

**RANCANG BANGUN ALAT DAN SISTEM *MONITORING* KUALITAS  
UDARA NITROGEN DIOKSIDA (NO<sub>2</sub>) DAN MATERI PARTIKULAT  
(PM<sub>10</sub>) BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

**Skripsi**

**Oleh**

**MUHAMAD RIDWAN**



**JURUSAN FISIKA  
FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM  
UNIVERSITAS LAMPUNG  
2023**

## ABSTRAK

### RANCANG BANGUN ALAT DAN SISTEM *MONITORING* KUALITAS UDARA NITROGEN DIOKSIDA (NO<sub>2</sub>) DAN MATERI PARTIKULAT (PM<sub>10</sub>) BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)

Oleh

**Muhamad Ridwan**

Telah dilakukan penelitian tentang rancang bangun alat dan sistem *monitoring* kualitas udara yang mampu mengukur konsentrasi gas nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan partikulat (PM<sub>10</sub>). Penelitian ini menggunakan sensor MQ-135 untuk mengukur konsentrasi NO<sub>2</sub> dan Sharp Dust GP2Y1010AU0F untuk mengukur konsentrasi PM<sub>10</sub> yang terintegrasi dengan mikrokontroler Node MCU ESP32 berbasis *Internet of Things* (IoT). Kedua sensor tersebut telah dikalibrasi menghasilkan keakuratan dengan nilai akurasi sebesar 99,24% dan *error* sebesar 0,76% pada GP2Y1010AU0F serta nilai akurasi sebesar 99,90% dan *error* sebesar 0,10% pada sensor DHT11. Mikrokontroler Node MCU ESP32 berfungsi sebagai sistem pengendali yang dapat mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya ke *server* melalui jaringan internet. Data yang dikirim dapat diakses dan dianalisis melalui aplikasi berbasis web dengan perbedaan waktu pengiriman dan waktu penerimaan adalah 1,93 detik, sehingga memungkinkan pengguna untuk memantau kualitas udara secara *real-time*. Penggunaan teknologi *Internet of Things* (IoT) menjadikan pemantauan yang mudah dan aksesibilitas data yang lebih baik. Alat dan sistem monitoring ini diharapkan dapat membantu pemantauan dan pengendalian kualitas udara yang lebih baik, serta memberikan informasi penting bagi pengambilan keputusan terkait lingkungan dan kesehatan masyarakat.

**Kata Kunci :** *Internet of Things (IoT), Node MCU ESP32, MQ135, Sharp Dust dan Web Monitoring*

## **ABSTRACT**

### **DESIGN AND BUILD AN AIR QUALITY MONITORING TOOL AND SYSTEM FOR NITROGEN DIOXIDE (NO<sub>2</sub>) AND PARTICULATE MATTER (PM<sub>10</sub>) BASED ON THE INTERNET OF THINGS (IoT)**

**By**

**Muhamad Ridwan**

*In this research, an air quality monitoring tool and system have been designed that are capable of monitoring the concentration of nitrogen dioxide gas (NO<sub>2</sub>) and particulate matter (PM<sub>10</sub>). This study used the MQ-135 sensor to measure the concentration of NO<sub>2</sub> and the Sharp Dust GP2Y1010AU0F to measure the concentration of PM<sub>10</sub>, both integrated with the Node MCU ESP32 microcontroller based on the Internet of Things (IoT). Both of these sensors have been calibrated to produce accurate measurement results and have obtained an accuracy value of 99.24% and an error of 0.76% on the GP2Y1010AU0F and as well as accuracy value of 9.90% an error rate of 0.11% for the DHT11 sensor. The Node MCU ESP32 microcontroller functions as a control system that can collect data from sensors and send it to a server via the Internet network. The sent data can be accessed and analysed through a web-based application with 1.93 second difference between the sending and receiving times, enabling users to monitor air quality in real-time. The use of IoT technology enables easy monitoring and better data accessibility. With these tools and systems, it is hoped that they can help better monitor and control air quality, as well as provide important information for making decisions related to the environment and public health.*

**Keywords:** *Internet of Things (IoT), Node MCU ESP32, MQ135, Sharp Dust and Monitoring Web*

**RANCANG BANGUN ALAT DAN SISTEM *MONITORING* KUALITAS  
UDARA PADA NITROGEN DIOKSIDA (NO<sub>2</sub>) DAN MATERI  
PARTIKULAT (PM<sub>10</sub>) BERBASIS *INTERNET OF THINGS* (IoT)**

Oleh

**MUHAMAD RIDWAN**

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  
2023**



Judul Skripsi : Rancang Bangun Alat dan Sistem Monitoring Kualitas Udara Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) dan Materi Partikulat (PM<sub>10</sub>) Berbasis *Internet of Things* (IoT)

Nama Mahasiswa : Muhamad Ridwan


Nomor Pokok Mahasiswa : 1917041052


Jurusan : Fisika

Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam




1. Komisi Pembimbing

  
Drs. Amir Supriyanto, M.Si.  
NIP. 196504071991111001

  
Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.  
NIP. 199011252019032018

2. Ketua Jurusan Fisika FMIPA

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



**MENGESAHKAN**

1. **Tim Penguji**

**Ketua : Drs. Amir Supriyanto, M.Si.**



**Sekretaris : Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si.**



**Penguji : Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T.**



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

**Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.**  
NIP. 197110012005011002



**Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 02 Agustus 2023**



## 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 mengacu dalam naskah ini sebagaimana disebutkan dalam daftar pustaka. Selain itu, saya menyatakan bahwa skripsi ini dibuat oleh saya sendiri.

Apabila pernyataan ini tidak benar, maka saya bersedia dikenai sanksi dan bertanggung jawab sebatas dengan pemaparan dari skripsi ini.

Bandar Lampung, 27 Juli 2023



Muhamad Ridwan  
NPM. 1917041052

## RIWAYAT HIDUP



Penulis bernama Muhamad Ridwan, dilahirkan di Tangerang pada tanggal 8 Maret 2001. Penulis merupakan anak keempat dari pasangan Bapak Sulaeman dan Ibu Sumerah. Penulis mengawali pendidikan sekolah tingkat dasar di SDN Tegal Kunir Kidul 1, Tangerang, Banten pada tahun 2007. Penulis juga telah menyelesaikan pendidikan menengah pertama di SMPN 1 Mauk, Tangerang, Banten pada tahun 2016 dan pendidikan menengah atas di SMAN 2 Kabupaten Tangerang, Banten pada tahun 2019. Penulis terdaftar sebagai mahasiswa di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN tahun 2019. Penulis aktif dalam mengikuti organisasi kemahasiswaan, MBKM, perlombaan, riset dan beberapa kegiatan lainnya.

Pada tahun 2019, saya bergabung sebagai anggota Bidang Kominfo di Himafi FMIPA Unila. Kemudian, pada tahun 2021, saya menjabat sebagai Ketua Umum Rois FMIPA Unila. Saya juga berhasil meraih juara 1 dalam Kompetisi Teori Sains Sobat Bumi Pertamina bidang Fisika tingkat Regional pada tahun 2020 dan mewakili Indonesia sebagai delegasi pada Konferensi *International Model United Nations* (IMUN) pada tahun 2021. Di samping itu, saya juga memiliki prestasi sebagai pembicara dalam berbagai seminar, baik di tingkat universitas maupun nasional contohnya adalah saat saya menjadi pembicara dalam Webinar Nasional Kampus Merdeka the Series pada tahun 2022, serta menjadi narasumber dalam Workshop Software Training (WST) pada tahun 2023. Dibidang sosial, saya aktif dalam kegiatan Kuliah Kerja Nyata di Desa Tebing, Kabupaten Lampung Timur pada tahun 2022. Selain itu, saya juga telah menjalani Praktik Kerja Lapangan (PKL) di ORTN BRIN, Serpong pada tahun 2022.



## MOTTO

*“Jalanilah kehidupan di dunia ini tanpa membiarkan dunia hidup di dalam dirimu, karena ketika perahu berada di atas air, ia mampu berlayar dengan sempurna, tetapi ketika air masuk ke dalamnya, perahu itu tenggelam”*

**-Ali bin Abi Thalib**

*“Barang siapa belum merasakan pahitnya belajar walau sebentar, maka akan merasakan hinanya kebodohan sepanjang hidupnya”*

**-Imam Syafi’i**

*“You know butterfly can’t see the colors of the wings, but us as human can see how beautiful they are. Like-wise, you might not think you’re good enough, but other can see how special and amazing you are.”*

**-Muhamad Ridwan**

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

## PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan *alhamdulillah* rabbi'l' alamin, saya persembahkan karya ini kepada:

Kedua Orang Tua

**Bapak Suleaman dan Ibu Sumerah**

Terimakasih atas semua doa, dukungan, dan harapan yang telah diberikan kepada saya hingga saya dapat menyelesaikan pendidikan S1 ini. Semoga saya dapat membawa manfaat bagi Bangsa Indonesia.

**Almamater Tercinta**

Universitas Lampung

## KATA PENGANTAR

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke khadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“RANCANG BANGUN ALAT DAN SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA NITROGEN DIOKSIDA (NO<sub>2</sub>) DAN MATERI PARTIKULAT (PM<sub>10</sub>) BERBASIS INTERNET OF THINGS (IoT)”**. Shalawat serta salam penulis haturkan kepada suri tauladan alam Nabi Muhammad SAW, keluarga, sahabat, dan para pengikutnya. Semoga kita semua dapat memperoleh pertolongan Beliau di hari akhir kelak. Tujuan dari penulisan skripsi ini sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Sains (S.Si) Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Skripsi ini membahas tentang bagaimana nilai pengukuran kualitas udara disuatu daerah dan bagaimana cara membuat alat monitoring kualitas udara berbasis IoT.

Penulis menyadari bahwa dalam penyajian skripsi ini masih terdapat kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak untuk perbaikan dari skripsi ini. Semoga skripsi ini dapat menjadi penambah referensi dan rujukan terhadap pengembangan riset kualitas udara berbasis IoT selanjutnya serta meningkatkan wawasan tentang pengembangan riset IoT.

Bandar Lampung, 27 Juli 2023

Muhamad Ridwan  
1917041052



## SANWACANA

Segala puja dan puji atas rasa syukur penulis panjatkan ke khadirat Allah SWT yang telah memberikan nikmat iman, sehat, dan ilmu yang bermanfaat kepada penulis. Sehingga, penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Rancang Bangun Alat dan Sistem Monitoring Kualitas Udara Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) dan Materi Partikulat (PM<sub>10</sub>) Berbasis Internet of Things (IoT)”**. Dalam penyusunan skripsi ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak. Sehingga, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada :

1. Bapak Drs. Amir Supriyanto, M.Si. sebagai dosen pembimbing pertama yang telah banyak memberikan saran dan kritik yang membangun selama pelaksanaan penelitian dan penyusunan skripsi ini hingga selesai.
2. Ibu Humairoh Ratu Ayu, S.Pd., M.Si. sebagai dosen pembimbing kedua dan juga sebagai pembimbing akademik yang selalu memberikan saran dan masukan selama proses penyusunan skripsi ini.
3. Bapak Gurum Ahmad Pauzi, S.Si., M.T. sebagai dosen penguji dan selaku Ketua Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan koreksi, kritik serta saran yang membangun selama penyusunan skripsi ini.
4. Seluruh Dosen dan Staf Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung yang telah memberikan seluruh ilmu yang bermanfaat dan kepengurusan sistem administrasi kepada penulis selama penyusunan skripsi ini.
5. Kedua Orang Tua penulis, Bapak Sulaeman dan Ibu Sumerah yang telah memberikan perhatian, doa, nasihat, dan dukungan kepada penulis selama menjalani kuliah di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.

6. Kakak dan adik saya yang telah memberikan semangat, dukungan, dan doanya selama penulis menjalani perkuliahan di Jurusan Fisika FMIPA Universitas Lampung.
7. Daffa Abdul Malik, Andrean Johandra, Rizky Ponco Rahmadi, Arian, Izhar Baehaqi, Adhito, Muhammad Rizki, Rizki Muhammad, Cahyo Prasetyo, Sasmita Ningrum, Dian Permatasari, Leala, Icha dan Gina Salsabilah selaku sahabat penulis yang telah memberikan doa dan dukungan kepada penulis selama menjalani perkuliahan.
8. Teman-teman satu perjuangan Fisika angkatan 2019, keluarga besar Himafi FMIPA Unila, Rois FMIPA Unila dan Tim Robotik FMIPA Unila yang telah bersama-sama dengan penulis dalam menjalani perkuliahan dan telah memberikan doa serta motivasi pembelajaran kehidupan kepada penulis agar bisa menjalani kehidupan yang akan datang.

Semoga Allah SWT senantiasa memberikan balasan atas segala kebaikan yang telah dilakukan oleh semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini.

Bandar Lampung, 27 Juli 2023

Muhamad Ridwan

## DAFTAR ISI

	Halaman
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>i</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>ii</b>
<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>iii</b>
<b>PENGESAHAN</b> .....	<b>v</b>
<b>LEMBAR PERNYATAAN</b> .....	<b>vi</b>
<b>RIWAYAT HIDUP</b> .....	<b>vii</b>
<b>MOTTO</b> .....	<b>viii</b>
<b>PERSEMBAHAN</b> .....	<b>ix</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>xv</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvii</b>
 <b>I. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Tujuan Penelitian .....	4
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Batasan Masalah .....	5
 <b>II. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Penelitian Terkait .....	6
2.2 Parameter Indeks Pencemaran Udara .....	9



2.3	Perhitungan Indeks Pencemaran Udara .....	10
2.4	Sumber Pencemaran Udara .....	11
2.5	<i>Internet of Things (IoT)</i> .....	12
2.6	<i>Software</i> Arduino IDE .....	13
2.7	Node MCU ESP32 .....	15
2.8	Sensor MQ135 .....	16
2.9	Sensor <i>Sharp</i> GQ2Y1010AU0F .....	19
2.10	<i>Liquid Crystal Display (LCD)</i> .....	21
2.11	<i>Hipertext Markup Language (HTML)</i> .....	22
2.12	<i>Casscading Style Sheet (CSS)</i> .....	23
2.13	<i>JavaScript</i> .....	23
2.14	<i>Hipertext Preprocessor (PHP)</i> .....	23
2.15	MySQL .....	24

### III. METODE PENELITIAN

3.1	Waktu dan Tempat Penelitian .....	25
3.2	Alat dan Bahan .....	25
3.3	Tahapan Penelitian .....	27
3.3.1	Prosedur Perancangan Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) .....	28
3.3.2	Prosedur Perancangan Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) .....	30
3.3.3	Desain dan Pembuatan Alat .....	31
3.3.4	Pengujian Alat .....	33

### IV. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1	Perangkat Keras ( <i>Hardware</i> ) Sistem <i>Monitoring</i> .....	36
4.2	Pengujian dan Kalibrasi Alat <i>Monitoring</i> Kualitas Udara .....	38
4.2.1	Kalibrasi Sensor DHT11 .....	38
4.2.2	Kalibrasi Sensor MQ135 .....	40
4.2.3	Kalibrasi Sensor <i>Sharp</i> Dust GP2Y1010AU0F .....	43
4.3	Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) Sistem <i>Monitoring</i> .....	47
4.3.1	Pembuatan Komposisi Tampilan <i>Website (Front End)</i> .....	49
4.3.2	Pembuatan <i>Server Database (Back End)</i> .....	54
4.3.3	Pengiriman Data Sensor ke <i>Server Database</i> .....	55
4.3.4	Pengiriman Data dari <i>Server</i> ke Laman Web .....	58
4.4	Pengujian Alat dan Web Sistem <i>Monitoring</i> .....	60
4.4.1	Pengujian Keseluruhan Sistem dan Komponen .....	60
4.4.2	Pengujian Kesesuaian Waktu Pengiriman dan Waktu Penerima .....	62
4.5	Realisasi Alat dan Sistem <i>Monitoring</i> .....	63

