

# Sistem Monitoring Emisi Polutan Gas menggunakan IoT untuk Industri Pengolahan Teh Tradisional Desa Pandansari

## Gas Pollutant Emission Monitoring System using IoT for the Traditional Tea Processing Industry in Pandansari Village

Nurul Mega Saraswati<sup>1,\*</sup>, Randi Adzin Murdiantoro<sup>2</sup>, Alfin Rakhman<sup>3</sup>, Fadzly Haris Arsiandro<sup>4</sup>, Rizki Noor Prasetyono<sup>5</sup>

<sup>1,\*</sup>*Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Peradaban, Brebes, Indonesia*  
<sup>2,3,4,5</sup>*Teknik Elektro, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Peradaban, Brebes, Indonesia*

\*<sup>1</sup>Corresponding author: nurul.mega.s@gmail.com  
<sup>2</sup>randiadzinm@gmail.com, <sup>3</sup>alfienrahmaen7@gmail.com, <sup>4</sup>acilfadzly@gmail.com,  
<sup>5</sup>pr45t91@gmail.com

Received on 30-09-2025, accepted on 27-11-2025, published on 31-01-2026

### Abstrak

Pabrik pengolahan teh di desa Pandansari Brebes Jawa Tengah sudah ada dan berada di sekitar masyarakat, bahkan masyarakat sekitar pabrik ada yang mengolahnya secara mandiri dan manual. Salah satunya sangrai teh dengan pembakaran tradisional sedangkan asap ini bisa menyebabkan emisi berupa polutan gas beracun. Kondisi ini bisa menyebabkan permasalahan kesehatan bagi orang di sekitar jika tidak diantisipasi. Tujuan dari penelitian ini membuat rancang bangun alat untuk memonitoring polutan gas dari pembakaran pengolahan teh berbasis IoT (*Internet of Things*). Manfaat yang diharapkan yaitu masyarakat dan pabrik pengolahan teh yang tidak sesuai standar tidak mengakibatkan polutan gas yang berbahaya bagi masyarakat sekitar. Metode penelitian yang dilakukan yaitu pembuatan *prototype* yang diterapkan pada proses pembakaran teh. Tahapan yang dilakukan yaitu analisis masalah, studi literatur, penentuan atau perancangan alat, pengujian, penerapan alat, pengumpulan data dan analisis data. Pada perancangan alat dibuat dengan 4 sensor gas yaitu sensor MQ135, sensor MQ4, sensor MQ6 dan Sensor MQ7 dihubungkan dengan ESP 32 terkoneksi internet ke aplikasi Blynk. Hasil monitoring emisi gas berbasis IoT dengan integrasi empat sensor (MQ-4, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135) pada industri teh tradisional terbukti sangat layak digunakan, dengan validasi pakar di atas 85% dan akurasi pengukuran lebih dari 95%. Uji laboratorium menunjukkan tiap sensor bekerja sesuai fungsinya: MQ-4 mendeteksi metana, MQ-6 merespons hidrokarbon volatil, MQ-7 menangkap karbon monoksida, dan MQ-135 dominan pada asap serta polutan umum. Implementasi lapangan memperlihatkan emisi lebih tinggi pada daun teh mentah terutama uap air dan senyawa volatil dibanding tahap menjelang matang, dengan pola konsisten MQ-135 > MQ-4 > MQ-6 > MQ-7.

**Kata kunci:** Monitoring emisi polusi gas; Pengolahan teh; ESP32; Blynk; *Internet of Things*

### Abstract

A tea processing factory in Pandansari Village, Brebes, Central Java, already exists and is located near the community, even the surrounding community processes it independently and manually. One of them is roasting tea with traditional burning, while this smoke can cause emissions in the form of toxic gas pollutants. This condition can cause health problems for people around if not anticipated. The purpose of this study is to design a tool to monitor gas pollutants from tea processing combustion based on IoT (*Internet of Things*). The expected benefit is that the community and tea processing factories that do not meet standards do not result in gas pollutants that are dangerous to the surrounding community. The research method used is the creation of a prototype that is

applied to the tea burning process. The stages carried out are problem analysis, literature study, determination/design of the tool, testing, application of the tool, data collection and data analysis. In the design of the tool, it is made with 4 gas sensors, namely the MQ135 sensor, the MQ4 sensor, the MQ6 sensor and the MQ7 sensor connected to the ESP 32 internet connected to the Blynk application. The results of IoT-based gas emission monitoring with the integration of four sensors (MQ-4, MQ-6, MQ-7, and MQ-135) in the traditional tea industry proved to be very feasible to use, with expert validation above 85% and measurement accuracy of more than 95%. Laboratory tests showed that each sensor worked according to its function: MQ-4 detects methane, MQ-6 responds to volatile hydrocarbons, MQ-7 captures carbon monoxide, and MQ-135 is dominant in smoke and general pollutants. Field implementation showed higher emissions in raw tea leaves, especially water vapor and volatile compounds, compared to the pre-ripe stage, with a consistent pattern of MQ-135 > MQ-4 > MQ-6 > MQ-7.

**Keywords:** Gas pollution emission monitoring; tea processing; ESP32; Blynk; Internet of things

## I. INTRODUCTION

Tanaman teh yang dimanfaatkan pucuk daunnya dapat diolah menjadi bahan campuran minuman berdasarkan jenisnya seperti, teh putih yang diproses melalui pelayuan, pengukusan, pengeringan dan sortasi. Sedangkan teh hijau diproses dengan cara disangrai dan penggulungan setelah dilayukan dan sebelum dikeringkan [1] [2]. Desa Pandansari Kecamatan Paguyangan Kabupaten Brebes ada perkebunan teh yang terkenal dengan “Teh Kaligua” dengan pabrik pengolahan teh. Bahkan masyarakat ikut melakukan pengolahan teh diolah secara tradisional. Pengolahan teh secara tradisional dan pabrik teh yang tidak sesuai standar akan berbahaya limbah gas pembakarannya.

Produksi teh ini melalui beberapa proses yang diperlukan suatu pembakaran, disamping itu terdapat dampak negatif dari pengolahan teh yang diakibatkan oleh pembakaran yang mengakibatkan tercemarnya udara di sekitar. Asap dari pembakaran dapat melepaskan polutan beracun, yakni karbonmonoksida, formaldehida, arsenik, dioksin, furan dan VOC yang tidak bisa dirasakan secara langsung [3] [4]. Orang-orang yang berada disekitar lokasi tersebut terutama anak-anak, ibu hamil serta orang yang memiliki riwayat penyakit jantung dan paru, sangat rentan mengalami gangguan kesehatan akibat menghirup udara yang tercemar [3] [5]. Gangguan kesehatan yang dapat terjadi dalam jangka panjang beresiko menyebabkan jenis kanker tertentu, gangguan sistem kekebalan tubuh serta dapat menjangkit gangguan sistem reproduksi [6] [7]. Gangguan kesehatan tersebut dapat dialami beberapa gejala kecil seperti batuk, mata merah dan berair, hidung terasa perih seperti terbakar, ruam, mual, sakit kepala, dan serangan asma bagi penderita asma [3] [8]. Selain itu dampak dari asap pembakaran yang dilakukan secara terus menerus dapat mengakibatkan perubahan iklim, asap yang mengandung gas rumah kaca diantaranya karbon dioksida dan metana yang menangkap panas di atmosfer dan menyebabkan pemanasan global [9]. Hal tersebut dapat menyebabkan perubahan pola cuaca seperti kekeringan, banjir, hingga badai.

