

Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan ESP32 dengan Klasifikasi Tingkat Risiko Kabut Asap pada Simulasi Wokwi

Nur Ade Ilham Putra Ramadhan¹, Abdul Muni²

^{1,2} Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Islam Indragiri

e-mail: nurilhamade3@gmail.com, abdulmuni@live.com

Abstrak

Kualitas udara merupakan salah satu faktor lingkungan yang dapat memengaruhi kesehatan dan aktivitas manusia, terutama ketika terjadi peningkatan paparan asap dan gas di udara. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang mampu melakukan pemantauan kondisi udara serta memberikan informasi tingkat risiko secara mudah dipahami. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem monitoring kualitas udara menggunakan ESP32 dengan klasifikasi tingkat risiko kabut asap pada platform simulasi Wokwi. Sistem dirancang menggunakan ESP32 sebagai pusat pengendali, sensor MQ-2 untuk mendeteksi perubahan gas atau asap, OLED sebagai media tampilan, serta LED dan buzzer sebagai indikator peringatan. Nilai pembacaan sensor MQ-2 diolah menjadi nilai PPM hasil estimasi simulasi dan diklasifikasikan ke dalam empat tingkat risiko, yaitu Aman pada rentang 0–50 ppm, Waspada pada >50–100 ppm, Tidak Sehat pada >100–200 ppm, dan Bahaya pada >200 ppm. Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa kondisi nilai sensor pada simulasi Wokwi untuk mengetahui respons sistem terhadap perubahan tingkat risiko. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membaca perubahan nilai sensor, menentukan kategori risiko sesuai batas klasifikasi yang telah ditetapkan, serta memberikan keluaran melalui OLED, LED, dan buzzer sesuai dengan kategori yang diperoleh. LED hijau digunakan pada kondisi Aman, LED kuning pada kondisi Waspada, LED oranye pada kondisi Tidak Sehat, dan LED merah pada kondisi Bahaya, sedangkan buzzer memberikan peringatan suara pada kondisi Waspada hingga Bahaya. Dengan demikian, sistem yang dirancang mampu merepresentasikan mekanisme monitoring dan klasifikasi tingkat risiko kabut asap secara efektif dalam lingkungan simulasi Wokwi serta dapat menjadi rancangan awal untuk pengembangan sistem peringatan dini menggunakan perangkat keras secara langsung.

Kata Kunci: ESP32, MQ-2, Kualitas Udara, Kabut Asap, Wokwi, Klasifikasi Risiko.

Abstract

Air quality is an environmental factor that can affect human health and activities, particularly when exposure to smoke and gases in the air increases. Therefore, a system is needed to

monitor air conditions and provide easily understandable information regarding risk levels. This study aims to design an air quality monitoring system using ESP32 with smoke haze risk level classification on the Wokwi simulation platform. The system was designed using ESP32 as the main controller, an MQ-2 sensor to detect changes in gas or smoke, an OLED display as the information interface, and LEDs and a buzzer as warning indicators. The MQ-2 sensor readings are processed into estimated PPM values for simulation purposes and classified into four risk levels: Safe at 0–50 ppm, Warning at >50–100 ppm, Unhealthy at >100–200 ppm, and Dangerous at >200 ppm. Testing was conducted by applying several sensor value conditions in the Wokwi simulation to evaluate the system response to changes in risk levels. The results show that the system is capable of detecting changes in sensor values, determining the risk category according to the predefined classification thresholds, and providing outputs through the OLED display, LEDs, and buzzer based on the resulting category. The green LED indicates the Safe condition, the yellow LED indicates the Warning condition, the orange LED indicates the Unhealthy condition, and the red LED indicates the Dangerous condition, while the buzzer provides audible warnings from the Warning to Dangerous conditions. Therefore, the proposed system is able to effectively represent the monitoring and classification mechanism of smoke haze risk levels in the Wokwi simulation environment and can serve as an initial design for further development using physical hardware.

Keywords: ESP32, MQ-2, Air Quality, Smoke Haze, Wokwi, Risk Classification.

LATAR BELAKANG

Kualitas udara merupakan salah satu faktor lingkungan yang berpengaruh terhadap kesehatan dan aktivitas manusia. Pencemaran udara dapat berasal dari kendaraan, kegiatan industri, pembakaran, serta kebakaran hutan dan lahan yang dapat menghasilkan gas maupun partikulat berbahaya. Partikulat halus seperti PM_{2.5} menjadi salah satu parameter penting dalam pemantauan kualitas udara karena dapat masuk jauh ke dalam saluran pernapasan dan meningkatkan risiko gangguan kesehatan [1]. Kondisi tersebut menunjukkan pentingnya pemantauan kualitas udara secara berkala agar perubahan kondisi lingkungan dapat diketahui lebih cepat. Perkembangan teknologi Internet of Things (IoT) memungkinkan proses pemantauan lingkungan dilakukan secara real-time dengan menghubungkan sensor, mikrokontroler, dan jaringan internet. ESP32 banyak digunakan dalam sistem monitoring karena telah memiliki konektivitas Wi-Fi dan dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor lingkungan [2]. Penelitian Putro *et al.* menggunakan ESP32 dan sensor MQ-2 untuk melakukan monitoring kualitas udara berbasis IoT dan menunjukkan bahwa perubahan nilai sensor dapat digunakan untuk mengetahui kondisi udara [3]. Penelitian Satryawan dan Susanti juga menggunakan ESP32, MQ-135, MQ-7, LED, dan buzzer untuk memberikan informasi kondisi kualitas udara secara langsung [4].