### V. KESIMPULAN

5.1	Simpulan .....	68
5.2	Saran .....	68

### DAFTAR PUSTAKA

## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
<b>Gambar 2.1</b> Konsep IoT .....	13
<b>Gambar 2.2</b> Tampilan <i>Software</i> Arduino IDE.....	14
<b>Gambar 2.3</b> Tampilan Node MCU ESP32 .....	15
<b>Gambar 2.4</b> Model Sensor Gas MQ-135 .....	16
<b>Gambar 2.5</b> Karakteristik Sensor Gas MQ-135.....	17
<b>Gambar 2.6</b> Model Konfigurasi Sensor Gas MQ-135.....	18
<b>Gambar 2.7</b> Sensor <i>Sharp</i> GP2Y1010AU0F .....	19
<b>Gambar 2.8</b> Model Konfigurasi Sensor GP2Y1010AU0F .....	20
<b>Gambar 2.9</b> Sensor LCD 20x4 .....	21
<b>Gambar 2.10</b> Model Konfigurasi LCD 20x4.....	21
<b>Gambar 3.1</b> Diagram Alir Penelitian.....	27
<b>Gambar 3.2</b> Diagram Blok Perancangan Sistem .....	28
<b>Gambar 3.3</b> Diagram Alir Sistem Keseluruhan.....	29
<b>Gambar 3.4</b> Diagram Alir Sistem Antar Muka.....	30
<b>Gambar 3.5</b> <i>Mock up</i> antar muka <i>website</i> .....	31
<b>Gambar 3.6</b> (a) Desain Alat Tampak Depan (b) Desain Alat Tampak Belakang.....	32
<b>Gambar 3.7</b> <i>Wiring</i> Keseluruhan Komponen .....	32
<b>Gambar 3.8</b> Kurva Grafik Kualitas Udara Kawasan Industri Lampung Tengah .....	35

<b>Gambar 3.9</b> Kurva Grafik Kualitas Udara Kawasan Pelabuhan Bakauheni Lampung Selatan .....	35
<b>Gambar 4.1</b> Realisasi Alat <i>Monitoring</i> Kualitas Udara (a) Tampak Depan (b) Tampak Samping.....	36
<b>Gambar 4.2</b> <i>Wiring</i> Alat <i>Monitoring</i> Tampak Dalam .....	37
<b>Gambar 4.4</b> Kurva Hasil Grafik Kalibrasi Sensor DHT11 .....	40
<b>Gambar 4.5</b> Grafik Kalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F .....	45
<b>Gambar 4.6</b> Kurva Nilai PM <sub>10</sub> Alat <i>Monitoring</i> dan Nilai Alat Standar PM <sub>10</sub> Pada Setiap Pengulangan .....	47
<b>Gambar 4.7</b> <i>Dashboard Website</i> Sistem <i>Monitoring</i> .....	48
<b>Gambar 4.8</b> Fitur Data Grafik Sistem <i>Monitoring</i> .....	48
<b>Gambar 4.9</b> Fitur Data Informasi Sistem <i>Monitoring</i> .....	49
<b>Gambar 4.10</b> Sistem <i>Database</i> .....	54
<b>Gambar 4.11</b> Pengujian Keseluruhan Komponen .....	61
<b>Gambar 4.12</b> Pengujian <i>Server Database</i> .....	61
<b>Gambar 4.13</b> Pengujian Sistem <i>Website</i> .....	62
<b>Gambar 4.14</b> Grafik Hasil <i>Monitoring</i> Parameter (a) Gas NO <sub>2</sub> dan (b) PM <sub>10</sub> di Kawasan Industri Lampung Tengah Pukul 09.00- 11.00 WIB.....	64
<b>Gambar 4.15</b> Grafik Hasil <i>Monitoring</i> Parameter (a) Gas NO <sub>2</sub> dan (b) PM <sub>10</sub> di Kawasan Industri Lampung Tengah Pukul 13.00- 15.00 WIB.....	65
<b>Gambar 4.16</b> Grafik Hasil <i>Monitoring</i> Parameter (a) Gas NO <sub>2</sub> dan (b) PM <sub>10</sub> di Pelabuhan Bakauheuni Lampung Selatan Pukul 09.30-11.30 WIB.....	66
<b>Gambar 4.17</b> Grafik Hasil <i>Monitoring</i> Parameter (a) Gas NO <sub>2</sub> dan (b) PM <sub>10</sub> di Pelabuhan Bakauheuni Lampung Selatan Pukul 13.00-15.00 WIB.....	67



## DAFTAR TABEL

	Halaman
<b>Tabel 2.1</b> Kriteria Kualitas Udara Berdasarkan Nilai ISPU.....	9
<b>Tabel 2.2</b> Batas Indeks Pencemar Udara Dalam Satuan SI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).....	10
<b>Tabel 2.3</b> Spesifikasi Standar Kerja Sensor MQ 135.....	18
<b>Tabel 2.4</b> Spesifikasi Standar Kerja Sensor Sharp GP2Y1010AU0F.....	20
<b>Tabel 2.5</b> Spesifikasi <i>Mapping</i> Pin LCD 20x4.....	22
<b>Tabel 3.1</b> Jadwal Pelaksanaan Penelitian.....	25
<b>Tabel 3.2</b> Perangkat Alat Yang Digunakan.....	26
<b>Tabel 3.3</b> Perangkat Elektronik Yang Digunakan.....	26
<b>Tabel 3.4</b> Perangkat Lunak ( <i>Software</i> ) Yang Digunakan.....	26
<b>Tabel 3.5</b> Pengujian dan Kalibrasi Sensor MQ-135 paramater $\text{NO}_2$ .....	33
<b>Tabel 3.6</b> Pengujian dan Kalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F Parameter $\text{PM}_{10}$ .....	33
<b>Tabel 3.7</b> Data <i>Monitoring</i> Kualitas Udara di Kawasan Industri Lampung Tengah.....	34
<b>Tabel 3.8</b> Data <i>Monitoring</i> Kualitas Udara di Kawasan Pelabuhan Bakauheni Lampung Selatan.....	34
<b>Tabel 4.1</b> Data Hasil Pengukuran Sensor MQ-135 Pada Gas $\text{NO}_2$ .....	42
<b>Tabel 4.2</b> Data Hasil Pengukuran Sensor GP2Y1010AU0F Pada $\text{PM}_{10}$ .....	44
<b>Tabel 4.3</b> Data Terkalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F Pada $\text{PM}_{10}$ .....	46

<b>Tabel 4.4</b> Hasil Pengujian Kesesuaian Waktu Data Yang Terkirim dan Diterima .....	63
<b>Tabel 4.5</b> Data <i>Monitoring</i> Kualitas Udara di Kawasan Industri Lampung Tengah .....	62
<b>Tabel 4.6</b> Data <i>Monitoring</i> Kualitas Udara di Pelabuhan Bakauheni Lampung Selatan .....	64

# 1. PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Kualitas udara lingkungan saat ini mengalami perubahan komposisi zat dari keadaan udara normal menjadi udara pencemar (merupakan partikel komposisi zat pencemar yang berbentuk gas dan partikel kecil atau aerosol). Kondisi ini mempengaruhi kesehatan manusia yang bergantung pada udara sebagai material pernapasan (Ismiyati *et al.*, 2014). Udara yang dihirup belum tentu semuanya baik, hal ini termasuk udara yang dihirup di dalam ruangan maupun di luar ruangan baik dengan pendingin ruangan maupun tanpa pendingin ruangan. Kandungan udara di dalam maupun di luar ruangan dapat terkontaminasi dengan zat-zat yang berbahaya. Batasan tertentu dari kadar zat-zat tersebut masih dapat dinetralisir namun jika melampaui batas udara normal maka dapat mengganggu kesehatan. Batas normal yang dimaksud adalah batas kondisi nilai suatu zat udara yang dikatakan baik untuk dikonsumsi (Harahap *et al.*, 2021).

Berdasarkan sumbernya, pencemaran udara dibagi menjadi dua yaitu pencemaran udara alami dan pencemaran udara buatan. Pencemaran udara alami berasal dari aktifitas bumi atau bencana alam seperti erupsi gunung berapi, gas beracun, kebakaran hutan dan lain-lain. Sedangkan pencemaran udara buatan berasal dari aktifitas rumah tangga, pembangkit listrik, industri, lalu lintas kendaraan bermotor seperti angkutan darat dan laut (Arifien *et al.*, 2012). Zat pencemar udara yang dihasilkan dari sumber-sumber di atas diantaranya gas nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) yang terdiri dari nitrogen monoksida (NO) dan nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ), partikulat atau debu terdiri dari  $\text{PM}_{2,5}$  dan  $\text{PM}_{10}$  serta zat pencemar udara lainnya. Zat-zat di atas merupakan zat yang sangat berbahaya jika menumpuk dalam satu area tertentu tanpa pencegahan dan proteksi yang kurang baik (Sengkey *et al.*, 2011).

Nitrogen oksida ( $\text{NO}_x$ ) merupakan salah satu polutan yang banyak dihasilkan dari transportasi dan proses industri. Berdasarkan *National Ambient Air Quality Standard* (NAAQS) bahwa transportasi merupakan penyumbang emisi gas  $\text{NO}_x$  terbesar di dunia (Constantya, 2017). Gas  $\text{NO}_x$  ini dihasilkan dari proses reaksi antara nitrogen dan oksigen di udara saat pembakaran, terutama pada suhu tinggi. Gas nitrogen teroksidasi menjadi gas nitrogen monoksida (NO), selanjutnya jika oksidasi berlanjut, maka akan menghasilkan gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ). Gas ini ketika bereaksi dengan air di atmosfer, maka akan membentuk asam nitrat yang menyebabkan terjadinya hujan asam (Rofienda, 2004). Gas  $\text{NO}_2$  sangat berbahaya bagi tubuh karena menyebabkan penyakit paru-paru dan *bronchoconstriction*. Selain itu, gas  $\text{NO}_2$  juga dapat menurunkan dan menunda pemulihan saraf fungsi setelah *stroke*, menyiratkan resiko demensia vaskular (VAD) dengan  $\text{NO}_2$  inhalasi, bahkan komplikasi kognitif umum yang dihasilkan dari *stroke* (Alchamdani, 2019). Berdasarkan Keputusan Menteri Negara Kependudukan dan Lingkungan Hidup (1998) bahwa kadar  $\text{NO}_2$  memiliki batas normal dengan tidak melebihi dari 256 sampai 565  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Selain gas  $\text{NO}_2$ , zat pencemar udara lainnya yang berasal dari aktifitas transportasi termasuk peralatan bertenaga diesel, aktifitas industri lokal dan pembangkit listrik yaitu materi partikulat (PM). Materi partikulat tidak dapat dilihat dengan mata telanjang karena secara kolektif dapat muncul sebagai jelaga hitam, awan debu, kabut abu-abu atau partikel yang berukuran kecil berkisar antara 1 mikron sampai dengan 500 mikron yang biasa disebut dengan istilah *Suspended Particulate Matter* (SPM) (Mukhtar *et al.*, 2013). Partikulat halus dapat terikat dengan uap air juga dikenal sebagai kelarutan total partikulat atau partikel *Total Suspended Particulates* (TSP) yang merupakan bentuk pencemaran berbahaya. Di kota Bandar Lampung, nilai ISPU (Indeks Standar Polusi Udara) untuk kadar partikulat menurut PP Nomor 41 Tahun 1999 berada pada kategori tidak sehat (Arisa & Kiswando, 2017). Nilai Ambang Batas (NAB) kadar PM salah satunya  $\text{PM}_{10}$  yang diperbolehkan berada dalam udara ambien yaitu 100 sampai 150  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Efek dari partikulat pada kesehatan manusia seperti gejala asma, batuk dan berefek pada lingkungan yang bervariasi dengan susunan fisik dan kimia dari partikulat (Alias *et al.*, 2007).

Pencegahan tentang dampak pencemaran udara telah banyak dilakukan oleh beberapa peneliti dengan membangun alat *monitoring* kualitas udara yang memanfaatkan teknologi sensor dan mikrokontroler. Mikrokontroler yang sering digunakan pada pembuatan alat *monitoring* kualitas udara adalah arduino uno sebagaimana yang dilakukan oleh Subagiyo *et al* (2020). Penelitian tersebut telah berhasil mengukur gas NO<sub>2</sub> menggunakan sensor MQ-135 dan mengukur PM<sub>10</sub> menggunakan sensor Sharp GP2Y1010AU0F. Nilai yang terbaca pada alat menunjukkan hasil yang cukup baik namun alat ini tidak berbasis IoT sehingga hasil pengukuran tidak dapat ditunjukkan secara *real time* menggunakan *website* atau aplikasi. Penelitian yang sama juga dilakukan oleh Anwar *et al* (2022) tentang pengukuran kualitas udara berbasis Mikrokontroler arduino uno untuk mengukur gas CO, NO<sub>2</sub> dan PM<sub>2.5</sub>. Hasil penelitian tersebut diperoleh tingkat keberhasilan pembangunan alat mencapai 75%. Parameter PM<sub>2.5</sub> dibangun dengan baik menggunakan sensor PMS5003, namun penggunaan sensor MICS6814 untuk mengukur gas NO<sub>2</sub> belum berhasil dikarenakan mendapatkan nilai kesalahan yang besar. Selain arduino uno, penelitian yang sama juga dilakukan dengan Mikrokontroler lain yaitu ATMEGA 8535 dengan komunikasi protokol TCP/IP. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kesalahan rata-rata untuk *monitoring* gas CO sebesar 0,821% dan gas NO<sub>x</sub> sebesar 0,06%. Hasil pengujian ini menunjukkan nilai yang cukup baik namun penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan pada gas yang diukur serta *website* yang dibuat tidak bisa diakses dari perangkat lain karena perlu *local server*.

Berdasarkan permasalahan di atas, maka dipandang perlu untuk melakukan penelitian tentang rancang bangun alat *monitoring* pengukuran kualitas udara sebagai solusi dalam menyelesaikan permasalahan di atas. Alat *monitoring* kualitas udara berbasis *internet of things* (IoT) adalah solusi tepat yang mampu mengukur kualitas udara secara jarak jauh. IoT memproses data secara *real time* dan efisien hanya membutuhkan peran internet saja. Alat ini didukung dengan sensor gas MQ-135 untuk mengukur nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan sensor GP2Y1010AU0F untuk mengukur partikel debu PM<sub>10</sub>. Sistem secara otomatis menunjukkan data kualitas udara dan keluarannya akan mengirimkan komunikasi serial berupa data ke LCD 20x4 dan *website monitoring* secara *real time*.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis membuat rumusan masalah yang membatasi aspek pembahasan dalam melakukan penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana nilai akurasi dan *error* dari rancang bangun alat ukur kualitas udara jenis nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan partikulat ( $\text{PM}_{10}$ )?
2. Bagaimana agar informasi hasil pengukuran kualitas udara dapat ditampilkan melalui *website* secara *real time*?
3. Bagaimana kualitas udara di beberapa titik lokasi di Provinsi Lampung?

## 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui nilai akurasi dan *error* dari rancang bangun alat kualitas udara jenis nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan materi partikulat ( $\text{PM}_{10}$ ).
2. Mengetahui informasi hasil pengukuran kualitas udara yang ditampilkan melalui *website* secara *real time*.
3. Mengetahui kualitas udara di beberapa titik lokasi di Provinsi Lampung.

## 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diperoleh dari melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Didapat referensi baru mengenai sistem *monitoring* kualitas udara berbasis *internet of things* (IoT) yang dapat digunakan sebagai *alarm* peringatan dan memproteksi diri dari ancaman bahaya dari kadar kualitas udara tidak sehat sehingga menjadi kondisi batas aman.
2. Didapat informasi data kualitas udara suatu tempat di beberapa titik lokasi Kota Bandar Lampung secara *real time* karena alat yang dibuat dalam penelitian ini berbasis *internet of things* (IoT) yang dapat diakses melalui *website*.



