



Perancangan dan Implementasi Sistem Pemantauan Kualitas Udara berbasis IoT menggunakan Wemos D1 Mini dan Android

Alvian Dafa Prakoso¹, Theophilus Wellem^{2,*}

Fakultas Teknologi Informatika, Program Studi Teknik Informatika, Universitas Kristen Satya Wacana, Salatiga, Indonesia

Email: ¹672018258@student.uksw.edu, ^{2,*}theophilus.wellem@uksw.edu

Email Penulis Korespondensi: theophilus.wellem@uksw.edu

Submitted: 07/11/2022; Accepted: 12/12/2022; Published: 30/12/2022

Abstrak—Sistem pemantauan dan kontrol berbasis Internet-of-Things (IoT) telah banyak digunakan dalam kehidupan sehari-hari, misalnya pada aplikasi smart city, smart home (atau home automation), dan smart transportation. Salah satu contoh penerapan IoT pada smart city dan juga smart home adalah sistem pemantauan kualitas udara. Pemantauan kualitas udara, baik di dalam ruangan maupun di luar ruangan, merupakan hal yang penting bagi kesehatan karena pencemaran udara yang berasal dari gas seperti karbonmonoksida (CO) atau karbondioksida (CO₂) dapat menyebabkan penyakit atau infeksi pada saluran pernapasan. Oleh karena itu diperlukan sistem untuk memantau kualitas udara dan memberikan informasi mengenai kualitas udara kepada pengguna. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT. Perangkat keras pada sistem ini menggunakan board Wemos D1 Mini, sensor gas MQ-9 untuk mengukur kadar gas CO dan sensor gas MQ-135 untuk mengukur kadar gas CO₂. Suatu aplikasi berbasis Android juga diimplementasikan untuk mengakses dan menampilkan hasil pengukuran kualitas udara oleh sistem yang disimpan pada cloud database (Firebase). Pengujian sistem dilakukan menggunakan asap yang berasal dari pembakaran kertas dengan jarak dari sensor yang bervariasi. Hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa sistem yang diimplementasikan dapat mengukur kadar gas CO dalam ruangan dengan jangkauan antara 7 ppm hingga 38 ppm. Untuk kadar gas CO₂ dalam ruangan diperoleh hasil pengukuran antara 200 ppm hingga 1000 ppm.

Kata Kunci: Sistem Pemantauan; Kualitas Udara; Wemos D1 Mini; IoT; Android

Abstract—Internet-of-Things (IoT)-based monitoring and control systems have been widely used in daily life, for example, in smart cities, smart homes (or home automation), and intelligent transportation applications. One example of the application of IoT in smart cities and smart homes is the air quality monitoring system. Monitoring air quality, both indoors and outdoors, is essential for health because air pollution from gases such as carbon monoxide (CO) or carbon dioxide (CO₂) can cause disease or infection in the respiratory tract. Therefore, a system is needed to monitor air quality and provide information about air quality to users. This study aims to design and implement an IoT-based air quality monitoring system. The hardware in this system uses the Wemos D1 Mini board, the MQ-9 gas sensor to measure carbon monoxide (CO) gas levels, and the MQ-135 gas sensor to measure carbon dioxide (CO₂) gas levels. An Android-based application is also implemented to access and display the results of air quality measurements by the system stored in the cloud database (Firebase). System testing is carried out using smoke from burning paper at varying distances from the sensors. The system test results show that the implemented system can measure CO gas levels in the room from 7 ppm to 38 ppm. The measurement results for CO₂ gas levels in the room are between 200 ppm to 1000 ppm.

Keywords: Monitoring System; Air Quality; Wemos D1 Mini; IoT; Android

1. PENDAHULUAN

Udara merupakan komponen penting yang menjadi kebutuhan utama bagi makhluk hidup untuk mempertahankan kehidupannya. Oleh karena itu, udara harus dijaga kualitasnya agar tidak tercemar dengan material atau gas yang berbahaya bagi kesehatan [1]. Sumber pencemaran udara dapat berasal dari berbagai kegiatan industri (pabrik), transportasi, perkantoran, dan perumahan. Aktivitas-aktivitas tersebut memberikan kontribusi besar pada pencemaran udara terutama di kota besar. Selain itu, kebakaran hutan dan gunung meletus dapat menjadi sumber pencemaran udara. Meskipun manusia memiliki indera dan pengetahuan untuk dapat memperkirakan pencemaran udara di sekitarnya, namun pengukuran level pencemaran udara tanpa alat bantu akan sulit untuk dilakukan. Pendekripsi gas atau polutan lainnya di udara tidak mudah untuk dideteksi tanpa menggunakan alat untuk mendekripsi gas atau polutan tersebut [2]. Dengan perkembangan teknologi informasi dan komunikasi saat ini, terutama teknologi *Internet-of-Things* (IoT), masalah pemantauan kualitas udara secara berkelanjutan dan *real-time* dapat dilakukan menggunakan perangkat keras (mikrokontroler dan berbagai macam sensor) dan perangkat lunak pendukungnya. Sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT telah dikembangkan pada berbagai penelitian akademik [3]–[6]. Sistem pemantauan kualitas udara di jalan raya berbasis IoT diimplementasikan pada penelitian [3]. Sistem ini hanya menggunakan satu sensor yaitu MQ-135 untuk mengukur kadar gas karbondioksida (CO₂). Board Wemos D1 R1 dan aplikasi Blynk digunakan sebagai platform IoT untuk pengembangan sistem tersebut. Penelitian [4] merancang sistem untuk memantau polusi udara. Sensor yang digunakan pada penelitian tersebut hanya satu sensor yaitu TGS-2242 untuk mendekripsi gas karbonmonoksida (CO). Sistem tersebut kemudian akan menampilkan informasi mengenai kadar gas CO kepada pengguna melalui LCD. Pada penelitian [5] dikembangkan alat monitoring gas CO₂ berbasis IoT menggunakan NodeMCU ESP8266 dan sensor MQ-135. Hasil pengukuran kadar gas CO₂ dapat diakses melalui aplikasi pada *smartphone* Android. Selanjutnya, sistem kontrol dan monitoring kualitas udara berbasis *fuzzy logic* dan *board* Wemos dikembangkan pada penelitian [6]. Sensor yang digunakan pada penelitian tersebut adalah sensor MQ-7 dan sensor MQ-135. Hasil pengukuran kualitas udara oleh sensor yang diproses pada *board* Wemos dikirimkan melalui koneksi WiFi dan ditampilkan pada suatu aplikasi berbasis web.