Penggunaan beberapa sensor dalam sistem monitoring dapat memberikan informasi kondisi lingkungan yang lebih lengkap. Penelitian mengenai sistem monitoring berbasis NodeMCU ESP32 menggunakan sensor MQ-2, MQ-7, MQ-8, dan MQ-135 menunjukkan

bahwa kombinasi sensor dapat digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas serta parameter suhu dan kelembapan [5]. Penelitian lain menggunakan ESP32 sebagai pusat pengolahan data kualitas udara dan mengintegrasikannya dengan sensor partikulat serta sensor CO₂ untuk menghasilkan perangkat monitoring berbiaya rendah [6]. Hal tersebut menunjukkan bahwa ESP32 dapat menjadi salah satu platform yang sesuai untuk pengembangan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT.

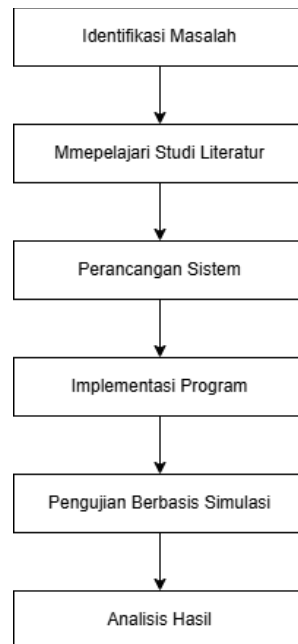
Selain menggunakan perangkat keras secara langsung, proses perancangan sistem IoT dapat dilakukan melalui simulasi. Wokwi dapat digunakan untuk mensimulasikan ESP32, sensor, display, LED, buzzer, serta program yang digunakan sebelum diterapkan pada perangkat fisik. Penggunaan simulasi dapat membantu proses pengujian rangkaian dan logika sistem dengan biaya yang lebih rendah. Penelitian sebelumnya juga telah mengembangkan sistem monitoring kualitas udara menggunakan ESP32 dan sensor MQ-135 pada lingkungan simulasi Wokwi [7]. Namun, penelitian tersebut lebih berfokus pada pemantauan kondisi udara dan belum secara khusus menekankan klasifikasi tingkat risiko kabut asap.

Klasifikasi diperlukan agar data sensor yang berupa angka dapat diubah menjadi informasi yang lebih mudah dipahami pengguna. Sistem monitoring kualitas udara sebelumnya telah menerapkan kategori kondisi seperti *Good*, *Warning*, dan *Danger* menggunakan indikator LED, buzzer, serta tampilan nilai sensor [4]. Penelitian lain mengenai deteksi asap menggunakan ESP32 dan sensor MQ-2 juga menunjukkan bahwa perubahan konsentrasi gas dapat digunakan sebagai dasar pemberian peringatan dini kepada pengguna [8]. Dengan demikian, penerapan klasifikasi tingkat risiko dapat membantu sistem tidak hanya menampilkan nilai sensor, tetapi juga memberikan informasi mengenai kondisi yang sedang terjadi. Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini mengangkat judul “Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Menggunakan ESP32 dengan Klasifikasi Tingkat Risiko Kabut Asap pada Simulasi Wokwi”. Sistem dirancang menggunakan ESP32 dan sensor MQ-2 untuk membaca perubahan kondisi udara yang disimulasikan sebagai paparan asap. Nilai sensor kemudian diproses berdasarkan batas klasifikasi yang telah ditentukan dan dikelompokkan menjadi empat tingkat risiko, yaitu Aman, Waspada, Tidak Sehat, dan Bahaya. Hasil klasifikasi ditampilkan melalui OLED serta diperkuat dengan LED dan buzzer sebagai indikator peringatan. Penelitian ini diharapkan menghasilkan rancangan simulasi monitoring kualitas udara yang sederhana dan dapat menjadi dasar pengembangan sistem peringatan dini menggunakan perangkat keras secara langsung.

METODE

Penelitian ini dilakukan dengan pendekatan pengembangan berbasis simulasi yang seluruh tahapannya dilaksanakan menggunakan platform Wokwi. Tahapan penelitian dimulai dari identifikasi masalah mengenai kebutuhan sistem untuk memantau kondisi udara dan memberikan informasi tingkat risiko kabut asap. Selanjutnya dilakukan studi literatur mengenai ESP32, sensor gas MQ-2, sistem monitoring kualitas udara, indikator LED dan buzzer, serta metode klasifikasi kondisi udara. Tahap berikutnya adalah perancangan sistem menggunakan ESP32, sensor MQ-2, OLED, LED indikator, dan buzzer, termasuk penentuan

batas nilai untuk klasifikasi risiko Aman, Waspada, Tidak Sehat, dan Bahaya. Rancangan kemudian diimplementasikan ke dalam simulasi Wokwi dan diuji menggunakan beberapa skenario perubahan nilai sensor untuk mengetahui respons sistem dalam membaca kondisi udara, menampilkan hasil klasifikasi, serta mengaktifkan indikator LED dan buzzer. Hasil pengujian selanjutnya dianalisis secara deskriptif berdasarkan kesesuaian antara nilai sensor, kategori risiko, tampilan OLED, LED, dan buzzer terhadap fungsi sistem yang telah ditentukan.



