

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Teori Dasar

2.2.1 Polusi Udara

Menurut (Winanti, 2023) polusi udara merupakan ancaman serius bagi kesehatan manusia dengan dampak yang luas. Partikel-partikel polutan seperti debu, asap, dan bahan kimia beracun dapat memicu masalah pernapasan, termasuk iritasi saluran pernapasan, batuk, pilek, dan bahkan penyakit paru-paru kronis. Selain itu, polusi udara juga berhubungan dengan masalah kardiovaskular, meningkatkan risiko penyakit jantung koroner, serangan jantung, dan stroke. Paparan jangka panjang terhadap polusi udara dapat mengganggu fungsi sistem kekebalan tubuh dan memicu reaksi alergi serta serangan asma pada individu yang rentan.

Polutan udara dapat berupa *partikulat matter* (PM), gas berbahaya, dan polutan sekunder. Partikulat yaitu jenis partikel padat atau cair yang tersuspensi di udara seperti *partikulat matter* (PM) 10 dan *partikulat matter* (PM) 2.5. Pengukuran polusi udara dilakukan melalui pemantauan yang menggunakan alat seperti *spektrofotometer*, *gas chromatograph*, dan partikel *counter* untuk mengukur konsentrasi polutan di udara.

2.1.2 Index Kualitas Udara

Faktor yang mempengaruhi kualitas udara dalam ruangan dapat meliputi bahan bangunan (asbes), struktur bangunan (ventilasi), bahan pelapis *furniture*

serta *interior* (pada pelarut organiknya) debu dan kelembaban yang berlebihan. Pengaruh lain dari kualitas udara juga diperoleh dari kegiatan dalam rumah seperti penggunaan energi yang tidak ramah lingkungan, perilaku merokok dalam rumah, penggunaan pestisida, bahan kimia pembersih, dan kosmetika. Dalam jangka waktu panjang bahan kimia tersebut dapat mengeluarkan polutan yang bertahan dalam jangka waktu yang cukup lama (Rumampuk et al., 2021).

Indonesia secara resmi menggunakan indeks standar kualitas udara yaitu Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang sesuai dengan Keputusan Menteri Negara Lingkungan Hidup Nomor : P.14 / MENLHK / SETJEN/KUM.1 / 7 / 2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara. Parameter Indeks Standar Pencemar Udara meliputi, Partikulat (PM10), Partikulat (PM2.5), Karbondioksida (CO), Sulfur Dioksida (SO2), Nitrogen Dioksida (NO2), Ozon (O3), dan Hidrokarbon (HC).

2.2.3 Jenis-Jenis Polusi Udara

Polusi udara merupakan salah satu isu lingkungan yang mendesak di seluruh dunia. Meningkatnya aktivitas industri, transportasi dan penggunaan energi telah menyebabkan emisi gas beracun dan partikel ke udara yang kemudian hari akan memberikan dampak buruk terhadap kualitas udara yang akan mempengaruhi lingkungan serta kesehatan manusia (Maharani & Aryanta, 2023).

1. Polusi Partikulat (PM10 dan PM2.5)

Kategori polusi partikulat terbagi menjadi dua yaitu partikulat (PM10 dan PM2.5). Partikulat (PM10) merupakan partikel halus yang berukuran

hingga 10 μm yang masuk dalam sistem pernafasan. Sedangkan partikulat (PM_{2.5}) yaitu partikel yang halus dengan ukuran kurang dari 2.5 μm dan dapat masuk ke dalam jaringan paru-paru.

2. Karbon Dioksida (CO₂)

Karbon adalah salah satu unsur yang ada di *atmosfer* dalam bentuk karbon dioksida (CO₂), di dalam air sebagai CO₂ terlarut, dan di tanah sebagai mineral karbonat. Unsur ini merupakan komponen *fundamental* yang membentuk seluruh kehidupan.

3. Karbon Monoksida (CO)

Karbon monoksida (CO) adalah polutan utama yang dihasilkan dari emisi kendaraan bermotor dan memiliki dampak negatif terhadap kesehatan manusia. Karbon monoksida (CO) dapat berikatan dengan *hemoglobin* dalam darah, sehingga mengurangi kemampuan darah untuk membawa oksigen.

4. Sulfur Dioksida (SO₂)

Sulfur dioksida (SO₂) adalah gas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil di pembangkit listrik, fasilitas industri, dan berbagai sumber lain seperti lokomotif, kapal, mobil, serta peralatan lainnya. Emisi dari aktivitas industri, bersama dengan faktor meteorologi dan topografi, memengaruhi pola penyebaran *atmosfer* sehingga dapat meningkatkan konsentrasi polutan udara. SO₂ dianggap sebagai polutan yang berbahaya bagi kesehatan, terutama bagi lansia dan individu dengan penyakit kronis pada

sistem pernapasan dan kardiovaskular, yang sensitif terhadap paparan SO₂ meskipun dalam konsentrasi rendah.

5. Nitrogen Dioksida (NO₂)

Nitrogen dioksida (NO₂) adalah polutan yang sangat reaktif yang terbentuk dari pembakaran bahan bakar fosil. Konsentrasi NO₂ di udara tidak hanya menimbulkan risiko bagi lingkungan tetapi juga berdampak buruk terhadap kesehatan makhluk hidup.

