

Design and Development of IoT-Based Alcohol, CO₂, H₂S, and PM2.5 Detection System for Air Quality Monitoring in Chemical Laboratories

Muhammad Quthbil Irsyad ✉, Sri Wahyuni

Jurusan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Semarang
Gedung D6 Kampus Sekaran Gunungpati Telp. (024)8508112 Semarang 50229

Info Artikel

Diterima: 28-07-2025

Disetujui: 12-01-2026

Dipublikasikan: 30-05-2026

Keywords:

IoT

Kualitas Udara

Sensor Gas

PM2.5

Laboratorium kimia

Abstrak

Kualitas udara di laboratorium kimia merupakan faktor krusial bagi keselamatan kerja akibat potensi paparan senyawa berbahaya seperti uap alkohol, CO₂, H₂S, dan partikel PM2.5. Penelitian ini bertujuan untuk merancang, membangun, dan menguji sistem deteksi kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) yang dapat memantau polutan tersebut secara real-time. Metode penelitian meliputi perancangan sistem menggunakan sensor MQ-3, MQ-135, MQ-136, dan GP2Y1010AUF yang terintegrasi dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Kalibrasi sensor dilakukan menggunakan metode eksperimental untuk memastikan akurasi alat. Hasil kalibrasi menunjukkan validitas tinggi dengan koefisien determinasi (R²) untuk sensor MQ-3, MQ-135, dan MQ-136 masing-masing sebesar 0,9873; 0,9871; dan 0,9127, dengan rata-rata error pengukuran sistem berada di bawah 5%. Sistem ini terbukti efektif memberikan peringatan dini dan dapat diterapkan untuk meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja di laboratorium kimia melalui pemantauan kualitas udara yang berkelanjutan dan responsif.

Abstract

Air quality in a chemical laboratory is a crucial factor for occupational safety due to potential exposure to hazardous compounds such as alcohol vapor, CO₂, H₂S, and PM2.5 particles. This research aims to design, build, and test an Internet of Things (IoT)-based air quality detection system capable of monitoring these pollutants in real-time. The research method involved designing a system using MQ-3, MQ-135, MQ-136, and GP2Y1010AUF sensors integrated with a NodeMCU ESP32 microcontroller. Sensor calibration was performed using experimental methods to ensure the device's accuracy. The calibration results showed high validity with coefficients of determination (R²) for the MQ-3, MQ-135, and MQ-136 sensors of 0.9873, 0.9871, and 0.9127, respectively. The average measurement error of the system was below 5%. The system proved effective in providing early warnings and can be applied to enhance occupational safety and health in chemical laboratories through continuous and responsive air quality monitoring.

Pendahuluan

Kualitas udara merupakan faktor fundamental dalam menjamin keselamatan dan kesehatan, terutama di lingkungan kerja seperti laboratorium kimia, di mana polusi dapat berasal dari berbagai sumber (Zagita, 2021). Paparan polusi udara dalam ruangan menjadi penyebab signifikan masalah kesehatan global (WHO, 2024). Di dalam laboratorium kimia, berbagai aktivitas seperti reaksi kimia dan eksperimen berpotensi melepaskan gas-gas berbahaya seperti uap alkohol, karbon dioksida (CO_2), hidrogen sulfida (H_2S), serta partikel halus ($\text{PM}_{2.5}$) (Furuta *et al.*, 2022). Paparan alkohol dalam konsentrasi tinggi dapat menyebabkan iritasi pernapasan hingga keracunan (Hancock *et al.*, 2024), Sementara akumulasi CO_2 dapat memicu gangguan pernapasan dan penurunan kesadaran (Hrabovský *et al.*, 2021). Partikel $\text{PM}_{2.5}$, dengan ukurannya yang sangat kecil, dapat terhirup dan mengendap di paru-paru, menyebabkan gangguan pernapasan dan penyakit jantung dalam jangka panjang (Badran *et al.*, 2024).

