

**SISTEM PENYIMPANAN DATA MONITORING KUALITAS UDARA  
UNTUK MENGUKUR PARAMETER SUHU, KELEMBABAN DAN  
KADAR GAS (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) BERBASIS  
MULTI-SENSOR MENGGUNAKAN ESP32**

**(TESIS)**

Oleh

**DWINA NURIZKY SYAHPUTRI  
2227041001**



**MAGISTER FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2024**

## ABSTRAK

### **SISTEM PENYIMPANAN DATA MONITORING KUALITAS UDARA UNTUK MENGUKUR PARAMETER SUHU, KELEMBABAN DAN KADAR GAS (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) BERBASIS MULTI-SENSOR MENGGUNAKAN ESP32**

Oleh

**Dwina Nurizky Syahputri**

Penelitian ini merancang sistem penyimpanan data monitoring kualitas udara yang mampu mengukur parameter suhu, kelembaban dan kadar gas (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) berbasis multi-sensor menggunakan ESP32. Tujuan dari penelitian ini adalah membuat sistem monitoring kualitas udara dan menyimpan data sensor di *kartu penyimpanan* serta menampilkan data hasil pengukuran sensor di LED *display* P10. Menganalisis hasil nilai-nilai akurasi dan ralat pada masing-masing sensor dan mengetahui kapasitas kartu penyimpanan terhadap lamanya proses pengambilan data pada parameter-parameter kualitas udara dengan menggunakan beberapa sensor seperti sensor DHT22, sensor MQ-2, sensor MQ-135 dan sensor MQ-136. Berdasarkan Hasil penelitian yang dilakukan alat ini dapat menyimpan data hasil pengukuran di kartu penyimpanan dan data hasil pengukuran dapat ditampilkan di panel P10. Alat ini juga mampu mengukur kadar CO<sub>2</sub> dengan ralat sebesar 0,10% dan akurasi sebesar 99,90%, kadar CO dengan ralat sebesar 0,93% dan akurasi sebesar 99,07%, kadar NH<sub>3</sub> dengan ralat sebesar 1,71% dan akurasi sebesar 98,29%, dan alat ini mampu mengukur suhu dengan ralat sebesar 0,17% dan akurasi sebesar 99,83%, serta dapat mengukur tingkat kelembaban udara dengan ralat sebesar 0,55% dan akurasi sebesar 99,45%.

**Kata Kunci:** Sensor DHT22, Sensor MQ-2, Sensor MQ-135, Sensor MQ-136, ESP32

## **ABSTRACT**

### **AIR QUALITY MONITORING DATA STORAGE SYSTEM TO MEASURE PARAMETERS OF TEMPERATURE, HUMIDITY AND GAS LEVELS (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) BASED ON MULTI-SENSOR BASED USING ESP32**

**By**

**Dwina Nurizky Syahputri**

*This research designs an air quality monitoring data storage system capable of measuring temperature, humidity and gas content parameters (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) based on multi-sensors using ESP32. The aim of this research is to create an air quality monitoring system and save the sensor data on the storage card and display the sensor measurement data on the P10 LED display. Analyse the results of accuracy and error values on each sensor and determine the storage card capacity on the length of the data retrieval process on air quality parameters using several sensors such as DHT22 sensor, MQ-2 sensor, MQ-135 sensor and MQ-136 sensor. Based on the results of the research conducted, this tool can store the measurement data on the storage card and the measurement data can be displayed on the P10 panel. This tool is also able to measure CO<sub>2</sub> levels with an error of 0.10% and an accuracy of 99.90%, CO levels with an error of 0.93% and an accuracy of 99.07%, NH<sub>3</sub> levels with an error of 1.71% and an accuracy of 98.29%, and this tool is able to measure temperature with an error of 0.17% and an accuracy of 99.83%, and can measure humidity levels with an error of 0.55% and an accuracy of 99.45%.*

**Keywords:** *DHT22 Sensor, MQ-2 Sensor, MQ-135 Sensor, MQ-136 Sensor, ESP32*

**SISTEM PENYIMPANAN DATA MONITORING KUALITAS UDARA  
UNTUK MENGUKUR PARAMETER SUHU, KELEMBABAN DAN  
KADAR GAS (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) BERBASIS  
MULTI-SENSOR MENGGUNAKAN ESP32**

Oleh

**DWINA NURIZKY SYAHPUTRI**

**Tesis**

Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar

**MAGISTER SAINS**

Pada

**Program Studi Magister Fisika**

**Jurusan Fisika**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Universitas Lampung**



**PROGRAM STUDI MAGISTER FISIKA  
JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
BANDAR LAMPUNG  
2024**

Judul Penelitian : **SISTEM PENYIMPANAN DATA MONITORING KUALITAS UDARA UNTUK MENGUKUR PARAMETER SUHU, KELEMBABAN DAN KADAR GAS (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) BERBASIS MULTI-SENSOR MENGGUNAKAN ESP32**

Nama Mahasiswa : **Dwina Nurizky Syahputri**

Nomor Pokok Mahasiswa : 2227041001

Program Studi : Magister Fisika

KBK : Instrumentasi

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam

Bandar Lampung, 06 Agustus 2024

**MENYETUJUI,**

1. Komisi Pembimbing



**Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc.**  
NIP. 198206182008121001



**Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197512192000122003

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Fisika



**Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**  
NIP. 198010102005011002

Ketua Program Studi  
Magister Fisika,



**Dr. Yanti Yulianti, S.Si. M.Si.**  
NIP. 197512192000122003

**MENGESAHKAN**

**1. Tim Penguji**

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



Sekretaris : **Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si.**



Penguji Anggota : **1. Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D.**



**2. Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D.** 

**2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**

NIP. 197110012005011002

**3. Direktur Program Pascasarjana**



**Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.**

NIP. 196403261989021001

Tanggal Lulus Ujian Tesis : **01 Agustus 2024**

## PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam tesis yang berjudul **“Sistem Penyimpanan Data Monitoring Kualitas Udara untuk Mengukur Parameter Suhu, Kelembaban dan Kadar Gas (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) Berbasis Multi-Sensor Menggunakan ESP32”** tidak terdapat karya yang sama persis dengan yang pernah dilakukan orang lain, dan sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat 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 tesis ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenakan sanksi sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, 06 Agustus 2024



Handwritten signature of Dwina Nurizky Syahputri.

Dwina Nurizky Syahputri  
NPM. 2227041001

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama lengkap Dwina Nurizky Syahputri. Penulis dilahirkan di Tanggamus pada 07 September 1999. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara dari pasangan alm. Muchrimsyah dan Siti Nuriyah, memulai pendidikan Pendidikan sekolah dasar di MIN 2 OKU TIMUR tahun 2005-2011 lalu melanjutkan pendidikan sekolah menengah pertama di SMPN 1 Belitang Jaya tahun 2011-2014 selanjutnya melanjutkan pendidikan sekolah menengah atas di MAN 1 OKU TIMUR pada tahun 2014-2017. Penulis melanjutkan pendidikan sarjana di Universitas Lampung tahun 2017-2022. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di prodi Magister Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur beasiswa pada tahun 2022. Selama menempuh pendidikan, penulis pernah menjadi asisten praktikum Mikrokontroler dan asisten responsi Fisika Dasar.

## MOTTO

*“Tidaklah mungkin bagi matahari mengejar bulan dan malam pun tidak dapat mendahului siang. Masing-masing beredar pada garis edarnya”*  
(QS. Ya-Sin : 40)

*“Kamu tidak harus menjadi manusia hebat terlebih dahulu untuk menjadi orang yang berguna”*  
(Alvi Syahrin)

## PERSEMBAHAN

**Dengan Penuh Rasa Syukur Kepada Allah Subhanahu wa ta'ala, karya ini dipersembahkan kepada:**

Kedua Orang tuaku

*Alm. Bapak Muchrisyah & Ibu Siti Nuriyah*

Terimakasih untuk segala do'a dan usaha yang selalu diberikan demi kesuksesan putrinya hingga mampu menyelesaikan pendidikan di tingkat Universitas sebagai magister

*Keluarga Besar & Teman-teman*

Terimakasih atas segala dukungan yang telah diberikan sehingga dapat tetap bertahan dalam keadaan suka maupun duka

*Almamater Tercinta*

UNIVERSITAS LAMPUNG

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT. Tuhan Yang Maha Esa sehingga penulis dapat menyelesaikan tesis yang berjudul **“Sistem Penyimpanan Data Monitoring Kualitas Udara untuk Mengukur Parameter Suhu, Kelembaban dan Kadar Gas (CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>) Berbasis Multi-Sensor Menggunakan ESP32”**. Dengan segala kerendahan hati, penulis menyadari bahwa penyusunan tesis ini masih terdapat kesalahan dan masih jauh dari kata sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun penulis harapkan untuk memperbaiki tesis ini. Semoga tesis ini bermanfaat bukan hanya untuk penulis, tapi juga untuk para pembaca.

Bandar Lampung, 05 Agustus 2024

Penulis,

Dwina Nurizky Syahputri

## SANWACANA

Alhamdulillah, penulis menyadari bahwa tesis ini dapat terselesaikan dengan baik berkat dorongan, bantuan dan motivasi dari berbagai pihak, oleh karena itu pada kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Junaidi, S.Si., M.Sc. selaku pembimbing akademik dan pembimbing pertama yang selalu membimbing dan mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini.
2. Ibu Dr. Yanti Yulianti, S.Si., M.Si. selaku pembimbing kedua yang telah memberikan saran dan masukan sehingga penulisan tesis ini menjadi lebih baik.
3. Ibu Dra. Dwi Asmi, M.Si., Ph.D. selaku pembahas pertama yang senantiasa memberikan bimbingan selama masa perkuliahan dan mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini.
4. Bapak Prof. Drs. Posman Manurung, M.Si., Ph.D. pembahas kedua yang senantiasa mengarahkan dalam proses penyusunan tesis ini.
5. Bapak Dr. Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. selaku Ketua Jurusan Fisika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung Drs. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.
7. Direktur Program Pascasarjana Universitas Lampung Prof. Dr. Ir. Murhadi, M.Si.
8. Para dosen, staff dan karyawan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung
9. Alm. Papa Muchrimsyah dan Alm. Abang Fachreza Nuriansyah Putra yang telah meberikan semangat dan motivasi semasa hidupnya dan mama Siti

Nuriyah serta keluarga besar yang senantiasa memberikan doa, semangat, pengorbanan, nasihat, dan kasih sayang pada penulis.

10. Neta Paradela, Anisa Azizah dan Yulia Nurjanah selaku sahabat yang selalu memberi semangat, motivasi, dan dukungan dalam segala kondisi.
11. Teman penelitianku Larasati Handayani, Kakak-kakaku Dewi Puspitasari, Mia Abi Anisa, Indah Pratiwi dan Adik-adikku Amapel Odenia, Lidya Listra, Adhito D. Danendra, Intan Permatasari, Aquarisma Diansari yang selalu kebersamai, menghibur, memotivasi dan membantu dalam kerumitan pada penyusunan tesis ini.
12. Teman-teman Magister Fisika yang selalu memberi semangat selama perkuliahan dan penyusunan tesis ini.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu, yang telah membantu penulis selama menyelesaikan tesis ini.
14. Dan yang paling utama, terimakasih kepada diri saya sendiri yang tidak pernah menyerah dalam menyelesaikan berbagai rintangan dan kesulitan dari awal hingga tulisan ini dapat terselesaikan.

Semoga Allah SWT membalas dengan yang lebih baik dan menjadi pemberat amal di akhirat nanti. Aamiin.

Bandar Lampung, 06 Agustus 2024

Penulis,

Dwina Nurizky Syahputri

## DAFTAR ISI

	<b>Halaman</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>MENGESAHKAN</b> .....	<b>v</b>
<b>PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>x</b>
<b>SANWACANA</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>xiii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xvi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xviii</b>
<b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Manfaat Penelitian.....	5
1.5 Batasan Masalah.....	5
<b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terkait .....	6
2.2 Dasar Teori.....	10
2.2.1 Parameter-Parameter Pengukuran.....	10

2.2.1.1 Suhu Udara .....	10
2.2.1.2 Kelembaban Udara .....	10
2.2.1.3 Karbon Monoksida (CO) .....	11
2.2.1.4 Gas Karbon Dioksida (CO <sub>2</sub> ) .....	11
2.2.1.5 Gas Amonia (NH <sub>3</sub> ) .....	12
2.2.1.6 Gas Sulfur Dioksida (SO <sub>2</sub> ) .....	12
2.2.2 Sistem Data Akuisisi .....	13
2.2.3 Data <i>Logger</i> .....	14
2.2.4 ESP32 .....	15
2.2.5 Modul <i>Micro Secure Digital (SD) Card Adapter</i> .....	16
2.2.5.1 <i>Micro SD Card</i> .....	18
2.2.6 Sensor MQ-2 .....	19
2.2.7 Sensor MQ-135 .....	21
2.2.8 Sensor MQ-136 .....	22
2.2.9 Sensor DHT22 .....	23
2.2.10 Modul DMD P10 .....	24

### III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian .....	26
3.2 Alat dan Bahan .....	26
3.3 Prosedur Penelitian .....	27
3.3.1 Perancangan Perangkat .....	29
3.3.2 Perancangan Sistem Akuisisi Data Monitoring Kualitas Udara .....	30
3.4 Pengujian Alat .....	31
3.4.1 Pengujian Sensor .....	31
3.4.2 Pengujian <i>MicroSd Card</i> .....	33

### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Realisasi Alat .....	34
4.2 Pengujian Perangkat Lunak .....	36
4.2.1 Pengujian Mikrokontroler .....	36
4.2.2. Pengujian sensor DHT22 .....	38
4.2.2 Pengujian Sensor MQ-2 .....	41