2.2.4 kualitas Udara Dalam Ruangan

Menurut penelitian (Rumampuk et al., 2021) selain faktor-faktor eksternal seperti polusi udara luar ruangan, kualitas udara dalam ruangan juga sangat dipengaruhi oleh berbagai kegiatan domestik dan industri yang berlangsung di dalamnya. Hal ini termasuk penggunaan sumber energi yang tidak ramah lingkungan seperti batubara dan biomasa, perilaku merokok di dalam ruangan, penggunaan pestisida, serta penggunaan bahan kimia pembersih dan kosmetika. Bahan-bahan kimia ini dapat melepaskan polutan yang dapat bertahan dalam udara ruangan untuk jangka waktu yang cukup lama, meningkatkan risiko kesehatan bagi penghuni ruangan. Meskipun manusia dapat mengandalkan indera mereka untuk mendeteksi perubahan dalam kualitas udara, namun pemantauan secara terus-menerus terbatas oleh keterbatasan ruang dan waktu. Oleh karena itu, untuk mendapatkan data yang akurat dan melakukan pemantauan kualitas udara secara *real-time*, diperlukan pembangunan perangkat keras yang terhubung dengan sistem pemantauan kualitas udara.

Untuk memantau kualitas udara, teknologi seperti alat pengukur udara dalam ruangan dapat digunakan. Rata-rata konsentrasi untuk polutan selama 24 jam yaitu $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sementara untuk konsentrasi PM2.5 yang ada di kota Batam 3 kali lipat dari nilai panduan kualitas udara tahunan berdasarkan website iqair.com dengan jumlah konsentrasi polutan $15.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.2.5 Alat Pemantauan Berbasis Arduino

Menurut penelitian (Paryanto & Subarkah, 2022) alat pemantauan berbasis *Arduino* adalah sistem yang menggunakan mikrokontroler *Arduino* sebagai inti untuk memantau dan mengumpulkan data dari berbagai sensor yang terhubung. Alat ini dirancang untuk mengukur dan merekam parameter tertentu, seperti suhu, kelembaban, kualitas udara, atau parameter lainnya sesuai kebutuhan aplikasi. *Arduino* berperan sebagai otak sistem yang membaca data sensor, melakukan pemrosesan data, dan mengirimkan informasi tersebut ke *platform* pemantauan atau tindakan kontrol yang sesuai. Dengan fleksibilitas dan kemudahan penggunaan *Arduino*, alat pemantauan berbasis *Arduino* dapat disesuaikan dengan berbagai lingkungan dan aplikasi, mulai dari pemantauan lingkungan hingga pemantauan kesehatan.

Pemantauan kualitas udara dalam ruangan dapat dilakukan dengan menggunakan alat yang saling terintegrasi untuk mendeteksi parameter lingkungan. Sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara, yang merupakan parameter penting dalam menentukan kenyamanan dan mendeteksi potensi pertumbuhan mikroorganisme. Sensor MQ-135 mendeteksi keberadaan gas

berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂) memberikan indikasi tingkat polusi udara. Sensor GP2Y1010AU0F adalah sensor deteksi debu atau partikel udara yang berfungsi untuk mengukur konsentrasi debu atau polutan di udara, seperti asap dan partikel halus (PM). Hasil pengukuran dari sensor ditampilkan melalui LCD (*Liquid Crystal Display*) agar pengguna dapat memantau data secara langsung. Selain itu, LED digunakan sebagai indikator visual untuk memberi peringatan tentang kondisi udara, dengan warna yang mewakili tingkat kualitas udara, biru untuk baik dan merah untuk buruk. *Buzzer* digunakan sebagai alarm berbasis suara untuk memberikan peringatan jika konsentrasi polutan melebihi ambang batas aman. Sistem ini memungkinkan pemantauan kualitas udara secara *real-time* dengan interaksi yang jelas bagi pengguna.

2.2.6 Arduino

Arduino merupakan *mikrokontroler smart projects* yang berbasis *open source* yang dapat dikembangkan oleh semua orang. *Arduino* dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik dalam berbagai bidang dari segi perangkat keras maupun lunak yang mempermudah dalam melakukan pengembangan sistem. Ketika pemrograman *Arduino* dilakukan, pengembangan tersebut dapat digunakan untuk merancang, membuka, dan mengembangkan program yang ditanamkan ke dalam *board Arduino* (Winarti et al., 2023).

Arduino berfungsi sebagai mikrokontroler utama dalam sistem kualitas udara ini. Berbagai jenis *Arduino* telah dikembangkan, termasuk *Arduino Uno*, *Arduino Mega 2560*, dan *Arduino Fio*. *Arduino Uno* adalah board mikrokontroler

yang berbasis ATmega328. Salah satu keunggulannya adalah keberadaan 14 pin *input/output*, di mana 6 di antaranya dapat digunakan sebagai *output* PWM, serta 6 *input* analog. Dilengkapi dengan osilator kristal 16 MHz, koneksi USB, jack power, kepala ICSP, dan tombol reset, *Arduino* dapat mendukung mikrokontroler dan mudah terhubung dengan komputer melalui kabel. *Arduino Uno* memiliki kecepatan prosesor yang relatif rendah serta tidak dilengkapi dengan koneksi WiFi, *Bluetooth*, dan *Ethernet*.

2.2.7 Arduino Uno

Arduino Uno adalah mikrokontroler berbasis papan tunggal yang bersifat *open source*, dikembangkan dari *platform Wiring*, dan dirancang untuk memudahkan penggunaan elektronik di berbagai bidang. *Arduino* dilengkapi dengan perangkat keras yang menggunakan prosesor Atmel AVR dan perangkat lunak yang memiliki bahasa pemrograman khusus (A. S. Irawan, 2024).