Gambar 1 Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem monitoring kualitas udara pada penelitian ini direalisasikan sepenuhnya dalam bentuk simulasi menggunakan platform Wokwi. Sistem dirancang untuk memantau perubahan kondisi udara berdasarkan pembacaan sensor gas MQ-2. ESP32 digunakan sebagai pusat pengendali yang mengolah nilai sensor dan menentukan tingkat risiko kabut asap berdasarkan batas nilai yang telah ditentukan. Hasil klasifikasi ditampilkan melalui OLED dan diperkuat dengan LED serta buzzer sebagai indikator kondisi sistem. Cara kerja sistem diawali ketika sensor MQ-2 membaca perubahan nilai yang merepresentasikan kondisi udara atau paparan asap pada simulasi. Data tersebut kemudian dibaca oleh ESP32 dan dibandingkan dengan batas nilai klasifikasi yang telah ditentukan. Sistem membagi kondisi menjadi empat tingkat risiko, yaitu Aman, Waspada, Tidak Sehat, dan Bahaya. Pada kondisi Aman, LED hijau menyala dan buzzer tidak aktif. Pada kondisi Waspada, LED kuning menyala dan buzzer memberikan bunyi singkat sebagai peringatan awal. Pada kondisi Tidak Sehat, LED oranye menyala dan buzzer memberikan peringatan dengan durasi yang lebih

panjang. Pada kondisi Bahaya, LED merah menyala dan buzzer menghasilkan pola alarm sebagai peringatan terhadap tingginya tingkat risiko. Nilai ADC, nilai PPM hasil estimasi, dan status risiko kemudian ditampilkan pada OLED sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi sistem secara langsung.

Komponen Sistem

Sistem simulasi menggunakan beberapa komponen utama yang tersedia pada platform Wokwi, yaitu ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor MQ-2 sebagai pendeteksi perubahan gas atau asap, OLED sebagai media tampilan, LED hijau, kuning, oranye, dan merah sebagai indikator visual, serta buzzer sebagai indikator suara.

1. ESP32

ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali sistem. Mikrokontroler menerima data dari sensor MQ-2, kemudian mengolah nilai tersebut berdasarkan program yang telah dibuat. Hasil pengolahan digunakan untuk menentukan kategori tingkat risiko dan mengendalikan OLED, LED, serta buzzer. ESP32 digunakan karena memiliki kemampuan pengolahan data dan sejumlah pin input serta output yang mendukung integrasi sensor dan perangkat indikator dalam sistem monitoring.



Gambar 2 ESP32

2. Sensor MQ-2

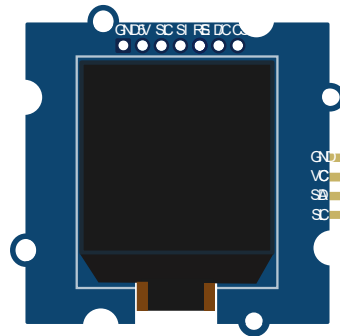
Sensor MQ-2 digunakan untuk mendeteksi perubahan kondisi gas dan asap dalam lingkungan simulasi. Nilai keluaran sensor dibaca oleh ESP32 dan digunakan sebagai parameter utama dalam menentukan tingkat risiko kabut asap. Semakin tinggi nilai pembacaan sensor yang ditetapkan dalam simulasi, semakin tinggi pula tingkat risiko yang dihasilkan oleh sistem.



Gambar 3 Sensor MQ-2

3. OLED

OLED digunakan untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor dan klasifikasi kondisi udara. Informasi yang ditampilkan meliputi nilai ADC sensor MQ-2, nilai PPM hasil estimasi simulasi, serta tingkat risiko kondisi udara. Penggunaan OLED memungkinkan informasi kondisi sistem dapat dilihat secara langsung oleh pengguna.



Gambar 4 Oled

4. LED Indikator

Light Emitting Diode (LED) adalah komponen semikonduktor yang mampu **memancarkan cahaya monokromatik saat dialiri arus listrik maju (forward biased)**, dan sering dimanfaatkan sebagai indikator visual dalam berbagai sistem elektronik. Dalam sistem ini, LED digunakan sebagai indikator visual untuk menunjukkan tingkat risiko kondisi udara. LED hijau menunjukkan kondisi Aman, LED kuning menunjukkan kondisi Waspada, LED oranye menunjukkan kondisi Tidak Sehat, sedangkan LED merah menunjukkan kondisi Bahaya. Penggunaan beberapa LED memungkinkan pengguna mengetahui tingkat risiko berdasarkan indikator warna tanpa harus hanya melihat nilai sensor pada OLED [9].

