

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Metode Penelitian

Pada bagian ini, akan dibahas metode penelitian yang digunakan untuk mengembangkan "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Teknologi *Wireless* Sensor Network". Sistem ini dirancang untuk memantau kualitas udara berdasarkan parameter lingkungan seperti konsentrasi gas berbahaya, suhu, dan kelembapan udara. Dengan menggunakan topologi star, sistem ini mampu memberikan interpretasi yang lebih akurat dan intuitif mengenai kondisi kualitas udara karena tersebarnya mode sensor di seluruh area pemantauan. Untuk mencapai tujuan tersebut, diperlukan suatu metode penelitian yang terencana dan sistematis. Untuk itu guna merealisasikan sistem yang dirancang maka digunakan metode atau alur penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Metode Penelitian

Dari Gambar 3.1 dapat dijelaskan bahwa penelitian ini diawali dengan tahapan studi literatur. Tahap ini melibatkan pengumpulan dan analisis informasi dari sumber-sumber terdahulu yang relevan dengan topik penelitian atau proyek pengembangan. Tujuannya adalah untuk memahami landasan teori, metodologi yang telah ada, dan hasil penelitian sebelumnya yang dapat digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem

Setelah mendapatkan pemahaman yang mendalam dari studi literatur, tahap berikutnya adalah merancang sistem dan alat yang akan dibuat. Tahap ini mencakup pembuatan desain teknis, pemilihan teknologi, dan penyusunan spesifikasi komponen. Setelah desain selesai, proses selanjutnya adalah realisasi atau pembuatan alat tersebut. Ini melibatkan pembuatan prototipe fisik berdasarkan desain yang telah disusun. Tahap ini mungkin juga mencakup pemrograman perangkat lunak yang diperlukan untuk operasional alat.

Prototipe yang telah dibuat kemudian diuji untuk memastikan bahwa semua fungsi bekerja sesuai dengan rancangan. Pengujian ini bisa meliputi uji coba di laboratorium atau di lingkungan nyata. Hasil dari pengujian ini akan dianalisis untuk menentukan apakah alat memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan atau ada kebutuhan untuk modifikasi. Berdasarkan analisis hasil pengujian, tahap akhir adalah pengambilan keputusan. Keputusan ini dapat berkisar dari pembaruan desain, perbaikan pada prototipe, hingga keputusan tentang produksi massal alat jika hasil pengujian memuaskan.

3.2 Studi Literatur

Studi literatur adalah fondasi penting yang membantu memperoleh pemahaman mendalam secara teoritis dan aplikatif dalam pengembangan tugas akhir. Ini bertujuan untuk mempelajari teori-teori yang akan mendukung pelaksanaan tugas akhir, termasuk dalam pemilihan komponen yang digunakan, penggunaan perangkat lunak pendukung, serta integrasi keseluruhan sistem. Sumber literatur tidak terbatas pada buku saja, melainkan juga mencakup jurnal, paper, dan referensi dari internet. Dalam mencari sumber-sumber literatur lain yang diperlukan dalam penelitian harus menyediakan informasi yang mencakup

aspek- aspek berikut:

1. Penelitian yang mengkaji sistem WSN yang digunakan pada sistem deteksi kualitas udara yang meliputi model jaringan yang digunakan, protokol komunikasi serta topologi yang digunakan.
2. Studi tentang jenis sensor atau modul komunikasi yang digunakan yang mencakup studi terkait sensor untuk mendeteksi kualitas udara seperti MQ-9 dan MQ-135 serta sensor untuk mendeteksi suhu dan kelembapan seperti DHT22. Selain itu studi tambahan terkait modul komunikasi yang digunakan seperti modul *Wireless* NRF24L01.
3. Analisis mendetail karakteristik dan prinsip kerja dari sistem WSN berbasis topologi star yang terintegrasi juga dengan sistem IoT.
4. Eksplorasi karakteristik sirkuit elektronik yang digunakan dalam sistem pemantauan kualitas udara yang meliputi rangkaian catu daya, rangkaian pengendali sinyal pada sensor, rangkaian elektronik pada modul komunikasi NRF24L01 serta konektivitas pin pada mikrokontroler dengan modul yang digunakan.

Dalam mencari referensi yang kredibel, penting untuk mengandalkan berbagai sumber literatur seperti buku, jurnal ilmiah, artikel, prosiding, dan laporan penelitian. Selain itu, eksperimen dan pendapat dari para profesional juga memberikan kontribusi yang signifikan terhadap validitas informasi. Proses studi literatur menghasilkan serangkaian referensi yang sesuai dengan permasalahan yang dihadapi, yang kemudian akan dimasukkan ke dalam laporan penelitian akhir.

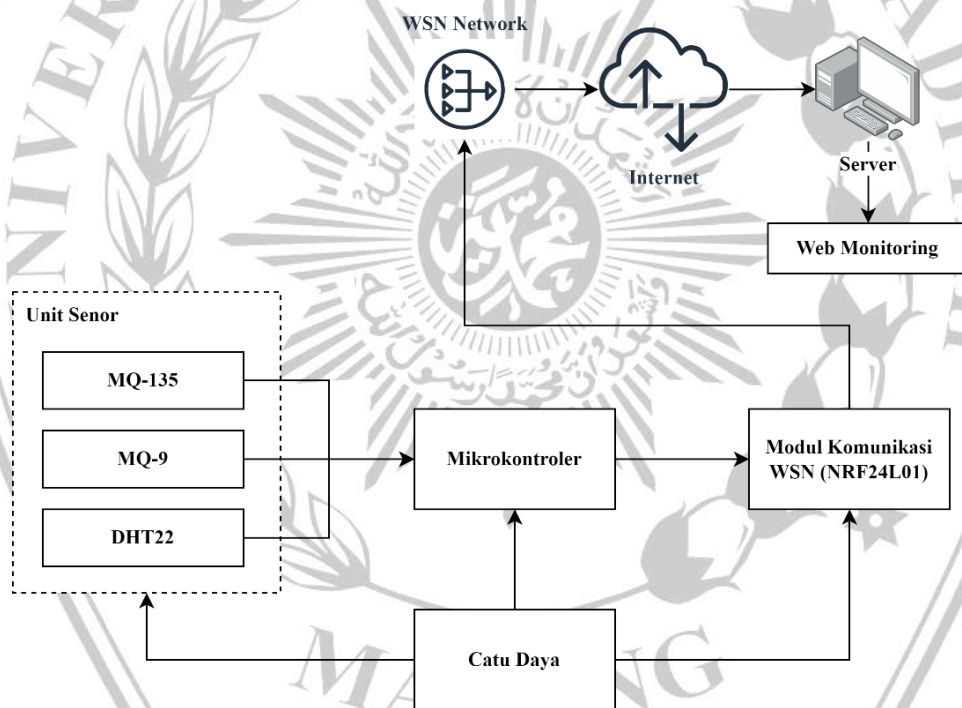
3.3 Perancangan Sistem

Perancangan sistem adalah proses yang melibatkan pengembangan konsep dan langkah-langkah metodis yang akan diikuti selama pembuatan aplikasi. Ini termasuk pemetaan arsitektur sistem, desain antarmuka pengguna, pemilihan algoritma yang tepat, dan penentuan teknologi yang akan digunakan. Proses perancangan ini bersifat abstrak dan konseptual, berfungsi sebagai cetak biru yang akan mengarahkan aktivitas pengembangan.