Saat ini, banyak pemula yang memilih *Arduino* untuk membuat proyek robotika karena bahasa pemrogramannya yang mudah dipahami. Bahasa yang digunakan bukanlah bahasa *Assembler* yang relatif sulit, melainkan bahasa C yang telah disederhanakan dengan pustaka-pustaka *Arduino*. *Arduino Uno* menggunakan mikrokontroler ATMEGA328, serta dilengkapi dengan 14 pin I/O dan 6 pin input analog. Komponen dari *Arduino Uno* dapat dilihat dari Gambar 2.1 berikut :



Gambar 2.1 Arduino Uno

Sumber : (A. S. Irawan, 2024)

2.2.8 Arduino Integrated Development Environment (IDE)

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis dan mengedit program (*sketch*) yang akan dijalankan pada *board Arduino*. Dengan *Arduino IDE*, pengguna dapat membuat, mengedit, mengunggah program ke *board* yang dipilih, serta melakukan pemrograman (Kamal et al., 2023). *Arduino IDE* dibangun menggunakan bahasa pemrograman JAVA dan dilengkapi dengan pustaka C/C++ (*wiring*), yang memudahkan operasi *input/output*. *Software* ini memungkinkan pengguna untuk memodelkan karakteristik parameter rangkaian analog dan digital. Selain itu, *Arduino IDE* memiliki kemampuan untuk merancang berbagai rangkaian, menguji rangkaian dengan berbagai komponen, serta menganalisis sifat rangkaian melalui analisis AC/DC atau *transient*. Berikut ini tampilan dari *Arduino IDE* yang ditunjukkan pada Gambar 2.2 berikut :



Gambar 2. 2 Arduino IDE Software

Sumber : (Hidayat, 2022)

2.2.9 Aplikasi *Fritizing*

Fritizing adalah perangkat lunak *open-sources* yang dapat digunakan secara gratis untuk merancang rangkaian elektronik. Aplikasi ini kompatibel dengan sistem operasi GNU/Linux dan *Microsoft Windows*, memberikan kemudahan bagi pengguna untuk merancang rangkaian elektronik. *Fritizing* menyediakan fasilitas bagi penggunanya untuk merancang sistem pada *breadboard*, yang sangat membantu dalam pembuatan *prototype* atau dokumentasi rangkaian yang menggunakan *breadboard*. Perangkat lunak ini mempermudah pengguna dalam mendesain dan mendokumentasikan proyek elektronik secara lebih efektif (Sudrajat & Rofifah, 2023).

Dengan memanfaatkan *Fritizing* untuk merancang dan mensimulasikan rangkaian elektronik yang menghubungkan berbagai sensor kualitas udara seperti sensor debu, MQ-135, DHT22 dengan mikrokontroler seperti *Arduino* atau

ESP8266. *Fritzing* memungkinkan pengguna untuk merancang rangkaian di *breadboard view* terlebih dahulu untuk memvisualisasikan susunan komponen dan mempermudah proses pengujian. Selain itu, *schematic view* di *Fritzing* akan membantu dalam menggambarkan hubungan antara komponen elektronik secara elektrik, memastikan bahwa alur data dan daya berjalan dengan benar. Komponen *Fritzing* dapat dilihat pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2.3 Aplikasi Fritzing

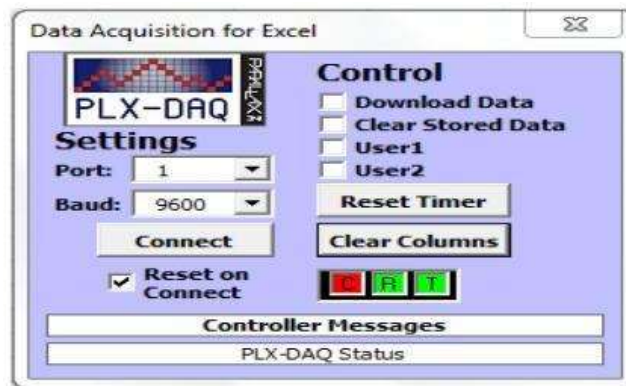
Sumber : (Teja Ahyar, 2021)

2.2.10 Aplikasi Parallax Data Acquisition (PLX-DAQ)

PLX-DAQ adalah aplikasi yang terintegrasi dengan *Arduino IDE*, yang memungkinkan pengguna untuk menerima data digital melalui komunikasi serial antara *Arduino* dan PC. Data yang diterima kemudian dapat langsung disalin ke dalam *spreadsheet Excel* untuk analisis lebih lanjut (Rokhmanila & Astuti, 2024).

Aplikasi ini memungkinkan pengguna untuk mengirim data digital yang diperoleh dari sensor atau perangkat lainnya secara *real-time* ke *Excel*, di mana data tersebut akan ditampilkan dalam format tabel. Dengan menggunakan *PLX-DAQ*, pengguna dapat memantau, mencatat, dan menganalisis data tanpa

memerlukan perangkat lunak tambahan, menjadikannya alat yang efisien untuk pengumpulan dan analisis data. Tampilan dari *PLX-DAQ* terdapat pada Gambar 2.4 berikut :



Gambar 2. 4 Parallax Data Acquisition)

Sumber : (Rokhmanila & Astuti, 2024)

2.2.11 Liquid Crystal Display (LCD)

Liquid Crystal Display adalah sebuah teknologi tampilan yang menggunakan kristal cair untuk menghasilkan gambar yang dapat dilihat. Teknologi *Liquid Crystal Display* telah diterapkan dalam berbagai produk elektronik seperti layar laptop, ponsel, kalkulator, jam digital, multimeter, monitor komputer, televisi, layar *game portabel*, termometer digital, dan produk elektronik lainnya (Misalignment et al., 2020). *Liquid Crystal Display* bekerja dengan cara berikut :

1. *Backlight*: *Backlight* adalah sumber cahaya yang digunakan untuk menghasilkan gambar. *Backlight* ini dapat berupa lampu *fluorescent*.

