

Pengembangan Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis IoT untuk Mendukung Kesadaran Masyarakat terhadap Kualitas Udara

Masrizal¹, Candra Surya²

¹Manajemen Informatika, Universitas Dumai, Indonesia

²Manajemen Informatika, Institut Teknologi Mitra Gama, Indonesia

Email Korespondensi: masrizal100620@gmail.com

Diterima	Direvisi	Dipublikasikan
10-05-2026	05-06-2026	30-06-2026

ABSTRAK

Pencemaran udara di kawasan perkotaan dan industri berdampak terhadap kesehatan masyarakat, sedangkan akses warga terhadap informasi kualitas udara tingkat lokal masih terbatas. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) serta meningkatkan pengetahuan dan kesadaran warga terhadap kondisi udara di lingkungan tempat tinggal. Kegiatan dilaksanakan di RT 20, Kelurahan Lubuk Gaung, Kecamatan Sungai Sembilan, Kota Dumai, Provinsi Riau, dengan melibatkan 35 warga. Metode pelaksanaan menggunakan pendekatan Research and Development dan partisipatif yang meliputi analisis kebutuhan, perancangan prototipe, pengujian, instalasi perangkat, sosialisasi, pelatihan, dan evaluasi. Sistem dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-135, MQ-7, dan DHT22 untuk memantau karbon monoksida, kualitas udara, suhu, dan kelembapan secara waktu nyata melalui platform Blynk dan dashboard berbasis web. Evaluasi teknis dilakukan dengan membandingkan hasil sensor terhadap alat ukur komersial, sedangkan dampak kegiatan diukur menggunakan kuesioner pre-test dan post-test. Hasil pengujian menunjukkan sistem mencapai akurasi rata-rata 96,9% dan keberhasilan pengiriman data sebesar 98,7%. Pengetahuan dan kesadaran warga meningkat rata-rata sebesar 50,6%, dengan hasil uji t berpasangan menunjukkan perbedaan yang signifikan ($p < 0,001$). Kegiatan ini menunjukkan bahwa integrasi teknologi IoT dan edukasi lingkungan efektif mendukung pemantauan kualitas udara sekaligus meningkatkan literasi masyarakat.

Kata Kunci: *Internet of Things; kualitas udara; monitoring lingkungan; kawasan industri; kesadaran masyarakat.*

|Jurnal Sinergi Digital dan Pemberdayaan Masyarakat is licensed under a Creative Commons Attribution-Share Alike 4.0 International License



1. PENDAHULUAN

Pencemaran udara merupakan permasalahan lingkungan yang berpengaruh langsung terhadap kesehatan dan kualitas hidup masyarakat. Paparan karbon monoksida, senyawa organik volatil, partikulat, serta gas pencemar lainnya dalam konsentrasi tertentu dapat meningkatkan risiko gangguan saluran pernapasan, penurunan fungsi paru-paru, penyakit kardiovaskular, serta memperburuk kondisi kelompok rentan. Dampak pencemaran udara tidak hanya ditentukan oleh tingkat konsentrasi polutan, tetapi juga oleh durasi paparan, kondisi meteorologis, kepadatan aktivitas manusia, dan kemampuan masyarakat dalam memperoleh serta memahami informasi kualitas udara di lingkungannya (Candrasari et al., 2023; Maharani & Aryanta, 2023).

Permasalahan tersebut relevan dengan kondisi Kota Dumai, Provinsi Riau, yang memiliki aktivitas perkotaan, industri, transportasi, dan pelabuhan. Selain sumber pencemar yang berasal dari kegiatan lokal, kualitas udara di wilayah Riau juga dapat dipengaruhi oleh kejadian kebakaran hutan dan lahan pada musim kering. BMKG mencatat adanya risiko kebakaran hutan dan lahan di Provinsi Riau dan memasukkan Dumai sebagai salah satu wilayah yang mendapatkan perhatian dalam pemantauan kondisi atmosfer. Partikulat PM_{2.5} juga menjadi salah satu parameter yang digunakan BMKG dalam pemantauan kualitas udara karena ukurannya yang sangat kecil dan kemampuannya memasuki saluran pernapasan. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pemantauan kualitas udara pada skala lingkungan tempat tinggal, khususnya di kawasan yang berdekatan dengan aktivitas industri dan transportasi.

