

Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Udara di Lingkungan berbasis *Internet of Things (IoT)*

Development of an Internet of Things (IoT)-based Air Quality Monitoring System in the Environment

¹Lourensius Andrew Sutrisno, ²Budhi Kristianto

^{1,2,3}Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi, Universitas Kristen Satya Wacana

^{1,2,3}Jl. Diponegoro 52-60 Salatiga, Kota Salatiga, Jawa Tengah 50711, Indonesia

*e-mail: budhik@uksw.edu

(received: 10 November 2025, revised: 9 January 2026, accepted: 10 January 2026)

Abstrak

Penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) untuk memantau suhu, kelembaban, dan kadar karbon dioksida (CO₂) secara *real-time*. Metode yang digunakan adalah metode *prototype* yang mencakup identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan dan pembuatan sistem, pengujian, serta analisis hasil. Sistem menggunakan NodeMCU V3 sebagai mikrokontroler, sensor MQ-135 untuk pendeteksian gas, sensor DHT11 untuk pengukuran suhu dan kelembaban, serta OLED LCD sebagai tampilan lokal. Data pengukuran dikirim dan disimpan pada platform *ThingsSpeak*, kemudian diakses melalui aplikasi android. Pengujian dilakukan pada tiga kondisi, yaitu lingkungan normal, ruangan tertutup tanpa ventilasi, dan kondisi polutif dengan paparan asap rokok. Hasil pengujian menunjukkan sistem mampu mendeteksi perubahan kualitas udara secara responsif dengan kadar CO₂ sebesar 76 ppm pada kondisi normal, 183 ppm pada ruangan tertutup, dan 729 ppm pada kondisi polutif. Sistem bekerja stabil dan menampilkan data secara *real-time*, sehingga cocok diterapkan pada skala rumah tangga dan komunitas kecil dengan biaya rendah.

Kata kunci: monitoring kualitas udara, sensor DHT 11, *internet of things*, sensor MQ-135, NodeMCU V3

Abstract

This study developed an Internet of Things (IoT)-based air quality monitoring system to measure temperature, humidity, and carbon dioxide (CO₂) levels in real time. The study employed a prototyping method consisting of problem identification, requirements analysis, system design and development, testing, and result analysis. The system utilizes a NodeMCU V3 as the microcontroller, an MQ-135 sensor for gas detection, a DHT11 sensor for temperature and humidity measurement, and an OLED LCD for local display. Measurement data are transmitted and stored on the ThingSpeak platform and can be accessed through an Android application. Testing was conducted under three conditions: a normal environment, a closed room without ventilation, and a polluted condition with cigarette smoke exposure. The results show that the system is able to responsively detect changes in air quality, with CO₂ levels recorded at 76 ppm under normal conditions, 183 ppm in the closed room, and 729 ppm in the polluted condition. The system operates stably and provides real-time data visualization, making it suitable for low-cost implementation in household environments and small communities.

Keywords: air quality monitoring, DHT11 sensor, *internet of things*, MQ-135 sensor, NodeMCU V3

1 Pendahuluan

Udara bersih merupakan kebutuhan vital bagi setiap makhluk hidup untuk menjaga kesehatan dan kelangsungan hidupnya. Namun, di era modern ini, udara bersih semakin sulit diperoleh, terutama dikawasan industri dan perkotaan besar. Aktivitas industri dan transportasi yang padat menyebabkan peningkatan emisi gas berbahaya dan partikel debu di atmosfer, yang berdampak langsung pada

kesehatan manusia. Jenis gas dan partikel yang umum ditemukan di udara meliputi oksigen (O₂), karbon dioksida (CO₂), ozon (O₃), nitrogen (N₂), serta partikel halus seperti PM₁₀ dan PM_{2.5}. Paparan polusi udara secara berlebihan dapat memicu berbagai penyakit, seperti infeksi saluran pernapasan akut (ISPA), asma, pneumonia, bronchopneumonia, hingga gangguan jantung. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara secara teratur menjadi langkah penting dalam menjaga Kesehatan Masyarakat.

Gas berbahaya seperti metana (CH₄), propana (C₃H₈), karbon monoksida (CO), dan karbon dioksida (CO₂) tidak dapat dideteksi secara langsung oleh manusia, namun dapat membahayakan kesehatan bila kadarnya melebihi ambang batas aman. Dengan demikian, dibutuhkan sistem yang mampu memantau kualitas udara secara *real-time*, baik di dalam maupun di luar ruangan. Salah satu solusi yang efisien adalah penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT) pada sistem pemantauan kualitas udara. Teknologi IoT memungkinkan pengumpulan data secara otomatis, kontinu, dan *real-time* dari berbagai lokasi [1], [2]. Data yang dihasilkan tidak hanya membantu memahami pola penyebab pencemaran udara [3], [4], tetapi juga dapat dibagikan kepada masyarakat melalui platform daring untuk meningkatkan kesadaran publik terhadap kondisi udara di sekitarnya. Peningkatan kesadaran ini penting untuk mendorong partisipasi masyarakat dalam menjaga kebersihan udara dan mengurangi risiko polusi.