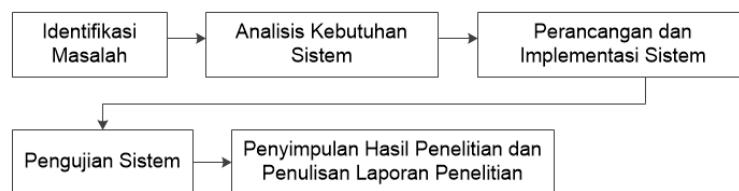
Pemantauan kualitas udara secara berkala merupakan hal yang penting untuk kesehatan masyarakat. Informasi mengenai tingkat pencemaran udara menjadi dasar untuk melakukan tindakan pencegahan polusi udara secara berlebihan. Gas seperti CO dan CO₂, metana (CH₄), propana (C₃H₈), maupun partikel-partikel debu (*respirable and inhalable dust*) dapat membahayakan kesehatan makhluk hidup dan tidak dapat dideteksi dengan mudah. Oleh karena pentingnya pemantauan terhadap kualitas udara baik di dalam atau di luar ruangan, maka dibutuhkan suatu sistem yang dapat melakukan pemantauan terhadap kualitas udara. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT. Sistem berbasis IoT ini diharapkan dapat menyelesaikan masalah dan menjawab kebutuhan akan perlunya suatu sistem pemantauan udara yang dapat memberikan informasi secara berkala mengenai level kualitas udara kepada penggunanya. Sistem pada penelitian ini diimplementasikan menggunakan *board* Wemos D1 Mini [7] dan dua sensor yang digunakan untuk mengukur kadar konsentrasi gas di udara dalam suatu ruangan, yaitu sensor MQ-9 dan sensor MQ-135. Hasil pengukuran kualitas udara oleh sistem kemudian dikirimkan melalui Intenet untuk disimpan pada *database* yang dibuat menggunakan Firebase [8]. Selain itu, pada penelitian ini diimplementasikan juga suatu aplikasi berbasis Android untuk mengakses dan menampilkan data hasil pengukuran kualitas udara pada *smartphone*.

Selain penelitian-penelitian yang telah disebutkan sebelumnya, sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT juga telah diimplementasikan pada beberapa penelitian sebagai berikut. Penelitian [9] mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara menggunakan *board* Arduino Uno, modul Bluetooth HC05, sensor gas MQ-135 (untuk mengukur kadar gas CO₂), dan sensor suhu LM35. Hasil pengukuran dikirimkan melalui komunikasi Bluetooth ke aplikasi Android pada *smartphone* untuk ditampilkan kepada pengguna. Pengujian sistem tersebut diutamakan pada pengujian pengiriman data melalui koneksi Bluetooth jika terdapat penghalang atau tidak terdapat penghalang, bukan pada pengukuran kualitas udara. Sistem pemantau kualitas udara menggunakan Arduino dan sistem komunikasi LoRa (*Long Range*) dikembangkan pada penelitian [10]. Penelitian tersebut menggunakan sensor TGS2600 dan sensor TGS2201 masing-masing untuk mengukur kadar gas CO dan kadar gas NO₂. Selanjutnya, terdapat juga sensor GP2Y1010AU0F yang digunakan untuk mengukur kepadatan partikel debu serta sensor SHT11 untuk mengukur kelembaban dan suhu. Sistem komunikasi LoRa digunakan untuk mengirimkan data dari perangkat keras ke aplikasi web. Hasil pengukuran kualitas udara kemudian ditampilkan pada aplikasi web yang diakses menggunakan *browser*. Hasil pengujian pada penelitian tersebut menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data kualitas udara hingga jarak 300 meter tanpa kehilangan data. Pada penelitian [11] dikembangkan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan menggunakan *board* ESP32 dan empat sensor, yaitu MQ-135, MQ-2, MQ-8, dan MQ-9. Data yang dibaca dari sensor oleh *board* ESP32 dikirimkan melalui komunikasi Bluetooth ke sebuah *smartphone* Android. Penelitian [12] mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis web dan *wireless sensor network* (WSN). Raspberry Pi digunakan sebagai server dan *board* Wemos D1 sebagai mikrokontroler dan modul WiFi. Sensor yang digunakan adalah sensor MQ-135 (untuk mengukur gas CO₂), sensor MQ-7 (untuk mengukur gas CO), dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Sistem pemantauan kualitas udara menggunakan NodeMCU dan aplikasi Android juga dikembangkan pada penelitian [13]. Sistem pada penelitian tersebut menggunakan sensor MQ-135 untuk mengukur kadar gas CO₂ dan sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban. Hasil pengukuran kadar gas CO₂, suhu, dan kelembaban disimpan pada *database* dan dapat diakses melalui aplikasi berbasis Android.