3.3.1 Perancangan Hardware

Perancangan perangkat keras bertujuan untuk merealisasikan sistem lemari pengaman yang sesuai dengan harapan serta mempermudah langkah pembuatan sistem. Perancangan perangkat keras akan membuat jalannya penelitian menjadi lebih efisien dan memiliki tingkat keberhasilan yang tinggi. Tahap perancangan perangkat keras pada penelitian yang dilakukan meliputi perencanaan spesifikasi sistem, diagram blok sistem, desain perangkat keras, dan perancangan elektrik yang dijabarkan sebagai berikut.

Pada rancangan perangkat keras terdapat blok diagram untuk mendukung berjalannya sistem. Dimana blok diagram terdiri dari input, proses dan output. Blok Diagram pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut.



Gambar 3.2 Diagram Blok Sistem

Diagram blok yang disajikan menggambarkan arsitektur sistem pemantauan kualitas udara yang terintegrasi dengan teknologi *Wireless* Sensor Network (WSN) dan Internet of Things (IoT), menggunakan jenis jaringan topologi star. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang berfungsi secara bersamaan untuk mengumpulkan, memproses, dan menyajikan data

tentang kondisi lingkungan. Berikut ini adalah penjelasan singkat tentang komponen-komponen tersebut dan bagaimana mereka berinteraksi dalam sistem

:

1. **Unit sensor** : Terdiri dari tiga buah sensor yaitu sensor MQ-135, MQ-9, dan DHT22. Sensor ini terintegrasi ke dalam unit sensor dan digunakan untuk mendeteksi berbagai gas berbahaya termasuk amonia (NH₃), oksida nitrogen (NO_x), alkohol, benzena, asap, dan CO₂ sertagas karbon monoksida (CO) dan gas metana (CH₄) dan suhu serta kelembaban.
2. **Unit Mikrokontroler** : Data dari ketiga sensor akan diproses oleh mikrokontroler, yang dalam konteks ini bisa berupa mikrokontroler seri ESP8266 atau ESP32, yang dikenal dengan kapabilitas Wi-Fi terintegrasi dankompatibilitas yang baik dengan modul-modul IoT. Mikrokontroler ini bertugas untuk melakukan pra-pemrosesan data awal, sebelum mengirimkannya ke proses lebih lanjut.
3. **Catu Daya** : Merupakan sumber daya utama untuk menyalakan device atau perangkat, menggunakan adapter dengan tegangan sebesar 5V dan arus maksimal sebesar 2A. Adaptor tersebut dipilih karena sudah cukup mampu untuk menyalakan sensor, dan modul elektrik lain pada sistem.
4. **Modul Komunikasi WSN** : Modul komunikasi WSN yang digunakan berupa NRF2401 dengan jenis *Wireless* berfrekuensi 2.4GHz. Modul NRF24L01 dipilih karena biayanya yang efektif, kemudahan penggunaan, ukuran yang kompak, dan daya tembus yang cukup untuk aplikasi dalam ruangan atau area dengan banyak halangan. Modul NRF24L01 berfungsi untuk menghubungkan node sensor dengan sink node atau jaringan WSN.
5. **WSN Network** : Merupakan sekumpulan dari node sensor dan sebuah sink node yang berguna untuk menerima data dari mikrokontroler melalui modul NRF24L01 dan mengirimkannya ke server pusat. Terdapat tiga buah node sensor dan sebuah sink node yang menggunakan topologi star untuk mode jaringannya. Untuk sink node menggunakan modul mikrokontroler ESP32 sehingga mudah dalam implementasi dan konektivitas terhadap jaringan internet.
6. **Internet Gateway** : berguna untuk menghubungkan arsitektur WSN ke

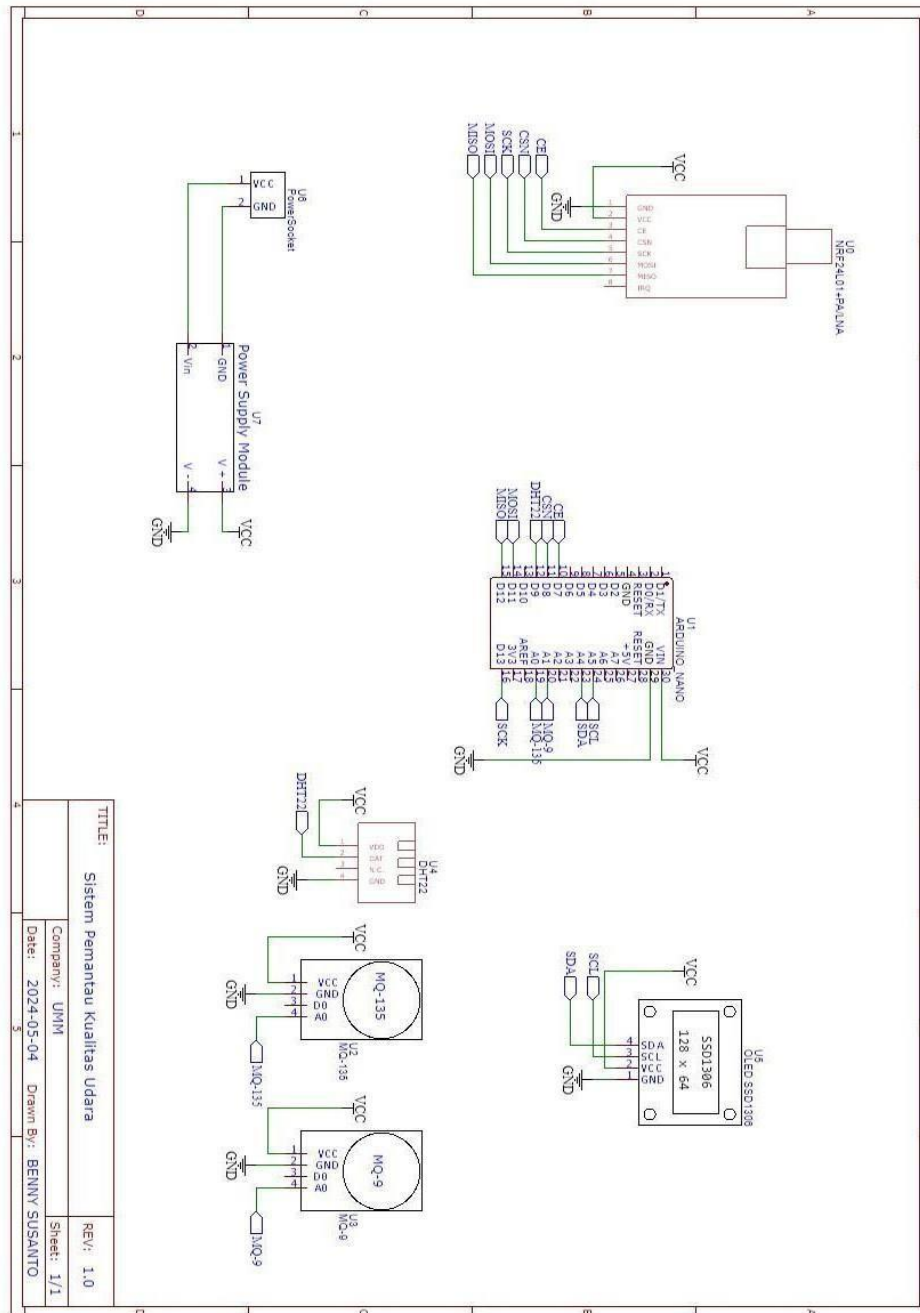
internet sehingga dapat mengirimkan data hasil pemantauan ke server pusat. Gateway berfungsi sebagai jembatan antara sensor lokal dan infrastruktur cloud, memungkinkan kumpulan data dari berbagai unit sensor di lapangan. Dalam penerapannya gateway menggunakan hotspot atau access point.

