



Pengembangan Sistem *Monitoring* Polusi Udara Berbasis IoT dengan Integrasi Aplikasi *Website Real-Time*

Muhammad Zaki^{1*}, Dian Rusdiyanto^{2*}

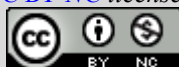
^{1,2}*Teknik Elektro, Universitas Mercu Buana,
Jl. Meruya Selatan, Jakarta 11650, Indonesia*

*Email: dian.rusdiyanto@mercubuana.ac.id

Abstrak:

Dalam menghadapi masalah polusi udara, studi ini dibuat untuk merancang sistem pemantauan polusi udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang bertujuan untuk memberikan informasi *real-time* tentang kualitas udara kepada masyarakat. Dengan memanfaatkan teknologi berbasis *Internet of Things* (IoT) dan aplikasi *website*, sistem ini dirancang untuk mendeteksi gas berbahaya seperti karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), dan LPG secara *real-time*, serta memberikan peringatan dini agar masyarakat dapat lebih waspada terhadap risiko polusi udara. Pengembangan sistem dilakukan dengan metode prototipe yang mencakup desain perangkat *hardware*, *software*, dan integrasi keduanya. Sistem ini memanfaatkan sensor MH-Z19B, MQ-7, dan MQ-2 untuk mendeteksi gas karbon dioksida (CO₂), karbon monoksida (CO), serta gas minyak bumi cair (LPG). Data yang dikumpulkan akan diproses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP8266, kemudian disimpan di *server database* dan disajikan melalui aplikasi antarmuka *website* secara *real-time* dalam bentuk grafik serta laporan. Selain itu, hasil penghitungan juga akan ditampilkan pada sebuah layar OLED dan memberikan peringatan dini melalui *buzzer* jika kadar gas melebihi batas normal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem dapat mendeteksi perubahan kadar gas CO₂, CO, dan LPG di udara dengan selisih kadar sensor CO₂ pada alat dan CO₂ meter sebesar 10,7% pada ruangan terbuka, 2,1% terhadap asap rokok sebesar, 1% terhadap asap pembakaran kertas, 0,93% terhadap asap pembakaran kardus dan rata-rata selisih total sebesar 4,03% serta dapat menampilkan data melalui aplikasi *website* secara *real-time* dengan *delay* waktu kisaran 1-3 detik pada pengiriman data ke *server database*.

This is an open access article under the [CC BY-NC](#) license



Kata Kunci:

*Polusi udara;
internet of things;
NodeMCU ESP8266;
database;
Website;*

Riwayat Artikel:

Diserahkan 27 April 2025

Direvisi 02 Mei 2025

Diterima 17 Juni 2025

DOI:

10.22441/incomtech.v15i2.33361

1. PENDAHULUAN

Perkembangan pesat di sektor teknologi dan industri menghasilkan dampak signifikan terhadap kualitas udara, khususnya di perkotaan. Polusi udara berpengaruh terhadap kualitas udara, sehingga dapat menimbulkan dampak negative bagi kesehatan bagi makhluk hidup dan lingkungan [1]. Sumber polusi udara biasanya berasal dari fenomena alam secara natural seperti asap gunung berapi, gas alam, kebakaran hutan secara alami dan juga berasal dari ulah manusia seperti polusi industri dan transportasi [2]. Peningkatan kadar partikel udara yang berbahaya, seperti karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), gas LPG, dan lainnya, sangat tidak bagus bagi kesehatan terutama pernapasan. Kadar polutan tersebut dapat menyebabkan berbagai penyakit dan terus meningkat terutama pada masyarakat yang tinggal di perkotaan.

Gas berbahaya yang paling banyak mengakibatkan polusi udara di lingkungan masyarakat salah satunya karbon monoksida (CO) [3]. Gas ini terdiri dari satu atom karbon dan satu atom oksigen yang sangat berbahaya bagi Kesehatan manusia. Kadar karbon monoksida yang berlebihan dapat menjadi racun yang menyebabkan kelelahan, sakit kepala, mual-mual, hingga kerusakan permanen pada otak [4]. Gas yang berbeda satu partikel oksigen dari karbon monoksida yang relatif tidak beracun dan tidak mudah terbakar yaitu karbon dioksida (CO₂). Karbon dioksida sangat penting bagi alam akan tetapi berbahaya bagi manusia jika kadar karbon dioksida melebihi 5000 ppm dimana dapat menyebabkan rasa pusing dan sesak napas, hingga gangguan kardiovaskular [5]. Gas LPG terbentuk dari hidrogen dan karbon yang tidak bewarna tapi mudah terbakar. Gas LPG menjadi gas yang berbahaya karena mudah terbakar sehingga memiliki batas keamanan yang dikeluarkan Badan Standardisasi Nasional (BSN) yaitu 1000 ppm.

Sebagian besar masyarakat masih tidak memperdulikan dampak bahaya dari polusi udara. Dalam masalah ini sangat diperlukan sistem yang dapat menginformasikan terkait polusi udara kepada masyarakat secara langsung dan *real-time*. Saat ini, alat monitoring polusi udara sudah banyak digunakan, namun masih metode analog yang menampilkan hasil melalui led [1]. Metode tersebut memiliki kelemahan dalam aksesibilitas dimana tidak bisa memberikan informasi ke banyak orang [6]. Untuk itu, teknologi dapat dikembangkan melalui sistem integrasi antara perangkat sensor dengan Internet of Thing (IoT), sehingga sistem yang digunakan untuk mendeteksi polusi udara dapat mengirimkan data secara *real time* [7]. IoT dapat diintegrasikan ke berbagai jenis aplikasi, seperti aplikasi website dan android. Implementasi IoT pada alat monitoring ini bisa dilakukan dimanapun yang terdapat koneksi internet [8]. Aplikasi bisa berupa akses langsung melalui website atau berupa *software* yang perlu di *install* terlebih dahulu pada dekstop atau *smartphone*.

Penelitian sistem monitoring polusi udara untuk daerah perkotaan telah dirancang oleh Taufiq untuk mengukur kadar gas CO dan CO₂ [9]. Penelitian ini tidak dirancang untuk monitoring dari jarak jauh, karena tidak memanfaatkan teknologi IoT. Sehingga data kualitas udara hanya dapat diperoleh melalui pengamatan langsung pada alat. Penelitian lain dilakukan oleh Iskandar dengan merancang sistem monitoring polusi udara untuk memantau kualitas udara

pada suatu ruangan [10]. Sistem yang dirancang hanya menggunakan sensor MQ-2, yang berfungsi untuk mendeteksi gas CO dan LPG. Penelitian dapat dipantau melalui aplikasi *website* secara real-time. Walaupun demikian, penelitian ini hanya menggunakan satu jenis sensor dengan sensitivitas standar dan pengujian hanya menggunakan satu sampel. Pada aplikasi *website* sudah memberikan informasi yang cukup, akan tetapi desain tidak memiliki tema sehingga masih butuh pengembangan. Penelitian [11] juga merancang sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan yang dapat dipantau langsung dari jarak jauh. Objek yang diukur berupa suhu, kelembapan, gas CO, gas CO₂ dan PM10 [11]. Penelitian ini berhasil mengukur lima parameter polusi udara secara bersamaan. Walaupun demikian, parameter yang diuji terlalu sedikit.

