

Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis *Internet of Things*

Hendi Budianto¹, Budi Sumanto^{1*}

¹Departemen Teknik Elektro dan Informatika, Universitas Gadjah Mada; hendi.b@mail.ugm.ac.id

*Korespondensi: budi.sumanto@ugm.ac.id

Abstract – *Indoor air quality is often neglected. People spend most of their time indoors. Maintaining indoor air quality is very important because it can impact the comfort of the environment and the health of the occupants. Humans cannot detect air conditions that can endanger health. This is because most of these gaseous pollutants are difficult for the human sense of smell to perceive. Therefore, a system is needed to monitor the air quality in that room. Currently, indoor air quality monitoring systems are carried out manually by environmental health officers who use measuring devices and take measurements directly on-site. This study aims to design an indoor air quality monitoring system to inform directly and can be used remotely. The system can provide a database management system as a data collector, early warning of poor air quality, and an information provider interface display using the web. The method used in this study is a research and development method that includes the stages of system design, tool manufacture and integration, web-based application design, and system testing. This device comprises sensors, NodeMCU ESP8266, Arduino Uno, and an LCD screen. The results showed that the monitoring system with the website successfully detected several parameters of gas levels (CO₂ and CO), dust particles, temperature, and air humidity. The sensor data can be displayed in real time and stored in a database. Testing using a sample variation of the number of people resulted in the system's performance when the gas concentration was within the sensor's detection range.*

Keywords – *air quality, internet of things, NodeMCU ESP8266, website*

Intisari – Kualitas udara dalam ruangan sering kali diabaikan, padahal manusia menghabiskan sebagian besar waktunya di dalam ruangan. Kualitas udara dalam ruangan sangat penting untuk dijaga karena dapat berdampak pada kenyamanan lingkungan dan kesehatan penghuninya. Manusia yang berada di tempat tersebut tidak dapat mendeteksi kondisi udara yang dapat membahayakan kesehatan. Hal ini disebabkan karena kebanyakan dari polutan gas tersebut sulit dirasakan oleh indra penciuman manusia. Oleh karena itu, diperlukan sistem untuk melakukan pemantauan kualitas udara pada kondisi ruangan tersebut. Saat ini, sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan umumnya masih manual dilakukan oleh petugas kesehatan lingkungan yang menggunakan alat ukur dan melakukan pengukuran secara langsung di lokasi. Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem *monitoring* kualitas udara dalam ruangan untuk menginformasikan secara langsung dan dapat digunakan dari jarak jauh. Sistem dapat menyediakan *database management system* sebagai pengumpul data, peringatan dini buruknya kualitas udara, dan tampilan antarmuka penyedia informasi menggunakan web. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian dan pengembangan yang meliputi tahap desain sistem, pembuatan dan integrasi alat, perancangan aplikasi berbasis web, serta pengujian sistem. Perangkat ini terdiri dari rangkaian sensor, NodeMCU ESP8266, Arduino Uno, dan layar LCD. Hasil penelitian menunjukkan sistem monitoring dengan *website* berhasil mendeteksi beberapa parameter kadar gas (CO₂ dan CO), partikel debu, suhu, dan kelembaban udara. Data kualitas udara yang diperoleh dari sensor dapat ditampilkan secara *real-time* dan tersimpan di *database*. Pengujian dengan menggunakan variasi sampel jumlah orang menghasilkan kinerja dari sistem saat konsentrasi gas berada dalam rentang kemampuan deteksi sensor.

Kata kunci – *kualitas udara, internet of things, NODEMCU ESP8266, website*

I. PENDAHULUAN

Udara merupakan suatu campuran gas yang terdapat pada lapisan yang mengelilingi bumi (atmosfer), yang komposisinya tidak selalu konstan. Udara merupakan komponen lingkungan yang penting dalam kehidupan, sehingga perlu dipelihara dan ditingkatkan kualitasnya [1].

Umumnya, dampak kesehatan yang paling sering terjadi akibat pencemaran udara adalah Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA), termasuk asma, bronkitis, dan gangguan pernapasan lainnya. Jika kualitas udara dalam ruangan buruk, maka gangguan kesehatan dan kenyamanan lingkungan akan mempengaruhi kinerja dari setiap individu yang berada di dalam ruangan tersebut. Oleh karena itu, menjaga kualitas udara dalam ruangan harus menjadi perhatian agar dapat menciptakan lingkungan yang sehat dan nyaman untuk ditinggali [2].

Kualitas udara yang memenuhi standar kesehatan sangat penting bagi kesehatan fisik makhluk hidup dan merupakan faktor penting dalam menciptakan lingkungan yang sehat. Udara yang dihirup mengandung oksigen yang sangat penting bagi kelangsungan hidup, namun juga terdapat zat lain seperti karbon monoksida, karbon dioksida, formaldehid, jamur, virus, bakteri, debu, dan lain sebagainya. Terkadang oksigen di dalam maupun luar ruangan dapat terkontaminasi oleh zat-zat berbahaya, yang dalam batasan tertentu masih dapat dinetralisasi namun jika melebihi batas normal, zat-zat tersebut dapat menyebabkan masalah kesehatan. World Health Organization (WHO) menyatakan bahwa beberapa zat berbahaya yang berasal dari bangunan, material konstruksi, peralatan, proses pembakaran atau pemanasan dapat memicu masalah kesehatan.

Upaya penanggulangan kualitas udara yang buruk di dalam ruangan salah satu aspek yang perlu dilakukan secara

berkelanjutan oleh semua pihak karena dampaknya dapat mengganggu kesehatan. Oleh karena itu, dibutuhkan pedoman pengaturan penyehatan udara dalam ruang rumah sebagai acuan bagi pemilik rumah, penghuni, pengembang perumahan, dan pemerintah dalam upaya penyehatan kualitas udara dalam ruang rumah. Pedoman tersebut mencakup persyaratan kualitas udara, dampak, faktor risiko, upaya penyehatan udara, serta tata laksana pengawasan kualitas udara dalam ruangan. Pemantauan kualitas udara di dalam rumah sering dilakukan oleh petugas kesehatan lingkungan di Puskesmas dan dinas kesehatan tingkat kabupaten atau kota [3].