Berdasarkan *Agency for Toxic Substances and Disease Registry* [10] peran utama dari pencemaran udara disebabkan oleh aktivitas manusia yang berasal dari emisi alat transportasi dan kegiatan industri. Kegiatan industri yang menggunakan bahan bakar seperti batubara, minyak, kayu bakar, gas alam dan proses pembakaran lainnya yang menimbulkan gas buang dan mengakibatkan pencemaran udara. Diperkirakan persentase komponen pencemaran udara utama khususnya kegiatan industri yang menggunakan bahan bakar kayu sebagai berikut, formaldehida (CH<sub>2</sub>O) 60%, karbon monoksida (CO) 10,53 %, oksida sulfur (SO) 0,9%, nitrogen oksida (NO) 8,9%, Partikulat 1,33%, hidrokarbon (HC) 18,34%, dan gas rumah kaca (CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> dan N<sub>2</sub>O) [11], [12], [13] .

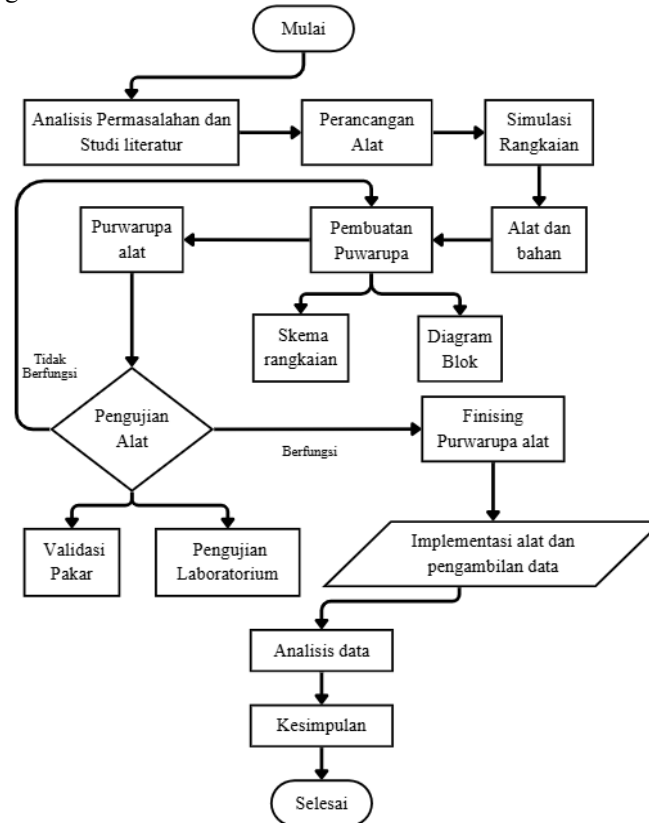
Penelitian tentang sensor gas berbasis semikonduktor tipe MQ memang sudah banyak dilakukan, tetapi sebagian besar masih berkuat pada ruang lingkup rumah tangga dan keamanan dasar. Wang et al. [14] dengan menggunakan MQ-4 untuk deteksi kebocoran metana di rumah, sementara Nnokwe et. Al. [15] menguji MQ-6 untuk memantau kebocoran LPG dengan tujuan melindungi pengguna kompor gas. Wang et al. [16] mengarahkan MQ-7 pada isu kesehatan penghuni ruang tertutup melalui deteksi karbon monoksida, dan Hummairroh et al. [17] memanfaatkan MQ-135 untuk menilai polusi udara dalam ruangan, terutama senyawa organik volatil. Semua riset ini penting, tetapi fokusnya lebih pada keselamatan domestik dan *urban indoor environment*, bukan pada emisi industri.

Diperlukannya dalam monitoring emisi polusi dari pengolahan teh secara tradisional yang masih menggunakan bahan bakar biomassa yang menghasilkan asap pekat, kadar metana dan karbon monoksida yang fluktuatif, serta senyawa berbahaya lain yang sering luput dari pemantauan. Melalui kombinasi MQ-4, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135 sehingga spektrum polutan yang terdeteksi jauh lebih luas. sistem dirancang

berbasis IoT, memungkinkan pemantauan real-time dan akses jarak jauh, melampaui sekadar pencatatan lokal.

## II. RESEARCH METHOD

Diagram alir penelitian Perancangan dan Implementasi Alat Monitoring Emisi Polutan Gas Berbasis IoT pada Industri Pengolahan Teh Tradisional.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sesuai dengan gambar 1 diatas untuk setiap tahapan dalam pembuatan penjelasannya sebagai berikut.

### A. Analisis Permasalahan dan Studi literatur

Industri pengolahan teh tradisional di Indonesia masih banyak mengandalkan tungku berbahan bakar kayu, biomassa, bahkan bahan bakar cair sederhana. Proses pembakaran ini memang murah dan mudah, tetapi membawa konsekuensi serius: munculnya emisi gas buang yang tidak terkendali. Permasalahan utama adalah ketidakpastian emisi dalam proses pembakaran tradisional. Studi literatur menegaskan bahwa setiap sensor MQ memiliki kekhususan dalam mendeteksi jenis gas tertentu, dan kombinasi keempatnya memberikan gambaran menyeluruh tentang polutan yang dilepaskan. Dengan demikian, penelitian ini bukan hanya eksperimen teknis, tetapi juga menawarkan solusi praktis untuk industri teh yang masih tradisional: mendeteksi lebih awal, melindungi kesehatan pekerja, sekaligus meminimalkan dampak lingkungan.

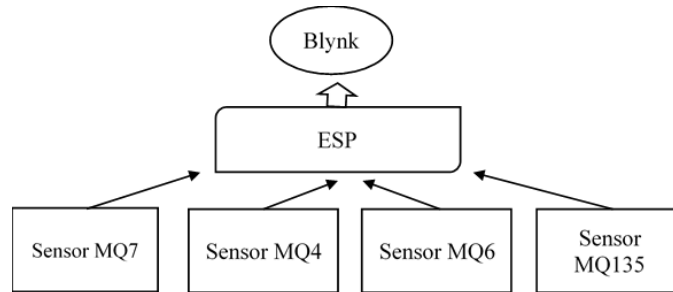
### B. Perancangan dan Pembuatan Alat

Setelah mendapatkan informasi mengenai standar kualitas udara yang baik langkah selanjutnya menentukan beberapa komponen yang dapat mendeteksi kualitas udara. Berikut komponen penyusun purwarupa yang dibutuhkan pada tabel 1.