Pada penelitian sebelumnya, sudah memberikan data yang detail dan akurat serta memberikan aplikasi antarmuka yang menarik dan informatif. Akan tetapi masih perlu pengembangan dan validasi lewat pengujian sampel yang variatif. Oleh karena itu, penelitian ini fokus pada mengembangkan sistem pemantauan polusi udara menggunakan dengan pengujian sampel yang variatif seperti asap rokok, asap pembakaran kertas, asap pembakaran kardus dan gas LPG. Selain itu pengembangan tampilan *website* menjadi lebih menarik dan interaktif [12] [13]. Melalui perancangan sistem ini diharapkan dapat menginformasikan dan mencegah polusi udara pada kadar yang tinggi yang dapat berpengaruh terhadap risiko kesehatan [14].

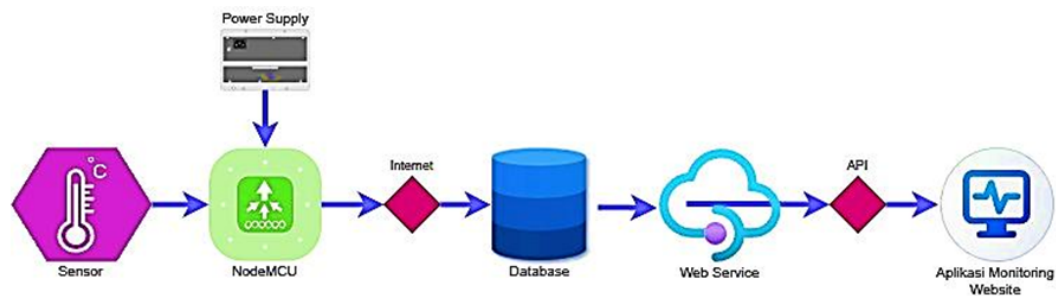
2. METODE

Dalam perancangan alat diawali dengan mendefinisikan masalah utama yaitu bagaimana memantau kualitas udara secara *real-time*. Selanjutnya adalah menetapkan tujuan spesifik yaitu membangun sistem yang dapat menampilkan data kualitas udara secara visual. Kemudian membuat diagram blok dan *flowchart* untuk menggambarkan proses yang akan dikerjakan dalam perancangan. Langkah terakhir yaitu perancangan *hardware* dan *software* serta integrasi antara keduanya.

2.1 Diagram Blok

Gambar 1 menunjukkan diagram blok sistem yang menjelaskan cara kerja suatu sistem. Proses dimulai dari sensor yang berfungsi untuk mendeteksi parameter lingkungan, seperti suhu, kelembapan, atau tingkat polusi udara (misalnya LPG, CO, atau CO₂). Sensor mengirimkan data berupa sinyal analog atau digital ke NodeMCU untuk komunikasi melalui Wi-Fi. NodeMCU juga bertindak sebagai penghubung antara perangkat sensor dan *server database*. Modul ini menerima data mentah dari sensor, memprosesnya, lalu mengirimkan data tersebut ke *server database* melalui jaringan internet menggunakan protokol komunikasi seperti HTTP. Untuk mengelola dan menyajikan data, *web service* berfungsi untuk jembatan antara *database* dan aplikasi *website*. *Web service* akan menyediakan API (*Application Programming Interface*) yang memungkinkan aplikasi untuk mengakses data yang telah disimpan melalui komunikasi HTTP. Aplikasi *website*, yang menjadi antarmuka pengguna, menggunakan API untuk mengambil data dari *web service*. Data ini

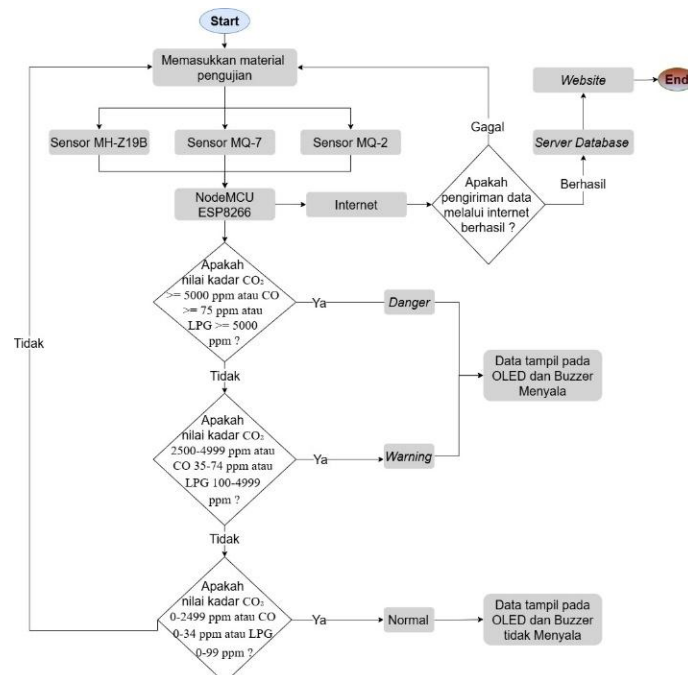
kemudian ditampilkan dalam format visual yang mudah dipahami, seperti grafik atau tabel, yang menunjukkan tingkat polusi udara.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem

2.2. Flowchart

Gambar 2 menampilkan *flowchart* perancangan alat, dimana berfungsi untuk memvisualisasikan proses, mempermudah pemahaman, meminimalisir kesalahan dan mengidentifikasi potensi perbaikan. *Flowchart* dimulai dengan memasukkan material pengujian berupa sampel pembakaran yang akan diuji kadar gasnya. Sensor MH-Z19B, MQ-7, dan MQ-2 untuk mendeteksi kadar CO₂, CO, dan LPG. Selanjutnya, NodeMCU ESP8266 menerima dan mengelola data masukan dari masing-masing sensor serta mengirimkan ke *server database* melalui internet untuk ditampilkan pada website. Pengolahan tersebut berupa kalkulasi nilai kadar sensor dengan pengkategorian *normal*, *warning* dan *danger*. Jika nilai data yang diperoleh berada pada kategori *warning* dan *danger* maka mikrokontroler akan memberikan sinyal untuk mengaktifkan buzzer sebagai tanda peringatan. Data juga dapat ditampilkan pada layar OLED 9,6 inci sehingga pengguna dapat melihat kadar polutan melalui perangkat *hardware*.