7. **Web Monitoring** : Merupakan interface pengguna di mana data kualitas udara dipantau dan dianalisis. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mengakses data kualitas udara dari perangkat apa pun yang terhubung ke internet, memberikan kemudahan dalam memantau dan mengambil keputusan terkait dengan kualitas udara.
8. **Server** : Server merupakan pusat data di mana informasi dari berbagai sensor dikonsolidasikan, diproses lebih lanjut, dan disimpan. Server ini memfasilitasi analisis data yang mendalam dan menyediakan hasil pengolahan data yang dapat diakses oleh pengguna melalui sistem monitoringweb.

Dengan adanya diagram blok yang menyajikan arsitektur sistem pemantauan kualitas udara yang terintegrasi dengan teknologi *Wireless* Sensor Network (WSN) dan Internet of Things (IoT) menggunakan topologi star, serta penjelasan komprehensif tentang komponen-komponen utama dan interaksinya, diharapkan dapat memberikan pemahaman yang mendalam tentang sistem ini. Dengan demikian, sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi yang signifikan dalam memantau dan meningkatkan kualitas udara untuk keberlangsungan lingkungan dan kesehatan masyarakat secara keseluruhan.

3.3.2 Perancangan Elektrik Sistem

Dalam sub-bagian mengenai rancangan elektrik perangkat keras, akan diuraikan mengenai susunan rangkaian yang membangun keseluruhan aspek elektrik dari perangkat keras, mulai dari konfigurasi PIN I/O sensor dan mikrokontroler, hingga distribusi daya ke rangkaian. Gambar 3.3 menampilkan rancangan elektrik perangkat keras node sensor dari sistem yang telah dirancang.



Gambar 3.3 Rancangan elektrik perangkat node sensor

Pada dasarnya, setiap komponen ini terhubung ke mikrokontroler dan berkomunikasi melalui pin I/O untuk melaksanakan fungsi tertentu dalam sistem. Mikrokontroler akan diprogram untuk membaca input dari sensor dan kemudian memproses data tersebut untuk mengambil tindakan seperti melakukan sensing data, dan mengirimkannya ke sink node, berikut penjelasan untuk pin I/O yang digunakan dalam perancangan sistem.

NRF24L01 terhubung dengan arduino nano melalui pin SPI dimana fungsi modul tersebut adalah untuk bertukar dan mengirimkan data pembacaan sensor ke sink node.

Modul display OLEDSSD1306 terhubung dengan mikrokontroler arduino nano melalui pin I2C dimana fungsi OLED adalah untuk menampilkan hasil pembacaan sensor dan proses pengiriman data.

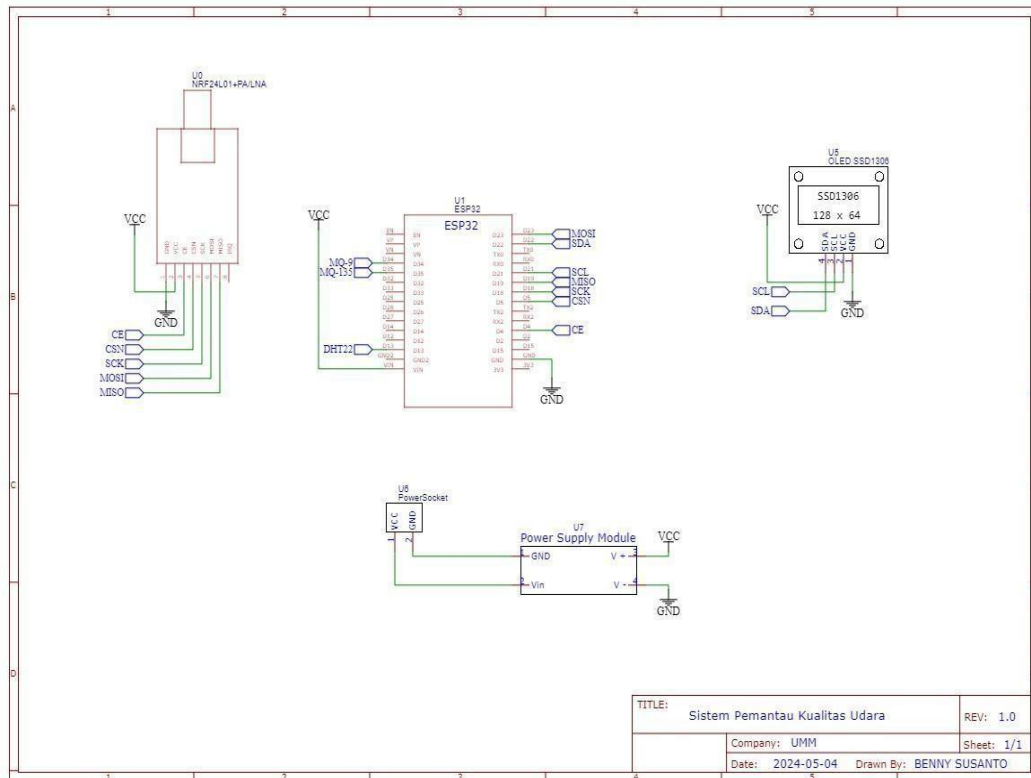
Sensor MQ-9 terhubung dengan pin analog pada mikrokontroler arduino nano yaitu pada pin A1. Penggunaan pin analog pada sensor dikarenakan sensor MQ-9 memiliki luaran berupa data analog atau tegangan sehingga membutuhkan pin ADC untuk mengkonversi menjadi bentuk digital.