## 1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Komponen sensor yang digunakan pada penelitian ini adalah sensor MQ-135 dan sensor GP2Y1010AU0F.
2. Parameter pengukuran kadar kualitas udara adalah gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ ) dan partikulat jenis  $\text{PM}_{10}$ .
3. Lokasi dalam melakukan pengambilan data yaitu Pelabuhan Bakauheuni dan Kawasan industri di Lampung Tengah.
4. Mikrokontroler yang digunakan adalah Node MCU ESP32 sebagai komunikasi serial berbasis internet.
5. Sistem *monitoring* ditampilkan melalui layar LCD 20x4 dan *website* yang dilakukan secara *real time*.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Penelitian Terkait

Penelitian mengenai tingkat pencemaran udara sudah banyak dilakukan oleh peneliti-peneliti terdahulu yang memiliki tema dan objek hampir sama dengan penelitian yang dilakukan oleh penulis, seperti pada penelitian tentang perancangan dan pembuatan sistem pengukuran kualitas udara menggunakan Mikrokontroler arduino uno yang mengukur gas CO dan NO<sub>2</sub> menggunakan sensor MICS6814 dan PM<sub>2.5</sub> menggunakan sensor PMS5003. Media komunikasi data menggunakan modul GSM/GPRS jaringan internet yang selanjutnya ditampilkan secara waktu nyata (*real time*) pada aplikasi web. Sistem pengukuran berhasil mengirimkan data dari modul pengukur ke sistem *database* dengan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 75%. Sensor gas MICS6814 telah berhasil dikalibrasi dengan baik dan telah menunjukkan tingkat *error* sebesar 19,14% dan sensor PMS5003 dengan nilai kesalahan yang dihasilkan sebesar 2,86%. Sedangkan parameter NO<sub>2</sub> menghasilkan nilai kesalahan pengukuran yang sangat besar yaitu 86,81%. Penelitian tersebut mempunyai keterbatasan pada gas yang diukur serta belum mengembangkan sistem informasi digital berbasis *website* atau aplikasi agar lebih efisien (Anwar *et al.*, 2022).

Penelitian dengan topik yang sama juga dilakukan tentang *monitoring* kualitas udara berbasis mikrokontroler ATMEGA 8535 dengan komunikasi protokol TCP/IP yang mengukur gas CO menggunakan sensor TGS 2600 dan gas NO<sub>2</sub> menggunakan sensor TGS 2201. Media komunikasi yang digunakan adalah modul WIZ110SR sebagai *converter* mengirimkan data serial ke TCP/IP dan mengubahnya kembali data yang diterima melalui IP ke dalam bentuk data serial.

Pengujian hasil *monitoring* dilakukan dengan membandingkan hasil pengukuran sistem *monitoring* dengan alat uji gas *analyzer* STARGAS 898 sebagai acuan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kesalahan rata-rata untuk *monitoring* gas CO sebesar 0,821% dan gas NO<sub>x</sub> sebesar 0,06%. Penelitian tersebut masih memiliki keterbatasan pada gas yang diukur belum lengkap karena hanya mengukur gas CO dan NO<sub>x</sub> serta *website* yang digunakan tidak *online* (menggunakan *server localhost*) sehingga informasi hasil pengukuran tidak bisa diakses dari perangkat lain (Yulfiani *et al.*, 2013).

Penelitian terbaru mengenai tingkat pencemaran udara telah dilakukan dalam mengukur gas NO<sub>2</sub> menggunakan sensor MQ-135, mengukur PM<sub>10</sub> menggunakan sensor Sharp GP2Y1010AU0F. Prinsip kerja dari alat ini terdiri dari arduino uno yang melakukan inialisasi ADC, PORT, dan serial, selanjutnya sistem melakukan pembacaan serial pada sensor *sharp dust* GP2Y1010AU0 dan MQ-135. Proses ini dilakukan dengan mengonversi nilai ADC menjadi nilai konsentrasi per satuan µg/m<sup>3</sup>. Data hasil pengukuran akan disesuaikan dengan Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) sehingga nilai materi partikulat dan karbon monoksida dapat dikelompokkan menjadi beberapa kondisi yaitu baik, tidak sehat, sangat tidak sehat dan berbahaya serta menginformasikan masyarakat untuk menggunakan masker ketika kondisi partikulat dan karbon monoksida lebih dari batas aman atau tidak sehat (Subagiyo *et al.*, 2020).

Penelitian lainnya dengan topik *Internet of Things* juga pernah dilakukan menggunakan Mikrokontroler arduino uno sebagai *node* (komponen pengirim data) dan *raspberry pi* 3B sebagai *gateway* (komponen penerima data) dalam pengendalian serta pemantauan suhu dan kelembapan udara menggunakan sensor DHT22 pada gudang penyimpanan beras. Arduino uno melakukan pembacaan sensor, menampilkan indikator, mengirimkan data dan menerima data menggunakan XBee terhadap *gateway* dan melakukan proses aktuasi. XBee Pro S2B berfungsi untuk menghubungkan *node* dengan *gateway*. XBee mengirimkan data dengan format *frame* API untuk melakukan komunikasi pengiriman data sensor serta pengiriman status dari *node* masing-masing. Hasil pengukuran akan dikirim dan disimpan pada *database* MYSQL menggunakan modul Xbee yang

menggunakan jaringan internet. Setelah data dikirim dan disimpan pada *database*, kemudian data akan ditampilkan pada *website* dan aplikasi yang dimunculkan. Penelitian tersebut memiliki keberhasilan 99% untuk melakukan pemantauan dan pengendalian berdasarkan pengujian dari *gateway*, *node*, dan *server*. Penelitian tersebut sudah berhasil mengirimkan hasil pengukuran ke *website* sebagai monitor sistem (Cornelius, 2016).

Penelitian terkait dengan topik *internet of things* (IoT) juga banyak dilakukan dengan menggunakan Mikrokontroler arduino mega 2560 sebagai unit kontrol dan memantau suhu menggunakan sensor DS18B20 dan kadar air kompos menggunakan sensor IC555. Data hasil pengukuran tentang suhu dan kadar air dengan teknologi sensor tersebut kemudian ditampilkan pada LCD 20x4 dan dapat *dimonitoring* secara *online* pada situs *thingspeak.com* karena menggunakan modul *wifi* ESP8266. Data terkait suhu dan kadar air bahan kompos juga disimpan pada modul *SD card* sebagai *cloud* tambahan ketika terjadi *overload* pada sistem. Hasil penelitian menunjukkan tingkat akurasi dari sensor suhu DS18B20 adalah 98,15% dan rata-rata *error* pengukuran jika dibandingkan dengan termometer air raksa adalah 1,85%. Penelitian tersebut sudah berhasil mengirimkan hasil pengukuran menuju *website* sebagai monitor sistem (Anugrah, 2020).

Berdasarkan penelitian terkait di atas dari beberapa alat yang telah di buat tentang sistem pengukuran dan pemantauan kualitas udara berbasis *internet of things* (IoT) memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya sudah mampu mengukur beberapa gas pencemar udara, tetapi masih ada beberapa yang belum memaksimalkan peran IoT serta belum bisa diakses secara *real time*. Oleh karena itu, peneliti tertarik untuk mengembangkan penelitian tentang sistem pengukuran dan pemantauan kualitas udara berbasis *internet of things* (IoT) menggunakan Mikrokontroler dan sensor deteksi dengan mengukur dua parameter gas pencemar udara utama yaitu gas nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>) dan Partikel debu (PM<sub>10</sub>). Penelitian ini diharapkan tercipta sistem pengukuran dan pemantauan kualitas udara yang mampu melakukan *monitoring* kualitas udara *real time* dan tepat dalam memberikan informasi kualitas udara.

## 2.2 Parameter Indeks Pencemaran Udara

Udara mengandung beberapa zat diantaranya oksigen, karbon oksida, sulfur oksida, SPM (*suspended particulate matter*) dan sebagainya (Budiyono, 2001). Zat-zat yang terkandung di udara bersifat fluktuatif dengan berbagai variasi zat atau gas didalamnya. Zat-zat tersebut jika masih berada dalam batas-batas tertentu masih dapat dinetralisir, tetapi jika sudah melampaui ambang batas kondisi normal maka proses netralisir akan terganggu (Fitria *et al.*, 2008). Peningkatan konsentrasi zat-zat tersebut salah satunya disebabkan oleh aktivitas manusia. Salah satu dampak buruk akibat udara kotor yang dihirup misalnya menimbulkan penyakit paru-paru, batuk, asma, hipertensi dan lain-lain (Firman *et al.*, 2019).

Indeks standar kualitas udara yang dipergunakan secara resmi di Indonesia adalah Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) sesuai dengan Keputusan Menteri Lingkungan Hidup Nomor KEP 45/MENLH/10/1997 dan KEP-107/KABAPEDAL/11/1997 tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Parameter kualitas udara berdasarkan ISPU menggambarkan kondisi mutu udara ambien pada daerah atau lokasi tertentu saja. Parameter pengukuran kualitas udara standar ISPU dapat dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

**Tabel 2.1** Kriteria Kualitas Udara Berdasarkan Nilai ISPU

No	Kategori	Nilai ISPU	Penjelasan
1	Baik	0-50	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia, hewan, dan pada tumbuhan.
2	Sedang	51-100	Tingkat kualitas udara yang tidak memberikan efek bagi kesehatan manusia atau hewan tetapi berpengaruh pada tumbuhan yang sensitif.
3	Tidak sehat	101-199	Tingkat kualitas udara yang bersifat merugikan pada manusia ataupun kelompok hewan yang menimbulkan kerusakan pada tumbuhan.
4	Sangat Tidak Sehat	200-299	Tingkat kualitas udara yang dapat merugikan kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
5	Berbahaya	$\geq 300$	Tingkat kualitas udara berbahaya yang secara umum dapat merugikan kesehatan yang serius pada populasi.

### 2.3 Perhitungan Indeks Pencemaran Udara

Berdasarkan Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/Menkes/Per/V/2011 tentang pedoman penyehatan kualitas udara dalam ruang atau luar ruang bahwa untuk kualitas udara partikulat  $PM_{10}$  memiliki nilai kadar normal maksimal yaitu sebesar  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  dan  $\text{NO}_2$  sebesar  $565 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Sedangkan berdasarkan pada Keputusan Kepala Badan Pengendalian Dampak Lingkungan No. 107 Tahun 1997 Tanggal 21 November 1997 tentang nilai batas yang digunakan untuk mengukur kualitas udara menggunakan perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang telah dikonversi dari pembacaan nilai gas yang diperoleh (Apriawati *et al.*, 2017). Parameter gas hasil pengukuran akan dilakukan pengonversian menjadi nilai ISPU. Nilai ISPU dapat dilihat pada **Tabel 2.2** berikut.

**Tabel 2.2** Batas Indeks Pencemar Udara Dalam Satuan SI ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

ISPU	$PM_{10}$	$SO_2$	CO	$O_3$	$NO_x$
0	0	0	0	0	0
50	50	80	5	120	282
100	150	365	10	235	565
200	350	800	17	400	1130
300	420	1600	34	800	2260
400	500	2100	46	1000	3000
500	600	2620	57,5	1200	3750

Pada **Tabel 2.2** di atas, disajikan informasi yang menunjukkan kondisi batas parameter udara berdasarkan indeks ISPU. Informasi tersebut memberikan gambaran tentang rentang nilai parameter udara yang sehat, serta metode konversi dari nilai indeks ISPU ke tingkat kualitas udara normal. Perhitungan kadar ISPU ditentukan melalui formulasi indeks dari setiap parameter adalah sebagai berikut.

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b \quad (2.1)$$

dimana nilai  $I$  merupakan ISPU terhitung,  $I_a$  merupakan ISPU batas atas,  $I_b$  merupakan ISPU batas bawah,  $X_a$  merupakan ambien batas atas,  $X_b$  merupakan ambien batas bawah dan  $X_x$  merupakan kadar ambien nyata hasil pengukuran. Parameter ISPU sangat baik untuk digunakan dalam mengetahui kadar kualitas udara (Salman & Amirah, 2022).



## 2.4 Sumber Pencemaran Udara

Udara tercemar adalah perbedaan komposisi udara aktual dengan kondisi udara normal yang tidak mendukung kehidupan manusia. Udara tercemar terbagi dua yaitu udara tercemar didalam ruangan dan diluar ruangan. Zat pencemar udara sendiri dapat berbentuk gas dan partikel. Udara yang tercemar dengan partikel dan gas dapat menyebabkan gangguan kesehatan yang berbeda tingkatan dan jenisnya tergantung dari macam, ukuran dan kondisi kimiawinya (Fitria *et al.*, 2008). Udara dalam bentuk gas sangat banyak dijumpai diberbagai daerah dan termasuk sebagai pencemar utama (*major air pollution*) pada manusia. Dalam beberapa kondisi, terdapat jenis pencemaran udara yaitu pencemaran udara berbentuk gas, partikel dan menurut tempat serta sumbernya.

Jenis pencemaran udara berbentuk partikel umumnya sering dijumpai terutama pada area lalu lintas transportasi. Jenis zat pencemar ini dapat terbagi menjadi tiga jenis pencemaran sebagai berikut.

- a) golongan mineral (anorganik). Partikel pencemar pada golongan ini merupakan pencemaran yang bersumber dari bahan anorganik, dapat berupa racun seperti air raksa dan timah.
- b) golongan bahan organik. Bahan organik sering dijumpai di lingkungan sekitar. Jenis pencemaran ini terdiri dari senyawa hidrokarbon, senyawa klorisasi alkan, dan senyawa benzena.
- c) golongan makhluk hidup. Jenis pencemar ini tergolong pada jenis makhluk hidup yang terdiri unsur-unsur hidup misalnya bakteri, virus, telur cacing, dan mikroorganisme.

Sedangkan pencemaran udara dalam bentuk gas juga umumnya sering dijumpai terutama pada area terbuka. Zat pencemar ini sangat rentan terhadap kesehatan pernapasan. Berdasarkan sumbernya, zat pencemar ini dapat dibedakan menjadi tiga golongan sebagai berikut.

- a) golongan belerang, gas yang memiliki karakteristik yaitu beracun, memiliki bau menyengat, dan biasanya berada pada daerah pegunungan. Contohnya adalah sulfur dioksida, hidrogen sulfida, sulfat aerosol.

- b) golongan nitrogen, karakteristik umum dari gas ini adalah tidak berbau dan tidak berwarna. Contohnya adalah nitrogen oksida, nitrogen monoksida, amoniak, dan nitrogen dioksida.
- c) golongan karbon, unsur melimpah kedua pada tubuh manusia berdasarkan nilai massa oksigen ( $O_2$ ). Contohnya karbon dioksida dan hidrokarbon.

Sementara itu, jenis pencemaran udara menurut tempat dan sumbernya dibedakan menjadi dua jenis pencemaran sebagai berikut.

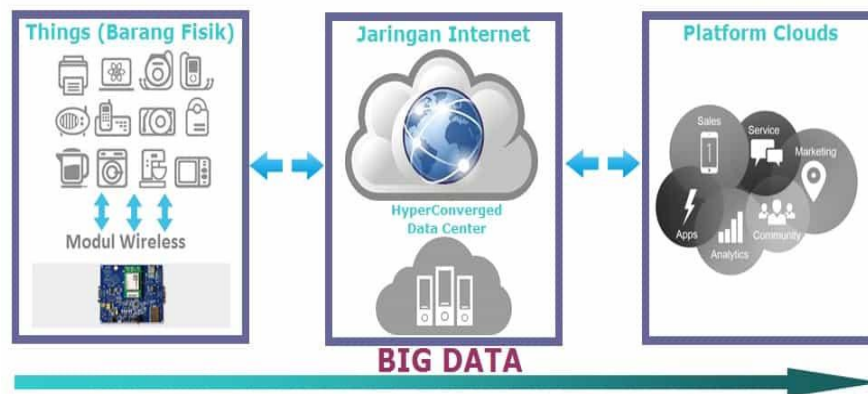
- a) pencemaran udara bebas, secara alamiah misalnya letusan gunung berapi, pembusukan, dan lain-lain. sedangkan bersumber pada kegiatan manusia, misalnya dari kegiatan industri, rumah tangga, asap kendaraan bermotor.
- b) pencemaran udara ruangan, meliputi pencemaran yang berada didalam ruangan seperti asap rokok, kontruksi bangunan, bau tidak sedap diruangan, bahan-bahan sintetis seperti karpet, AC dan sebagainya (Ratnani, 2008).