4.2.3 Pengujian Sensor MQ-135 .....	43
4.2.4 Pengujian Modul RTC DS2321 dan Modul SD <i>card</i> .....	48
4.3 Pengambilan Data .....	51
4.3.1 Pengambilan Data di Kartu Memori .....	51
4.3.2 Pengambilan Data Monitoring Kualitas Udara .....	53

## **V. SIMPULAN DAN SARAN**

5.1 Simpulan.....	56
5.2 Saran.....	57

## **DAFTAR PUSTAKA**

## **LAMPIRAN**

## DAFTAR GAMBAR

	<b>Halaman</b>
<b>Gambar 2.1</b> Skema rancangan penelitian .....	8
<b>Gambar 2.2</b> Tampilan perangkat luar .....	9
<b>Gambar 2.3</b> Proses sistem akuisisi data.....	13
<b>Gambar 2.4</b> Proses data <i>logger</i> .....	14
<b>Gambar 2.5</b> <i>Pinout</i> ESP 32.....	15
<b>Gambar 2.6</b> Modul <i>Micro SD Card Adapter</i> .....	17
<b>Gambar 2.7</b> <i>Pin out</i> kartu micro SD .....	18
<b>Gambar 2.8</b> (a) <i>Pin Out</i> sensor MQ-2 (Tampilan depan) (b) <i>Pin Out</i> sensor Tampilan Belakang .....	19
<b>Gambar 2.9</b> (a) Modul sensor MQ-135 (b) <i>Pin</i> sensor MQ-135 .....	21
<b>Gambar 2.10</b> <i>Pin out</i> sensor MQ-136.....	22
<b>Gambar 2.11</b> Sensor DHT 22 .....	23
<b>Gambar 2.12</b> (a) Modul sensor DHT22 (b) <i>Pin Out</i> Sensor DHT22.....	24
<b>Gambar 2.13</b> <i>Pin Out</i> Modul DMD P10.....	25
<b>Gambar 3.1</b> Diagram alir penelitian. ....	28
<b>Gambar 3.2</b> Diagram blok penelitian .....	29
<b>Gambar 3.3</b> Rangkaian sistem penyimpanan data kualitas udara .....	30
<b>Gambar 3.4</b> Diagram alir perancangan <i>software</i> .....	31
<b>Gambar 4.1</b> Rangkaian sensor sistem penyimpanan .....	34
<b>Gambar 4.2</b> Komponen prosesor sistem penyimpanan data.....	35
<b>Gambar 4.3</b> Pengujian sensor DHT22 mengukur suhu .....	39
<b>Gambar 4.4</b> Pengujian sensor DHT22 mengukur kelembaban. ....	40
<b>Gambar 4.5</b> Pengujian sensor MQ-2 mengukur CO.....	43
<b>Gambar 4.6</b> Pengujian sensor MQ-135 mengukur CO <sub>2</sub> .....	46

<b>Gambar 4.7</b> Pengujian sensor MQ-135 mengukur $\text{NH}_3$ .....	48
<b>Gambar 4.8</b> Tampilan file penyimpan.....	50
<b>Gambar 4.9</b> Waktu penuh kartu penyimpanan .....	52
<b>Gambar 4.10</b> Tampilan panel monitoring kualitas udara .....	53
<b>Gambar 4.11</b> Monitoring kualitas udara (a) $\text{CO}_2$ , (b) $\text{CO}$ , (c) $\text{NH}_3$ , (d) $\text{H}_2$ , (e) kelambaban (f) suhu (g) $\text{SO}_2$ .....	54

## DAFTAR TABEL

	<b>Halaman</b>
<b>Tabel 2.1</b> Data hasil pengujian metode <i>Fuzzy Sugeno</i> .....	7
<b>Tabel 3.1</b> Perangkat lunak yang digunakan.....	26
<b>Tabel 3.2</b> Bahan yang digunakan .....	27
<b>Tabel 3.3</b> Data pengujian sensor .....	32
<b>Tabel 3.4</b> Nilai kalibrasi sensor .....	32
<b>Tabel 3.5</b> Data penggunaan pada <i>kartu penyimpanan</i> .....	33
<b>Tabel 4.1</b> Pengujian sensor DHT22 mengukur nilai suhu.....	39
<b>Tabel 4.2</b> Pengujian sensor DHT22 mengukur nilai kelembaban.....	40
<b>Tabel 4.3</b> Pengujian sensor MQ-2 kadar gas CO .....	42
<b>Tabel 4.4</b> Pengujian sensor MQ-135 kadar gas CO <sub>2</sub> .....	45
<b>Tabel 4.5</b> Pengujian sensor MQ-135 kadar gas NH <sub>3</sub> .....	47
<b>Tabel 4.6</b> Sistem penyimpanan pada kartu memori .....	51

# I. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Seiring dengan perkembangan industri, permasalahan pencemaran udara semakin meningkat. Kondisi ini tentu saja berdampak terhadap kondisi lingkungan diantaranya kualitas udara (Astuti dkk., 2014). Udara menjadi bagian dari sumber daya alam yang tidak dapat diperbaharui sehingga amat sangat dibutuhkan oleh makhluk hidup, baik manusia, hewan maupun tumbuhan dalam kelangsungan hidup (Hasairin dan Siregar, 2018). Udara adalah campuran gas yang ditemukan di permukaan bumi. Pada kondisi kering, udara mengandung 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1% uap air, serta karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Udara merupakan bagian penting dalam kehidupan, selain oksigen ada beberapa zat lain yang terdapat di udara, diantaranya Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>), Formaldehida (CH<sub>2</sub>O), jamur dan virus. Zat-zat tersebut jika masih dalam batas normal akan dinetralisir. Meningkatnya kadar konsentrasi zat-zat tersebut di udara diakibatkan oleh berbagai aktivitas manusia (Dewi dkk., 2021).

Polusi udara menjadi salah satu permasalahan yang paling umum terjadi di wilayah metropolitan. Menurut *United Nations Environment Programme* (UNEP), sebanyak 6,5 juta jiwa meninggal setiap tahunnya, dikarenakan paparan buruknya kualitas udara. Disamping itu, 70% dari kasus kematian yang disebabkan oleh polusi udara ditemukan di Asia Pasifik, salah satunya di Indonesia. Bidang transportasi menjadi penyumbang polusi terbesar di daerah perkotaan. Gas buang dari kendaraan bermotor memberikan kontribusi sebesar 70% dari polusi Nitrogen Oksida (NO<sub>x</sub>), Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>), dan *Particulate*

*Matter* (PM) di daerah padat penduduk (Kehutanan, 2021). Meningkatnya jumlah kendaraan untuk transportasi, salah satunya disebabkan oleh peningkatan populasi yang terus meningkat (Ernyasih dkk., 2023). Transportasi menimbulkan efek yang merugikan bagi lingkungan, terlebih gas buang (Winarno, 2014). Hal ini menjadi pemicu terjadinya polusi udara karena telah menciptakan pencemaran terhadap lingkungan (Kusuma, 2002). Kondisi ini dapat berdampak menurunnya kesehatan apabila selalu terpapar polusi udara (Haruna dkk., 2019).

Berbagai bencana alam seperti kebakaran hutan, letusan gunung berapi dan gas beracun, juga menyebabkan timbulnya polusi udara (Yunita dan Kiswando, 2017). Kegiatan pembakaran disamping mengeluarkan gas Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ) juga mengakibatkan asap yang berupa endapan partikel-partikel halus di udara yang di dalamnya memiliki kandungan materi partikulat (Qolik dkk., 2018). Dalam Peraturan Pemerintah Indonesia (2020) terdapat beberapa indikator Indeks Standar Pencemar Udara Parameter (ISPU), yaitu partikulat ( $\text{PM}_{10}$ ); partikulat ( $\text{PM}_{2.5}$ ); Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ); ozon ( $\text{O}_3$ ); dan hidrokarbon (HC). Zat-zat polutan yang mengkontaminasi udara pada dasarnya berupa gas dan asap yang bersumber dari proses pembakaran bahan bakar yang tidak sempurna dan hasil oksidasi dari berbagai unsur penyusun bahan bakar tersebut salah satunya adalah gas  $\text{SO}_2$  (Yanti dan Ulfah, 2015). Sedangkan parameter lain yang perlu dipertimbangkan dan dipantau, di antaranya adalah suhu udara dan kelembaban udara. Kenaikan suhu dan kelembaban dapat mempengaruhi pertumbuhan dan perkembangan mikroba ditandai dengan meningkatnya jumlah bakteri atau jamur (Purnowo dkk., 2023).

Polutan yang ditimbulkan oleh zat-zat polusi udara biasanya berupa gas yang mengandung Karbon Monoksida (CO), Karbon Dioksida ( $\text{CO}_2$ ), Nitrogen Dioksida ( $\text{NO}_2$ ), Hidrokarbon (HC), Hidrogen ( $\text{H}_2$ ), Nitrogen ( $\text{N}_2$ ), Sulfur Dioksida ( $\text{SO}_2$ ), Klorofluorokarbon (CFC) dan Timbal (Pb). Gas polutan CO merupakan gas yang disebabkan oleh kendaraan bermotor dan memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia (Abidin dan Artauli Hasibuan, 2019). Beberapa dampak buruk polusi udara bagi Kesehatan diantaranya masalah pernapasan, hal ini dapat menimbulkan masalah pada saluran pernapasan seperti asma, bronkitis, dan pneumonia. Wanita hamil yang terpapar polusi udara berisiko menimbulkan

komplikasi kehamilan seperti bayi lahir prematur, atau mengalami gangguan perkembangan janin (Aryanta dan Maharan, 2023). Partikel-partikel dapat merusak pembuluh darah serta menimbulkan peradangan pada sistem kardiovaskular. Anak-anak dan orang tua lebih mudah terkena efek polusi udara. Paparan jangka panjang dapat mengakibatkan penurunan fungsi paru-paru pada anak-anak dan memperparah kondisi pada orang tua (Dewiningsih, 2018).

Antisipasi dampak pencemaran udara telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti dengan cara merancang alat untuk memantau kualitas udara dengan cara memanfaatkan teknologi sensor dan mikrokontroler. Sensor gas dapat digunakan untuk mengukur tingkat konsentrasi-konsentrasi gas dalam suatu lingkungan. Terdapat berbagai jenis sensor, tergantung pada gas apa yang hendak diteliti (Hakim dan Susanto, 2020). Mikrokontroler yang digunakan salah satunya Arduino Nano sebagaimana dilakukan Rosa dkk. (2020), alat pendeteksi kualitas udara ini menggunakan sensor MQ-135 yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas CO<sub>2</sub>, sensor MQ-7 yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas CO. Alat ini berkerja pada saat sensor mendeteksi kadar batas gas yang telah ditentukan sebelumnya dan alat ini akan mengeluarkan informasi berupa suara pada *buzzer*. Hasil data pengukuran yang dilakukan pada penelitian ini hanya dapat ditampilkan pada LCD 16×2, sehingga masyarakat umum belum bisa mengetahui informasi tingkat polusi udara. Prasetyo dkk. (2021) telah merancang sebuah sistem pemantauan kualitas udara di luar ruangan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Mega dan dihubungkan ke sensor MQ-7 dan MQ-131 sehingga mampu mendeteksi kadar CO, CO<sub>2</sub> dan O<sub>3</sub> di udara lalu data hasil pengukuran dari sensor dapat ditampilkan di aplikasi Blynk. Namun, terdapat kekurangannya yaitu keterbatasan dalam penyimpanan data hasil pengukuran.

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Asmazori dan Firmawati (2021) membuat alat pendeteksi kadar gas NO<sub>x</sub> dan kadar gas CO. Prinsip kerja pada alat ini yaitu sensor MQ-135 dan Sensor MQ-7 mendeteksi kadar gas NO<sub>x</sub> dan kadar gas CO, lalu data hasil pengukuran sensor diolah dengan menggunakan mikrokontroler ESP 32 dan dikirimkan ke telegram. Alat ini juga dapat mengeluarkan informasi berupa suara yang terhubung dengan alat pengeras suara menggunakan modul suara ISD

1820. Namun, pada penelitian ini tidak ada tempat untuk menyimpan data hasil pengukuran sensor yang telah dilakukan. Penelitian mengenai pembuatan sistem kualitas udara juga dilakukan oleh Ulaan dkk. (2022) merancang sebuah sistem monitoring kualitas udara di dalam ruangan dengan memanfaatkan aplikasi pada *android* sebagai perangkat lunak sistem monitoring. Penerapan aplikasi pada *android* memiliki kekurangan pada kapasitas penyimpanan data hasil pengukuran dan belum ada tampilan informasi polusi udara untuk Masyarakat umum.

Berdasarkan pemaparan di atas, maka diperlukan untuk melakukan penelitian tentang membuat sistem monitoring kualitas udara sebagai solusi menyelesaikan permasalahan di atas. Oleh karena itu, dalam penelitian ini akan menggunakan sensor MQ-2, sensor MQ-135, sensor MQ-136 dan sensor DHT22 kemudian akan diproses menggunakan ESP32 dan Arduino Uno sebagai mikrokontroler lalu hasil data pengukuran akan ditampilkan melalui panel LED P10 dan data hasil pengukuran akan tersimpan di kartu penyimpanan dengan penyimpanan sebesar 32 GB.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana mengembangkan sistem monitoring kualitas udara yang dapat di tampilkan di panel LED P10 dan menyimpan data hasil pengukuran di kartu penyimpanan?
2. Bagaimana menentukan nilai akurasi dan ralat pada pada masing-masing sensor?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membuat sistem monitoring kualitas udara dan menyimpan data sensor di kartu penyimpanan serta menampilkan data hasil pengukuran sensor di panel LED P10.
2. Menganalisis hasil nilai akurasi dan ralat pada masing-masing sensor.

3. Mengetahui kapasitas kartu penyimpanan terhadap lamanya proses pengambilan data pada parameter-parameter kualitas udara.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian pada ini adalah menghasilkan sistem penyimpanan monitoring kualitas udara yang dapat memudahkan untuk mendapatkan informasi kualitas udara melalui tampilan panel LED P10 dan data dapat disimpan di kartu penyimpanan.