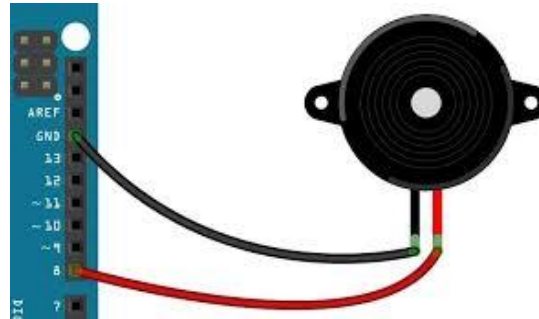


Gambar 5 LED

5. Buzzer

Buzzer berfungsi sebagai indikator suara untuk memberikan peringatan ketika sistem mendeteksi kondisi udara yang masuk ke tingkat risiko tertentu. Pada kondisi Waspada,

buzzer menghasilkan bunyi singkat sebagai peringatan awal. Pada kondisi Tidak Sehat, buzzer menghasilkan bunyi dengan durasi yang lebih panjang, sedangkan pada kondisi Bahaya buzzer menghasilkan pola alarm sebagai tanda bahwa tingkat risiko berada pada kondisi tinggi. Penggunaan buzzer bertujuan memberikan peringatan tambahan selain indikator visual melalui LED dan informasi kondisi melalui OLED [10].



Gambar 6 Buzzer

6. Resistor

Resistor adalah komponen elektronika pasif yang berfungsi untuk **membatasi atau mengatur arus listrik** dan mengontrol pembagian tegangan dalam suatu rangkaian. Resistor digunakan sebagai pembatas arus pada rangkaian LED untuk membantu menjaga agar arus yang mengalir melalui LED tetap sesuai dengan kebutuhan komponen. Setiap LED dihubungkan dengan resistor sebelum terhubung ke pin GPIO ESP32 sehingga LED dapat digunakan sebagai indikator visual pada setiap tingkat risiko. Penggunaan resistor membantu melindungi LED dan pin keluaran ESP32 dari arus yang berlebihan [11].



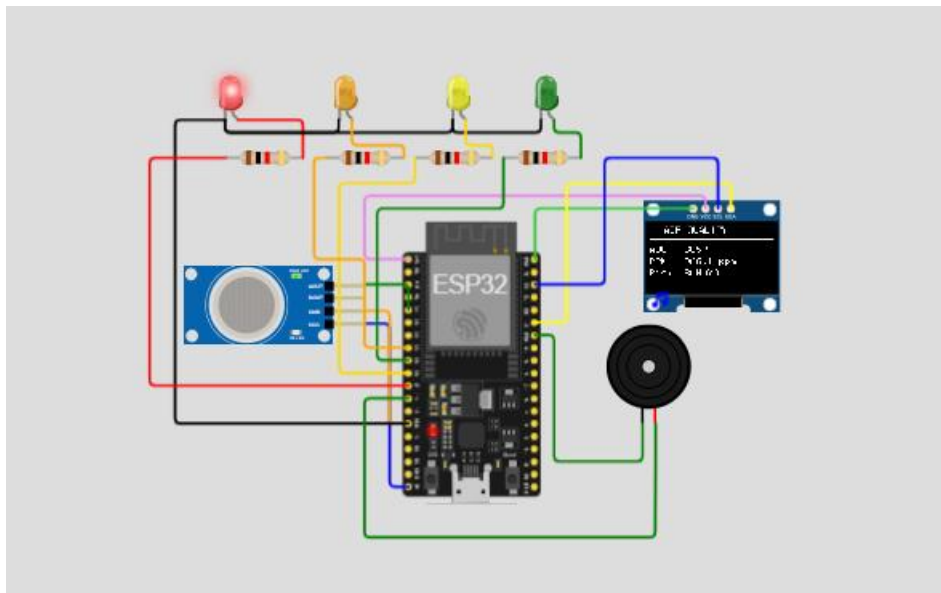
Gambar 7 Resistor

Rangkaian Sistem pada Wokwi

Rangkaian sistem disusun pada platform Wokwi dengan ESP32 sebagai pusat pengendali. Sensor MQ-2 digunakan sebagai perangkat input, sedangkan OLED, LED, dan buzzer digunakan sebagai perangkat output. Setiap komponen dihubungkan sesuai dengan fungsi masing-masing sehingga dapat membentuk sistem monitoring kualitas udara secara keseluruhan

Tabel 1. Rangkaian Komponen Sistem

No.	Komponen	Pin Komponen	Pin ESP32	Fungsi
1	MQ-2	AO	GPIO 34	Membaca perubahan gas/asap
2	OLED	SDA	GPIO 21	Komunikasi data
3	OLED	SCL	GPIO 22	Komunikasi clock
4	LED Hijau	Anoda	GPIO 25	Risiko Aman
5	LED Kuning	Anoda	GPIO 26	Risiko Waspada
6	LED Merah	Anoda	GPIO 27	Risiko Berbahaya
7	LED OREN	Anoda	GPIO 33	Risiko Tidak Sehat
8	Buzzer	Positif	GPIO 14	Peringatan suara
9	Semua komponen	GND	GND	Ground

