

Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis *Internet of Things* (IoT) Menggunakan Thingspeak dan *Website*

Diel Din
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Maros, Sulawesi Selatan
diel.din.unhas@gmail.com

Zulfajri Basri Hasanuddin
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
zulfajri@unhas.ac.id

Samuel Panggalo
Departemen Teknik Elektro
Universitas Hasanuddin
Makassar, Sulawesi Selatan
samuelpanggalo@unhas.ac.id

Abstrak— Keadaan udara di bumi semakin memburuk tiap tahunnya sebab pencemaran udara. Polutan udara sebagai penyebab pencemaran memiliki beragam jenis, termasuk karbon monoksida dan karbon dioksida. Salah satu bentuk upaya dalam pengendalian pencemaran dapat berupa informasi kualitas udara yang diumumkan kepada masyarakat. Di Sulawesi Selatan, Dinas Pengelolaan Lingkungan Hidup (DPLH) hanya beroperasi sistem pengukuran kualitas udara dengan fungsi terbatas. Pada penelitian ini, dilakukan perancangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan WEMOS D1 Mini dengan sensor MQ-7 dan MQ-135 dalam mendeteksi kadar polutan. Data dari sistem akan terintegrasi dan ditampilkan melalui *platform* Thingspeak dan *website*, sehingga dapat diakses oleh semua orang kapan saja dan dimana saja secara *multiplatform* yang memudahkan masyarakat untuk memantau dan menjaga kualitas udara lingkungan. Data terkait polutan dari sistem juga dapat dimanfaatkan oleh pihak yang memerlukan informasi tersebut. Sistem yang telah dirancang kemudian dilakukan serangkaian pengujian meliputi pengujian perangkat keras, pengujian perangkat lunak, dan pengujian secara keseluruhan. Hasil penelitian menunjukkan sistem pemantauan kualitas udara berhasil dibuat. Pada pengujian hasil kalibrasi dan pembacaan sensor MQ-7 dengan alat perbandingan, diperoleh rata-rata persentase *error* sensor 1 dan 2 adalah 9,01% dan 14,44% saat menggunakan asap rokok sebagai sumber polutan, dan 47% dan 7,19% saat menggunakan gas buang kendaraan motor. Pengujian serupa pada MQ-135 dengan alat perbandingan, diperoleh rata-rata persentase *error* sensor 1 dan 2 adalah 3,12% dan 2,77% saat kondisi tanpa perlakuan, dan 3,29% dan 5,06% saat menggunakan asap kertas sebagai polutan tambahan. Berdasarkan pengujian *delay*, diperoleh Thingspeak memiliki *delay* yang tinggi dengan nilai bervariasi dari 8-1 detik dan 14-1 detik saat menggunakan *provider* Telkomsel dan Tri. Sedangkan pada *website* memiliki *delay* lebih kecil dengan nilai hanya dikisaran ≤ 1 detik saat menggunakan *provider* Telkomsel dan Tri.

Keywords— Kualitas Udara, Karbon Monoksida, Karbon Dioksida, MQ-7, MQ-135, *Internet of Things* (IoT), Thingspeak, *Firebase*

I. PENDAHULUAN

Dari tahun ke tahun, keadaan udara di bumi kian memburuk sebab pencemaran udara. Dalam Peraturan Pemerintah No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup Pasal 1 Ayat 49, disebutkan bahwa pencemaran udara merupakan

masuk atau dimasukkannya zat, energi, dan/atau komponen lain ke dalam udara ambien oleh kegiatan manusia, sehingga melampaui Baku Mutu Udara Ambien yang telah ditetapkan [15]. Beragam sektor memiliki kontribusi tersendiri dalam pencemaran atau polusi udara. Di kota-kota metropolitan, proporsi gas buang dari kendaraan bermotor sebagai sumber pencemar udara merupakan yang paling dominan yang berkisar 60-70%. Sementara dari kontribusi gas buang yang bersumber dari cerobong asap industri hanya berkisar 10-15%. Sedangkan sisanya sendiri, bersumber dari pembakaran lain; seperti dari rumah tangga, pembakaran sampah, kebakaran hutan, dan lain sebagainya [16].

Pencemaran udara didominasi oleh emisi gas buang kendaraan bermotor. Emisi gas buang sendiri merupakan sisa hasil pembakaran mesin kendaraan mulai dari kendaraan beroda, perahu, kapal hingga pesawat terbang yang menggunakan bahan bakar. Biasanya emisi gas buang ini terjadi karena pembakaran yang tidak sempurna dari sistem pembuangan dan pembakaran mesin. Emisi gas buang kendaraan maupun sumber pencemar lain mengandung berbagai polutan, seperti senyawa hidrokarbon (HC), karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), emisi nitrogen oksida (NO_x), belerang dioksida (SO₂), dan timah hitam/debu timbal (Pb) yang berbahaya untuk lingkungan dan makhluk hidup [12].

Adapun bentuk upaya dalam pengendalian pencemaran udara dapat berupa informasi mengenai kualitas udara yang diumumkan kepada masyarakat. Dinas Pengelolaan Lingkungan Hidup (DPLH) Provinsi Sulawesi Selatan dalam laman web resminya mencatat sistem pengukuran kualitas udara hanya dilakukan oleh Stasiun AQM yang berlokasi di kota Makassar dengan periode tertentu saja. Data hasil pengukuran disampaikan ke masyarakat melalui infografis via *website* resmi milik DPLH Provinsi Sulawesi Selatan. Dalam pengoperasiannya, *website* hanya menampilkan data pada waktu tertentu saja, belum lagi masyarakat merasa sedikit kesulitan dalam mengakses karena tampilan infografis masih sangat sederhana, minim keterangan, dan sebagainya.

Internet of Things (IoT) merupakan suatu sistem dimana menggabungkan semua perangkat agar dapat dikontrol maupun terpantau melalui koneksi internet. Oleh karena itu, untuk tugas akhir ini dibuatlah sistem yang mampu memantau kualitas udara berbasis IoT. Hal ini dapat menjadikan sistem pemantauan kualitas udara yang dibuat dapat memberikan informasi yang dapat terpantau melalui internet sehingga pemantauan dapat dilakukan kapan saja dan dimana saja. Data

hasil pemantauan sistem akan ditampilkan melalui *platform* Thingspeak dan *website*. Dimana sebelumnya data diolah oleh alat yang terdiri dari WEMOS D1 Mini, Mux CD74HC4071, sensor MQ-7 dan MQ-135, beserta *buzzer* dan LCD.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Polusi Udara

Udara merupakan salah satu unsur alam penting dalam kehidupan makhluk hidup di muka bumi, utamanya manusia. Udara tersusun dari berbagai campuran gas termasuk 78% nitrogen, 21% oksigen, dan 1% gas-gas lainnya. Pada udara terdapat oksigen (O_2) untuk bernapas, karbon dioksida (CO_2) untuk proses fotosintesis bagi tumbuhan, dan ozon (O_3) untuk menahan sinar ultraviolet berlebih matahari [14]. Polusi atau pencemaran udara merupakan kehadiran satu atau lebih substansi fisik, kimia, atau biologi di atmosfer dalam jumlah yang dapat mengancam kesehatan makhluk hidup, mengganggu estetika dan kenyamanan, atau merusak properti [19]. Adapun jenis polutan yang menjadi parameter yang dideteksi oleh sistem yang dirancang ialah karbon dioksida (CO_2) dan karbon monoksida (CO) sebab keduanya ini merupakan jenis yang paling umum dijumpai di udara.

1) Karbon Dioksida

Karbon dioksida (CO_2) merupakan senyawa yang terdiri dari satu unsur karbo dan dua unsur oksigen. Polutan ini dapat terbentuk dari pembakaran bahan yang mengandung karbon (seperti asap rokok, asap kendaraan, asap pabrik, dan sebagainya), proses fermentasi, respirasi makhluk hidup dan lain-lain. Karbon dioksida bersifat mudah menguap dan kehadirannya di atmosfer dapat menghasilkan efek rumah kaca serta membahayakan pernafasan manusia. Polutan ini dapat menyebabkan sakit kepala, pusing, asma, mengantuk, peningkatan denyut jantung ataupun laju pernafasan, bahkan kekurangan oksigen yang dapat berujung kematian [8] [10]. Adapun berdasarkan tingkatan konsentrasi pada polutan karbon dioksida, ini kemudian dibagi kedalam beberapa kategori yang ditunjukkan pada tabel 1 [8] [11].