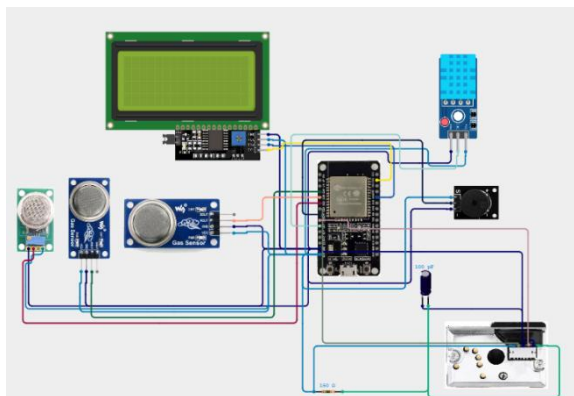
Metode pemantauan kualitas udara konvensional seringkali memiliki keterbatasan, seperti biaya tinggi, perawatan yang rumit, dan ketidakmampuan menyediakan data secara real-time. Keterbatasan ini menghambat deteksi dini dan respons cepat terhadap peningkatan konsentrasi polutan berbahaya. Sebagai solusi, teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan pendekatan yang lebih efisien dan efektif, memungkinkan pengumpulan data secara terus-menerus dan analisis real-time untuk deteksi dini paparan berbahaya (Khalil *et al.*, 2021).

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang mengintegrasikan sensor-sensor spesifik, yaitu MQ-3 untuk alkohol, MQ-135 untuk CO_2 , MQ-136 untuk H_2S , dan GP2Y1010AUF untuk $\text{PM}_{2.5}$ (Ding *et al.*, 2021). Sistem ini dirancang untuk menciptakan lingkungan kerja yang lebih aman dengan memberikan peringatan dini ketika konsentrasi polutan melebihi ambang batas aman. Tujuan utama penelitian ini adalah untuk merancang dan membangun sistem tersebut, mengevaluasi efektivitasnya dalam memberikan peringatan, dan menganalisis kontribusinya dalam meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja di laboratorium kimia secara berkelanjutan.

Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan menggabungkan jenis penelitian Research and Development (R&D) dan eksperimen. Prosedur penelitian mencakup perancangan sistem, pengembangan prototipe, kalibrasi sensor, dan pengujian fungsional di Laboratorium Kimia Fisik dan Riset Kimia, Universitas Negeri Semarang.

Variabel bebas dalam penelitian ini adalah sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT, sedangkan variabel terikatnya adalah konsentrasi gas (Alkohol, CO_2 , H_2S) dalam ppm, konsentrasi $\text{PM}_{2.5}$ dalam $\mu\text{g}/\text{m}^3$, dan efektivitas sistem peringatan dini. Variabel terkontrol meliputi kondisi lingkungan laboratorium (suhu dan kelembapan), kalibrasi sensor, dan waktu pengukuran untuk menjaga konsistensi data. Sistem perangkat keras dirangkai dengan NodeMCU ESP32 sebagai mikrokontroler pusat yang mengintegrasikan sensor MQ-3 (alkohol), MQ-135 (CO_2), MQ-136 (H_2S), GP2Y1010AU0F ($\text{PM}_{2.5}$), dan DHT22 (suhu & kelembapan). Output dari sistem ditampilkan pada LCD I2C 20x4 dan peringatan audio diberikan melalui buzzer. Rangkaian alat dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Rangkaian *circuit diagram* alat deteksi gas