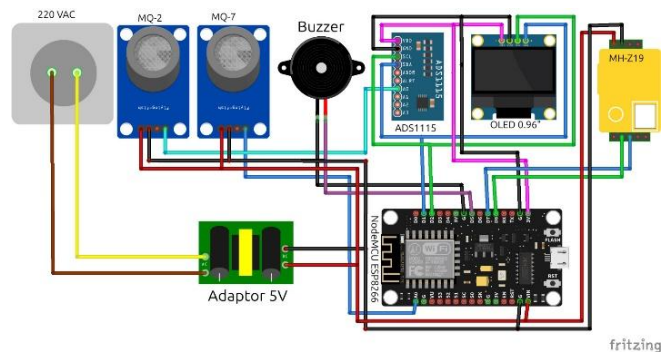


Gambar 2. Flowchart

2.3. Perancangan *Hardware*

Perancangan *hardware* melibatkan perakitan semua komponen alat yang dihubungkan sesuai dengan diagram *wiring fritzing* yang dapat dilihat pada Gambar

3.



Gambar 3. *Wiring Fritzing*

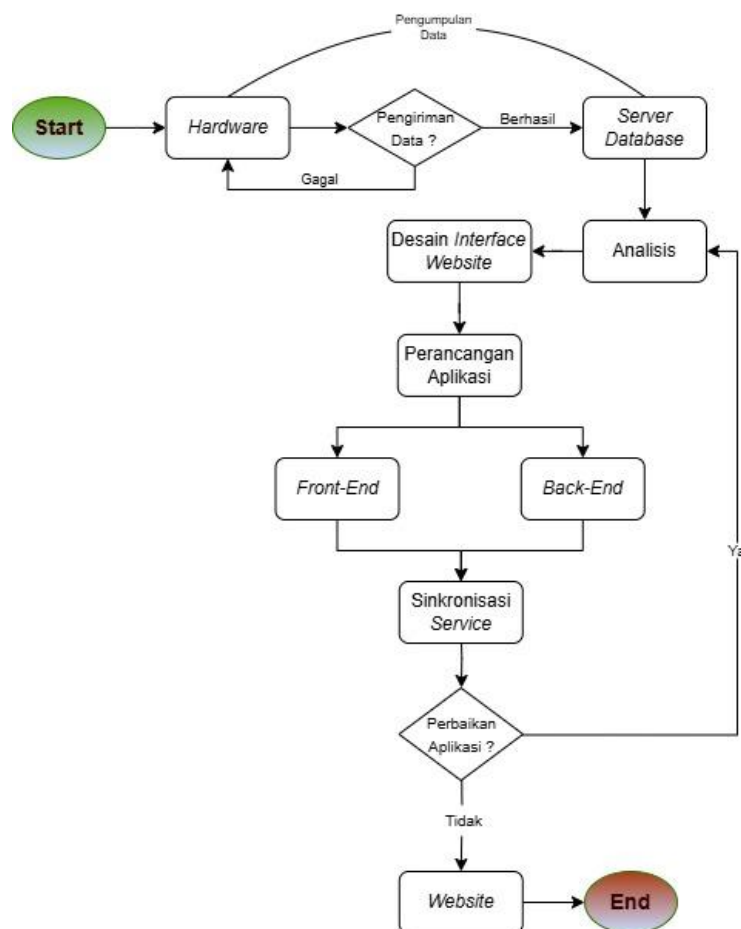
Pada Gambar 3 menggambarkan rangkaian perakitan alat, dimana suplai energi listrik berasal dari adaptor 5v yang akan terhubung ke semua komponen alat dengan memparalelkan tegangan keluarannya. Pin *output* sensor MH-Z19 terhubung dengan pin D1 (*input*) NodeMCU, Pin *output* sensor MQ-7 terhubung dengan pin A0 (*input*) ADS1115 untuk di konversi datanya dari analog ke digital. Sedangkan pin *output* sensor MQ-2 terhubung dengan pin A0 (*input*) NodeMCU karena NodeMCU hanya memiliki satu pin input semua tipe data (analog atau digital) pada pin A0. Pada ADS1115, Pin SDA terhubung dengan pin D1 NodeMCU dan pin SCL terhubung dengan pin D2 NodeMCU dengan tujuan untuk mentransmisikan data dari ADS1115 ke NodeMCU. Pin D5 NodeMCU terhubung dengan pin *input buzzer* agar dapat memberikan perintah untuk mengaktifkan *buzzer*. Kemudian pin D1 NodeMCU terhubung dengan pin SDA OLED dan pin D2 NodeMCU terhubung dengan pin SCK OLED. Pin SCK OLED berfungsi untuk mengatur kapan data pada jalur SDA dan pin SDA OLED berfungsi untuk transmisi data serial dengan memberikan perintah untuk menampilkan data. Setelah semua komponen terhubung, alat akan dibungkus dengan box plastik dengan tujuan untuk perlindungan terhadap benturan ataupun cairan yang berpotensi merusak alat. Berikut hasil perancangan *hardware* yang dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Hasil Perancangan *Hardware*

2.4. Perancangan Software

Langkah selanjutnya berupa perancangan software yang dimulai dengan perancangan diagram alir, seperti yang ditunjukkan Gambar 5. Tahap awal perancangan dimulai dengan memastikan data sudah terkirim ke *server database MySQL* oleh *NodeMCU* melalui internet. Data yang telah dikumpulkan dianalisis untuk mendesain tampilan interface *website* dengan fitur-fitur aplikasi seperti tombol, grafik, dan tabel, yang mendukung pemantauan kualitas udara secara *real-time* sesuai dengan kebutuhan pengguna. *Front-end* akan mengembangkan desain yang telah dirancang dengan bahasa pemrograman *Solid JS* secara sistematis dan *Back-end* akan mengembangkan sebuah aplikasi bernama web *service* dengan bahasa pemrograman *Rust* untuk mengelola data, menjalankan semua logika proses alat dan membuat keputusan akhir. Sikronisasi *service* antara *front-end* dan *back-end* menggunakan *API (Application Programming Interface)* sebagai sarana komunikasi. Komunikasi dilakukan dengan pemanggilan alamat dan metode yang ditetapkan pada aplikasi *back-end*. Komunikasi tersebut akan mendapatkan respon berupa data dalam bentuk *json*. Selanjutnya, pengujian aplikasi dengan tujuan untuk memastikan tidak ada *bug* atau *error* sebelum dipakai oleh pengguna. Alur kerja sistem secara keseluruhan dapat dilihat pada Gambar 5



Gambar 5. Diagram Alir Perancangan Software

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian alat dilakukan dengan beberapa tahapan, yaitu pengujian alat pada ruangan terbuka, pengujian alat terhadap asap rokok, pengujian alat terhadap asap pembakaran kertas, pengujian alat terhadap asap pembakaran kardus, pengujian alat terhadap gas korek api dan pengujian aplikasi *website*.