#### **1.5 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perancangan sistem monitoring kualitas udara hanya memantau parameter-parameter kualitas udara seperti kelembaban udara, suhu udara dan kadar gas CO, CO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>.
2. Jenis-jenis sensor yang digunakan pada sistem monitoring kualitas udara adalah MQ-2, MQ-135, MQ-136, dan DHT 22.
3. Sistem monitoring kualitas udara menggunakan Mikrokontroler ESP32 dan Arduino Uno.
4. Parameter-parameter kualitas udara ditampilkan di panel LED P10.
5. Data hasil pengukuran parameter-parameter kualitas udara disimpan di kartu penyimpanan dengan tipe *sandisk* dan kapasitas penyimpanan sebesar 32 GB.
6. Perancangan sistem monitoring kualitas udara hanya berfokus pada sistem monitoring kualitas udara.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian mengenai alat monitoring kualitas udara menggunakan software telah dilakukan oleh banyak peneliti, masing-masing mempunyai metode dan tujuan yang berbeda. Beberapa diantaranya digunakan untuk membantu dalam pelaksanaan penelitian ini.

Hidayati dkk. (2020) melakukan penelitian sistem monitoring kualitas udara berbasis *fuzzy logic*. *Fuzzy logic* dianggap dapat mempresentasikan setiap keadaan atau mewakili pemikiran manusia atau bisa disebut *fuzzy logic* merupakan salah satu komponen pembentuk *soft computing*. Mikrokontroler yang digunakan Arduino Uno R3 yang akan memproses pengukuran debu, CO, dan CO<sub>2</sub>. Masukkan pembacaan kualitas udara yang digabungkan dengan logika fuzzy metode sugeno guna mengoptimalkan kerja sensor agar data yang didapat menjadi satuan fuzzy, sehingga alat ini dapat mengklasifikasikan tingkat kualitas udara dan dapat menampilkan kondisi udara dari tingkat baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat dan berbahaya yang akan ditampilkan pada *Dot Matrix* P10. Penelitian ini menggunakan pemrograman di *sketch* arduino, dimana *fuzzy logic* metode sugeno akan ditampilkan hasil melalui *serial monitor* yang kemudian ditampilkan pada *running text Dot Matrix* P10.

Berdasarkan **Tabel 2.1** hasil pengujian diperoleh hasil pembacaan nilai ralat dengan menggunakan metode fuzzy sugeno sebesar 0,73%, sehingga keberhasilan pembacaan keluaran sebesar 99,27%. Data hasil pengujian disajikan pada **Tabel 2.1**

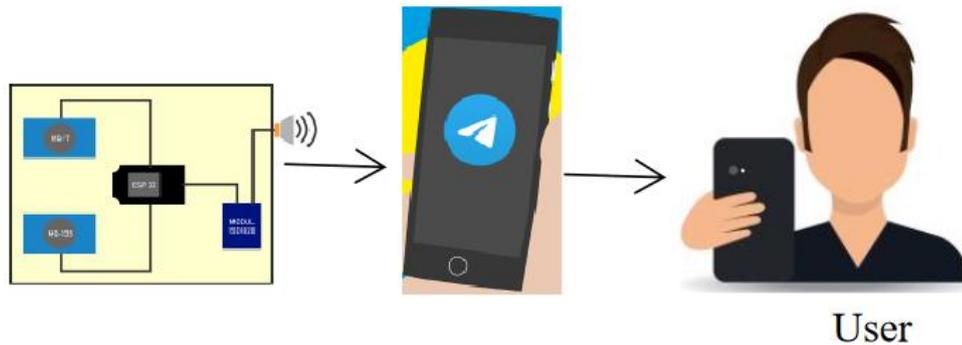
**Tabel 2.1** Data hasil pengujian metode *Fuzzy Sugeno*.

No	Masukkan				Keluaran			
	Debu (mg/ m <sup>3</sup> )	CO (ppm)	CO <sub>2</sub> (ppm)	Arduino	Matlab	Keterangan	Selisih	Ralat (%)
1	0,56	7,87	194	299	299	Sangat Tidak Sehat	0	0
2	0,46	30	166	299	299	Sangat Tidak Sehat	0	0
3	0,39	5,12	120,2	249	251	Tidak Sehat	2	0,80
4	0,05	0,99	0	50	50	Baik	0	0
5	0,20	7,53	52,7	100	100	Sedang	0	0
6	0,32	10,05	78	199	199	Tidak Sehat	0	0
7	0,08	2,71	6,33	53,26	51,5	Sedang	1,76	3,30
8	0,36	3,31	154	133,3	129	Tidak Sehat	4,3	3,22
9	0,55	46,1	350	3000	3000	Berbahaya	0	0
10	0,55	20,8	259	299	299	Sangat Tidak Sehat	0	0
<b>Rata-Rata Error</b>							<b>0,80</b>	<b>0,73</b>

Ulaan dkk. (2022) melakukan penelitian mengenai pembuatan sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan. Pada penelitian ini dirancang sebuah alat yang dapat memonitoring kadar kualitas udara dalam ruangan. Penelitian ini menggunakan sensor MG-811 digunakan untuk mendeteksi kadar CO<sub>2</sub>, sensor PM<sub>2,5</sub> digunakan untuk partikel halus seperti debu, sensor MQ135 digunakan untuk mendeteksi kadar asap, NO<sub>x</sub>, CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>. Sensor MQ-7 digunakan untuk mendeteksi kadar H<sub>2</sub>, dan sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi CO. Penelitian ini menggunakan *handphone* serta menggunakan modul *bluetooth* ESP32 yang berfungsi untuk menampilkan hasil keluaran dari sensor. Prinsip kerja pada penelitian ini adalah dengan pembacaan masukan oleh sensor yang kemudian data tersebut dikirimkan ke mikrokontroler ESP32. Setelah data diterima, kemudian diproses dan dikirimkan ke aplikasi yang telah dibuat pada *android* dengan menggunakan komunikasi modul *bluetooth*. Kemudian data akan ditampilkan untuk memonitoring kualitas udara.

Penelitian yang dilakukan Asmazori dan Firmawati (2021) adalah membuat alat pendeteksi kadar NO<sub>x</sub> dan kadar CO. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-135

yang dapat mendeteksi kadar  $\text{NO}_x$  dan sensor MQ-7 dapat mendeteksi kadar CO dalam udara. Alur rancangan pada penelitian ini ditunjukkan pada **Gambar 2.1**.



**Gambar 2.1** Skema rancangan penelitian (Asmazori dan Firmawati, 2021).

Berdasarkan **Gambar 2.1** skema rancangan pada penelitian yang dilakukan oleh Asmazori dan Firmawati (2021) yaitu sensor akan mendeteksi kadar gas  $\text{NO}_x$  dan gas CO di udara. Kemudian mikrokontroler ESP32 akan mengolah dan mengirimkan hasil data ke telegram dan akan mengeluarkan informasi berupa suara yang terhubung dengan alat pengeras suara menggunakan modul suara ISD 1820 jika konsentrasi ppm lebih dari 50%.

Rosa dkk. (2020) merancang sebuah alat pendeteksi kualitas udara ini menggunakan sensor MQ-135 yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas  $\text{CO}_2$ , sensor MQ-7 yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas Karbon Monoksida. Hasil data pengukuran yang dilakukan hanya dapat ditampilkan pada LCD 16×2. Prinsip kerja alat ini yaitu pada saat sistem dinyalakan, kemudian sensor akan mendeteksi adanya kadar gas yang melebihi batas yang telah diatur sebelumnya, maka sistem akan mengeluarkan keluaran berupa bunyi pada *buzzer* dan akan menampilkan informasi di LCD. Tampilan LCD akan menampilkan tingkatan daya dan baterai terkait informasi *interrupt* berupa “aman” dan “bahaya”. Tampilan perangkat ditunjukkan pada **Gambar 2.2**.



**Gambar 2.2** Tampilan perangkat luar (Rosa dkk., 2020).

Berdasarkan **Gambar 2.2** memperlihatkan tampilan alat, dimana LCD menampilkan jenis sensor yang digunakan serta keluaran *HIGH/LOW*, kondisi aman atau bahaya, daya baterai dan juga terdapat LED *indicator power*.

Lahal dan Suharyanto (2020) merancang sebuah alat monitoring deteksi kualitas udara yang dilakukan di jalan dengan padat lalu lintas kendaraan baik roda maupun roda empat di Kota Batam. Penelitian ini menggunakan sensor MQ-135 bertujuan mendeteksi kadar gas CO, *buzzer* berfungsi sebagai pertanda alarm yang digunakan sebagai pemberi sinyal terdapat gas CO, LCD digunakan untuk menampilkan informasi kadar gas CO di udara dan menggunakan Arduino Uno sebagai mikrokontroler. Peneliti melakukan dua kali pengujian yaitu di jalanan umum dengan kondisi sekitar kendaraan tidak ramai dan menghasilkan *Smoke Level* sebesar 79, dengan keterangan keadaan “normal” dan memberikan led berwarna biru dan pengujian kedua dilakukan di lokasi yang sama pada saat kondisi sekitar ramai dengan kendaraan dan menghasilkan *Smoke Level* sebesar 108, dengan keterangan keadaan “buruk” dan lampu LED menyala warna merah.

## **2.2 Dasar Teori**

### **2.2.1 Parameter-Parameter Pengukuran**

#### **2.2.1.1 Suhu Udara**

Suhu udara adalah tingkat panas dan dinginnya suatu udara di dalam lingkungan atmosfer atau di dalam ruangan. suhu udara menjadi salah satu parameter fisik udara yang penting di dalam kehidupan sehari-hari (Cahyono, 2017). Singkatnya, semakin tinggi temperatur suatu benda, semakin panas benda itu. Secara konseptual, suhu menunjukkan besarnya energi yang dimiliki suatu benda. Masing-masing atom dari suatu benda bergerak baik dalam bentuk perpindahan maupun dalam bentuk gerakan di tempat, getaran. Semakin tinggi energi atom-atom penyusun benda tersebut, semakin tinggi pula suhu benda tersebut. Suhu juga disebut temperatur yang dapat diukur dengan termometer. Empat macam satuan yang paling dikenal adalah Celsius ( $^{\circ}\text{C}$ ), Reaumur ( $^{\circ}\text{R}$ ), Fahrenheit ( $^{\circ}\text{F}$ ) dan Kelvin (K). Secara harfiah, kita bisa mengetahui bahwa suhu merupakan rasa dingin atau hangatnya suatu benda yang dapat dirasakan apabila kita menyetuhnya (Barnett dkk., 2010). Suhu udara yang ideal untuk lingkungan dapat berbeda-beda, bergantung pada konteksnya. Akan tetapi, dalam konteks kenyamanan termal, suhu udara yang ideal adalah sekitar 20-24  $^{\circ}\text{C}$  (Hamidy dkk., 2021).

#### **2.2.1.2 Kelembaban Udara**

Kelembaban udara adalah kandungan uap air yang berada di udara atau atmosfer. Penjelasan lain dari kelembaban itu merupakan hubungan antara banyaknya uap air yang ada di udara pada waktu tertentu dengan jumlah maksimum uap air di udara dengan kondisi tekanan dan temperatur yang sama (Cahyono, 2017). Kelembaban udara yang cukup tinggi menunjukkan indikasi langsung bahwa udara mengandung banyak uap air atau udara dalam kondisi lembab (Swarinoto dan Sugiyono, 2011). Kelembaban udara adalah parameter lingkungan penting yang sering diabaikan. Kondisi di bawah dan di atas nilai optimal dapat memudahkan penularan infeksi serta memperburuk penyakit pernapasan (Guarnieri dkk., 2023). Kelembaban

relatif udara yang ideal untuk lingkungan dapat berbeda-beda, bergantung pada konteknya. Akan tetapi, dalam konteks kenyamanan termal kelembapan relatif sekitar 30-60% (Hamidy dkk., 2021). perangkat yang digunakan untuk mengukur kelembapan adalah *Termohygrometer*. *Termohygrometer* dapat didesain untuk digunakan di dalam atau di luar ruangan (Tikkanen, 2023).

### **2.2.1.3 Karbon Monoksida (CO)**

Karbon monoksida (CO) adalah jenis gas yang termasuk zat berbahaya yang tidak dapat dilihat oleh panca Indra (Agustinus dkk., 2015). Gas diakibatkan oleh penggunaan kendaraan bermotor (Sarungallo dkk., 2017). Efek kesehatan terkait dengan paparan karbon monoksida beragam, mulai dari efek *kardiovaskular* (Raub dkk., 2000). Paparan gas CO dapat menyebabkan naiknya kadar Karboksihemoglobin (COHb) pada darah, sakit kepala, pusing, sesak nafas, mata berair, tekanan darah tinggi. Paparan gas CO juga dapat menyebabkan bronkitis, penyakit jantung coroner, hipertensi, stroke serta dapat menyebabkan *Delayed Encephalopathy After Acute Carbon Monoxide Poisoning* (DEACMP)(Rizaldi dkk., 2022).

### **2.2.1.4 Gas Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>)**

Karbon dioksida memiliki rumus kimia CO<sub>2</sub> 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. (Zid dan Hardi, 2019). Tingkat CO<sub>2</sub> yang aman bagi kesehatan telah diatur oleh berbagai organisasi. Menurut *American Conference of Governmental Industrial Hygienists* (ACGIH), nilai ambang batas atau *Threshold Limit Value* (TLV) rata-rata tertimbang waktu atau *Time-Weighted Average* (TWA) 8 jam untuk CO<sub>2</sub> adalah 5.000 ppm, dan batas ambang batas paparan (yang tidak boleh dilampaui) adalah 30.000 ppm untuk jangka waktu 10 menit. Nilai 40.000 ppm dianggap langsung berbahaya (Anonim, 2023). Fakta yang berkembang menunjukkan bahwa

konsentrasi CO<sub>2</sub> yang meningkat (>5.000 ppm) dapat berisiko langsung terhadap kesehatan manusia. Paparan CO<sub>2</sub> dalam waktu lama dapat menimbulkan efek kesehatan kronis, seperti peradangan, osteoporosis, gagal ginjal dan penyakit kardiovaskular (Jacobson dkk., 2019).