## **2.5 *Internet of Things (IoT)***

IoT merupakan teknologi yang dapat menghubungkan perangkat satu dengan perangkat lainnya, mesin satu dengan mesin lainnya maupun peralatan dan benda fisik lainnya serta sensor jaringan dan aktuator untuk memperoleh data dan mengelola kinerjanya sendiri. Peralatan elektronik saat ini mampu melakukan *sharing* informasi berupa data, baik dalam audio maupun visual sehingga mengurangi interaksi manusia dalam pengoperasian perangkat elektronik secara langsung (Artono & Putra, 2019).

IoT dapat menjadi layanan informasi yang dibutuhkan mengingat semakin meningkatnya pengguna internet dengan berbagai fasilitas dan layanan yang semakin optimal. Teknologi IoT menjadikan proses kerja sistem dilakukan semakin cepat, jarak jangkauannya semangkin luas, proses pengolahan data dan analisis data terhadap sebuah sistem juga semangkin bagus. Teknologi IoT dengan berbagai fitur ini benar-benar sangat mendukung dalam proses aliran informasi data dengan berbasis komunikasi serial dan nirkabel serta dengan ruang lingkup yang luas (Abdullah *et al.*, 2021).

Konsep IoT sebenarnya cukup sederhana, hanya mengacu pada tiga elemen utama yaitu barang fisik yang dilengkapi dengan modul IoT, perangkat koneksi ke internet modem dan *Router Wireless Speedy* seperti di rumah, dan *Cloud Data Center* tempat untuk menyimpan aplikasi besarnya *database*. IoT digambarkan sebagai jaringan yang mampu melakukan konfigurasi sendiri, serta adaptif sehingga dapat membentuk jaringan secara kompleks melalui saluran data yang ditransmisikan lewat udara atau nirkabel (Efendi, 2018). Teknologi IoT sudah meluas ke berbagai negara yang menggunakannya termasuk di Indonesia, dengan berbagai perangkat elektronika dan perangkat lunak (*software*) yang dapat dijadikan sebagai perangkat berbasis IoT (Hardyanto, 2017). Pada **Gambar 2.1** menjelaskan tentang konsep IoT seperti yang tertampil di bawah ini.



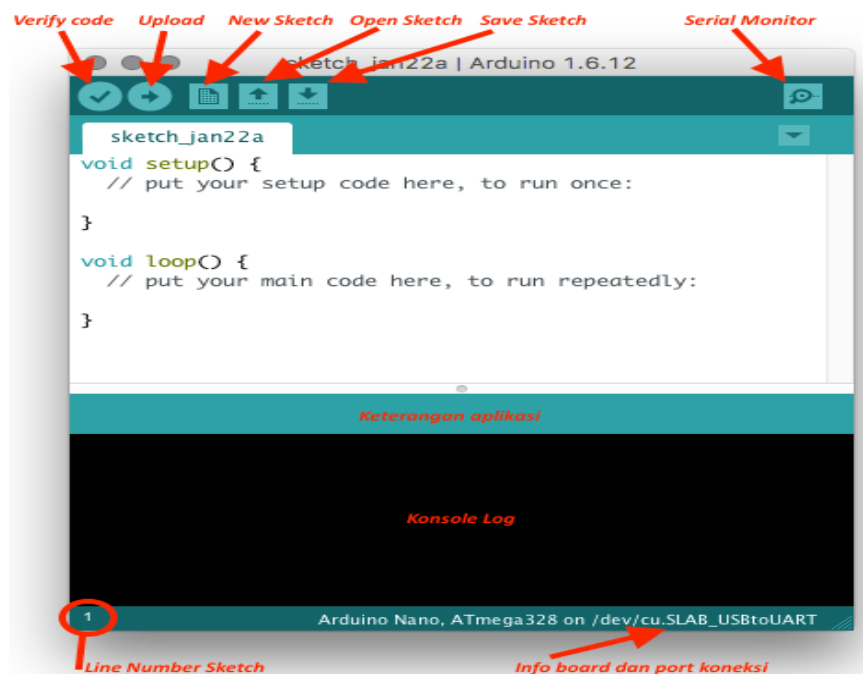
**Gambar 2.1** Konsep IoT (Efendi, 2018)

## 2.6 *Software* Arduino IDE

Bahasa pemrograman Arduino IDE menggunakan jenis bahasa pemrograman Java yang dilengkapi dengan sebuah *library* C/C++ (*wiring*), sehingga sangat mudah dalam mengoperasikan *input/output* didalamnya. *Library Software Serial* (LSS) telah dikembangkan untuk memungkinkan komunikasi serial pada pin digital Arduino lainnya, menggunakan perangkat lunak untuk mereplikasi fungsionalitas yang memiliki beberapa *port* serial perangkat lunak dan dengan kecepatan hingga 115200 bps. Arduino menggunakan perangkat lunak pengolahan (*software processing*) yang digunakan untuk menulis *syntax code* atau program ke dalam Arduino (Amsar & Khairuman, 2020).

Arduino IDE dapat dipasang diberbagai *operating system* (OS) seperti Windows, Mac, dan Linux. Arduino IDE memiliki tiga bagian utama sebagai berikut.

- Editor Program*, bagian ini merupakan ruang membuat *syntax code* di dalam Arduino IDE.
- Compiler Program*, bagian ini untuk mengetahui kesalahan pembacaan program dengan mengubahnya menjadi kode biner
- Verify Program*, bagian ini digunakan untuk mengecek program yang dibuat bisa berjalan atau tidak.
- Uploader Program*, bagian ini yang memasukkan kode biner ke dalam modul Mikrokontroler dan mentransmisikan program ke dalamnya.



**Gambar 2.2** Tampilan Software Arduino IDE (Fezari & Dahoud, 2018)

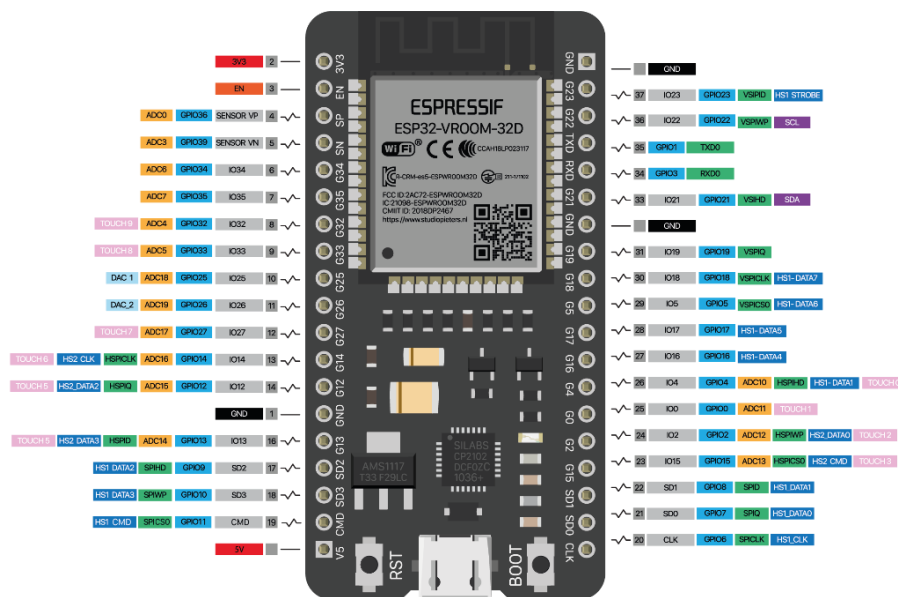
Arduino IDE juga memiliki menu pendukung lainnya yang dapat digunakan dan dijalankan sistem seperti serial monitor yang berfungsi untuk menampilkan data yang terpanggil, konsol log berfungsi untuk menampilkan data informasi berupa akses lokasi penyimpanan dan pemberitahuan terkait kode program, *library open* berfungsi untuk memasukkan *library* program ke dalam arduino dan menu lainnya (Fezari & Dahoud, 2018).

## 2.7 Node MCU ESP32

Node MCU adalah *platform open source* berdasarkan ESP32 yang dapat menghubungkan objek dan membiarkannya diproses melalui jaringan nirkabel pada modul tersebut untuk mengirimkan atau mentransfer data menggunakan protokol *Wi-Fi*. Selain itu, dengan menyediakan beberapa fitur paling penting dari mikrokontroler seperti GPIO, PWM, ADC, dan lain-lain, dapat memecahkan banyak kebutuhan proyek saja. Fitur umum dari papan ini adalah sebagai berikut.

- mudah digunakan dan memiliki antena internal.
- programabilitas dengan bahasa Arduino IDE atau IUA.
- tersedia sebagai titik akses atau stasiun.
- berisi 13 pin GPIO, 10 saluran PWM, I2C, SPI, ADC, UART, dan 1-Wire. (Prasetyawan *et al.*, 2021).

Node MCU bisa dianalogikan sebagai *board* arduino-nya ESP32. ESP32 dapat diintegrasikan dengan *firebase* dalam implementasi IoT. Modul ESP32 memiliki *wifi* terintegrasi yang menyediakan koneksi ke *router wifi* kemudian dapat mengumpulkan sinyal dari sensor. Penggunaan untuk pemantauan, perangkat harus terhubung ke IP dari *server hosting code* (Stojanovic *et al.*, 2017). Berikut tampilan Node MCU ESP32 terlihat **Gambar 2.3**.

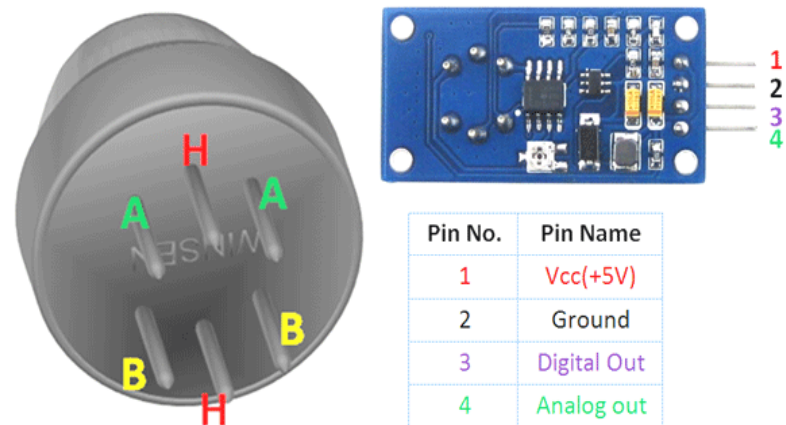


**Gambar 2.3** Tampilan Node MCU ESP32 (Stojanovic *et al.*, 2017).

## 2.8 Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 merupakan sensor gas yang dapat mendeteksi kadar gas-gas berbahaya yang mengganggu pernapasan manusia. Sensor MQ-135 memberikan hasil deteksi kualitas udara berupa perubahan pada nilai resistensi analog pada pin *outputnya*. Sensor MQ-135 merupakan sensor dengan nilai resistansi  $R_s$  berubah bila terkena gas. Sensor MQ-135 dapat mendeteksi gas amonia ( $NH_3$ ), natrium-dioksida ( $NO_2$ ), alkohol/etanol ( $C_2H_5OH$ ), benzene ( $C_6H_6$ ), karbon dioksida ( $CO_2$ ), gas belerang/sulfur hidroksida ( $H_2S$ ) dan gas-gas lainnya (Rosa *et al.*, 2020). Kelebihan dari sensor ini adalah memiliki kepekaan yang baik terhadap gas berbahaya dalam berbagai konsentrasi (Novelan, 2020).

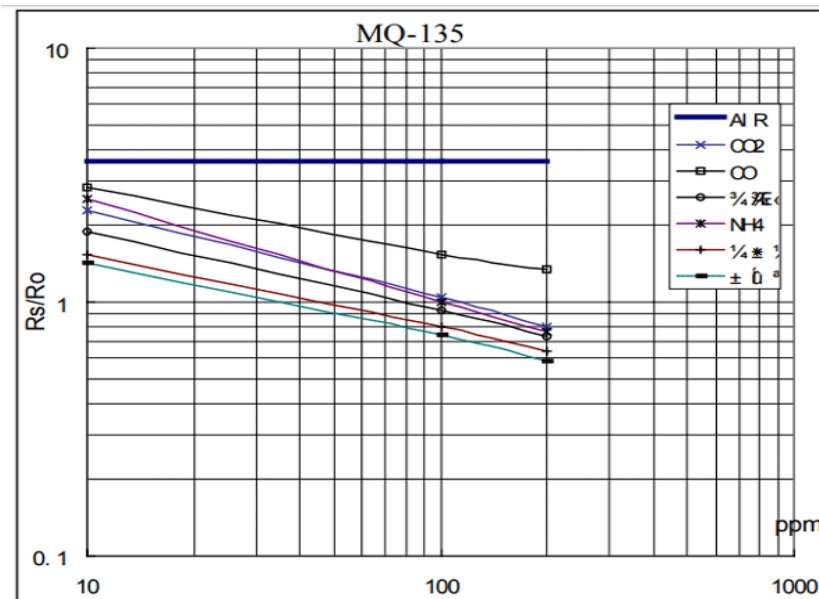
Karakteristik kepekaan sensor MQ-135 terhadap gas yang dideteksi akan berubah bergantung pada parameter yang diukur di sekitar atau tempat pengujian yang dilakukan. Karakteristik kepekaan sensor dapat dilihat pada *datasheet* yang tersedia sehingga dapat langsung digunakan (Mayola, 2022). Berikut model sensor gas MQ-135 dapat dilihat pada **Gambar 2.4** di bawah ini.



**Gambar 2.4** Model Sensor Gas MQ-135 (Anonim, 2023)

Pada **Gambar 2.4** menunjukkan informasi terkait *datasheet* dan pin masukan serta pin keluaran yang digunakan pada MQ-135. Pin masukan bekerja untuk mendeteksi kadar udara sekitar kemudian pin keluaran akan menerima data tersebut. Adapun *datasheet* kepekaan sensor dapat dilihat pada **Gambar 2.5** sebagai berikut.





**Gambar 2.5** Karakteristik Sensor Gas MQ-135 (Salatin *et al.*, 2019)

Pada **Gambar 2.5** menunjukkan karakteristik sensitivitas gas MQ-135 untuk beberapa gas. Grafik di atas memuat informasi yang digunakan dalam proses kalibrasi serta untuk mendapatkan nilai ppm yang sebenarnya. Nilai yang didapatkan dari setiap poin-poin gas memerlukan analisis sehingga bisa mendapatkan nilai poin yang akurat, mulai dari menentukan nilai  $R_s$ ,  $R_o$ , serta menentukan *trendline* dari pembacaan grafik. Perhitungan untuk mendapatkan nilai dari resistansi sensor sendiri menggunakan rumus dari persamaan berikut.