Secara umum, *Internet of Things* (IoT) didefinisikan sebagai konsep yang menghubungkan berbagai perangkat fisik agar dapat saling berkomunikasi dan bertukar data melalui jaringan internet [5], [6]. Dengan kemampuan tersebut, IoT berperan penting dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas udara yang efisien, akurat, dan mudah diakses [4], [7]. Berdasarkan kondisi yang terjadi, penelitian ini dikembangkan untuk meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kualitas udara serta membantu pengguna dalam mengetahui kadar polusi yang disebabkan oleh gas dan zat berbahaya [8].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan NodeMCU V3, sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂), serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban udara. Data hasil pengukuran dikirimkan ke platform cloud *ThingSpeak* dan dapat diakses melalui aplikasi android menggunakan Blynk IoT dan *ThingView*. Sistem ini juga dilengkapi dengan tampilan lokal OLED LCD 0.96 inci yang menampilkan hasil pengukuran secara langsung. Metode pengembangan yang digunakan adalah metode *prototype*, yang memungkinkan proses perancangan, implementasi, dan pengujian sistem dilakukan secara bertahap hingga sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Berbeda dari penelitian-penelitian sebelumnya, sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini memiliki implementasi yang lebih sederhana namun tetap efektif, terutama untuk skala rumah tangga dan komunitas kecil. Penelitian oleh Habibi et al. (2025) mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT menggunakan ESP32, sensor MQ135 dan DHT11, aplikasi android, serta optimasi ADC untuk meningkatkan akurasi pengukuran. Sementara itu, penelitian Kurniansyah Pratama dan Eko Budi Setiawan (2017) menambahkan metode peramalan *Exponential Smoothing* untuk memprediksi kualitas udara berdasarkan data historis, yang membutuhkan sumber daya komputasi dan pengelolaan data lebih besar. Penelitian Rumampuk et al. (2022) merancang sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT dengan visualisasi data secara *real-time*.

Dengan pendekatan tersebut, penelitian ini menekankan pada perancangan sistem monitoring kualitas udara yang sederhana, efisien, dan mudah diimplementasikan tanpa memerlukan optimasi sensor lanjutan, integrasi aplikasi mobile yang kompleks, maupun metode peramalan berbasis data historis. Sistem dikembangkan dengan fokus pada pemantauan kualitas udara secara *real-time* dengan kebutuhan sumber daya yang rendah, sehingga lebih ekonomis dan mudah diakses. Pendekatan ini menjadikan sistem sesuai untuk penggunaan skala rumah tangga dan komunitas kecil, serta mampu memberikan informasi kondisi udara secara langsung sebagai dasar pengambilan tindakan preventif oleh pengguna.

2 Tinjauan Literatur

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membuka peluang luas dalam pengembangan sistem pemantauan lingkungan yang efisien dan terintegrasi. IoT memungkinkan

perangkat seperti sensor dan mikrokontroler untuk saling berkomunikasi melalui jaringan internet guna mengumpulkan dan menyalurkan data secara *real-time* [9], [10]. Dalam konteks pemantauan kualitas udara, teknologi ini berperan penting dalam memberikan informasi cepat dan akurat terkait kondisi lingkungan, sehingga dapat membantu masyarakat dan instansi dalam mengantisipasi dampak polusi udara terhadap kesehatan [11].

Berbagai penelitian terdahulu telah mengimplementasikan IoT dalam sistem pemantauan kualitas udara dengan pendekatan yang beragam. Habibi et al. (2025) mengembangkan sistem monitoring kualitas udara dan suhu berbasis IoT dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 serta sensor MQ135 dan DHT11 [12]. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter kualitas udara secara *real-time*, yang kemudian dikirimkan ke *backend* melalui RESTful API dan ditampilkan pada aplikasi android. Selain itu, penelitian tersebut menerapkan optimasi *Analog-to-Digital Converter* (ADC) pada sensor MQ135 untuk meningkatkan stabilitas dan akurasi pembacaan data, serta menyediakan klasifikasi kualitas udara dan notifikasi ketika parameter melebihi ambang batas yang ditentukan [12].

Sementara itu, Kurniansyah Pratama dan Eko Budi Setiawan (2017) mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara yang lebih kompleks dengan menambahkan metode *Exponential Smoothing* untuk melakukan peramalan kondisi udara [13]. Sistem tersebut menggunakan NodeMCU, sensor MQ-135, dan DHT22, dengan hasil pengukuran dikirim melalui API ke server pusat. Aplikasi android dikembangkan menggunakan *framework* Ionic agar dapat berjalan di berbagai perangkat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode prediksi ini memberikan nilai tambah dalamantisipasi dini terhadap pencemaran udara. Namun, kompleksitas sistem dan kebutuhan komputasi yang tinggi menjadi tantangan tersendiri dalam penerapan di lingkungan berskala kecil [13].

Penelitian yang dilakukan oleh Rumampuk et al. (2022) berfokus pada perancangan sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan berbasis *Internet of Things* [14]. Sistem yang dikembangkan menggunakan serangkaian sensor lingkungan, seperti sensor MQ-135 untuk mendeteksi kualitas udara umum, sensor MG811 untuk pengukuran CO₂, sensor *dust* (partikel) untuk memantau partikel halus, serta sensor gas lain seperti MQ2, MQ9, dan MQ8 untuk mendeteksi berbagai jenis polutan udara. Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini dikumpulkan dan diproses oleh mikrokontroler (Arduino Mega), kemudian dikirimkan melalui modul Wi-Fi ke platform IoT *OVORD (Online Value of Real Time Data)* untuk ditampilkan secara *real-time* melalui antarmuka web yang mudah dibaca. Pendekatan ini memungkinkan pemantauan kualitas udara secara langsung dan terus menerus, sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan ruangan secara efektif dan *real-time* menggunakan sistem berbasis IoT [14].