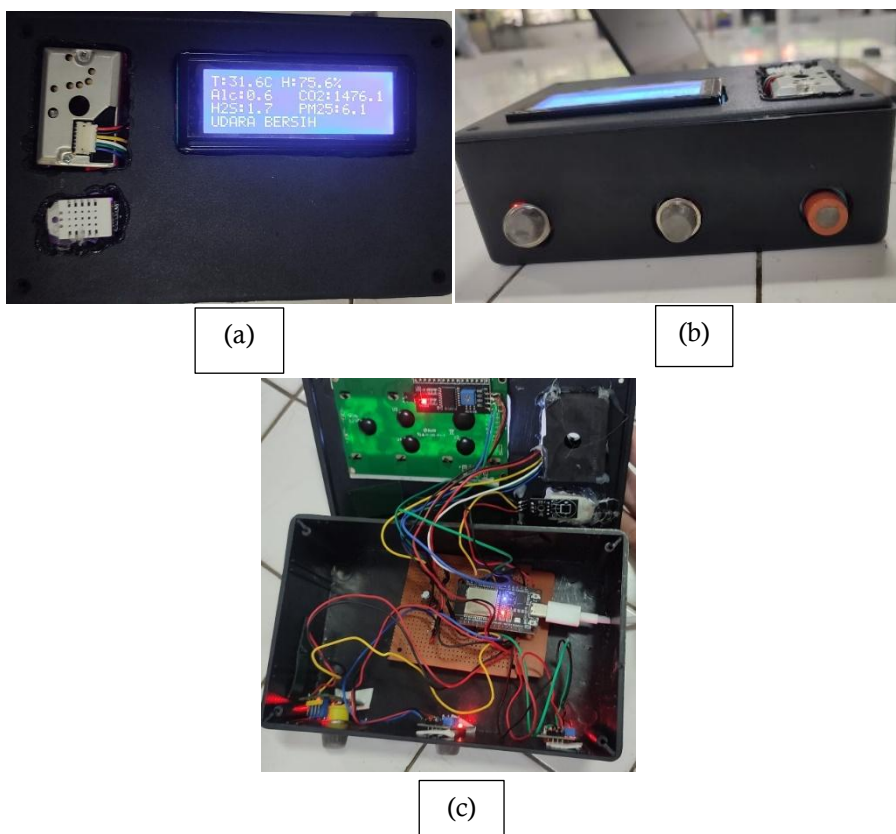
Kalibrasi sensor MQ dilakukan dalam chamber kaca 2 L kedap udara untuk menghasilkan hubungan antara output sensor dengan konsentrasi gas yang diketahui. Proses ini bertujuan agar alat ukur memberikan hasil yang konsisten sesuai standar (Gunadi, 2023). Gas target dihasilkan melalui reaksi kimia spesifik: penguapan untuk alkohol, reaksi antara soda kue (NaHCO_3) dan asam asetat (CH_3COOH) untuk CO_2

(Putri, 2022), serta reaksi natrium sulfida (Na_2S) dengan asam klorida (HCl) untuk H_2S (Anjani *et al.*, 2024). Konsentrasi gas teoretis dihitung menggunakan persamaan gas ideal ($PV=nRT$). Data hasil kalibrasi dianalisis menggunakan regresi linier untuk mendapatkan persamaan yang akan ditanamkan ke dalam mikrokontroler.

Data kualitas udara dikumpulkan dan dikirim ke platform IoT Thingspeak untuk visualisasi dan analisis jangka panjang. Keabsahan data dipastikan melalui triangulasi, replikasi pengukuran, dan validasi sistem secara holistik di lapangan. Analisis data kuantitatif dilakukan untuk membangun kurva kalibrasi, menghitung error, dan mengevaluasi kinerja sistem peringatan dini.