Saat ini, pengukuran kualitas udara di dalam ruangan dilakukan oleh petugas kesehatan dengan membawa alat ukur dan melakukan pengukuran langsung di lokasi. Salah satu cara untuk mengatasi dampak buruk pencemaran udara pada kesehatan yaitu dengan menerapkan sistem peringatan dini atau pemantauan terhadap kualitas udara [4]. Oleh karena itu, dibutuhkan pengembangan sistem monitoring kualitas udara berbasis *internet of things* (IoT) agar data terkini dapat tersedia bagi petugas kesehatan atau pengguna. Dengan sistem ini, petugas kesehatan lingkungan hanya perlu datang sekali ke lokasi untuk memasang alat dan dapat memonitor hasil pengukuran dari jarak jauh dan *real-time* melalui situs web yang tersedia. Beberapa penelitian sebelumnya, telah dirancang sebuah sistem pemantauan tingkat kualitas udara, yang meliputi CO₂, debu, asap, CO, dan H₂. Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi kualitas udara, sensor MG-811 untuk mendeteksi karbon dioksida (CO₂), sensor debu untuk mendeteksi partikel PM 2.5, sensor MQ-2 untuk mendeteksi asap, sensor MQ-9 untuk mendeteksi karbon monoksida (CO), dan sensor MQ-8 untuk mendeteksi hidrogen (H₂). Mikrokontroler yang digunakan ialah ESP32 sebagai pengendali utamanya. Data dari sensor dikirim secara *real-time* ke *smartphone* Android melalui modul Bluetooth ESP32, dan ditampilkan dalam sebuah aplikasi monitoring [5].

Rm. Fa'iq dalam penelitiannya membahas mengenai kualitas udara di dalam ruangan dapat ditentukan berdasarkan beberapa parameter, antara lain suhu, kelembapan, konsentrasi polutan udara seperti karbon monoksida, karbon dioksida, dan lain-lain, serta partikel debu atau *particulate matter* (PM) yang ada di udara. Untuk memantau dan mengevaluasi kualitas udara di dalam ruangan, diperlukan sistem pemantau *indoor air quality* (IAQ). Sistem ini membantu dalam mendeteksi dan mengevaluasi kondisi udara di dalam ruangan sehingga dapat menentukan tingkat kualitas udara yang ada. Agar data lebih mudah dianalisis dan diakses, ESP32 *node* sensor yang terdiri dari beberapa sensor akan mengirimkan data melalui protokol MQTT. Data tersebut akan dikirim ke *virtual private server* (VPS) dan disimpan dalam sebuah basis data. Untuk memvisualisasikan data dengan lebih baik, digunakan sebuah *tool* bernama *metabase* yang terhubung dengan basis data [6].

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Grace C. Rumampuk dkk., penanggulangan pencemaran udara dapat dilakukan dengan mengukur kualitas udara dan

mengategorikannya. Namun, memonitor kualitas udara secara manual dalam ruangan tidaklah efektif. Oleh karena itu, melalui penelitian ini telah dirancang sebuah sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan yang dapat memberikan informasi secara *real-time* dengan menggunakan sensor MQ135 untuk mendeteksi kualitas udara, MG811 untuk mendeteksi CO₂, sensor debu untuk mendeteksi partikel PM2.5, sensor MQ2 untuk mendeteksi asap, sensor MQ9 untuk mendeteksi CO, sensor MQ8 untuk mendeteksi H₂, serta menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem yang dibuat akan mendeteksi polusi dan hasil bacaan sensor secara *real-time* akan dikirim melalui modul Wi-Fi ke *platform IoT online value of real time data* (OvoRD) dan ditampilkan dalam bentuk web [7].

Menurut Faiazuddin kualitas udara yang buruk menjadi perhatian utama di daerah perkotaan. Lebih dari 85% orang terpapar dengan risiko tinggi dari suatu masalah tertentu. Menurut WHO orang semakin sadar untuk memantau kondisi kualitas udara, mengawasi kesehatan mereka dengan berfokus pada lingkungan di mana mereka menghabiskan sebagian besar waktu, seperti di rumah, sekolah, dan dalam mobil. Komunikasi antara sensor dan Raspberry Pi4 menggunakan protokol komunikasi *port serial* dan program diimplementasikan dalam pemrograman Python. Sebagian besar parameter lingkungan yang akan dipantau meliputi volume CO, CO₂, suhu, kelembaban, kebocoran gas, asap, sensor suhu, dan lainnya. Informasi parameter ini dapat diterima oleh Raspberry Pi4 dan Arduino Uno, kemudian diolah dan ditransmisikan ke *cloud* secara terus-menerus. Informasi akan terus dipantau dan disimpan dalam *database cloud* [8].

Pada beberapa penelitian terkait, aplikasi informasi hanya menampilkan nilai satuan dari zat-zat yang dipantau [9][10], berbeda dengan beberapa penelitian sebelumnya, penelitian tersebut tidak memberikan sistem alarm peringatan penurunan kualitas udara di mana hal ini dapat menjadi informasi yang bermanfaat untuk pengguna dalam menjaga lingkungan agar tetap sehat. Selain itu, pada sistem ini tersedia fitur untuk mencetak data dalam berbagai format, seperti CSV, PDF, *spreadsheet* (.xlsx), atau menyalin data secara langsung. Fitur ini membuatnya lebih praktis dan terdapat berbagai macam jenis format *file* menyesuaikan kebutuhan dalam memperoleh data.

Pada penelitian ini dirancang sebuah prototipe yang dipasang dalam ruangan untuk monitoring kualitas udara berbasis IoT. Alat ini dapat mengukur beberapa parameter kualitas udara yang meliputi suhu, kelembaban, karbon monoksida, karbon dioksida, dan partikel debu. Data dari setiap sensor diolah oleh Arduino Uno, kemudian data tersebut dikirimkan ke NodeMCU ESP8266 melalui komunikasi serial. Selanjutnya informasi pemantauan akan dikirimkan ke sebuah *website* melalui jaringan internet mengambil data yang terkumpul pada server *database*. Data-data sensor juga ditampilkan pada LCD agar dapat dilihat secara langsung hasil pembacaan kualitas udara di lokasi. Data dapat diunduh dengan ekspor dokumen dari *database* ke

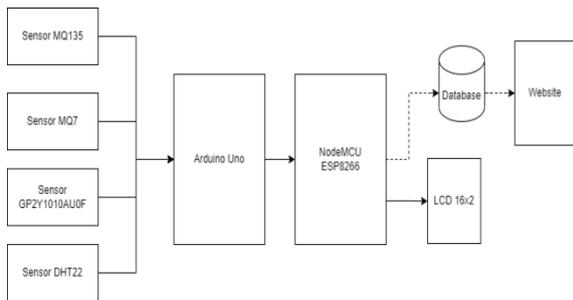
dalam format *file excel*, *CSV*, *PDF*, atau data *copy*. Sistem ini dilengkapi notifikasi peringatan pada website sebagai indikator pencemaran udara, digunakan dalam upaya memberikan pesan kepada pengguna bahwa kualitas udara di sekitar berbahaya.

II. METODOLOGI

Dalam tahap perancangan sistem, terdapat dua aspek yang perlu diperhatikan yaitu perancangan *hardware* dan *software*. Perancangan *hardware* berkaitan dengan kebutuhan elektronis dan mekanis yang diperlukan, sementara perancangan *software* berkaitan dengan pemrograman yang digunakan dalam pembuatan sistem dan *website*.