#### **2.2.1.5 Gas Amonia (NH<sub>3</sub>)**

Amonia (NH<sub>3</sub>) adalah tipe polusi yang biasa ditemukan di udara yang mudah dibedakan dari baunya yang tajam dan membahayakan jika terpapar ke tubuh manusia (Diana dkk., 2018). Gas amonia adalah jenis gas yang beracun, bersifat korosif, dan menyebabkan iritasi. Gas ini dapat masuk melalui saluran pernapasan, tertelan, dan kulit ke dalam tubuh manusia. Konsentrasi di atas 5 ppm merupakan konsentrasi yang dapat tercium oleh manusia dan berdampak negatif pada perkembangan unggas dan mengakibatkan gangguan kesehatan pada hewan ternak, pekerja, dan juga pada tubuh manusia. Dampak dari paparan amonia dengan tingkat konsentrasi yang tinggi dapat memberikan efek seperti sensasi terbakar pada kulit, mata, tenggorokan, dan keluhan-keluhan pada pernafasan (Justiani, 2021).

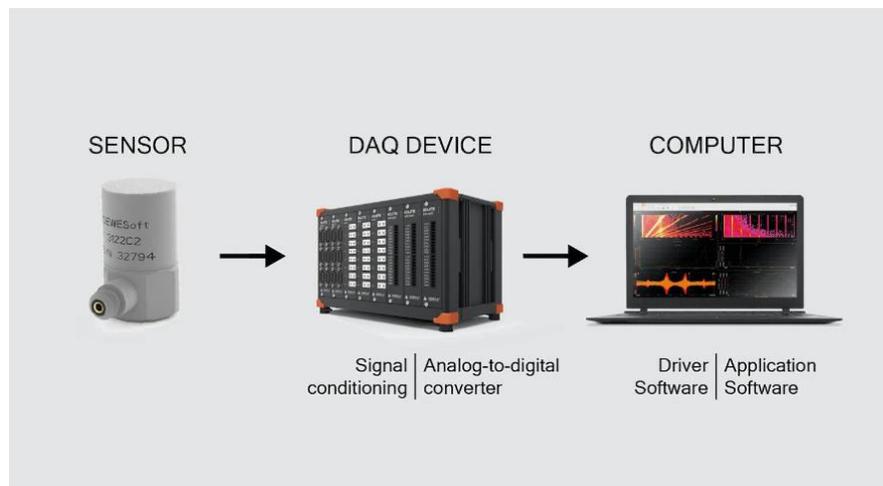
#### **2.2.1.6 Gas Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>)**

Sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dihasilkan dari pembakaran bahan bakar yang mengandung belerang, misalnya batu bara dan minyak dengan melalui proses pembakaran dan selama pemurnian minyak bumi. SO<sub>2</sub> dapat larut di dalam uap air hingga membentuk asam, serta dapat berinteraksi dengan gas dan partikel lain di udara untuk membentuk sulfat dan partikulat yang dapat terhirup lainnya. SO<sub>2</sub> berasal pembangkit listrik tenaga batu bara. Sumber-sumber lain termasuk kilang minyak bumi, pabrik semen, pabrik kendaraan bermotor, kapal, dan beberapa pembakaran diesel di jalan raya. SO<sub>2</sub> dapat berdampak kesehatan dan lingkungan. Jika dalam konsentrasi tinggi, gas SO<sub>x</sub> dapat menyebabkan kerusakan pada pohon dan tanaman dengan cara merusak dedaunan dan menghambat pertumbuhan. SO<sub>2</sub> dan sulfur oksida lainnya dapat mengakibatkan hujan asam yang dapat mengancam ekosistem yang rentan. Bagi kesehatan, dampak jangka pendek dari paparan SO<sub>2</sub> dapat

mengganggu sistem pernapasan manusia dan menyulitkan pernapasan (Agency, 2023).

### 2.2.2 Sistem Data Akuisisi

Sistem Akuisisi data atau *Data Acquisition* (DAQ) atau *Data Acquisition System* (DAS) adalah sebuah proses pengumpulan sampel sinyal yang mengukur karakteristik fisika dan kemudian mengubahnya ke dalam bentuk digital yang dapat dianalisis oleh komputer atau perangkat lunak (Smith, 2022). Proses sistem akuisisi data ditunjukkan pada **Gambar 2.3**.

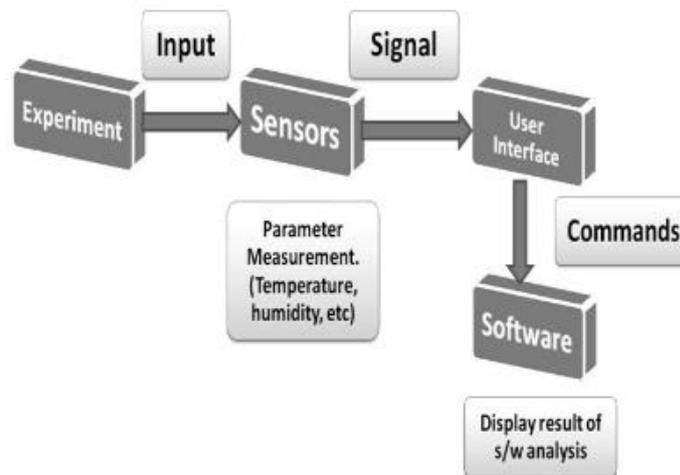


**Gambar 2.3** Proses sistem akuisisi data (Smith, 2022).

**Gambar 2.3** menunjukkan proses sistem akuisisi data. Pada saat dilakukan pengukuran dapat menggunakan sensor, lalu sensor akan mengirimkan ke perangkat sistem akuisisi data dapat berupa mikrokontroler. Mikrokontroler berfungsi untuk mengubah data dengan bantuan *Signal Conditioning* yaitu mengubah nilai *analog to digital converter* atau *digital to analog converter*. Mikrokontroler dapat mengolah dan mengirimkan data ke *driver*. *Driver* dapat berupa tampilan *computer*, *driver software* atau *application computer* yang digunakan untuk menampilkan data hasil pengukuran (Smith, 2022).

### 2.2.3 Data Logger

Data *logger* adalah sebuah piranti yang memiliki fitur untuk mengumpulkan data dalam jangka periode tertentu dan kemudian disimpan dalam *Secure Digital (SD Card)* (Aji dkk., 2021). Data *logger* berbasis PC menggunakan sebuah komputer untuk melakukan pengumpulan data melalui sensor untuk kemudian dianalisis dan ditampilkan hasilnya. Sistem data *logger* juga dapat memberikan fitur tambahan seperti monitoring proses dan pengendalian kontrol (Fauzi dkk., 2023). Pengoperasian *data logger* adalah untuk melakukan pengukuran sensor dan menyimpan data untuk digunakan di masa mendatang. Namun, sebuah *data logger* jarang hanya membutuhkan data akuisisi dan penyimpanan. Kebutuhan untuk menganalisa dan menyajikan data untuk menentukan hasil dan mengambil keputusan berdasarkan *data logger* sangat dibutuhkan. Aplikasi *data logger* yang menyeluruh umumnya membutuhkan sebagian besar elemen/komponen yang diilustrasikan **Gambar 2.4**.



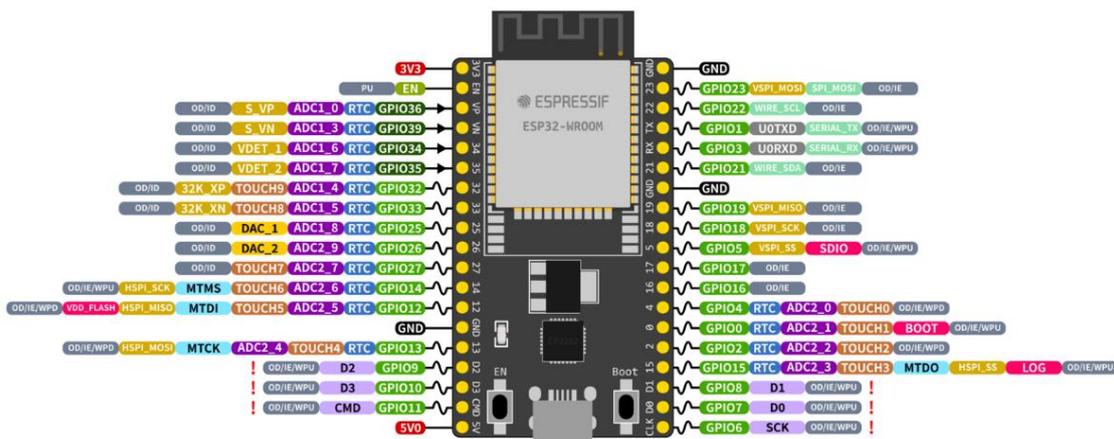
**Gambar 2.4** Proses data *logger* (Badhiye dkk., 2011).

Beberapa tahapan proses data *logger* yang ditunjukkan pada **Gambar 2.4** (a) eksperimen: Beberapa parameter yang akan diukur pada suatu lingkungan atau objek tertentu akan dimasukkan sebagai masukan pada bagian eksperimen; (b) Sensor: Masukan dari beragam sumber dikirimkan ke data *logger* seperti parameter suhu, kelembaban dimana hasil nilai sensor akan dikonversi ke nilai suhu dan kelembaban; (c) *User Interface*: berfungsi untuk berinteraksi dengan perangkat

lunak dan sensor, dirancang dan diimplementasikan dengan menggunakan analisis algoritme yang digunakan untuk penyimpanan data; **(d) Software:** Ini menyajikan informasi yang disimpan dari sensor dan juga menyimpan data yang dapat digunakan untuk penyimpanan jangka panjang (Badhiye dkk., 2011).

## 2.2.4 ESP 32

ESP32 adalah mikrokontroler *System on Chip* (SoC) yang *powerful* dengan Wi-Fi secara terintegrasi, *bluetooth* dengan mode *dual* versi 4.2 dan berbagai jenis perangkat tambahan. Mikrokontroler ini adalah jenis ESP tingkat lanjut penerus dari ESP8266 terutama dalam implementasi dua *core* dengan versi yang berbeda hingga 240 MHz. Dibandingkan dengan versi sebelumnya, selain fitur-fitur tersebut, chip ini juga memperluas jumlah pin *General Purpose Input/Output* (GPIO) dari 17 menjadi 36 dan dilengkapi dengan *flash* memori 4 MB (Babiuch dkk., 2019). Berikut adalah gambar pin ESP 32 yang ditunjukkan pada **Gambar 2.5**



**Gambar 2.5** Pinout ESP 32 (Espressif, 2023)

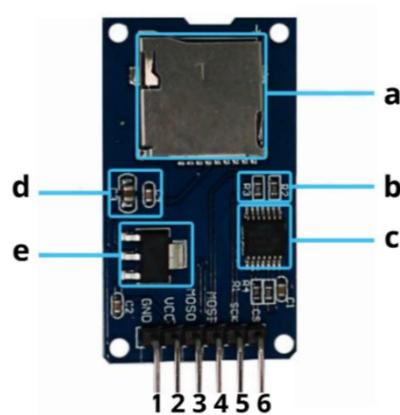
Adapun spesifikasi ESP 32 yang ditunjukkan pada **Tabel 2.2** (Espressif, 2023)

**Tabel 2.2** Spesifikasi ESP 32

Parameter	Spesifikasi
Tegangan operasi	2,2 V hingga 3,6 V
GPIO	36 ports
ADC	14 ports
DAC	2 ports
Penyimpanan memori	16 MB
SRAM	250 kB
Kecepatan operasi	sampai 240 MHz
Wi-Fi	2,4 GHz
Konsumsi arus	2,3 $\mu$ A
Bluetooth	802.11 b/g/n tipe HT40
Suhu	-40 °C sampai 125 °C
Dimensi	59,76 mm $\times$ 28,05 mm $\times$ 12,60 mm
Processor	Xtensa <i>dual-core</i> 32-bit LX6 600DIMPS

### 2.2.5 Modul *Micro Secure Digital (SD) Card Adapter*

*Micro SD Card Adapter* telah banyak dipergunakan dalam beragam penerapan, misalnya data *logging*, dan visualisasi data. Modul ini digunakan untuk mempermudah dalam mengakses kartu penyimpanan. Modul *Micro SD Card Adapter* adalah sebuah modul yang mudah digunakan dengan antarmuka *Serial Peripheral Interface* (SPI) dan dilengkapi dengan regulator tegangan 3,3 V untuk memberikan tegangan yang dibutuhkan oleh kartu penyimpanan (Datasheet, 2021a). **Gambar 2.6** adalah *pin out* modul *micro SD Card*.



**Gambar 2.6** Modul *Micro SD Card Adapter* (Datasheet, 2021a).

**Gambar 2.6** adalah modul *micro SD card adapter*. Modul ini terdapat beberapa bagian yaitu bagian **(a)** adalah tempat kartu penyimpanan, bagian **(b)** adalah resistor, bagian **(c)** adalah *level shitter*, bagian **(d)** adalah kapasitor dan bagian **(e)** adalah tegangan regulator. Modul *Micro SD Card adapter* terdiri dari 6 pin yaitu pin **(1)** adalah GND, pin **(2)** adalah VCC, pin catu daya dari modul *adapater* kartu micro sd yang dapat dikoneksikan ke catu daya 5 V atau 3,3 V. Pin **(3)** yaitu *Master in Slave Out* (MISO), Ini adalah data SPI yang keluar dari modul *adapter* kartu SD. Pin **(4)** yaitu *Master Out Slave In* (MOSI), yang digunakan sebagai masukkan dari modul ini. Pin **(5)** yaitu *Serial Clock* (SCK), digunakan untuk sinyal sinkronisasi data yang dihasilkan oleh arduino. Terakhir pin **(6)** yaitu *Chip Select* (CS), pin ini dapat dikontrol oleh arduino untuk mengaktifkan atau menonaktifkan modul (Das, 2022b).