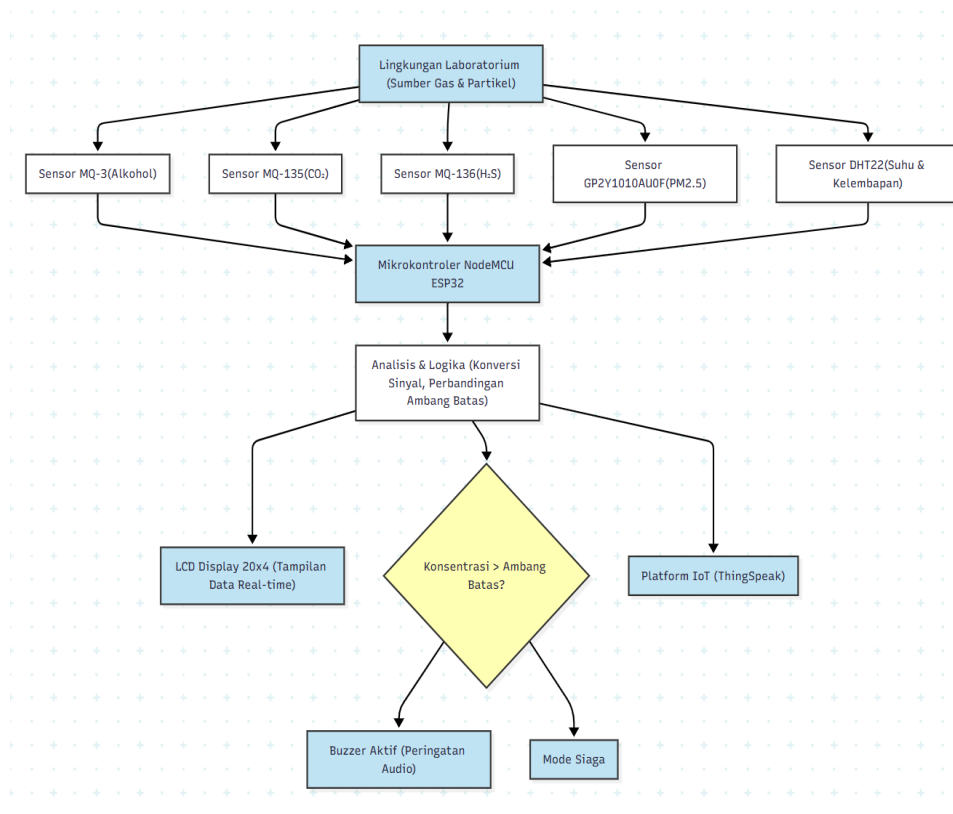
Hasil dan Pembahasan

Sistem pemantauan kualitas udara dirancang dan diimplementasikan menjadi sebuah prototipe fungsional. Komponen utama seperti mikrokontroler NodeMCU ESP32, sensor-sensor (MQ-3, MQ-135, MQ-136, GP2Y1010AUF, DHT22), LCD, dan buzzer dirakit menjadi satu kesatuan dalam sebuah casing (Gambar 2). Perangkat lunak yang ditanamkan pada mikrokontroler menggunakan Arduino IDE berfungsi untuk membaca data dari semua sensor, mengolahnya menggunakan rumus kalibrasi, menampilkan hasilnya pada LCD, mengaktifkan buzzer jika terdeteksi bahaya, dan mengirimkan data secara berkala ke platform IoT Thingspeak.



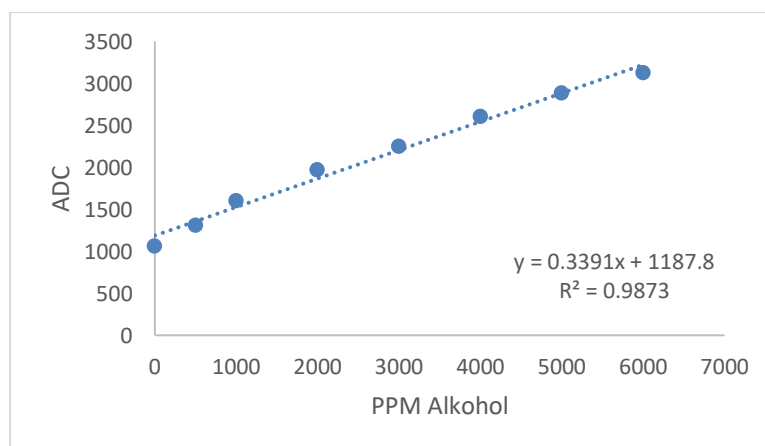
Gambar 2. Prototipe alat yang telah jadi : (a) bagian atas, (b) bagian samping, dan (c) bagian dalam

Alur kerja sistem (Gambar 3) terdiri dari tiga lapisan utama: lapisan input (sensor), lapisan pemrosesan (mikrokontroler), dan lapisan output (LCD, buzzer, dan platform IoT). Kombinasi ini menghasilkan sistem pemantauan yang komprehensif dan responsif untuk meningkatkan keselamatan kerja di laboratorium.



Gambar 3. Alur Kerja Sistem Deteksi Kualitas Udara

Kalibrasi dilakukan untuk memastikan akurasi setiap sensor gas. Proses ini dilakukan dengan memaparkan sensor pada berbagai konsentrasi gas yang dihasilkan dari reaksi kimia terkontrol di dalam chamber tertutup.