A. Perancangan Sistem

Gambar 1 menunjukkan proses sistem mulai dari *input* hingga *output*. Pada diagram ini menunjukkan garis solid dan garis putus-putus. Garis solid menunjukkan terhubung langsung melalui kabel pada *hardware*. Garis putus-putus menggambarkan hubungan sistem dengan nirkabel atau *wireless*. Sistem *monitoring* kualitas udara ini terdiri dari sistem pengukuran, sistem *database*, dan sistem antarmuka data seperti yang terlihat pada blok diagram sistem. Sistem pengukuran terdiri dari beberapa sensor yaitu sensor gas MQ-135, sensor MQ-7, sensor debu GP2Y1010AU0F, sensor suhu dan kelembaban DHT-22. Bagian sistem pengukuran yang terdiri beberapa sensor tersebut kemudian dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno. Mikrokontroler ini berfungsi sebagai penerima data, pengelola sistem, dan pemroses data analog ke digital dengan menggunakan program ADC hingga mengubahnya menjadi nilai ppm lalu diintegrasikan melalui komunikasi serial ke NodeMCU ESP8266 melalui pin Tx untuk selanjutnya terhubung dengan internet.

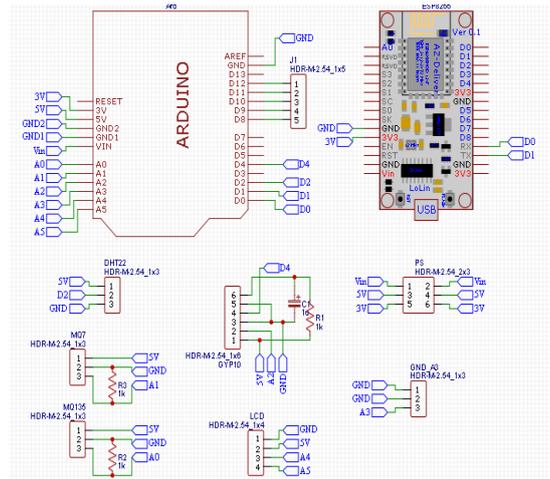


Gambar 1. Blok diagram sistem

Hasil pembacaan oleh NodeMCU ESP8266 kemudian dikirimkan ke sistem *database* MySQL pada komputer server melalui koneksi Wi-Fi yang tersedia dalam *device*. Sistem *database* yang telah dibuat digunakan dalam menerima data hasil pengukuran, dengan tabel yang tersusun pada MySQL di komputer server. Data yang tersimpan nantinya dapat diakses oleh pengguna melalui situs jaringan, sehingga informasi pada sistem *database* dapat diakses oleh pengguna melalui antarmuka *website*.

B. Perancangan Hardware

1) *Perancangan Elektronis*: Suplai dari sistem menggunakan adaptor dengan keluaran tegangan 5 VDC dan arus *output* sebesar 2 A. Perancangan *hardware* ini menggunakan mikrokontroler Arduino Uno dan NodeMCU ESP8266 untuk mendapatkan data dari sensor gas MQ-135, sensor MQ-7, sensor GP2Y1010AU0F, sensor suhu dan kelembaban DHT-22. Pada pin Rx dan Tx pada ESP8266 dihubungkan dengan pin Rx dan Tx pada Arduino Uno sebagai jalur akses melalui komunikasi serial di antara keduanya. Masing-masing pin sensor dihubungkan dengan mikrokontroler Arduino Uno.



Gambar 2. Rancangan skematik PCB

2) *Perancangan Mekanik*: Tujuan dari perancangan ini adalah untuk membuat *casing* sebagai wadah meletakkan seluruh komponen yang telah dipasang pada PCB, perancangan mekanik digunakan bahan akrilik sebagai bahan penyusunnya. Selain itu dengan rancangan mekanik dapat mempermudah pengecekan alat ketika melakukan *troubleshooting* serta mudah untuk digunakan. Hasil rancangan alat dapat ditunjukkan pada Gambar 3.

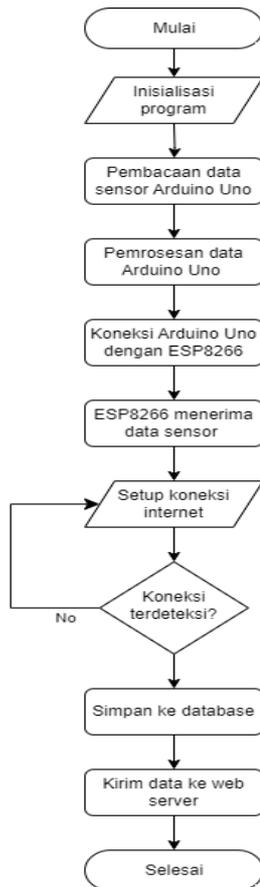


Gambar 3. Hasil perancangan alat

C. Perancangan Software

Sistem ini memerlukan perancangan *software* untuk mengontrol *hardware* yang telah dirancang dan membentuk sistem sesuai dengan kebutuhan, serta untuk membangun *website*. Program bertujuan untuk memberikan perintah dan

melakukan pembacaan data dari dan ke perangkat keras untuk menjalankan sistem. Perancangan perangkat lunak terdiri dari tiga bagian, yaitu perancangan program mikrokontroler menggunakan *software* Arduino IDE, perancangan *database* menggunakan *software* XAMPP untuk mengelola *database* [11], dan perancangan web menggunakan *text editor* Visual Studio Code untuk pembuatan program HTML, CSS, JavaScript, PHP dengan *framework bootstrap*. Cara kerja sistem secara garis besar ditunjukkan melalui *flowchart* pada Gambar 4.



Gambar 4. *Flowchart* cara kerja sistem

D. Pengembangan IoT

Pengembangan *IoT* meliputi pembuatan website beserta integrasi *database* menggunakan bahasa pemrograman HTML, PHP, *query* dengan *software* XAMPP MySQL. *Database* yang digunakan pada proyek ini adalah *database* MySQL yang berada pada *software* *phpmyadmin* komputer server. Perancangan *database* pertama dengan pembuatan *database* baru pada MySQL terdapat tabel yang terdiri dari kolom yang mana merupakan bagian tetap dan baris merupakan bagian sementara seiring dengan bertambahnya data yang masuk pada tabel. Melalui internet melakukan pengambilan data dari *database* di dalam komputer server dengan menggunakan *query* pada *script* PHP.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Database

Pengujian *database* sistem bertujuan untuk mengetahui performa media penyimpanan dan pengiriman data oleh mikrokontroler. Pengujian meliputi pengecekan waktu respons *database* dalam menerima dan menyimpan data yang dikirim. Hasil pengujian *database* ditampilkan pada Gambar 5.