Sensor MQ-135 terhubung dengan pin analog pada mikrokontroler arduino nano yaitu pada pin A0. Penggunaan pin analog pada sensor dikarenakan sensor MQ-135 memiliki luaran berupa data analog atau tegangan sehingga membutuhkan pin ADC untuk mengkonversi menjadi bentuk digital.

Sensor suhu dan kelembaban DHT22 terhubung dengan mikrokontroler arduino nano melalui pin digital D9. DHT22 merupakan sensor digital sehingga data yang dikirimkan berupa pulsa PWM yang dapat dibaca langsung oleh pin digital pada arduino nano yang kemudian dikonversikan menjadi bentuk angka.

Catu daya memiliki dua buah luaran yaitu VCC dan GND yang mana kedua luaran tersebut terhubung ke seluruh pin catu daya pada rangkaian sensor, OLED, dan mikrokontroler melalui pin VIN dan GND.

Selain rangkaian pada node sensor, pada penelitian yang dilakukan juga terdapat sebuah rangkaian utama yaitu rangkaian sink node yang memiliki fungsi untuk mengumpulkan data pembacaan node sensor dan mengirimkannya ke server. Gambar 3.4 merupakan rangkaian elektrik sink node.

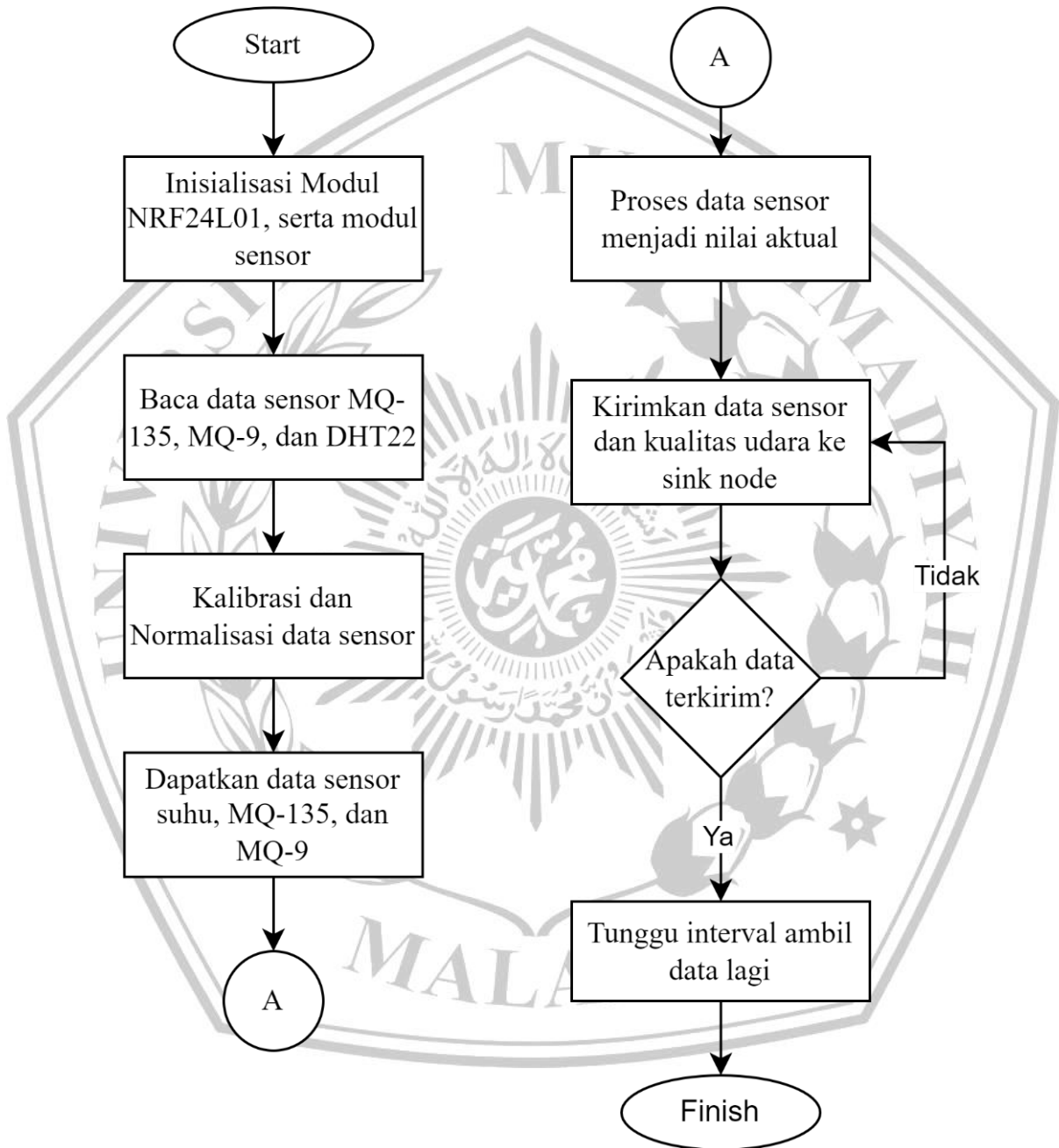


Gambar 3.4 Rangkaian elektrik sink node

Gambar 3.4 menjelaskan tentang skema rangkaian elektrik untuk sink node yang menggunakan mikrokontroler bertipe ESP32 yang terhubung dengan sebuah layar OLED 0,96 inch dan sebuah perangkat komunikasi *Wireless* NRF24101. Karena layar OLED yang digunakan menggunakan komunikasi I2C untuk bertukar data, maka untuk konfigurasi PIN yang digunakan adalah untuk PIN SDA dihubungkan pada kaki IO21 dan SCL pada kaki IO22 karena kedua kaki tersebut merupakan PIN I2C untuk ESP32. Pemilihan antar muka menggunakan OLED 0,96 adalah karena memiliki resolusi yang besar yaitu 128x64 pixel, selain itu konsumsi arus yang rendah yaitu ± 10 mA dengan tegangan kerja 3-5,5 Volt. Selanjutnya untuk NRF24101 terhubung dengan PIN SPI pada mikrokontroler ESP32 seperti yang terlihat pada gambar 3.8. Selain itu terdapat rangkaian catu daya untuk menyediakan tegangan pada rangkaian.