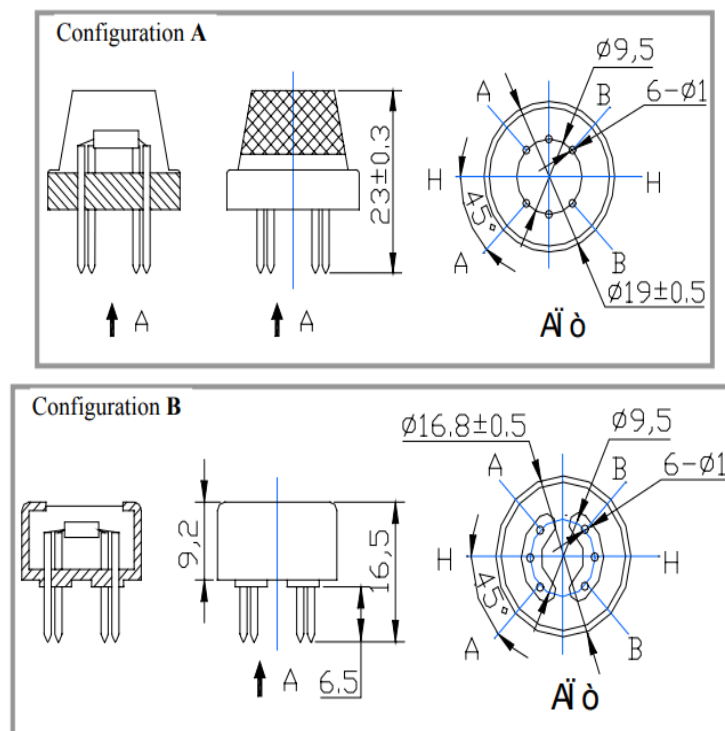
$$R_o = \left( \frac{V_C}{V_{RL} - 1} \times R_L \right) \quad (2.2)$$

Dimana  $R_s$  adalah resistansi sensor MQ-135 pada saat pengukuran dengan kondisi udara yang berbeda-beda,  $V_C$  adalah tegangan dari *power supply* (5V),  $V_{RL}$  adalah tegangan analog keluaran rangkaian modul sensor, dan  $R_L$  adalah resistansi keluaran rangkaian modul sensor (1 K $\Omega$ ). Setelah mendapatkan nilai  $R_s$  selanjutnya adalah proses perhitungan untuk mendapatkan nilai  $R_o$  yang merupakan resistansi sensor MQ-135 pada saat kondisi udara bersih. Berikut merupakan perhitungan nilai  $R_o$  dapat dilihat pada persamaan di bawah ini.

$$R_s = \frac{R_o}{\text{clean factor}} \quad (2.3)$$

dimana *clean factor* adalah faktor yang mempengaruhi resistansi karena kondisi kelembapan dan temperatur yaitu sebesar 3,6 (dari *datasheet*).

Sensor MQ-135 termasuk jenis sensor TGS (*Taguchi Gas Sensor*). Karakteristik jenis sensor ini adalah jika dalam posisi bekerja mendeteksi suatu gas, maka tegangan sensor akan turun (Indahwati & Nurhayati, 2015). Terdapat 2 model konfigurasi dari sensor MQ 135 berdasarkan dimensinya. Di bawah ini merupakan dimensi sensor terlihat pada **Gambar 2.6** berikut.



**Gambar 2.6** Model Konfigurasi Sensor MQ-135 (Indahwati & Nurhayati 2015).

Adapun *datasheet* dari sensor MQ 135 ditunjukkan pada **Tabel 2.3** di bawah ini.

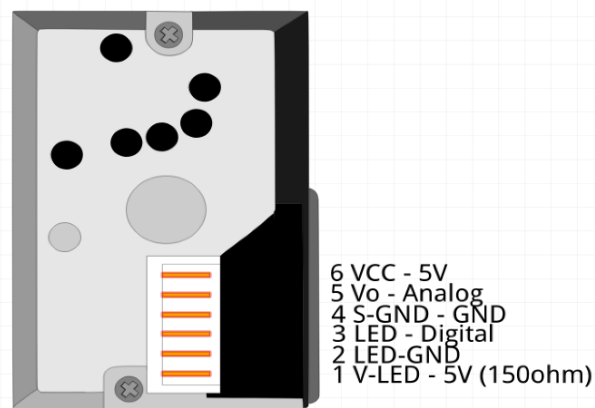
**Tabel 2.3.** Spesifikasi standar kerja sensor MQ 135

Parameter	Kondisi Teknis	Keterangan
<i>Circuit Voltage</i>	5V ± 0,1	AC atau DC
<i>Heating Voltage</i>	5V ± 0,1	AC atau DC
<i>Load Resistance</i>	Bisa menyesuaikan	-
<i>Heater Resistance</i>	33 Ω ± 5%	Suhu Ruangan
<i>Heating Consumption</i>	<500 mW	-
Jangkauan	10-300 ppm amonia	-
Pengukuran	10-1000 ppm benzol 10-300 ppm alkohol	

(Rosa *et al.*, 2020).

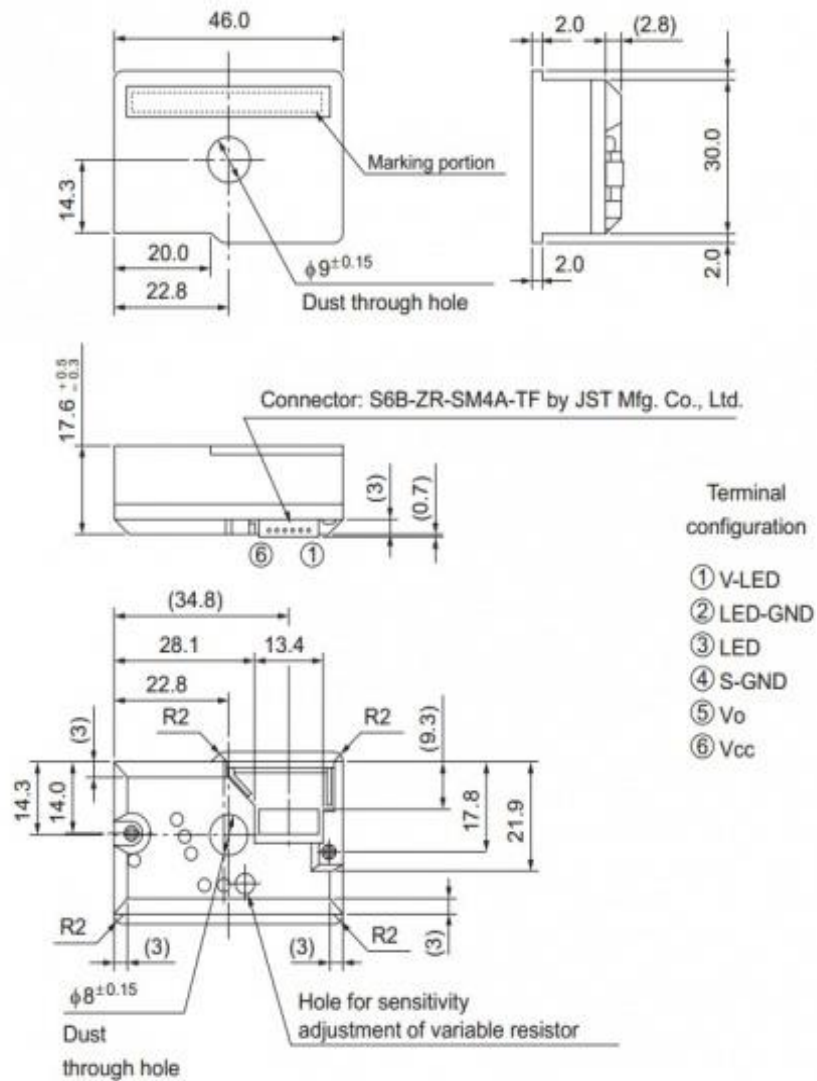
## 2.9 Sensor Sharp GQ2Y1010AU0F

Sensor GP2Y1010AU0F merupakan sensor pendeteksi debu atau partikulat. Prinsip kerja dari sensor ini yaitu dengan mendeteksi debu ataupun partikel yang kemudian akan di pantulkan cahaya (LED) dan sensor *photodiode* ke bagian penerima sehingga terjadi perubahan intensitas didalamnya. Spesifikasi dari GP2Y1010AU0F yaitu berbasis inframerah, output tegangan adalah analog yang artinya semakin tinggi intensitas debu semakin tinggi nilai tegangan output, suplai tegangan sebesar 5V, suhu operasi mulai dari -10 sampai 65 derajat Celcius dan konsumsi arus sebesar 20mA *maximal* (Yunita *et al.*, 2021). Berikut merupakan sensor GP2Y1010AU0F dapat dilihat pada **Gambar 2.7** di bawah ini.



**Gambar 2.7** Sensor *Sharp* GP2Y1010AU0F (Anonim, 2023).

Berdasarkan pada **Gambar 2.7**, sensor *Sharp* GP2Y1010AU0F ini memiliki 6 pin yang terintegrasi modul diantaranya yaitu pin VCC 5V, pin  $V_o$  analog, pin GND, pin LED digital dan LED GND serta pin V-LED 5V (150 ohm). Keluaran dari sensor ini kemudian dipresentasikan melalui nilai tegangan yang terukur dengan kadar kepadatan debu yang memiliki nilai sensitivitas 0.5V atau  $0.1 \text{ mg/m}^3$ . Hal ini berarti setiap  $0,1 \text{ mg/m}^3$  yang merupakan kadar kepadatan debu terukur, maka tegangan akan naik sebesar 0,5V. Sensor ini memiliki dioda pemancar inframerah dan fototransistor disusun secara diagonal dengan ukuran kecil yang berfungsi untuk memungkinkannya mendeteksi cahaya pantulan debu di udara (Yunita *et al.*, 2021). Adapun model konfigurasi khas dari sensor GP2Y1010AU0F dapat terlihat pada **Gambar 2.8** berikut.



**Gambar 2.8** Model Konfigurasi Sensor GP2Y1010AU0F (Anonim, 2023)

Adapun informasi terkait *datasheet* dari sensor *sharp dust* GP2Y1010AU0F dapat dilihat pada **Tabel 2.4**.

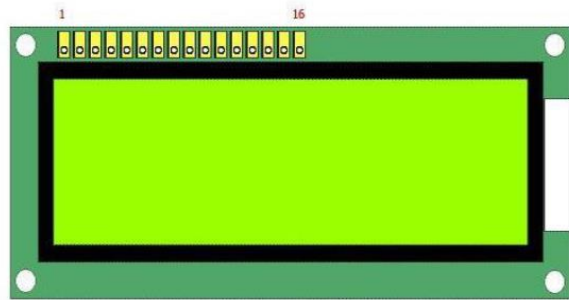
**Tabel 2.4** Spesifikasi Standar Kerja Sensor Sharp GP2Y1010AU0F

No	Keterangan	Value
1	<i>Sampling Time</i>	280 mikrosekond
2	<i>Delta Time</i>	40 mikrosekond
3	<i>Sleeping Time</i>	9680 mikrosekond
4	Sensitivitas Sensor	0,5 V atau 0,1 mg/m <sup>3</sup>
5	Tegangan <i>Input</i> Sensor	5 Volt
6	Rumus Sensor	$Dust Density = 0,17 \times voltage - 0,1$

(Wisnulaksito *et al.*, 2017).

## 2.10 Liquid Crystal Display (LCD)

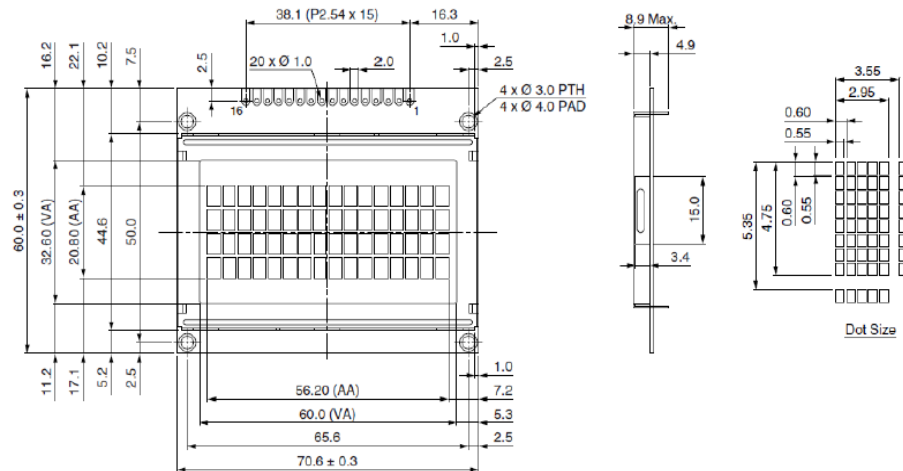
LCD merupakan media penampil yang menggunakan kristal cair sebagai penampil utama. LCD sudah digunakan diberbagai perangkat keras (*hardware*), misalnya dalam alat-alat elektronik (Madhawirawan, 2013). Bentuk fisik dari LCD karakter 20x4 dapat dilihat pada **Gambar 2.9** berikut.



- PIN 1 - VSS
- PIN 2 - VCC
- PIN 3 - VEE
- PIN4 - RS
- PIN5 - R/W
- PIN6 - EN
- PIN7 - D0
- PIN8 - D1
- PIN9 - D2
- PIN10 - D3
- PIN11 - D4
- PIN12 - D5
- PIN13 - D6
- PIN14 - D7
- PIN15 - BACKLIGHT +
- PIN16 - BACKLIGHT GND

**Gambar 2.9** LCD 20x4 (Daihn, 2010)

Pada **Gambar 2.9** menunjukkan LCD dengan karakter 20x4 beserta dengan pinnya, dari pin 1 sampai pin 20 dengan berbagai fungsi pin. Fungsi dari pin tersebut akan dijelaskan pada **Tabel 2.5** di bawah ini beserta simbol nya. Adapun karakteristik model konfigurasi pada LCD 20x4 berdasarkan dimensi dapat dilihat pada **Gambar 2.10** di bawah ini.



**Gambar 2.10** Model Konfigurasi LCD 20x4 (Budiarso & Prihandono, 2015).

Pada **Gambar 2.10** merupakan dimensi dari LCD dengan 20x4 karakter yang memiliki plot atau partisi kristal dan beberapa konfigurasi pin yang dijelaskan pada gambar di atas. Adapun *datasheet* pada LCD dapat dilihat pada **Tabel 2.5** berikut.

**Tabel 2.5** Spesifikasi *Mapping* Pin LCD 20x4

No	Simbol	Fungsi Pin
1	VSS	Ground LCD
2	VCC	Catu daya positif LCD
3	VEE	Mengatur kontras LCD
4	RS	Membaca atau menuliskan karakter
5	EN	<i>Enable</i> LCD
6	D0-D3	Kombinasi Tingkat Rendah
7	D4-D7	Transfer data ke unit kontrol
8	<i>Backlight</i> (+)	Catu daya positif lampu LCD
9	<i>Backlight</i> (-)	Ground lampu LCD

(Budiarso & Prihandono, 2015).

### 2.11 *Hipertext Markup Language* (HTML)

HTML merupakan bahasa yang digunakan untuk mendeskripsikan struktur sebuah halaman *web*. Hal ini seperti misalnya membuat elemen paragraf, gambar, link dan lain sebagainya. HTML pada umumnya berfungsi untuk membuat halaman web. *Statement* dasar dari HTML disebut *tags*. Sebuah *tag* dinyatakan dalam sebuah kurung siku (< >). *Tags* yang ditujukan untuk sebuah dokumen atau bagian dari suatu dokumen haruslah dibuat berupa pasangan yang terdiri dari *tag* pembuka dan *tag* penutup dimana *tag* penutup menggunakan tambahan tanda garis miring (/) di awal nama *tag* (Sari *et al.*, 2022).

Sebagian besar halaman web merupakan halaman yang dibangun dengan HTML karena merupakan bentuk utama dari halaman web. Sebuah halaman web dapat dibuat hanya dengan menggunakan HTML (Tanpa CSS dan *Javascript*). HTML bisa dikatakan sebagai *blue print* atau kerangka struktur dari proses perancangan *website* dan proses perancangan *website* tersebut dan HTML menggunakan sebuah tag HTML yang sering kali digunakan pada perancangan *website* diantaranya adalah <div>, <p>, <h1>, <img>, <a>, <nav>, <ol>, <ul> dan beberapa tag HTML lainnya (Sari *et al.*, 2022).

### 2.12 *Cascading Style Sheet (CSS)*

CSS adalah bahasa *Cascading Style Sheet* dan biasanya digunakan untuk mengatur tampilan elemen yang tertulis dalam bahasa *markup*, seperti HTML. CSS berfungsi untuk memisahkan konten dari tampilan visualnya di situs. HTML dan CSS memiliki keterikatan yang erat karena HTML adalah bahasa *markup* (fondasi situs) dan CSS memperbaiki *style* (untuk semua aspek yang terkait dengan tampilan *website*), maka kedua bahasa pemrograman ini harus berjalan beriringan (Rahmatuloh & Revanda, 2022).