Adapun spesifikasi modul *microSD card adapter* yaitu sebagai berikut:

- a. Tegangan Operasi: 4,5 V-5,5 V DC
- b. Membutuhkan Arus: 0,2-200 mA
- c. Regulator Tegangan: 3,3 V *on-board*
- d. Menyediakan sistem file *File Allocation Table* (FAT)
- e. Mendukung micro SD hingga 2 GB
- f. Mendukung *Micro Secure Digital High Capacity* (SDHC) hingga 32GB (Das, 2022a).

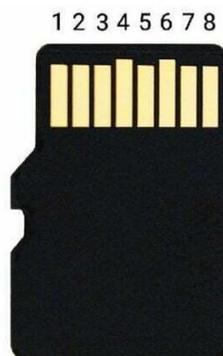
### 2.2.5.1 *Micro SD Card*

Kartu SD adalah kepanjangan dari kartu "*Secure Digital*", ada berbagai jenis kartu kartu penyimpanan, mulai dari kartu kartu penyimpanan berukuran besar yang digunakan dalam kamera hingga kartu SD mikro dan mini yang biasa digunakan pada ponsel dan pemutar MP3. Meskipun terdapat beberapa perbedaan penting di antara semua kartu ini, namun prinsip kerja yang mendasarinya adalah tetap sama.

Adapun spesifikasi kartu SD adalah sebagai berikut:

- a. Tegangan operasi: 2,7 V hingga 3,3 V
- b. Kapasitas: 4 GB, 8 GB, 16 GB, 32 GB.
- c. Sistem File: SD / SDHC / SDXC
- d. Sistem Penyimpanan: FAT12 dan FAT16
- e. Kecepatan Transfer: 95 MB
- f. Faktor Ukuran: 11 mm × 15 mm × 1 mm (Datasheet, 2018b)

Ada 8 pin pada kartu kartu penyimpanan yang harus hindari untuk tersentuh, karena dapat merusak kartu, meskipun kartu ini sudah terlindungi dari *Electrostatic Discharge* (ESD). Ada dua macam cara untuk menghubungkan kartu penyimpanan dengan mikrokontroler, yaitu mode SPI dan mode SD. Penentuan pin untuk kedua mode ini berbeda. Mode SD adalah yang paling pesat dan digunakan pada ponsel cerdas dan kamera *digital*. Sedangkan mode *Serial Peripheral Interface* (SPI) lebih pelan dan membutuhkan lebih sedikit waktu dibandingkan dengan mode SD, serta kompatibel dengan mikrokontroler apa pun yang memiliki SPI internal. Berikut ini adalah pin kartu penyimpanan yang ditunjukkan pada **Gambar 2.7**.

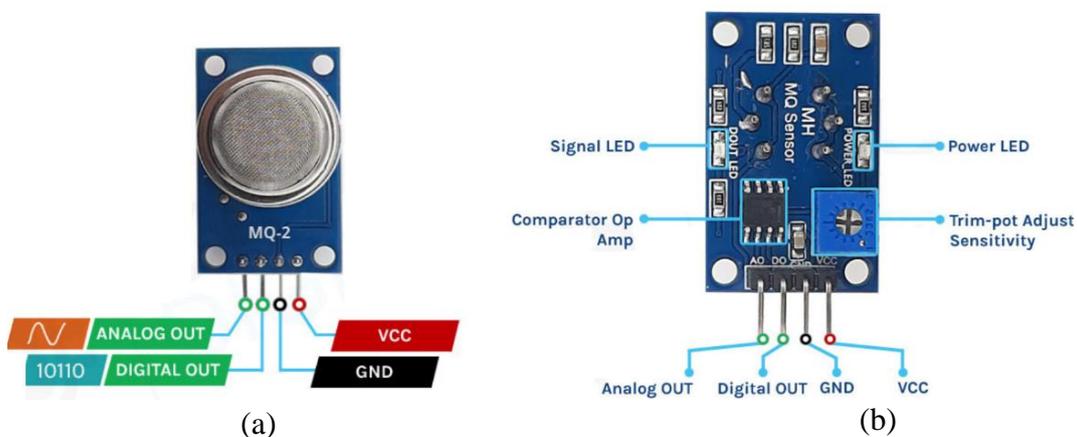


**Gambar 2.7** Pin *out* kartu micro SD (Mohan, 2021).

**Gambar 2.7** adalah pin out kartu *micro SD*. Modul ini memiliki 8 buah pin yaitu pin (1) adalah DAT2/X *not used*, pin (2) adalah DAT3/CS berfungsi opsi *chip*, pin (3) adalah *command* (CMD) berfungsi sebagai data masukan, pin (4) adalah VCC berfungsi sebagai *power supply* (+3,3 V), pin (5) adalah CLK/SCLK berfungsi sebagai *serial clock*, pin (6) adalah VSS berfungsi sebagai GND, pin (7) adalah DAT0/D0 berfungsi sebagai Data keluaran dan pin (8) adalah DAT1/X *not used* (Mohanana, 2021).

### 2.2.6 Sensor MQ-2

Sensor MQ-2 yaitu sensor yang berfungsi untuk mendeteksi kadar gas Alkohol, H<sub>2</sub>, LPG, CH<sub>4</sub>, CO, asap, dan propana (Hutagalung, 2018). Sensor MQ-2 terdiri dari elemen detektor yang terbuat dari Timah Dioksida (SnO<sub>2</sub>). Sensor ini berkerja saat lapisan semikonduktor SnO<sub>2</sub> dipanaskan hingga suhu tinggi dan oksigen akan teradsorpsi di permukaan. Ketika di udara bebas, elektron dari ikatan konduksi SnO<sub>2</sub> tertarik ke molekul oksigen. Hal ini membentuk lapisan penipisan elektron di bawah permukaan SnO<sub>2</sub>, yang menciptakan besarnya nilai resistansi yang dapat menghambat arus listrik mengalir dan memungkinkan sensor untuk mendeteksi dan merespons adanya gas tertentu dalam lingkungan (Chaudhary, 2022). Sensor gas MQ-2 memiliki sensitivitas tinggi terhadap propana dan asap, juga bisa mendeteksi gas alam dan uap yang mudah terbakar lainnya dengan baik (Datasheet, 2017a). Bentuk komponen sensor MQ-2 ditunjukkan pada **Gambar 2.8**.



**Gambar 2.8** (a) Pin Out sensor MQ-2 (Tampilan depan) (b) Pin Out sensor MQ-2 (Tampilan Belakang) (Das, 2022b).

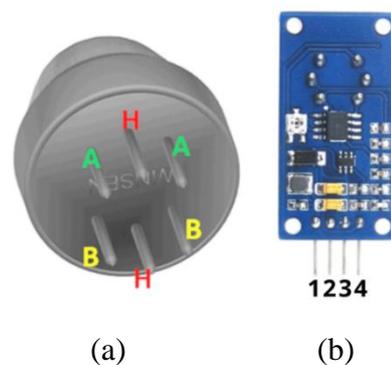
**Gambar 2.8** menunjukkan bentuk komponen sensor MQ-2. Sebagaimana modul yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8 (a)**, modul sensor MQ-2 ini mempunyai empat buah pin, dua diantaranya digunakan untuk VCC dan GND dan dua pin lainnya dapat digunakan untuk mengeluarkan data analog dan digital secara bersamaan. Untuk menyalakan modul ini, dapat memakai pin 5 V karena jangkauan tegangan operasi modul ini adalah 5V dengan toleransi  $\pm 0,1\%$ . Seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 2.8 (b)**, komponen ini memiliki dua buah LED. LED daya menyala saat daya dialirkan ke sensor dan LED *Dout* menyala saat nilai pemicu yang diatur oleh potensiometer terpenuhi. Komponen ini juga dilengkapi dengan pembanding *Op-Amp onboard* yang berperan untuk mengubah sinyal analog yang diterima dari sensor gas menjadi sinyal digital. Sensor ini juga mempunyai *Trim-pot* penyesuaian sensitivitas, sehingga dapat menyesuaikan sensitivitas perangkat dan modul ini mempunyai sejumlah kapasitor resistor untuk memisahkan dan memfilter (Das, 2022b). Perubahan tanda sensor dapat dilihat dengan menyala saat sensor terhubung ke tegangan 5 V menandakan sensor telah aktif, LED menyala pada saat modul terhubung ke tegangan 5 V. Pada saat sensor mendeteksi adanya gas LED keluaran dan pin keluaran akan menjadi tinggi namun jika sensor tidak mendeteksi gas LED keluaran dan pin keluaran akan tetap rendah (Datasheet, 2018d).

Spesifikasi dari sensor gas MQ-2 yaitu sebagai berikut:

- a. Catu daya: 5 V
- b. Catu daya pemanas internal: 5 V
- c. LPG dan Propane ( $C_3H_8$ ): 200-5000 ppm
- d. Butane ( $C_4H_{10}$ ): 300-5000 ppm
- e. Methane ( $CH_4$ ): 5000-20000 ppm
- f. Hidrogen ( $H_2$ ): 300-5000 ppm
- g. Keluaran sensor berupa tegangan analog
- h. Range konsentrasi gas yang mudah terbakar dari 300-10.000 ppm
- i. Beroperasi pada suhu  $-200\text{ }^\circ\text{C}$  hingga  $500\text{ }^\circ\text{C}$
- j. Konsumsi arus kurang dari 150 mA pada tegangan 5 V (Datasheet, 2017b).

### 2.2.7 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 memiliki fungsi untuk mendeteksi berbagai gas yang terdapat di udara. Sensor MQ-135 dapat digunakan untuk mendeteksi gas seperti  $\text{NH}_3$ ,  $\text{NO}_x$ , alkohol, benzena, asap dan  $\text{CO}_2$ . Kerangka luar baja menjadi tempat perangkat pendeteksi di dalam modul sensor gas. Bentuk komponen sensor MQ-135 ditunjukkan pada **Gambar 2.9**.



**Gambar 2.9** (a) Modul sensor MQ-135 (b) Pin sensor MQ-135 (Datasheet, 2018c).

**Gambar 2.9 (a)** menunjukkan modul sensor MQ-135 yang memiliki 6 pin, pin (**H**) terdiri dari dua pin, salah satu pin terhubung ke VCC dan pin lainnya ke GND, pin (**A**) dan pin (**B**) dapat berganti, salah satu pin akan terhubung ke VCC atau terhubung ke *output* sedangkan pin yang lainnya dapat terhubung ke GND. Dapat dilihat dari **Gambar 2.9(b)** adalah pin sensor MQ-135 yang memiliki empat buah pin yaitu pin (**1**) adalah pin analog, (**2**) adalah pin digital, pin (**3**) adalah GND dan Pin (**4**) adalah VCC. Modul ini dapat menggunakan pin digital atau pin analog. Perubahan tanda sensor dapat dilihat dengan menyala saat sensor terhubung ke tegangan 5 V menandakan sensor telah aktif, LED menyala pada saat modul terhubung ke tegangan 5 V. Pada saat sensor mendeteksi adanya gas LED keluaran dan pin keluaran akan menjadi tinggi namun jika sensor tidak mendeteksi gas LED keluaran dan pin keluaran akan tetap rendah. Modul ini dapat menggunakan potensiometer hingga keluaran menjadi menyala tinggi (Datasheet, 2018c).

### 2.2.8 Sensor MQ-136

Sensor MQ-136 ini terbuat dari tabung keramik mikro Alumunium Oksida ( $AL_2O_3$ ), lapisan sensitif Timah Dioksida ( $SnO_2$ ), elektroda pengukur, dan pemanas, yang dipasangkan ke dalam lapisan jaring baja tahan karat dan plastik. Alat pemanas ini menyediakan kondisi kerja tertentu untuk komponen yang sensitif. Sensor MQ136 mempunyai enam pin, empat di antaranya dipakai untuk mengambil sinyal, sedangkan dua pin lainnya untuk mengalirkan arus listrik (Nawazi, 2021). Pin *out* sensor MQ-136 ditunjukkan pada **Gambar 2.10**.



**Gambar 2.10** Pin *out* sensor MQ-136 (Nawazi, 2021).

**Gambar 2.10** adalah pin *out* sensor MQ-136. Modul ini memiliki empat kaki, dua di antaranya digunakan untuk VCC dan GND, dan dua pin lainnya dapat digunakan untuk mengeluarkan data *analog* dan *digital* secara bersamaan (Nawazi, 2021).

Adapun spesifikasi dari sensor MQ-136 yaitu sebagai berikut:

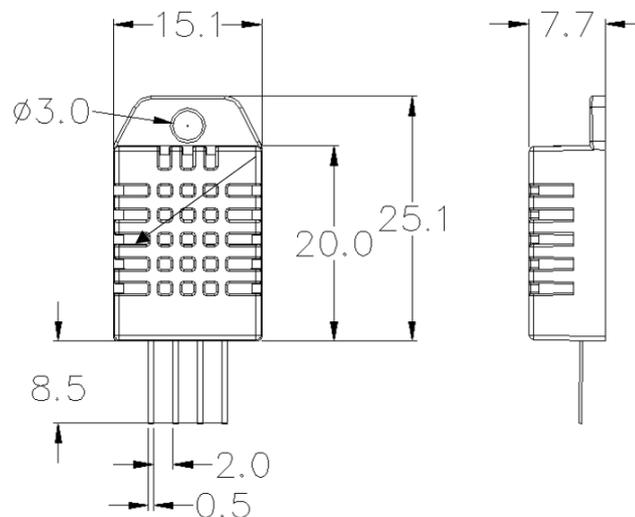
- a. Tegangan sirkuit:  $(5 \pm 0,1)$  V
- b. Tegangan pemanas:  $(5 \pm 0,1)$  V
- c. Resistensi beban: dapat menyesuaikan
- d. Resistensi pemanas:  $(31 \pm 5\%) \Omega$
- e. Pemakaian energi pemanas: kurang dari 800mw
- f. Resistensi Sensor:  $30k \Omega - 200k \Omega$  (10 ppm  $H_2S$ )
- g. Suhu:  $20 \text{ }^\circ\text{C} \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$
- h. Kelembaban:  $65\% \pm 5\%$  (Nawazi, 2021).