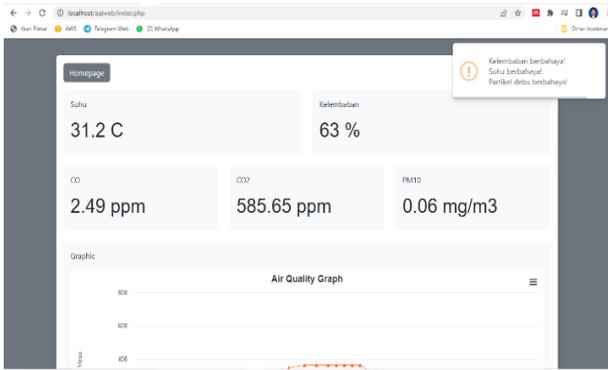
	id	suhu	kelembaban	mq2	mq135	pm10	tanggal	waktu
Ubah Salin Hapus	1	29.9	67.6	2.55	1768.68	0.15	2023-07-15	10:38:29
Ubah Salin Hapus	2	29.9	67.6	2.57	1916.92	0.15	2023-07-15	10:38:45
Ubah Salin Hapus	3	29.9	67.6	2.55	1879	0.14	2023-07-15	10:39:04
Ubah Salin Hapus	4	30	67.3	2.57	1841.66	0.13	2023-07-15	10:39:20
Ubah Salin Hapus	5	29.9	67.2	2.6	1804.89	0.14	2023-07-15	10:39:37
Ubah Salin Hapus	6	29.9	67.3	2.57	1879	0.14	2023-07-15	10:39:55
Ubah Salin Hapus	7	29.9	67.4	2.57	1768.68	0.13	2023-07-15	10:40:12
Ubah Salin Hapus	8	29.9	67.6	2.57	1879	0.15	2023-07-15	10:40:29
Ubah Salin Hapus	9	29.9	67.6	2.54	1804.89	0.14	2023-07-15	10:40:47
Ubah Salin Hapus	10	29.9	67.5	2.55	1955.42	0.14	2023-07-15	10:41:04
Ubah Salin Hapus	11	29.9	67.6	2.57	1916.92	0.13	2023-07-15	10:41:21
Ubah Salin Hapus	12	29.9	67.7	2.55	1955.42	0.15	2023-07-15	10:41:38
Ubah Salin Hapus	13	29.9	67.6	2.54	1879	0.15	2023-07-15	10:41:55
Ubah Salin Hapus	14	29.9	67.7	2.54	1916.92	0.13	2023-07-15	10:42:12
Ubah Salin Hapus	15	29.9	67.3	2.54	1994.5	0.14	2023-07-15	10:42:29
Ubah Salin Hapus	16	29.9	67.6	2.52	1841.66	0.14	2023-07-15	10:42:47
Ubah Salin Hapus	17	29.9	67.5	2.54	1841.66	0.13	2023-07-15	10:43:04

Gambar 5. Pengujian *database*

Dari pengujian ini, diperoleh bahwa server *database* MySQL berhasil menyimpan data yang dikirim oleh mikrokontroler dengan ditunjukkan data yang masuk pada MySQL sesuai yang terlihat pada Gambar 7 dan data ini yang kemudian akan ditampilkan secara *real-time* pada web. Data kualitas udara dari alat dikirimkan ke *database* MySQL dengan menggunakan jaringan Wi-Fi. Proses pengiriman data dari alat ke *database* dilakukan setiap 17 detik. Hasil pengujian *database* dan pengujian web dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7.

	id	suhu	kelembaban	mq2	mq135	pm10	tanggal	waktu
Ubah Salin Hapus	262	31.2	63.5	2.23	516.14	0.06	2023-07-19	14:28:54
Ubah Salin Hapus	263	31.2	62.8	2.24	516.14	0.06	2023-07-19	14:29:10
Ubah Salin Hapus	264	31.2	63.6	2.25	516.14	0.06	2023-07-19	14:29:26
Ubah Salin Hapus	265	31.2	63.1	2.24	516.14	0.06	2023-07-19	14:29:42
Ubah Salin Hapus	266	31.1	63.3	2.21	516.14	0.06	2023-07-19	14:29:58
Ubah Salin Hapus	267	31.2	63.3	2.23	494.42	0.05	2023-07-19	14:30:14
Ubah Salin Hapus	268	31.2	63.3	2.23	505.19	0.06	2023-07-19	14:30:30
Ubah Salin Hapus	269	31.2	63.1	2.2	516.14	0.06	2023-07-19	14:30:47
Ubah Salin Hapus	270	31.2	62.6	2.17	505.19	0.05	2023-07-19	14:31:03
Ubah Salin Hapus	271	31.2	62.9	2.21	516.14	0.04	2023-07-19	14:31:19
Ubah Salin Hapus	272	31.2	62.9	2.28	527.27	0.07	2023-07-19	14:31:35
Ubah Salin Hapus	273	31.2	63.1	2.34	527.27	0.08	2023-07-19	14:31:52
Ubah Salin Hapus	274	31.1	62.8	2.34	494.42	0.05	2023-07-19	14:32:08
Ubah Salin Hapus	275	31.2	63.4	2.49	585.65	0.06	2023-07-19	14:32:24
Ubah Salin Hapus	276	31.2	63.3	2.64	610.33	0.07	2023-07-19	14:32:40
Ubah Salin Hapus	277	31.2	63.6	2.67	561.74	0.07	2023-07-19	14:32:56

Gambar 6. Hasil pengujian *database*



Gambar 7. Hasil pengujian pengiriman data database dengan website

Gambar 6 merupakan tabel hasil data pengujian database yang meliputi data suhu, kelembaban, dan waktu. Sedangkan, Gambar 7 terlihat beberapa fitur pada sistem telah ditambahkan dari rancangan awal website. Beberapa fitur tersebut mencakup alarm notifikasi untuk memberikan peringatan terhadap indikasi pencemaran udara.

B. Pengujian Komunikasi Website dengan Sistem

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui keberhasilan pengiriman data dari sistem dengan web. Skema pengiriman data dari alat dengan web dapat ditunjukkan pada Gambar 8.



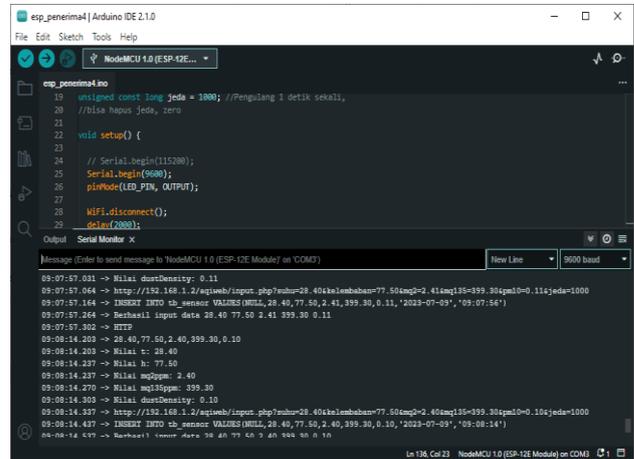
Gambar 8. Alur pengiriman data dari alat dengan web

Pada Gambar 8 menunjukkan alur pengujian komunikasi data bertujuan untuk memastikan bahwa data yang dihasilkan oleh sensor dapat terkirim tanpa kehilangan data oleh mikrokontroler dengan program yang telah di-upload dan disimpan secara lengkap dalam database MySQL. Komunikasi data dilakukan melalui koneksi internet menggunakan Wi-Fi yang disediakan oleh modul NodeMCU ESP8266. Untuk pengujian, dilakukan pengujian koneksi antara NodeMCU ESP8266 dengan pengiriman paket data melalui terminal serial monitor dan penerimaan data secara real-time oleh website. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan provider jaringan internet Indihome.