### 2.13 *JavaScript*

*JavaScript* pada umumnya digunakan dalam pembuatan sebuah halaman web, biasanya *javascript* di gunakan untuk memberikan fungsi, komunikasi dengan *server*, validasi dan sebagainya. *JavaScript* sendiri adalah bahasa *script* untuk web yang dapat bekerja di sebagian besar *browser* ternama seperti *internet explorer*, *firefox*, dan *chrome* *Java* yang merupakan *oriented object programing*, sedangkan *script* merupakan serangkaian intruksi. Bahasa yang dikembangkan *Netscape* pada 1995 ini awalnya bernama *livescript* dan digunakan sebagai bahasa sederhana untuk *netscape navigator* yang terkemuka pada waktu itu. *Javascript* digunakan untuk beberapa fungsi dan hanya berjalan pada *browser*. *User* hanya akan melihat tampilan fungsi yang sudah jadi. *Javascript* akan membuat web anda menjadi lebih *responsive* terhadap perintah-perintah dari klien yang membutuhkan respon cepat untuk mengecek data apakah sudah valid atau belum juga membuat web menjadi dinamis (Mariko, 2019).

### 2.14 *Hipertext Preprocessor (PHP)*

PHP atau yang biasa disebut *Hypertext Preprocessor* adalah sebuah bahasa pemrograman *server-side scripting* yang bersifat *open source*. Sebagai sebuah *scripting language*, PHP menjalankan instruksi pemrograman saat proses *runtime*.

Hasil dari instruksi tentu akan berbeda tergantung data yang diproses. PHP merupakan bahasa pemrograman *server-side*, maka *script* dari PHP nantinya akan diproses di *server*. Jenis *server* yang sering digunakan bersama dengan PHP antara lain *Apache*, *Nginx*, dan *LiteSpeed* (Rahmatuloh & Revanda, 2022).

## 2.15 MySQL

MySQL adalah sebuah perangkat lunak sistem manajemen basis data (*Database Management System*) atau DBMS yang *multithread*, *multi-user* dan didistribusikan secara gratis di bawah lisensi GPL (*General Public License*). MySQL dapat secara bebas digunakan, akan tetapi dengan batasan perangkat lunak tersebut tidak boleh dijadikan produk turunan yang bersifat komersial. MySQL memegang penuh hak cipta atas semua kode sumbernya. Beberapa kelebihan MySQL antara lain yaitu gratis (bebas di download), stabil dan tangguh, fleksibel dengan berbagai bahasa pemrograman, *security* yang baik, dukungan dari banyak komunitas, kemudahan management database, mendukung transaksi dan perkembangan perangkat lunak *software* yang cukup cepat (Mariko, 2019).



### III. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret sampai dengan Juni 2023. Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan mulai dari studi literatur sampai analisis hasil dan pembuatan laporan akhir. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Elektronika Dasar, Jurusan Fisika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung. Jadwal pelaksanaan penelitian dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

**Tabel 3.1.** Jadwal Pelaksanaan Penelitian

No.	Kegiatan	Waktu Pelaksanaan (Bulan ke-)			
		1	2	3	4
1	Studi Literatur dan Pembuatan Proposal Penelitian	■			
2	Perancangan Sistem <i>Monitoring</i> dan IoT.	■			
3	Pengujian dan Pengambilan Data			■	
4	Analisis Hasil dan Pembuatan Laporan Akhir				■

#### 3.2 Alat dan Bahan

Penelitian ini memerlukan peralatan dan beberapa bahan untuk membuat rancang bangun sistem *monitoring* kualitas udara berbasis IoT. Peralatan dan bahan yang digunakan adalah sebagai penunjang utama untuk membuat kerangka dan sistem pada alat monitor ini. Adapun peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.2** sebagai berikut.

**Tabel 3.2** Perangkat Alat Yang Digunakan

No	Nama	Fungsi
1	Laptop	Membuat listing program menggunakan <i>software</i> Arduino IDE.
2	<i>Handphone</i> atau PC	<i>Memonitoring</i> kualitas udara.
3	Kabel USB	Mentransmisikan dan atau mengupload program.
4	Multimeter	Mengukur nilai besaran elektrik.
5	Peralatan Lainnya	Komponen pendukung dalam pembuatan alat, seperti solder, bor, gunting dll

Penelitian ini ditunjang dengan beberapa bahan atau komponen elektronik yang digunakan. Daftar komponen tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.3** di bawah ini.

**Tabel 3.3** Perangkat Elektronik Yang Digunakan

No.	Nama	Fungsi
1	Node MCU ESP32	<i>Board</i> elektronik yang memiliki chip ESP32 terkoneksi internet ( <i>WiFi</i> ).
2	MQ-135	Sensor yang mendeteksi parameter kadar gas nitrogen dioksida ( $\text{NO}_2$ )
3	GP2Y1010AU0F	Sensor yang mendeteksi parameter kadar debu ( $\text{PM}_{10}$ ).
4	Jumper	Sebagai penghubung antara dua atau lebih komponen elektronika.
6	<i>Protoboard</i>	Sebagai media atau tempat penyusunan rangkaian.
7	<i>Power Suply</i>	Pemberi daya listrik untuk satu atau dua beban.
8	LCD 20x4	Penampil data nilai keluaran pada layar monitor.
9	DHT11	Sensor pendeteksi suhu dan kelembaban

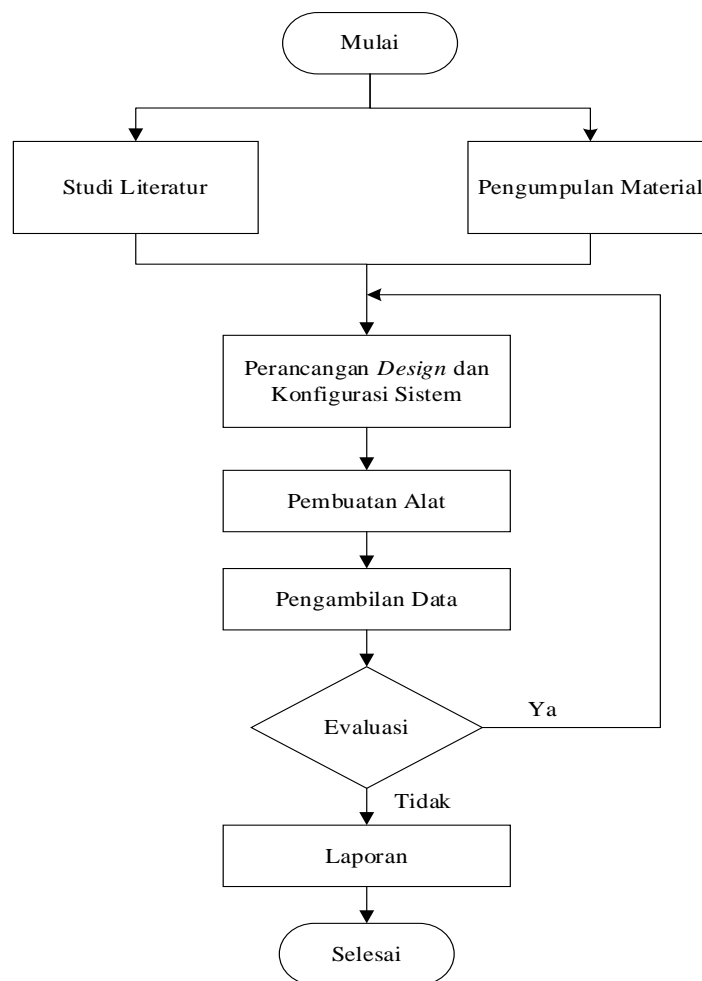
Komponen lainnya yang digunakan perangkat lunak (*software*) Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.4** sebagai berikut.

**Tabel 3.4** Perangkat Lunak (*Software*) Yang Digunakan

No.	Nama	Fungsi
1	Arduino IDE	Membuat dan meng- <i>upload</i> program ke Node MCU ESP32
2	Fritzing	Membuat sistem perancangan dan perangkaian atau gambar alat.
3	Visual Studio Code	Membuat <i>website monitoring</i>
4	SketchUp	Membuat desain utuh alat.
5	Microsoft Office Word 2019	Menulis Laporan penelitian.
6	Microsoft Office Excel 2019	Menulis dan mengolah data.

### 3.3 Tahapan Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang mendasari pembuatan sistem *monitoring* kualitas udara berbasis *internet of things* (IoT). Tahapan penelitian ini secara umum juga didefinisikan sebagai perencanaan konsep tentang alur penelitian agar lebih mudah dan efisien. Di bawah ini disajikan diagram alir tahapan penelitian seperti pada **Gambar 3.1** berikut.



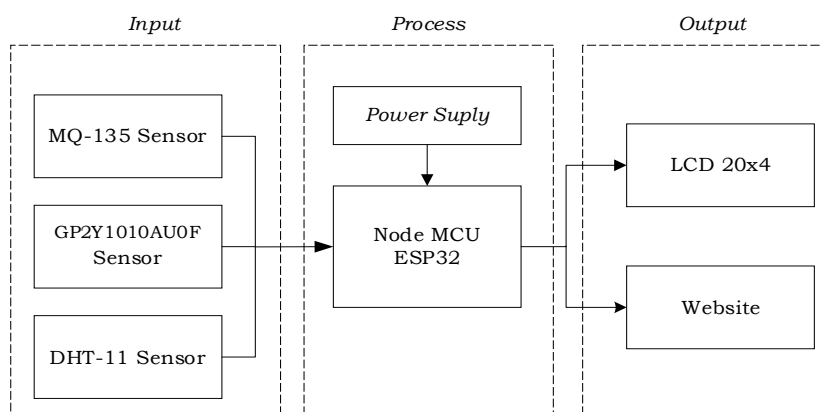
**Gambar 3.1.** Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan **Gambar 3.1** tahapan penelitian yang pertama adalah melakukan studi literatur dengan mencari referensi materi, riset dan mempelajari konsep-konsep yang terkait tentang sistem *monitoring* kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT). Tahap berikutnya adalah pengumpulan material seperti menyiapkan alat dan bahan yang digunakan kemudian melakukan perancangan *design* dan konfigurasi

sistem dengan menggunakan *software* fritzing. Perancangan ini dilakukan sebagai gambaran konsep *wiring* setiap komponen sensor sebelum dilakukan pembuatan alat atau realisasi perangkat keras. Tahap berikutnya adalah pengujian dan pengambilan data. Jika *monitoring* berhasil dijalankan dan data keluaran sesuai dengan yang diharapkan, maka melakukan analisis hasil dengan mengacu pada standar indeks pencemaran udara yang ada.

### 3.3.1 Prosedur Perancangan Perangkat Keras (*Hardware*)

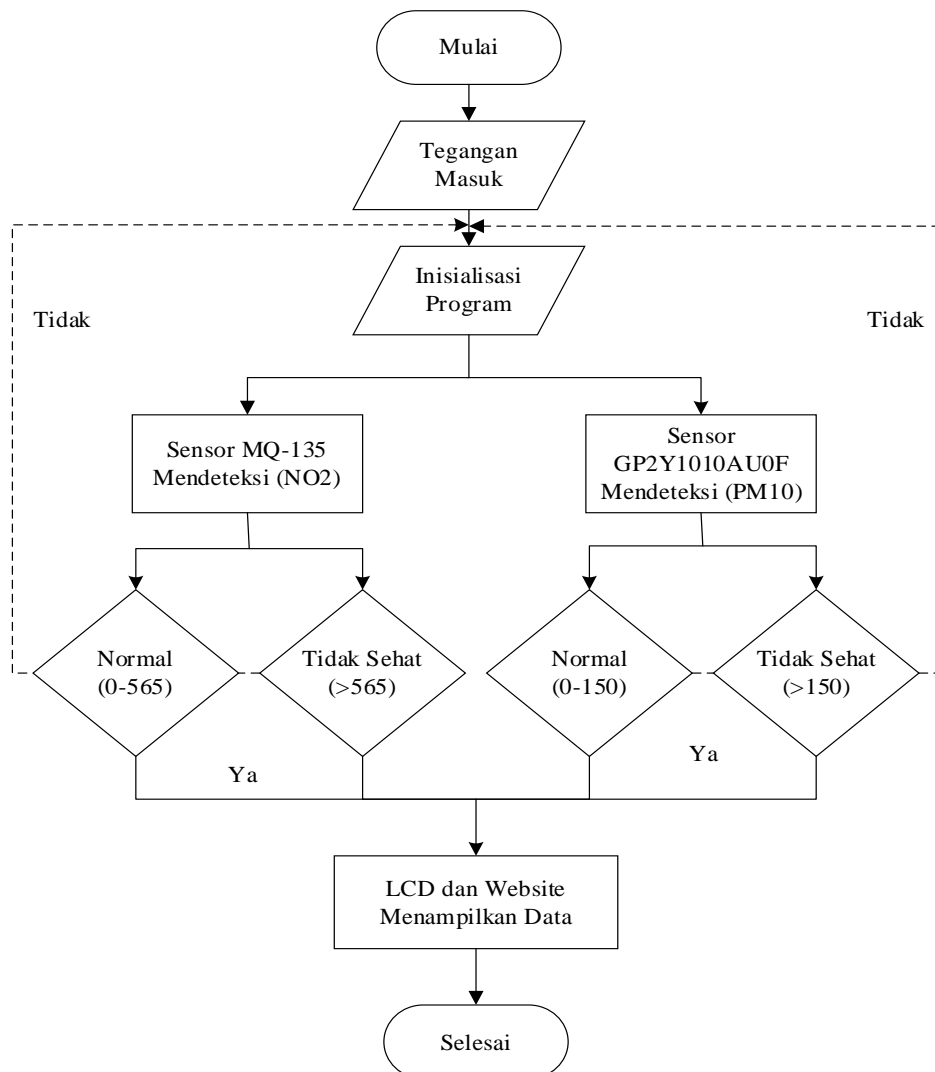
Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop atau pc yang digunakan untuk membuat *website monitoring*, Node MCU ESP32 sebagai unit kontrol, *power supply* sebagai sumber tegangan, sensor MQ-135, sensor GP2Y1010AU0F dan LCD 20x4. Adapun tampilan diagram blok sistem yang dibuat dapat dilihat pada **Gambar 3.2** berikut.



**Gambar 3.2.** Diagram Blok Perancangan Sistem

Berdasarkan **Gambar 3.2**, menu *input* meliputi tentang sistem menerima data masukan pengukuran melalui pin analog (ADC) sensor. Sensor akan mendeteksi keberadaan dari parameter zat yang diukur kemudian data dikirim ke menu proses yaitu pada Node MCU ESP32. Pada bagian menu *process*, data yang masuk merupakan data digital yang telah dikonversi sebelumnya (ADC). Pengolahan sinyal PWM Node MCU ESP32 dari sensor kemudian dikirim ke bagian *output* sistem. Bagian menu *output* merupakan tampilan data keluaran dengan menggunakan LCd 20x4 dan *website monitoring*.