Tabel 1. Komponen Penyusun Purwarupa

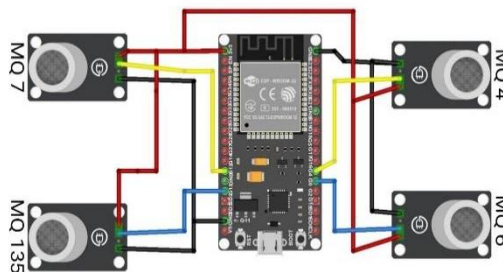
No	Alat dan bahan	Spesifikasi	Fungsi
1.	ESP 32	Tegangan masukan 7-12V, digital pin 25, analog pin 8, FM 4 MB, SRAM 520 KB, CSpeed 240 Mhz, wifi support [18].	Sebagai mikrokontroler pemrosesan <i>input</i> dan <i>ouput</i> berbasis IoT [18].
2.	Sensor MQ 4	Tegangan 5 V, dimensi 40x20mm, 3 pin, analog <i>output</i> [19].	Sensor ini dapat mendeteksi gas metana [19].
3.	Sensor MQ 6	Tegangan 5 V, dimensi 32x20x22 mm, 4 pin, analog <i>output</i> [20].	Sensor yang mampu mendeteksi liquefied petroleum gas (LPG) [20].
4.	Sensor MQ 7	Tegangan 5 V, temp 20°-2° C, Humid 65% [21].	Sensor yang berfungsi sebagai pendeteksi karbon monoksida (CO) [21].
5.	Sensor MQ 135	Teg 5 V, dim 32x20mm, LM393, ADC 10 bit [22]	Merupakan sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia (NH <sub>3</sub> ), natrium dioksida (NO <sub>2</sub> ), gas belerang/sulfur hidroksida (H <sub>2</sub> S) dan asap-asap gas lainnya diudara [22]

Setelah persiapan alat dan bahan kemudian gambaran sistem kerja rancang bangun alat monitoring emisi polutan gas pabrik pengolahan teh sesuai gambar 2 diagram blok berikut.



Gambar 2. Diagram blok

Sesuai gambar 2 prinsip dasar yaitu sensor digunakan sebagai *input*, dimana sensor-sensor tersebut akan mendeteksi sesuai dengan karakter yang dimiliki masing-masing sensor. *Output* dari sensor akan dikonversi oleh ESP *Module* menjadi data digital, dan hasil konversi dari ESP akan dikirimkan ke *software* blynk yang sudah terhubung dengan internet pada smartphone. Dari diagram blok diaplikasikan kedalam skema rangkaian pada gambar 3.



Gambar 3. Skema Rangkaian

Berdasarkan gambar 3 sensor MQ135 adalah sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia (NH<sub>3</sub>), natrium dioksida (NO<sub>2</sub>), alkohol/*ethanol* (C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH), benzene (C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>), karbon dioksida (CO<sub>2</sub>), gas belerang/sulfur hidroksida (H<sub>2</sub>S) dan asap/gas-gas lainnya di udara. Untuk mengubah input menjadi data digital sensor ini dihubungkan dengan ESP. Sebagai penyempurna ESP dihubungkan juga

dengan beberapa sensor diantaranya sensor MQ 4, sensor MQ 6 dan Sensor MQ7. *Output* ESP akan ditampilkan oleh software Blynk.

**C. Pengujian, Penerapan Alat dan Pengambilan Data**

Tahapan pengujian alat dilakukan yaitu untuk mengetahui komponen atau sensor bekerja sesuai dengan indikator keberhasilan dan sesuai fungsinya. Ketika alat belum bekerja sesuai indikator keberhasilan maka diperlukan evaluasi dalam pembuatan alat. Berikut indikator keberhasilan dalam pengujian komponen yaitu Sensor MQ 4, 6, 7 dan 135 mampu terbacanya/ mendeteksi dan data tampil pada aplikasi BLYNK.

Penerapan alat dilakukan dengan dua tahap yaitu pertama menerapkan alat emisi polutan gas pembakaran teh dengan pembakaran dilakukan secara mandiri melalui proses sangrai secara manual. Dilakukan pengambilan data secara manual dengan pengukuran berulang sebanyak 10-15 kali dan membandingkan dengan alat yang sudah terkalibrasi, tujuanya untuk mendapatkan nilai ketelitian atau error. Pabrik pengolahan teh yaitu menerapkan alat pada pembuangan gas yang dihasilkan oleh pabrik pengolahan teh. Pengambilan data selanjutnya adalah validasi dengan menggunakan angket respons dengan kriteria penilaian menggunakan skala likert 1-5 berikut:

Tabel 2. Angket Validasi alat

No	Kriteria Penilaian	1	2	3	4	5
1.	Kegunaan ( <i>utility</i> )					
2.	Kemudahan penggunaan ( <i>ease of use</i> )					
3.	Kepraktisan dari produk ( <i>practicality of the product</i> )					
4.	Kehandalan ( <i>reliability</i> )					
5.	Fitur yang menarik ( <i>interesting feature</i> )					
6.	Keakuratan ( <i>accuracy</i> )					
7.	Daya tahan ( <i>durability</i> )					

**D. Analisis data**

Analisis ketelitian untuk menghasilkan alat yang memiliki nilai eror lebih rendah sehingga memiliki akurasi yang tinggi. Data yang sudah diambil secara berulang dilakukan analisis dengan menghitung standar deviasi sesuai rumus 1.

$$\Delta x = \sqrt{\frac{\sum_i^n (\delta x_1)^2}{n - 1}} \tag{1}$$

Kemudian standar deviasi relatifnya sesuai dengan persamaan 2 berikut.

$$\overline{\Delta x_r} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \text{ atau } \overline{\Delta x_r} = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \times 100\% \tag{2}$$

Nilai ketelitian, atau kecermatan, sebesar  $1 - \overline{\Delta x_r}$  atau  $100\% - \overline{\Delta x_r}\%$

Analisis data ini untuk menunjukkan bahwa alat memiliki kelayakan sesuai dengan fungsinya. Berikut rumus 3 persentase kelayakan.

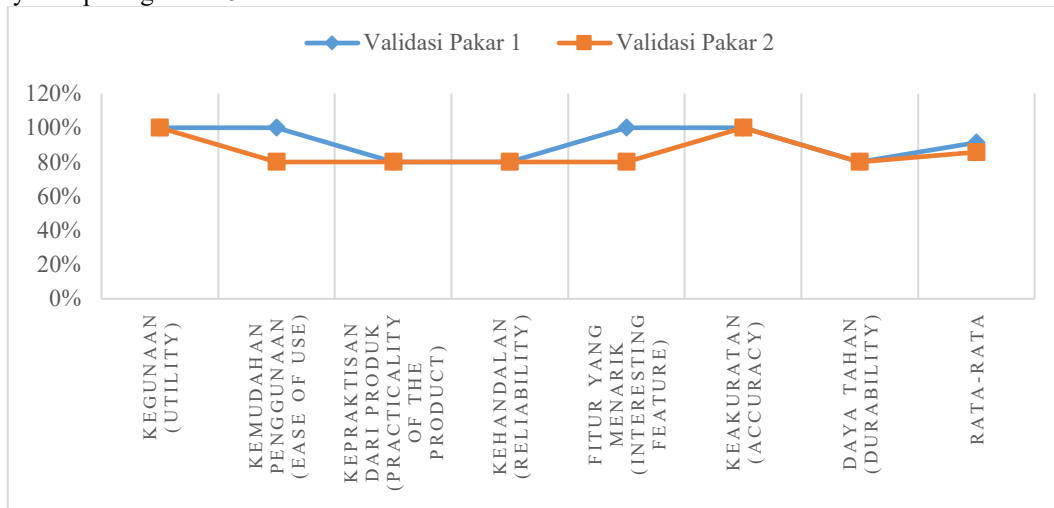
$$N_{\text{persentase}} = \frac{\sum \text{skor penilaian}}{\sum \text{skor maksimal}} \times 100\% \tag{3}$$

Hasil tersebut dibandingkan dengan kriteria penilaian range 81-100% dalam kategori sangat baik/sangat layak, range 61-80 dalam kategori baik/ layak, range 41-60% dalam kategori cukup baik/ cukup layak, range 21-40% dalam kategori Kurang layak/ perlu diperbaiki, dan range 0-20 dalam kategori tidak layak.