TABEL 1. LEVEL KATEGORI KADAR KARBON DIOKSIDA

Rentang atau Tingkatan (ppm)	Kategori
< 350	Baik
350 - 1000	Sedang
1001 - 2000	Tidak Sehat
> 2000	Sangat Tidak Sehat

2) Karbon Monoksida

Karbon monoksida (CO) merupakan senyawa molekul kembar berwujud gas dengan ciri tak berwarna dan tak berbau yang sangat berbahaya apabila terhirup dalam jumlah besar. Sumber terbesar polutan ini dapat dijumpai pada asap gas buang kendaraan, asap rokok, pembakaran dengan minyak tanah, kompor gas, cerobong asap, dan sebagainya. Pada konsentrasi CO yang sangat tinggi dalam ruangan atau di lingkungan tertutup lainnya, ini dapat menyebabkan pusing, kebingungan, tidak sadarkan diri, hingga kematian [8]. Adapun pembagian kategori kadar karbon monoksida (CO) pada sistem akan menggunakan standar Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang ditunjukkan pada tabel 2 [3].

TABEL 2. LEVEL KATEGORI KADAR KARBON MONOKSIDA

Indeks (ppm)	Kategori
1 - 50	Baik
51 -100	Sedang
101 - 200	Tidak Sehat
201 - 300	Sangat Tidak Sehat
> 300	Berbahaya

B. WEMOS D1 Mini

WEMOS merupakan sebuah mikrokontroler yang berbasis ESP8266. WEMOS menjadi alternatif dari mahalnya sebuah sistem *wireless* berbasis mikrokontroler lainnya. Dengan menggunakan mikrokontroler WEMOS, biaya yang dikeluarkan untuk membangun sistem mikrokontroler berbasis Wi-Fi dapat lebih mudah dan murah dibanding biaya yang perlu dikeluarkan dibandingkan dengan menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan Wi-Fi *Shield*. WEMOS memiliki beberapa versi, salah satunya WEMOS D1 Mini dengan harga yang cukup terjangkau. Mikrokontroler ini dapat dinyalakan via koneksi USB atau dengan satu daya eksternal (adaptor DC atau baterai) dan mampu beroperasi pada rentang tegangan 3,3 – 5V [1].

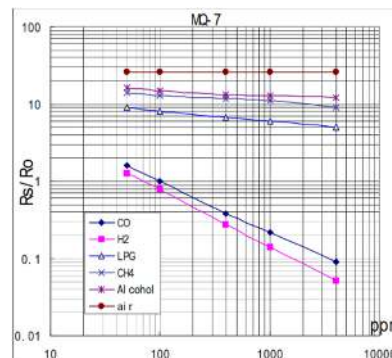
C. Sensor MQ-7

Sensor ini ialah jenis sensor gas yang dapat dipakai dalam peralatan guna mendeteksi gas karbon monoksida atau CO dalam kehidupan sehari-hari, industri, ataupun pada mobil. Sensor ini memiliki sejumlah fitur, di antaranya sensitivitas yang tinggi terhadap karbon monoksida (CO), stabil, dan umur pemakaian yang panjang [13]. Penyesuaian sensitivitas sangat diperlukan sehingga perlu dilakukan kalibrasi [19].



Gambar 1. Sensor MQ-7

Output dari sensor MQ-7 masih berupa *raw value* sensor yang belum menunjukkan nilai dalam satuan ppm atau *part per million* (satuan suatu gas). Untuk dapat diolah untuk diubah menjadi satuan ppm diperlukan kalibrasi. Cara kalibrasi untuk sensor ini memerlukan grafik dari *datasheet* sensor [17] yang dapat dilihat pada gambar 2.



Gambar 2. Grafik Karakteristik Sensitivitas dari *Datasheet* MQ-7 [7]

Untuk melakukan kalibrasi perlu mencari nilai R_s dan R_o dari sensor karena akan dilakukan perbandingan hasil dari output sensor dengan grafik yang terdapat pada gambar 2.

Untuk mendapatkan R_s dan R_o dapat dicari menggunakan persamaan 1 dan 2 [17].

$$R_s = \left(\frac{V_c}{V_{R_L}} - 1 \right) \times R_L \quad (1)$$

$$R_o = \frac{R_s}{R_s/R_o} \quad (2)$$

Dimana R_s adalah resistansi sensor, V_c adalah tegangan input, R_L adalah nilai resistor *load*, V_{R_L} adalah tegangan pada R_L , dan R_o adalah nilai resistansi sensor pada kondisi udara bersih, R_s/R_o adalah rasio pada udara bersih (menurut gambar 2 nilainya adalah 3,90). Adapun sebelum mencari nilai R_o sensor, diperlukan *pre-heating* pada sensor selama 24-48 jam. Ketika kondisi tersebut terpenuhi, kemudian persamaan 1 dan 2 dimasukkan kedalam program mikrokontroler [17].

Setelah memperoleh nilai R_o , kemudian nilai sensor dalam satuan ppm dapat hitung menggunakan persamaan 3.

$$ppm = 10 \left(\frac{\log(R_s/R_o) - b}{m} \right) \quad (3)$$

Dimana ppm adalah nilai dalam satuan udara atau gas; b adalah titik persimpangan; dan m adalah kemiringan garis pada grafik. Nilai b dan m dapat diperoleh dalam dari gambar 2 [17].

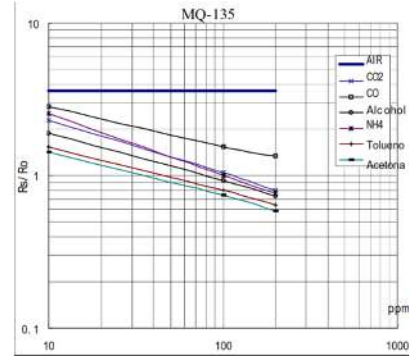
D. Sensor MQ-135

Sensor ini ialah jenis sensor MQ yang mampu mendeteksi beragam gas, mulai dari karbon dioksida (CO_2), natrium dioksida (NO_x), amonia (NH_3), benzene (C_6H_6), alkohol atau ethanol (C_2H_5OH), dan gas berbahaya lainnya [13]. Penyesuaian sensitivitas sensor ditentukan oleh nilai resistansi dari MQ-135 yang berbeda-beda untuk berbagai konsentrasi gas-gas. Sehingga sangat diperlukan penyesuaian sensitivitas saat menggunakan sensor ini [19].



Gambar 3. Sensor MQ-135

Serupa dengan sensor MQ lainnya, output dari sensor MQ-135 juga masih berupa *raw value* yang belum menunjukkan nilai dalam satuan ppm atau *part per million*. Diperlukan kalibrasi untuk dapat mengubah output sensor menjadi nilai ppm. Cara kalibrasi untuk sensor ini memerlukan grafik dari *datasheet* sensor [17] yang dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Grafik Karakteristik Sensitivitas dari *Datasheet* MQ-135 [6]

Pada gambar 4 dapat dilihat bahwa ini menunjukkan korelasi *power function* $y = a \times x^b$, sehingga untuk mencari nilai kadar ppm dapat menggunakan persamaan 4 [5].

$$ppm = a \times (R_s/R_o)^b \quad (4)$$

Dimana ppm adalah nilai dalam satuan udara atau gas, a adalah *scaling factor*, dan b adalah *exponent*. Dengan menggunakan *power regression*, selanjutnya dapat diperoleh a dan b untuk gas yang ingin diukur [5].