2. *Liquid Crystal Layer*: *Liquid crystal layer* adalah lapisan yang terbuat dari kristal cair yang disandikan antara dua filter polarisasi. Lapisan ini mengontrol cahaya dari *backlight* untuk menghasilkan gambar.
3. *Color Filters*: *Color filters* adalah filter warna yang menambahkan warna pada gambar yang dihasilkan oleh *lapisan liquid crystal*. Setiap pixel pada layar LCD terbuat dari tiga sub-pixel: merah, hijau, dan biru.

Liquid Crystal Display memiliki peranan penting, terutama dalam sistem pemantauan kualitas udara. *Liquid Crystal Display* dapat digunakan untuk menampilkan data yang dikumpulkan oleh sensor suhu kelembaban, dan lain-lain. Adapun tampilan dari LCD terdapat pada Gambar 2.5 berikut :



Gambar 2. 5 Liquid Cyrstal Display

Sumber : (Suppa & Palopo, 2025)

2.2.12 Relay

Relay adalah sebuah saklar yang dioperasikan dengan listrik, berupa komponen elektromekanik yang terdiri dari dua bagian utama, yaitu elektromagnet (kumparan) dan bagian mekanikal yang terdiri dari kontak saklar. *Relay* bekerja berdasarkan prinsip elektromagnetik untuk menggerakkan kontak saklar, sehingga arus listrik kecil (*low power*) dapat digunakan untuk mengalirkan listrik dengan

tegangan yang lebih tinggi. Sebagai contoh, *relay* dengan elektromagnet 5V dan 50mA dapat menggerakkan armatur *relay* (bagian yang berfungsi sebagai saklar) untuk mengalirkan listrik 220V dengan arus 2A (R. Irawan, 2023).

Dalam sistem pemantauan kualitas udara, sensor seperti MQ-135 (sensor gas), GP2Y1010AU0F (sensor debu), dan DHT22 (sensor suhu dan kelembapan) akan mendeteksi tingkat polusi serta kondisi suhu dan kelembapan di suatu area. Jika kualitas udara terdeteksi buruk atau melebihi ambang batas yang telah ditentukan, mikrokontroler akan mengaktifkan *relay* untuk menyalakan perangkat seperti pembersih udara atau kipas angin. Sebaliknya, jika kualitas udara membaik, mikrokontroler akan memutuskan *relay* untuk mematikan perangkat tersebut. Komponen *relay* terdapat pada Gambar 2.6 berikut :



Gambar 2. 6 Relay

Sumber : (Sudrajat & Rofifah, 2023)

2.2.13 XL6009E1

Modul *IC XL6009E1* merupakan sebuah regulator *switching* yang berfungsi sebagai konverter *boost*, yang mampu menghasilkan tegangan *output* lebih tinggi dibandingkan dengan tegangan *input*. Penggunaan modul ini lebih praktis dan

hemat biaya karena memerlukan sedikit komponen *eksternal*. Regulator ini juga menawarkan rentang tegangan *input* yang lebar, dan tegangan *output* dapat disesuaikan sesuai kebutuhan (Santoso et al., 2023).

XL6009E1 adalah sebuah *chip* regulator *switching* (DC-DC) yang dirancang untuk mengubah tegangan *input* DC ke tegangan *output* yang lebih tinggi atau lebih rendah dengan efisiensi yang tinggi. Regulator ini sering digunakan dalam aplikasi yang memerlukan konversi tegangan dari sumber daya DC, seperti dalam sistem daya untuk perangkat elektronik, termasuk proyek-proyek berbasis mikrokontroler. *XL6009E1* memiliki kemampuan untuk meningkatkan atau menurunkan tegangan input dengan efisiensi yang baik, serta dapat memberikan daya yang stabil pada output dengan rentang tegangan yang luas. Komponen dari *XL6009E1* terdapat pada Gambar 2.7 berikut :



Gambar 2.7 XL6009E1

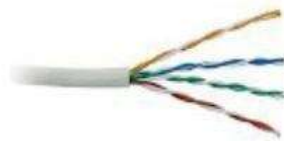
Sumber : (Santoso et al., 2023)

2.2.14 Kabel Unshielded Twisted Pair (UTP)

Kabel UTP berfungsi sebagai media transmisi dalam jaringan *wireline* (koneksi kabel), yang sering digunakan untuk mentransfer data antar perangkat

dalam suatu jaringan. Jenis kabel UTP lebih banyak diterapkan dalam jaringan kabel karena harganya yang terjangkau, instalasi yang mudah, serta kemampuannya untuk mendukung kecepatan transfer data yang cukup baik. Kabel ini banyak digunakan dalam berbagai aplikasi, seperti jaringan komputer, telepon, dan sistem keamanan (Ariyadi & Suryawan, 2024).

Dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Arduino*, kabel UTP berfungsi sebagai media penghubung antara *Arduino* dengan sensor atau perangkat lainnya, memungkinkan data dari sensor untuk dikirimkan ke mikrokontroler atau perangkat lainnya untuk pemrosesan dan pemantauan kualitas udara. Kabel UTP banyak dipilih karena kemampuannya untuk mentransmisikan data dengan efisien dan biaya yang relatif rendah. Adapun kabel UTP terdapat dalam Gambar 2.8 berikut :



Gambar 2. 8 Kabel UTP

Sumber : (Helmina Helmina et al., 2023)

2.2.15 Papan Printed Circuit Board (PCB)

Papan PCB (*Printed Circuit Board*) adalah sebuah papan yang digunakan untuk menyatukan dan menghubungkan komponen-komponen elektronik melalui jalur konduktor yang tercetak pada permukaan papan, tanpa memerlukan kabel penghubung. Papan ini berfungsi sebagai dasar tempat komponen elektronik

dipasang dan terhubung satu sama lain, memungkinkan aliran sinyal dan listrik yang efisien dalam rangkaian elektronik. Penggunaan PCB membuat desain rangkaian lebih kompak, stabil, dan mudah diproduksi dalam jumlah besar (Rahmadani et al., 2023).

Dalam sistem ini, papan PCB digunakan untuk menghubungkan berbagai sensor, seperti sensor gas MQ-135, sensor debu GP2Y1010AU0F, dan sensor DHT22 suhu serta kelembapan, dengan mikrokontroler *Arduino*. Jalur konduktor yang tercetak pada PCB memungkinkan aliran sinyal dari sensor menuju mikrokontroler, yang kemudian memproses data untuk memonitor kualitas udara. Selain itu, papan PCB juga menyatukan komponen lainnya, seperti modul *relay* untuk mengontrol perangkat pengendali udara (blower atau kipas), *buzzer* sebagai indikator peringatan, dan layar LCD untuk menampilkan informasi kualitas udara secara *real-time*. Adapun bentuk dari papan PCB terdapat pada Gambar 2.9 berikut :



Gambar 2. 9 Papan PCB

Sumber : (Data Penelitian, 2024)

2.2.16 Sensor MQ-135

Menurut penelitian (Cahyadi et al., 2022) MQ-135 adalah sensor dengan *output* paralel yang mampu mendeteksi gas NH₃, NO_x, alkohol, *benzene*, asap, dan CO₂. Sensor ini dikenal powerfull karena dapat mengukur gas-gas yang dihasilkan dari pembakaran *non-fosil* termasuk CO₂ serta gas-gas yang muncul dari pembakaran tidak sempurna seperti asap. Ini memungkinkan MQ-135 untuk mendeteksi kondisi gas di dalam ruangan, baik dari pembakaran yang tidak sempurna maupun pembakaran yang lebih optimal yang menghasilkan gas CO₂. Sensor ini memiliki sensitivitas yang tinggi, sehingga dapat mendeteksi gas-gas yang ada di udara dengan akurasi yang tinggi, namun memiliki keterbatasan kapasitas, tidak dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi gas-gas yang sangat tinggi. Dengan demikian, sensor MQ-135 berperan dalam mendeteksi berbagai jenis gas yang berbahaya bagi kesehatan dan menghasilkan *output* analog dan digital yang dapat digunakan untuk mengukur konsentrasi gas-gas yang ada di udara. Komponen dari sensor MQ-135 terdapat pada Gambar 2.10 berikut ini :



Gambar 2. 10 Sensor MQ-135

Sumber : (Cahyadi et al., 2022)

2.2.17 Sensor Debu GP2Y1010AU0F

Sensor debu GP2Y1010AU0F adalah sensor berbasis infra merah yang dirancang untuk mendeteksi partikel halus di udara, seperti debu, asap rokok, dan partikel padat lainnya. Prinsip kerja sensor ini melibatkan pemancaran cahaya infra merah ke udara, yang kemudian dipantulkan oleh partikel debu atau polutan lainnya menuju bagian penerima sensor. Ketika partikel tersebut melewati permukaan sensor, cahaya yang dipantulkan akan diubah menjadi sinyal tegangan oleh *photodiode*. Tegangan yang dihasilkan ini kemudian diperkuat agar dapat menampilkan perubahan secara jelas. *Output* dari sensor debu ini berupa sinyal tegangan analog yang berbanding lurus dengan kepadatan partikel debu yang ada di udara. Sensor ini sering digunakan dalam sistem pemantauan kualitas udara untuk memberikan data yang dapat diolah lebih lanjut guna menentukan kualitas udara di suatu area. Dengan begitu, sensor debu membantu dalam mendeteksi polusi udara secara efektif (Haikal Fakari et al., 2023). Komponen dari sensor GP2Y1010AU0F terdapat pada Gambar 2.11 berikut :



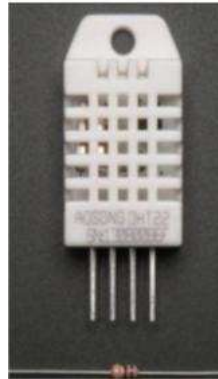
Gambar 2. 11 Sensor Debu GP2Y1010AU0F

Sumber : (Pratama et al., 2021)

2.2.18 Sensor DHT22

Sensor DHT22 adalah sensor digital yang digunakan untuk mengukur kelembaban dan suhu relatif. Sensor ini bekerja dengan menggunakan kapasitor dan termistor untuk mendeteksi kondisi udara di sekitarnya, kemudian mengirimkan sinyal melalui pin data. DHT22 sangat mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler jenis *Arduino* karena memiliki tingkat stabilitas yang tinggi dan dapat diandalkan, serta memberikan hasil pengukuran yang akurat berkat fitur kalibrasi yang dimilikinya (Roihan et al., 2021).