Selain itu, penelitian lain [1] mengembangkan sistem pemantauan lingkungan berbasis IoT dengan analisis data suhu, kelembaban, dan kualitas udara. Sistem ini memanfaatkan sensor DHT11 dan sensor gas untuk mengukur parameter lingkungan secara *real-time*, serta mengirimkan data ke cloud untuk pemantauan jarak jauh. Hasil pengukuran ditampilkan melalui antarmuka web, memungkinkan analisis tren data dan pemberian notifikasi secara otomatis. Penelitian ini efektif untuk pemantauan indoor maupun skala komunitas, dengan kemampuan adaptasi yang lebih baik dibandingkan sistem lokal sederhana. Di sisi lain, penelitian [15] menerapkan sistem pemantauan suhu dan kelembaban berbasis energi terbarukan menggunakan tenaga surya. Meskipun sistem ini ramah lingkungan, tidak adanya deteksi gas berbahaya membuatnya kurang relevan untuk pengawasan polusi udara.

Penelitian lain [16] berfokus pada sistem monitoring udara berbiaya rendah menggunakan sensor MQ-135 dan NodeMCU. Data ditampilkan secara lokal tanpa penyimpanan *cloud* maupun aplikasi mobile. Kelebihannya terletak pada efisiensi biaya dan kemudahan perakitan, namun sistem ini terbatas dalam fitur analisis data dan aksesibilitas jarak jauh. Penelitian pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menggunakan sensor gas dan partikulat yang terhubung ke mikrokontroler ESP32 [17]. Data yang diperoleh diproses dan ditampilkan pada *dashboard* web secara *real-time*, lengkap dengan notifikasi otomatis. Sistem ini terbukti andal untuk memantau kondisi udara di lingkungan kampus dan komunitas sekitar, meski biaya dan kompleksitas implementasi tetap menjadi pertimbangan untuk skala lebih besar [17].

Berdasarkan berbagai penelitian yang telah dilakukan, pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) dalam sistem pemantauan kualitas udara menunjukkan perkembangan yang signifikan. Namun demikian, hasil tinjauan literatur menunjukkan bahwa belum banyak penelitian yang mengintegrasikan pengukuran suhu, kelembaban, serta kadar gas atau partikulat berbahaya dalam satu

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

sistem terpadu yang sederhana dan efisien. Sebagian besar penelitian masih berfokus pada pemantauan parameter tertentu saja atau dikembangkan untuk skala dan kebutuhan spesifik. Selain itu, pemanfaatan *cloud storage* dan *dashboard* web atau aplikasi mobile untuk pemantauan jarak jauh pada sistem berskala kecil masih relatif terbatas, meskipun beberapa penelitian telah mulai mengarah ke konsep tersebut.

Di sisi lain, penerapan fitur notifikasi otomatis sebagai sistem peringatan dini terhadap kondisi kualitas udara yang tidak sehat masih jarang diterapkan, meskipun telah ada beberapa penelitian yang mengusulkan konsep serupa. Oleh karena itu, penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menggunakan mikrokontroler NodeMCU V3 yang terintegrasi dengan sensor gas dan partikulat. Data hasil pengukuran diproses dan ditampilkan secara *real-time* melalui *dashboard* web serta dilengkapi dengan notifikasi otomatis. Sistem ini dirancang agar sederhana, efisien, dan mudah diimplementasikan di lingkungan kampus maupun komunitas kecil, sehingga mampu memberikan informasi kualitas udara secara cepat, akurat, dan mudah diakses.

Selain itu, sistem-sistem yang dibandingkan dalam literatur dapat dirangkum pada **Tabel 1** berikut untuk menunjukkan perbedaan pendekatan dan teknologi yang digunakan.

Tabel 1 Perbandingan penelitian terdahulu tentang sistem monitoring udara berbasis IoT

Peneliti & Tahun	Fitur Utama	Kelemahan Utama
Habibi & Zaky (2025)	Monitoring udara <i>real-time</i> dengan ESP32, MQ135, DHT11 + Android	<i>Backend</i> memerlukan optimasi perangkat lunak
Pratama & Setiawan (2017)	Prediksi kualitas udara dengan <i>Exponential Smoothing</i>	Membutuhkan server dan API khusus
Rumampuk et al. (2022)	Multi-sensor IoT with <i>real-time display</i>	Kompleksitas sensor banyak
Fikri et al. (2025)	IoT + Fuzzy logic untuk indeks kualitas udara & notifikasi	Memerlukan server dan logika tambahan
Alfirdaus & Martiano (2024)	Penyimpanan data IoT ke Google Sheets + <i>real-time</i>	Fokus pengujian di industri

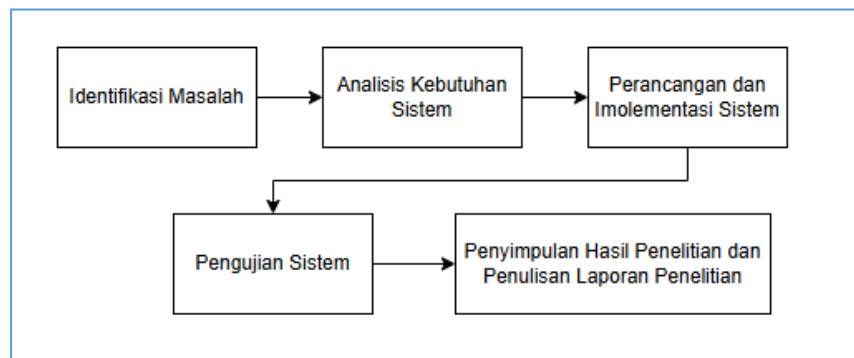
Berdasarkan tabel perbandingan penelitian terdahulu, dapat dilihat bahwa setiap penelitian memiliki fokus dan kelebihan masing-masing, namun juga memiliki beberapa keterbatasan. Misalnya, Habibi et al. (2025) menekankan monitoring udara *real-time* dengan ESP32, MQ135, dan DHT11 yang terintegrasi dengan Android, tetapi *backend* sistem masih memerlukan optimasi perangkat lunak. Pratama et al. (2017) melakukan prediksi kualitas udara menggunakan *Exponential Smoothing*, namun sistemnya membutuhkan server dan API khusus. Rumampuk et al. (2022) menggunakan multi-sensor IoT dengan tampilan *real-time*, yang menimbulkan kompleksitas akibat banyaknya sensor. Fikri et al. (2025) memadukan IoT dengan logika Fuzzy untuk indeks kualitas udara dan notifikasi, tetapi memerlukan server tambahan dan logika pemrosesan yang lebih kompleks. Sementara itu, Alfirdaus et al. (2024) memfokuskan pada penyimpanan data IoT ke Google Sheets secara *real-time*, namun pengujiannya lebih banyak diterapkan pada skala industri.