Hasil pembacaan data-data sensor yang terdapat pada website sesuai pada database, pada Gambar 9 menunjukkan berhasil ditampilkan sesuai dengan pada layar LCD alat. Waktu pengiriman data dari layar LCD dengan web berkisar antara 17 detik. Pengujian pengiriman data sensor dari alat via terminal serial monitor dapat dilihat pada gambar 9 berikut ini.

Pada Gambar 9, data monitoring dari alat dikirimkan ke website melalui url HTTP dengan menggunakan jaringan Wi-Fi. NodeMCU ESP8266 sebagai perangkat untuk terhubung dengan internet sehingga dapat mengirimkan data. NodeMCU ESP8266 akan melakukan pencarian jaringan Wi-Fi yang akan digunakan untuk proses pengiriman data. Untuk

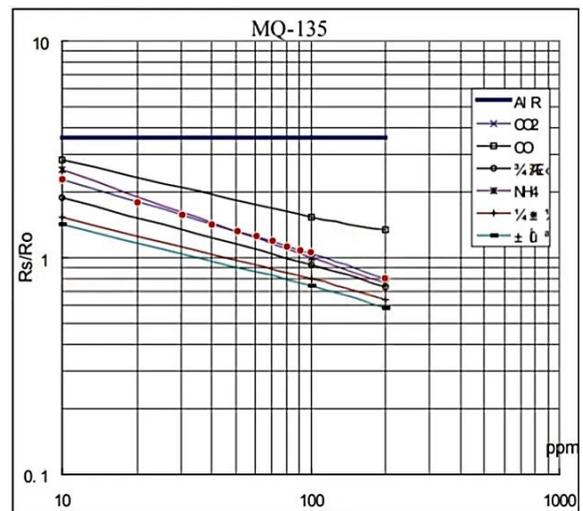
melakukan hal ini, SSID (nama jaringan) dan password jaringan Wi-Fi yang digunakan harus sesuai dengan yang telah ditentukan dalam syntax pada Arduino IDE. Selanjutnya, data sensor akan disimpan dalam database MySQL. Berikutnya data akan dikirimkan ke web dan data diperbarui setiap 17 detik.



Gambar 9. Hasil pengiriman data via serial monitor

C. Kalibrasi Sensor

Sebelum dilakukan pengukuran kualitas udara, perlu dilakukan uji kalibrasi dengan variasi konsentrasi gas dalam satuan ppm. Nilai pembacaan sistem akan dibandingkan dengan nilai yang tercatat dalam datasheet dari sensor. Tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk memastikan hasil pengukuran sesuai dengan standar yang diinginkan yakni mengubah satuan pembacaan nilai analog menjadi part per milion (ppm).



Gambar 10. Grafik karakteristik sensitivitas gas sensor MQ135 [12]

Grafik sensitivitas pada Gambar 10 digunakan dalam menentukan titik perpotongan x dan y, menunjukkan hubungan antara ppm dengan Rs/Ro. Berdasarkan grafik tersebut nantinya digunakan dalam program Arduino untuk kalibrasi. Titik-titik perpotongan hubungan antara x dan y ini

diletakkan pada garis sesuai konsentrasi gas yang akan diidentifikasi. Grafik menggunakan skala log-log dengan skala linier. Konsentrasi data gas terdapat dalam rentang antara 10 ppm hingga 200 ppm.

Sensor gas MQ135 ini berfungsi untuk mengidentifikasi keberadaan gasCO₂, yang ditandai dengan garis berwarna biru beserta titik pada *datasheet*. Konsentrasi perilaku gas relatif terhadap hambatan eksponensial dan korelasi antara perbandingan resistansi dan konsentrasi gas menunjukkan pola linier. Langkah pertama dalam kalibrasi sensor yaitu melakukan penentuan nilai Ro di udara bersih melalui (1).

$$Ro = \frac{Rs}{\text{nilai maksimal sensitivitas udara di ruang hampa}} \quad (1)$$

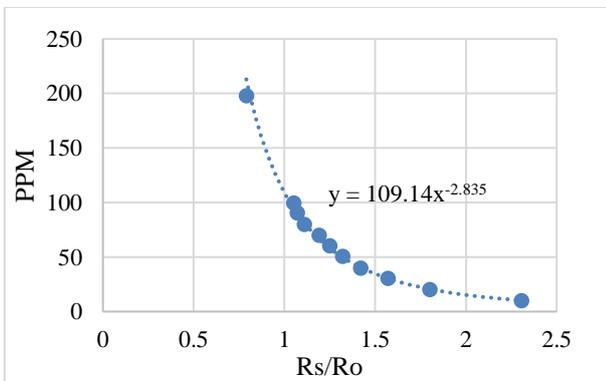
Untuk menghitung nilai Ro diperlukan nilai Rs pada kondisi ruang dalam keadaan kosong atau udara bersih. Hal ini dapat dilakukan dengan mengambil rata-rata pembacaan analog (nilai ADC) dari sensor dan mengonversinya menjadi tegangan. Selanjutnya, rumus Rs dapat digunakan untuk mencari nilai Ro. Dapat diketahui ketika sensor bekerja pada udara bebas nilai Rs/Ro adalah 3.6 ppm.

Ro adalah resistansi sensor pada konsentrasi yang diketahui tanpa adanya gas lain atau dalam kondisi ruang hampa. Sedangkan Rs adalah resistansi sensor yang berubah tergantung pada konsentrasi gas. Nilai Rs ini yaitu perhitungan dari resistansi referensi di mana nilai didapatkan dari (2) dan (3).

$$VRL = \text{analogValue} \times \left(\frac{5}{1023}\right) \quad (2)$$

$$Rs = \left(\frac{Vc \times RL}{VRL}\right) - RL \quad (3)$$

Nilai Ro yang telah diperoleh akan dimasukkan ke dalam program dengan memilih nilai Ro yang sering muncul atau konstan dan memiliki nilai tertinggi. Data nilai perpotongan tersebut dimasukkan ke dalam tabel menggunakan bantuan tools Ms Excel untuk mendapatkan persamaan nilai ppm, data terlihat pada Gambar 11 dalam bentuk plot grafik hubungan Rs/Ro dengan PPM.