3.1. Pengujian Pada Ruangan Terbuka

Pengujian alat pada ruangan terbuka dilakukan untuk mengetahui apakah kesemua sensor berfungsi dengan baik. Pengujian dilakukan pada ruangan terbuka di siang hari dan malam hari. Pengujian dilakukan dengan mengukur kondisi ruangan selama satu jam dan di ambil nilai rata-rata kadar setiap lima menit. Hasil pengukuran alat pada ruangan terbuka di siang hari dapat dilihat pada Tabel 1.

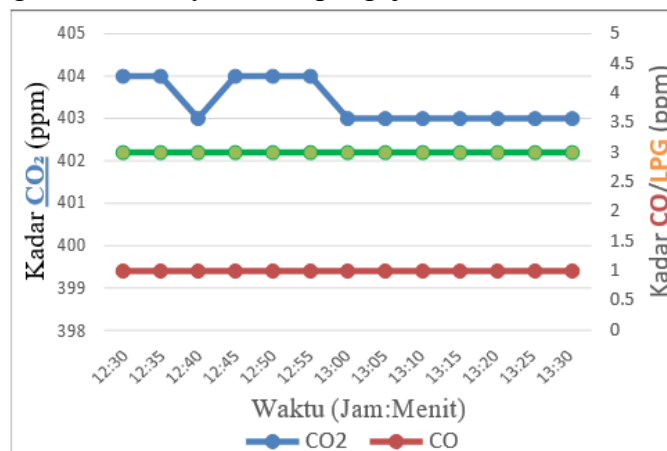
Tabel 1. Hasil pengukuran alat pada ruangan terbuka di siang hari

Waktu (Jam:Menit)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	LPG (ppm)	CO ₂ Meter (ppm)	Selisih (%)	Status
12:30	404	1	2	459	11,98	Normal
12:35	404	1	2	458	11,79	Normal
12:40	403	1	2	458	12,01	Normal
12:45	404	1	2	458	11,79	Normal
12:50	404	1	2	457	11,6	Normal
12:55	404	1	2	460	12,17	Normal
13:00	403	1	2	459	12,2	Normal
13:05	403	1	2	460	12,39	Normal
13:10	403	1	2	460	12,39	Normal
13:15	403	1	2	459	12,2	Normal
13:20	403	1	2	459	12,2	Normal
13:25	403	1	2	460	12,39	Normal
13:30	403	1	2	458	12,01	Normal
Rata-rata	403,4	1	2	458,8	12,1	

Berdasarkan data pada Tabel 1, pengukuran dilakukan dari periode 12:30:00 sampai 13:30:00 dengan ambang batas 5000 ppm untuk CO₂, 75 ppm untuk CO, dan 1000 ppm untuk LPG. Pengambilan data dilakukan setiap lima detik sekali dan di ambil nilai rata setiap lima menit. Hasil pengujian menunjukkan kadar CO₂ berada pada 403-404 ppm sedangkan kadar CO stabil di angka 1 ppm dan kadar LPG di 3 ppm. Data konsentrasi yang diukur memiliki rata-rata CO₂ 403,4 ppm, CO 1 ppm dan LPG 2 ppm. Seluruh data konsentrasi berada di bawah ambang batas peringatan, menunjukkan bahwa lingkungan berada dalam kondisi normal sepanjang waktu pengukuran.

Gambar 6 memperlihatkan grafik pengujian dengan konsentrasi gas CO₂, CO dan LPG yang stabil selama periode pengukuran. Hasil pengukuran tidak menunjukkan pola fluktuasi yang signifikan, sehingga kondisi dalam keadaan normal.

Selanjutnya pengujian alat pada ruangan terbuka di malam hari bertujuan untuk mengetahui kondisi udara di malam hari. Pengujian dilakukan di lokasi yang sama, yang berbeda hanya waktu pengujian.



Gambar 6. Grafik hasil pengujian alat pada ruangan terbuka di Siang Hari

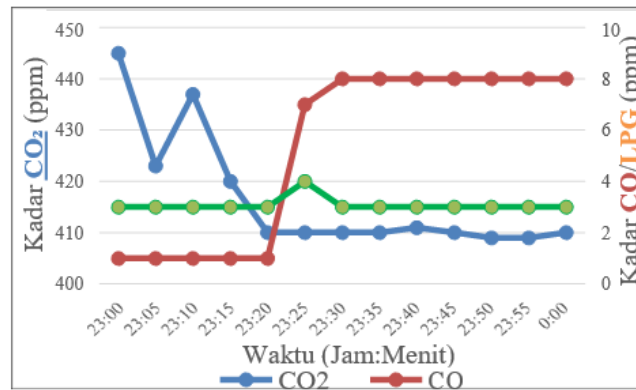
Berdasarkan data pada Tabel 2, pengujian pada ruangan terbuka di malam hari dilakukan dari periode 23:00:00 sampai 00:00:00. Pengukuran menunjukkan rata-rata kadar CO₂ 416,5 PPM, rata-rata kadar CO 5,2 ppm dan rata-rata kadar LPG 3,1 ppm dengan pola fluktuasi yang beragam.

Tabel 2. Hasil pengukuran alat pada ruangan terbuka di malam hari

Waktu (Jam:Menit)	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	LPG (ppm)	CO ₂ Meter (ppm)	Selisih (%)	Status
23:00	445	1	3	459	3,05	Normal
23:05	423	1	3	460	8,04	Normal
23:10	437	1	3	457	4,38	Normal
23:15	420	1	3	458	8,3	Normal
23:20	410	1	3	458	10,48	Normal
23:25	410	7	4	459	10,68	Normal
23:30	410	8	3	460	10,87	Normal
23:35	410	8	3	461	11,06	Normal
23:40	411	8	3	462	11,04	Normal
23:45	410	8	3	461	11,06	Normal
23:50	409	8	3	459	10,89	Normal
23:55	409	8	3	460	11,09	Normal
0:00	410	8	3	458	10,48	Normal
Rata-rata	416,5	5,2	3,1	459,4	9,3	

Gambar 7 memperlihatkan grafik dengan pola fluktuasi penurunan pada awal pengujian dari 445 ppm sampai 410 ppm pada pukul 23:20:00. Pada waktu yang sama juga terjadi peningkatan kadar CO dari 1 ppm menjadi 8 ppm. Penurunan kadar CO₂ dan kenaikan kadar CO bisa disebabkan oleh kondisi cuaca, dimana pengukuran dilakukan tepat setelah hujan berhenti. Curah hujan memicu emisi karbon dioksida [15], semakin tinggi kelembapan udara dan penurunan suhu

pada cuaca dingin akan mengakibatkan peningkatan emisi karbon monoksida [16].