Berdasarkan kajian terhadap penelitian-penelitian sebelumnya, penelitian ini merancang dan mengimplementasikan sistem untuk memantau kualitas udara berbasis IoT menggunakan *board* Wemos D1 Mini. Sistem ini diharapkan dapat membantu pengguna untuk mendapatkan informasi mengenai kadar gas CO dan CO₂ di udara. Secara umum, sistem ini mempunyai tujuan utama yang serupa dengan penelitian-penelitian sebelumnya yaitu memantau kualitas udara. Perbedaan pada berbagai penelitian sejenis terletak pada jumlah dan jenis sensor yang digunakan, serta aplikasi yang digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran (aplikasi berbasis web atau aplikasi berbasis Android). Sistem pada penelitian ini menggunakan dua buah sensor yaitu MQ-9 dan MQ-135, serta aplikasi berbasis Android.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mengikuti atau mengadopsi metode pengembangan dan perancangan sistem secara umum, yaitu metode *prototype* [14]. Dalam metode *prototype*, langkah-langkah yang dilakukan secara umum adalah menganalisis kebutuhan sistem (*requirements gathering and analysis*), membuat desain sederhana (*quick design*), membuat *prototype* (*build prototype*), melakukan evaluasi dan perbaikan *prototype* (*prototype evaluation and refining*), serta melakukan implementasi dan pemeliharaan (*implementation and maintenance*). Berdasarkan pada langkah-langkah dalam metode *prototype*, tahapan penelitian yang dilaksanakan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menggunakan Wemos D1 Mini dan Android ditunjukkan pada Gambar 1.

**Gambar 1.** Tahapan Pelaksanaan Penelitian

Tahapan penelitian yang ditunjukkan pada Gambar 1 dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Identifikasi masalah: Pada tahap ini dilakukan studi literatur terhadap penelitian-penelitian sebelumnya mengenai sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang diimplementasikan menggunakan Arduino. Penelitian-penelitian tersebut digunakan sebagai referensi untuk melakukan penelitian ini.
- Analisis kebutuhan: Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem. Kebutuhan ini terdiri dari kebutuhan perangkat keras (*hardware*) maupun kebutuhan perangkat lunak (*software*). Berdasarkan hasil analisis kebutuhan yang dilakukan, perangkat keras yang dibutuhkan terdiri dari *board* Wemos D1 Mini, sensor gas MQ-9, sensor gas MQ-135, modul ADC ADS1115, dan *smartphone* Android. Deskripsi singkat mengenai perangkat keras yang digunakan adalah sebagai berikut:
 - Wemos D1 Mini merupakan *board* mikrokontroler (dilengkapi dengan modul WiFi) yang menggunakan *chip* ESP-8266EX. *Board* ini beroperasi dengan tegangan 3.3V, memiliki *flash memory* berukuran 4MB, 11 pin I/O digital, satu pin *input* analog, port USB, dan mendukung komunikasi serial dengan I2C. Tabel 1 menunjukkan daftar pin pada *board* Wemos D1 Mini beserta deskripsi singkat fungsi pin tersebut. *Software* untuk *board* ini dapat dikembangkan menggunakan Arduino IDE seperti halnya *board* Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266. Adanya modul WiFi yang terintegrasi pada *chip* ESP-8266EX membuat *board* ini banyak digunakan dalam pengembangan sistem dan aplikasi IoT. Pada sistem yang dirancang dalam penelitian ini, *board* Wemos D1 Mini berfungsi sebagai *controller* yang terhubung dengan modul ADS1115 untuk membaca data dari sensor gas MQ-9 dan sensor gas MQ-135. Selain itu, Wemos D1 Mini juga terkoneksi ke Internet untuk mengirimkan data hasil pengukuran kualitas udara ke *database* pada *cloud* (pada penelitian ini menggunakan Firebase Realtime *database*).

Tabel 1. Pin pada *board* Wemos D1 Mini

Nama pin	Deskripsi/Fungsi
RST	Reset
A0	Analog input (ADC0)
D0	Digital input/output (GPIO16)
D1	Digital input/output, I2C (GPIO5, SCL)
D2	Digital input/output, I2C (GPIO4, SDA)
D3	Digital input/output (GPIO0)
D4	Digital input/output (GPIO2)
D5	Digital input/output, SPI (GPIO14, SCK)
D6	Digital input/output, SPI (GPIO12, MISO)
D7	Digital input/output, SPI (GPIO13, MOSI)
D8	Digital input/output, SPI (GPIO15, SS)
3V3	Supply 3.3V
RX	Receive (GPIO3)
TX	Transmit (GPIO1)
G	Ground (GND)
5V	5V, USB

- Sensor gas MQ-9 merupakan sensor untuk mendeteksi kadar (konsentrasi) gas CO dan gas lainnya seperti metana (CH_4) dan LPG atau propana (C_3H_8). Pendekatan dilakukan melalui siklus suhu rendah dan suhu tinggi. Pada suhu rendah (dipanaskan menggunakan tegangan 1.5V), sensor ini mendeteksi gas CO dan pada suhu tinggi (dipanaskan menggunakan tegangan 5V), sensor ini mendeteksi gas metana, propana dan gas lain yang mudah terbakar (*combustible gas*). Bahan sensor ini adalah *tin oxide* (SnO_2) yang memiliki konduktivitas rendah pada udara bersih. Konduktivitas sensor ini akan naik seiring dengan meningkatnya konsentrasi gas. Perubahan konduktivitas pada sensor ini mengindikasikan perubahan konsentrasi gas. Modul sensor MQ-9 yang digunakan pada penelitian ini memiliki empat pin yaitu VCC, GND, A0, dan D0. Pin A0 akan menghasilkan suatu nilai analog berdasarkan konsentrasi gas yang diukur dan pin D0 akan bernilai '1' (HIGH) jika konsentrasi gas lebih besar dari suatu nilai tertentu (*threshold*). Konsentrasi kadar gas CO yang dapat dideteksi oleh sensor ini adalah ~10 ppm hingga ~1000 ppm (*parts per million*).
- Sensor gas MQ-135 merupakan sensor untuk kualitas udara. Sensor ini digunakan untuk mendeteksi berbagai macam gas seperti CO_2 , ammonia (NH_3), mononitrogen oksida (NO_x), benzene, alkohol, dan asap. Pada