RT 20, Kelurahan Lubuk Gaung, Kecamatan Sungai Sembilan, Kota Dumai, dipilih sebagai lokasi kegiatan karena merepresentasikan lingkungan permukiman yang berada dalam kawasan dengan perkembangan aktivitas masyarakat dan industri. Masyarakat pada tingkat rukun tetangga umumnya belum memiliki perangkat pemantauan mandiri yang dapat menyajikan kondisi udara secara waktu nyata. Informasi kualitas udara lebih banyak diperoleh melalui laporan umum pada tingkat kota, sehingga belum menggambarkan variasi kondisi udara pada titik tertentu di sekitar permukiman. Keterbatasan data lokal menyebabkan masyarakat sulit mengenali perubahan kualitas udara, menentukan waktu yang relatif aman untuk beraktivitas di luar ruangan, dan mengambil tindakan pencegahan ketika konsentrasi pencemar meningkat.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) menawarkan pendekatan yang lebih terjangkau untuk mengatasi keterbatasan tersebut. IoT memungkinkan perangkat sensor melakukan pengukuran, pemrosesan, dan pengiriman data melalui jaringan internet secara otomatis. Sistem ini dapat menghubungkan mikrokontroler, sensor lingkungan, server, dan dashboard pengguna sehingga data dapat dipantau dari jarak jauh. Penerapan protokol komunikasi yang tepat juga mendukung pengiriman data secara efisien dan berkelanjutan. (Akbar et al., 2023) menunjukkan bahwa protokol MQTT dapat digunakan untuk mendukung komunikasi pada sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT, sedangkan (Anugerah & Sutabri, 2024) memperlihatkan bahwa pendekatan prototipe dapat digunakan untuk menghasilkan sistem pemantauan kualitas udara yang dikembangkan secara bertahap sesuai kebutuhan pengguna.

Berbagai sistem monitoring kualitas udara telah dikembangkan menggunakan mikrokontroler dan sensor berbiaya relatif rendah. (Budianto & Sumanto, 2024) merancang sistem pemantauan udara dalam ruangan berbasis IoT, sedangkan (Ulaan et al., 2022) mengembangkan sistem untuk mengamati kondisi kualitas udara dalam ruangan. (Purbakawaca & Fauzan, 2022) juga menunjukkan bahwa perangkat pemantauan udara berbiaya rendah dapat menjadi alternatif terhadap instrumen komersial yang relatif

mahal. Penelitian-penelitian tersebut membuktikan bahwa pemanfaatan sensor dan mikrokontroler dapat memperluas akses masyarakat terhadap data lingkungan, meskipun kualitas hasil pengukuran tetap dipengaruhi oleh proses kalibrasi, penempatan sensor, stabilitas jaringan, serta kondisi suhu dan kelembapan.

Pemanfaatan ESP32 memberikan keuntungan karena mikrokontroler tersebut telah dilengkapi konektivitas Wi-Fi dan dapat diintegrasikan dengan berbagai sensor. (Hidayati, 2024) menerapkan ESP32 untuk menyajikan data kualitas udara secara *real-time*, sedangkan (Nugraha et al., 2024) mengombinasikan ESP32 dengan sensor MQ-2 dan MQ-135 untuk mengawasi kondisi polusi udara. (Refalista et al., 2023) menggunakan beberapa sensor seri MQ bersama ESP32 untuk mendeteksi berbagai parameter pencemar. Hasil-hasil tersebut menunjukkan bahwa ESP32 dan sensor gas seri MQ memiliki potensi untuk membangun sistem monitoring yang ekonomis, fleksibel, dan mudah dikembangkan sesuai kebutuhan lokasi penerapan.