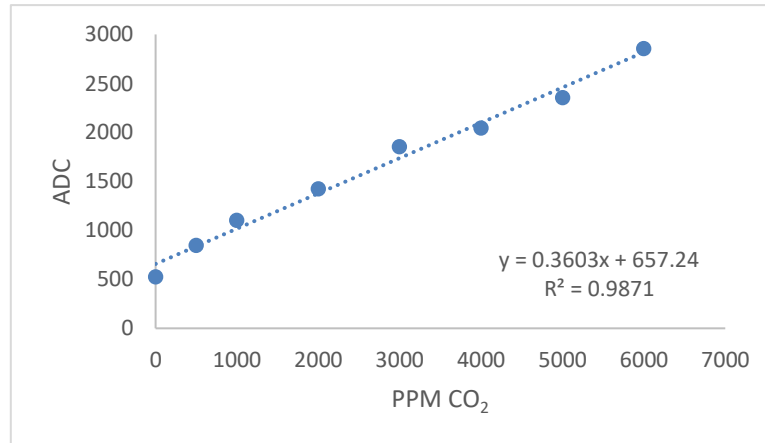


Gambar 4. Kurva Kalibrasi Sensor MQ-3

Sensor Alkohol (MQ-3): Kalibrasi dilakukan terhadap 7 variasi konsentrasi alkohol. Hasilnya menunjukkan hubungan linier yang kuat antara konsentrasi alkohol dan nilai ADC sensor, menghasilkan persamaan regresi $y = 0.3391x + 1187.8$ dengan koefisien determinasi $R^2 = 0.9873$ (Gambar 4). Nilai R^2 yang tinggi ini mengindikasikan model yang sangat valid dan akurat, bahkan sedikit lebih tinggi dibandingkan penelitian serupa oleh Ikhsan (2022) yang memperoleh $R^2 = 0.9527$. Verifikasi kalibrasi menunjukkan rata-rata error pengukuran sebesar 2,16%, yang menegaskan keandalan sensor untuk pemantauan.

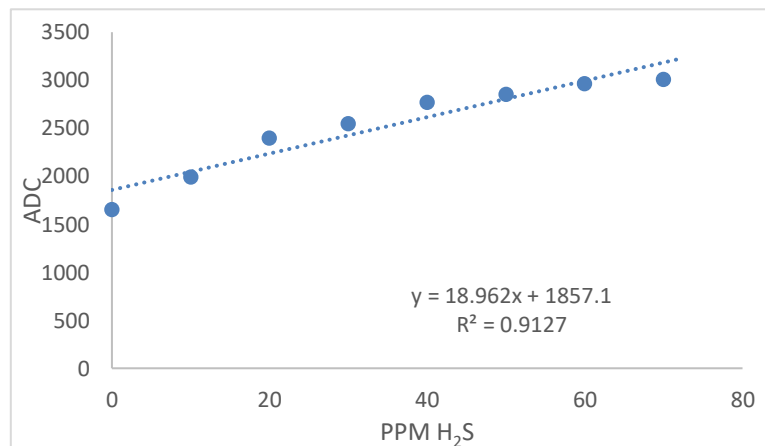
Sensor CO₂ (MQ-135): Kalibrasi dengan gas CO₂ menghasilkan persamaan regresi $y = 0.3603x + 657.24$ dengan nilai $R^2 = 0.9871$ (Gambar 5). Hasil ini menunjukkan hubungan linier yang sangat kuat dan

akurasi yang tinggi, sebanding dengan penelitian oleh Salamah *et al* (2022). Keunggulan penelitian ini terletak pada kalibrasi yang lebih spesifik hanya untuk CO₂, tanpa interferensi gas lain, sehingga meningkatkan akurasi deteksi. Verifikasi menunjukkan rata-rata error yang lebih rendah, yaitu 1,89%.



Gambar 5. Kurva Kalibrasi Sensor MQ-135

Sensor H₂S (MQ-136): Kalibrasi untuk H₂S pada rentang 10-70 ppm menghasilkan persamaan regresi $y = 18.962x + 1857.1$ dengan $R^2 = 0.9127$ (Gambar 6). Meskipun nilai R^2 ini sedikit lebih rendah dibanding sensor lain, hasil ini masih menunjukkan korelasi yang baik dan sebanding dengan penelitian Purbakawaca *et al* (2022) yang menguji gas SO₂. Verifikasi menunjukkan rata-rata error sebesar 3,14%, dengan error yang lebih tinggi pada konsentrasi rendah, yang menandakan sensor lebih stabil pada deteksi level yang lebih tinggi.