penelitian ini, sensor MQ-135 digunakan untuk mengukur kadar gas CO₂. Modul sensor MQ-135 yang digunakan pada penelitian ini bekerja menggunakan *supply* tegangan 5V dan mempunyai empat pin pada *board* tersebut yaitu VCC, GND, D0 (Digital *output*), dan A0 (Analog *output*). Pin A0 mempunyai keluaran dalam jangkauan 0V-5V tergantung pada konsentrasi gas dan digunakan untuk mengukur konsentrasi gas dalam ppm. Konsentrasi kadar gas CO₂ yang dapat dideteksi oleh sensor ini adalah ~10 ppm hingga ~1000 ppm.

4. ADS1115 merupakan suatu modul *analog-to-digital converter* (ADC) yang mempunyai resolusi 16 bit, 4 input *channel* (A0-A3), dan mempunyai *conversion rate* maksimum 860 sampel per detik. Arsitektur dari ADC ini menggunakan arsitektur Delta-Sigma. ADS1115 juga mempunyai *programmable gain amplifier* (PGA), *digital comparator*, dan I2C *interface* untuk berkomunikasi dengan suatu peralatan atau *board* mikrokontroler lainnya. Modul ADS1115 yang digunakan pada penelitian ini mempunyai 10 pin yaitu VDD, GND, SCL (*clock line*), SDA (*data line*), ADDR, ALRT/READY, A0, A1, A2, dan A3. Pin A0-A3 merupakan *input* analog, pin SCL, SDA, dan ADDR digunakan untuk komunikasi I2C, dan pin ALRT/READY merupakan *output* dari *digital comparator*. Pada penelitian ini ADS1115 digunakan sebagai modul ADC yang akan mengambil data analog dari sensor dan mentransmisikannya ke Wemos D1 Mini menggunakan komunikasi I2C. *Input* tegangan untuk ADS1115 mempunyai *range* dari 2V hingga 5.5V.
5. *Smartphone* Android digunakan untuk menjalankan aplikasi yang dikembangkan untuk menampilkan hasil pengukuran kualitas udara. Data hasil pengukuran ini disimpan pada *database* yang diimplementasikan menggunakan Firebase.

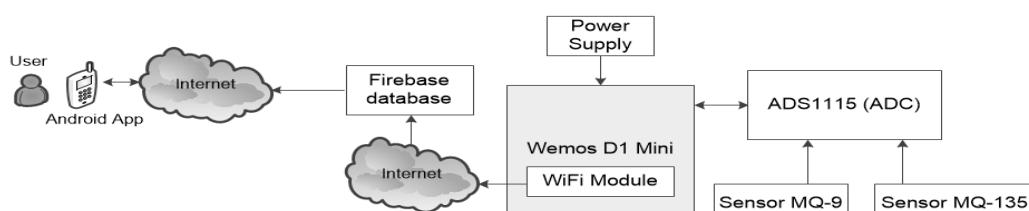
Perangkat lunak yang dibutuhkan pada penelitian ini adalah Android Studio untuk mengembangkan aplikasi yang berjalan pada *smartphone* Android yang akan menampilkan data hasil pengukuran kualitas udara. Perangkat lunak lainnya adalah Firebase yang merupakan *database* untuk menyimpan data hasil pengukuran kualitas udara. Selain itu, Arduino IDE digunakan untuk mengembangkan program yang akan diupload atau diprogram pada mikrokontroler yang ada pada *board* Wemos D1 Mini.

- c. Perancangan dan implementasi sistem: Pada tahap ini dilakukan perancangan perangkat keras dan perangkat lunak untuk sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT. Perancangan alat dilakukan dengan merangkai komponen-komponen untuk merealisasikan alat. Gambar atau skema rangkaian perangkat keras yang menunjukkan hubungan antar komponen-komponen perangkat keras juga dibuat. Untuk perangkat lunak, kode sumber (*source code*) dari perangkat lunak ditulis pada Arduino IDE, dikompilasi, dan diprogram ke *board* Wemos D1 Mini. Selain itu *database* dan aplikasi berbasis Android juga diimplementasikan.
- d. Pengujian sistem: Pada tahap ini dilakukan pengujian sistem untuk memeriksa apakah sistem yang diimplementasikan dapat berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Jika terdapat hal-hal yang belum memenuhi spesifikasi, maka akan dilakukan perbaikan secara berulang hingga sistem dapat berjalan sesuai fungsi yang diharapkan.
- e. Penyimpulan hasil penelitian dan penulisan laporan: Pada tahap ini dilakukan analisis berdasarkan hasil pengujian dan diambil kesimpulan dari penelitian yang telah dilakukan. Laporan penelitian ditulis berdasarkan hasil yang diperoleh dari pelaksanaan penelitian.