Sensor MQ-136 berfungsi untuk mendeteksi kadar gas  $SO_2$  dan  $H_2S$ . Ketika kadar gas  $SO_2$  dan  $H_2S$  gas muncul, konduktivitas sensor menjadi lebih tinggi dengan meningkatnya konsentrasi gas. Pengguna dapat mengubah perubahan konduktivitas untuk keluaran yang keluaran sesuai dengan sinyal konsentrasi gas melalui

rangkaian sederhana dan juga dapat memantau uap panas organik termasuk belerang dengan baik (Datasheet, 2021b).

### 2.2.9 Sensor DHT22

Sensor *Digital Humidity and Temperature* (DHT22) adalah sensor Suhu dan kelembaban yang sering digunakan. Sensor ini disertai dengan *Negative Temperature Coefficient* (NTC) khusus yang dapat mengukur suhu dan mikrokontroler 8-bit untuk mengeluarkan nilai suhu dan kelembaban sebagai data serial. Sensor ini juga sudah dikalibrasi oleh pabrik sehingga mudah untuk dihubungkan dengan mikrokontroler lain (Datasheet, 2018a). Sensor DHT22 ditunjukkan pada **Gambar 2.11**.

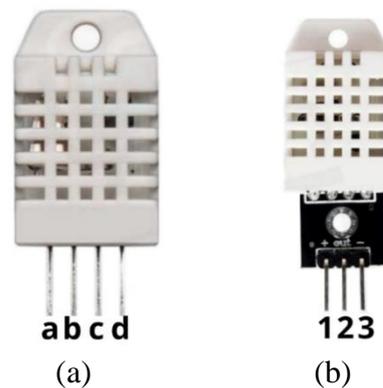


**Gambar 2.11** sensor DHT22 (Datasheet, 2018a)

Adapun spesifikasi sensor DHT22 adalah sebagai berikut:

- Tegangan Operasi: 3,5 V hingga 5,5 V
- Arus daya pemakaian: 0,3 mA
- Rentang Suhu: -40 °C hingga 80 °C
- Rentang Kelembaban: 0 - 100%
- Resolusi: Suhu dan Kelembaban keduanya adalah 16-bit
- Akurasi:  $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$  dan  $\pm 1\%$  (Datasheet, 2018a).

Adapun pin *Out* sensor DHT ditunjukkan pada **Gambar 2.12**.



**Gambar 2.12** (a) Modul sensor DHT22 (b) Pin *Out* Sensor DHT22 (Das, 2023).

**Gambar 2.12 (a)** adalah modul sensor DHT22 sensor tanpa kabel DHT22 memiliki 4 pin. adalah pin (**d**) untuk VCC dan pin (**a**) GND, dan satu pin (**b**) untuk data dan pin (**c**) tambahan adalah pin *not used*, dan tidak mempunyai fungsi. **Gambar 2.12 (b)** adalah pin *out* sensor DHT 22. Sensor DHT22 mempunyai total 3 pin. Dimana pin (**1**) untuk VCC, pin (**2**) untuk data dan pin (**3**) untuk GND (Das, 2023).

### 2.2.10 Modul DMD P10

Modul *dot matrix display* (DMD P10) adalah tampilan LED 16×32 yang dapat digunakan baik di dalam maupun di luar ruangan (Datasheet, 2015). DMD P10 merupakan sebuah kumpulan dari beberapa *Light Emitting Diode* (LED) dengan rentang jarak tertentu yang dapat menampilkan sebuah karakter berupa huruf, angka, dan gambar. Sistem DMD P10 saat ini sedang sangat digemari dan dimanfaatkan untuk menampilkan iklan dalam bentuk teks berjalan, pengumuman atau penunjuk waktu. Dikarenakan sifatnya yang informatif (mampu menampilkan banyak karakter huruf atau angka) serta dinamis (Wiyagi dkk., 2021). Berikut adalah pin modul DMD P10 yang ditunjukkan pada **Gambar 2.13**.



**Gambar 2.13** Pin Out Modul DMD P10 (Das, 2020).

**Gambar 2.13** adalah pin out modul DMD P10. Papan tampilan DMD ini menggunakan *header* 16-pin untuk koneksi masukan dan keluaran. Selain itu, terdapat konektor 5 V eksternal di bagian tengah modul yang digunakan untuk menghubungkan daya eksternal ke papan. *Enable*: Pin ini dipergunakan untuk mengendalikan kecerahan panel P10, dengan memberikan pulsa PWM ke panel tersebut. A, B: disebut pin pilihan multipleks. Pin ini menerima masukan digital untuk memilih baris multipleks. *Shift clock* (CLK), *Store clock* (SCLK), dan pin kontrol *shift register* normal (Das, 2020).

### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada bulan Januari 2024 sampai dengan bulan Juni 2024 bertempat di Laboratorium Elektronika, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam (FMIPA), Universitas Lampung.

#### 3.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini diperlukan beberapa bahan dan alat untuk membuat sistem monitoring kualitas udara. Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1** Perangkat lunak yang digunakan.

No	Nama Perangkat Lunak	Fungsi
1.	<i>Fritzing</i>	Untuk membuat desain rangkain
2.	IDE Arduino	Untuk membuat dan mengupload program ke mikrokontroler
5.	<i>Origin</i>	Untuk mengolah data dan membuat grafik penelitian

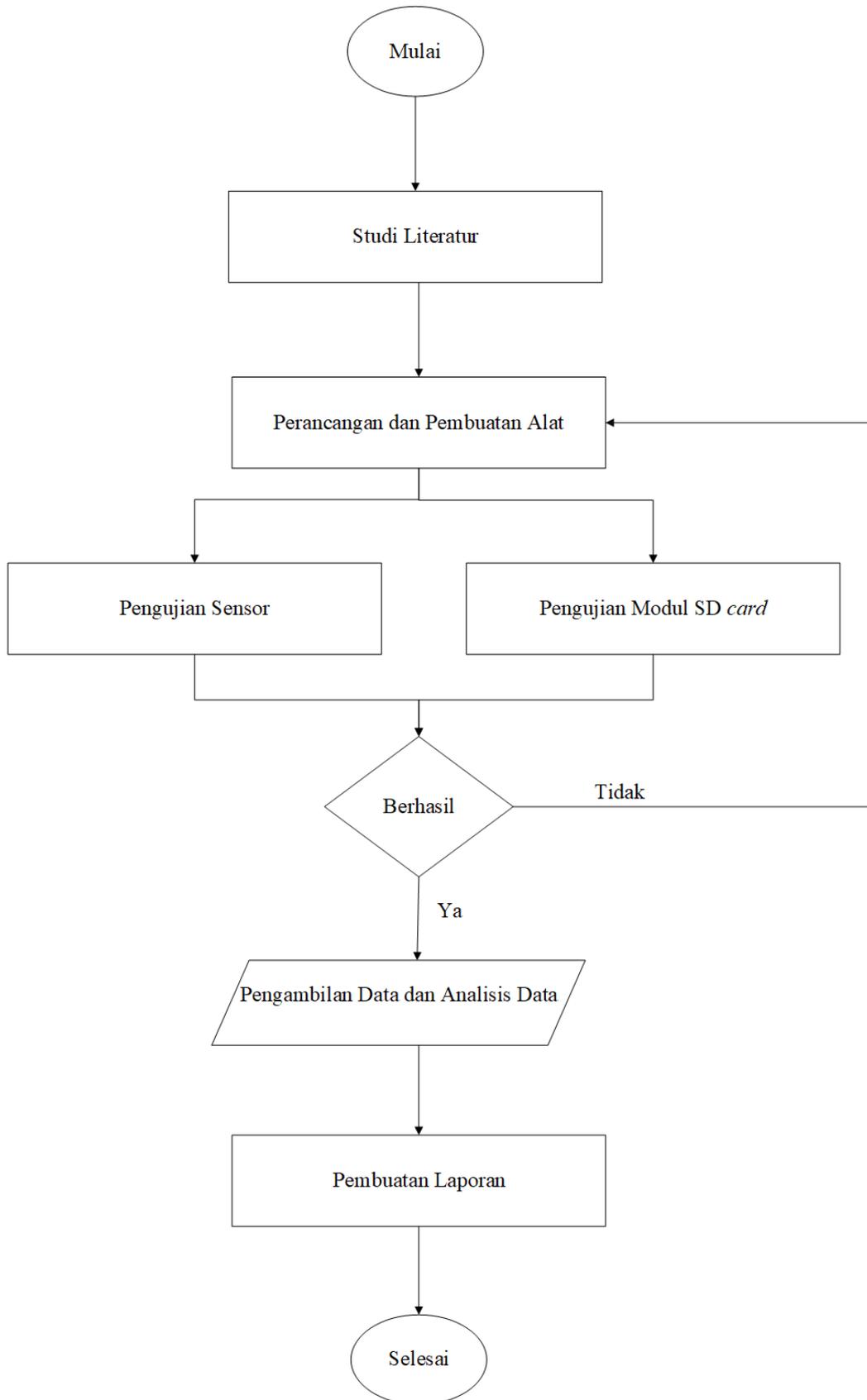
Bahan yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada **Tabel 3.2**.

**Tabel 3.2** Bahan yang digunakan.

No	Nama Bahan	Fungsi
1.	ESP32	Sebagai sistem kontrol perangkat sistem monitoring kualitas udara
2.	Arduino Uno	Sebagai sistem kontrol perangkat sistem monitoring kualitas udara
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.	Sensor MQ-136	Untuk mengukur kadar SO <sub>2</sub>
6.	Sensor DHT22	Untuk mengukur suhu dan kelembaban udara
7.	<i>Power Supply</i>	Sebagai sumber tegangan
8.	Panel P10	Untuk menampilkan keluaran sensor
9.	<i>Protoboard</i>	Sebagai papan rangkaian
10.	<i>Kabel jumper</i>	Untuk menghubungkan komponen dengan <i>protoboard</i>
11.	Modul SD <i>card adapter</i>	Modul pembaca kartu penyimpanan
12.	Kartu penyimpanan	Sebagai media penyimpanan data pengukuran
13.	Modul konverter DMD	Sebagai penghubung panel P10 dengan Arduino Uno
14.	Kabel IDC 16 pin	menghubungkan Arduino Uno ke modul-modul dan controller running text dan videotron

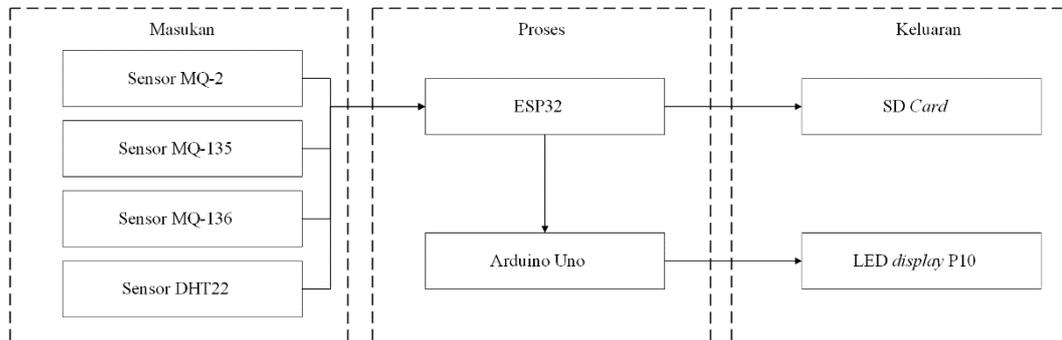
### 3.3 Prosedur Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian terdapat beberapa tahapan antara lain perancangan perangkat, pengujian sensor, pengambilan data dan analisis hasil. Secara keseluruhan, pembuatan sistem monitoring kualitas udara disajikan dalam diagram alir yang ditunjukkan seperti pada **Gambar 3.1**.



**Gambar 3.1** Diagram alir penelitian.

Berikut ini adalah diagram blok rangkaian sistem monitoring kualitas udara yang digunakan untuk mendeteksi kadar gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, suhu dan kelembaban udara yang ditunjukkan pada **Gambar 3.2**.