Dari tinjauan tersebut, penelitian ini memiliki *novelty* dalam penyederhanaan sistem pemantauan kualitas udara dengan mengintegrasikan sensor MQ-135 dan DHT11 ke dalam cloud *ThingSpeak* serta aplikasi Android secara *real-time*. Sistem ini dirancang untuk skala kecil, mudah diimplementasikan, dan dapat membantu meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap kondisi kualitas udara di lingkungan sekitar mereka.

3 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengembangan *prototype* untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT). Metode ini di pilih karena memungkinkan pengembangan sistem secara bertahap dengan melibatkan proses iteratif antara perancangan, evaluasi, dan penyempurnaan hingga diperoleh sistem yang sesuai kebutuhan pengguna. Tahapan dalam metode *prototype* meliputi identifikasi masalah, analisis kebutuhan, perancangan sistem, pembangunan *prototype*, pengujian, dan evaluasi hasil. Proses

penelitian ini digambarkan pada **Gambar 1**, yang menunjukkan tahapan pengembangan sistem secara keseluruhan.

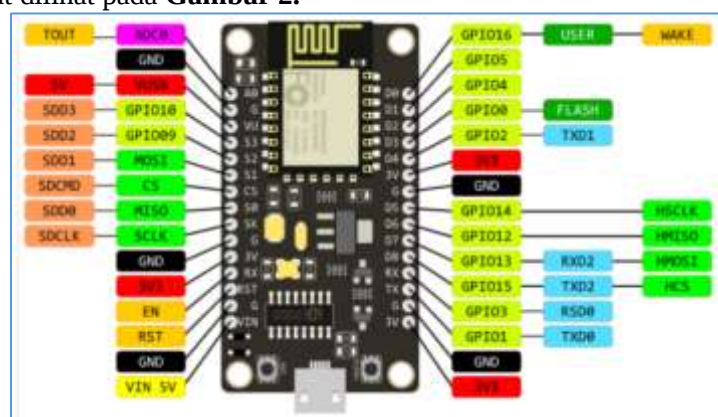


Gambar 1 Tahapan pelaksanaan penelitian

Tahap pertama adalah identifikasi masalah, yaitu menganalisis isu-isu terkait pencemaran udara serta studi literatur terhadap penelitian sebelumnya mengenai sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT. Kajian literatur ini menjadi dasar dalam menentukan pendekatan dan komponen yang digunakan, termasuk pemilihan mikrokontroler NodeMCU V3 sebagai pengendali utama.

Tahap kedua adalah analisis kebutuhan, yang mencakup identifikasi perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) yang diperlukan untuk membangun sistem. Perangkat keras yang digunakan terdiri dari NodeMCU V3, sensor MQ-135, sensor DHT11, modul OLED Display 0.96 inci, laptop atau komputer, serta *smartphone* android. NodeMCU V3 berfungsi sebagai *development board* yang mengintegrasikan mikrokontroler dengan modul WiFi ESP8266 untuk komunikasi data nirkabel. Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂)n amonia (NH₃), dan senyawa lainnya yang mempengaruhi kualitas udara, sedangkan sensor DHT11 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban. OLED Display berfungsi menampilkan hasil pengukuran secara langsung, sedangkan *smartphone* android digunakan untuk mengakses data hasil pemantauan melalui aplikasi IoT.

NodeMCU V3 memiliki spesifikasi sebagai berikut: **Mikrokontroler:** Tensilica 32 bit; **Memori Flash:** 4 KB; **Tegangan Operasi:** 3,3 V; **Tegangan Input:** 7-12 V; **Jumlah Digital I/O:** 16; **Analog Input:** 1 (10 bit); serta dukungan antarmuka komunikasi UART, SPI, dan I2C. struktur pin NodeMCU V3 dapat dilihat pada **Gambar 2**.



Gambar 2 Pin NodeMCU V3

Sensor MQ-135 memiliki empat pin utama, yaitu VCC (5V), GND (*ground*), DO (*digital output*), dan AO (*analog output*). Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan resistensi terhadap berbagai gas di udara. Nilai resistensi tersebut dikonversi menjadi satuan *part per million* (PPM) untuk menentukan kadar gas tertentu. Adapun sensor DHT11 memiliki tiga pin utama yaitu VCC (5V), GND, dan DOUT (*data output serial*). Sensor ini mampu mengukur suhu hingga 50 C dengan tingkat akurasi ± 2 , OLED Display 0.96 inci digunakan untuk menampilkan data hasil pembacaan sensor dengan komunikasi I2C, yang memanfaatkan dua pin utama yaitu SDA dan SCL.