Sensor MQ-135 banyak digunakan untuk mengenali perubahan kualitas udara dan keberadaan sejumlah gas, sedangkan MQ-7 digunakan secara lebih spesifik untuk mendeteksi karbon monoksida. Pengukuran suhu dan kelembapan diperlukan karena kedua variabel tersebut dapat memengaruhi karakteristik pembacaan sensor gas. (Muttaqin et al., 2024) mengintegrasikan sensor MQ-135 dan DHT11 dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT. (Fachrizal et al., 2022) menerapkan sensor gas dalam sistem monitoring polusi udara, sementara (Pebralia et al., 2024) menunjukkan bahwa IoT dapat digunakan untuk memantau kualitas udara pada ruang terbuka. Penelitian tersebut menjadi dasar pemilihan ESP32, MQ-135, MQ-7, dan DHT22 pada sistem yang dikembangkan dalam kegiatan ini.

Selain aspek pengukuran, sistem monitoring membutuhkan media penyajian data yang mudah dipahami. Visualisasi melalui aplikasi atau dashboard dapat membantu pengguna mengenali perubahan nilai sensor tanpa harus memahami proses pengolahan data pada perangkat. (Dimiyati et al., 2025) mengembangkan visualisasi data kualitas udara melalui aplikasi Android, sedangkan (Mashuri & Zulfa, 2022) mengintegrasikan monitoring dengan fungsi pendukung keputusan kualitas udara. (Sadali et al., 2022) juga menerapkan fitur monitoring dan notifikasi untuk menyampaikan kondisi kualitas udara di jalan raya. Hal tersebut memperlihatkan bahwa sistem monitoring akan lebih bermanfaat ketika data tidak hanya dikumpulkan, tetapi juga ditampilkan secara informatif dan dapat digunakan sebagai dasar tindakan.

Sistem monitoring juga perlu memiliki kemampuan memberikan informasi peringatan ketika nilai sensor melewati batas yang ditetapkan. (Hasanuddin & Herdianto, 2023) mengembangkan sistem monitoring sekaligus deteksi dini pencemaran udara berbasis IoT. Fitur deteksi dini penting karena masyarakat membutuhkan informasi yang dapat segera ditindaklanjuti, misalnya dengan mengurangi aktivitas di luar ruangan, menggunakan pelindung pernapasan, memperbaiki ventilasi, atau melaporkan kondisi lingkungan kepada pihak terkait. Oleh karena itu, sistem dalam kegiatan ini tidak hanya dirancang sebagai perangkat pengumpulan data, tetapi juga sebagai media edukasi yang membantu masyarakat menafsirkan kondisi udara di lingkungan tempat tinggal.

Meskipun penelitian terdahulu telah menghasilkan berbagai prototipe monitoring kualitas udara, sebagian besar masih berorientasi pada pengembangan perangkat, pengujian sensor, konektivitas, dan visualisasi data. Aspek penerimaan pengguna, peningkatan pengetahuan, kemampuan membaca dashboard, perubahan kesadaran, dan keberlanjutan pengoperasian perangkat oleh masyarakat belum banyak diukur secara bersamaan. Padahal, keberhasilan teknologi di tingkat komunitas tidak hanya

ditentukan oleh akurasi perangkat, tetapi juga oleh keterlibatan pengguna serta kemampuan mereka dalam memahami dan memanfaatkan informasi yang dihasilkan.

Kegiatan berbasis IoT yang melibatkan masyarakat telah diterapkan dalam beberapa bidang. (Supriadi et al., 2025) menerapkan teknologi IoT dan kecerdasan buatan untuk mendukung keamanan lingkungan masyarakat. (Rachman et al., 2024) mengintegrasikan sosialisasi, simulasi, dan teknologi IoT dalam kegiatan mitigasi bencana. Kedua kegiatan tersebut menunjukkan bahwa teknologi lebih mudah diterima ketika disertai penjelasan, simulasi, dan pendampingan kepada pengguna. Namun, pendekatan serupa masih perlu dikembangkan secara khusus pada bidang kualitas udara dengan menggabungkan pengujian teknis perangkat dan evaluasi dampak edukatif terhadap masyarakat.