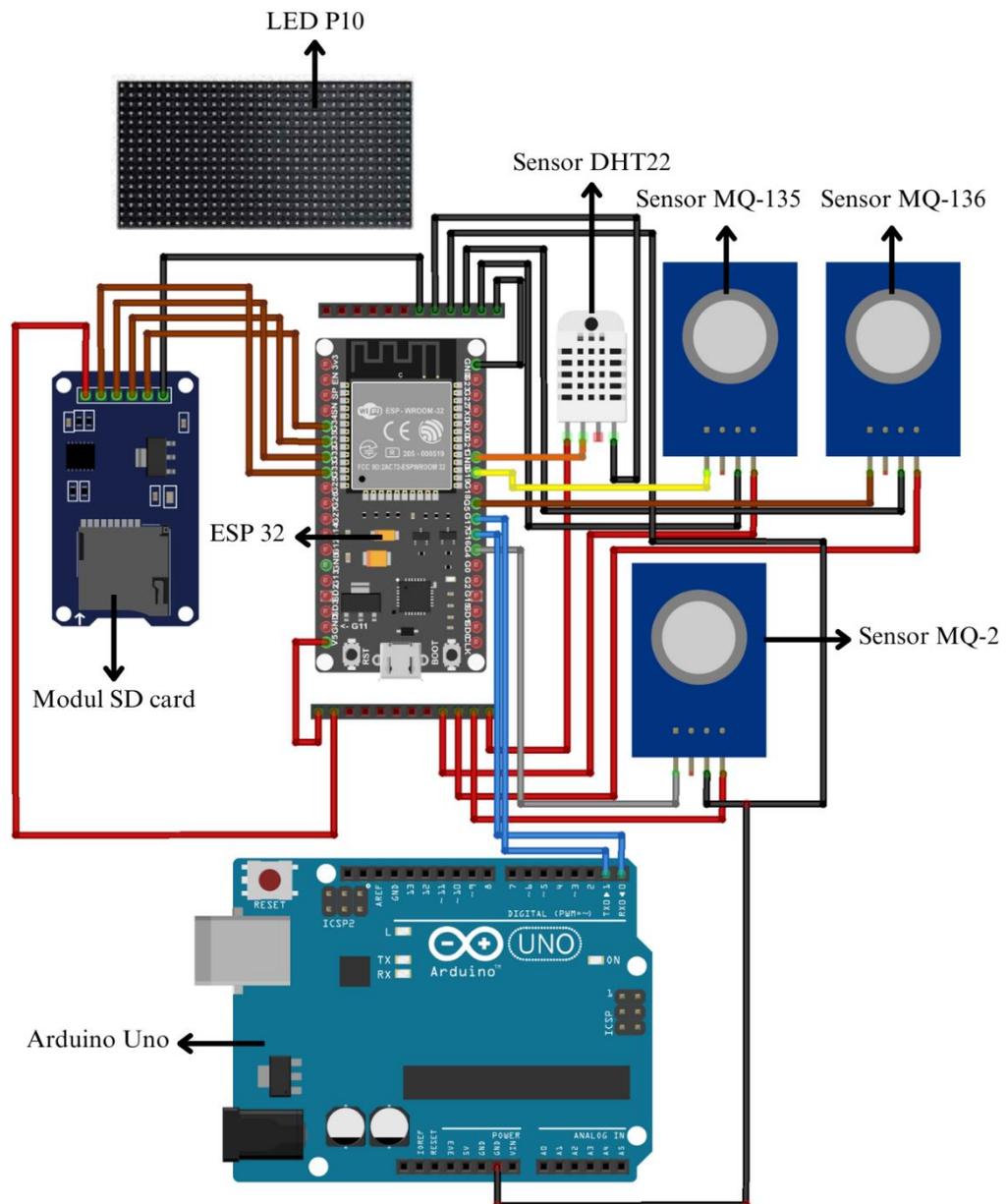


**Gambar 3.2** Diagram blok penelitian.

Masukan pada sistem monitoring kualitas udara berupa mendeteksi kadar gas CO, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub>, suhu dan kelembaban udara kemudian akan dideteksi oleh sensor MQ-2, sensor MQ-135, sensor MQ-136 dan sensor DHT22. Sensor akan mengirimkan data berupa data analog dan diolah lalu melalui ESP32 lalu dikirimkan melalui komunikasi serial dengan Arduino Uno. Arduino Uno berfungsi untuk mengontrol dan menampilkan data hasil ke panel P10. Data yang diterima dari ESP32 akan disimpan di kartu penyimpanan dan juga ditampilkan ke panel P10.

### 3.3.1 Perancangan Perangkat

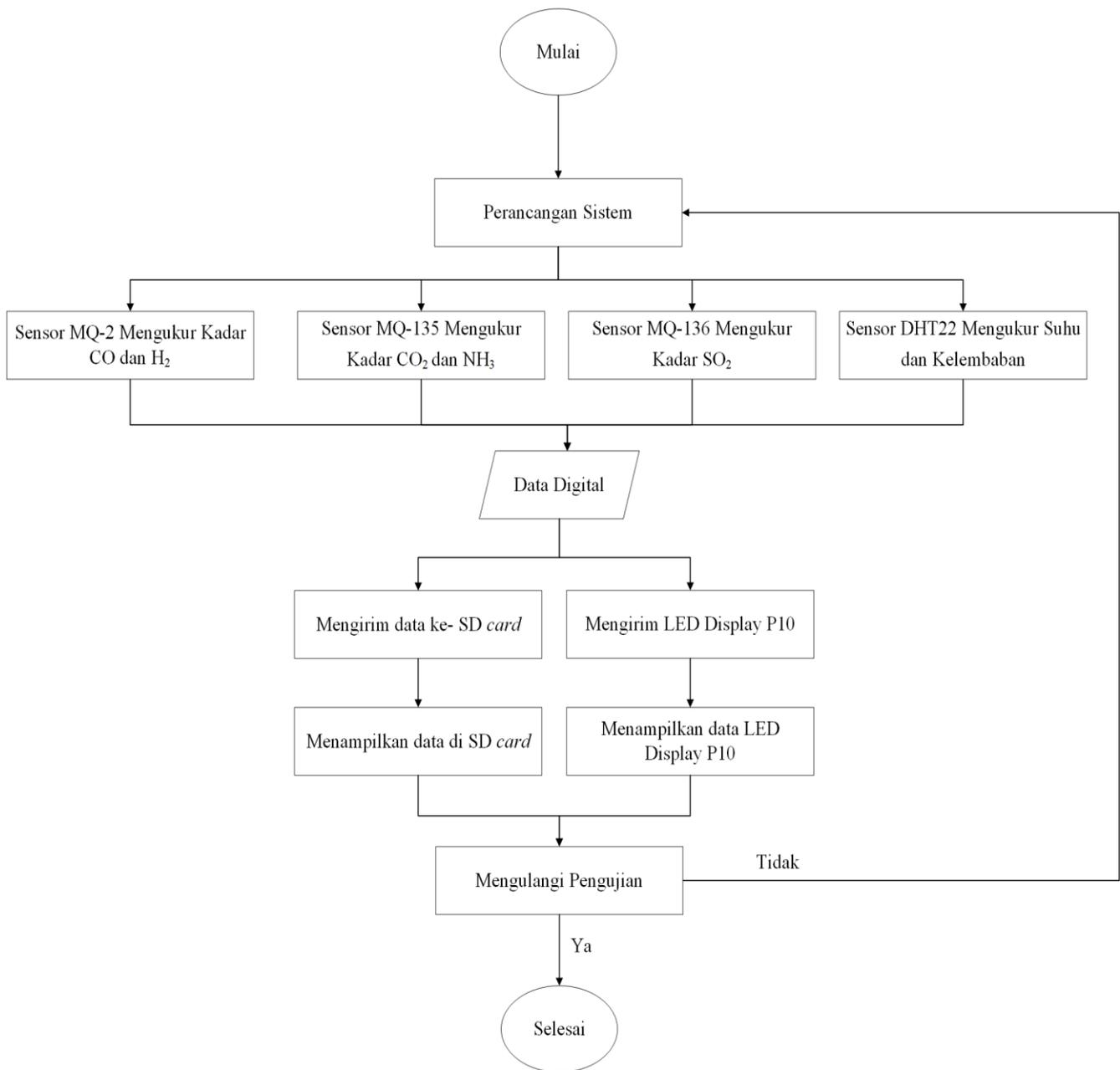
Pada penelitian ini, menggunakan beberapa sensor diantaranya sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi kadar gas CO dan H<sub>2</sub>, sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi kadar gas CO<sub>2</sub> dan NH<sub>3</sub>, sensor MQ-136 digunakan untuk mengukur kadar gas SO<sub>2</sub> dan sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban di udara. Terdapat modul *microSD card adapter* digunakan untuk membaca kartu penyimpanan. Kartu penyimpanan berfungsi untuk menyimpan data dari parameter-parameter kualitas udara. Data hasil pengukuran akan ditampilkan di panel P10. Rangkaian sistem penyimpanan kualitas udara ditunjukkan pada **Gambar 3.3**.



**Gambar 3.3** Rangkaian sistem penyimpanan data kualitas udara.

### 3.3.2 Perancangan Sistem Akuisisi Data Monitoring Kualitas Udara

Adapun perancangan sistem akuisisi data monitoring monitoring kualitas udara dengan data keluaran ditampilkan ke LED *display* P10 dan data sensor akan disimpan SD *card*. Perancangan ini dibuat melalui beberapa tahapan sebagai penyusun alur pembuatan yaitu dengan menggunakan diagram alir. Diagram alir perancangan *software* ditunjukkan pada **Gambar 3.4**.



**Gambar 3.4** Diagram alir perancangan *software*.

### 3.4 Pengujian Alat

#### 3.4.1 Pengujian Sensor

Tahap ini yaitu pengujian dan kalibrasi sensor yang bertujuan untuk mengetahui respon dan kondisi sensor terhadap parameter yang akan diuji. Pada tahap ini juga

dilakukan konversi nilai data analog dari sensor MQ-2, sensor MQ-135, sensor MQ-136 dan sensor DHT22 ke bentuk satuan yang telah ditetapkan. Berikut adalah tahapan kalibrasi sensor.

- a. Kalibrasi sensor MQ-2 dilakukan di ruang terbuka dengan membandingkan nilai keluaran tegangan sensor dengan nilai pada alat standar.
- b. Kalibrasi sensor MQ-135 dilakukan di ruang terbuka dengan membandingkan nilai keluaran tegangan sensor dengan nilai pada alat standar.
- c. Kalibrasi sensor DHT22 dilakukan di ruang terbuka dengan membandingkan nilai keluaran tegangan sensor dengan nilai pada alat standar.

Data kalibrasi sensor ditunjukkan pada **Tabel 3.3**.

**Tabel 3.3** Data pengujian sensor.

No	Parameter yang diuji	Nilai yang terukur									
		Alat yang dibuat					Alat standar				
		1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
1	Suhu (°C)										
2	Kelembaban(%)										
3	CO (ppm)										
4	CO <sub>2</sub> (ppm)										
5	NH <sub>3</sub> (ppm)										

**Tabel 3.4** Nilai kalibrasi sensor.

No	Parameter yang diuji	Ralat (%)	Akurasi (%)
1	Suhu (°C)		
2	Kelembaban (%)		
3	CO (ppm)		
4	CO <sub>2</sub> (ppm)		
5	NH <sub>3</sub> (ppm)		

Persamaan yang digunakan untuk menghitung nilai Ralat dan akurasi dapat menggunakan **Persamaan (3.1)** dan **(3.2)**.

$$\%R = \left| \frac{X-Y}{X} \right| \times 100\% \quad (3.1)$$

$$\%A = 100\% - \%R \quad (3.2)$$

Dimana  $X$  adalah Nilai pengukuran pada alat yang dibuat,  $Y$  adalah nilai pengukuran pada alat standar,  $R$  adalah nilai ralat (%) dan  $A$  adalah nilai akurasi (%).

### 3.4.2 Pengujian *MicroSd Card*

Pada tahap ini dilakukan pengambilan data pada *microSD card* yang bertujuan untuk mengetahui kapasitas penyimpanan (GB) terhadap durasi pengambilan data pada parameter-parameter kualitas udara. Durasi pengambilan dilakukan setiap 15 menit selama 24 jam, 30 menit selama 24 jam, 60 menit selama 24 jam, 120 menit selama 24 jam dan 240 menit selama 24 jam. Pengaruh data waktu pengambilan terhadap besarnya penyimpanan yang digunakan ditunjukkan pada **Tabel 3.5**.

**Tabel 3.5** Data penggunaan pada kartu penyimpanan.

No	Durasi Pengambilan (menit/hari)	Jumlah Data	Kartu Penyimpanan	
			Terpakai (MB)	Sisa (MB)
1	15			
2	30			
3	60			
4	120			
5	240			

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan data hasil monitoring serta penyimpanan data hasil pengukuran parameter gas gas CO<sub>2</sub>, CO, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> serta suhu dan kelembapan udara yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut.

1. Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sistem monitoring kualitas udara serta data hasil pengukuran berhasil disimpan di kartu penyimpanan dengan baik. Sistem juga mampu menampilkan data secara *real-time* di panel LED P10.
2. Alat sistem monitoring mampu mengukur kadar CO<sub>2</sub> dengan ralat sebesar 0,10% dan akurasi sebesar 99,90%, kadar CO dengan ralat sebesar 0,93% dan akurasi sebesar 99,07%, kadar NH<sub>3</sub> dengan ralat sebesar 1,71% dan akurasi sebesar 98,29% dan alat ini mampu mengukur suhu dengan ralat sebesar 0,17% dan akurasi sebesar 99,83%, serta dapat mengukur tingkat kelembaban udara dengan ralat sebesar 0,55% dan akurasi sebesar 99,45%.
3. Penelitian ini juga berhasil mengukur kapasitas kartu penyimpanan terhadap durasi proses pengambilan data. Kartu penyimpanan yang digunakan mampu menampung data hasil pengukuran dalam periode yang panjang.