Sehingga jika ingin mengkalibrasi sensor, yang diperlukan hanya mengetahui jumlah gas tertentu, yang selanjutnya nilai keluaran resistansi dari sensor (R_s) dan nilai resistansi pada udara telah dikalibrasi (R_o) dapat dihitung. Adapun nilai R_s dan R_o dapat dihitung dengan menggunakan persamaan 5 dan 6 [5].

$$R_s = ((1024.0 \times R_L) / \text{adcraw}) - R_L \quad (5)$$

$$R_o = R_s \times (a/ppm, b) = R_s \times \exp(\ln(a/ppm)/b) \quad (6)$$

Dimana nilai R_L adalah nilai resistor *load*, dan *adcraw* adalah nilai mentah/*raw* hasil pembacaan sensor.

Sebelum mencari nilai R_o sensor, diperlukan *pre-heating* kurang lebih selama 24 jam. Ketika kondisi tersebut terpenuhi, kemudian persamaan 5 dan 6 dimasukkan kedalam program mikrokontroler. Setelah memperoleh nilai R_o , selanjutnya nilai sensor dalam satuan ppm dapat hitung menggunakan persamaan 4 [5].

E. Multiplexer CD74HC4067

Multiplexer atau *Mux* ialah salah satu jenis komponen elektronika dengan fungsi sebagai penyelektor data yang bekerja berdasarkan *command selector switch* untuk menampilkan data yang ingin dituju. Salah satu contoh IC untuk *multiplexer* yakni 74HC4067 yang merupakan IC analog yang memiliki 16 inputan dengan 4 input data (*selector*), 1 pin SIG sebagai pengendali *selector*, dan 1 input *Enable* untuk pengaktifan. Selain fungsi utama sebagai penyelektor data, *Multiplexer CD74HC4067* juga dapat digunakan untuk menambah input analog pada board ESP8266 yang hanya memiliki satu pin input (A0) [9] [20].

F. Thingspeak

Thingspeak ialah *platform* penyedia layanan pengaplikasian *Internet of Things* (IoT), yang menyediakan layanan yang berisi aplikasi dan API yang bersifat *open-source* untuk menyimpan maupun mengambil data dari beragam jenis perangkat yang menggunakan *Hypertext*

Transfer Protocol (HTTP) via internet atau melalui jaringan area lokal atau LAN [14].

G. Firebase

Firebase ialah layanan infrastruktur jenis *backend-as-a-service* (BaaS) milik Google dengan beragam fitur yang dikemas dalam sebuah SDK Firebase tunggal. Hal ini memungkinkan *developer* untuk fokus dalam memecahkan masalah *customer* melalui *software/aplikasi* yang dibuat tanpa memerlukan banyak waktu untuk membangun infrastruktur yang kompleks [2].

1) Realtime Database

Realtime Database Firebase ialah layanan *database* yang di-host pada *cloud* tempat data disimpan sebagai JSON dan disinkronkan secara *realtime* ke tiap klien yang terkoneksi. Ketika membangun aplikasi *cross-platform* dengan SDK Android, iOS, dan JavaScript, seluruh *client* akan berbagi sebuah *instance* Realtime Database dan secara otomatis akan memperoleh pembaruan data terbaru [4].

2) Hosting

Layanan Hosting dari Firebase membantu dalam melakukan *hosting* statis untuk aplikasi web secara cepat dan aman. Dengan menggunakan Firebase Hosting, seseorang dapat menerapkan aplikasi web dan konten statis ke *Content Delivery Network* (CDN) global dengan cepat dan mudah, hanya dengan menggunakan perintah sederhana yang disediakan oleh Firebase [4].

III. METODOLOGI PENELITIAN

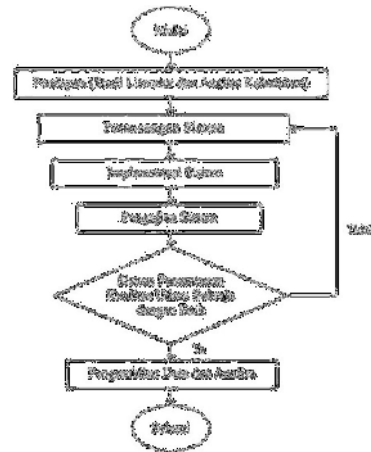
A. Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan ialah *Research and Development* (R&D) yang merupakan metode yang dipergunakan untuk mengembangkan dan atau memvalidasi produk-produk yang digunakan dalam pendidikan dan pembelajaran.

B. Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada akhir April 2022 hingga Maret 2023. Tempat perancangan dan pengujian sistem dilakukan di Laboratorium Telematika, Radar, & Satelit FT-UH dan Rumah Peneliti di Maros. Sedangkan pengimplementasian sistem dilakukan dengan memasang dua alat di simpang empat Baddoka dan Daya di Kec. Biringkanaya, Kota Makassar.

C. Tahapan Penelitian.



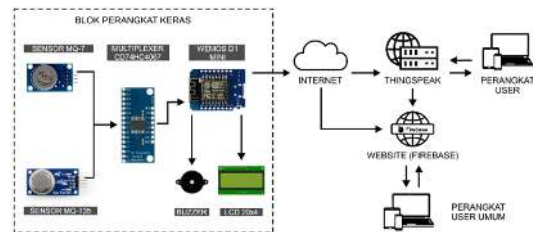
Gambar 5. Flowchart Tahapan Penelitian

Gambar 5 menunjukkan *flowchart* tahapan penelitian yang terdiri dari beberapa tahapan yang harus dilakukan sebelum membangun sistem.

D. Perancangan Sistem

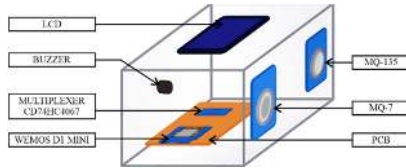
1) Tahap Desain dan Perancangan Awal Sistem

Pada gambar 6 terdapat diagram blok sistem yang menunjukkan desain rancangan sistem secara keseluruhan pada sistem pemantauan kualitas udara yang akan dibuat.



Gambar 6. Diagram Blok Sistem Pemantauan Kualitas Udara

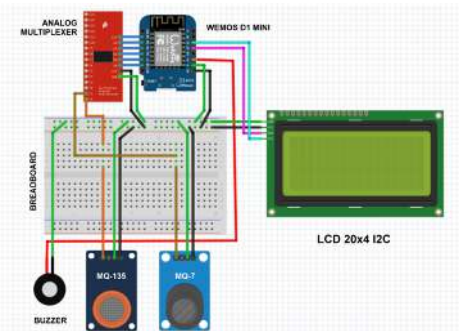
Terdapat WEMOS D1 Mini yang merupakan mikrokontroler sebagai pusat kontrol. Pada bagian input terdapat sensor MQ-7 untuk deteksi polutan karbon monoksida (CO) dan sensor MQ-135 untuk deteksi polutan karbon dioksida (CO₂). Kedua sensor tersebut dihubungkan ke modul Multiplexer CD74HC4067 karena pin analog yang terdapat pada WEMOS D1 Mini hanya ada satu pin I/O analog, sementara itu untuk menghubungkan dua sensor diperlukan dua pin I/O analog. Adapun pada bagian output terdapat LCD 20x4 sebagai penampil nilai data sensor, *buzzer* sebagai alarm untuk notifikasi jarak dekat, serta pengiriman nilai data ke Thingspeak dan *website* (Firebase). Adapun desain *casing* atau kotak wadah yang digunakan ditunjukkan pada gambar 7. Digunakan box plastik sebagai *casing* atau wadah menyimpan dan memasang komponen-komponen sistem.



Gambar 7. Desain *Casing* atau Kotak Wadah Purwarupa Alat

2) Perancangan Perangkat Keras Sistem

Pada perancangan ini bertujuan untuk merancang alat yang dapat mendeteksi polutan udara dalam sistem pemantauan kualitas udara yang dibuat. Pada gambar 6. bagian blok perangkat keras, ditampilkan komponen yang akan digunakan yang terdiri atas sensor MQ-7 dan MQ-135, Multiplexer CD74HC4067, *buzzer*, serta LCD. Adapun perancangan skematik dari perangkat keras sistem dapat dilihat pada gambar 8.