Dalam sistem pemantauan kualitas udara, sensor DHT22 membantu untuk memberikan gambaran lebih lengkap mengenai kondisi lingkungan dengan mengukur suhu dan kelembaban. Dengan memantau kedua parameter ini, DHT22 dapat memberikan informasi penting yang membantu dalam pengelolaan sistem ventilasi, pengaturan pendingin udara (AC), atau penggunaan dehumidifier (pembersih kelembaban udara) untuk menciptakan kualitas udara yang lebih sehat dan nyaman. Sensor ini sering digunakan bersama dengan sensor lain, seperti sensor gas atau sensor debu, untuk mendapatkan data yang lebih komprehensif tentang kualitas udara secara keseluruhan. Komponen dari sensor DHT22 terdapat pada Gambar 2.12 berikut :



Gambar 2. 12 Sensor DHT22

Sumber : (Roihan et al., 2021)

2.2.19 Light Emitting Diode (LED)

Menurut penelitian (Husnayain et al., 2023), LED merupakan keluarga dari dioda yang terdiri dari material semikonduktor. LED memiliki dua kutub utama: anoda (kutub positif) dan katoda (kutub negatif). Dalam strukturnya, LED terdiri dari semikonduktor yang telah didoping sehingga terbentuk *junction* P dan *junction* N. Saat LED dialiri arus maju (forward biased) dari anoda ke katoda, cahaya akan dipancarkan. Proses ini terjadi ketika elektron yang berlebihan dari lapisan N semikonduktor bergerak menuju lapisan P yang memiliki kelebihan muatan positif (*hole*). Ketika elektron bertemu dengan *hole*, energi dilepaskan dalam bentuk foton yang memancarkan cahaya monokromatik. Kemampuan LED untuk mengubah energi listrik menjadi energi cahaya membuatnya dikategorikan sebagai transduser. Adapun LED (Light Emitting Diode) terdapat pada Gambar 2.13 berikut :



Gambar 2. 13 LED (Light Emitting Diode)

Sumber : (Rozzi et al., 2023)

2.2.20 Buzzer

Menurut penelitian (Wisnu Wiraditama et al., 2023), buzzer adalah komponen elektronik yang berfungsi untuk mengubah getaran listrik menjadi getaran suara. Prinsip kerja *buzzer* mirip dengan *loudspeaker*, dimana *buzzer* juga terdiri dari kumparan yang terpasang pada diafragma. Ketika kumparan dialiri arus listrik, kumparan tersebut menjadi elektromagnet yang akan bergerak masuk atau keluar tergantung pada arah arus dan polaritas magnetnya. Karena kumparan terhubung dengan diafragma, setiap getaran kumparan menyebabkan diafragma bergerak bolak-balik, sehingga menggetarkan udara dan menghasilkan suara. *Buzzer* sering digunakan sebagai penanda bahwa suatu proses telah selesai atau untuk memberikan peringatan jika terjadi kesalahan pada sebuah perangkat (alarm). Komponen Buzzer terdapat pada Gambar 2.14 berikut :



Gambar 2. 14 Buzzer

Sumber : (Wisnu Wiraditama et al., 2023)

2.2.21 Fan DC

Kipas berfungsi mengontrol volume udara panas sehingga suhu ruangan tetap stabil dan sirkulasi udara berjalan dengan baik. Umumnya kipas angin digunakan sebagai alat pendingin, penyegar udara, ventilasi (*exhaust fan*), atau pengering yang biasanya dilengkapi dengan elemen pemanas (Aulia et al., 2021). Kipas memiliki peran penting dalam sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan, terutama dalam mengoptimalkan sirkulasi udara dan menjaga suhu serta kelembaban yang ideal.

Dengan adanya kipas distribusi udara menjadi lebih merata, sensor debu GP2Y1010AU0F yang digunakan dalam sistem pemantauan dapat memberikan data yang lebih akurat mengenai tingkat polusi atau partikel di udara. Selain itu, kipas juga dapat membantu mengurangi konsentrasi polutan dengan meningkatkan ventilasi, yang pada akhirnya berkontribusi pada peningkatan kualitas udara dalam ruangan. Adapun *fan dc* terdapat pada Gambar 2.15 berikut :



Gambar 2. 15 Fan DC

Sumber : (Aulia et al., 2021)

2.2.22 Power Supply

Power supply merupakan perangkat listrik yang fungsinya untuk menyalurkan energi listrik ke berbagai peralatan elektronik maupun listrik lainnya. Pada dasarnya perangkat ini membutuhkan sumber listrik yang kemudian dikonversi menjadi bentuk energi yang sesuai dengan kebutuhan perangkat yang digunakan. *Power supply* juga disebut sebagai *electric power converter* karena kemampuannya dalam mengubah dan menyesuaikan daya listrik agar dapat digunakan secara optimal oleh perangkat elektronik (Sahreri et al., 2024). Adapun *power supply* terdapat pada Gambar 2.16 berikut :



Gambar 2. 16 Power Supply

Sumber : (Aulia et al., 2021)