Gambar 6. Kurva Kalibrasi Sensor MQ-136

Sistem diuji fungsionalitasnya dengan memaparkan sensor pada konsentrasi gas yang melebihi ambang batas aman yang telah ditentukan (Alkohol: 1000 ppm (OSHA, 2023), CO₂: 1500 ppm (López *et al.*, 2023), H₂S: 10 ppm (Hidayatullah *et al.*, 2021). Pada semua skenario pengujian, sistem berhasil mendeteksi konsentrasi tinggi dan secara instan mengaktifkan buzzer serta menampilkan status "BAHAYA" pada LCD (Tabel 1). Demikian pula saat sensor PM2.5 (GP2Y1010AU0F) diuji dengan asap kertas, sensor mendeteksi lonjakan partikel hingga 228.4 µg/m³—jauh di atas ambang batas aman WHO (15 µg/m³)—dan langsung memberikan peringatan. Hal ini membuktikan efektivitas sistem sebagai alat peringatan dini.

Tabel 1. Hasil Pengujian Fungsional Sensor pada Berbagai Konsentrasi Gas

Konsentrasi (PPM)	Senyawa	Pembacaan MQ-3	Pembacaan MQ-135	Pembacaan MQ-136	Status Buzzer
2500	Alkohol	2532	2032	0,53	Aktif
1500	CO ₂	0,57	1532	0,78	Aktif
50	H ₂ S	0,53	453	51,5	Aktif

Pemantauan selama dua hari di laboratorium kimia menunjukkan bahwa sistem mampu merekam fluktuasi kualitas udara secara real-time melalui platform *Thingspeak* (Gambar 7). Perlu diperhatikan bahwa garis lurus panjang yang mungkin terlihat pada grafik bukan merupakan hasil pengukuran aktual, melainkan terjadi karena perangkat dimatikan atau tidak mengirimkan data, sehingga *Thingspeak* menampilkan interpolasi otomatis antara titik data terakhir sebelum non-aktif dan titik data pertama setelah kembali aktif.

Kondisi ini tidak memengaruhi analisis karena fokus diberikan pada data valid saat perangkat beroperasi normal. Data yang terekam menunjukkan peningkatan konsentrasi CO₂ selama jam kerja aktif, yang berkorelasi dengan aktivitas manusia. Terjadi pula lonjakan H₂S dan PM2.5 yang terdeteksi saat adanya eksperimen pembuatan gas dan simulasi pembakaran, yang berhasil memicu alarm sistem. Analisis ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat deteksi, tetapi juga dapat memberikan data historis yang berguna untuk mengidentifikasi pola dan sumber polutan, yang krusial untuk manajemen keselamatan kerja.



Gambar 7. Visualisasi Data Kualitas Udara pada Platform *Thingspeak*

Tabel 2. Kualitas Udara Laboratorium Kimia 25 Juni 2025

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Alkohol (ppm)	CO ₂ (ppm)	H ₂ S (ppm)	PM2.5 (µg/m ³)	Buzzer
08.00	31,6	73,2	0,52	856,81	1,12	0,76	Mati
09.00	31,6	73,0	0,50	795,00	1,12	0,92	Mati
10.00	32,3	69,7	0,67	830,95	0,87	480,0	Aktif
11.00	32,2	67,4	0,31	470,26	0,96	1,08	Mati
12.00	30,5	71,3	0,41	403,89	1,58	3,24	Mati
13.00	30,6	70,9	1,00	1362,06	2,5	3,96	Mati
14.00	31,8	74,1	0,44	906,41	1,39	7,52	Mati

Tabel 3. Kualitas Udara Laboratorium Kimia 26 Juni 2025

Waktu	Suhu (°C)	Kelembapan (%)	Alkohol (ppm)	CO ₂ (ppm)	H ₂ S (ppm)	PM2.5 (µg/m ³)	Buzzer
08.00	28,7	76,4	0,71	879,45	0,79	7,57	Mati
09.00	30,3	66,2	0,27	462,75	0,88	2,47	Mati
10.00	30,9	64,8	0,27	502,15	0,93	2,64	Mati
11.00	31,5	64,2	0,3	502,15	0,96	2,08	Mati
12.00	31,6	61,0	0,49	816,43	0,95	8,22	Mati