Berdasarkan kajian penelitian terdahulu, terdapat tiga kesenjangan utama. Pertama, banyak sistem hanya diuji pada skala prototipe atau lingkungan terkendali dan belum diterapkan secara partisipatif pada komunitas permukiman. Kedua, penelitian lebih banyak menilai kemampuan sensor dan transmisi data, tetapi belum mengintegrasikan penilaian teknis dengan pengukuran peningkatan pengetahuan serta kesadaran masyarakat. Ketiga, data sering disajikan melalui aplikasi, tetapi tidak selalu dilengkapi pelatihan yang membantu masyarakat memahami makna parameter, kategori kualitas udara, dan tindakan yang perlu dilakukan. Dengan demikian, diperlukan model kegiatan yang mengintegrasikan pengembangan sistem, instalasi di lingkungan masyarakat, visualisasi data, edukasi, pelatihan, dan evaluasi perubahan kemampuan pengguna.

Kegiatan ini menggunakan pendekatan *Research and Development* yang dipadukan dengan metode partisipatif. Pendekatan tersebut sesuai untuk menghasilkan produk, menguji fungsi produk, menerapkannya pada lokasi sasaran, dan melakukan penyempurnaan berdasarkan hasil evaluasi. (Waruwu, 2024) menjelaskan bahwa metode penelitian dan pengembangan dapat digunakan melalui tahapan analisis kebutuhan, perancangan, pengembangan, pengujian, evaluasi, dan penyempurnaan produk. Dalam kegiatan ini, masyarakat tidak hanya ditempatkan sebagai penerima perangkat, tetapi dilibatkan dalam identifikasi kebutuhan, pelatihan penggunaan dashboard, evaluasi manfaat, serta penyusunan rencana keberlanjutan.

Berdasarkan permasalahan tersebut, kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan: (1) mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT menggunakan ESP32, MQ-135, MQ-7, dan DHT22; (2) menyediakan informasi mengenai karbon monoksida, kondisi kualitas udara, suhu, dan kelembapan secara waktu nyata melalui platform Blynk dan dashboard berbasis web; (3) menguji kinerja sistem dengan membandingkan hasil pembacaan sensor terhadap alat ukur pembanding; serta (4) meningkatkan pengetahuan, kemampuan membaca data, dan kesadaran warga RT 20 Kelurahan Lubuk Gaung terhadap kualitas udara.

Kontribusi utama kegiatan ini adalah menghasilkan model pengabdian masyarakat yang mengintegrasikan tiga komponen dalam satu kerangka pelaksanaan. Kontribusi pertama adalah penyediaan sistem monitoring kualitas udara berbiaya relatif rendah yang dapat digunakan pada tingkat komunitas. Kontribusi kedua adalah integrasi data dari beberapa sensor dengan dashboard yang mudah diakses dan dipahami masyarakat. Kontribusi ketiga adalah penerapan edukasi dan pelatihan literasi data lingkungan agar warga tidak hanya menerima informasi, tetapi juga mampu menafsirkan dan meresponsnya. Kontribusi keempat adalah pengukuran dampak kegiatan melalui evaluasi teknis sistem serta perbandingan hasil *pre-test* dan *post-test*. Integrasi tersebut membedakan kegiatan ini dari penelitian sebelumnya yang cenderung hanya berfokus pada perangkat atau aplikasi monitoring.

Dengan demikian, kegiatan ini diharapkan tidak hanya menghasilkan prototipe yang berfungsi secara teknis, tetapi juga membangun kemampuan masyarakat dalam memahami kondisi lingkungan secara mandiri. Sistem yang dikembangkan dapat menjadi sarana pemantauan, edukasi, dan pendukung tindakan preventif terhadap penurunan kualitas udara. Model pelaksanaan yang dihasilkan juga dapat direplikasi pada lingkungan permukiman lain di Kota Dumai maupun daerah lain yang menghadapi permasalahan serupa.