## 5.2 Saran

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

1. Pengembangan sistem dengan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk memungkinkan pemantauan *real-time* dari jarak jauh.
2. Menggunakan sensor dengan tingkat akurasi yang lebih tinggi dan lakukan kalibrasi secara berkala untuk memastikan data yang dihasilkan tetap valid.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abidin, J., dan Artauli Hasibuan, F. (2019). Pengaruh Dampak Pencemaran Udara Terhadap Kesehatan Untuk Menambah Pemahaman Masyarakat Awam Tentang Bahaya Dari Polusi Udara. *Prosiding SNFUR-4*, 6(3), 1–7.
- Agency, E. P. (2023). *Sulfur Dioxide Basics*. <https://www.epa.gov/so2-pollution/sulfur-dioxide-basics#what-is-so2>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Agustinus, L., Setyangsih, F. A., dan Rismawan, T. (2015). Rancang Bangun Prototype Pendeteksi Kadar CO Sebagai Informasi Kualitas Udara Berbasis Mikrokontroler. *Jurnal Coding Sistem Komputer Untan*, 03(2), 44–53.
- Aji, K., Ulum, M., Haryanto, dan Alfita, R. (2021). Implementasi Data Logger Sebagai Perangkat Monitoring Pada Sistem Desalinasi Hybrid Berbasis Energi Terbarukan. *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah*, 15(1), 1–16.
- Anonim. (2023). *Carbon Dioxide Levels Chart*. CO2METER Gas Measurement Specialist. <https://www.co2meter.com/blogs/news/carbon-dioxide-indoor-levels-chart>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Aryanta, I. W. R., dan Maharan, S. E. (2023). Dampak Buruk Polusi Udara Bagi Kesehatan Dan Cara Meminimalkan Risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), 1–12.
- Asmazori, M., dan Firmawati, N. (2021). Rancang Bangun Alat Pendeteksi NOx dan CO Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Notifikasi Via Telegram dan Suara. *Journal of Information Technology and Computer Engineering (JITCE)*, 5(02), 57–62.
- Astuti, T., Parenta, T., dan Paddu, H. (2014). The Role of Manufacturing Industrial Activity in the Environmental Pollution in South Sulawesi. *Jurnal Analisis*, 3(1), 49–56.
- Babiuch, M., Foltynnek, P., dan Smutny, P. (2019). Using the ESP32 microcontroller for data processing. *Proceedings of the 2019 20th International Carpathian Control Conference, ICC 2019*, 1–6.
- Badhiye, S. S., Chatur, P. N., dan Wakode, B. V. (2011). Data logger system: A Survey. *International Journal of Computer Technology and Electronics Engineering (IJCTEE)*, 24–26.

- Barnett, A. G., Tong, S., dan Clements, A. C. A. (2010). What measure of temperature is the best predictor of mortality? *Environmental Research*, 110(6), 604–611.
- Cahyono, T. (2017). *Penyehatan Udara*. Penerbit Andi.
- Chaudhary, B. (2022). *MQ2 Gas Sensor – Working & Its Applications*. <https://www.semiconductorforu.com/mq2-gas-sensor-working-its-applications/>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Das, D. (2020). *Build an Arduino Scoreboard using Outdoor P10 LED Matrix Display and Update Scores Remotely using Smartphone*. Circuit Digest. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/bluetooth-controlled-arduino-scoreboard-using-p10-led-matrix-display>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Das, D. (2022a). *How Does a Micro SD Card Module Work and How to Interface it with Arduino?* Circuit Digest. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-micro-sd-card-module-with-arduino>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Das, D. (2022b). *How Does MQ-2 Flammable Gas and Smoke Sensor Work with Arduino?* Circuit Digest. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interfacing-mq2-gas-sensor-with-arduino>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Das, D. (2023). *Interfacing DHT22 Humidity & Temperature Sensor with Arduino*. Circuit Digest. <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/interface-dht22-sensor-module-with-arduino>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2015). *P10 Single Color LED Display*. <https://www.iled.com/class/INNOVAEditor/assets/YeniDatasheets/2120-2124p10tekrenk.pdf>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2017a). *Product Information Technical MQ-2 Gas Sensor*. <http://www.sparkfun.com/datasheet/Sensors/MQ-2.pdf>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2017b). *Technical MQ-2 Gas Sensor*. <https://www.mouser.com/datasheet/2/321/605-00008-MQ-2-Datasheet-370464.pdf>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2018a). *DHT22 – Temperature and Humidity Sensor*. Components 101. [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/DHT22\\_Sensor\\_Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/DHT22_Sensor_Datasheet.pdf). Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2018b). *MicroSD Card*. Components 101. [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/MicroSD\\_Card\\_Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/MicroSD_Card_Datasheet.pdf). Accessed: 08 Desember 2023.

- Datasheet. (2018c). *MQ-135 - Gas Sensor for Air Quality*. Components 101. <https://components101.com/sensors/mq135-gas-sensor-for-air-quality>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2018d). *MQ2 Gas Sensor*. [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/MQ2 Gas sensor.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/MQ2%20Gas%20sensor.pdf). Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2021a). *Micro SD Card Module for Arduino*. Components 101. [https://components101.com/sites/default/files/component\\_datasheet/Micro-SD-Card-Module-Datasheet.pdf](https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/Micro-SD-Card-Module-Datasheet.pdf). Accessed: 08 Desember 2023.
- Datasheet. (2021b). *MQ136 Gas Sensor for Hydrogen Sulfide*. Winsen. <https://www.winsen-sensor.com/d/files/manual/mq136.pdf>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Dewi, W. C., Raharjo, M., dan Endah Wahyuningsih, N. (2021). Literatur Review : Hubungan Antara Kualitas Udara Ruang Dengan Gangguan Kesehatan Pada Pekerja. *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, 8(1), 88–94.
- Dewiningsih, U. (2018). Faktor Lingkungan dan Perilaku Kejadian Pneumonia Balita Usia 12-59 Bulan. *HIGEIA (Journal of Public Health Research and Development)*, 2(3), 453–464.
- Diana, M. P., Roekmijati, W. S., dan Suyud, W. U. (2018). Why it is often underestimated: Historical Study of Ammonia Gas Exposure Impacts towards Human Health. *E3S Web of Conferences*, 73, 1–5.
- Ernyasih, E., Mallongi, A., Daud, A., Palutturi, S., Stang, S., Thaha, A. R., Ibrahim, E., dan Al Madhoun, W. (2023). Health risk assessment through probabilistic sensitivity analysis of carbon monoxide and fine particulate transportation exposure. *Global Journal of Environmental Science and Management*, 9(4), 933–950.
- Espressif Systems. (2023). *ESP32 WROOM 32*. Espressif Systems.
- Fauzi, R., Mustari, A., Santoso, R., Rahmah, dan Tursina, M. E. R. (2023). Rancang Bangun Prototipe Alat Monitoring Potensi Likuifaksi Pada Suatu Daerah Berbasis Data Logger. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Elektro dan Informatika (SNTEI)*, 46–55.
- Guarnieri, G., Olivieri, B., Senna, G., dan Vianello, A. (2023). Relative Humidity and Its Impact on the Immune System and Infections. *International Journal of Molecular Sciences*, 24(11), 3–11.
- Hakim, T. N., dan Susanto, M. F. (2020). Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Internet of Things. *Prosiding The 11th Industrial Research Workshop and National Seminar*, 1, 496–502.
- Hamidy, A. N., Sudarti, dan Yushard. (2021). Analisis Perubahan Suhu Lingkungan

- Terhadap Kenyamanan Masyarakat Di Desa Sumber Tengah. *Jurnal Pembelajaran Fisika*, 10(2), 70–76.
- Haruna, H., Lahming, L., Amir, F., dan Asrib, A. R. (2019). Pencemaran Udara Akibat Gas Buang Kendaraan Bermotor Dan Dampaknya Terhadap Kesehatan. *UNM Environmental Journals*, 2(2), 57–61.
- Hasairin, A., dan Siregar, R. (2018). Deteksi Kandungan Gas Karbon Monoksida (Co) Hubungan Dengan Kepadatan Lalu-Lintas Di Medan Sunggal, Kota Medan Detection of Gas Carbon Monoxide (Co) Relationship With Traffic Density At Medan Sunggal, Medan City. *Jurnal Biosains*, 4(1), 67–88.
- Hidayati, Q., Rachman, F. Z., dan Rimbawan, M. A. S. (2020). Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Fuzzy Logic. *Seminar Nasional Terapan Riset Inovatif (SENTRINOV)*, 6(1), 260–267.
- Hutagalung, D. D. (2018). Rancang Bangun Alat Pendeteksi Kebocoran Gas Dan Api Dengan Menggunakan Sensor MQ2 Dan Flame Detector. *Jurnal Rekayasa Informasi*, 7(2), 1–11.
- Inaiyah Agustin, E., Winarno, Wahyu Amrulloh, D., dan Regita Cahyani, S. (2018). Aplikasi Sensor Gas Untuk Sistem Peringatan Dini Deteksi Gas Amoniak. *Jurnal J-Innovation*, 7(1), 1–6.
- Jacobson, T. A., Kler, J. S., Hernke, M. T., Braun, R. K., Meyer, K. C., dan Funk, W. E. (2019). Direct Human Health Risks of Increased Atmospheric Carbon Dioxide. *Nature Sustainability*, 2(8), 691–701.
- Justiani, A. A. (2021). Hubungan paparan gas Amonia dengan gangguan pernapasan pada pekerja peternakan ayam. *Jurnal Medika Hutama*, 2(2), 750–756.
- Kehutanan, K. L. H. dan. (2021). *Uji Emisi Kendaraan Sebagai Bentuk Kontribusi Masyarakat Terhadap Pengendalian Pencemaran Udara*. <https://ppkl.menlhk.go.id/website/index.php?q=974&s=8383da94fbc3893a50deddfd249fa33c22a1d215>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. (2020). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia No 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemaran Udara (pp. 1–16). In *Permen LHK Nomor 14 Tahun 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)*. Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kusuma, I. G. B. W. (2002). Alat Penurun Emisi Gas Buang Pada Motor, Mobil, Motor Tempel Dan Mesin Pembakaran Tak Bergerak. *MAKARA of Technology Series*, 6(3), 95–101.
- Lahal, A., dan Suharyanto, C. E. (2020). Rancang Bangun Alat Monitoring Polusi Udara Berbasis Arduino. *Comasie*, 5(1), 54–63.

- Mohanan, V. (2021). *Interfacing Catalex Micro SD Card Module with Arduino*. [https://www.circuitstate.com/tutorials/interfacing-catalex-micro-sd-card-module-with-arduino/#google\\_vignette](https://www.circuitstate.com/tutorials/interfacing-catalex-micro-sd-card-module-with-arduino/#google_vignette). Accessed: 08 Desember 2023.
- Nawazi, F. (2021). *MQ136 Hydrogen Sulfide Gas Sensor Module*. Lixinc Electronics. [https://www.circuits-diy.com/mq136-hydrogen-sulfide-gas-sensor-module/#google\\_vignette](https://www.circuits-diy.com/mq136-hydrogen-sulfide-gas-sensor-module/#google_vignette). Accessed: 08 Desember 2023.
- Prasetyo, D., Ibrahim, Adzilla, W. N., dan Saragih, Y. (2021). Implementasi Pemantauan Kualitas Udara dengan Menggunakan MQ-7 dan MQ-131 Berbasis Internet of Things. *Journal of Electrical Technology (JET)*, 6(1), 18–22.
- Purnowo, D., Setiawan, A., dan Yusmaniar, Y. (2023). Pengaruh Faktor Suhu dan Kelembaban pada Lingkungan Kerja terhadap Pertumbuhan dan Perkembangan Mikroba. *JRSKT - Jurnal Riset Sains dan Kimia Terapan*, 9(2), 45–54.
- Qolik, A., Yoto, Y., Sunomo, dan Wahono. (2018). Bahaya Asap dan Radiasi Sinar Las Terhadap Pekerja Las di Sektor Informal. *Jurnal Teknik Mesin dan Pembelajaran*, 1(1), 1–4.
- Raub, J. A., Mathieu-Nolf, M., Hampson, N. B., dan Thom, S. R. (2000). Carbon monoxide poisoning - A public health perspective. *Toxicology*, 145(1), 1–14.
- Rizaldi, M. A., Azizah, R., Latif, M. T., Sulistyorini, L., dan Salindra, B. P. (2022). Literature Review: Dampak Paparan Gas Karbon Monoksida Terhadap Kesehatan Masyarakat yang Rentan dan Berisiko Tinggi. *Jurnal Kesehatan Lingkungan Indonesia*, 21(3), 253–265.
- Rosa, A. A., Simon, B. A., dan Lieanto, K. S. (2020). Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Ultima Computing : Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), 23–28.
- Saptadi, A. H. (2014). 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), 49–56.
- Sarungallo, S. K., Raka Agung, I. G. P., dan Jasa, L. (2017). Rancang Bangun Alat Ukur Uji Emisi Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis Mikrokontroler. *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, 16(1), 141–145.
- Smith, G. M. (2022). *Data Acquisition (DAQ) - The Ultimate Guide*. DEWESoft. <https://dewesoft.com/blog/what-is-data-acquisition>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Swarinoto, Y. S., dan Sugiyono. (2011). Pemanfaatan suhu udara dan kelembapan udara dalam persamaan regresi untuk simulasi prediksi total hujan bulanan di bandar lampung. *Jurnal Meteorologi dan Geofisika*, 12(3), 271–281.

- Tikkanen, A. (2023). *Hygrometer Meteorological Instrument*. Britannica. <https://www.britannica.com/money/topic/price-index>. Accessed: 08 Desember 2023.
- Ulaan, G. C., Poekoel, V. C., dan Ontowirjo, A. H. J. (2022). Pembuatan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 93–104.
- Winarno, J. (2014). Studi Emisi Gas Buang Kendaraan Bermesin Bensin Pada Berbagai Merk Kendaraan Dan Tahun Pembuatan. *Jurnal Teknik*, 4(1), 44–52.
- Wiyagi, R. O., Ardiyanto, Y., Purwanto, K., dan Mustar, M. Y. (2021). Pengenalan Sistem Display Matrix P10 Pada Siswa Smk Guna Meningkatkan Peluang Kewirausahaan. *Prosiding Seminar Nasional Program Pengabdian Masyarakat*, 2240–2247.
- Yanti, N., dan Ulfah, M. (2015). Aplikasi Jaringan Syaraf Tiruan Untuk Clustering Polutan Kimia Penyebab Pencemaran Udara. *Jurnal Teknologi Terpadu (JTT)*, 3(2), 68–74.
- Yunita, R. D., dan Kiswandono, A. A. (2017). Kajian Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) Sebagai Polutan Udara Pada Tiga Lokasi Di Kota Bandar Lampung. *Analytical and Environmental Chemistry*, 2(01), 1–11.
- Zid, M., dan Hardi, O. S. (2019). *Biogeografi*. Bumi Aksara.