3.3.3 Perancangan Flowchart Sistem

Pada rancangan perangkat lunak terdapat flowchart dimana flowchart adalah alur pada program yang telah dibuat. Flowchart dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut ini.



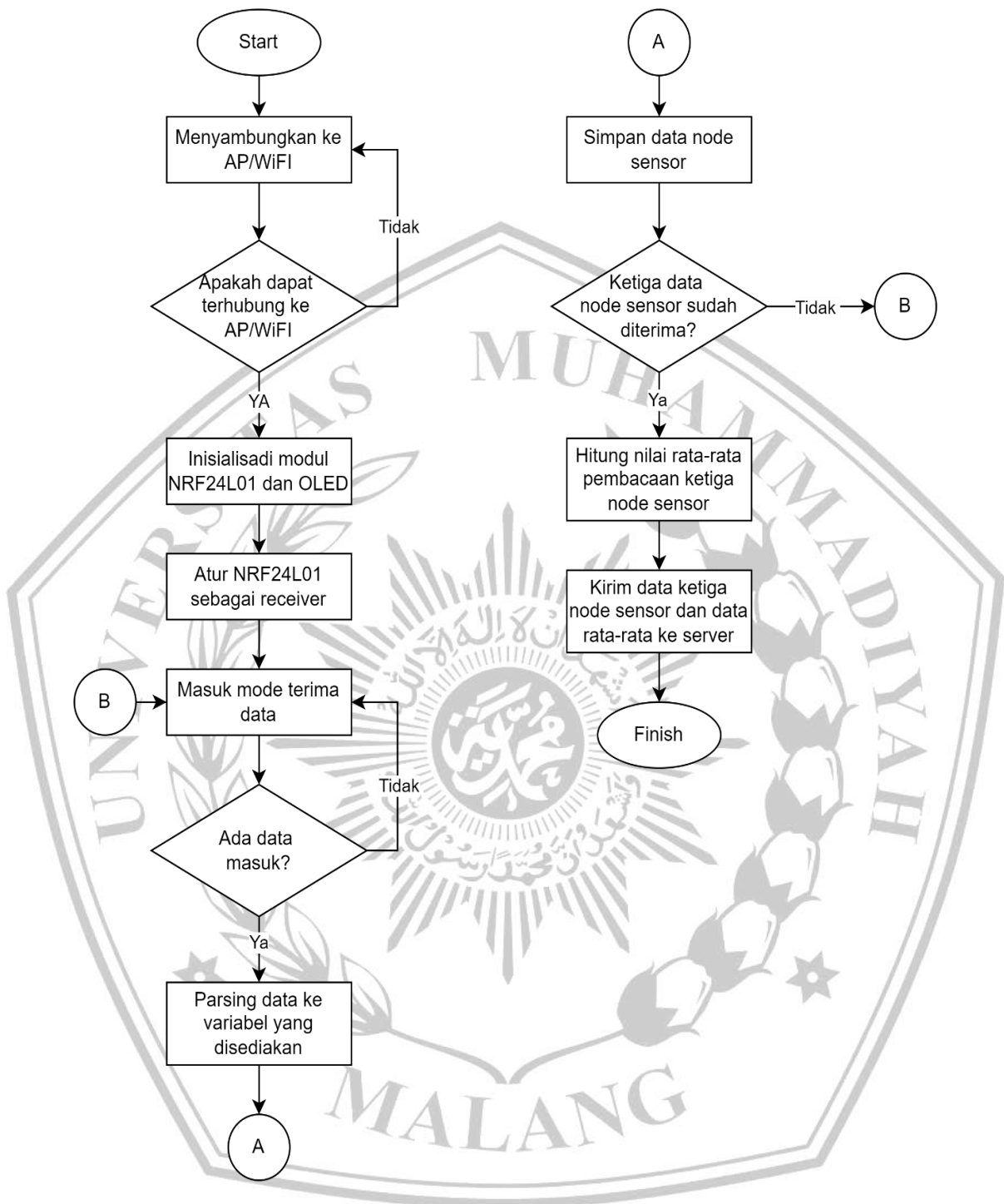
Gambar 3.5 Flowchart sistem pada node sensor

Flowchart yang disajikan mendeskripsikan langkah-langkah operasional dalam sistem pemantauan kualitas udara. Proses dimulai dengan inisialisasi, mengaktifkan modul NRF24L01 serta sensor-sensor yang digunakan, termasuk MQ-135, MQ-9, dan DHT22. Data dari sensor-sensor ini kemudian dibaca, termasuk pengukuran gas berbahaya dan kondisi suhu serta kelembapan udara. Setelah pengumpulan data, tahap kalibrasi dan normalisasi dijalankan untuk memastikan akurasi data sensor sebelum diproses lebih lanjut.

Di sini, data konversi nilai sensor ke satuan nilai aktual tiap parameter pengukuran dikirim dari mikrokontroler melalui modul NRF24L01. Sebuah pemeriksaan dilakukan untuk memastikan apakah data telah berhasil terkirim. Jika ya, sistem akan masuk ke dalam fase penantian, di mana interval waktu ditetapkan sebelum pengambilan data selanjutnya dimulai.

Jika pengiriman data tidak berhasil, sistem akan mencoba mengirimkan data sekali lagi. Kesuksesan pengiriman ini penting untuk memastikan bahwa informasi tentang kualitas udara selalu diperbarui dan akurat. Setelah data berhasil diterima oleh sink node, prosesnya dianggap selesai, dan sistem akan bersiap untuk siklus pengambilan data berikutnya, menunggu interval berikutnya untuk memulai serangkaian operasi yang sama. Siklus ini akan berulang, memastikan bahwa monitoring kualitas udara berlangsung secara terus-menerus dan data yang terkumpul selalu segar dan siap dianalisis.

Setelah sistem node sensor selesai dibangun, langkah selanjutnya adalah perancangan flowchart atau sistem perangkat lunak untuk sink node. Sink node memiliki peran yang krusial dalam perancangan WSN karena bertugas untuk menghubungkan antara tiap node sensor menjadi satu kesatuan jaringan WSN dan juga memiliki fungsi untuk menghubungkan jaringan WSN ke internet melalui access point. Untuk flowchart sistem sink node dapat dilihat pada gambar 3.6.



Gambar 3.6 Flowchart pada sistem Sink Mode

Flowchart yang disajikan pada gambar 3.6 merupakan flowchart atau alur program untuk sink node yang terintegrasi dengan modul NRF24L01 dan koneksi AP/WiFi, dirancang untuk pengumpulan dan pengiriman data secara real-time dalam konteks IoT.