**Gambar 8. Rangkaian Sistem Monitoring Kualitas Udara pada Wokwi**

Berdasarkan rangkaian sistem yang telah dirancang sebelumnya, berikut disajikan kode program yang digunakan untuk mengendalikan sistem monitoring kualitas udara pada simulasi ini. Seluruh rangkaian disimulasikan menggunakan platform Wokwi sehingga pengujian dapat dilakukan tanpa memerlukan perangkat keras secara langsung. Pada proses simulasi, sensor MQ-2 digunakan untuk membaca perubahan kondisi gas atau asap. Data sensor kemudian diproses oleh ESP32 untuk menentukan tingkat risiko kabut asap berdasarkan batas klasifikasi yang telah ditentukan. Hasil klasifikasi selanjutnya ditampilkan pada OLED sebagai informasi kondisi udara, sedangkan LED hijau, kuning, oranye, dan merah digunakan sebagai indikator tingkat risiko. Buzzer digunakan sebagai indikator suara pada kondisi Waspada, Tidak Sehat, dan Bahaya. Melalui simulasi tersebut, dapat diamati bahwa setiap komponen mampu bekerja dan terintegrasi sesuai dengan fungsi yang telah dirancang. Berikut ini merupakan kode lengkap yang digunakan dalam simulasi Wokwi.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_GFX.h>
#include <Adafruit_SSD1306.h>

// =====
// PIN
// =====

#define MQ2_PIN 34

#define LED_GREEN 25
#define LED_YELLOW 26
#define LED_ORANGE 33
#define LED_RED 27

#define BUZZER_PIN 14

#define SDA_PIN 21
#define SCL_PIN 22

// =====
// OLED
// =====

#define SCREEN_WIDTH 128
#define SCREEN_HEIGHT 64

Adafruit_SSD1306 display(
  SCREEN_WIDTH,
  SCREEN_HEIGHT,
  &Wire,
  -1
);

// =====
// BATAS PPM
// =====
//
// AMAN      : 0 - 50 ppm
// WASPADA   : >50 - 100 ppm
// TIDAK SEHAT : >100 - 200 ppm
// BAHAYA    : >200 ppm
//
```

```
// Catatan:
// Batas ini merupakan batas klasifikasi SIMULASI.
// Bukan batas universal kualitas udara untuk semua gas.
// =====

#define SAFE_MAX    50.0
#define WARNING_MAX 100.0
#define UNHEALTHY_MAX 200.0

// =====
// KALIBRASI SENSOR
// =====
//
// MQ-2 Wokwi menghasilkan tegangan analog pada AO.
// ESP32 membaca tegangan tersebut melalui ADC.
//
// Kita menggunakan tegangan ADC sebagai dasar
// estimasi PPM.
//
// ADC ESP32 : 0 - 4095
// Tegangan  : 0 - 3.3V
// =====

#define ADC_RESOLUTION 4095.0
#define ESP32_VOLTAGE 3.3

// =====
// SETUP
// =====

void setup() {

    Serial.begin(115200);

    // -----
    // LED
    // -----

    pinMode(LED_GREEN, OUTPUT);
    pinMode(LED_YELLOW, OUTPUT);
    pinMode(LED_ORANGE, OUTPUT);
    pinMode(LED_RED, OUTPUT);
```

```
// -----  
// BUZZER  
// -----  
  
pinMode(BUZZER_PIN, OUTPUT);  
  
// -----  
// MQ-2  
// -----  
  
pinMode(MQ2_PIN, INPUT);  
  
// -----  
// OLED  
// -----  
  
Wire.begin(SDA_PIN, SCL_PIN);  
  
if (!display.begin(SSD1306_SWITCHCAPVCC, 0x3C)) {  
    Serial.println("OLED tidak ditemukan!");  
    while (true);  
}  
  
// =====  
// MATIKAN SEMUA OUTPUT  
// =====  
  
digitalWrite(LED_GREEN, LOW);  
digitalWrite(LED_YELLOW, LOW);  
digitalWrite(LED_ORANGE, LOW);  
digitalWrite(LED_RED, LOW);  
  
noTone(BUZZER_PIN);  
  
// =====  
// START SCREEN  
// =====  
  
display.clearDisplay();  
  
display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
```

```
display.setTextSize(1);

display.setCursor(15, 10);
display.println("AIR QUALITY");

display.setCursor(20, 28);
display.println("MQ-2 SENSOR");

display.setCursor(25, 45);
display.println("Starting...");

display.display();

Serial.println("=====");
Serial.println("AIR QUALITY MONITORING");
Serial.println("MQ-2 GAS SENSOR");
Serial.println("SYSTEM STARTING");
Serial.println("=====");

// -----
// WARM-UP
// -----

delay(5000);
}

// =====
// FUNGSI MEMBACA ADC RATA-RATA
// =====

int readSensorAverage() {

    long total = 0;

    const int jumlahPembacaan = 10;

    for (int i = 0; i < jumlahPembacaan; i++) {

        total += analogRead(MQ2_PIN);

        delay(5);
    }
}
```

```
    return total / jumlahPembacaan;
}

// =====
// LOOP
// =====

void loop() {

    // =====
    // 1. BACA SENSOR
    // =====

    int sensorValue = readSensorAverage();