Diagram blok dari sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang diimplementasikan pada penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 2. Sistem ini menggunakan *board* Wemos D1 Mini beserta sensor gas untuk memantau kadar konsentrasi gas di udara. Hasil pengukuran disimpan pada *database* dan aplikasi berbasis Android digunakan untuk menampilkan hasil pengukuran kualitas udara. Pada penelitian ini nilai kadar gas CO dan gas CO₂ (dalam ppm) dibagi dalam tiga kategori seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2. Pembagian kategori atau level ini dirangkum dari standard-standard yang ada tentang ukuran kualitas udara seperti dari ASHRAE [15], OSHA [16], dan World Health Organization (WHO) [17][18].

Tabel 2. Level kualitas udara berdasarkan nilai ppm

Gas	Nilai ppm	Level
CO	< 10	Normal
	10-30	Sedang
	> 30	Buruk (Berbahaya)
CO ₂	< 400	Normal
	400-1000	Sedang
	> 1000	Buruk (Berbahaya)



Gambar 2. Diagram blok sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perancangan dan Implementasi Sistem

Sistem pemantauan kualitas udara yang dirancang dan diimplementasikan pada penelitian ini menggunakan sensor MQ-9 dan MQ-135 masing-masing untuk mengukur kadar konsentrasi gas CO dan gas CO₂. Hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan oleh sistem melalui Internet dan disimpan pada *database* (Firebase). Pengguna sistem kemudian dapat mengakses hasil pengukuran kualitas udara menggunakan aplikasi berbasis Android. *Output* dari sensor akan dibaca oleh modul ADS1115 dan kemudian *board* Wemos D1 Mini mengambil data sensor tersebut dari ADS1115 menggunakan komunikasi I2C (melalui pin SDA dan SCL). Modul ADS1115 digunakan karena *board* Wemos D1 Mini hanya menyediakan satu *input* analog (A0) sehingga dapat terkoneksi dengan satu sensor saja, sedangkan pada penelitian ini digunakan dua buah sensor. ADS1115 mempunyai lebih dari satu *input* analog (A0-A3) sehingga *output* dari kedua sensor MQ-9 dan MQ-135 dapat diterima oleh *board* Wemos D1 Mini melalui ADS1115. Koneksi antara modul sensor MQ-9 dan modul sensor MQ-135 dengan modul ADS1115, serta koneksi antara modul ADS1115 dengan *board* Wemos D1 Mini masing-masing ditunjukkan pada Tabel 3 dan Tabel 4. Pin VCC dan GND pada sensor MQ-9 maupun MQ-135 dihubungkan ke *supply* tegangan dan *ground* (0V).

Tabel 3. Pin yang digunakan untuk koneksi sensor dengan ADS1115

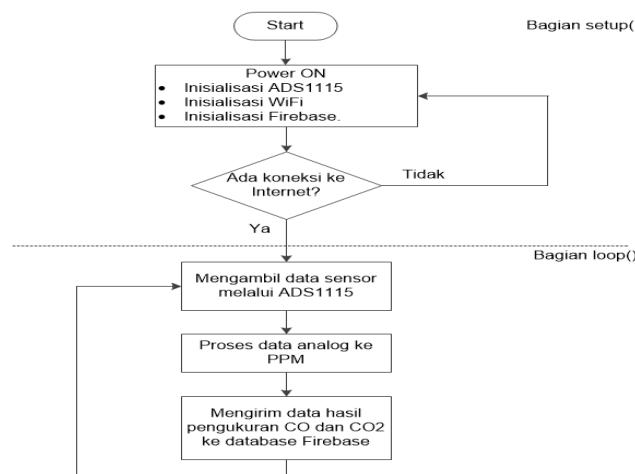
Komponen	Pin	Pin pada ADS1115
Modul sensor MQ-9	A0	A0
Modul sensor MQ-135	A0	A1

Tabel 4. Pin yang digunakan untuk koneksi ADS1115 dengan *board* Wemos D1 Mini

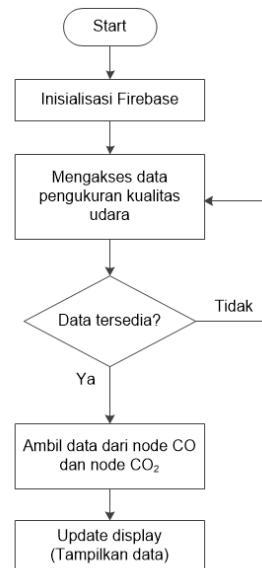
Pin pada ADS1115	Pin pada Wemos D1 Mini
SCL	SCL/D1
SDA	SDA/D2

Diagram alir (*flowchart*) yang menjelaskan cara kerja dari program pada *board* Wemos D1 Mini ditunjukkan pada Gambar 3. Saat awal diaktifkan, *board* Wemos D1 Mini melakukan inisialisasi komponen-komponen perangkat keras yang digunakan dan membentuk koneksi ke Internet melalui modul WiFi. Selanjutnya, data pengukuran dari sensor MQ-9 dan sensor MQ-135 akan dibaca oleh Wemos D1 Mini melalui ADS1115. Perubahan kadar konsentrasi gas di udara berbanding lurus dengan nilai *output* tegangan (analog) dari sensor tersebut. Semakin tinggi kadar konsentrasi gas, maka nilai *output* tegangan keluaran dari sensor akan semakin besar. Hasil pengukuran ini kemudian akan diproses untuk dikonversi menjadi hasil dalam bentuk ppm dan dikirimkan ke Firebase dengan interval waktu setiap 1 detik. Gambar 4 menunjukkan diagram alir dari aplikasi Android yang digunakan untuk mengakses data hasil pengukuran (kadar gas CO dan kadar gas CO₂) yang disimpan pada Firebase dan menampilkan hasil tersebut kepada pengguna. Proses sinkronisasi antara data yang ditampilkan pada aplikasi Android dengan data yang tersimpan pada *database* dilakukan secara otomatis, sehingga jika terjadi perubahan pada data (*update* data dari sensor), maka data yang ditampilkan pada aplikasi adalah data yang terbaru.