Data pengamatan pada 25 Juni 2025 (Tabel 2) menunjukkan beberapa fluktuasi signifikan yang berkorelasi langsung dengan aktivitas di dalam laboratorium. Pada pagi hari, konsentrasi CO₂ berada di kisaran 795-856 ppm, sementara tingkat H₂S yang mencapai 1,12 ppm dapat dijelaskan oleh adanya eksperimen pembuatan gas H₂S yang dilakukan saat pengukuran berlangsung. Puncak pengujian terjadi pada pukul 10.00 WIB, di mana terjadi lonjakan drastis pada konsentrasi PM2.5 hingga 480 µg/m³ akibat simulasi pembakaran kertas. Nilai ini berhasil memicu buzzer karena jauh melebihi ambang batas aman yang ditetapkan, dan konsentrasi kembali normal pada jam berikutnya. Pada siang hari pukul 13.00 WIB, kembali terjadi kenaikan CO₂ hingga 1362 ppm yang diduga akibat akumulasi pernapasan dari aktivitas manusia yang intensif, serta kenaikan H₂S hingga 2,5 ppm yang masih dipengaruhi oleh eksperimen.

Kondisi pada 26 Juni 2025 (Tabel 3) terpantau lebih stabil. Konsentrasi CO₂ berada di rentang 462-879 ppm, dan H₂S sebagian besar berada di bawah 1 ppm, yang mengindikasikan tidak adanya eksperimen penghasil gas dalam jumlah signifikan. Tingkat PM2.5 juga tetap rendah, di bawah 8,22 µg/m³ sepanjang hari. Kenaikan minor pada CO₂ di siang hari kembali menunjukkan korelasi dengan aktivitas manusia di dalam ruangan.

Selama dua hari pengamatan, suhu dan kelembapan berada dalam kisaran yang normal untuk operasional laboratorium. Secara keseluruhan, sistem pemantauan yang dirancang terbukti efektif dalam mendeteksi perubahan kualitas udara secara real-time. Faktor utama yang memengaruhi variasi nilai adalah aktivitas manusia, yang menjadi penyebab kenaikan CO₂, dan sumber polutan langsung seperti eksperimen kimia dan simulasi pembakaran. Yang terpenting, sistem alarm (buzzer) terbukti bekerja dengan baik ketika nilai pengukuran melampaui ambang batas yang ditentukan, seperti yang ditunjukkan oleh lonjakan PM2.5 pada tanggal 25 Juni. Hal ini menunjukkan bahwa sistem memiliki potensi tinggi untuk diterapkan dalam meningkatkan keselamatan kerja di laboratorium kimia.

Secara keseluruhan, pemantauan berkelanjutan ini berkontribusi langsung pada peningkatan keselamatan dan kesehatan kerja dengan menyediakan deteksi dini, data untuk analisis jangka panjang, serta meningkatkan kesadaran pekerja terhadap kualitas udara di lingkungan mereka.

Simpulan

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa sistem deteksi kualitas udara berbasis IoT yang dikembangkan berhasil dirancang untuk memantau konsentrasi alkohol, CO₂, H₂S, dan PM2.5 secara real-time di lingkungan laboratorium kimia. Proses kalibrasi sensor yang dilakukan dengan metode eksperimental terbukti valid dengan hasil hubungan linier yang kuat dan rata-rata error pengukuran di bawah 5%, yang menunjukkan sistem ini akurat dan layak untuk digunakan. Sistem peringatan dini yang terdiri dari buzzer dan tampilan LCD terbukti sangat efektif dalam memberikan notifikasi seketika saat konsentrasi polutan melebihi ambang batas aman, sehingga memungkinkan respons cepat terhadap potensi bahaya. Implementasi sistem ini secara signifikan meningkatkan keselamatan dan kesehatan kerja dengan cara meminimalkan risiko paparan zat berbahaya melalui pemantauan yang berkelanjutan dan analisis data jangka panjang.

Ucapan Terima Kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam serta Koordinator Program Studi Kimia, Universitas Negeri Semarang atas izin dan kemudahan administrasi yang diberikan.