Tahap ketiga adalah perancangan dan implementasi sistem, Tahap ini meliputi perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak, pembuatan skema koneksi antara NodeMCU V3,

<http://sistemasi.ftik.unisi.ac.id>

sensor MQ-135, sensor DHT11, serta modul OLED. Selain itu, dikembangkan program pada mikrokontroler untuk membaca data sensor, menampilkan data secara lokal, dan mengirimkan data ke platform cloud *ThingSpeak*. Hasil dari tahap ini ditampilkan pada bagian Hasil dan Pembahasan berupa diagram koneksi sistem, diagram alir program, serta tampilan sistem monitoring.

Tahap keempat adalah pengujian sistem, yang bertujuan memastikan seluruh komponen berfungsi sesuai rancangan. Pengujian dilakukan dengan cara mengamati respons sensor terhadap variasi lingkungan serta mengevaluasi kestabilan koneksi WiFi dan keakuratan data yang dikirim ke *cloud*. Jika ditemukan kesalahan atau ketidaksesuaian, maka dilakukan perbaikan dan pengujian ulang hingga sistem berfungsi optimal.

Tahap terakhir adalah analisis hasil dan penyusunan laporan. Data hasil pengujian dianalisis untuk menilai tingkat keakuratan sensor dan keandalan sistem dalam memantau kondisi udara. Analisis ini digunakan sebagai dasar untuk menarik kesimpulan mengenai efektivitas sistem dalam memberikan informasi kualitas udara secara *real-time*. Hasil penelitian kemudian didokumentasikan dalam bentuk laporan ilmiah sesuai dengan format jurnal yang berlaku.

Dengan demikian, metode penelitian ini menghasilkan rancangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang terdiri dari NodeMCU V3 sebagai pusat kendali, sensor MQ-135 dan DHT11 sebagai pengukur kualitas udara, serta aplikasi android yang menampilkan data dari *cloud ThingSpeak*. Pendekatan *prototype* yang digunakan memungkinkan penyempurnaan sistem secara berkelanjutan hingga mencapai performa yang optimal.

4 Hasil dan Pembahasan

Bagian hasil dan pembahasan menyajikan keluaran dari setiap tahapan penelitian yang telah dijelaskan pada metode penelitian. Berdasarkan tahap identifikasi masalah, diketahui bahwa pemantauan kualitas udara di lingkungan dan komunitas kecil masih terbatas dan belum mendukung pemantauan secara *real-time*. Selanjutnya, hasil analisis kebutuhan menunjukkan perlunya sistem yang mampu mengukur suhu, kelembaban, dan kadar gas berbahaya, serta menyediakan akses data melalui cloud dan aplikasi Android. Tahap perancangan dan implementasi sistem menghasilkan realisasi perangkat keras dan perangkat lunak, sedangkan tahap pengujian dan analisis hasil membahas kinerja sistem berdasarkan data pengukuran yang diperoleh.

Penelitian ini menghasilkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan NodeMCU V3 sebagai mikrokontroler utama, sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas, dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu serta kelembaban. Sistem ini dirancang untuk mengirimkan data hasil pengukuran secara *real-time* ke platform cloud *ThingSpeak* dan menampilkannya melalui aplikasi android seperti *Blynk IoT* dan *ThingView*.

Sistem bekerja dengan cara membaca data dari sensor DHT11 dan MQ-135 yang terhubung ke NodeMCU V3, kemudian menampilkan hasil pengukuran secara langsung melalui layar OLED serta mengirimkannya ke server *cloud* melalui koneksi WiFi. NodeMCU V3 dipilih karena memiliki modul WiFi bawaan berbasis ESP8266 yang memungkinkan transmisi data nirkabel. Sensor DHT11 menggunakan pin digital untuk mengirimkan data suhu dan kelembaban, sedangkan sensor MQ-135 menggunakan pin analog untuk mendeteksi kadar gas. Sebagai hasil dari tahap perancangan dan implementasi sistem, skema koneksi antara NodeMCU V3, sensor MQ-135, sensor DHT11, dan modul OLED ditunjukkan pada **Gambar 3**, **Gambar 4**, dan **Gambar 5**, yang masing-masing menggambarkan hubungan antara NodeMCU dengan modul OLED, sensor MQ-135, dan sensor DHT11.

Board NodeMCU	OLED LCD
D1 (SCL)	SCL
D2 (SDA)	SDA
3 V	VCC
GND	GND

Gambar 3 Koneksi board nodeMCU V3 dengan modul OLED LCD

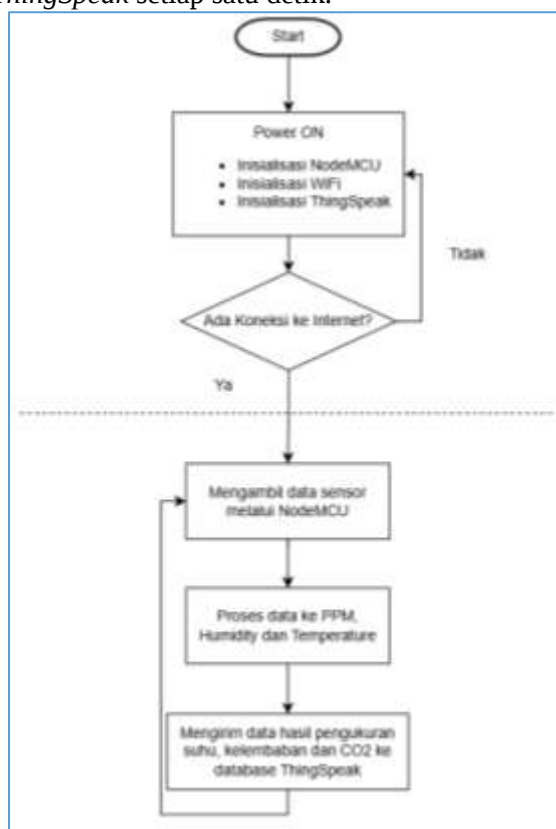
Board NodeMCU	MQ-135
A0	A0
-	D0
5V	VCC
GND	GND