Database yang digunakan pada penelitian ini adalah Firebase yang merupakan NoSQL *database* dan dihosting pada *cloud* (*cloud-hosted database*). Karena *database* ini merupakan NoSQL *database*, data hasil pengukuran kualitas udara disimpan menggunakan *child* (*nodes*) yang diberi nama CO, CO₂, dan TIME. Node CO menyimpan data hasil pengukuran kadar gas CO, node CO₂ menyimpan data hasil pengukuran kadar gas CO₂, dan node TIME menyimpan waktu saat data di-*update*. Data disimpan dalam format JSON dan disinkronkan secara *realtime* dengan setiap perangkat atau aplikasi yang terhubung dengan *database* tersebut.



Gambar 3. Diagram alir program pada *board* Wemos D1 Mini



Gambar 4. Diagram alir aplikasi monitoring kualitas udara pada perangkat Android

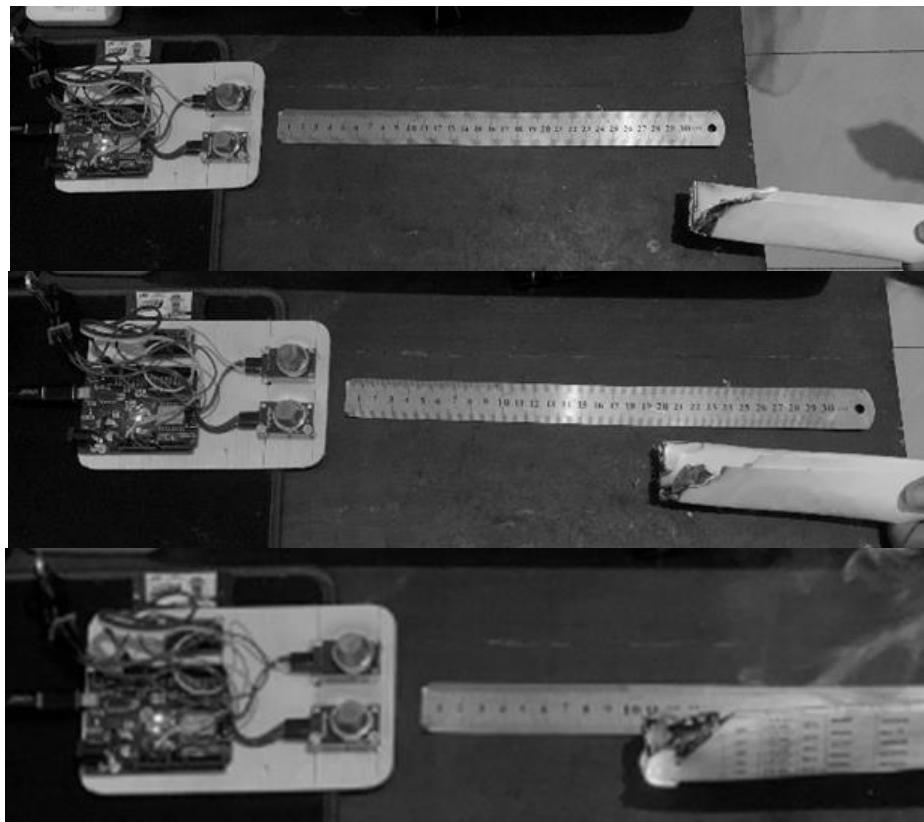
3.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan secara bertahap diawali dari pengujian komponen-komponen perangkat keras yang digunakan dan koneksi WiFi untuk mengakses Internet. Pengujian koneksi WiFi untuk memastikan *board* Wemos D1 Mini dapat terkoneksi ke Internet dan mengirimkan data hasil pengukuran kualitas udara ke Firebase. Pengujian terhadap sensor MQ-9 dan sensor MQ-135 bertujuan untuk memeriksa apakah kedua sensor tersebut bekerja sesuai fungsinya, serta apakah *output* dari kedua sensor ini dapat diterima oleh ADS1115 dan *board* Wemos D1. Pengujian sensor dilakukan dengan cara memberikan asap selama waktu tertentu seperti yang ditunjukkan pada Gambar 5. Pada pengujian ini juga dilakukan proses kalibrasi sehingga sensor dapat digunakan secara tepat dan hasil pengukuran yang diperoleh dapat diandalkan (*reliable*).