**III. RESULTS AND DISCUSSION**

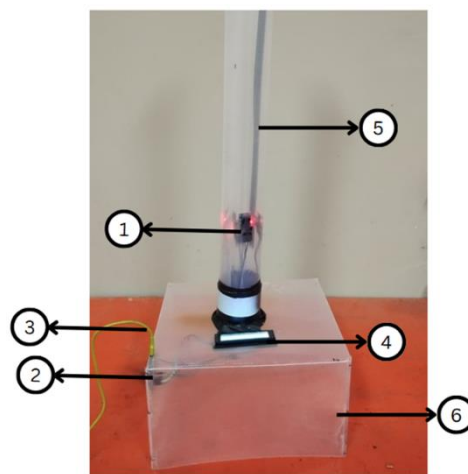
Perancangan alat monitoring emisi polutan gas berbasis IoT pada industri pengolahan teh tradisiona dengan Integrasi 4 Sensor Gas. Pada proses ini dilakukan validasi ahli untuk mengetahui kelayakan alat untuk mengimplementasikan alat di masyarakat. Validasi ahli dilakukan dengan dua orang ahli/ pakar pada

bidang IoT/ *Embedded System*/ Mikrokontroler dan mikroprosesor, berikut hasil analisis penilaian kelayakan pada gambar 5.



Gambar 4. Analisis Hasil Validasi oleh Ahli/ Pakar

Berdasarkan gambar 4 menunjukkan bahwa dua orang pakar dalam rata-rata penilaian 91% dan 86 % menunjukkan bahwa alat monitoring emisi polutan gas berbasis IoT yang dikembangkan telah memenuhi kriteria kelayakan dengan kategori “sangat baik”. Ditinjau dari aspek kegunaan (*utility*) kedua pakar memberikan penilaian maksimal, yakni 100% yang dikategorikan “sangat baik”. Penilaian ini sejalan dengan prinsip validasi instrumen menurut Arikunto yang menekankan aspek *utility* sebagai salah satu tolok ukur utama dalam kelayakan penggunaan [23]. Dari aspek yang kedua Kemudahan penggunaan (*ease of use*) pakar pertama menilai 100% dalam kategori “sangat baik”, sementara pakar kedua memberikan penilaian 80% dalam kategori “baik”.catatan yang dalam pengoprasian IoT diberikan tata cara penggunaannya sampai terkoneksi dengan BLYNK. Aspek kepraktisan (*practicality of the product*) dan keandalan (*reliability*) memperoleh skor konsisten, yakni 80% dengan kategori baik dari kedua pakar. Aspek fitur yang menarik (*interesting feature*) mendapatkan pada pakar pertama menilai sangat baik, sedangkan pakar kedua menilai baik. Keakuratan pengukuran sendiri mendapat skor sempurna dari kedua pakar. Kemudian daya tahan memperoleh skor baik, menunjukkan bahwa perangkat sudah cukup tangguh untuk digunakan di lapangan. Integrasi ini dilakukan berdasarkan rancangan sistem sebagaimana ditunjukkan pada gambar 5 berikut.



Gambar 5. Sistem monitoring emisi polutan gas berbasis IoT pada industri pengolahan teh tradisional dengan Integrasi 4 Sensor Gas

Sesuai dengan gambar 4.1 alat monitoring ini terdiri dari (1) Sensor MQ-4, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135 yang dijadikan satu posisi melingkar pada cerobong pembuangan asap. (2) ESP 32, (3) kabel untuk power supply, (4) LCD, (5) cerobong pembuangan asap, dan (6) tempat penampungan asap pembakaran.

Kemudian dilakukan pengujian tiap sensor secara individual untuk memastikan bahwa sensor MQ-4 (metana), MQ-6 (LPG), MQ-7 (karbon monoksida), dan MQ-135 (amonia dan senyawa berbahaya lainnya) seluruh sensor diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 yang bertugas mengolah data serta mengirimkannya ke platform Blynk untuk ditampilkan secara *real-time*.

Pengujian awal dilakukan skala laboratorium dengan tujuan memastikan rangkaian bekerja dengan baik dan tidak terdapat kesalahan dalam penyambungan maupun pemrograman. Pengujian pada laboratorium menggunakan 2 sampel, diantaranya asap pembakaran kertas dan uap dari pertalite. Berikut data yang diperoleh dari hasil pengukuran skala laboratorium menggunakan 2 jenis sampel yang berbeda:

Tabel 3. Analisis Pengujian Alat dengan Menggunakan Sampel Pembakaran Kertas

NO	MQ 4 ( $X_i$ )(ppm)	$(X_i - \bar{X})^2$	MQ 6 ( $X_j$ ) (ppm)	$(X_j - \bar{X})^2$	MQ 7 (ppm)	$(X_k - \bar{X})^2$	MQ 135 ( $X_l$ ) (ppm)	$(X_l - \bar{X})^2$
1	63	5.14	66	6.42	51	6.08	284	55.75
2	63	5.14	65	2.35	51	6.08	281	19.95
3	63	5.14	64	0.28	53	19.95	278	2.15
4	62	1.60	64	0.28	52	12.02	278	2.15
5	64	10.67	63	0.22	50	2.15	275	2.35
6	64	10.67	63	0.22	50	2.15	273	12.48
7	63	5.14	62	2.15	50	2.15	273	12.48
8	63	5.14	62	2.15	45	12.48	270	42.68
9	62	1.60	62	2.15	40	72.82	270	42.68
10	56	22.40	62	2.15	40	72.82	267	90.88
11	53	59.80	65	2.35	50	2.15	281	19.95
12	53	59.80	65	2.35	53	19.95	284	55.75
13	56	22.40	62	2.15	51	6.08	278	2.15
14	62	1.60	63	0.22	52	12.02	275	2.35
15	64	10.67	64	0.28	40	72.82	281	19.95
$\bar{X}$	60.73	15.13	63.47	1.72	48.53	21.45	276.53	25.58
$\Delta X$		1.08		0.12		1.53		1.83
$\% \Delta \bar{X}_r$		1.78		0.19		3.16		0.66
% Ketelitian/ Kecermatan		98.22		99.81		96.84		99.34