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini menggunakan pendekatan *Research and Development* (R&D) yang dipadukan dengan metode partisipatif. Pendekatan R&D digunakan karena kegiatan menghasilkan produk berupa sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dirancang, dikembangkan, diuji, diterapkan, dan dievaluasi secara langsung pada lingkungan masyarakat. Metode partisipatif diterapkan untuk melibatkan warga sejak tahap identifikasi kebutuhan, instalasi perangkat, pelatihan penggunaan sistem, hingga evaluasi manfaat kegiatan. Pendekatan tersebut sesuai dengan karakter kegiatan pengembangan teknologi yang tidak hanya menilai keberhasilan perangkat, tetapi juga menilai kemampuan masyarakat dalam memanfaatkan informasi yang dihasilkan (Waruwu, 2024). Struktur metode pada bagian ini dikembangkan dari rancangan awal artikel yang memuat tahap analisis kebutuhan, perancangan prototipe, instalasi, sosialisasi, pelatihan, dan evaluasi.

2.1 Lokasi, Waktu, dan Mitra Kegiatan

Kegiatan pengabdian kepada masyarakat dilaksanakan selama empat bulan, yaitu pada 21-22 maret 2026, Kecamatan Sungai Sembilan, Kota Dumai, Provinsi Riau. Lokasi tersebut dipilih karena merupakan lingkungan permukiman yang dipengaruhi oleh aktivitas masyarakat, transportasi, dan industri sehingga memerlukan akses terhadap informasi kualitas udara pada tingkat lokal. Kegiatan melibatkan 35 warga yang terdiri atas 12 kepala keluarga, 10 ibu rumah tangga, 8 pemuda, dan 5 pelajar.

Peserta dipilih secara purposif berdasarkan kesediaan mengikuti seluruh rangkaian kegiatan, keterlibatan dalam aktivitas masyarakat setempat, serta kepemilikan telepon pintar yang mendukung akses terhadap dasbor pemantauan. Sistem yang diterapkan terdiri atas tiga node sensor. Node pertama ditempatkan di dekat jalur kendaraan, node kedua ditempatkan di tengah kawasan permukiman, dan node ketiga ditempatkan pada area yang relatif jauh dari sumber emisi langsung. Seluruh peserta mengikuti kegiatan sosialisasi, pelatihan penggunaan dasbor, pre-test, dan post-test.

2.2 Tahapan Pelaksanaan

Pelaksanaan kegiatan dibagi menjadi enam tahap, yaitu analisis kebutuhan, perancangan sistem, pengembangan prototipe, pengujian dan kalibrasi, implementasi dan pelatihan, serta evaluasi dan tindak lanjut.

2.2.1 Analisis kebutuhan

Tahap awal dilakukan untuk mengidentifikasi kondisi lingkungan, kebutuhan masyarakat, dan kesiapan mitra dalam menggunakan sistem monitoring. Pengumpulan informasi dilakukan melalui:

1. observasi kondisi lingkungan dan titik potensial penempatan sensor;
2. wawancara dengan ketua RT dan perwakilan warga;
3. diskusi kelompok terarah;

4. identifikasi sumber pencemar di sekitar permukiman; dan
5. pengukuran tingkat awal pengetahuan warga mengenai kualitas udara.

Hasil analisis kebutuhan digunakan untuk menentukan jenis parameter yang dipantau, jumlah node sensor, lokasi pemasangan, tampilan dashboard, dan materi pelatihan. Lokasi pemasangan dipilih dengan mempertimbangkan keterwakilan kondisi lingkungan, keamanan perangkat, ketersediaan listrik, jangkauan jaringan Wi-Fi, dan kemudahan akses untuk perawatan.