Proses dimulai dengan inisiasi sistem yang langsung mencoba menyambungkan ke Access Point atau WiFi. Jika sistem berhasil terhubung, maka dilanjutkan dengan inisialisasi modul NRF24L01 dan OLED. Modul NRF24L01 diset sebagai penerima (receiver), dan layar OLED diinisialisasi untuk menampilkan informasi yang relevan. Setelah itu, sistem diatur untuk memasuki mode penerimaan data.

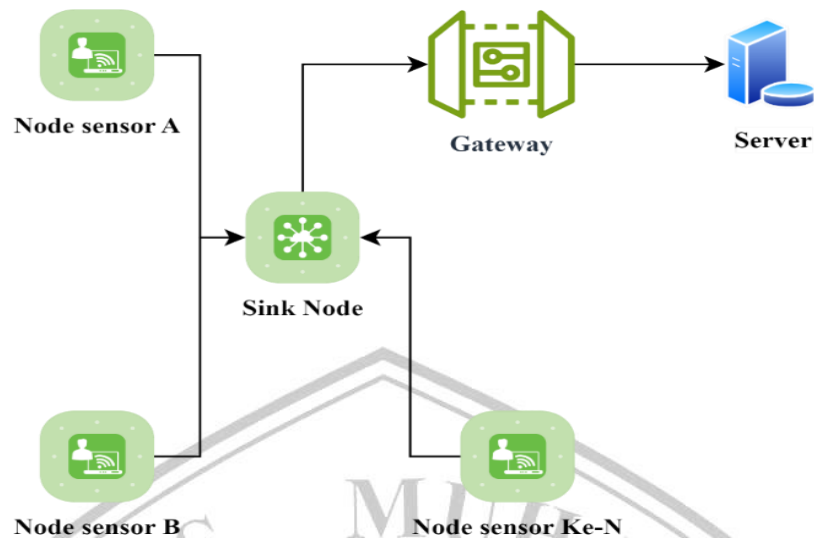
Selanjutnya, sistem mengecek apakah ada data yang masuk. Jika data diterima, maka data tersebut diparsing ke dalam variabel yang telah disiapkan. Pada bagian pengolahan data, sistem pertama-tama menyimpan data dari node sensor. Proses ini berlangsung terus menerus hingga data dari ketiga node sensor diterima. Setelah ketiga data tersedia, sistem menghitung nilai rata-rata dari pembacaan ketiga node sensor tersebut.

Pada langkah terakhir sistem mengirimkan data mentah dari ketiga node sensor bersama dengan data rata-rata yang telah dihitung ke server. Proses ini penting untuk analisis lebih lanjut dan pengambilan keputusan berdasarkan data yang telah dikumpulkan dan diolah. Setelah data berhasil dikirim, proses dianggap selesai, dan sistem siap untuk memulai siklus baru atau menunggu instruksi selanjutnya

Secara umum flowchart tersebut menggambarkan siklus kerja dari pengambilan data hingga pengiriman data yang efisien, yang merupakan komponen kunci dalam aplikasi WSN pada sistem IoT yang memerlukan integrasi data real-time dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan atau operasional.

3.3.4 Perancangan Topologi Jaringan

Setelah sistem selesai dibangun, langkah selanjutnya adalah menentukan topologi WSN yang digunakan. Pada penelitian ini topologi yang digunakan adalah Star. Topologi star merupakan desain topologi yang umum digunakan, dikarenakan memiliki kelebihan yaitu mudah dalam melakukan troubleshooting, mudah dalam penambahan node baru, serta lalulintas data yang lancar karena jarang sekali terjadi tabrakan data. Gambar 3.7 menunjukkan desain topologi yang digunakan pada penelitian.



Gambar 3.7 Rancangan topologi star pada sistem

Gambar 3.7 memperlihatkan sebuah topologi star yang dipilih untuk implementasi dalam sistem pertanian pintar, dengan tiga node sensor dan satu sink node yang semuanya terkoneksi secara nirkabel melalui access point atau gateway. Dalam konfigurasi topologi star ini, setiap node sensor mengirimkan data yang diperoleh dari sensor langsung ke sink node. Sink node ini bertanggung jawab mengumpulkan dan memproses data dari masing-masing node sensor sebelum mengirimkannya ke database melalui gateway seperti access point atau hotspot. Dalam skema yang telah dirancang, transmisi data dari tiap node sensor berlangsung empat kali dalam rentang sepuluh menit. Data dari masing-masing node sensor dikirim secara bergantian, diikuti dengan pengiriman data rata-rata yang dihasilkan dari ketiga node tersebut. Sink node berperan mengirimkan data yang diterima ke database segera setelah menerima dan memprosesnya, menunggupengiriman data berikutnya dari node sensor lain.

3.4 Desain Sistem

3.4.1 Spesifikasi Sistem

Sistem pemantauan kualitas udara yang dirancang ini mengintegrasikan teknologi *Wireless Sensor Network* (WSN) dan *Internet of Things* (IoT) untuk menyediakan solusi efektif dalam monitoring lingkungan secara real-time. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama yang bersinergi untuk mengumpulkan, memproses, dan menganalisis data kualitas udara.

Mikrokontroler ESP32 digunakan sebagai otak dari sink node pada sistem ini karena kemampuannya yang tinggi dalam integrasi Wi-Fi dan kompatibilitas dengan IoT, memungkinkan pengolahan dan pengiriman data secara efisien. Sistem ini dilengkapi dengan sensor MQ-135, MQ-9, dan DHT22 yang bertugas mengukur berbagai parameter penting seperti konsentrasi gas berbahaya, suhu, dan kelembapan. Sensor MQ-135 dirancang untuk mendeteksi gas seperti amonia, oksida nitrogen, dan CO₂, sedangkan sensor MQ-9 fokus pada deteksi gas karbon monoksida dan metana. Sensor DHT22 menyediakan data mengenai suhu dan kelembapan relatif.

Komunikasi data antar node sensor dilakukan melalui modul komunikasi NRF24L01, yang memanfaatkan frekuensi 2.4GHz untuk transmisi data nirkabel, menghubungkan node sensor dengan sink node dalam konfigurasi jaringan topologi star. Sink node ini berperan sebagai pengumpul data dari sensor-sensor yang terhubung, kemudian mengirimkan data tersebut ke server melalui gateway internet.

Sistem ini menggunakan adaptor 5V 2A sebagai sumber daya utama, menggantikan penggunaan baterai untuk menjamin pasokan energi yang stabil dan kontinu, memastikan operasional sistem yang tidak terganggu. Adaptor ini memastikan bahwa semua komponen elektronik dalam sistem mendapatkan tegangan yang sesuai dan aman.

Data yang terkumpul dan diproses di server kemudian dapat diakses melalui web monitoring interface. Interface ini memungkinkan pengguna untuk melihat dan menganalisis data kualitas udara secara real-time dari perangkat yang terhubung ke internet, memfasilitasi pengambilan keputusan yang tepat berdasarkan data terkini dan akurat.