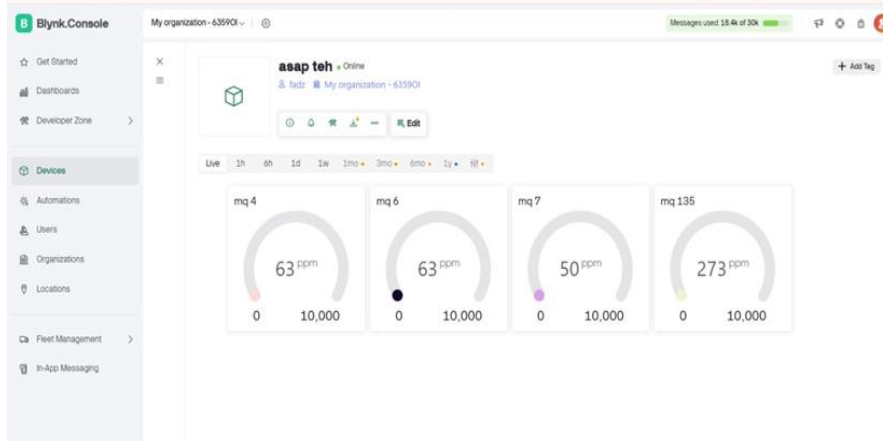
Hasil dari pengambilan data pembakaran kertas sesuai gambar 7 (a) dan (b) kemudian tabel 4 Pengukuran konsentrasi gas menggunakan empat sensor (MQ-4, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135) pada 15 sampel menunjukkan karakteristik yang berbeda pada masing-masing sensor. Nilai rata-rata yang diperoleh adalah 60,73 ppm untuk MQ-4, 63,47 ppm untuk MQ-6, 48,53 ppm untuk MQ-7, dan 276,53 ppm untuk MQ-135. Jika dibandingkan dengan standar ketelitian, hasil pengolahan data menunjukkan bahwa MQ-6 memiliki nilai ketelitian paling tinggi, yakni 99,81%, disusul MQ-135 dengan 99,34%, MQ-4 dengan 98,22%, dan MQ-7 dengan ketelitian 96,84%.



(a) Pengambilan data pembakaran kertas



(b) Proses sap pembakaran keluar dari cerobong



(c) Tampilan BLYNK

Gambar 6. Pengambilan data alat dengan sampel pembakaran kertas

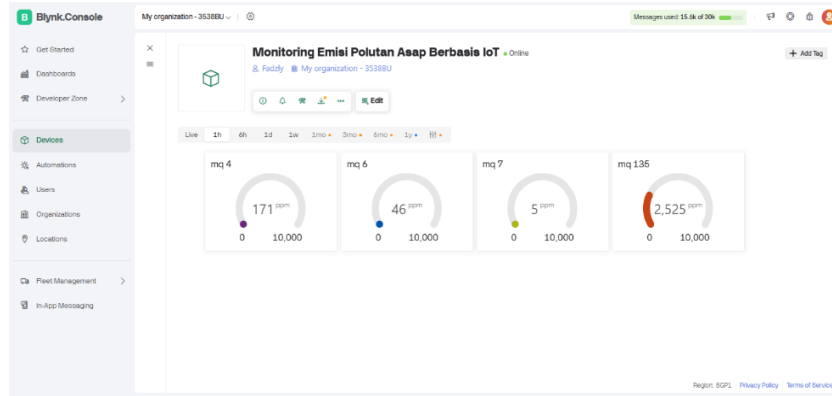
Gambar 6 (c) adalah tampilan BLYNK atau IoT di Smartphone yang pengukurannya pada tabel 4 menunjukkan respon masing-masing sensor gas terhadap emisi yang dihasilkan dari proses pembakaran kertas. Sensor MQ-4 mendeteksi adanya gas metana dengan rentang konsentrasi 53–64 ppm, sedangkan sensor MQ-6 yang peka terhadap LPG mencatat nilai sekitar 62–66 ppm. Sensor MQ-7 mendeteksi gas karbon monoksida pada kisaran 40–53 ppm, yang meskipun lebih rendah dibanding sensor lain tetap berbahaya jika terhirup dalam jangka waktu lama. Pada sensor MQ-135 mencatat angka tertinggi yaitu 267–284 ppm karena sensor ini memang lebih sensitif terhadap polutan umum dan partikel asap yang banyak dihasilkan dari kertas terbakar. Variasi kecil antar percobaan (1–15) dipengaruhi oleh perbedaan intensitas api, aliran udara, dan kestabilan sensor, namun pola yang terlihat konsisten dari nilai MQ-135 paling tinggi, diikuti oleh MQ-6 dan MQ-4, kemudian MQ-7. Dengan demikian, hasil ini membuktikan bahwa setiap sensor mampu mendeteksi jenis gas tertentu sesuai sensitivitasnya, serta mengonfirmasi bahwa pembakaran kertas lebih banyak menghasilkan asap atau partikel dibanding gas spesifik seperti metana maupun karbon monoksida.

Berdasarkan validasi kelayakan oleh ahli/ pakar yang menunjukkan bahwa purwarupa valid / layak, kemudian dari pengujian keakuratan pengukuran menunjukkan nilai akurasi lebih >90%. Pada hasil pengambilan sampel data diatas menggunakan asap pembakaran kertas didapati seluruh sensor mendeteksi hasil masing-masih dikarenakan Semua sensor MQ menggunakan elemen *heater* dan material sensitif ( $\text{SnO}_2$ ). Ketika gas tertentu hadir di sekitar permukaan sensor, molekul gas bereaksi dengan ion oksigen yang teradsorpsi, menyebabkan perubahan jumlah elektron bebas. Perubahan inilah yang mempengaruhi resistansi sensor, lalu diubah menjadi sinyal listrik yang bisa dibaca mikrokontroler [23]. Walaupun tiap sensor lebih sensitif pada gas tertentu, mereka tetap bereaksi terhadap berbagai gas/asap lain.

Kemudian dilakukan implementasi dengan menerapkan alat pada proses pengolahan teh, diambil dua data yang kondisinya teh mentah dan teh setengah matang. Berikut pengambilan data teh mentah yang kondisinya masih hijau dan baru masuk proses sangrai menggunakan Teknik tradisional.



(a) Pengambilan data teh mentah



(b) Tampilan BLYNK

Gambar 7. Pengambilan data alat di lapangan dengan kondisi teh mentah

Pada gambar 7(a) menunjukkan proses pengambilan data secara langsung polusi emisi gas yang dihasilkan dari teh mentah yang baru diolah/ masih lembab daun tehnya. Bagian 7 (b) menunjukkan hasil pengamatan dari BLYNK monitoring dari keempat sensor. Kemudian data direkap untuk dianalisis hasil pengamatannya sesuai tabel 5.