Gambar 7. Grafik hasil pengujian alat pada ruang terbuka

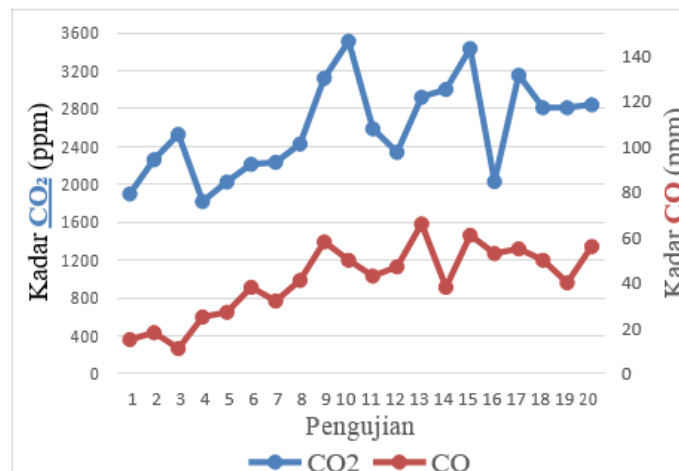
3.2. Pengujian Terhadap Asap Rokok

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar polutan udara yang terkandung dari asap rokok. Pengujian dilakukan dengan menghembuskan asap rokok langsung ke alat secara berkala dengan jarak 5cm untuk memastikan asap rokok terpapar langsung ke sensor. Pengujian dilakukan berulang sebanyak dua puluh kali dengan jeda waktu lima menit.

Tabel 3. Hasil pengukuran alat terhadap asap rokok

Pengujian	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	LPG (ppm)	CO ₂ Meter (ppm)	Selisih (%)	Status
1	1899	15	3	1924	1,3	Normal
2	2262	18	4	2204	2,63	Normal
3	2531	11	3	2664	4,99	Warning
4	1818	25	3	1806	0,66	Normal
5	2027	27	2	2078	2,45	Normal
6	2212	38	3	2287	3,28	Warning
7	2234	32	3	2263	1,28	Normal
8	2427	41	3	2399	1,17	Warning
9	3124	58	3	2968	5,26	Warning
10	3515	50	3	3445	2,03	Warning
11	2591	43	3	2496	3,81	Warning
12	2340	47	5	2265	3,31	Warning
13	2923	66	4	2916	0,24	Warning
14	3006	38	3	3005	0,03	Warning
15	3438	61	4	3384	1,6	Warning
16	2029	53	3	1981	2,42	Warning
17	3157	55	4	3141	0,51	Warning
18	2812	50	4	2779	1,19	Warning
19	2812	40	5	2777	1,26	Warning
20	2842	56	4	2894	1,8	Warning
Rata-rata	2600	41,2	3,5	2583,8	2,1	

Berdasarkan data pada Tabel 3, pengujian alat terhadap asap rokok menunjukkan variasi rata-rata kadar CO₂ tercatat sebesar 2600 ppm, dengan nilai tertinggi mencapai 3515 ppm dan nilai terendah 1818 ppm. Kadar CO memiliki rata-rata 41,2 ppm, dengan nilai tertinggi 66 ppm dan nilai terendah 11 ppm. Kadar LPG terpantau relatif stabil pada kisaran 2-5 ppm dengan rata-rata 3,5 ppm. Tingkat error alat rata-rata sebesar 2,1%, yang masih berada dalam batas toleransi. Nilai yang terukur sering menunjukkan status "*Warning*", terutama pada kadar CO dan CO₂, yang mengindikasikan adanya peningkatan konsentrasi gas akibat paparan asap rokok.



Gambar 8. Grafik hasil pengujian alat terhadap asap rokok

Pada Gambar 8, memperlihatkan grafik kadar CO₂ dan CO mengalami fluktuasi yang beragam. Fluktuasi yang beragam tersebut terjadi karena dipengaruhi oleh kondisi pada saat penghembusan asap rokok terhadap sensor. Volume asap yang dihembuskan tidak stabil, bisa besar atau kecil. Selain itu, Sensor MH-Z19B membutuhkan waktu lebih lama untuk membaca kadar polutan CO₂ karena menggunakan mode *infrared non-dispersif* (NDIR) dibanding sensor MQ-7 yang menggunakan metode *heating* (pembakaran).

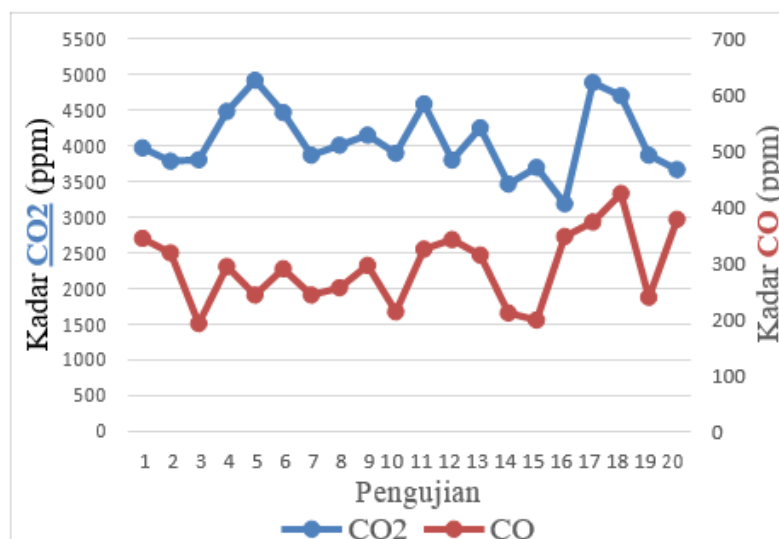
3.3. Pengujian Terhadap Asap Pembakaran Kertas

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar polutan udara yang terkandung dari asap pembakaran kertas. Pengujian dilakukan dengan memaparkan asap pembakaran kertas terhadap alat dan CO₂ meter sebanyak dua puluh kali dengan jeda setiap pengujian selama lima menit. Jalur dari asap pembakaran kertas akan di alirkan seperti jalur ventilasi udara agar asap terpaparkan langsung ke alat.

Berdasarkan data pada Tabel 4, pengujian alat terhadap asap pembakaran kertas menunjukkan rata-rata kadar CO₂ tercatat sebesar 3974,2 ppm, dengan nilai tertinggi mencapai 4921 ppm dan nilai terendah 3467 ppm. Kadar CO memiliki rata-rata 292 ppm, dengan nilai tertinggi 424 ppm dan nilai terendah 192 ppm. Kadar LPG terpantau relatif stabil pada kisaran 3-7 ppm dengan rata-rata 5,4 ppm. Tingkat selisih menunjukkan rata-rata sebesar 1%, yang masih berada dalam batas toleransi. Nilai yang terukur sering menunjukkan status "*Danger*", terutama pada kadar CO, yang menetapkan tingkatan berbahaya akibat paparan asap pembakaran kertas.