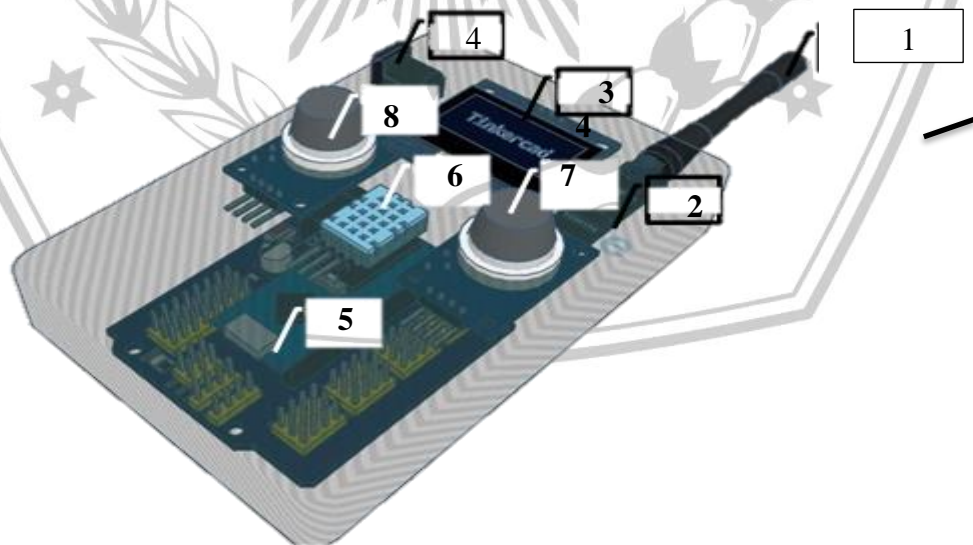
3.4.2 Tata Letak Komponen

Berikut merupakan desain dari perangkat keras untuk sistem monitoring kualitas udara yang dapat dilihat pada gambar 3.8.



Gambar 3.8 Desain perangkat keras sistem monitoring kualitas udara

Pada perangkat keras yang dirancang, terdapat beberapa komponen didalamnya yang memiliki susunan atau tata letak komponen sebagai berikut yang dapat dilihat pada gambar 3.9.



Gambar 3.9 Tata letak komponen

Dari gambar 3.9, terlihat susunan komponen elektronik yang membentuk perangkat keras sehingga dapat berfungsi dengan baik. Poin pertama adalah antena dari modul NRF24L01, sedangkan poin kedua adalah modul atau board utama dari NRF24L01. Poin ketiga adalah display atau layar OLED, dan poin keempat adalah jack power DC yang terhubung dengan papan kontroler utama, yaitu Arduino dan ESP32 untuk sink node, seperti yang terlihat pada poin kelima. Di dalam board tersebut juga terdapat IC regulator untuk mengatur tegangan yang akan digunakan oleh perangkat. Poin keenam adalah sensor DHT22, poin ketujuh adalah sensor MQ-135, dan terakhir, poin kedelapan adalah sensor MQ-9. Komponen elektronik tersebut tersusun dan dihubungkan dengan socket dan kabel data sehingga dapat terhubung ke papan kontroler utama dan bekerja dengan baik.

3.4.3 Paramater Tingkat Kualitas Udara dan Library Kalibrasi Sensor

Selain itu untuk parameter tingkat kualitas udara untuk tiap sensor juga harus dilakukan perancangan terkait sejauh mana kualitas udara dikatakan baik. Parameter tersebut dapat dilihat pada tabel sebagai berikut. Untuk tabel pertama adalah rentang kualitas udara untuk sensor MQ-135 yang digunakan untuk mengukur gas CO₂[8].

CO ₂	
Baik	0 – 1200
Sedang	1000 – 1600
Buruk	1400 - 2000

Untuk tabel kedua adalah rentang kualitas udara untuk sensor MQ-9 yang digunakan untuk mengukur gas CO [9]

CO	
Baik	0 – 100
Sedang	50 – 200
Buruk	100 – 300

Untuk tabel kedua adalah rentang kualitas udara untuk sensor DHT22 yang digunakan untuk mengukur suhu lingkungan [9]

Suhu	
Dingin	≤ 22.8
Normal	≥ 21 s.d. ≤ 27.1
Panas	≥ 25

Dalam penelitian terdahulu berdasarkan tabel parameter diatas ini, peneliti telah menyajikan analisis rentang parameter kualitas udara yang diukur menggunakan sensor MQ-135, MQ-9, dan DHT22. Data yang dikumpulkan dan ditampilkan melalui platform monitoring web memberikan informasi real-time yang esensial tentang kondisi kualitas udara nantinya.

Pada tahap ini juga dilakukan kalibrasi sensor MQ series yaitu MQ-9 dan MQ-135 yang mana menggunakan library dari Arduino sehingga memudahkan dalam proses perancangan. Adapun library yang digunakan adalah MQUnifiedsensor yang didalamnya sudah terdapat rumus kalibrasi menggunakan metode regresi logistik. Berikut contoh program yang digunakan untuk membaca dan sekaligus kalibrasi sensor MQ.

```
#include <Wire.h>
#include <MQUnifiedsensor.h>

// Inisialisasi sensor MQ
MQUnifiedsensor MQ9("Arduino NANO", 5, 10, A1, "MQ-9");
MQUnifiedsensor MQ135("Arduino NANO", 5, 10, A0, "MQ-135");

// Struktur data untuk pengiriman
struct SensorData {
  float
  MQ135ppm;
  float
  MQ9ppm;
};
SensorData dataToSend;

void setup()
{
  Serial.begin
```

```

in(9600);

// Pengaturan sensor MQ
MQ9.setRegressionMethod(1); // Metode regresi logaritmik
MQ9.setA(599.65); // Parameter A untuk MQ-9
MQ9.setB(-2.244); // Parameter B untuk MQ-9

MQ135.setRegressionMethod(1); // Metode regresi
logaritmik MQ135.setA(110.47); // Parameter A
untuk MQ-135 MQ135.setB(-2.862); // Parameter B
untuk MQ-135

MQ9.init(); // Inisialisasi
MQ9 MQ135.init(); //
Inisialisasi MQ135

//
Kalibrasi
sensor
calibrates
ensors();

MQ9.serialDebug(false); // Matikan debug serial untuk MQ9
MQ135.serialDebug(false); // Matikan debug serial untuk
MQ135
}

void calibrateSensors() {
  Serial.print("Calibrating MQ9, please
  wait.");float calcR0_MQ9 = 0;
  for (int i = 1; i <= 10;
    i++) {MQ9.update();
    calcR0_MQ9 += MQ9.calibrate(9.6); // Konsentrasi
CO dalamudara bersih (ppm)
  }
  MQ9.setR0(calcR0_MQ9 / 10);
  Serial.println(" done!");

  Serial.print("Calibrating MQ135, please wait.");