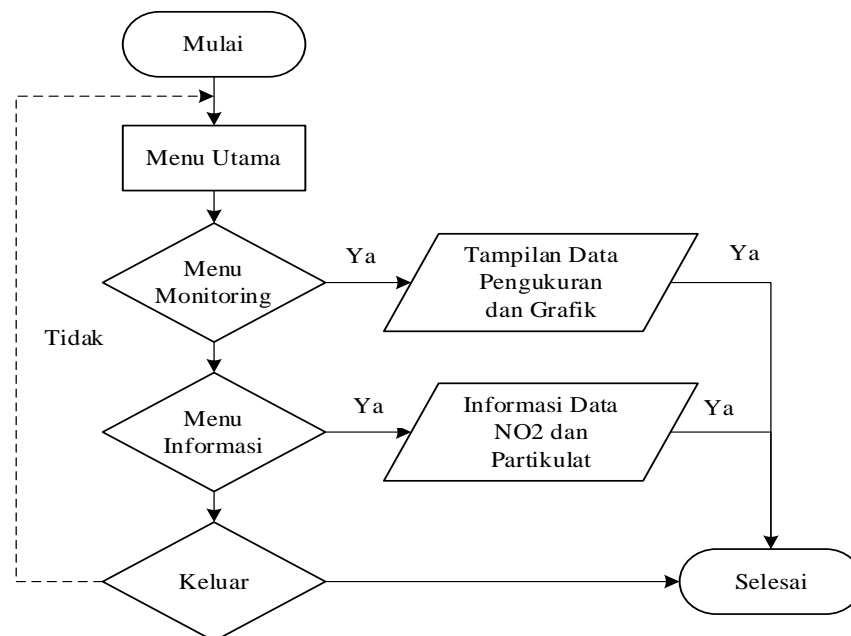
Perancangan perangkat keras ini merupakan gabungan dari beberapa komponen sensor dan komponen lainnya yang telah terintegrasi. Perancangan ini melibatkan seluruh komponen sehingga disebut sebagai perangkat keseluruhan alat. Alat yang dibuat melakukan *processing* tegangan masuk yang berasal dari *power supply* kemudian menginisialisasi program oleh unit kontrol (mikrokontroler). Mikrokontroler akan mentransmisikan perintah program dan diterima oleh sensor sehingga dapat mendeteksi kadar zat polutan. Sistem akan melakukan pengondisian zat polutan terukur dengan mengategorikan aman atau tidak sehat. Data akhir merupakan data hasil pengukuran yang tertampil pada layar LCD 20x4 dan *website monitoring*. Agar lebih mudah memahami, berikut *flowchart* atau diagram alir sistem keseluruhan alat dapat terlihat pada **Gambar 3.3** berikut.



**Gambar 3.3** Diagram Alir Sistem Keseluruhan

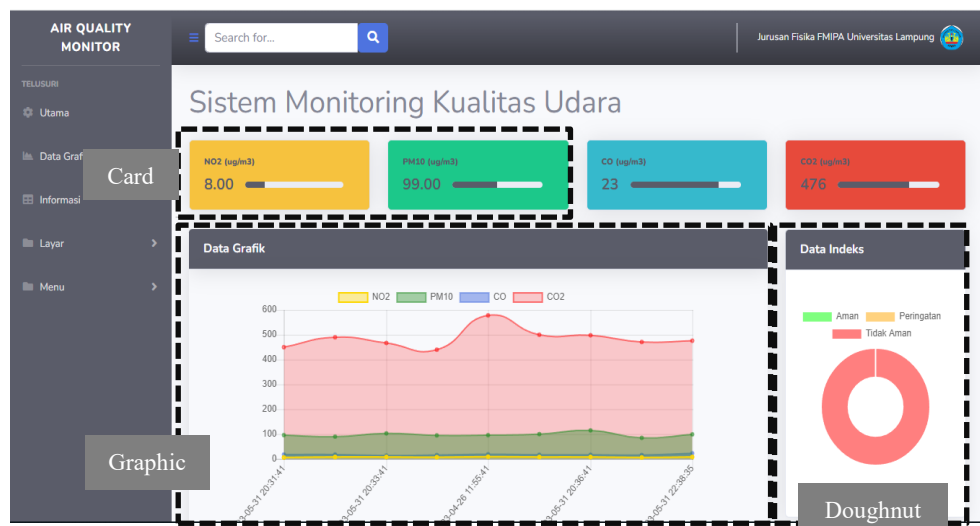
### 3.3.2 Prosedur Perancangan Perangkat Lunak (*Software*)

Perancangan perangkat lunak berupa logika algoritma pemrograman mulai dari pembacaan data sensor, melakukan perhitungan terhadap data yang didapat dan klasifikasi data. Perancangan sistem antar muka (*interface*) *website monitoring* menggunakan bahasa HTML, CSS dan *Javascript*. Sedangkan pada sisi *database* sistem atau *cloud system* menggunakan bahasa PHP yang terintegrasi dengan XAMPP. Pemrograman dilakukan dengan menggunakan *text editor* Visual Studio Code (VSCoDe). *Website* ini akan menampilkan hasil *monitoring* dalam bentuk data *card* dan *graphic* serta terdapat informasi yang diberika tentang kualitas udara. Adapun *flowchart* yang tertampil pada **Gambar 3.4** sebagai berikut.



**Gambar 3.4** Diagram Alir Sistem Antar Muka

Berdasarkan **Gambar 3.4**, data hasil pengukuran kondisi kualitas udara diproses oleh Node MCU ESP32. Data yang masuk tersebut akan diproses dan disimpan didalam *database* MySQL kemudian ditampilkan ke *website monitoring* secara *real time*. *Website* akan terus terintegrasi dengan alat ketika data internet telah terkoneksi dengan sistem, jika tidak maka *monitoring* tidak akan berjalan. Di bawah ini merupakan tampilan *mock up* antar muka *website* yang akan dibuat terlihat pada **Gambar 3.5** berikut.

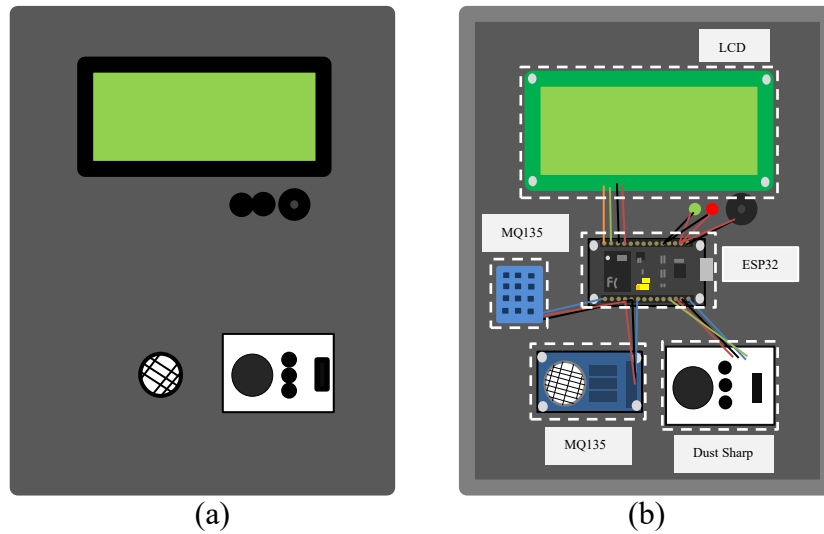


**Gambar 3.5** Mock up antar muka website

**Gambar 3.5** di atas, website tersebut memiliki 3 menu utama yaitu *navbar*, *sidebar* dan *container*. Pada bagian *navbar* berisi tampilan logo *profile*. Pada bagian *sidebar* berisi tombol menu dan unit *toggler* untuk perlebar layar. Sedangkan pada bagian *container* berisi data *card*, *graphic chard* dan *pie chard*. Data *card* berfungsi untuk menampilkan data hasil pengukuran secara angka dalam satuan  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , *graphic chard* berfungsi untuk menampilkan data dalam bentuk grafik dan *pie chard* berfungsi untuk menampilkan indeks kualitas udara dengan 3 indikator yaitu aman jika nilai pengukuran berada pada indeks ISPU sebesar 0-50, sedang jika nilai pengukuran berada pada indeks ISPU 51-100 dan tidak sehat jika nilai pengukuran berada pada indeks ISPU lebih dari 100.

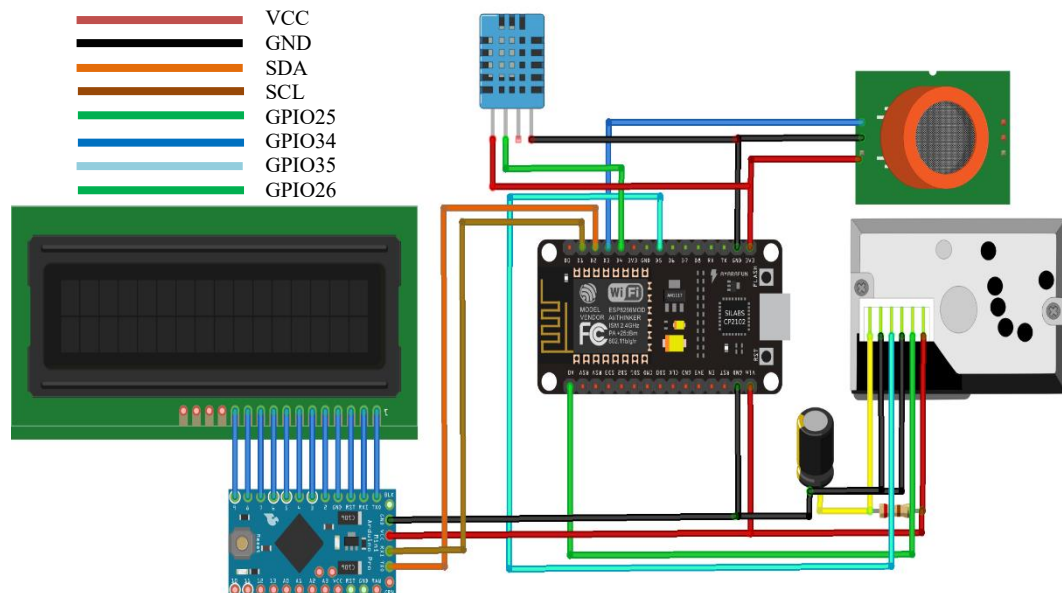
### 3.3.3 Desain dan Pembuatan Alat

Sensor MQ-135, GP2Y1010AU0F dan mikrokontroler diletakan pada sensor box. LCD 20x4 dihubungkan ke Mikrokontroler Node MCU ESP32 yang terhubung dengan modul sensor menggunakan jumper. Nilai setiap parameter akan ditampilkan pada LCD 20x4 dengan berbasis *internet of things* (IoT). Berikut ini rancangan desain dari alat sistem *monitoring* yang akan digunakan untuk menampilkan nilai kadar gas  $\text{NO}_2$  dan  $\text{PM}_{10}$  yang dijelaskan pada **Gambar 3.6**.



**Gambar 3.6** (a) Desain Alat Tampak Depan  
(b) Desain Alat Tampak Dalam

Sensor MQ-135 akan bekerja mendeteksi kadar gas  $\text{NO}_2$  dan sensor GP2Y1010AU0F akan bekerja untuk mendeteksi kadar materi partikulat  $\text{PM}_{10}$  di udara. Sketsa rangkaian dibuat dengan memerhatikan *wiring* disetiap komponen atau modul sensor dan layar LCD 20x4. Di bawah ini merupakan sketsa wiring alat yang ditampilkan pada **Gambar 3.7** berikut.



**Gambar 3.7** Wiring Keseluruhan Komponen



### 3.3.4 Pengujian Alat

Pengujian alat dilakukan di Kota Bandar Lampung dengan dua titik lokasi yaitu Kawasan industri Lampung Tengah dan kawasan Pelabuhan Bakauheni Lampung Selatan. Pengujian alat ini dilakukan satu hari disetiap lokasi yang telah ditentukan dalam rentang pagi sampai sore. Pertama dilakukan kalibrasi sensor yang bertujuan untuk memperoleh nilai akurasi dan *error* dari alat yang dibuat kemudian dibandingkan dengan alat standar. Pada tahap ini juga dilakukan konversi nilai analog sensor MQ-135 dan GP2Y1010AU0F ke bentuk satuan  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pada gas  $\text{NO}_2$  dan materi partikulat  $\text{PM}_{10}$ . Berikut merupakan tampilan beberapa tabel pengujian dan kalibrasi sensor dapat dilihat di bawah ini.

**Tabel 3.5** Pengujian dan Kalibrasi Sensor MQ-135 paramater  $\text{NO}_2$

No	Sensor MQ-135 (ppm)	Alat Standar (ppm)	Nilai Akurasi (%)	Nilai <i>Error</i> (%)
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
...	...	...	...	...
10	...	...	...	...

**Tabel 3.6** Pengujian dan Kalibrasi Sensor GP2Y1010AU0F paramater  $\text{PM}_{10}$

No	Sensor GP2Y1010AU0F ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Alat Standar ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nilai Akurasi (%)	Nilai <i>Error</i> (%)
1	...	...	...	...
2	...	...	...	...
...	...	...	...	...
10	...	...	...	...

Pada proses kalibrasi dilakukan, hasil pengujian menunjukkan nilai yang baik kemudian dilakukan pengonversian nilai. Konsentrasi yang digunakan dalam perhitungan ISPU adalah  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sementara konsentrasi  $\text{PM}_{10}$  sudah dalam satuan  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sedangkan konsentrasi instrument  $\text{NO}_2$  dalam ppm, sehingga data tersebut harus dikonversi terlebih dahulu ke  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  menggunakan persamaan berikut.

$$\mu\text{g}/\text{m}^3 = \frac{\text{ppm} \times \text{MW} \times \text{P}}{8,314 \times \text{suhu}} \quad (3.1)$$

dimana nilai ppm adalah konsentrasi gas dalam datuan ppm, MW adalah berat molekul gas dalam satuan gram per mol (gas NO<sub>2</sub> = 46,01 g/mol), P adalah nilai tekanan pada kondisi standar dalam satuan atm, 8,314 Joule/mol.K adalah konstanta gas ideal dan suhu dalam satuan kelvin (Kurniawan, 2017). Adapun nilai akurasi dan *error* diperoleh dengan menggunakan persamaan di bawah ini.

$$\text{Akurasi (\%)} = \left(1 - \left|\frac{Y - X_n}{Y}\right|\right) \times 100\% \quad (3.2)$$

$$\text{Error (\%)} = \left|\frac{Y - X_n}{Y}\right| \times 100\% \quad (3.3)$$

dimana nilai *Y* merupakan nilai referensi/ nilai standar, nilai *X<sub>n</sub>* merupakan nilai parameter ke-*n* pada sensor dan nilai 100% merupakan nilai pengonversian dalam bentuk persen (Arkundato, 2018). Setelah tahap pengujian dan kalibrasi berhasil dilakukan, kemudian dilanjutkan pada pengambilan data *monitoring* pada parameter NO<sub>2</sub> dan GP2Y1010AU0F. ini merupakan bentuk dari realisasi alat sistem *monitoring* kualitas udara. Data pengamatan akan disajikan dalam dalam **Tabel 3.8** berikut ini.

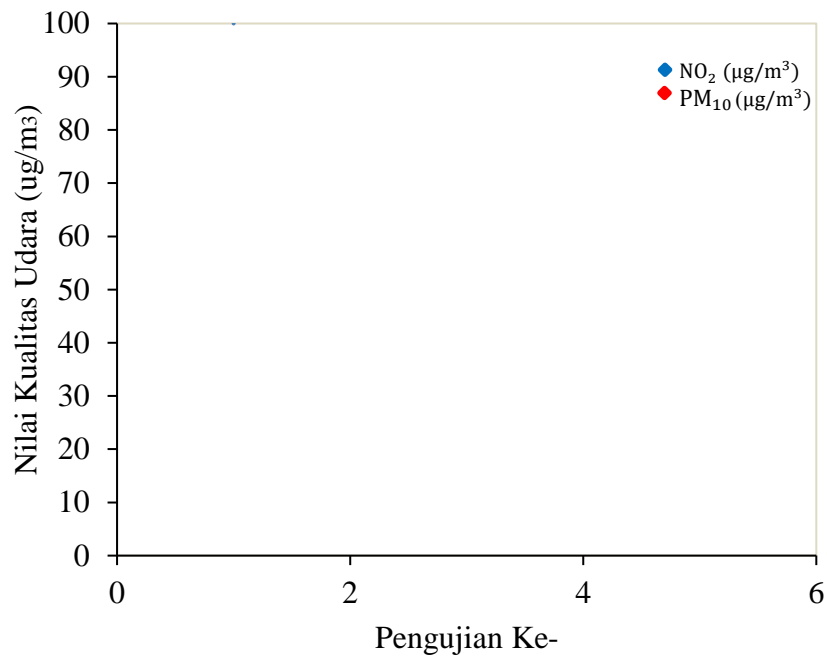
**Tabel 3.7** Data Monitoring Kualitas Udara di kawasan Industri, Lampung Tengah.

Pengujian ke	Data Monitoring		Indeks
	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
1	...	...	...
2	...	....	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...