Gambar 8. Perancangan Skematik Perangkat Keras Sistem

Pada sensor yang digunakan, yaitu MQ-7 dan MQ-135 diperlukan mengganti *resistor load* (R_L) apabila belum sesuai dengan *datasheet*. Berdasarkan *datasheet* masing-masing, R_L untuk sensor MQ-7 ialah $10K \Omega$ atau $5-47K \Omega$ [7] dan untuk sensor MQ-135 adalah $20K \Omega$ atau $10-47K \Omega$ [6]. Tujuan penggantian R_L ini agar hasil pembacaan ppm dari sensor lebih sensitif [18]. Setelah hal tersebut terpenuhi, kemudian dapat dimulai proses kalibrasi.

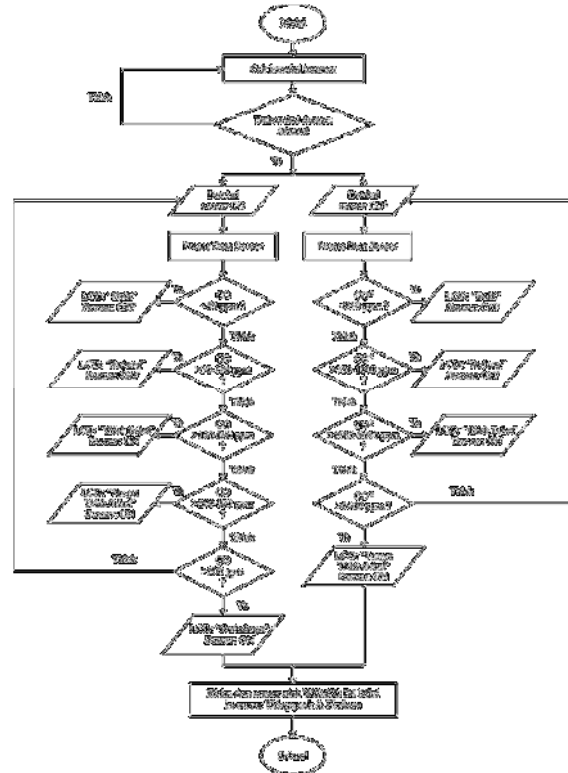
Pada sensor MQ-7, setelah melakukan *pre-heating*, diperoleh nilai R_o pada sensor 1 dan 2 adalah $1,83 K \Omega$ dan $1,12 K \Omega$. Nilai tersebut kemudian dimasukkan dalam program pada mikrokontroler dan nilai ppm dapat diperoleh menggunakan persamaan 3. Sedangkan pada sensor MQ-135, setelah melakukan *pre-heating*, diperoleh nilai R_o pada sensor 1 dan 2 adalah 110000Ω dan 37000Ω (dimana tiga angka terakhir dibulatkan). Nilai tersebut kemudian dimasukkan dalam program pada mikrokontroler dan nilai ppm dapat diperoleh menggunakan persamaan 4. Hasil pembacaan sensor kemudian akan dibandingkan dengan alat referensi (alat pembanding) untuk melihat kinerja sensor dalam mengukur nilai kadar polutan.

3) Perancangan Perancangan Lunak Sistem

a) Perancangan Program Mikrokontroler

Perancangan program pada mikrokontroler yakni WEMOS D1 Mini dilakukan dengan *software* Arduino IDE yang menggunakan bahasa pemrograman C. Pembuatan sistem berupa program yang mengendalikan perangkat keras. Prinsip kerjanya adalah alat dari sistem mula-mula akan

melakukan koneksi ke jaringan Wi-Fi. Saat berhasil terkoneksi, alat kemudian akan mendeteksi dan membaca kadar polutan CO dan CO₂ lewat masing-masing sensor MQ-7 dan MQ-135. Mikrokontroler akan mengolah data masukan sensor tersebut kemudian menampilkan output berupa teks (nilai kadar dan kategori) dan suara (saat kadar memasuki kategori tidak sehat) masing-masing lewat LCD dan *buzzer*. Data output juga akan dikirim melalui koneksi Wi-Fi sehingga data tersebut mampu ditampilkan pada *platform* pemantauan. Alur *flowchart* program pada mikrokontroler dapat dilihat pada gambar 9.



Gambar 9. *Flowchart* Program Mikrokontroler

b) Perancangan Platform Thingspeak

Platform Thingspeak merupakan salah satu media yang digunakan sebagai penampil data yang telah diolah dan dikirim dari alat. Perancangan dilakukan dengan membuat *channel* pada laman web Thingspeak dan membuat *widget* yang diperlukan dalam visualisasi data. Terdapat *widget* nilai kadar dan grafik dari beberapa nilai kadar untuk tiap polutan untuk masing-masing lokasi.

c) Perancangan Website

Pada perancangan *website* dari sistem yang dibuat terbagi kedalam beberapa bagian, yaitu perancangan *database*, yang mana ini sebagai tempat menyimpan data yang telah diolah dan dikirim dari mikrokontroler, dan perancangan tampilan halaman *website* sebagai media penampil yang digunakan pengguna dalam melihat data hasil pemantauan. *Website* tersebut dapat diakses melalui *browser* secara *multiplatform*.

- Perancangan *database*

Dalam perancangan *database*, digunakan fitur Realtime Database dari Firebase. Pada *database* ini, data dari alat, seperti nilai kadar dan waktu data terkirim akan tersimpan dan disinkronisasi.

- Perancangan halaman

Dalam perancangan tampilan halaman *website*, digunakan *software* Visual Studio Code dan menggunakan bahasa pemrograman seperti Javascript, HTML, dan CSS yang umum digunakan dalam membuat *website*. *Website* yang dirancang terdiri dari 3 halaman antarmuka utama, yaitu halaman awal, halaman nilai kadar, dan halaman grafik kadar. Setelah halaman *website* rampung, *database* yang sebelumnya dibuat akan diintegrasikan dengan *website*.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 10. Tampak Depan Hasil Pembuatan Alat

Hasil penelitian yang telah dilakukan berupa alat yang dapat memantau kualitas udara untuk kadar karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) menggunakan platform Thingspeak dan *website*.

A. Pengujian Perangkat Keras

Pengujian kalibrasi dan pembacaan sensor dilakukan agar hasil pembacaan dari sensor alat dapat akurat dan sesuai serta mengetahui kinerja modul sensor dalam membaca nilai kadar polutan apakah telah bekerja dengan baik atau belum. Adapun persamaan 7 dan 8 masing-masing digunakan dalam menghitung persentase *error* dan rata-rata persentase *error*.

$$\text{Persentase Error} = \frac{\text{Nilai Selisih Pengukuran}}{\text{Pengukuran dengan alat pembanding}} \times 100\% \quad (7)$$

$$\text{Rata - Rata Persentase Error} = \frac{\text{Jumlah Persentase Error}}{\text{Jumlah Data}} \quad (8)$$

1) Kalibrasi dan Pengujian Pembacaan Sensor MQ-7

Pada pengujian sensor MQ-7 dilakukan pengujian dua kali untuk dua sensor, dengan masing-masing sensor dilakukan perbandingan dengan alat pembanding saat menggunakan asap rokok dan gas buang sepeda motor sebagai sumber polutan. Alat pembanding sebagai alat referensi yang digunakan ialah **SMART SENSOR CO Meter AS8700A**. Pengambilan data saat menggunakan asap rokok sebagai sumber polutan dilakukan dengan membakar rokok ditiap pengambilan data. Sedangkan saat menggunakan gas buang kendaraan bermotor dilakukan dengan meletakkan sensor dan alat pembanding dengan tinggi yang sama dengan knalpot motor. Pengambilan data dilakukan di dalam ruangan dengan sensor maupun alat pembanding diletakkan dengan perlakuan yang sama.