Tabel 4. Hasil pengukuran alat terhadap asap pembakaran kertas

Pengujian	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	LPG (ppm)	CO ₂ Meter (ppm)	Selisih (%)	Status
1	3973	344	4	3918	0,15	Danger
2	3785	318	6	3885	2,57	Danger
3	3805	192	3	3827	0,57	Danger
4	4484	294	4	4581	2,12	Danger
5	4921	243	5	5000	1,58	Danger
6	4467	290	6	4449	0,4	Danger
7	3871	243	6	3822	1,28	Danger
8	4008	256	6	4089	1,98	Danger
9	4153	296	6	4144	0,22	Danger
10	3894	213	5	3940	1,17	Danger
11	4588	325	4	4564	0,53	Danger
12	3799	342	4	3748	1,36	Danger
13	4256	314	5	4238	0,42	Danger
14	3467	211	6	3464	0,09	Danger
15	3701	198	8	3712	0,3	Danger
16	3188	347	6	3256	2,09	Danger
17	4888	373	5	4828	1,24	Danger
18	4700	424	6	4721	0,44	Danger
19	3868	239	7	3826	1,1	Danger
20	3665	378	6	3620	1,24	Danger
Rata-rata	3974,2	292	5,4	3984,7	1	



Gambar 9. Grafik hasil pengujian alat terhadap asap pembakaran kertas

Pada Gambar 9, memperlihatkan kadar CO₂ dan CO mengalami fluktuasi dengan status berada pada kondisi berbahaya. Fluktuasi yang beragam pada kadar polutan yang di uji disebabkan oleh volume asap. Volume asap yang di hasil sangat beragam, bergantung pada jumlah titik pembakaran pada kertas. Semakin besar titik pembakaran maka semakin besar volume asap yang di hasilkan dan sebaliknya.

3.4. Pengujian Terhadap Asap Pembakaran Kardus

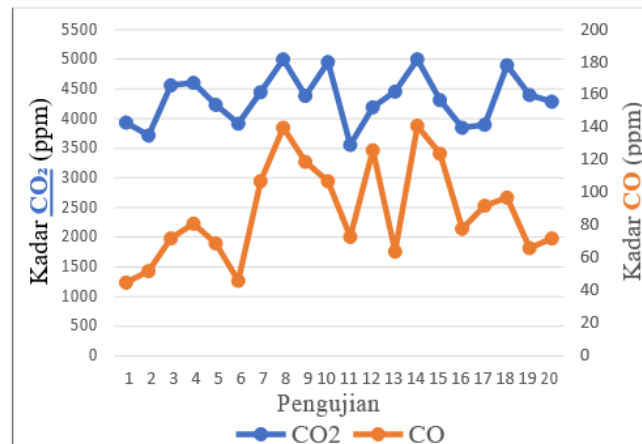
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar polutan udara yang terkandung dari asap pembakaran kardus. Pengujian dilakukan dengan memaparkan asap pembakaran kardus terhadap alat dan CO₂ meter sebanyak dua puluh kali dengan jeda setiap pengujian selama lima menit. Jalur dari asap pembakaran kardus akan di alirkan seperti jalur ventilasi udara agar asap terpaparkan langsung ke alat.

Tabel 5. Hasil pengukuran alat terhadap asap pembakaran kardus

Pengujian	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	LPG (ppm)	CO ₂ Meter (ppm)	Selisih (%)	Status
1	3932	45	3	3944	0,3	Warning
2	3713	52	4	3768	1,46	Warning
3	4564	72	3	4508	1,24	Warning
4	4605	81	3	4637	0,69	Danger
5	4236	69	3	4162	1,78	Warning
6	3914	46	4	3924	0,25	Warning
7	4443	107	5	4491	1,07	Danger
8	5000	140	4	5000	0	Danger
9	4381	119	4	4395	0,32	Danger
10	4952	107	3	4959	0,14	Danger
11	3558	73	5	3557	0,03	Warning
12	4193	126	4	4274	1,9	Danger
13	4456	64	7	4571	2,52	Warning
14	5000	141	6	5000	0	Danger
15	4314	124	7	4333	0,44	Danger
16	3845	78	5	3843	0,05	Danger
17	3897	92	4	3820	2,02	Danger
18	4898	97	7	4870	0,57	Danger
19	4399	66	8	4483	1,87	Warning
20	4286	72	7	4206	1,9	Warning
Rata-rata	4329,3	88,55	4,8	4337,25	0,93	

Berdasarkan data pada Tabel 5, pengujian alat terhadap asap pembakaran kardus menunjukkan rata-rata kadar CO₂ tercatat sebesar 4329,3 ppm, dengan nilai tertinggi mencapai 5000 ppm pada pengujian dan terendah 3558 ppm. Kadar CO memiliki rata-rata 88,5 ppm, dengan nilai tertinggi 141 ppm dan nilai terendah 45 ppm. Kadar LPG terpantau relatif stabil pada kisaran 3-8 ppm dengan rata-rata 5,4 ppm. Tingkat selisih alat menunjukkan rata-rata sebesar 0,93%, yang masih berada

dalam batas toleransi. Nilai yang terukur menunjukkan status "*Warning*" dan "*Danger*", yang mengidentifikasi tingkatan berbahaya akibat paparan asap pembakaran kardus.



Gambar 10. Grafik hasil pengujian alat terhadap asap pembakaran kardus

Pada Gambar 10, memperlihatkan kadar CO₂ dan CO yang mengalami fluktuasi dengan nilai puncak masing-masing 4921 ppm (CO₂) dan 424 ppm (CO). Sama seperti pada pengujian alat terhadap asap pembakaran kertas. Fluktuasi tersebut disebabkan oleh volume asap yang dihasil pada pembakaran kardus sangat beragam, bergantung pada jumlah titik pembakaran pada kertas. Semakin besar titik pembakaran maka semakin besar volume asap yang di hasilkan dan sebaliknya.

3.5. Pengujian Terhadap Gas Korek Api

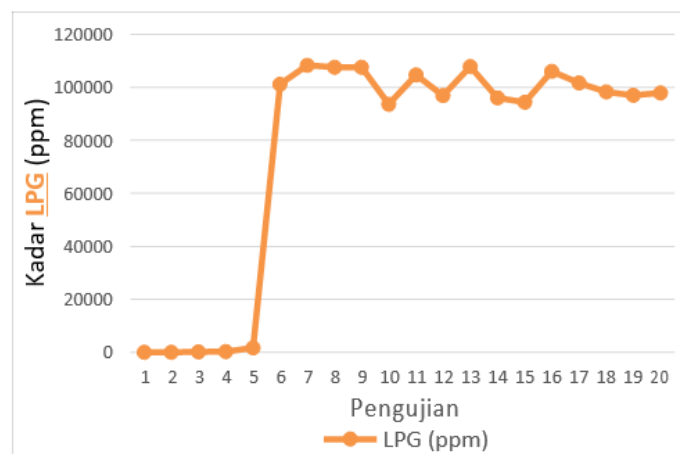
Pengujian terhadap gas bertujuan untuk memastikan alat dapat mendeteksi dengan baik terhadap polusi gas LPG. Pengujian dilakukan dengan keadaan normal tanpa paparan gas, memaparkan gas dari korek api terhadap alat selama 1 detik dan selama 1 menit.

