruthi, G. R., Hombal, S., Bs, S., Shreya, L., dan Sharanya, G. 2022. Health Monitoring System Using IoT. *International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET, 2022-April(1)*, 177–182.
- Subagiyo, H., Wahyuni, R. Tri, Akbar, M., dan Ulfa, F. 2020. Rancang Bangun Sensor Node untuk Pemantauan Parameter Kualitas Udara. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, 18(1), 72–79.

- Virdaus, M. S. S., dan Ihsanto, E. 2021. Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Kualitas Udara Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Wemos. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(1), 22.
- Waworundeng, J. M. S., dan Lengkong, O. 2018. Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara dalam Ruangan dengan Platform IoT. *CogITo Smart Journal*, 4(1), 94.
- Widodo, S., Amin, M. M., Sutrisman, A., dan Putra, A. A. 2017. Rancang Bangun Alat Monitoring Kadar Udara Bersih dan Gas Berbahaya CO, CO<sub>2</sub>, dan CH<sub>4</sub> di Dalam Ruangan Berbasis Mikrokontroler. *Pseudocode*, 4(2), 105–119.
- Widyadara, M. A. D., dan Sari, K. R. T. P. 2021. Monitoring and Notification System Air Quality Against Carbon Monoxide in The Study Room IoT based. *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, 5(1), 121–133.
- Windarto, Julian, A., dan Abdullah, I. N. 2016. Purwarupa Alat Pendekteksi Dini Gejala Kebakaran dan Pengendali Listrik Menggunakan Mikrokontroler Berbasis ATMega 328P, Sensor DHT11, Sensor MQ-2, dan Relay Board. *Jurnal Ticom*, 4(3), 109–113.
- Wiyagi, R. O., Ardiyanto, Y., Purwanto, K., dan Mustar, M. Y. 2020. Pengenalan Sistem Display Matriks P10 Pada siswa SMK Guna Meningkatkan Peluang Kewirausahaan. *Jurnal Tek*, 06(03), 240–247.
- Yusuf, M., dan Daris, L. 2018. *Analisis Data Penelitian*. IPB PRESS. Bogor.
- Zid, M., dan Hardi, S. 2019. *Biogeografi*. Bumi aksara. Jakarta.