2.2.2 Perancangan sistem monitoring

Sistem dirancang dengan arsitektur yang terdiri atas lapisan sensor, lapisan pemrosesan, lapisan komunikasi, lapisan penyimpanan data, dan lapisan antarmuka pengguna.

Komponen utama sistem meliputi:

- mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan dan komunikasi;
- sensor MQ-7 sebagai pendeteksi konsentrasi karbon monoksida;
- sensor MQ-135 sebagai indikator perubahan kualitas udara dan keberadaan gas tertentu;
- sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan;
- modul Wi-Fi internal ESP32 untuk transmisi data;
- platform Blynk untuk pemantauan melalui telepon pintar; dan
- dashboard berbasis web untuk visualisasi serta penyimpanan data.

Sensor MQ-135 pada kegiatan ini tidak dinyatakan sebagai alat pengukur karbon dioksida presisi. Sensor tersebut digunakan sebagai indikator relatif kualitas udara setelah melalui proses pemanasan awal dan kalibrasi. Pernyataan ini penting karena sensor seri MQ memiliki sensitivitas silang terhadap beberapa gas dan hasil pengukurannya dipengaruhi oleh suhu, kelembapan, waktu pemanasan, serta kondisi lingkungan.

Alur kerja sistem dimulai ketika sensor membaca parameter lingkungan. Data analog dan digital kemudian diproses oleh ESP32, dikonversi ke satuan yang digunakan, dan dikirim melalui jaringan internet menuju server. Data selanjutnya ditampilkan dalam bentuk angka, grafik waktu, dan kategori kondisi udara pada dashboard Blynk dan website.

2.2.3 Pengembangan prototipe

Pengembangan prototipe dilakukan melalui tahapan perakitan perangkat keras dan pemrograman perangkat lunak. Perangkat keras dirakit menggunakan ESP32, MQ-7, MQ-135, DHT22, catu daya, papan rangkaian, kabel penghubung, dan kotak pelindung.

Program pada ESP32 dirancang untuk menjalankan fungsi:

1. inisialisasi sensor;
2. pembacaan data secara berkala;
3. penyaringan data sederhana;
4. konversi nilai sensor;
5. koneksi jaringan;
6. pengiriman data ke server;
7. penyimpanan waktu pengukuran; dan
8. pemberian status ketika data melewati ambang tertentu.

Interval pembacaan sensor ditetapkan setiap satu menit, sedangkan pengiriman dan pencatatan data ke server dilakukan setiap lima menit. Interval tersebut digunakan untuk menjaga keseimbangan antara kedetailan data, kestabilan koneksi, kapasitas penyimpanan, dan konsumsi daya.

Sebelum digunakan, sensor MQ menjalani proses *preheating* sesuai kebutuhan perangkat. Pembacaan awal yang belum stabil tidak digunakan dalam analisis.

2.3 Penempatan Node Sensor

Tiga node sensor ditempatkan pada titik yang mewakili karakteristik lingkungan yang berbeda, yaitu:

1. titik pertama di dekat jalan atau jalur kendaraan;
2. titik kedua di tengah kawasan permukiman; dan
3. titik ketiga pada bagian lingkungan yang relatif lebih jauh dari sumber emisi langsung.

Sensor ditempatkan pada ketinggian sekitar 1,5-2meter dari permukaan tanah dan dilindungi oleh kotak yang memiliki ventilasi udara. Posisi alat tidak ditempatkan langsung di bawah sinar matahari, terkena hujan, berdekatan dengan sumber panas, atau tepat di samping sumber asap. Penempatan tersebut bertujuan mengurangi bias pengukuran dan menjaga keamanan perangkat.

Setiap node diberi kode identifikasi untuk membedakan lokasi pengukuran. Koordinat dan deskripsi lingkungan setiap titik dicatat agar hasil pengukuran dapat ditelusuri.