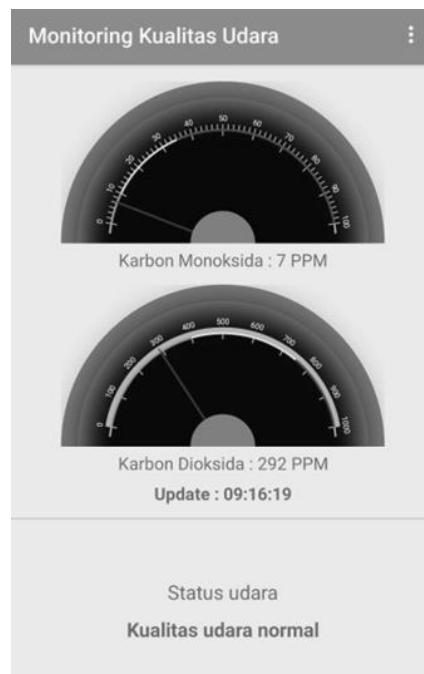


Gambar 5. Pengujian sensor MQ-9 dan MQ-135

Setelah komponen-komponen perangkat keras dipastikan dapat bekerja dengan baik, selanjutnya dilakukan pengujian sistem secara keseluruhan. Pengujian sistem ini dilakukan dalam ruangan dengan menempatkan sumber gas CO dan CO₂ (menggunakan asap dari pembakaran kertas) pada jarak tertentu terhadap sensor, yaitu 30 cm, 20 cm, dan 10 cm seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Waktu pengujian untuk setiap jarak yang digunakan adalah 5 menit. Hal ini bertujuan agar kadar konentrasi gas CO dan CO₂ dalam ruangan sudah mencukupi sehingga dapat terdeteksi oleh sensor. Hasil pengukuran awal kadar CO dan CO₂ dalam ruangan (kondisi awal saat belum diberikan asap) masing-masing adalah 7 ppm dan 292 ppm (atau kualitas udara “Normal”) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 7.

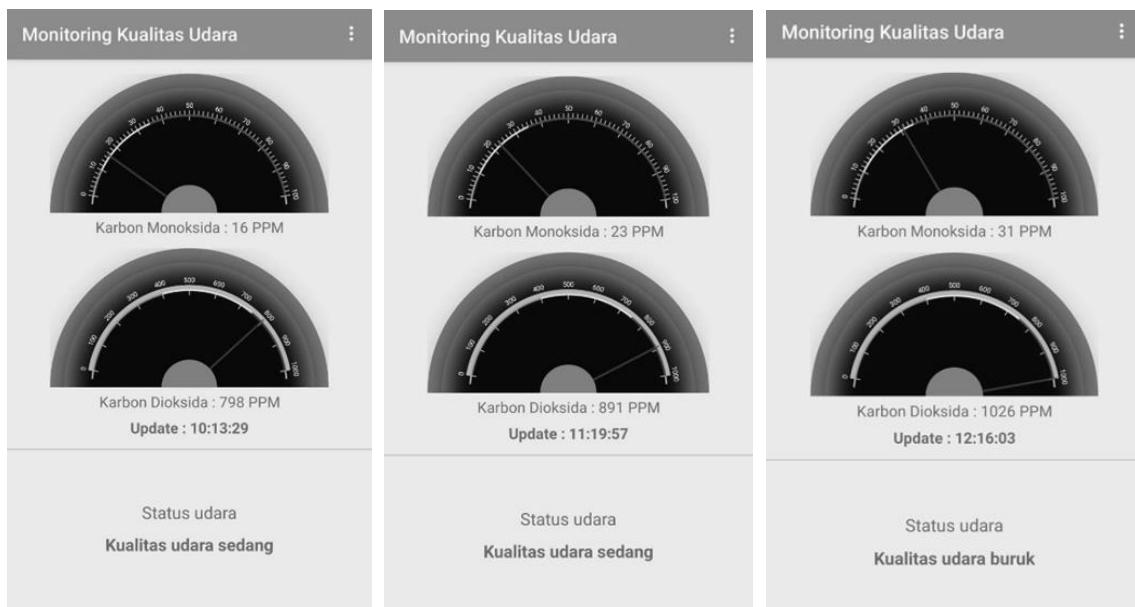


Gambar 6. Pengujian sistem pada jarak 30 cm, 20 cm, dan 10 cm



Gambar 7. Hasil pengukuran kondisi awal.

Hasil pengukuran untuk jarak 30 cm, 20 cm, dan 10 cm ditunjukkan pada Gambar 8. Hasil pengukuran untuk pengujian pada jarak 30 cm menunjukkan bahwa kadar gas CO dan CO₂ masing-masing adalah 16 ppm dan 798 ppm dengan kesimpulan kualitas udara dalam level “Sedang”. Selanjutnya, hasil pengukuran untuk pengujian pada jarak 20 cm menunjukkan bahwa kadar gas CO dan CO₂ masing-masing adalah 23 ppm dan 891 ppm dengan kesimpulan kualitas udara juga masih dalam level “Sedang”. Untuk pengujian dengan jarak 10 cm, hasil pengukuran kadar gas CO dan CO₂ masing-masing adalah 31 ppm dan 1026 ppm dengan kesimpulan kualitas udara dalam level “Buruk”. Tabel 5 menunjukkan rangkuman dari hasil pengujian dengan tiga jarak (jarak sumber asap dari sensor) yang berbeda. Masing-masing jarak dicoba dalam waktu 5 menit. Saat satu pengujian selesai dilakukan, diberikan jeda waktu hingga kualitas udara kembali ke level “Normal” dan setelah itu pengujian berikutnya dilakukan.

**Gambar 8.** Hasil pengujian dengan jarak 30 cm, 20 cm, dan 10 cm**Tabel 5.** Hasil Pengujian Sistem

Jarak	Waktu pengukuran	Kadar gas CO (ppm)	Kadar gas CO ₂ (ppm)	Level kualitas udara
-	5 menit	7	292	Normal (kondisi awal)
30 cm	5 menit	16	798	Sedang
20 cm	5 menit	23	891	Sedang
10 cm	5 menit	31	1026	Buruk