TABEL 3. PENGUJIAN MQ-7 (1) DAN ALAT PEMBANDING DENGAN ASAP ROKOK SEBAGAI SUMBER POLUTAN

No.	Pengukuran Karbon Monoksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-7 (1)	CO Meter		
1	0,26	0	0,26	
2	11,15	13	1,85	14,23
3	29,44	30	0,56	1,87
4	64,91	64	0,91	1,42
5	41,69	42	0,31	0,74
6	35,76	32	3,76	11,75
7	17,86	15	2,86	19,07
8	95,01	110	14,99	13,63
9	163,98	152	11,98	7,88
10	44,19	40	4,19	10,48
Rata-rata persentase error				9,01

Tabel 3 menunjukkan hasil perbandingan sensor pertama dengan alat pembanding saat menggunakan asap rokok sebagai sumber polutan. Diketahui rata-rata nilai persentase *error* adalah 9,01% dengan nilai terbesar ada pada angka 19,07% dan nilai terkecil adalah 0,74%. Sensor telah berhasil mendeteksi kadar polutan dari asap rokok, namun masih terdapat selisih pengukuran yang cukup tinggi meskipun berdasarkan selisih tersebut nilainya tidak begitu signifikan. Adanya selisih pengukuran tersebut dipengaruhi arah asap yang tidak begitu stabil (asap mudah bersikulasi dengan udara bebas). Selain itu, selisih tersebut juga disebabkan perbedaan jenis sensor dimana sensor dari alat pembanding memiliki sensitivitas atau kepekaan lebih terhadap polutan dibanding sensor alat (MQ-7).

TABEL 4. PENGUJIAN MQ-7 (1) DAN ALAT PEMBANDING DENGAN GAS BUANG KENDARAAN MOTOR SEBAGAI SUMBER POLUTAN

No.	Pengukuran Karbon Monoksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-7 (1)	CO Meter		
1	234,39	287	52,61	18,33
2	242,24	289	46,76	16,18
3	136,68	190	53,32	28,06
4	200,37	244	43,63	17,88
5	277,99	310	32,01	10,33
6	548,20	555	6,8	1,26
7	548,20	545	3,2	0,59
8	577,38	530	47,38	8,94
9	643,42	570	73,42	12,88
10	496,25	495	1,25	0,25
Rata-rata persentase error				11,47

Tabel 4 menunjukkan hasil perbandingan sensor pertama dengan alat pembanding saat menggunakan gas kendaraan motor Suzuki Shogun SP 125 Tahun 2008 berbahan bakar Pertalite sebagai sumber polutan. Diketahui rata-rata nilai persentase *error* adalah 11,47% dengan nilai terbesar ada pada angka 28,06% dan nilai terkecil adalah 0,25%. Sensor telah berhasil mendeteksi kadar polutan yang dihasilkan gas buang motor namun masih terdapat selisih pengukuran yang cukup tinggi. Adanya selisih pengukuran tersebut dikarenakan alat pembanding memiliki sensitivitas atau kepekaan yang lebih baik dari sensor alat.

TABEL 5. PENGUJIAN MQ-7 (2) DAN ALAT PEMBANDING DENGAN ASAP ROKOK SEBAGAI SUMBER POLUTAN

No.	Pengukuran Karbon Monoksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-7 (2)	CO Meter		
1	0,25	0	0,25	

No.	Pengukuran Karbon Monoksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-7 (2)	CO Meter		
2	22,05	29	6,95	23,96
3	15,56	20	4,44	22,2
4	17,22	18	0,78	4,33
5	13,11	15	1,89	12,6
6	25,71	24	1,71	7,13
7	30,78	23	7,78	33,83
8	20,04	21	0,96	4,57
9	34,69	32	2,69	8,41
10	53,10	61	7,9	12,95
Rata-rata persentase error				14,44

Tabel 5 menunjukkan hasil perbandingan sensor kedua dengan alat pembanding saat menggunakan asap rokok sebagai sumber polutan. Diketahui rata-rata nilai persentase error adalah 14,44% dengan nilai terbesar ada pada angka 33,83% dan nilai terkecil adalah 4,33%. Sensor yang kedua ini memiliki performa tidak sebagus sensor pertama saat pengujian dengan sumber polutan asap rokok sebagaimana yang ditunjukkan nilai rata-rata persentase error yang lebih tinggi. Adanya selisih pengukuran yang cukup tinggi ini selain dikarenakan alat pembanding memiliki sensitivitas atau kepekaan yang lebih baik dari sensor alat, juga dipengaruhi arah asap yang tidak begitu stabil.

TABEL 6. PENGUJIAN MQ-7 (2) DAN ALAT PEMBANDING DENGAN GAS BUANG KENDARAAN MOTOR SEBAGAI SUMBER POLUTAN

No.	Pengukuran Karbon Monoksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-7 (2)	CO Meter		
1	215,88	239	23,12	9,67
2	315,88	376	60,12	15,99
3	342,21	359	16,79	4,68
4	220,65	250	29,35	11,74
5	235,91	245	9,09	3,71
6	246,98	261	14,02	5,37
7	215,88	222	6,12	2,76
8	206,80	209	2,2	1,05
9	225,57	230	4,43	1,97
10	307,77	362	54,23	14,98
Rata-Rata Persentase Error				7,19

Tabel 6 menunjukkan hasil perbandingan sensor kedua dengan alat pembanding saat menggunakan gas kendaraan motor yang sama saat pengujian pada sensor pertama. Diperoleh rata-rata nilai persentase error adalah 7,19% dengan nilai terbesar ada pada angka 15,99% dan nilai terkecil adalah 1,05%. Berbeda dengan saat pengujian menggunakan asap rokok, pengujian untuk sensor kedua ini sedikit lebih baik dari sensor pertama dalam pengujian dengan sumber polutan gas buang sepeda motor sebagaimana yang ditunjukkan nilai rata-rata persentase error yang lebih rendah. Sensor telah berhasil mendeteksi kadar polutan dari gas buang motor namun masih terdapat selisih pengukuran yang cukup tinggi. Terdapat selisih pengukuran tersebut dikarenakan alat pembanding memiliki sensitivitas atau kepekaan yang lebih baik dari sensor alat.



Gambar 11. Pengujian Sensor MQ-7, (Kiri) Menggunakan Asap Rokok dan (Kanan) Menggunakan Gas Buang Motor Sebagai Sumber Polutan

2) Kalibrasi dan Pengujian Pembacaan Sensor MQ-135

Pada pengujian sensor MQ-135 dilakukan pengujian dua kali untuk dua sensor, dengan masing-masing sensor dilakukan perbandingan dengan alat pembanding saat tanpa perlakuan dan saat menggunakan asap kertas sebagai sumber polutan tambahan. Alat pembanding yang digunakan ialah **Air Quality Detector JSM-131 SC**. Pengambilan data pertama dilakukan tanpa memberi sumber polutan tambahan karena secara umum CO₂ merupakan senyawa/gas yang sudah ada di udara bebas. Sedangkan pengambilan data kedua dilakukan dengan memberikan asap kertas sebagai sumber polutan tambahan. Pengambilan data dilakukan di dalam ruangan dengan sensor maupun alat pembanding diletakkan dengan perlakuan yang sama.

TABEL 7. PENGUJIAN MQ-135 (1) DAN ALAT PEMBANDING

No.	Pengukuran Karbon Dioksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-135 (1)	CO ₂ Meter		
1	518,67	512	6,67	1,3
2	502,67	508	5,33	1,05
3	494,82	506	11,16	2,21
4	502,67	504	1,33	0,26
5	502,67	500	2,67	0,53
6	502,67	502	0,67	0,13
7	543,46	517	26,46	5,12
8	551,98	518	33,98	6,56
9	578,00	526	52	9,89
10	543,46	522	21,46	4,11
Rata-Rata Persentase Error				3,12

Tabel 7 menunjukkan hasil perbandingan sensor pertama dengan alat pembanding yang diletakkan dalam ruangan tanpa memberi sumber polutan tambahan. Diketahui rata-rata nilai persentase error adalah 3,12% dengan nilai terbesar ada pada angka 9,89% dan nilai terkecil adalah 0,13%. Sensor telah berhasil mendeteksi kadar polutan, namun masih terdapat nilai persentase error diatas 5%. Adanya persentase error tersebut dikarenakan jenis sensor yang digunakan pada alat berbeda dengan alat pembanding sehingga tingkat sensitivitasnya juga berbeda.