```

```

float calcR0_MQ135 = 0;
for (int i = 1; i <= 10; i++) {MQ135.update();
calcR0_MQ135 += MQ135.calibrate(3.6);           // Konsentrasi CO2

    dalam udara bersih (ppm)
}
MQ135.setR0(calcR0_MQ135/10);Serial.println(" done!");
}
void loop() {
// Memperbarui dan membaca nilai dari sensor MQ9MQ9.update();
float MQ9ppm = MQ9.readSensor();
MQ135.update();
float MQ135ppm = MQ135.readSensor();

// Mengisi data yang akan dikirim
dataToSend.MQ135ppm = MQ135ppm;
dataToSend.MQ9ppm = MQ9ppm;

// Menampilkan data pada serial monitor
Serial.print("MQ135 (CO2) PPM: "); Serial.println(MQ135ppm);
Serial.print("MQ9 (CO) PPM: "); Serial.println(MQ9ppm);

delay(2000); // Jeda 2 detik sebelum iterasi berikutnya
}

```

Dari program library diatas, untuk menentukan rumus matematika untuk MQ9 dan MQ135 dari program ini, kita perlu memahami hubungan antara resistansi sensor dan konsentrasi gas yang diukur oleh sensor. Dalam program tersebut, sensor menggunakan metode regresi logaritmik dengan parameter A dan B. Rumus umum yang digunakan untuk menghitung konsentrasi gas dari resistansi sensor adalah

Dimana :

$$PPM = A x \left(\frac{R_s}{R_0}\right)^B$$

- PPM adalah konsentrasi gas dalam bagian per juta (ppm).
- A dan B adalah konstanta regresi yang didapat dari kalibrasi langsung dari library yang digunakan.
- R_s adalah resistansi sensor pada saat pengukuran.
- R_0 adalah resistansi sensor pada kondisi udara bersih.

Pada konstanta diatas, berdasarkan dokumentasi dari librray yang digunakan, konstanta untuk sensor MQ-9 dan MQ 135 adalah sebagai berikut.

- Untuk MQ-135 konstanta $A = 110.47$ dan $B = -2.826$
- Untuk MQ-9 konstanta $A = 599.65$ dan $B = -2.244$

Untuk menghasilkan nilai pembacaan yang akurat. Dalam program tersebut, proses kalibrasi menghitung nilai rata-rata R_0 dari beberapa pengukuran awal dalam kondisi udara bersih. Nilai R_0 ini kemudian digunakan dalam perhitungan di atas. Kemudian rumus tersebut digunakan dalam fungsi `readSensor()` dari pustaka `MQUnifiedsensor`, yang mengimplementasikan formula regresi logaritmik untuk menghitung konsentrasi gas berdasarkan parameter A dan B yang telah diatur selama inisialisasi sensor. Untuk regresi logistik sendiri karena menggunakan librray, maka untuk konstanta yang digunakan mengikuti hasil dari perhitungan yang ada pada library yang digunakan.

Dalam praktiknya untuk mengkalibrasi sensor tersebut dilakukan dengan carasebagai berikut. Langkah-langkah Kalibrasi Sensor MQ-9 dan MQ-135

1. Persiapan Perangkat Keras dan Perangkat Lunak
2. Menginstal Library `MQUnifiedsensor`
3. Inisialisasi dan Pengaturan Sensor
 - Atur metode regresi logaritmik untuk sensor.
 - Tetapkan konstanta regresi A dan B berdasarkan dokumentasi sensor.
 - Inisialisasi sensor.
4. Kalibrasi Awal Sensor
 - Letakkan sensor di lingkungan udara bersih untuk kalibrasi awal.
 - Jalankan program kalibrasi untuk menghitung nilai rata-rata (R_0) dari beberapa pengukuran awal.
 - Tentukan nilai R_0 untuk setiap sensor (MQ-9 dan MQ-135).

5. Rumus Matematika untuk Kalibrasi

- Gunakan rumus berikut untuk menghitung konsentrasi gas seperti padarumus diatas.
- Konstanta yang digunakan:
 - Untuk MQ-135: $(A = 110.47)$, $(B = -2.862)$.
 - Untuk MQ-9: $(A = 599.65)$, $(B = -2.244)$.

6. Mengukur dan Membandingkan Data

- Jalankan program untuk membaca data dari sensor.
- Bandingkan data sensor dengan alat ukur referensi yang telah dikalibrasi.

7. Penyesuaian Kalibrasi

- Jika data dari sensor tidak sesuai dengan alat ukur referensi Periksa dan sesuaikan nilai R0 jika diperlukan.
- Ulangi proses kalibrasi di udara bersih.
- Periksa apakah nilai konstanta regresi (A dan B) perlu disesuaikan berdasarkan hasil kalibrasi ulang.

8. Validasi Hasil Kalibrasi

- Tempatkan sensor di berbagai kondisi lingkungan untuk mengujikeakuratannya.
- Bandingkan hasil sensor dengan alat ukur referensi pada setiap kondisi.
- Pastikan konsistensi dan keakuratan pembacaan sensor.

9. Penggunaan dalam Aplikasi Nyata

- Setelah kalibrasi selesai dan hasilnya sesuai dengan alat ukur referensi, gunakan sensor dalam aplikasi monitoring kualitas udara.
- Lakukan pemantauan secara berkala untuk memastikan sensor tetap berfungsi dengan baik dan kalibrasi tetap

akurat.

3.5 Pengujian Sistem

Evaluasi dan pengujian dilakukan untuk mendapatkan data dan kesimpulan terhadap sistem yang diterapkan pada penelitian ini dan setelah semua komponen pada sistem yang dirancang sudah terhubung sesuai dengan diagram blok serta perangkat lunak sistem sudah selesai dibuat, maka dilakukan pengujian dan analisis kinerja alat. Tahapan metode pengujian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut :

1. Pengujian ensor MQ-9
2. Pengujian sensor MQ-135
3. Pengujian sensor DHT22
4. Pengujian komunikasi NRF24L01
5. Pengujian sistem WSN secara keseluruhan
- 6.

3.6 Analisa Data

Tahap terakhir merupakan proses pengambilan keputusan berdasarkan analisa data dan berdasarkan data yang telah didapatkan dari pengujian yang telah dilakukan sebelumnya. Data yang didapatkan kemudian dianalisa dan dari hasil analisa tersebut maka akan didapatkan sebuah kesimpulan terkait tingkat fungsionalitas dan kesiapan system yang dirancang serta kesesuai alat.