Gambar 4 Koneksi board nodeMCU V3 dengan modul sensor MQ – 135

Board NodeMCU	DHT11
D4	OUT
5V	+
GND	-

Gambar 5 Koneksi board NodeMCU V3 dengan sensor DHT11

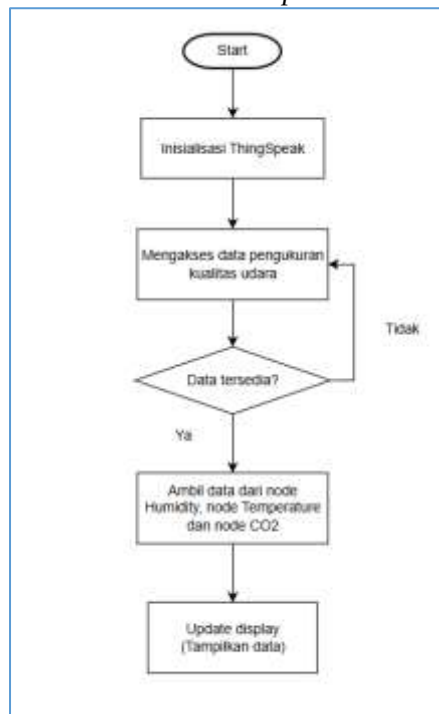
Alur kerja sistem dijelaskan pada **Gambar 6**, yang memperlihatkan diagram alir (*flowchart*) program NodeMCU. Ketika sistem diaktifkan, NodeMCU terlebih dahulu melakukan inisialisasi perangkat keras dan koneksi internet. Selanjutnya, data suhu, kelembaban, dan kadar gas dibaca dari masing-masing sensor dan ditampilkan pada OLED LCD. Data tersebut kemudian dikonversi menjadi satuan derajat Celcius (C), persen kelembaban (%RH), dan *part per million* (ppm) untuk kadar gas CO₂, sebelum dikirim ke *ThingSpeak* setiap satu detik.



Gambar 6 Diagram alir program pada NodeMCU V3 board

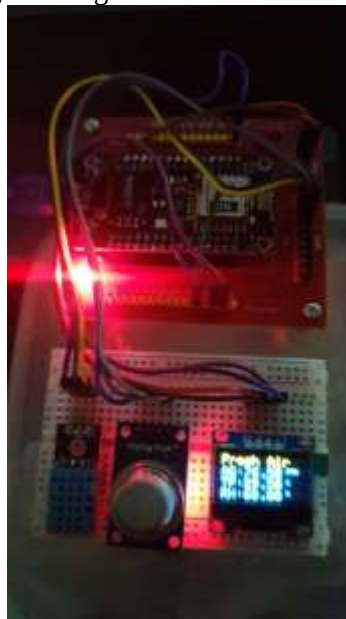
Selain itu, **Gambar 7** menunjukkan diagram alir aplikasi android yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran dari *cloud ThingSpeak*. Aplikasi ini memperbarui data secara otomatis

melalui sinkronisasi langsung dengan basis data *ThingSpeak* yang menggunakan format *NoSQL* berbasis *influxDB* dengan label *temperature*, *humidity*, dan *PPM*. Dengan demikian, pengguna dapat memantau kondisi udara secara *real-time* melalui *smartphone*.



Gambar 7 Diagram alir aplikasi monitoring kualitas udara perangkat android

Tahap pengujian yang ditunjukkan pada **Gambar 8** dilakukan untuk memastikan semua komponen berfungsi sesuai rancangan. Pengujian awal difokuskan pada validasi konektivitas perangkat dan akurasi sensor. NodeMCU V3 diuji untuk memastikan koneksi WiFi berfungsi dan mampu mengirimkan data ke *ThingSpeak*. Sensor MQ-135 dan DHT11 diuji dengan berbagai kondisi udara di dalam ruangan untuk mengukur tingkat sensitivitas dan kestabilan pembacaan.



Gambar 8 Pengujian sensor MQ – 135 dan DHT11 di dalam ruangan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menampilkan data secara *real-time* pada OLED LCD dan memperbarui nilai pengukuran di *ThingSpeak* tanpa jeda yang signifikan. Pengujian dilakukan pada tiga kondisi lingkungan berbeda, yaitu:

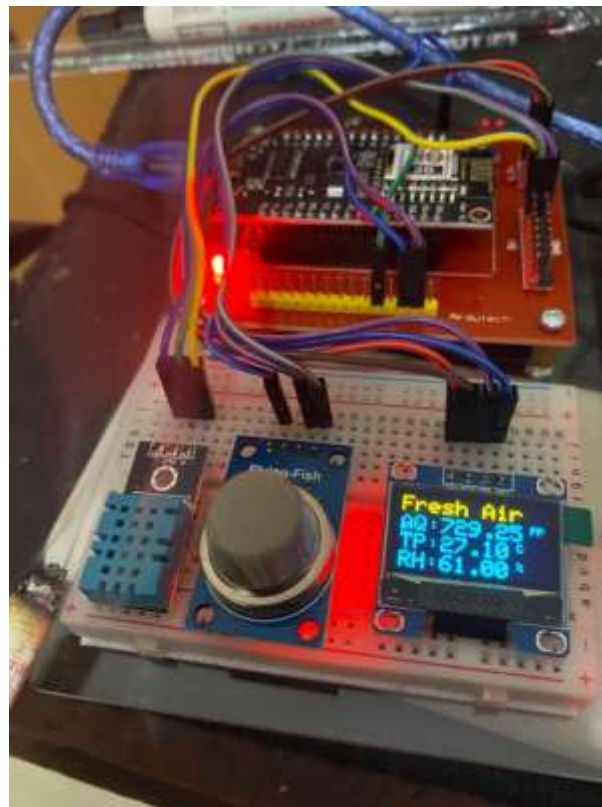
1. **Kondisi normal (sirkulasi udara baik)** menghasilkan suhu 29C, kelembaban 67%, dan kadar CO2 sebesar 76 ppm. Kualitas udara dikategorikan *Fresh*, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 9**.
2. **Kondisi tidak normal (ruangan tertutup tanpa sirkulasi selama 1 jam)** menunjukkan suhu 27C, kelembaban 61%, dan kadar CO2 sebesar 183 ppm, dengan kategori *Sedang*, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 10**.
3. **Kondisi polutif (ruangan tertutup dengan paparan asap rokok ± 5 menit)** memperlihatkan peningkatan kadar CO2 menjadi 729 ppm, suhu 27C, dan kelembaban 61%, yang termasuk kategori *Tidak Sehat*, sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 11**.



Gambar 9 Hasil pengukuran dalam ruangan dengan sirkulasi yang baik



Gambar 10 Hasil pengukuran dalam ruangan dengan sirkulasi tertutup selama 1 jam



Gambar 11 Hasil pengukuran dalam ruangan dengan paparan asap rokok

Pada tahap pengujian sistem, pengambilan data dilakukan pada tiga kondisi lingkungan yang berbeda, yaitu kondisi normal, ruangan tertutup, dan kondisi polutif. Tabel hasil pengujian disajikan pada **Tabel 2**, yang memperlihatkan perbandingan nilai suhu, kelembaban, dan kadar CO₂ pada ketiga kondisi pengujian.

Tabel 2 Hasil pengujian sistem

Suhu (C)	Kelembaban (%)	Kadar CO ₂ (PPM)	Level Kualitas Udara
29	67	76	Normal (<i>Fresh</i>)
27	61	183	Tidak Normal (<i>Sedang</i>)
27	61	729	Polutif (<i>Tidak Sehat</i>)

Tahap analisis hasil dilakukan dengan membandingkan nilai pengukuran sensor pada setiap kondisi lingkungan untuk mengevaluasi respons dan kestabilan sistem. Dari hasil pengujian tersebut, sistem menunjukkan sensitivitas tinggi terhadap perubahan kualitas udara di dalam ruangan. Sensor MQ-135 mampu mendeteksi perubahan konsentrasi gas dalam hitungan detik, sementara sensor DHT11 memberikan hasil pengukuran suhu dan kelembaban yang stabil. Penggunaan *ThingSpeak* sebagai *cloud database* terbukti efektif dalam menyimpan dan menampilkan data secara *real-time*, dengan antarmuka visual yang mudah dipahami pengguna.

Jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya [7][8][9][11], sistem yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki keunggulan dari sisi integrasi penuh antara sensor, *cloud platform*, dan aplikasi android. Beberapa penelitian terdahulu hanya menampilkan data secara lokal atau tidak memiliki fitur pemantauan jarak jauh secara langsung. Selain itu, sistem ini memiliki tingkat efisiensi tinggi karena menggunakan NodeMCU V3 yang hemat daya dan terjangkau.

Dengan demikian, hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang dikembangkan tidak hanya mampu memberikan informasi kondisi udara secara akurat, tetapi juga menghadirkan solusi yang praktis, ekonomis, dan mudah diakses oleh masyarakat umum. Sistem ini dapat diterapkan untuk kebutuhan rumah tangga, ruang publik, maupun fasilitas pendidikan yang membutuhkan pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan.

5 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan NodeMCU V3, sensor MQ-135, dan sensor DHT11. Sistem ini mampu memantau suhu, kelembaban, dan kadar gas CO₂ secara *real-time*, serta menampilkan data melalui OLED LCD dan aplikasi android yang terhubung ke platform *ThingSpeak*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat memberikan informasi yang akurat dan responsif terhadap perubahan kondisi udara di lingkungan sekitarnya. Sistem ini juga memberikan kemudahan bagi pengguna untuk memantau kualitas udara dari jarak jauh melalui jaringan WiFi, sehingga meningkatkan kesadaran terhadap pentingnya menjaga kesehatan lingkungan. Selain itu, rancangan sistem bersifat sederhana dan fleksibel, memungkinkan pengembangan lebih lanjut seperti penambahan sensor, integrasi dengan sistem notifikasi otomatis, atau penerapan algoritma prediksi kualitas udara di masa depan. Dengan demikian, penelitian ini memberikan kontribusi nyata terhadap pengembangan sistem monitoring lingkungan yang efektif, terjangkau, dan mudah diimplementasikan dalam skala rumah tangga maupun komunitas kecil. Meskipun sistem yang dikembangkan telah mampu memantau kualitas udara secara *real-time* dengan kinerja yang stabil, penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan. Sistem hanya menggunakan sensor MQ-135 dan DHT11 sehingga parameter kualitas udara yang diukur masih terbatas pada suhu, kelembaban, dan estimasi kadar gas CO₂, tanpa pengukuran partikulat halus seperti PM_{2.5} dan PM₁₀. Selain itu, pengujian sistem dilakukan dalam skala lingkungan terbatas dan belum mencakup pemantauan jangka panjang atau variasi kondisi lingkungan yang lebih kompleks. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem ini dengan menambahkan sensor partikulat, meningkatkan akurasi melalui kalibrasi sensor, serta mengintegrasikan fitur notifikasi otomatis dan analisis data historis atau prediksi kualitas udara. Pengembangan ke arah dashboard web yang lebih interaktif dan implementasi pada skala lingkungan yang lebih luas juga menjadi peluang penelitian di masa depan.