Tabel 6. Hasil pengukuran alat terhadap gas korek api

Pengujian	CO ₂ (ppm)	CO (ppm)	LPG (ppm)	Status
1	739	4	2	Normal
2	757	4	2	Normal
3	751	4	112	Warning
4	731	5	342	Warning
5	782	5	1734	Warning
6	774	4	101089	Danger
7	767	4	108322	Danger
8	788	5	107571	Danger
9	799	4	107483	Danger
10	763	4	93637	Danger

11	808	4	104631	Danger
12	780	4	96792	Danger
13	762	2	107768	Danger
14	772	6	95989	Danger
15	781	5	94310	Danger
16	765	4	105952	Danger
17	786	4	101582	Danger
18	756	3	98195	Danger
19	766	3	96939	Danger
20	785	4	97820	Danger
Rata-rata		770,6	4,1	76013,6

Berdasarkan data pada Tabel 6, menunjukkan nilai tertinggi kadar LPG sebesar 108322 ppm dan nilai terendah sebesar 93637 ppm. Rata-rata kadar LPG tercatat sebesar 76013,6 ppm. Kadar CO₂ memiliki rata-rata 770,6 ppm dengan nilai tertinggi 808 ppm, sedangkan Kadar CO terpantau relatif stabil dengan rata-rata 4,1 ppm.



Gambar 11. Grafik hasil pengujian alat terhadap gas korek api

Pada Gambar 11 menunjukkan grafik kadar gas LPG, dimana hasil pengujian pengujian pertama dan kedua alat dalam kondisi normal tanpa pengaruh gas. Pada pengujian kedua sampai kelima dengan memaparkan gas korek api selama 1 detik, memperlihatkan perubahan konsentrasi gas LPG yang terukur. Pada pengujian keenam sampai dua puluh dengan memaparkan gas korek api selama 1 menit, menunjukkan variasi nilai kadar LPG kondisi yang melebihi ambang batas keamanan. Nilai tertinggi kadar LPG sebesar 108322 ppm dan nilai terendah tercatat sebesar 93637 ppm. Setiap kenaikan ataupun penurunan kadar LPG itu dipengaruhi oleh sumber tekanan dari gas korek api dan tekanan dipengaruhi oleh volume gas pada korek api tersebut. Semakin besar tekanan gas pada korek api maka semakin tinggi nilai kadar LPG yang terukur dan sebaliknya. Sedangkan kadar gas pada korek api tidak mempengaruhi perubahan pada kadar CO₂ dan CO.

3.6. Pengujian Aplikasi *Website*

Pengujian aplikasi *website* bertujuan untuk memastikan data yang didapat dari sensor dapat ditampilkan ke aplikasi *website* secara *real-time*. Sebelum pengujian, aplikasi akan di uji terlebih dahulu untuk memastikan fungsi pada fitur-fitur aplikasi *website* tidak ada *bug* atau *error*. Pengujian aplikasi *website* dilakukan dengan kondisi normal dan kondisi *warning* atau *danger*. Pengujian dilakukan untuk memastikan setiap fitur pada aplikasi *website* mampu menampilkan data sesuai dengan fungsinya. Hasil perancangan dan pengujian aplikasi *website* pada kondisi normal ditunjukkan pada Gambar 12.



Gambar 12. Tampilan aplikasi website pada kondisi normal

Pada Gambar 12, menunjukkan tampilan aplikasi *website* pada saat kondisi normal. Fitur lokasi menampilkan data berupa informasi lokasi alat dipasang dan kadar rata-rata didapat dari data kualitas udara 1 jam yang lalu. Kadar rata-rata CO₂ sebesar 746.7056 ppm, rata-rata CO sebesar 1 ppm dan rata-rata LPG sebesar 1.129 ppm. Indeks terkini menunjukkan nilai kadar terbaru dari CO₂, CO dan LPG dengan nilai masing-masing 715 ppm, 0 ppm dan 2 ppm, masih dibawah ambang batas peringatan. Kondisi udara terkini juga menampilkan semua kadar CO₂, CO dan LPG dari waktu ke waktu dalam keadaan normal. Semua grafik kadar CO₂, CO dan LPG menunjukkan garis berwarna hijau menandakan semua nilai berada dibawah ambang batas peringatan, sehingga kondisi dinyatakan normal.



Gambar 13. Tampilan aplikasi website pada kondisi *warning* dan *danger*

3.7. Analisis Pengujian

Hasil pengujian alat menunjukkan bahwa sistem monitoring berhasil mendeteksi kadar polutan CO₂, CO, dan LPG dari berbagai sumber pencemaran seperti ruangan terbuka, asap rokok, pembakaran kertas, kardus, dan gas korek api. Sensor MH- Z19B, MQ-7, dan MQ-2 memberikan hasil yang akurat dengan rata-rata selisih terhadap alat pembanding CO₂ meter sebesar 4,03%, masih dalam batas toleransi. Sensor juga mampu mengklasifikasikan kadar polutan ke dalam tiga kategori: normal, *warning*, dan *danger*, serta memberikan peringatan melalui buzzer dan visualisasi pada layar OLED. Sistem ini bekerja secara *real-time* dengan jeda waktu 1–3 detik, dan berhasil menampilkan data pada aplikasi *website* berbasis NodeMCU dengan tampilan grafik interaktif yang mudah dipahami. Hal ini membuktikan bahwa integrasi *hardware* dan *software* dalam sistem ini bekerja efektif untuk kebutuhan pemantauan kualitas udara secara langsung [17].

Berdasarkan Tabel 7, sistem yang dikembangkan pada penelitian ini memiliki keunggulan signifikan dibanding penelitian sebelumnya. Platform yang digunakan telah mendukung aplikasi *website* dengan tampilan fleksibel dan interaktif secara *real-time*, sementara penelitian lain masih terbatas pada Thingspeak atau tampilan sederhana. Sistem penulis juga menggunakan sensor dengan akurasi tinggi (MH- Z19B), sedangkan penelitian lain hanya memakai sensor standar. Dari segi cakupan gas yang dideteksi, sistem ini mampu mengukur CO₂, CO, LPG, suhu, dan kelembapan sekaligus, serta menggunakan metode pengujian lebih komprehensif dengan lima jenis sampel pengujian, berbanding hanya satu jenis pengujian pada penelitian lain. Dalam hal fungsi IoT, sistem ini telah mendukung pengiriman dan monitoring data *real-time* ke server web, menjadikannya lebih unggul dalam hal fleksibilitas, akurasi, dan kapabilitas monitoring berbasis cloud [18].