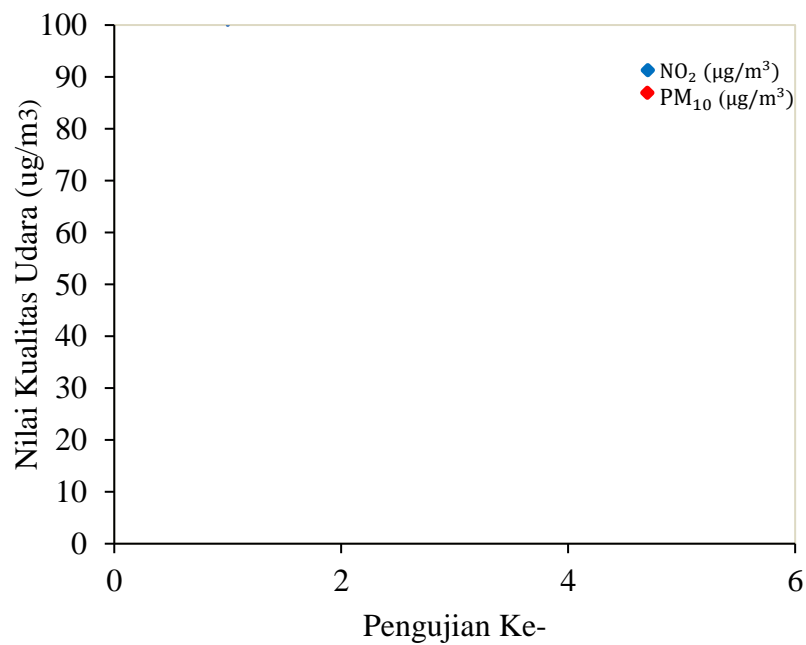
**Tabel 3.8** Data Monitoring Kualitas Udara di kawasan Pelabuhan Bakauheni Lampung Selatan.

Pengujian ke	Data Monitoring		Indeks
	NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (µg/m <sup>3</sup> )	
1	...	...	...
2	...	....	...
3	...	...	...
4	...	...	...
5	...	...	...

Di bawah ini merupakan tampilan grafik pengujian masing-masing sensor yang akan didapatkan sebagai berikut.



**Gambar 3.8** Kurva Grafik Kualitas Udara Kawasan Industri Lampung Tengah



**Gambar 3.9** Kurva Grafik Kualitas Udara Kawasan Pelabuhan Bakauheni Lampung Selatan

## V. SIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Simpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan data hasil *monitoring* parameter gas NO<sub>2</sub> dan PM<sub>10</sub> yang telah dilakukan pada penelitian ini, maka dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Alat *monitoring* kualitas udara mampu membaca nilai pengukuran gas NO<sub>2</sub> dan materi partikulat PM<sub>10</sub> dengan tingkat akurasi rata-rata sebesar 99,24% dan tingkat rata-rata *error* sebesar 0,76%.
2. Alat *monitoring* kualitas udara mampu menampilkan hasil pembacaan pengukuran kualitas udara ke dalam *website* sistem *monitoring* dengan rata-rata perbedaan waktu pengiriman dan waktu penerima adalah 1,96 detik.
3. Data *monitoring* kualitas udara di kawasan industri di Lampung Tengah dan Pelabuhan Bakauheni di Lampung Selatan menunjukkan nilai kualitas udara dalam indeks “Tidak Sehat” dengan rentang ISPU sebesar 101-199.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat dilakukan untuk penelitian selanjutnya adalah perangkat sensor pada alat *monitoring* gas NO<sub>2</sub> dapat dikembangkan dengan melakukan serangkaian pengujian atau kalibrasi sensor menggunakan alat standar sehingga pembacaan nilai sensor lebih akurat dan untuk masyarakat di kawasan target penelitian yang dalam hal ini adalah kawasan industri Lampung Tengah dan kawasan Pelabuhan Bakauheni Lampung Selatan senantiasa menggunakan masker atau alat pelindung diri agar dapat senantiasa waspada dan memproteksi atau mencegah dari bahaya kualitas udara yang kurang baik bagi kesehatan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdullah, A., Cholish, C., & Zainul haq, Moh. 2021. Pemanfaatan IoT (*Internet of Things*) Dalam *Monitoring* Kadar Kepekatan Asap dan Kendali Pergerakan Kamera. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Teknik Elektro*. Vol.2. No.1. Hal.86-89.
- Alchamdani. 2019. Paparan NO<sub>2</sub> dan SO<sub>2</sub> Terhadap Resiko Kesehatan Petugas Stasiun Pengisian Bahan Bakar Umum (SPBU) di Kota Kendari. *Jurnal Kesehatan Lingkungan*. Vol.11. No.4. Hal. 319-330.
- Alias, M., Hamzah, Z., & Kenn, L. S. 2007. PM<sub>10</sub> and Total Suspended Particulates (TSP) Measurement in Various Power Stations in The Malaysian. *Journal of Analytical Sciences*. Vol. 11. No.1. Hal. 255-261.
- Amsar, & Khairuman, M. 2020. Perancangan Alat Pendeteksi CO<sub>2</sub> Menggunakan Sensor MQ-7 Berbasis *Internet of Things*. *Jurnal Manajemen Informatika & Komputerisasi Akuntansi*. Vol.4. No.1. Hal. 73 -79.
- Anugrah, P. 2020. Rancang Bangun Sistem Pengukuran dan Pemantauan Tingkat Pencemaran Udara Berbasis *Internet of Things* (IoT). *Skripsi*. Surabaya. Institut Teknologi Surabaya.
- Anwar, S., Yuliat, A., Manova, R, Y. 2022. Rancang Bangun Alat Ukur Kualitas Udara (PM<sub>2.5</sub>, NO<sub>x</sub> dan CO) Berbasis IoT Menggunakan SIM8001 dan Mikrokontroler Arduino Mega 2560 di Kota Tasikmalaya. *Jurnal Informatika-Computing*. Vol.9. No.1. Hal. 36-43.
- Apriawati, E., Abadi Kiswandono, A., Terusan Nunyai Jl Negara km, S. I., & Agung. 2017. Kajian Indeks Standar Polusi Udara (ISPU) Nitrogen Dioksida (NO<sub>2</sub>) Di Tiga Lokasi Di Bandar Lampung. *Jurnal Analytical and Environmental Chemistry*. Vol. 2. No.1. Hal. 42-51.
- Arifien, F, N., Arifin, S., Widjiantoro, L, B., & Aisjah, S, A. 2012. Prediksi Kadar Polutan Dengan Menggunakan Jaringan Syaraf Tiruan (JST) Untuk Pemantauan Kualitas Udara di Kota Surabaya. *Jurnal Teknik Kimia*. Vol. 6. No.2. Hal. 31-41.
- Arisa, R & Kiswandono, A.A. 2017. Kajian Indeks Standar Polusi Udara (ISPU) PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, dan NO<sub>2</sub> di Kota Bandar Lampung. *Jurnal Analit: Analytical and Environmental Chemistry*. Vol. 2. No.2. Hal. 38-46.

- Artono, B., & Putra, R. G. 2019. Penerapan *Internet Of Things* (IoT) Untuk Kontrol Lampu Menggunakan Arduino Berbasis Web. *Jurnal Teknologi Informasi Dan Terapan*. Vol.5. No.1. Hal. 9–16.
- Budiyono, A. 2001. Pencemaran Udara: Dampak Pencemaran Udara Pada Lingkungan. *Jurnal Lingkungan dan Sains*. Vol. 2. No. 1. Hal. 23-27.
- Budiarso, Z., & Prihandono, A. 2015. Impelementasi Sensor Ultrasonik Untuk Mengukur Panjang Gelombang Suara Berbasis Mikrokontroler. Vol.20. No.2. Hal. 171-177.
- Constantya, Q. 2017. Studi Pola Konsentrasi Kualitas Udara Ambien Kota Surabaya (Parameter: NO, NO<sub>2</sub>, dan O<sub>3</sub>). *Skripsi*. Surabaya. Intitut Teknologi Surabaya.
- Cornelius, S, S. 2016. Perancangan Komponen Penunjang Sistem Pengendalian dan Pemonitoran Temperatur dan Kelembapan Udara Pada Gudang Penyimpanan Berbasis IoT. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Gajah Mada.
- Daihn, M. 2010. *Datasheet of JHD162A LCD Pdf*. <http://beara3d.net/datasheet-of-jhd162a-lcd-24/>. Diakses pada tanggal 22 Desember 2022 pukul 20.15 WIB.
- Efendi, Y. 2018. *Internet of Things* (IoT) Sistem Pengendalian Lampu Menggunakan Raspberry PI Berbasis *Mobile*. *Jurnal Ilmiah Ilmu Komputer*. Vol. 4. No. 1. Hal. 19-26.
- Fezari, M., & Dahoud, A. 2018. Integrated Development Environment “IDE” For Arduino and Introduction to Arduino IDE. *Journal Application of Thecnology*. Vol. 7. No. 5. Hal. 12-17.
- Firman, U. R., Suradi, Sunaryo., & Agus, A. 2019. Analisis Dampak Diterapkannya Kebijakan *Working from Home* (WFH) Saat Pandemi Covid-19 Terhadap Kondisi Kualitas Udara di Jakarta. *Jurna Meteorologi Klimatologi dan Geofisika*. Vol.6. No.3. Hal. 6-14.
- Fitria, L., Arminsih W.R., Hermawati, E.D.F. 2008. Kualitas Udara Dalam Ruang Perpustakaan Di Universitas “X” Ditinjau Dari Kualitas Biologi, Fisik dan Kimiawi. *Jurnal Makara Kesehatan*. Vol. 12. No.2. Hal. 77-83.
- Harahap, R. A., Mohammad, D., & Hariyawan, Y. 2021. Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kualitas Udara Berbasis NODE MCU ESP8266 (*Hardware*). *Jurnal Applied Business and Engineering Conference*. Vol. 9. No. 3. Hal. 837-846.
- Hardyanto, R. H. 2017. Konsep *Internet of Things* (IoT) Pada Pembelajaran Berbasis Web. *Jurnal Dinamika Informatika*. Vol. 6. No. 1. Hal. 87-89.
- Indahwati, E. & Nurhayati. 2015. Rancang Bangun Alat Pengukur Konsentrasi Gas Karbon Monoksida Menggunakan Sensor MQ-135 Berbasis Mikrokontroler Dengan Komunikasi Serial USART. *Jurnal Teknik Elektrofisika*. Vol.12. No. 1 Hal. 129-135.

- Ismiyati, Marlita. D., & Saidah. D. 2014. Pencemaran Udara Akibat Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor. *Jurnal Manajemen Transportasi & Logistik (JMTrasnsLog)*. Vol.1. No.3. Hal. 241-248.
- Kurniawan, A. 2017. Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> dan PM<sub>10</sub>) Di Bukit Kota Agung Berbasis ISPU. *Jurnal Teknosains*. Vol. 7. No.1. Hal 1-13.
- Madhawirawan, A. F. 2013. Trainer Mikrokontroler ATMega32 Sebagai Media Pembelajaran Kelas XI Program Keahlian Audio Video di SMK Negeri 3 Yogyakarta. *Skripsi*. Yogyakarta. Universitas Negeri Yogyakarta.
- Mariko. S. 2019. Aplikasi *Website* Berbasis HTML dan *Javascript* Untuk Menyelesaikan Fungsi Integral Pada Mata Kuliah Kalkulus. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*. Vol.6. No.1. Hal. 80-91.
- Mayola, P. 2022. 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*. Lampung. Universitas Lampung.
- Morris, A. S., & Langari, R. 2016. *Measurement and Instrumentation: Theory and Application Second Edition*. United States of America: Elsevier Inc.
- Mukhtar, R., Hamonangan, E., Wahyudi, H., Santoso, M., & Kurniawati, S. 2013. Kandungan Kimia PM<sub>10</sub> dan PM<sub>10</sub> Di Udara Ambien Di Serpong Tangerang. *Jurnal Ecolob Pusat Teknologi Nuklir Bahan dan Radiometri*. Vol. 7. No.1. Hal. 1-48.
- Prasetyawan, P., Samsugi, S., & Prabowo, R. 2021. *Internet of Thing* Menggunakan *Firebase* dan NODE MCU untuk Helm Pintar. *Jurnal ELTIKOM*. Vol. 5. No. 1. Hal. 32–39.
- Rahmatullah. M., & Revanda. M.R. 2022. Rancang Bangun Sistem Informasi Jasa Pengiriman Barang Pada PT. Haluan Indah Transporindo Berbasis Web. *Jurnal Teknik Informatika*. Vol.14. No.1. Hal. 54-59.
- Ratnani, R. D. 2008. Teknik Pengendalian Pencemaran Udara Yang Diakibatkan oleh Partikel. *Jurnal Solusi Pencemaran Udara*. Vol. 4. No.2. Hal. 27-32.
- Rosa, A. A., Simon, B. A., & Lieanto, K. S. 2020. Sistem Pendeteksi Pencemar Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Jurnal ULTIMA Computing*. Vol. 12. No.1. 23-28.
- Rofienda. 2014. Dampak Negatif Pencemaran Nitrogen Dioksida, Usaha Pencegahan dan Penanggulangannya. *Jurnal Buletin Penelitian*. Vol.26. No.1. Hal. 27-32.

- Salatin, A., Arif, C. & Rachamawati, N. D. 2019. Analisis Tingkat Resiko Paparan NOx Terhadap Pekerja di Gardu Tol Akibat Volume Kendaraan di Pintu Tol Jagorawi Bogor. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. Vol. 4. No. 1. Hal. 49-56.
- Salman & Amirah. 2022. Rancang Bangun Alat *Monitoring* Kualitas Udara Pada Kawasan Industri Berbasis *Internet of Things* (IoT). *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*. Vol.11. No.1. Hal. 143-152.
- Sari, P. I., Jannah, A., Merexa, A. M., Syahfitri, A., Omar, R. 2022. Perancangan Sistem Informasi Penginputan Database Mahasiswa Berbasis Web. *Jurnal Ilmu Komputer*. Vol.20. No. 20. Hal. 107-110.
- Sengkey, S. L., Jansen, F., & Wallah, S. 2011. Tinglat Pencemaran CO Akibat Lalu Lintas Dengan Model Prediksi Polusi Udara Skala Mikro. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*. Vol.1. No. 2. Hal. 119-126.
- Stojanovic, R., Józwiak, L., Lutovac, B., & Kubátová, H. 2017. Prototype of Group Heart Rate Monitoring with ESP32 in Mediterranean Conference on Embedded Computing (MECO): Including ECYPS. *Journal IEEE Workshop on Embedded and Cyber-Physical Systems*. Hal. 11-15.
- Subagyo, H., Wahyuni, R.T., Akba, M., & Ulfa, F. 2020. Rancang Bangun Sensor Node Untuk Pemantauan Parameter Kualitas Udara. *Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*. Vol.18. No.1. Hal. 72-79.
- Novelan, M. S. 2020. Sistem *Monitoring* Kualitas Udara Dalam Ruangan Menggunakan Mikrokontroler dan Aplikasi Android. *Jurnal InfoTekjar: Nasional Informatika dan Teknologi Jaringan*. Vol. 4. No.2. Hal. 50-54.
- Wisnulaksito, F. A., Sari, M.W., & Tentua, M. N. 2017. Rancang Bangun Sistem Pendeteksi Debu Berbasis Aduino. *Jurnal Dinamika Informatika*. Vol.6. No.2. Hal. 31-41.
- Yulfiani Fikri, Sumardi dan Budi Setiyono. 2013. Sistem *Monitoring* Kualitas Udara Berbasis Mikrokontroler ATMEGA 8535 Dengan Komunikasi Protokol TCP/IP. *Jurnal Transient*. Vol.2. No.3. Hal. 644-650.
- Yunita, Y., Nurhuda, A., Rosita, D., Yusika, A., Salmon, S., & Fauzi, R. 2021. Rancang Bangun Alat *Monitoring* Radioaktivitas Kadar Polusi Udara. *Jurnal Sebatik*. Vol. 25. No. 1. Hal. 279-285.