    // =====
    // 2. KONVERSI ADC KE TEGANGAN
    // =====

    float voltage =
        (sensorValue / ADC_RESOLUTION) *
        ESP32_VOLTAGE;

    // =====
    // 3. ESTIMASI PPM
    // =====
    //
    // Catatan penting:
    //
    // MQ-2 bukan sensor PPM linear.
    // Karena itu tidak menggunakan:
    //
    // ppm = map(ADC, 0, 4095, 0, 300)
    //
    // seperti kode sebelumnya.
    //
    // Rumus di bawah digunakan sebagai pendekatan
    // simulasi agar perubahan konsentrasi menghasilkan
    // perubahan PPM yang lebih masuk akal.
    // =====

    float ppm;
```

```
if (voltage <= 0.10) {  
    ppm = 0.0;  
}  
else {  
    ppm = pow(  
        voltage / 0.10,  
        2.0  
    );  
}  
  
// =====  
// BATASI NILAI PPM  
// =====  
  
ppm = constrain(  
    ppm,  
    0.0,  
    1000.0  
);  
  
// =====  
// STATUS RISIKO  
// =====  
  
String riskLevel;  
  
// =====  
// MATIKAN SEMUA OUTPUT  
// =====  
  
digitalWrite(LED_GREEN, LOW);  
digitalWrite(LED_YELLOW, LOW);  
digitalWrite(LED_ORANGE, LOW);  
digitalWrite(LED_RED, LOW);  
  
noTone(BUZZER_PIN);  
  
// =====  
// 1. AMAN  
// 0 - 50 PPM
```

```
// =====  
if (ppm <= SAFE_MAX) {  
    riskLevel = "AMAN";  
  
    digitalWrite(  
        LED_GREEN,  
        HIGH  
    );  
  
    noTone(BUZZER_PIN);  
}  
  
// =====  
// 2. WASPADA  
// >50 - 100 PPM  
// =====  
  
else if (ppm <= WARNING_MAX) {  
    riskLevel = "WASPADA";  
  
    digitalWrite(  
        LED_YELLOW,  
        HIGH  
    );  
  
    tone(  
        BUZZER_PIN,  
        1000  
    );  
  
    delay(150);  
  
    noTone(BUZZER_PIN);  
}  
  
// =====  
// 3. TIDAK SEHAT  
// >100 - 200 PPM  
// =====
```

```
else if (ppm <= UNHEALTHY_MAX) {  
    riskLevel = "TIDAK SEHAT";  
  
    digitalWrite(  
        LED_ORANGE,  
        HIGH  
    );  
  
    tone(  
        BUZZER_PIN,  
        1500  
    );  
  
    delay(400);  
  
    noTone(BUZZER_PIN);  
}  
  
// =====  
// 4. BAHAYA  
// >200 PPM  
// =====  
  
else {  
  
    riskLevel = "BAHAYA";  
  
    digitalWrite(  
        LED_RED,  
        HIGH  
    );  
  
    // Alarm pertama  
    tone(  
        BUZZER_PIN,  
        2000  
    );  
  
    delay(500);  
  
    noTone(BUZZER_PIN);
```

```
    delay(150);

    // Alarm kedua
    tone(
        BUZZER_PIN,
        2500
    );

    delay(200);

    noTone(BUZZER_PIN);
}

// =====
// SERIAL MONITOR
// =====

Serial.println();
Serial.println("=====");

Serial.print("ADC Sensor : ");
Serial.println(sensorValue);

Serial.print("Tegangan  : ");
Serial.print(voltage, 3);
Serial.println(" V");

Serial.print("PPM      : ");
Serial.print(ppm, 1);
Serial.println(" ppm");

Serial.print("Status   : ");
Serial.println(riskLevel);

Serial.println("=====");

// =====
// OLED
// =====

display.clearDisplay();

display.setTextColor(SSD1306_WHITE);
```

```
display.setTextSize(1);

// -----
// JUDUL
// -----

display.setCursor(15, 0);

display.println("AIR QUALITY");

// -----
// GARIS
// -----

display.drawLine(
  0,
  12,
  127,
  12,
  SSD1306_WHITE
);

// -----
// ADC
// -----

display.setCursor(0, 20);

display.print("ADC : ");

display.println(sensorValue);

// -----
// PPM
// -----

display.setCursor(0, 32);

display.print("PPM : ");

display.print(ppm, 1);

display.println(" ppm");
```

```
// -----
// STATUS
// -----

display.setCursor(0, 44);

display.print("Risk: ");

display.println(riskLevel);

// -----
// UPDATE OLED
// -----

display.display();