2.4 Pengujian Fungsional dan Kalibrasi

Pengujian dilakukan sebelum perangkat dipasang pada lokasi mitra. Pengujian meliputi:

- keberhasilan pembacaan seluruh sensor;
- kestabilan koneksi Wi-Fi;
- ketepatan waktu pengiriman data;
- kesesuaian data pada perangkat dan dashboard;
- kemampuan sistem menyimpan riwayat data; dan
- kestabilan perangkat selama pengoperasian kontinu.

Kalibrasi dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaan sistem terhadap alat ukur komersial yang digunakan sebagai instrumen pembanding. Pengukuran dilakukan pada lokasi dan waktu yang sama agar kondisi lingkungan yang dibaca relatif seragam.

Untuk setiap pasangan pengukuran, persentase galat dihitung menggunakan Persamaan (1).

$$E_i = \left| \frac{X_i - R_i}{R_i} \right| \times 100\% \quad (1)$$

Keterangan:

- E_i adalah persentase galat pengukuran ke- i ;
- X_i adalah nilai yang dihasilkan sensor IoT; dan
- R_i adalah nilai instrumen pembanding.

Rata-rata galat dihitung menggunakan Persamaan (2).

$$\bar{E} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i \quad (2)$$

Keterangan:

- $\bar{E}$ adalah rata-rata persentase galat; dan
- n adalah jumlah pasangan pengukuran.

Akurasi sistem dihitung dengan Persamaan (3).

$$A = 100\% - \bar{E} \quad (3)$$

Keterangan:

- A adalah akurasi rata-rata sistem; dan
- $\bar{E}$ adalah rata-rata persentase galat.

Selain persentase galat, hubungan antara nilai sensor dan instrumen pembanding dapat dianalisis menggunakan koefisien korelasi Pearson. Penggunaan korelasi dimaksudkan untuk mengetahui konsistensi pola perubahan kedua instrumen, bukan sebagai pengganti pengujian galat.

Persamaan regresi dapat digunakan untuk memperbaiki nilai sensor:

$$\hat{Y} = a + bX \quad (4)$$

Keterangan:

- $\hat{Y}$ adalah nilai hasil kalibrasi;
- X adalah nilai mentah sensor;
- a adalah konstanta regresi; dan
- b adalah koefisien regresi.

Untuk sensor MQ, hubungan resistansi sensor dapat dinyatakan sebagai:

$$R_s = R_L \left(\frac{V_c - V_{out}}{V_{out}} \right) \quad (5)$$

Keterangan:

- R_s adalah resistansi sensor;
- R_L adalah resistansi beban;
- V_c adalah tegangan catu daya; dan
- V_{out} adalah tegangan keluaran sensor.

Rasio R_s/R_0 selanjutnya digunakan sebagai dasar kalibrasi, dengan R_0 merupakan resistansi sensor pada kondisi referensi. Konversi ke konsentrasi gas hanya dilakukan apabila kurva kalibrasi dan gas pembanding tersedia secara memadai.

2.5 Implementasi Sistem

Setelah dinyatakan berfungsi, perangkat dipasang pada tiga titik yang telah ditentukan. Data dikumpulkan secara kontinu selama tujuh hari pada tahap pengujian awal. Setiap data diberi penanda waktu dan identitas node.

Parameter yang dicatat meliputi:

- nilai sensor MQ-7;
- indikator kualitas udara dari MQ-135;
- suhu;
- kelembapan;
- waktu pengukuran;

- identitas lokasi; dan
- status keberhasilan pengiriman data.

Keberhasilan transmisi data dihitung menggunakan Persamaan (6).

$$T = \frac{N_s}{N_t} \times 100\% \quad (6)$$

Keterangan:

- T adalah tingkat keberhasilan transmisi;
- N_s adalah jumlah data yang berhasil diterima server; dan
- N_t adalah jumlah data yang seharusnya dikirim.

Sistem dinyatakan stabil apabila minimal 95% data berhasil diterima oleh server selama periode pengujian.

2.6 Sosialisasi dan Pelatihan Masyarakat

Sosialisasi dan pelatihan dilakukan setelah perangkat dipasang. Kegiatan dilaksanakan dalam dua sesi.