TABEL 8. PENGUJIAN MQ-135 (1) DAN ALAT PEMBANDING DENGAN ASAP KERTAS SEBAGAI SUMBER POLUTAN TAMBAHAN

No.	Pengukuran Karbon Dioksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-135 (1)	CO ₂ Meter		
1	551,93	559	7,07	1,26
2	662,36	609	53,36	8,76
3	886,48	839	47,48	5,66
4	790,43	790	0,43	0,05

No.	Pengukuran Karbon Dioksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-135 (1)	CO ₂ Meter		
5	767,76	754	13,76	1,82
6	713,44	710	3,44	0,48
7	672,32	693	20,68	2,98
8	642,79	682	39,21	5,75
9	652,51	674	21,49	3,19
10	646,36	666	19,64	2,95
Rata-Rata Persentase Error				3,29

Tabel 8 menunjukkan hasil perbandingan sensor pertama dan alat pembanding yang dilakukan perlakuan tambahan dengan membakar kertas sebagai sumber polutan tambahan. Diperoleh rata-rata nilai persentase error adalah 3,29% dengan nilai terbesar ada pada angka 8,76% dan nilai terkecil adalah 0,05%. Sensor telah berhasil mendeteksi kadar polutan, namun masih terdapat nilai persentase error diatas 5%. Adanya persentase error tersebut dikarenakan jenis sensor yang digunakan pada alat berbeda dengan alat pembanding sehingga tingkat sensitivitasnya juga berbeda.

TABEL 9. PENGUJIAN MQ-135 (2) DAN ALAT PEMBANDING

No.	Pengukuran Karbon Dioksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-135 (1)	CO ₂ Meter		
1	478,94	500	21,06	24,21
2	473,05	497	23,95	4,82
3	522,05	505	17,05	3,38
4	509,39	503	6,39	1,27
5	503,17	504	0,83	0,16
6	490,92	500	9,08	1,82
7	478,94	500	21,06	4,21
8	484,90	500	15,1	3,02
9	478,94	501	22,06	4,40
10	503,17	505	1,83	0,36
Rata-rata persentase error				2,77

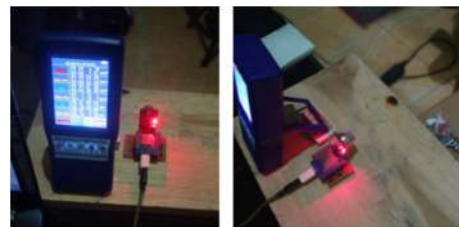
Tabel 9 menunjukkan hasil perbandingan sensor kedua dengan alat pembanding yang diletakkan dalam ruangan tanpa memberi sumber polutan tambahan. Diketahui rata-rata nilai persentase error adalah 2,77% dengan nilai terbesar ada pada angka 4,82% dan nilai terkecil adalah 0,36%. Sensor kedua ini memiliki performa sedikit lebih baik ketimbang sensor pertama sebagaimana yang ditunjukkan dari rata-rata persentase error-nya. Sensor telah berhasil mendeteksi kadar polutan. namun masih terdapat nilai persentase error diatas 5%. Hal tersebut dikarenakan jenis sensor yang digunakan pada alat berbeda dengan alat pembanding sehingga tingkat sensitivitasnya juga berbeda.

TABEL 10. PENGUJIAN MQ-135 (2) DAN ALAT PEMBANDING DENGAN ASAP KERTAS SEBAGAI SUMBER POLUTAN TAMBAHAN

No.	Pengukuran Karbon Dioksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-135 (2)	CO ₂ Meter		
1	536,73	508	28,73	5,66
2	598,21	525	73,21	13,94
3	674,82	605	69,02	11,41
4	612,72	596	16,72	2,81
5	598,21	590	8,21	1,39
6	627,54	584	43,54	7,46
7	612,72	580	32,72	5,64
8	577,04	572	5,04	0,88
9	563,30	564	0,7	0,12
10	556,55	564	7,45	1,32

No.	Pengukuran Karbon Dioksida (ppm)		Selisih Pengukuran	Persentase Error (%)
	MQ-135 (2)	CO ₂ Meter		
Rata-rata persentase error				5,06

Tabel 10 menunjukkan hasil perbandingan sensor kedua dan alat pembanding yang dilakukan perlakuan tambahan dengan membakar kertas sebagai sumber polutan tambahan. Diketahui rata-rata nilai persentase error adalah 5,06% dengan nilai terbesar ada pada angka 13,94% dan nilai terkecil adalah 0,12%. Performa sensor pertama lebih baik ketimbang sensor kedua yang mana rata-rata persentase error sensor kedua lebih tinggi. Sensor telah berhasil mendeteksi kadar polutan, namun masih terdapat nilai persentase error diatas 5%, yang mana ini dipengaruhi sebab jenis sensor yang digunakan pada alat berbeda dengan alat pembanding sehingga tingkat sensitivitasnya juga berbeda.

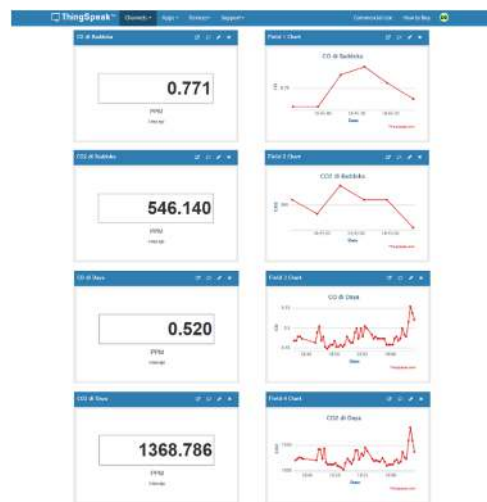


Gambar 12. Pengujian Sensor MQ-135, (Kiri) Kondisi Tanpa Perlakuan dan (Kanan) Dengan Asap Kertas Sebagai Sumber Polutan Tambahan

B. Pengujian Perangkat Lunak

1) Pengujian Thingspeak

Pengujian pada platform ini dilakukan dengan melihat apakah Thingspeak berhasil atau tidak dalam menerima data yang dikirim dari alat dan menampilkan data tersebut di halaman pemantauan. Untuk mengakses platform Thingspeak ini, cukup mengakses laman Thingspeak dan melakukan proses login dengan akun yang sudah dibuat. Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 13, Thingspeak berhasil menampilkan data dari alat.



Gambar 13. Channel Thingspeak

2) Pengujian Database Website

Pengujian dilakukan dengan melihat apakah database berhasil atau tidak dalam menerima data yang dikirim dari

alat. Untuk mengakses *database* ini, cukup mengakses *dashboard* Realtime Database Firebase. Sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 14, *database* berhasil menerima dan menampilkan data dari alat.



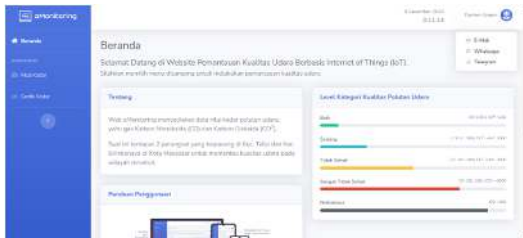
Gambar 14. Realtime Database Firebase

3) Pengujian Halaman Website

Pengujian halaman *website* dilakukan pada halaman awal, halaman nilai kadar, dan halaman grafik kadar. Pengujian dilakukan memeriksa keberfungsian fitur-fitur yang ada pada *website* yang telah dibuat.

- Halaman Awal

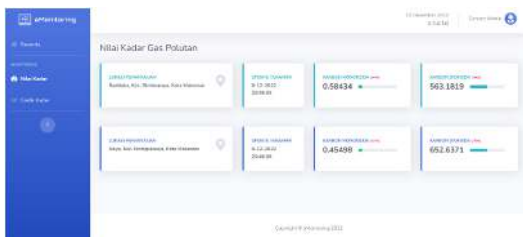
Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah *website* dapat diakses secara *online* menggunakan koneksi internet dan menampilkan halaman awal beserta fitur-fiturnya. Pada gambar 15 ditunjukkan *website* berhasil menampilkan halaman awal saat mengakses <https://amonitoring-airquality.web.app/> pada *browser*.