// =====
// DELAY
// =====

delay(500);
}
```

Hasil Pengujian Simulasi

Pengujian dilakukan dengan memberikan beberapa kondisi nilai sensor MQ-2 pada simulasi Wokwi. Pengujian bertujuan mengetahui kemampuan sistem dalam membaca perubahan nilai sensor dan memberikan klasifikasi serta indikator yang sesuai. Hasil pengujian ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Pengujian Klasifikasi Risiko

No.	Nilai MQ-2 / PPM	Kategori Risiko	LED	Buzzer	Keterangan
1	0–50 ppm	Aman	Hijau	Tidak aktif	Kondisi udara aman
2	>50–100 ppm	Waspada	Kuning	Aktif singkat	Kondisi udara perlu diperhatikan
3	>100–200 ppm	Tidak Sehat	Oranye	Aktif	Kondisi udara tidak sehat
4	>200 ppm	Bahaya	Merah	Aktif dengan alarm	Peringatan risiko kabut asap tinggi

Berdasarkan hasil pengujian, sistem mampu memberikan respons yang berbeda pada setiap rentang nilai PPM hasil pembacaan sensor MQ-2. Ketika nilai PPM berada pada

rentang **0–50 ppm**, sistem mengategorikan kondisi sebagai **Aman**, sehingga LED hijau menyala dan buzzer tidak aktif. Ketika nilai PPM berada pada rentang **>50–100 ppm**, sistem memberikan kategori **Waspada** dengan mengaktifkan LED kuning dan buzzer secara singkat sebagai tanda peringatan. Selanjutnya, pada rentang **>100–200 ppm**, sistem mengategorikan kondisi sebagai **Tidak Sehat**, LED oranye menyala, dan buzzer aktif sebagai peringatan. Sementara itu, ketika nilai PPM berada di atas **200 ppm**, sistem mengategorikan kondisi sebagai **Bahaya**, LED merah menyala, dan buzzer memberikan alarm sebagai peringatan terhadap tingginya risiko kabut asap. Rentang klasifikasi tersebut mengikuti batas nilai yang telah ditentukan dalam program simulasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa logika klasifikasi yang diterapkan pada ESP32 dapat memberikan keluaran sesuai dengan perubahan nilai sensor. Setiap peningkatan nilai PPM menyebabkan perubahan kategori risiko dan indikator yang digunakan, mulai dari kondisi Aman hingga Bahaya. OLED juga berhasil menampilkan nilai ADC, nilai PPM, dan status risiko secara langsung, sehingga pengguna dapat memperoleh informasi mengenai kondisi udara dengan lebih mudah. Dengan demikian, integrasi antara sensor MQ-2, ESP32, LED indikator, buzzer, dan OLED dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang dalam simulasi Wokwi.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil simulasi sistem monitoring kualitas udara yang direalisasikan menggunakan platform Wokwi, diperoleh hasil bahwa seluruh komponen virtual yang digunakan dalam penelitian ini dapat berfungsi dengan baik dan sesuai dengan perancangan sistem. Simulasi menunjukkan bahwa sistem mampu membaca perubahan nilai sensor MQ-2 sebagai representasi kondisi udara dan mengolahnya menggunakan ESP32 untuk menentukan tingkat risiko. Nilai hasil pembacaan sensor dikonversi menjadi nilai PPM hasil estimasi simulasi, kemudian diklasifikasikan ke dalam empat kondisi, yaitu Aman, Waspada, Tidak Sehat, dan Bahaya berdasarkan batas nilai yang telah ditentukan dalam program. Pada kondisi nilai PPM berada pada rentang 0–50 ppm, sistem mengategorikan kondisi sebagai Aman. Pada kondisi tersebut, LED hijau menyala dan buzzer tidak aktif. Ketika nilai PPM berada pada rentang >50–100 ppm, sistem memberikan kategori Waspada dengan menyalakan LED kuning dan memberikan bunyi peringatan singkat melalui buzzer. Selanjutnya, ketika nilai PPM berada pada rentang >100–200 ppm, sistem mengategorikan kondisi sebagai Tidak Sehat, LED oranye menyala, dan buzzer memberikan peringatan. Sementara itu, ketika nilai PPM lebih dari 200 ppm, sistem mengategorikan kondisi sebagai Bahaya, LED merah menyala, dan buzzer menghasilkan alarm dengan pola bunyi yang lebih kuat sebagai peringatan terhadap kondisi risiko kabut asap yang tinggi.

Hasil simulasi juga memperlihatkan bahwa integrasi antar komponen berjalan secara konsisten. Sensor MQ-2 sebagai input dapat dibaca oleh ESP32 melalui pin analog, kemudian data tersebut diproses untuk menentukan kategori risiko. LED digunakan sebagai indikator visual yang membedakan setiap tingkat kondisi, sedangkan buzzer memberikan peringatan suara sesuai dengan kategori yang diperoleh. OLED juga mampu menampilkan nilai ADC, nilai PPM, dan status risiko secara langsung sehingga pengguna dapat mengetahui kondisi udara dengan lebih mudah. Secara keseluruhan, hasil penelitian ini