2.2 Penelitian Terdahulu

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

No	Judul Artikel	Penulis	Vol, No dan Tahun	Nama Jurnal	Keterangan
1	Pemantauan kualitas udara dengan sensor berbasis satelit: Kasus di empat kota di Tenggara, Nigeria	Francis Olawale Abulude, Minggu Acha, Kikelomo Mabinuola Arifalo, Akinyinka Akinnusotu, Samuel Berani Oluwagbayi de, Baig Abdullah Al Shoumik, Arinola Oluwatoyin Gbotoso	Vol. 3, No. 1, Tahun 2023	Jurnal Sains dan Teknik ASEAN	Hasil penelitian menunjukkan bahwa kualitas udara di kota-kota tersebut telah mencapai tingkat polusi yang tinggi di atas batas harian 24 jam yang ditetapkan oleh WHO, yang menunjukkan bahwa semua orang mulai mengalami dampak kesehatan yang serius.
2	Sistem Monitoring Kualitas Udara di Ruangan	Ardi Sujiarta, I Gede Putu Wirarama Wedashwar	Vol.7, No 2, Tahun 2023	J-COSINE (Journal of Compute	Penelitian ini mengembangkan sistem untuk memantau kualitas udara, khususnya di ruang tertutup dengan

	Tertutup Berbasis IoT Menggunakan Sensor MQ-135 dan GP2Y1014AU0F	a W, Arian Zubaidi		r Science and Informati cs Engineer ing	menggunakan teknologi IoT dengan sensor MQ-135 dan GP2Y1014AU0F. Hasil uji yang dilakukan di lingkungan dapur menunjukkan bahwa saat memasak, tingkat gas berada dalam kategori sedang sementara tingkat debu dalam kategori baik. Setelah memasak, baik tingkat gas maupun debu kembali ke kategori baik. Di ruang gudang, tingkat gas tetap dalam kategori sedang, namun tingkat debu diklasifikasikan sebagai tidak sehat. Berdasarkan hasil uji, sistem yang dikembangkan beroperasi dengan baik dan siap untuk diimplementasikan.
3	Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis	Hendi Budianto, Budi Sumanto	Vol.5, No 1, Tahun 2024	Jurnal Listrik, Instrumen- tasi, dan Elektronika Terapan	Metode yang digunakan mencakup penelitian dan pengembangan sistem, termasuk desain sistem, pembuatan dan integrasi alat, pengembangan aplikasi web, serta pengujian sistem.

	<i>Internet of Things</i>				Perangkat yang digunakan meliputi sensor gas (CO ₂ dan CO), sensor partikel debu, sensor suhu, NodeMCU ESP8266, <i>Arduino Uno</i> , dan layar LCD. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem monitoring dengan website berhasil mendeteksi parameter gas, partikel debu, suhu, dan kelembaban udara secara real-time, dengan data yang tersimpan di database. Pengujian dengan variasi jumlah orang menunjukkan kinerja sistem dalam mendeteksi konsentrasi gas sesuai dengan kemampuan sensor yang digunakan.
4	Klasifikasi dan Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan menggunakan	Afifah Dwi Ramadhani, Aditya Nurcahaya, Norma Ningsih	Vol.10, No 1, Tahun 2023	Jurnal Teknik Elektro dan Komputer	Dalam penelitian ini, dirancang sebuah <i>prototype</i> untuk mendeteksi kualitas udara di dalam ruangan. <i>Prototype</i> ini menggunakan mikrokontroler ESP8266, sensor MQ135, dan sensor

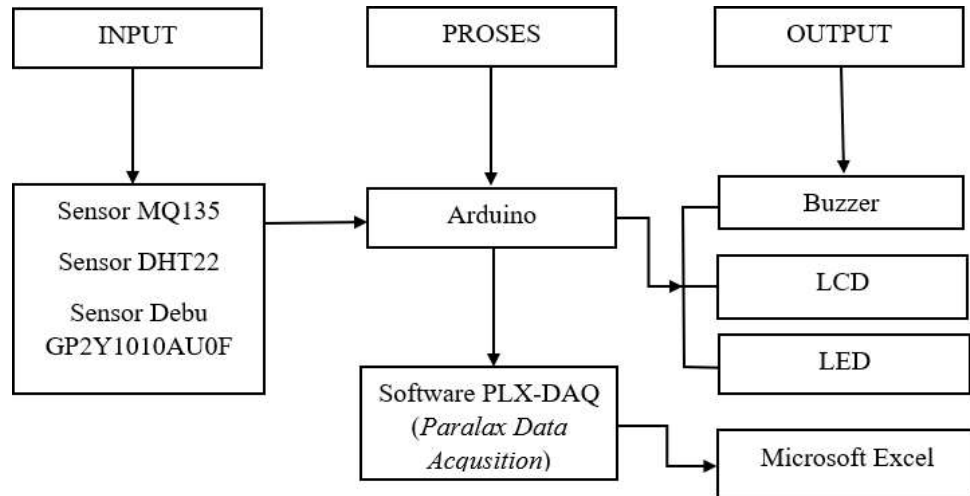
	<i>Thingspeak</i>				DHT11 yang terhubung dengan platform IoT <i>Cloud</i> untuk memantau hasil pembacaan sensor. Sistem ini bertujuan sebagai alat pemantauan kualitas udara di dalam ruangan untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya menjaga udara yang sehat. Pengujian sistem menunjukkan bahwa sensor memiliki akurasi yang baik dalam mendeteksi kondisi udara berdasarkan jarak. Platform <i>Thingspeak</i> juga menunjukkan kinerja yang baik dengan memberikan visualisasi langsung dan memungkinkan ekspor data yang cepat ketika dibutuhkan.
5	Alat Deteksi Polusi Udara Dalam Ruangan Berbasis	Yunita sari, Aldy Waliyuddin	Vol.22, No 2, Tahun 2021	Jurnal Teknik Informatika	Berdasarkan hasil penelitian dari tahap awal hingga proses pengujian, dapat disimpulkan bahwa alat ini mampu mendeteksi polusi udara dalam ruangan tertutup atau ber-AC