Tabel 4. Pengambilan data lapangan, Kondisi teh mentah

NO	MQ 4 Methane (ppm)	MQ 6 LPG (ppm)	MQ 7 Karbon Monoksida (ppm)	MQ 135 Asap (ppm)
1	212	29	5	706
2	134	39	3	420
3	226	119	6	813
4	144	49	4	371
5	230	71	4	7848
6	171	46	5	2525
7	297	132	5	10000
8	206	60	4	7848
9	223	84	4	7419
10	247	94	5	8223
11	2110	71	4	3745
12	228	77	5	6127
13	224	73	4	7322
14	142	40	3	991
15	210	61	4	3188
16	172	53	4	1038
17	197	65	4	2739
18	214	78	4	2878
19	335	422	7	1981
20	138	32	3	3678

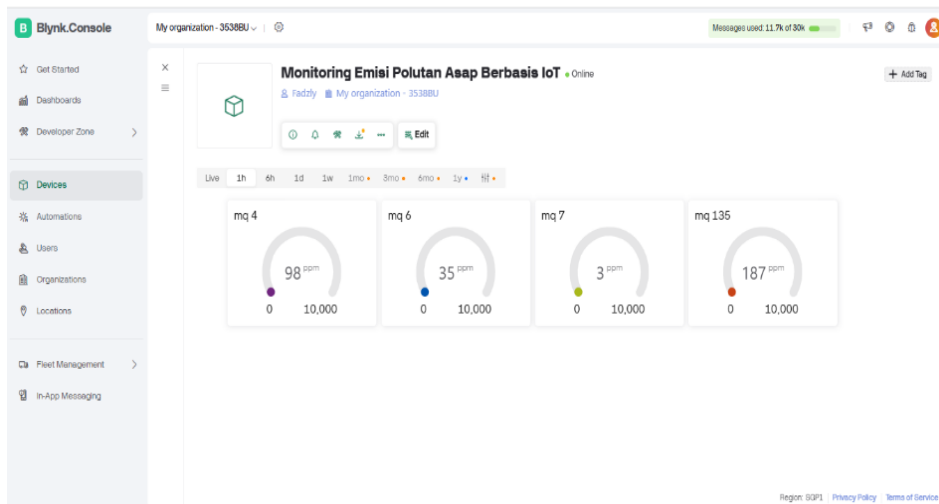
Pada kondisi teh mentah, respon sensor jauh lebih tinggi dibandingkan teh menjelang matang. MQ-4 mencatat metana pada kisaran 134–335 ppm, bahkan sempat mencapai 2110 ppm akibat akumulasi gas volatil dari daun segar yang masih kaya air dan senyawa organik [24]. MQ-6 juga menunjukkan respon besar, 29–422 ppm, karena keberadaan senyawa volatil alami seperti aldehida, alkohol, ester, dan terpen yang strukturnya mirip hidrokarbon ringan [25] [26]. Variasi nilai antar titik uji kemungkinan dipengaruhi perbedaan kesegaran daun teh. Sensor MQ-7 hanya merekam 3–7 ppm, menunjukkan kadar CO sangat kecil karena gas ini umumnya muncul dari pembakaran tidak sempurna, sedangkan pada teh mentah tidak terjadi proses tersebut. Nilai kecil ini kemungkinan dipicu sensitivitas silang terhadap senyawa volatil atau kontaminasi udara sekitar [27]. Sensor dengan respon paling tinggi adalah MQ-135, yang mencatat angka sangat besar dengan rentang 420–10.000 ppm. Nilai ini menunjukkan bahwa teh mentah menghasilkan polutan umum dalam jumlah melimpah, terutama berupa uap air dan senyawa organik kompleks yang mudah terlepas dari daun segar. Kadar air yang tinggi pada daun mentah menyebabkan pelepasan uap yang intensif, sehingga sensor MQ-135 mendeteksi dalam skala ribuan ppm. Fluktuasi besar antar pengukuran menggambarkan bahwa semakin basah daun semakin tinggi respon MQ-135 sebaliknya, daun yang relatif lebih kering menghasilkan nilai lebih rendah [28], [29].

Secara keseluruhan, urutan respon sensor pada kondisi teh mentah adalah MQ-135 > MQ-4 > MQ-6 > MQ-7. Pola ini menegaskan bahwa daun teh segar lebih dominan menghasilkan uap air dan senyawa organik kompleks dibandingkan gas pembakaran spesifik. MQ-135 menjadi indikator utama untuk mendeteksi polutan pada tahap ini karena mencatat nilai ribuan ppm. MQ-4 dan MQ-6 juga menunjukkan respon cukup besar karena adanya gas hidrokarbon dari aktivitas biologis maupun volatil alami daun, sedangkan MQ-7 hampir tidak mencatat perubahan signifikan.

Selanjutnya pengambilan data teh menjelang masak yang kondisinya sudah layu/ agak kering dan sudah tahap akhir proses sangrai menggunakan Teknik tradisional.



(a) Pengambilan data teh menjelang matang



(b) Tampilan BLYNK

Gambar 8. Pengambilan data alat di lapangan dengan kondisi teh menjelang matang

Pada gambar 9 (a) menunjukkan proses pengambilan data secara langsung polusi emisi gas yang dihasilkan dari teh menjelang matang yang sudah lama dalam proses sangrai sehingga layu/agak kering daun tehnya. Bagian 9 (b) menunjukkan hasil pengamatan dari BLYNK monitoring dari keempat sensor. Kemudian data direkap untuk dianalisis hasil pengamatanya sesuai tabel 6.

Tabel 5. Pengambilan data lapangan, Kondisi teh menjelang matang

NO	MQ 4 Methane (ppm)	MQ 6 LPG (ppm)	MQ 7 Karbon Monoksida (ppm)	MQ 135 Asap (ppm)
1	98	36	2	216
2	89	30	2	176
3	98	35	3	187
4	88	32	2	173
5	90	32	2	183
6	87	30	2	162
7	92	29	2	157
8	92	32	2	166
9	95	29	2	149
10	100	34	2	180

NO	MQ 4 Methane (ppm)	MQ 6 LPG (ppm)	MQ 7 Karbon Monoksida (ppm)	MQ 135 Asap (ppm)
11	92	31	2	149
12	88	27	2	132
13	89	32	2	169
14	72	25	2	109
15	50	13	1	34
16	87	27	2	123
17	75	22	2	95
18	44	21	2	83
19	76	22	2	89
20	75	27	2	95

Berdasarkan Tabel 5 terlihat bahwa respon sensor pada kondisi teh menjelang matang relatif lebih rendah. Sensor MQ-4 yang sensitif terhadap metana (CH<sub>4</sub>) menunjukkan nilai berkisar antara 44–100 ppm. Gas metana biasanya dihasilkan dari degradasi anaerobik bahan organik, sedangkan dalam kondisi pengolahan teh, proses yang terjadi lebih banyak berupa penguapan air (*moisture release*) dan pelepasan senyawa volatil alami dari daun sehingga bersifat fluktuatif dan dipengaruhi oleh kelembaban serta tingkat pemanasan pada sampel [25]. Sensor MQ-6 yang peka terhadap LPG (propana, butana, dan hidrokarbon volatil lainnya) mencatat nilai sekitar 21–34 ppm. Respon ini lebih rendah karena daun teh juga mengandung senyawa volatil organik (*volatile organic compounds/VOC*) seperti aldehida, alkohol, dan terpen yang dilepaskan selama proses pengeringan menjelang matang. Senyawa tersebut memiliki sifat serupa dengan hidrokarbon ringan sehingga masih dapat terdeteksi oleh MQ-6 [26]. Sementara itu, sensor MQ-7 yang mendeteksi karbon monoksida (CO) hanya mencatat nilai konstan pada 1–2 ppm. Angka ini sangat rendah karena pada proses menjelang matang tidak terjadi pembakaran, melainkan hanya penguapan air dan transformasi senyawa organik. Sensor dengan respon tertinggi adalah MQ-135 dengan rentang 89–216 ppm. Hal ini dapat dijelaskan karena MQ-135 memang sensitif terhadap polutan umum, termasuk uap air pekat, amonia, serta berbagai senyawa organik yang dilepaskan dari daun teh. Pada kondisi menjelang matang, kadar air pada daun masih cukup tinggi, sehingga uap air yang keluar membawa serta senyawa-senyawa volatil yang terbentuk selama pemanasan [30].