Gambar 11. Grafik hubungan Rs/Ro dengan PPM

Selanjutnya adalah menentukan nilai ppm. Melalui data-data yang diperoleh dari titik perpotongan antara x dan y pada

grafik karakteristik sensor pada Gambar 10, selanjutnya digunakan untuk mencari nilai ppm. Tabel 1 menunjukkan data titik perpotongan antara x dan y grafik karakteristik sensor.

Tabel 1 Hasil pengukuran titik x dan y

x	y
10	2,306
20,04	1,8
30,32	1,57
39,84	1,42
50,53	1,32
60,27	1,25
70	1,19
79,88	1,11
90,36	1,07
99,56	1,05
197,86	0,79

Sebagai contoh, misal ada 20 ppm akan digunakan untuk menghitung besar nilai Rs/Ro, maka perhitungannya ialah sebagai berikut.

$$y = 109,14x^{-2.83}$$

$$20 = 109,14x^{-2.83}$$

$$x^{-2.83} = \frac{20}{109,14}$$

$$x^{-2.83} = 0,18$$

$$x = \sqrt[-2.83]{0,18}$$

$$x = 1,83$$

Setelah nilai x diperoleh maka didapatkan nilai Rs/Ro sehingga dapat digunakan untuk mencari Ro. Ganti Rs sesuai dengan persamaan.

$$\frac{Rs}{Ro} = 1,83$$

$$Rs = 1,83 \times Ro$$

$$\frac{Rs}{1,83} = Ro$$

$$Ro = \frac{Rs}{1,83}$$

Untuk mencari Ro menurut *datasheet* nilai referensi (Rs) pada sensor MQ-135 terletak pada 30KΩ - 200KΩ, digunakan nilai 30KΩ sehingga nilai Ro yaitu.

$$Ro = \frac{Rs}{1,83}$$

$$Ro = \frac{30000}{1,83} = 16,393\Omega$$

Sehingga untuk menghasilkan nilai ppm digunakan persamaan pada program seperti berikut.

$$ppm = 109,14 * pow(Rs / Ro, -2,83);$$

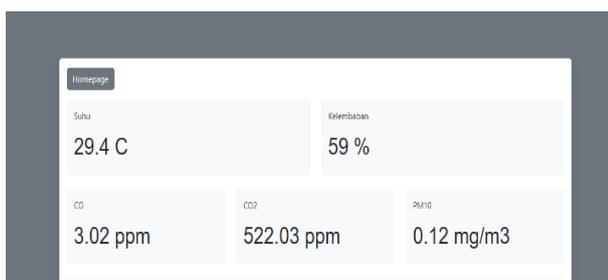
D. Pengujian Website

Pada pengujian *website*, fokusnya adalah menguji kinerja tampilan *website* yang langsung dilihat oleh pengguna saat mengakses *website* monitoring kualitas udara. Pengujian ini terdiri dari dua bagian, meliputi halaman *dashboard* dan halaman *monitoring*. Pengujian dilakukan dengan uji coba fungsi dari setiap menu yang ada pada *dashboard website* dan pengujian data yang ditampilkan pada halaman *monitoring web* yang tersimpan pada *database*. Pengujian *dashboard* ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Pengujian tampilan web *dashboard*

Selanjutnya, halaman *monitoring* pada Gambar 13 menunjukkan data-data kualitas udara yang diperoleh dari pembacaan sensor secara *real-time* dan juga dapat melihat data sebelumnya. Pengguna hanya dapat melakukan *monitoring* terhadap kualitas udara, dan tidak dapat melakukan perubahan data pada halaman ini. Pada halaman ini, terdapat beberapa fitur utama yang disajikan, termasuk tampilan *monitoring* beberapa macam parameter seperti nilai suhu, kelembaban, konsentrasi gas CO dan CO₂, partikel debu, dan juga notifikasi peringatan jika terdeteksi indikasi pencemaran udara.



Gambar 13. Pengujian tampilan halaman *monitoring*

Tujuan pengujian ini adalah untuk melihat pembaruan pembacaan data dari sensor ke web server. Data sensor yang telah diolah oleh ESP8266 akan dikirimkan ke web server menggunakan protokol transmisi data HTTP untuk disimpan pada *database*. Pada *website*, data akan diperbarui setiap 17 detik pada setiap *field*. Fungsi yang diharapkan adalah bahwa server dapat menyimpan data sensor dan *field* dapat menampilkan data tersebut. Grafik yang ditampilkan pada *website* akan menunjukkan riwayat data dari sensor yang

diamati. Data yang ditampilkan pada *website* sama dengan data yang ditampilkan pada serial monitor di Arduino IDE.

Berdasarkan hasil pengujian, sistem berhasil mengirimkan data dari sensor ke *website*. Data tersebut kemudian ditampilkan pada halaman web dalam bentuk angka, grafik, dan tabel. Setelah pengujian terhadap *front-end website*, dapat dipastikan bahwa rancangan *website* dapat berfungsi dengan baik. *Website* dapat diakses dari berbagai perangkat, mampu melakukan pemantauan jarak jauh, dan menampilkan data *monitoring* seperti Gambar 14.

No	Suhu	Kelembaban	CO	CO2	pm10	Tanggal	Waktu
439	29.4	59.8	3.02	522.03	0.12	2023-07-20	15:48:48
438	29.3	59.1	3.02	510.42	0.03	2023-07-20	15:48:31
437	29.3	59.7	3.02	510.42	0.12	2023-07-20	15:48:15
436	29.4	59.3	3.02	522.03	0.05	2023-07-20	15:47:59
435	29.4	59.2	3	522.03	0.08	2023-07-20	15:47:43
434	29.3	59.2	3.02	510.42	0.09	2023-07-20	15:47:26
433	29.3	59.2	3.02	522.03	0.07	2023-07-20	15:47:10
432	29.4	59.7	3.02	522.03	0.12	2023-07-20	15:46:54
431	29.4	59.4	3.02	522.03	0.07	2023-07-20	15:46:37
430	29.4	59.4	3.02	522.03	0.06	2023-07-20	15:46:21

Gambar 14. Tampilan data *table web*

Selain itu, hasil pengukuran yang disimpan dalam *database* kemudian ditampilkan di *website* pengguna memiliki pilihan untuk mengekspor data dalam berbagai format, seperti CSV, PDF, *spreadsheet* (.xlsx), atau menyalin data langsung untuk pengolahan lebih lanjut. Fitur notifikasi juga telah ditambahkan pada halaman *monitoring* untuk memberikan peringatan terkait pencemaran udara. Jika nilai tiap parameter zat melebihi batas yang telah ditentukan maka notifikasi sebagai tanda peringatan aktif. Sistem ini memungkinkan pengguna untuk mendeteksi apabila terjadi masalah kualitas udara di suatu lokasi.