Daftar Referensi

- Anjani, S. D., Sjahrizza, A., & Farid, M. (2024). *Pembuatan dan Stabilitas Larutan Baku Sulfida dalam Analisis Kadar Sulfida Secara Spektrofotometri*. 2(2), 65–75.
- Badran, G., Chwaikani, M., Verdin, A., Abbas, I., Simonin, O., Cazier, F., Roumie, M., Courcot, D., Lo Guidice, J. M., Ledoux, F., & Garçon, G. (2024). Chemical Composition of PM2.5-0.3 and PM0.3

- Collected in Southern Lebanon and Assessment of Their Toxicity in BEAS-2B Cells. *Atmosphere*, 15(7), 0–23. <https://doi.org/10.3390/atmos15070811>
- Ding, N., Dai, Q., & Fan, Y. (2021). Design of Arduino PM2.5 Air Quality Monitoring System. *Proceedings of 2021 IEEE International Conference on Power Electronics, Computer Applications, ICPECA 2021*, 798–800. <https://doi.org/10.1109/ICPECA51329.2021.9362553>
- Furuta, D., Sayahi, T., Li, J., Wilson, B., Presto, A. A., & Li, J. (2022). Characterization of inexpensive metal oxide sensor performance for trace methane detection. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15(17), 5117–5128. <https://doi.org/10.5194/amt-15-5117-2022>
- Gunadi, G. (2023). Implementasi Metode Rapid Application Development Pada Pengembangan Sistem Kelola Data Kalibrasi Di Percetakan Gramedia. *Infotech: Journal of Technology Information*, 9(1), 67–76. <https://doi.org/10.37365/jti.v9i1.161>
- Hancock, D. G., Ditcham, W., Ferguson, E., Karpievitch, Y. V., Stick, S. M., Waterer, G. W., & Clements, B. S. (2024). A phase I clinical trial assessing the safety, tolerability, and pharmacokinetics of inhaled ethanol in humans as a potential treatment for respiratory tract infections. *Frontiers in Medicine*, 11(March), 1–8. <https://doi.org/10.3389/fmed.2024.1324686>
- Hidayatullah, F., Mulasari, S. A., & Handayani, L. (2021). Health Risk Analysis of Hydrogen Sulfide (H₂S) and Ammonia (NH₃) Exposure at Piyungan Landfill. *Environmental and Earth Sciences Research Journal*, 8(1), 48–52. <https://doi.org/10.18280/eesrj.080105>
- Hrabovský, P., Kolková, Z., Matúšov, J., & Belány, P. (2021). Basic Measurement of Air Flow in the Working Environment. *Proceedings of the World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering*, 1–6. <https://doi.org/10.11159/icmie21.128>
- Khalil, U., Ahmad, A., Abdel-Aty, A. H., Elhoseny, M., El-Soud, M. W. A., & Zeshan, F. (2021). Identification of trusted IoT devices for secure delegation. *Computers and Electrical Engineering*, 90(January), 106988. <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2021.106988>
- López, L. R., Dessì, P., Cabrera-Codony, A., Rocha-Melogno, L., Kraakman, B., Naddeo, V., Balaguer, M. D., & Puig, S. (2023). CO₂ in indoor environments: From environmental and health risk to potential renewable carbon source. *Science of the Total Environment*, 856(July 2022). <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159088>
- Oktamia Anggraini Putri. (2022). Jurnal Pendidikan dan Konseling. *Jurnal Pendidikan Dan Konseling*, 4(20), 1349–1358.
- OSHA. (2023). *ETHYL ALCOHOL (ETHANOL) | Occupational Safety and Health Administration*. <https://www.osha.gov/chemicaldata/1034>
- Purbakawaca, R., Yuwono, A. S., Subrata, I. D. M., & Alatas, H. (2022). Low-Cost Calibration MOS Gas Sensor for Measuring SO₂ Pollutants in Ambient Air. *Nature Environment and Pollution Technology*, 21(1), 339–347. <https://doi.org/10.46488/NEPT.2022.v21i01.041>
- Salamah, U., Hidayah, Q., & Kusuma, D. Y. (2022). CO₂ detection system in mixed gas using MQ-135 sensor. *Newton-Maxwell Journal of Physics*, 2(2), 72–77. <https://doi.org/10.33369/nmj.v2i2.18730>
- World Health Organization. (2024, October 16). *Household air pollution*. <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/household-air-pollution-and-health>
- Zagita, M. F. A. B. (2021). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Dan Pengendali Kualitas Udara Diruang MI (Manual Insert) PT. Smart Meter. *Jurnal Teknologi Elektro*, 12(1), 16. <https://doi.org/10.22441/jte.2021.v12i1.004>