	<i>Internet of Things</i>				dengan jangkauan hingga 300 cm, serta mampu mengambil dan mengirimkan gambar ke Telegram, menampilkan informasi berupa keterangan dan gambar dalam Telegram.
6	Sistem Monitorin g dan Notifikasi Kulit as udara Dijalan Raya Dengan Platform IOT	Muhammad Sadali, Yupi Kuspandi Putra, Lalu Kertawijaya , Indra Gunawan	Vol.5, No 1, Tahun 2022	Jurnal Infromati ka dan Teknolo gi	Dalam penelitian ini, dirancang sebuah alat untuk memonitor kualitas udara di jalan raya melalui jarak jauh. Alat ini menggunakan <i>Wemos D1</i> sebagai penghubung antara sensor MQ-135 dengan <i>platform Internet of Things</i> (IoT) dan aplikasi <i>Blynk</i> . Tujuan utama alat ini adalah untuk mengukur dan memantau polusi udara yang terjadi di jalan raya, terutama pada daerah dengan lalu lintas kendaraan yang padat, yang dapat membahayakan kesehatan manusia. Pengujian lapangan di dua titik di wilayah Lombok Timur menunjukkan bahwa kualitas udara masih

					berada dalam kategori Sedang, dengan kisaran nilai antara 400 hingga 800.
7	Sistem Monitorin g Kualitas Udara Dalam Ruangan Menggunakan Mikrokon troller dan Aplikasi Android	Muhammad Syahputra Novelan	Vol.4, No 2, Tahun 2020	Jurnal Nasional Informati ka dan Teknolo gi Jaringan	Penelitian ini merancang sebuah alat monitor kualitas udara yang dapat dipantau melalui smartphone Android. Alat ini menggunakan mikrokontroler sebagai unit pusat kontrol yang terhubung dengan komunikasi <i>Bluetooth</i> , dengan sensor gas MQ-135 untuk mengukur kadar CO dan sensor LM35 untuk mengukur suhu. Hasil pengukuran dari kedua sensor ini dikirim secara <i>real-time</i> ke <i>smartphone</i> Android melalui modul <i>Bluetooth</i> HC-05, dengan kinerja yang baik dan stabil dalam pengujian yang dilakukan.
8	Perancang an Sistem <i>Monitorin g</i> Kualitas	Imran Iskandar, Watty Rimalia,	Vol.5, No 1, Tahun 2024	Journal of System and	Penelitian ini mengusulkan penggunaan alat untuk memonitor kualitas udara dalam ruangan

	Udara Ruangan Berbasis <i>Internet of Things</i>	Jeffry, Benny Leonard Enrico Panggabean		Computer Engineer ing (JSCE)	menggunakan sensor MQ2 dan NodeMCU dengan modul wireless ESP8266, yang menggunakan protokol MQTT untuk komunikasi data antara sensor dan <i>server</i> . Hasil penelitian menunjukkan bahwa saat sensor mendeteksi asap, gas, atau karbon monoksida (CO) dengan nilai ADC di atas 150 ppm, alarm berupa nada <i>buzzer</i> akan aktif memberikan notifikasi peringatan. Alarm ini akan nonaktif secara otomatis saat nilai ADC turun di bawah 150 ppm.
--	---	---	--	---------------------------------------	--

2.3 Kerangka Pemikiran



Gambar 2.17 Kerangka Pemikiran

Sumber : (Data Penelitian, 2024)

Kerangka pemikiran berbasis input, proses, dan output ini membantu dalam merancang dan memahami alur kerja sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis Arduino. Pada bagian input, terdapat tiga jenis sensor yang digunakan untuk mendeteksi parameter kualitas udara. Sensor MQ-135 berfungsi mengukur kadar gas berbahaya, sensor DHT22 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban, serta sensor debu GP2Y1010AU0F berfungsi untuk mendeteksi partikel debu halus.

Hasil pembacaan dari sensor-sensor tersebut dikirimkan ke *Arduino* sebagai pusat pemrosesan data. *Arduino* mengolah data yang diterima dan menentukan tindakan berdasarkan hasil pengukuran. Selain itu, *Arduino* juga mengirimkan data ke *software PLX-DAQ (Parallax Data Acquisition)* untuk mengirim data langsung

ke *Microsoft Excel*. Data yang tersimpan di *Excel* digunakan untuk analisis dan dokumentasi.

Pada bagian *output*, hasil pemrosesan data ditampilkan melalui beberapa perangkat. *Buzzer* memberikan peringatan suara jika kualitas udara mencapai tingkat berbahaya. LCD menampilkan informasi *real-time* seperti kadar gas, suhu, kelembapan, dan konsentrasi debu. LED digunakan sebagai indikator visual dengan warna biru menunjukkan bahwa kondisi kualitas udara dalam keadaan baik sedangkan warna merah menunjukkan kondisi kualitas udara buruk.