E. Pengujian Sensor

Pada penelitian ini, tidak dimungkinkan untuk melakukan kalibrasi sensor karena tidak tersedia alat standar yang dapat digunakan. Kalibrasi dilakukan berdasarkan *datasheet*. Oleh karena itu, tahap pengujian sensor ini bertujuan untuk mengamati hasil pengukuran yang diperoleh dari tiap sensor ketika ditempatkan dalam kondisi lingkungan yang berbeda dari satu pengujian ke pengujian lainnya. Dengan melakukan pengujian ini, diharapkan sensor dapat memberikan respons yang berbeda terhadap kondisi lingkungan yang berbeda, sehingga menunjukkan bahwa perancangan sensor telah berfungsi dengan baik.

1) *Pengujian Sensor DHT22*: Sensor yang digunakan dalam pengukuran ini adalah jenis sensor digital, sehingga tidak memerlukan penggunaan ADC atau komponen tambahan lainnya. Penggunaannya cukup dengan memanggil *library* yang telah disediakan dan hasil pengukuran dapat langsung ditampilkan. Akurasi pengukuran sensor terhadap kelembaban udara dapat ditemukan dalam *datasheet* sensor. Pada *datasheet* sensor DHT22, akurasi pengukuran

kelembaban adalah $\pm 5\%$ dengan rentang pengukuran antara 20% hingga 95%. Sedangkan untuk pengukuran temperatur suhu, sensor ini memberikan akurasi pengukuran sekitar 2°C dengan rentang pengukuran suhu 0°C hingga 50°C . Hasil pengujian sensor untuk pengukuran suhu dan kelembaban ditampilkan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pengujian sensor DHT22

Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban (%)	Waktu
28	67	9.00-9.10
28	67	9.00-9.05
28	67	8.00-9.00
28	67	8.00-8.50
28	68	8.00-8.45
28	67	8.00-8.40
28	67	8.00-8.35
28	68	8.00-8.30

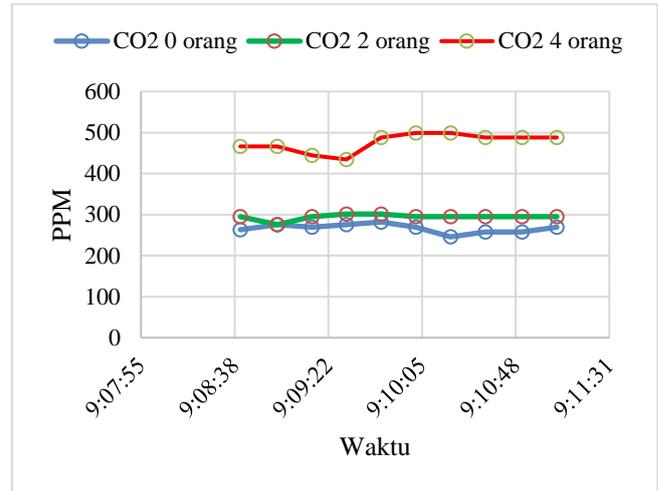
Berdasarkan hasil pengujian yang tercantum pada Tabel 2, sensor DHT-22 yang digunakan telah berfungsi dengan baik dalam pengukuran suhu dan kelembaban udara di sekitar lingkungan ruangan.

2) *Pengujian Sensor MQ*: Pengujian ini bertujuan untuk mengobservasi perubahan respons sensor jenis MQ yang digunakan, yaitu MQ-7 dan MQ-135, terhadap variasi lingkungan pengujian. Pengujian dilakukan dengan menciptakan kondisi yang dapat menghasilkan perbedaan konsentrasi gas CO dan CO_2 . Dalam pengujian ini, variasi dilakukan dengan mengubah jumlah partisipan sebagai sumber perubahan konsentrasi gas. Hal ini akan menjadi pemicu untuk mengamati perubahan respons sensor terhadap konsentrasi gas yang diamati sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 15, Gambar 16 dan Gambar 17.

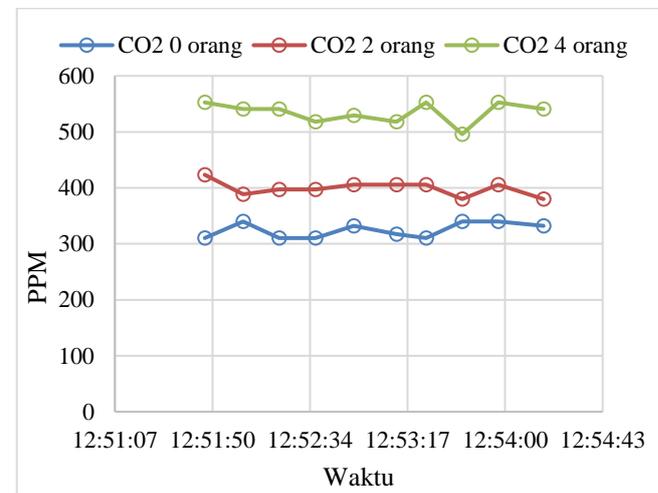
Gambar 15, Gambar 16, dan Gambar 17 menunjukkan hasil respons sensor terhadap tiga kondisi dalam pengambilan data yaitu tanpa ada orang, terdapat dua orang, dan empat orang pada waktu pagi, siang, serta malam hari. Dari plot grafik tersebut dapat diketahui bahwa sensor mampu merekam data yang melalui proses pengondisian berdasarkan jumlah orang. Proses pencatatan data membutuhkan waktu sekitar 15 detik – 17 detik. Terlihat bahwa konsentrasi CO_2 yang dihasilkan oleh sensor cenderung mengalami kenaikan seiring dengan peningkatan jumlah orang.

Parameter meteorologi seperti kecepatan angin, fluktuasi suhu udara, tingkat curah hujan, dan kelembaban sekitar dapat mempengaruhi pembacaan konsentrasi CO_2 oleh sensor MQ135 yang digunakan dalam sistem pemantauan [13].

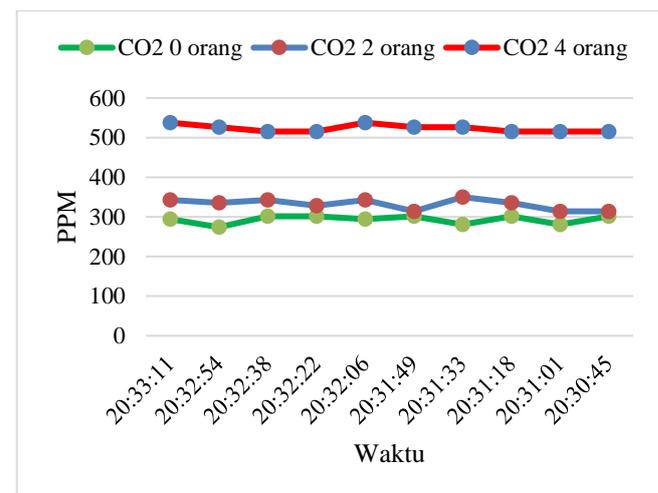
Konsentrasi gas yang diamati pada grafik yaitu konsentrasi CO_2 karena terlihat paling signifikan perbedaannya. Konsentrasi CO_2 di dalam ruangan dipengaruhi oleh jumlah manusia yang berada di dalamnya. Semakin banyak manusia di dalam ruangan, semakin tinggi konsentrasi CO_2 yang dihembuskan sehingga terjadi peningkatan konsentrasi CO_2 di udara dari aktivitas pernapasan [14].