Referensi

- [1] J. Waworundeng, "IoT-based Environmental Monitoring with Data Analysis of Temperature, Humidity, and Air Quality," *COGITO Smart Journal*, Vol. 10, No. 1, 2024.
- [2] A. Garcia, Y. Saez, I. Harris, X. Huang, and E. Collado, "Advancements in Air Quality Monitoring: A Systematic Review of IoT-based Air Quality Monitoring and AI Technologies," *Artif Intell Rev*, Vol. 58, No. 9, Sep. 2025, DOI: 10.1007/s10462-025-11277-9.
- [3] M. Hasanuddin and H. Herdianto, "Sistem Monitoring dan Deteksi Dini Pencemaran Udara berbasis *Internet of Things* (IOT)," *Journal of Computer System and Informatics (JoSYC)*, Vol. 4, No. 4, pp. 976–984, Aug. 2023, DOI: 10.47065/josyc.v4i4.4034.
- [4] J. Sistem Informasi dan Teknologi Jaringan and M. Habib Alfirdaus, "Perancangan dan Implementasi Sistem Monitoring Kualitas Udara berbasis IoT Informasi Artikel Abstrak," 2024, [Online]. Available: <https://bit.ly/SISFOTEKJAR>
- [5] A. Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, and M. Zorzi, "Internet of Things for Smart Cities," *IEEE Internet Things J*, Vol. 1, No. 1, pp. 22–32, Feb. 2014, DOI: 10.1109/JIOT.2014.2306328.
- [6] M. G. Arkhan and Z. R. S. Elsi, "Air Quality Monitoring System based Internet of Things," *Brilliance: Research of Artificial Intelligence*, Vol. 4, No. 2, pp. 669–673, Nov. 2024, DOI: 10.47709/brilliance.v4i2.4924.
- [7] N. S. Razak and M. J. Homam, "Evolution in Electrical and Electronic Engineering Air Quality Monitoring System using IoT," Vol. 5, No. 2, pp. 126–131, 2024, DOI: 10.30880/eeee.2024.05.02.015.
- [8] M. R. Rahmadani, D. N. Purnamasari, A. K. Saputro, H. Sukri, and D. Rahmawati, "IoT-based Air Quality Monitoring System using Rule-based Method in Pertamina Green Village," 2024. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.xxxxx/jistel.vXiX>
- [9] S. Swaminathan, N. Poongavanam, M. Arun, S. Pushparani, A. Muthukrishnan, and P. Johri, "Real-Time Monitoring and Control Systems using IoT-Integrated Wireless Sensor Networks - Leveraging Machine Learning Algorithms for Enhanced Performance and Efficiency," in 2024

- International Conference on Cybernation and Computation (CYBERCOM)*, IEEE, Nov. 2024, pp. 654–659. DOI: 10.1109/CYBERCOM63683.2024.10803214.
- [10] A. Boukhalifa, M. Benslimane, and L. Ghemri, “Development of a Real-Time Air Quality Monitoring System using IoT and Data Analytics,” *Int J SCI Math Educ*, Vol. 1, No. 2, pp. 08–15, Jun. 2024, DOI: 10.62951/ijsme.v1i2.55.
- [11] S. B. Mustamin et al., “The Application of Machine Learning and Intelligent Sensors for Real-Time Air Quality Monitoring: A Literature Review,” *Journal of Scientific Insights*, Vol. 1, No. 3, pp. 119–130, Oct. 2024, DOI: 10.69930/jsi.v1i3.183.
- [12] F. A. Habibi and U. Zaky, “Sistem Monitoring Tingkat Kualitas Udara dan Optimasi Sensor menggunakan *Internet of Things* berbasis *Android*,” *Jurnal Informatika Teknologi dan Sains*, Vol. 7, No. 2, pp. 650–658, 2025, [Online]. Available: <https://commons.wikimedia.org/>
- [13] K. Pratama and E. B. Setiawan, “Implementasi Monitoring Kualitas Udara menggunakan Peramalan *Exponential Smoothing* dan *NodeMCU* berbasis *Mobile Android*,” *ULTIMA Computing*, Vol. IX, No. 2, p. 58, 2017.
- [14] P. C. V. R. M. A. Rumampuk C Grace, “Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan berbasis IoT,” *Jurnal Teknik Informatika*, Vol. 17, No. 1, pp. 11–18, Jan. 2022.
- [15] A. G. P. M. dan M. F. L. R. Martin, “‘Design of a Renewable Energy-based Monitoring System for Indoor Environment,’,” *Renew. Energy Power Qual.*, Vol. 17, pp. 572–577, 2019.
- [16] R. Purbakawaca and S. A. Fauzan, “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara dalam Ruangan Berbiaya Rendah berbasis IoT,” *Jurnal Talenta Sipil*, Vol. 5, No. 1, p. 118, Feb. 2022, DOI: 10.33087/talentasipil.v5i1.104.
- [17] A. Fikri and M. Ridwan, “Implementation of *Internet Of Things (IoT)* in Air Quality Monitoring (AQI),” *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Ilmu Komputer*, Vol. 5, No. 2, pp. 424–443, DOI: 10.55606/juisik.v5i2.1326.