4. KESIMPULAN

Penelitian ini mempresentasikan preancangan dan implementasi sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menggunakan *board* Wemos D1 Mini, sensor MQ-9, sensor MQ-135, dan aplikasi berbasis Android. Aplikasi yang berjalan pada *smartphone* Android digunakan oleh pengguna sistem untuk mengambil data hasil pengukuran kualitas udara (kadar konsentrasi gas CO dan CO₂) dari *database* pada *cloud* (Firebase) dan menampilkannya pada *smartphone*. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem pemantauan kualitas udara yang diimplementasikan bekerja dengan baik, di mana sistem ini dapat menampilkan informasi kualitas udara kepada pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa jika kadar konsentrasi gas CO di bawah nilai 10 ppm dan gas CO₂ di bawah nilai 400 ppm, sistem akan menunjukkan bahwa kualitas udara berada pada level "Normal". Selanjutnya, sistem ini juga dapat mendeteksi kadar konsentrasi gas dan memberikan informasi kepada pengguna sesuai dengan level kualitas udara yang telah ditetapkan dengan pengujian dengan asap dari pembakaran kertas selama 5 menit. Pada pengujian dengan jarak antara sensor dan sumber asap sebesar 10 cm diperoleh hasil kadar gas CO dan CO₂ masing-masing adalah 31 ppm dan 1026 ppm. Untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem ini, dapat ditambahkan sensor-sensor lain seperti sensor MQ-6 untuk mendeteksi gas LPG, sensor MQ-137 untuk mendeteksi gas ammonia, dan sensor partikel debu.

REFERENCES

- [1] W. T. Davis, J. S. Fu, and T. Godish, *Air Quality*, 6th ed. CRC Press, 2022.
- [2] W. E. Kuriger, *Indoor Air Quality (IAQ) and Air Pollutants in the Home and Office*. Independently published, 2022.
- [3] M. Sadali, Y. K. Putra, L. Kertawijaya, and I. Gunawan, "Sistem Monitoring dan Notifikasi Kualitas Udara di Jalan Raya dengan Platform IoT," *Infotek J. Inform. dan Teknol.*, vol. 5, no. 1, pp. 11–21, Jan. 2022, doi: 10.29408/JIT.V5I1.4384.
- [4] M. G. Salasa, A. Rosadi, and N. Fahriani, "Perancangan Alat Monitoring Polusi Udara Berbasis Mikrokontroler Menggunakan Sensor Gas TGS-2442," *Comput. Insight J. Comput. Sci.*, vol. 3, no. 1, 2021, [Online]. Available: <http://journal.um-surabaya.ac.id/index.php/CI/article/view/9146>.
- [5] A. Rochmania, I. Sucayyo, and M. Yantidewi, "Monitoring Kandungan CO₂ berbasis IoT dengan NodeMCU ESP8266 dan Sensor MQ135," *J. Sains dan Pendidik. Fis.*, vol. 17, no. 3, pp. 249–259, Dec. 2021, doi: 10.35580/JSPF.V17I3.30634.
- [6] M. Seno Sahisnu Virdaus and E. Ihsanto, "Rancang Bangun Monitoring Dan Kontrol Kualitas Udara Dengan Metode Fuzzy Logic Berbasis Wemos," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 1, pp. 22–28, Jan. 2021, doi: 10.22441/JTE.2021.V12I1.005.
- [7] "LOLIN D1 mini — WEMOS documentation." https://www.wemos.cc/en/latest/d1/d1_mini.html (accessed Oct. 26, 2022).
- [8] Google, "Firebase Realtime Database." <https://firebase.google.com/products realtime-database> (accessed Oct. 26, 2022).
- [9] M. S. Novelan, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Menggunakan Mikrokontroler dan Aplikasi Android," *InfoTekJar J. Nas. Inform. dan Teknol. Jar.*, vol. 4, no. 2, pp. 50–54, 2020, [Online]. Available:



<https://doi.org/10.30743/infotekjar.v5i1.2758>.

- [10] M. I. Munabbih, E. D. Widianto, Y. E. Windarto, and E. Y. Indrasto, “Rancang Bangun Sistem Pemantau Kualitas Udara menggunakan Arduino dan LoRa Berbasis Jaringan Sensor Nirkabel,” *Transm. J. Ilm. Tek. Elektro*, vol. 22, no. 1, pp. 6–14, Mar. 2020, doi: 10.14710/TRANSMISI.22.1.6-14.
- [11] G. C. Ulaan, V. C. Poekoel, and A. H. J. Ontowirjo, “Pembuatan Aplikasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan,” *J. Tek. Inform.*, vol. 17, no. 1, pp. 93–104, Jan. 2022, doi: 10.35793/JTI.17.1.2022.34695.
- [12] F. Tahir, W. Ridwan, and I. Z. Nasibu, “Monitor Kualitas Udara Berbasis Web Menggunakan Raspberry Pi dan Modul Wemos D1,” *J. Tek.*, vol. 18, no. 1, pp. 35–44, Jun. 2020, doi: 10.37031/JT.V18I1.57.
- [13] K. Pratama and E. B. Setiawan, “Implementasi Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Peramalan Exponential Smoothing dan NodeMCU Berbasis Mobile Android,” *Ultim. Comput. J. Sist. Komput.*, vol. 9, no. 2, pp. 58–66, Apr. 2017, doi: 10.31937/SK.V9I2.656.
- [14] R. Pressman and B. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner’s Approach*, 9th ed. McGraw-Hill, 2019.
- [15] “ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2022, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality,” 2022. <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>.
- [16] Occupational Safety and Health Administration, “1917.24 - Carbon monoxide.” <https://www.osha.gov/laws-regulations/standardnumber/1917/1917.24> (accessed Oct. 28, 2022).
- [17] World Health Organization, “Environmental Health Criteria 213: Carbon Monoxide (Second Edition),” 1999. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42180/WHO_EHC_213.pdf (accessed Oct. 28, 2022).
- [18] World Health Organization, “WHO Guidelines for Indoor air Quality: Selected Pollutants,” 2010. http://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/42180/WHO_EHC_213.pdf.