Gambar 15. Grafik perbandingan konsentrasi CO₂ pagi



Gambar 16. Grafik perbandingan konsentrasi CO₂ siang



Gambar 17. Grafik perbandingan konsentrasi CO₂ malam

3) *Pengujian Sensor GP2Y1010AU0F*: Pengujian ini dilakukan untuk mengevaluasi performa sensor debu yang digunakan. Pengujian melibatkan pengukuran kadar partikel debu dengan memasukkan benda dengan ketebalan yang bervariasi ke dalam lubang sensor. Berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 3, sensor debu yang dirancang mampu memberikan hasil pengukuran yang berbeda saat diberikan sampel dengan ketebalan yang bervariasi.

Tabel 3. Hasil pengujian sensor debu

pm10	waktu
0,10	9.00-9.10
0,10	9.00-9.05
0,08	8.00-9.00
0,10	8.00-8.50
0,08	8.00-8.45
0,08	8.00-8.40
0,11	8.00-8.35
0,08	8.00-8.30

Meskipun proses kalibrasi tidak dapat dilakukan dalam penelitian ini, kriteria keberhasilan pengukuran partikel debu dapat diketahui melalui perbedaan hasil pengukuran pada ketebalan yang diketahui berbeda. Pada tabel data yang diperoleh cenderung stabil karena sedikitnya sumber pemicu partikulat debu di dalam ruangan. Ketebalan sampel benda akan mempengaruhi kenaikan hasil pembacaan sensor debu GP2Y1010AU0F. Dengan demikian, hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor debu berfungsi dengan baik.

IV. SIMPULAN

Berdasarkan dari hasil penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, sistem telah berhasil dibuat serta mampu melakukan pemantauan kualitas udara secara jarak jauh dan *real-time*. Informasi hasil pemantauan kualitas udara telah berhasil dikirimkan dari *database* dengan *website*. Sensor Gas dapat digunakan untuk melakukan deteksi dan monitoring gas-gas polutan seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), serta sensor suhu dan sensor debu dapat digunakan dengan menampilkan hasil deteksi pengukuran pada layar LCD 16x2. Melalui pengujian dengan menggunakan variasi sampel jumlah orang menghasilkan kinerja dari sistem saat konsentrasi gas berada dalam rentang kemampuan deteksi sensor. Sistem ini dilengkapi dengan sistem manajemen basis data atau *database management system* (DBMS) yang dapat membantu petugas dalam melakukan *monitoring*, pencatatan, dan pelaporan. Semua data yang diperoleh berhasil disimpan dengan baik dalam *database*, sehingga memungkinkan untuk melakukan inventarisasi data kualitas udara. Visualisasi *dashboard* dapat

memenuhi kebutuhan pengguna dalam memantau parameter kualitas udara di dalam ruangan serta dapat menampilkan riwayat pengambilan data kadar udara yang meliputi gas, suhu, kelembaban, debu pada setiap jamnya dalam bentuk grafik. Penambahan fitur peringatan pada web untuk memberikan informasi tentang potensi bahaya penurunan kualitas udara sekitar selama proses *monitoring*. Sistem ini bertujuan menjadi alat pemantauan kualitas udara di dalam ruangan untuk meningkatkan kesadaran akan pentingnya udara yang sehat.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Zafira, M. U., Ghozali, K., & Sabilla, I. A. (2022). Rancang Bangun Prototype Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan. *Jurnal Teknik ITS*, 11(2), A91–A96, 2022.
- [2] Budiyo, A., Bidang, P., Ozon, P., & Polusi Udara, D. (2010). *Indeks Kualitas Udara*.
- [3] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077 Tahun 2011 (2011).
- [4] Widodo, A. P., "Sistem Pemantau Kualitas Udara Dalam Ruang Berbasis Lokasi dan Jaringan Nirkabel". Universitas Indonesia, 2019.
- [5] Ulaan, G. C., Poekoel, V. C., & Ontowirjo, A. H. J. (2022). Pembuatan Aplikasi Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 93–104.
- [6] Rm. Fa'iq Zia El Hakam, "Rancang Bangun Sistem Monitor Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis System-on-Chip ESP32". Universitas Gadjah Mada, 2019.
- [7] Rumampuk, G. C., Poekoel, V. C., & Rumagit, A. M. (2022). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis IoT. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 11–18.
- [8] Faizuddin, S., Lakshmaiah, M. V., Alam, K. T., & Ravikiran, M. (2020). IoT based Indoor Air Quality Monitoring system using Raspberry Pi4. *Proceedings of the 4th International Conference on Electronics, Communication and Aerospace Technology, ICECA 2020*, 714–719. <https://doi.org/10.1109/ICECA49313.2020.9297442>.
- [9] Taştan, M., & Gökozan, H. (2019). Real-time monitoring of indoor air quality with internet of things-based e-nose. *Applied Sciences (Switzerland)*, 9(16). <https://doi.org/10.3390/app9163435>.
- [10] Taştan, M., Taştan, M., Gökozan, H., & Mutlu, A. (2022). Analysis of the Impact of Human Activities on Indoor Air Quality with Internet of Things Based e-Nose. *Celal Bayar University Journal of Science*, 18(4), 393–401. <https://doi.org/10.18466/cbayarfbe.1018796>.
- [11] Kadir, A. (2008). Tuntutan praktis Belajar database menggunakan MySQL. Yogyakarta. Penerbit Andi.
- [12] K. B. K. Sai, S. Ramasubbareddy, and A. K. Luhach, "IoT based air quality monitoring system using MQ135 and MQ7 with machine learning analysis," *Scalable Computing*, vol. 20, no. 4, pp. 599–606, 2019, doi: 10.12694/scpe.v20i4.1561.
- [13] Kurniawan, A. (2018). Pengukuran Parameter Kualitas Udara (CO, NO₂, SO₂, O₃ Dan PM10) di Bukit Kototabang Berbasis ISPU. *Jurnal Teknosains*, 7(1), 1. <https://doi.org/10.22146/teknosains.34658>.
- [14] Subagio, Hary. 2008. Instrumentasi Pemantauan Kualitas Udara. Yogyakarta : Jurusan Teknik Elektro FT UGM.