menunjukkan bahwa simulasi sistem monitoring kualitas udara menggunakan ESP32 dan sensor MQ-2 pada platform Wokwi mampu merepresentasikan mekanisme pemantauan dan klasifikasi kondisi udara secara efektif. Sistem yang disimulasikan telah memenuhi tujuan perancangan, yaitu membaca perubahan kondisi udara, mengelompokkan tingkat risiko berdasarkan nilai sensor, serta memberikan informasi melalui OLED, LED, dan buzzer. Dengan demikian, simulasi Wokwi dapat digunakan sebagai tahap awal untuk menguji rancangan sistem monitoring sebelum diterapkan menggunakan perangkat keras secara langsung. Namun, nilai PPM yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil estimasi untuk kebutuhan simulasi dan bukan hasil pengukuran konsentrasi gas yang telah dikalibrasi secara nyata.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, sistem monitoring kualitas udara menggunakan ESP32 dan sensor MQ-2 pada platform Wokwi mampu membaca perubahan nilai sensor dan mengolahnya menjadi nilai PPM hasil estimasi simulasi untuk menentukan tingkat risiko kondisi udara. Hasil klasifikasi dibagi menjadi empat kategori, yaitu Aman pada rentang 0–50 ppm, Waspada pada >50–100 ppm, Tidak Sehat pada >100–200 ppm, dan Bahaya pada nilai >200 ppm. Setiap kategori memberikan respons keluaran yang berbeda melalui LED dan buzzer, sedangkan OLED mampu menampilkan nilai ADC, nilai PPM, dan status risiko secara langsung. Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi ESP32, sensor MQ-2, OLED, LED, dan buzzer dapat berjalan sesuai dengan fungsi yang telah dirancang dalam simulasi. Sistem mampu memberikan informasi dan peringatan berdasarkan perubahan tingkat risiko, sehingga dapat merepresentasikan mekanisme monitoring dan peringatan dini terhadap risiko kabut asap dalam lingkungan simulasi Wokwi. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjadi rancangan awal untuk pengembangan sistem monitoring kualitas udara menggunakan perangkat keras secara langsung. Nilai PPM yang digunakan dalam penelitian ini merupakan hasil estimasi untuk kebutuhan simulasi dan bukan hasil pengukuran konsentrasi gas yang telah dikalibrasi pada kondisi lingkungan nyata. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan menggunakan perangkat keras secara langsung, sensor yang lebih spesifik terhadap parameter kualitas udara, serta proses kalibrasi sensor agar hasil pengukuran dapat digunakan pada kondisi lingkungan sebenarnya.

REFERENSI

- WHO, "WHO ambient air quality database, 2022 update".
- A. U. Khan, M. E. Khan, M. Hasan, W. Zakri, W. Alhazmi, and T. Islam, "An Efficient Wireless Sensor Network Based on the ESP-MESH Protocol for Indoor and Outdoor Air Quality Monitoring," *Sustainability (Switzerland)*, vol. 14, no. 24, Dec. 2022, doi: 10.3390/su142416630.
- A. Priyantoko Putro, D. Arrival Hidayat, F. Fauzan Heratama, A. Dwi Cahyo, D. Eka Yulian, and Y. Agung Prabowo Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya, "Sistem Monitoring

- Kualitas Udara Menggunakan Mikrokontroler ESP32 dengan Sensor MQ2 Berbasis Internet of Things”, doi: 10.31284/p.snestik.2023.4214.
- M. A. Satryawan and E. Susanti, “PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI KUALITAS UDARA DENGAN IoT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32 D1 R32,” *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 2, pp. 410–419, 2023.
- L. M. Easterline, A. A. Z. R. Putri, P. S. Atmaja, A. L. Dewi, and A. Prasetyo, “Smart Air Monitoring with IoT-based MQ-2, MQ-7, MQ-8, and MQ-135 Sensors using NodeMCU ESP32,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2024, pp. 815–824. doi: 10.1016/j.procs.2024.10.308.
- D. M. Pineda-Tobón, A. Espinosa-Bedoya, and J. W. Branch-Bedoya, “Aquality32: A low-cost, open-source air quality monitoring device leveraging the ESP32 and google platform,” *HardwareX*, vol. 20, p. e00607, 2024, doi: 10.17605/OSF.IO/N9R5B.
- N. Rafilla, A. Rizky, and W. Putri, “Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat LPPM.”
- F. Nurdyanto, I. Hafid, S. S. Nurhayati, S. N. Fadilah, and Y. Saragih, “ESP32 Real-Time Smoke Detection Integrated with WhatsApp in Tamansari, Karawang.”
- A. Sintianingrum, T. P. Zuhelmi, and I. M. Aryanto, “MOISTURE DETECTION FOR GROWING MEDIUM USING ARDUINO UNO,” *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3, Aug. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3.4682.
- S. Jagtap, H. Jadhav, P. Doshi, P. Gatkai, A. Kulkarni, and U. Student, “Fire and Smoke Detector Alarm Using Arduino and MQ2 Sensor.” [Online]. Available: www.ijfmr.com
- Sugiyono. (2017). *Metode Penelitian Bisnis: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, Kombinasi, Dan R&D*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Pendidikan: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, Dan R&D*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2018). *Metode Penelitian Evaluasi: Pendekatan Kuantitatif, Kualitatif, Dan Kombinasi*. Alfabeta.
- Sugiyono. (2021). *Metode Penelitian Kesehatan*. Alfabeta.
- I. G. M. N. Desnanjaya, A. A. G. B. Ariana, I. M. A. Nugraha, I. K. A. G. Wiguna, and I. M. U. Sumaharja, “Room Monitoring Uses ESP-12E Based DHT22 and BH1750 Sensors,” *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 3, no. 2, pp. 205–211, Mar. 2022, doi: 10.18196/jrc.v3i2.11023.