Tabel 7. Perbandingan hasil penelitian

Ref	Platform Aplikasi	Sensor	Pengukuran	Pengujian
[1]	Website berbasis Thingspeak	MQ-135	CO ₂	Pengujian hanya dilakukan pada satu ruangan tertutup dengan memaparkan suatu asap pembakaran CO ₂ .
[2]	Website (Database MySQL)	MQ-2, sensor DHT11	CO, Gas LPG, Suhu, Kelembapan	Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup dengan memaparkan suatu asap pembakaran CO dan gas LPG.
[18]	Telegram	MQ2	Alkohol, H ₂ , LPG, CH ₄ , CO, Propana	Pengujian dilakukan pada ruangan tertutup dengan memaparkan suatu asap pembakaran.
Penelitian ini	Website	MH-Z19B, MQ-7	CO ₂ , CO, LPG, Suhu, Kelembapan	Pengujian dilakukan pada ruangan terbuka siang dan malam hari, Asap Rokok, Asap Pembakaran kertas, Asap pembakaran kardus, Gas korek api

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem telah berfungsi dengan baik, dimana semua sensor mampu mendeteksi perubahan kadar gas di udara dan aplikasi *website* mampu menampilkan data secara *real-time*. Selisih kadar sensor CO₂ pada alat dengan CO₂ meter sebesar 10,7% pada ruangan terbuka, 2,1% terhadap asap rokok sebesar, 1% terhadap asap pembakaran kertas, 0,93% terhadap asap pembakaran kardus dan rata-rata selisih total sebesar 4,03%, selain itu, Sensor MH-Z19B dapat mendeteksi gas CO₂ dalam rentang 400 hingga 5000 ppm, sensor MQ-7 mendeteksi gas CO dari 1 hingga 2000 ppm, dan sensor MQ-2 mendeteksi gas LPG dari 1 hingga 110.000 ppm. *Website* mampu membaca perubahan kadar gas polutan udara dan menampilkan indikator atau status berupa normal, *warning* dan *danger*. Secara keseluruhan alat ini telah mampu mendeteksi polusi udara dan dapat ditampilkan melalui aplikasi *website*.

REFERENSI

- [1] Noviardi, A. Budiman, and M. Franata, "Perancangan Prototype Pemantauan Polusi Udara dalam Ruangan Berbasis IoT," *Technologica*, vol. 3, no. 2, pp. 96–110, Jul. 2024.
- [2] T. Rachman, I. I. Purnomo, and I. I. Ridho, "SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA PADA LINGKUNGAN PERUMAHAN BERBASIS IOT DENGAN NODEMCU," 2020.
- [3] M. Firly Akbar, "Pemanfaatan Sensor MQ-135 Sebagai Monitoring Kualitas Udara pada Aula Gedung Fasikom," Universitas Sriwijaya, Palembang, 2021.
- [4] J. A. Raub, M. Mathieu-Nolf, N. B. Hampson, and S. R. Thom, "Carbon monoxide poisoning — a public health perspective," *Toxicology*, vol. 145, no. 1, pp. 1–14, Apr. 2000, doi: 10.1016/S0300-483X(99)00217-6.
- [5] I. D. Pinatik, H. Riogilang, and I. R. Mangangka, "Analisis Beban Emisi CO₂ Di Bandar Udara Internasional Sam Ratulangi Manado Dengan Metode Intergovernmental Panel on Climate Change," *TEKNO*, vol. 21, no. 84, 2023.
- [6] M. A. Satryawan and E. Susanti, "Perancangan Alat Pendeteksi Kualitas Udara dengan IoT (Internet of Things) Menggunakan Wemos ESP32 D1 R32," *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 2, pp. 410–419, Nov. 2023.
- [7] F. Fachrizal, Julham, and Antoni, "Sistem Monitoring Polusi Udara Menggunakan Sensor Nitrogen Carbon Berbasis Internet of Thing," *Jurnal Sistem Komputer dan Informatika (JSON)*, vol. 4, no. 1, p. 199, Sep. 2022, doi: 10.30865/json.v4i1.4903.
- [8] B. D. M. Yulianto, A. D. N. Utomo, and A. Wijayanto, "Perancangan Alat Monitoring Suhu dan Polusi Karbon Monoksida (Co) di Udara Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Journal Informatic and Information Technology*, vol. 1, no. 4, pp. 194–205, Nov. 2022.
- [9] A. J. Taufiq, L. Hayat, B. Muchtasjar, Iskahar, D. G. Romandolo, and R. B. Amarudin, "Sistem Monitoring Polusi Udara Berbasis Sensor MQ-135 untuk Deteksi Gas CO₂ dan CO: Studi Kasus Di Lingkungan Perkotaan," *TECHNO*, vol. 25, no. 2, pp. 131–138, Oct. 2024, [Online]. Available: <http://jurnalnasional.ump.ac.id/index.php/Techno>
- [10] I. Iskandar, W. Rimalia, Jeffry, and B. Leonard Enrico Panggabean, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Ruangan Berbasis Internet of Things (IoT)," *Journal of System and Computer Engineering (JSCE) ISSN*, vol. 5, no. 1, pp. 2723–1240, Jan. 2024.
- [11] H. Budianto and B. Sumanto, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis Internet of Things," *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika*

- Terapan*, vol. 5, no. 1, Apr. 2024.
- [12] Kurniati, “Penerapan Metode Prototype Pada Perancangan Sistem,” *Journal of Software Engineering Ampera*, vol. 2, no. 1, pp. 2775–2488, Feb. 2021, [Online]. Available: <https://journal-computing.org/index.php/journal-sea/index>
- [13] E. Nurlailah and K. R. N. Wardani, “Perancangan Website Sebagai Media Informasi Dan Promosi Oleh-Oleh Khas Kota Pagaralam,” *JUPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 8, no. 4, pp. 1175–1185, Dec. 2023, doi: 10.29100/jupi.v8i4.4006.
- [14] C. Niswah, Syarifah, and F. Sany, “Pengaruh Asap Anti Nyamuk Kertas Bakar Terhadap Jumlaheritrosit Pada Mencit (*Mus musculus L.*),” *Jurnal SainHealth*, vol. 2, no. 1, Mar. 2018.
- [15] W. Ouyang *et al.*, “Rainfall stimulates large carbon dioxide emission during growing season in a forest wetland catchment,” *J Hydrol (Amst)*, vol. 602, Nov. 2021, doi: 10.1016/j.jhydrol.2021.126892.
- [16] S. Sinaga, Sudarno, and D. Siwi Handayani, “Pengaruh Jumlah Kendaraan Dan Faktor Meteorologi Terhadap Konsentrasi Karbon Monoksida (CO) Di Jalan Pandanaran Kawasan Simpang Lima, Kota Semarang,” *Jurnal Teknik Lingkungan*, 2014.
- [17] F. Supegina, “Rancang Bangun Sistem Alarm Dan Pintu Otomatis Dengan Sensor Gas Berbasis Arduino,” *J. Teknol. Elektro*, vol. 4, no. 2, pp. 44–53, 2013.
- [18] Y. Sari and A. Waliyuddin, “Alat Deteksi Polusi Udara Dalam Ruangan Berbasis Internet of Things (Iot),” *Tekinfo J. Bid. Tek. Ind. dan Tek. Inform.*, vol. 22, no. 2, pp. 120–134, 2021.