Secara umum, urutan respon sensor pada kondisi teh menjelang matang adalah MQ-135 > MQ-4 > MQ-6 > MQ-7. Pola ini menunjukkan bahwa proses pengolahan teh lebih banyak menghasilkan uap dan senyawa organik volatil daripada gas pembakaran spesifik. MQ-135 menjadi indikator utama karena sensitif terhadap berbagai uap polutan, MQ-4 dan MQ-6 masih mendeteksi hidrokarbon volatil meskipun dalam jumlah terbatas, sedangkan MQ-7 hampir tidak mencatat perubahan karena ketiadaan proses pembakaran. Dengan demikian, hasil pengukuran ini mengonfirmasi bahwa kondisi menjelang matang pada pengolahan teh lebih ditandai oleh pelepasan uap air dan senyawa volatil daripada gas berbahaya seperti CO atau metana. Dengan membandingkan hasil ini terhadap kondisi teh menjelang matang, terlihat jelas bahwa semakin segar atau mentah daun teh, semakin tinggi emisi uap air dan senyawa volatil yang dilepaskan. Namun, ketika daun mulai mengering dan memasuki fase menjelang matang, respon sensor terutama MQ-135 menurun signifikan karena kandungan air dan senyawa volatil berkurang. Hal ini menunjukkan hubungan langsung antara kadar kelembaban daun dengan besarnya respon sensor, khususnya pada MQ-135 sebagai indikator utama pelepasan polutan dari material berbasis organik segar.

#### IV. CONCLUSION

Perancangan dan pengujian alat monitoring emisi gas berbasis IoT dengan integrasi empat sensor gas (MQ-4, MQ-6, MQ-7, dan MQ-135) pada industri pengolahan teh tradisional menunjukkan hasil yang meyakinkan. Validasi oleh pakar menegaskan bahwa perangkat ini sangat layak digunakan, dengan tingkat kelayakan rata-rata di atas 85% dan kategori “sangat baik” terutama pada aspek kegunaan dan keakuratan pengukuran. Hasil uji laboratorium menggunakan sampel pembakaran kertas membuktikan bahwa setiap sensor bekerja sesuai sensitivitasnya: MQ-4 mendeteksi metana, MQ-6 merespons hidrokarbon volatil, MQ-7 menangkap karbon monoksida, dan MQ-135 menunjukkan respons dominan terhadap asap dan polutan umum. Tingkat ketelitian pengukuran yang melampaui 95% menegaskan bahwa perangkat mampu menghasilkan data yang konsisten dan reliabel. Implementasi lapangan pada proses pengolahan teh memperlihatkan perbedaan karakteristik emisi antara daun teh mentah dan menjelang matang. Daun mentah menghasilkan emisi jauh lebih tinggi, terutama uap air dan senyawa organik volatil, yang terdeteksi kuat oleh MQ-135 serta cukup signifikan pada MQ-4 dan MQ-6. Sebaliknya, pada tahap menjelang matang, respon sensor menurun drastis seiring berkurangnya kadar air dan senyawa volatil, dengan pola yang konsisten MQ-135 > MQ-4 > MQ-6 > MQ-7.

Saran untuk kelanjutan penelitian yaitu dengan mengintegrasikan dengan aplikasi berbasis android, kombinasi sensor suhu dan kelembapan untuk mengurangi dalam menganalisis data MQ berdasarkan sensor tersebut.

### ACKNOWLEDGMENT

Ucapan syukur Alhamdulillah dan terima kasih kepada **KEMDIKTISAINTEK (Kementerian Pendidikan, Sains dan Teknologi)** Sudah memberikan kesempatan untuk mendapatkan hibah penelitian skema Penelitian Dosen Pemula (PDP) dalam mensupport penelitian ini. Kemudian kepada semua pihak yang sudah membantu dalam menyelesaikan penelitian ini khususnya Universitas Peradaban yang sudah memberikan wadah dalam kondisi lingkungan akademis.

### AUTHOR CONTRIBUTION

NM melakukan analisis permasalahan dan pembuatan laporan penelitian. RA melakukan desain, simulasi rangkaian dan pembuatan alat. AR dan FH melakukan pengambilan data dan membantu dalam pembuatan rangkaian. RN melakukan diskusi dengan pakar dan menganalisis hasil data penelitian.