Gambar 15. Halaman Awal Website

- Halaman Nilai Kadar

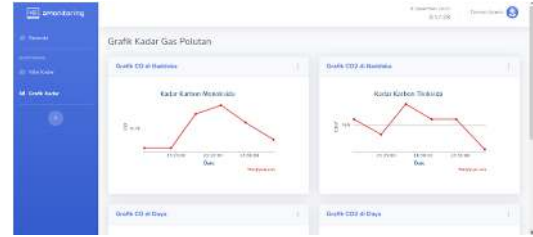
Pengujian dilakukan untuk mengetahui apakah antarmuka halaman utama, yakni halaman nilai kadar dapat berjalan menampilkan data dengan baik secara *real-time* serta memberikan informasi kategori dari masing-masing polutan sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 16.



Gambar 16. Halaman Nilai Kadar Website

- Halaman Grafik Kadar

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui halaman grafik kadar berhasil menampilkan grafik nilai kadar masing-masing polutan sebagaimana yang ditunjukkan pada gambar 17.



Gambar 17. Halaman Grafik Kadar Website

4) Pengujian Delay

Pengujian ini dilakukan untuk melihat performansi sistem dari dua *platform* pemantauan yang telah dibuat, yaitu Thingspeak dan *website*. Perhitungan *delay* dilakukan dengan melakukan pengiriman data sebanyak 10 kali lalu mengamati waktu data terbaca di *platform* Thingspeak maupun *website* dengan waktu kirim pada *serial monitor*. Pengujian ini menggunakan dua *provider*, yaitu Telkomsel dan Tri. *Delay* diukur menggunakan rumus persamaan 9.

$$\text{Delay} = \text{Waktu Data Terbaca} - \text{Waktu Data Terkirim} \quad (9)$$

Data pengujian *delay* pada *platform* Thingspeak dan *website* masing-masing dapat dilihat pada tabel 11 dan 12.

TABEL 11. PENGUJIAN DELAY THINGSPEAK

No.	Provider	Delay Pengiriman CO (s)	Delay Pengiriman CO ₂ (s)
1	Telkomsel	7	8
2		6	7
3		6	7
4		5	6
5		4	5
6		3	4
7		2	3
8		2	3
9		1	2
10		1	1
Rata-rata delay		3,7	4,6
1	Tri	11	14
2		10	13
3		9	12
4		8	11
5		7	10
6		5	8
7		4	7
8		3	6
9		2	5
10		1	4
Rata-rata delay		6	9

Berdasarkan pengujian tersebut dapat dilihat bahwa *delay* Thingspeak kurang stabil, dimana untuk *provider* Telkomsel memiliki *delay* bervariasi dari 8 – 1 detik, dengan rata-rata *delay* pengiriman data CO dan CO₂ masing-masing adalah 3,7 dan 4,6 detik. Sedangkan ketika menggunakan *provider* Tri, *delay* yang ditunjukkan lebih besar lagi yaitu berkisar antara 14 – 1 detik, dengan rata-rata *delay* pengiriman data CO dan CO₂ masing-masing adalah 6 dan 9 detik.

TABEL 12. PENGUJIAN DELAY WEBSITE

No.	Provider	Delay Pengiriman CO (s)	Delay Pengiriman CO ₂ (s)
1	Telkomsel	0	0

No.	Provider	Delay Pengiriman CO (s)	Delay Pengiriman CO ₂ (s)
2	Telkomsel	0	0
3		0	1
4		0	0
5		0	0
6		0	0
7		0	0
8		0	0
9		1	1
10		1	1
Rata-rata delay		0,2	0,3
1	Tri	0	0
2		0	0
3		0	0
4		1	1
5		0	0
6		0	0
7		1	1
8		1	1
9		1	1
10		1	1
Rata-rata delay		0,5	0,5

Berdasarkan pengujian yang dilakukan baik untuk *provider* Telkomsel dan Tri, dapat dilihat bahwa *delay* pada *website* yang kecil yakni hanya dikisaran ≤ 1 detik, dimana rata-rata *delay* pengiriman data CO dan CO₂ masing-masing adalah 0,2 dan 0,3 detik saat menggunakan *provider* Telkomsel dan 0,5 detik saat menggunakan *provider* Tri.

Berdasarkan pengujian pada kedua *platform* pemantauan tersebut, ditunjukkan bahwa Thingspeak memiliki *delay* yang tinggi dan bergantung pada kecepatan internet yang dimiliki. Sedangkan pada *website*, memiliki *delay* lebih kecil dan terkait kecepatan internet kurang begitu berdampak walaupun ini masih tetap berpengaruh pada waktu data terkirim dan terbaca apabila kecepatan internetnya lebih lambat.

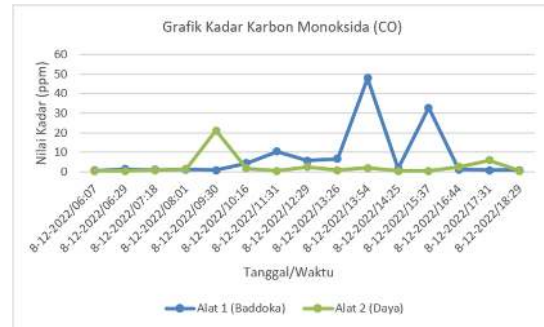
C. Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

Pengujian keseluruhan sistem ialah pengujian dengan menggabungkan seluruh perangkat keras dan lunak yang digunakan menjadi suatu sistem yang dapat memantau kualitas udara. Pengujian dilakukan di dua tempat berbeda secara bersamaan, di mana alat diimplementasikan di simpang empat Baddoka dan simpang empat Daya yang keduanya berada di Kec. Biringkanaya, Kota Makassar pada Kamis, 8 Desember 2022, yang dimulai pada pukul 06:00 hingga 18:30 WITA. Hasil pengujian sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada tabel 13.

TABEL 13. PENGUJIAN SISTEM KESELURUHAN

Waktu	Alat 1 (Baddoka)		Alat 2 (Daya)	
	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
06:07	0,629	537,779	0,487	899,974
06:29	1,342	1700,073	0,519	1028,481
07:18	0,959	1205,567	0,935	1159,533
08:01	1,173	2007,652	1,487	1091,882
09:30	0,937	953,874	21,164	4682,35
10:16	4,486	4122,682	1,718	2008,579
11:31	10,449	3057,786	0,535	1230,628
12:29	5,645	3050,767	2,486	2151,646
13:26	6,671	5839,623	0,787	1336,903
13:54	47,847	13999,78	1,893	1451,598

Waktu	Alat 1 (Baddoka)		Alat 2 (Daya)	
	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	CO ₂ (ppm)
14:25	1,576	5457,496	0,541	1187,507
15:37	32,61	12194,12	0,524	1079,189
16:44	1,173	1932,95	2,557	1845,319
17:31	0,901	940,577	5,877	7357,498
18:29	0,872	737,227	0,499	990,363
Rata-rata	7,818	3849,197	2,801	1966,763



Gambar 18. Kadar Karbon Monoksida

Berdasarkan pengujian keseluruhan yang dilakukan, pengukuran kadar karbon monoksida (CO) pada lokasi pertama di simpang empat Baddoka, diperoleh kadar yang bervariasi dengan nilai rata-rata adalah 7,818 ppm yang masuk dalam kategori baik. Kadar tertinggi terjadi pada pukul 13:54 yang mencapai 47,847 ppm, dimana pada waktu tersebut melintas kendaraan dengan polusi tinggi akibat adanya aktivitas konvoi motor yang hendak melayang. Sedangkan pada lokasi kedua di simpang empat Daya, diperoleh nilai rata-rata adalah 2,801 ppm yang juga dalam kategori baik. Kadar tertinggi terjadi pada pukul 09:30 yang mencapai 21,164 ppm, dimana sebab selain lalu lintas yang padat, pada jam tersebut banyak melintas kendaraan bermuatan besar.



Gambar 19. Kadar Karbon Dioksida

Adapun untuk kadar karbon dioksida (CO₂), pada lokasi pertama diperoleh nilai rata-rata 3849,197 ppm yang masuk dalam kategori sangat tidak sehat. Kadar tertinggi di lokasi ini mencapai 13999,78 ppm juga terjadi pada pukul 13:54. Sedangkan pada lokasi kedua memiliki rata-rata 1966,763 ppm yang masuk kategori tidak sehat. Kadar tertinggi terjadi pada pukul 17:31 yang mencapai 7357,498 ppm, dimana pada waktu tersebut kondisi lalu lintas begitu padat.

V. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat ditarik beberapa kesimpulan, di antaranya adalah:

1. Sistem pemantauan kualitas udara telah berhasil dibuat menggunakan mikrokontroler WEMOS D1 Mini dan beberapa komponen pendukung lainnya untuk mendeteksi kadar polutan karbon monoksida dan karbon dioksida serta data mampu tampil melalui *platform* Thingspeak dan *website*.
2. Dari hasil kalibrasi dan pengujian pembacaan sensor MQ-7 dengan alat pembanding menggunakan asap rokok sebagai sumber polutan, diperoleh rata-rata nilai persentase *error* untuk sensor 1 adalah 9,01% dan untuk sensor 2 adalah 14,44%. Sedangkan saat menggunakan gas buang kendaraan motor sebagai sumber polutan, rata-rata nilai persentase *error* untuk sensor 1 adalah 11,47% dan untuk sensor 2 adalah 7,19%.
3. Dari hasil kalibrasi dan pengujian pembacaan sensor MQ-135 dengan alat pembanding tanpa perlakuan, diperoleh rata-rata nilai persentase *error* untuk sensor 1 adalah 3,12% dan untuk sensor 2 adalah 2,77%. Sedangkan saat menggunakan asap kertas sebagai sumber polutan tambahan, rata-rata nilai persentase *error* untuk sensor 1 adalah 3,29% dan untuk sensor 2 adalah 5,06%.
4. Berdasarkan pengujian *delay*, pada *platform* Thingspeak memiliki *delay* yang tinggi dan bergantung pada kecepatan internet yang dimiliki. Dimana saat menggunakan *provider* Telkomsel diperoleh *delay* bervariasi dari 8 - 1 detik dan *provider* Tri dengan *delay* antara 14 - 1 detik. Sedangkan pada *website*, ini memiliki *delay* yang lebih kecil dan terkait kecepatan internet kurang begitu berdampak. Dimana berdasarkan pengujian yang dilakukan baik untuk *provider* Telkomsel dan Tri, *delay*-nya terbilang kecil yakni hanya dikisaran \leq 1 detik.
5. Berdasarkan pengukuran kadar polutan CO yang dilakukan, secara keseluruhan nilai kadar polutan di Baddoka maupun di Daya dapat dikatakan dalam kategori baik atau sehat. Dimana nilai rata-rata kadar CO di Baddoka dan di Daya masing-masing adalah 7,818 dan 2,801 ppm.
6. Berdasarkan pengukuran CO₂ yang dilakukan, kadar polutan di Baddoka masuk dalam kategori sangat tidak sehat dengan nilai rata-rata kadar polutan CO₂ adalah 3849,197 ppm. Sedangkan kadar polutan di Daya masuk dalam kategori tidak sehat dengan nilai rata-rata kadar polutan CO₂ adalah 1966,763 ppm.

REFERENSI

- [1] Anggraini, N. (2021). Rancang Bangun Sistem Monitoring Kelembaban Tanah dan Udara Berbasis Internet of Things (IoT) dengan WEMOS D1 Mini [Undergraduate thesis, Universitas Sumatera Utara]. Repositori Institusi Universitas Sumatera Utara.
- [2] Asvian, F. (2019). Rancang Bangun Alat Pendeteksi Tidur Menggunakan Sensor Heart Rate Pada Security Guard Berbasis IoT (Internet of Things) [Undergraduate thesis, Institut Bisnis dan Informatika Stikom Surabaya]. Repository Universitas Dinamika.
- [3] Fauzi, E. C., Wahiddin, D., & Kusumaningrum, D. S. (2021). Monitoring Kadar Karbon Monoksida dalam Mobil dengan Sensor MQ-9 Berbasis Arduino. *Scientific Student Journal for Information, Technology and Science*, 2(1), 10–14.
- [4] Ghazali, A. T. (2018). Pengembangan Aplikasi Pemesanan Layanan Kecantikan Berbasis Progressive Web Apps (PWA). [Undergraduate thesis, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah]. Institutional Repository UIN Syarif Hidayatullah Jakarta.
- [5] Gironi, D. (2017, Maret) I Sensori MQ. *Elettronica In*, 85-92.
- [6] Hanwei Electronics. (n.d.). Technical Data MQ-135 Gas Sensor.
- [7] Hanwei Electronics. (n.d.). Technical Data MQ-7 Gas Sensor.
- [8] Ibrahim, A. A. (2018). Carbon Dioxide and Carbon Monoxide Level Detector. 2018 21st International Conference of Computer and Information Technology (ICCIT), (pp. 1–5) <https://doi.org/10.1109/ICCITECHN.2018.8631933>
- [9] Julsam, Sk, R., Kartika, & Mulyadi. (2019). Penggunaan Modul Multiplexer CD74HC4067 Untuk Menambah Input Analog Pada NodeMCU ESP8266. *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*. 3(1), 363-367.
- [10] Lahal, A., & Suharyanto, C. E. (2021). Rancang Bangun Alat Monitoring Polusi Udara Berbasis Arduino. *Computer and Science Industrial Engineering (COMASIE) Journal*. 5(1), 54-63.
- [11] Loggerindo.com. (2018, November 26). Pantau Kadar CO2 Dalam Ruangan untuk Hidup yang Lebih Sehat. <https://loggerindo.com/pantau-kadar-co2-dalam-ruangan-untuk-hidup-yang-lebih-sehat-204>. Accessed: 4-April-2022.
- [12] Malekhi, F. W., Ismail, S. J. I., & Handayani, R. (2020). Pengukuran Kadar Gas Emisi Kendaraan Menggunakan Arduino. *E-Proceeding of Applied Science*. 6(2), 3416–3426.
- [13] Muchidin, Z. (2019). Rancang Bangun Alat Identifikasi Penyakit Diabetes Melitus Melalui Urine Menggunakan Sensor Gas dan Jaringan Syaraf Tiruan. [Undergraduate thesis, Universitas Muhammadiyah Gresik]. UMG Repository.
- [14] Nadzir, A. M. (2021). Sistem Monitoring Gas Karbon Dioksida dan Gas Karbon Monoksida Berbasis NODEMCU ESP 8266. [Undergraduate thesis, Institut Teknologi Telkom Purwokerto]. Repository IT Telkom Purwokerto.
- [15] Pemerintah RI. (2021). Peraturan Pemerintah Republik Indonesia No. 22 Tahun 2021 Tentang Penyelenggaraan Perlindungan dan Pengelolaan Lingkungan Hidup. Jakarta.
- [16] Puspitawati, I. W. (2014, December 31). Polusi udara dan uji emisi gas buang kendaraan bermotor sebagai prasyarat pemberian perpanjangan STNK. <http://bappeda.jogjaprov.go.id/artikel/detail/46-a-polusi-udara-dan-uji-emisi-gas-buang-kendaraan-bermotor-sebagai-prasyarat-pemberian-perpanjgn-stnk>. Accessed: 23-March-2022.
- [17] Raj, A. (2018, February 9). Measuring PPM from MQ Gas Sensors using Arduino (MQ-137 Ammonia). <https://circuitdigest.com/microcontroller-projects/arduino-mq137-ammonia-sensor>. Accessed: 20-May-2022.
- [18] Rochmania, A., Suchyo, I., & Yantidewi, M. (2021). Monitoring Kandungan CO2 di Udara Berbasis IoT Dengan NodeMCU ESP8266 dan Sensor MQ135. *Jurnal Sains dan Pendidikan Fisika*, 17(3), 249–259. <https://doi.org/10.35580/jspf.v17i3.30634>
- [19] Rosa, A. A., Simon, B. A., & Lieanto, K. S. (2020). Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135. *Ultima Computing: Jurnal Sistem Komputer*, 12(1), 23–28. <https://doi.org/10.31937/sk.v12i1.1611>
- [20] Texas Instruments. (2003). High-Speed CMOS Logic 16-Channel Analog Multiplexer/Demultiplexer.