### REFERENCES

- [1] D. I. Lelita, R. Rohadi, and A. S. Putri, "Sifat Antioksidatif Ekstrak Teh (*Camellia sinensis* Linn.) Jenis Teh Hijau, Teh Hitam, Teh Oolong dan Teh Putih dengan Pengeringan Beku (Freeze Drying)," *Jurnal Teknologi Pangan dan Hasil Pertanian*, vol. 13, no. 1, 2013, doi: 10.26623/jtphp.v13i1.2372.
- [2] S. Rahmah, A. Setiawan, and A. L. Yusuf, "Isolasi Dan Identifikasi Kafein Dari Daun Teh Hijau, Teh Hitam Dan Teh Olong Menggunakan Spektrofotometri UV Vis," *Pharmacy Genius*, vol. 2, no. 1, 2023, doi: 10.56359/pharmgen.v2i1.238.
- [3] I. W. R. Aryanta and S. E. Maharani, "Dampak Polusi Udara bagi Kesehatan," *Jurnal Ecocentrism*, vol. 3, 2023.
- [4] F. Huda, N. Qomariyah, and K. Udyani, "Design of Packed Tower Absorber for Carbon Dioxide Absorption by Potassium Hydroxyde Absorbent," *Konversi*, vol. 11, no. 2, 2022, doi: 10.20527/k.v11i2.14158.
- [5] S. Aryanti, "Dampak Pencemaran Udara (Polusi Udara) terhadap Penyakit Hipertensi," *Kementerian Kesehatan*, 2019.
- [6] S. Sugiharto, R. A. P. Simanjuntak, and O. Larissa, "Kanker Paru, Faktor Risiko dan Pencegahannya," *Prosiding SENAPENMAS*, 2021, doi: 10.24912/psenapenmas.v0i0.15060.
- [7] N. N. Sari, L. N. Putri, and A. Agata, "Hubungan Penggunaan Alat Pelindung Diri (APD) dengan Keterpaparan Logam Timbal (Pb) Pada Petugas Tanda Pembayaran Retribusi (TPR) Dinas Perhubungan di Terminal Rajabasa Bandar Lampung," *Bali Medika Jurnal*, vol. 6, no. 1, 2019, doi: 10.36376/bmj.v6i1.63.
- [8] M. Yunus, W. Raharjo, and A. Fitriangga, "Faktor-faktor yang berhubungan dengan kejadian infeksi saluran pernapasan akut (ISPA) pada pekerja PT.X," *Jurnal Cerebellum*, vol. 5, no. 4A, 2020, doi: 10.26418/jc.v6i1.43349.
- [9] S. Ainurrohman and S. Sudarti, "Analisis Perubahan Iklim dan Global Warming yang Terjadi sebagai Fase Kritis," *Jurnal Phi Jurnal Pendidikan Fisika dan Fisika Terapan*, vol. 3, no. 3, 2022, doi: 10.22373/p-jpft.v3i3.13359.
- [10] D. Smith, G. M. Woodall, A. M. Jarabek, and W. K. Boyes, "Manganese testing under a clean air act test rule and the application of resultant data in risk assessments," *Neurotoxicology*, vol. 64, 2018, doi: 10.1016/j.neuro.2017.06.014.
- [11] A. Fikri, I. A. Darmawan, and M. Fatkhurrohman, "Rancang Bangun Monitoring Kadar Polusi Udara di Lingkungan Kampus FKIP Menggunakan Sistem IoT," *JIIIP - Jurnal Ilmiah Ilmu Pendidikan*, vol. 6, no. 5, 2023, doi: 10.54371/jiip.v6i5.1716.
- [12] R. D. Yunita and A. A. Kiswandono, "Kajian Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Sulfur Dioksida (SO<sub>2</sub>) Sebagai Polutan Udara Pada Tiga Lokasi Di Kota Bandar Lampung," *Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 2, no. 01, 2017.
- [13] R. Arissa and A. A. Kiswandono, "Kajian Indeks Standar Polusi Udara (ISPU) Pm<sub>10</sub>, So<sub>2</sub>, O<sub>3</sub>, Dan No<sub>2</sub> Di Kota Bandar Lampung," *Analit: Analytical and Environmental Chemistry*, vol. 2, no. 2, 2017.
- [14] Z. Wang, S. Zhao, and X. Cheng, "Methane Monitoring in Kitchen Based on ZigBee Antenna Array," in *Journal of Physics: Conference Series*, 2020. doi: 10.1088/1742-6596/1550/6/062012.
- [15] C. C. Nnokwe, B. C. Ubochi, and K. V. Onwuzuruike, "Development of a Gas Leakage Detection System," 2020.
- [16] J. Wang, S. Viciano-Tudela, L. Parra, R. Lacuesta, and J. Lloret, "Evaluation of Suitability of Low-Cost Gas Sensors for Monitoring Indoor and Outdoor Urban Areas," *IEEE Sens J*, vol. 23, no. 18, 2023, doi: 10.1109/JSEN.2023.3301651.
- [17] G. P. Humairoh and R. D. E. Putra, "Prototipe Pengendalian Kualitas Udara Indoor Menggunakan Mikrokontroler dengan Sensor MQ135, DHT-22 dan Filter HEPA," *Jurnal Serambi Engineering*, vol. 7, no. 1, 2021, doi: 10.32672/jse.v7i1.3708.
- [18] M. Rafli Rasyid, M. Fahmi Rustan, and Nurhidayah, "Sistem Monitoring Kualitas Air Pada Pembudidayaan Ikan Air Tawar Menggunakan ESP 32 dan ESP 8266," *JASEE Journal of Application and Science on Electrical Engineering*, vol. 4, no. 1, 2023.
- [19] Y. R. Carrillo-Amado, M. A. Califa-Urquiza, and J. A. Ramón-Valencia, "Calibration and standardization of air quality measurements using MQ sensors," *Respuestas*, vol. 25, no. 1, 2020, doi: 10.22463/0122820x.2408.
- [20] U. Rahmalisa, A. Febriani, and Y. Irawan, "Detector leakage gas LPG based on telegram notification using wemos D1 and MQ-6 sensor," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 2, no. 4, 2021, doi: 10.18196/jrc.2493.
- [21] A. A. Rosa, B. A. Simon, and K. S. Lieanto, "Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135," *Ultima Computing : Jurnal Sistem Komputer*, vol. 12, no. 1, 2020, doi: 10.31937/sk.v12i1.1611.
- [22] D. Kurniawan, S. R. Sulistiyanti, and U. Mardika, "Sistem Pemantau Gas Karbon Monoksida (CO) dan Karbon Dioksida (CO<sub>2</sub>) Menggunakan Sensor MQ7 dan MQ-135 Terintegrasi Telegram," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 2, 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i2.2963.

- [23] G. Korotcenkov, *Handbook of Gas Sensor Materials*, vol. 2. 2014.
- [24] B. Molleman, E. Alessi, F. Passaniti, and K. Daly, "Evaluation of the applicability of a metal oxide semiconductor gas sensor for methane emissions from agriculture," *Information Processing in Agriculture*, vol. 11, no. 4, 2024, doi: 10.1016/j.inpa.2023.11.001.
- [25] S. Y. Lin, Y. L. Chen, C. L. Lee, C. Y. Cheng, S. F. Roan, and I. Z. Chen, "Monitoring volatile compound profiles and chemical compositions during the process of manufacturing semi-fermented oolong tea," *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, vol. 88, no. 2, 2013, doi: 10.1080/14620316.2013.11512951.
- [26] R. J. Rath, S. Farajikhah, F. Oveissi, F. Dehghani, and S. Naficy, "Chemiresistive Sensor Arrays for Gas/Volatile Organic Compounds Monitoring: A Review," 2023. doi: 10.1002/adem.202200830.
- [27] D. Wang, D. Zhang, Q. Pan, T. Wang, and F. Chen, "Gas sensing performance of carbon monoxide sensor based on rod-shaped tin diselenide/MOFs derived zinc oxide polyhedron at room temperature," *Sens Actuators B Chem*, vol. 371, 2022, doi: 10.1016/j.snb.2022.132481.
- [28] D. Erwanto *et al.*, "Development and Application of an Electronic Nose System for Classifying Coffee Varieties Based on Aromatic Profiles," *Journal of Intelligent Systems and Control*, vol. 3, no. 3, pp. 186–200, Sep. 2024, doi: 10.56578/jisc030305.
- [29] H. K. Salih and A. A. Al-Ani, "Designing an E-Nose Prototype Based on Gas Sensors Array," *Iraqi Journal of Information and Communication Technology*, vol. 8, no. 1, pp. 10–22, Apr. 2025, doi: 10.31987/ijict.8.1.277.
- [30] F. N. Abbas, I. M. Saadoon, Z. K. Abdalrda, and E. N. Abud, "Capable of gas sensor MQ-135 to monitor the air quality with arduino uno," *International Journal of Engineering Research and Technology*, vol. 13, no. 10, 2020, doi: 10.37624/IJERT/13.10.2020.2955-2959.