Sesi pertama membahas:

- pengertian kualitas udara;
- sumber pencemaran udara;
- dampak paparan polutan terhadap kesehatan;
- pengenalan karbon monoksida;
- pengaruh suhu dan kelembapan; dan
- tindakan sederhana untuk mengurangi paparan.

Sesi kedua membahas:

- komponen sistem IoT;
- cara mengakses dashboard;
- cara membaca nilai dan grafik;
- cara memahami kategori kondisi udara;
- cara mengenali perubahan data; dan
- prosedur pelaporan apabila terjadi peningkatan nilai yang tidak normal.

Metode pelatihan menggunakan ceramah singkat, demonstrasi, simulasi, praktik langsung, dan diskusi. Peserta diminta membuka dashboard melalui telepon pintar dan melakukan interpretasi terhadap contoh data yang ditampilkan. Pendampingan dilakukan sampai peserta mampu mengakses sistem dan membaca informasi dasar secara mandiri.

2.7 Teknik Pengumpulan Data

Data kegiatan terdiri atas data teknis dan data sosial.

2.7.1 Data teknis

Data teknis diperoleh melalui:

- rekaman pembacaan sensor;
- hasil pengukuran instrumen pembanding;
- data pengiriman ke server;

- catatan gangguan jaringan;
- dokumentasi instalasi; dan
- catatan pemeliharaan perangkat.

Pengambilan data pembandingan dilakukan pada waktu yang sama dengan pembacaan sensor IoT. Pengukuran berpasangan dilakukan secara berulang agar diperoleh jumlah observasi yang memadai.

2.7.2 Data sosial

Data sosial dikumpulkan menggunakan:

- kuesioner *pre-test*;
- kuesioner *post-test*;
- lembar observasi kemampuan menggunakan dashboard;
- angket kepuasan peserta; dan
- dokumentasi kegiatan.

Kuesioner terdiri atas 20 butir pertanyaan yang mencakup:

1. pengetahuan mengenai parameter kualitas udara;
2. pemahaman dampak pencemaran udara;
3. kemampuan membaca dashboard;
4. kesadaran perilaku ramah lingkungan; dan
5. kemauan melaporkan gangguan kualitas udara.

Setiap jawaban diberi skor sesuai pedoman instrumen. Nilai peserta dikonversi menjadi persentase dengan Persamaan (7).

$$S = \frac{S_o}{S_m} \times 100\% \quad (7)$$

Keterangan:

- S adalah nilai persentase;
- S_o adalah skor yang diperoleh peserta; dan
- S_m adalah skor maksimum.

2.8 Validitas dan Reliabilitas Instrumen

Validitas isi kuesioner dinilai oleh minimal dua ahli yang memiliki kompetensi pada bidang teknologi informasi, kesehatan lingkungan, atau pemberdayaan masyarakat. Penilaian validitas dapat menggunakan indeks Aiken's V.

$$V = \frac{\sum s}{n(c-1)} \quad (8)$$

dengan:

$$s = r - l_o \quad (9)$$

Keterangan:

- V adalah indeks validitas isi;
- r adalah skor yang diberikan penilai;
- l_o adalah skor penilaian terendah;
- n adalah jumlah penilai; dan

- adalah jumlah kategori penilaian.

Instrumen dinyatakan memiliki validitas isi yang memadai apabila nilai Aiken's V memenuhi batas yang ditetapkan berdasarkan jumlah penilai dan kategori skor.

Reliabilitas instrumen diuji menggunakan koefisien Cronbach's Alpha.

$$\alpha = \frac{k}{k-1} \left(1 - \frac{\sum_{j=1}^k \sigma_j^2}{\sigma_T^2} \right) \quad (10)$$

Keterangan:

- α adalah koefisien reliabilitas;
- k adalah jumlah butir pertanyaan;
- σ_j^2 adalah varians setiap butir; dan
- σ_T^2 adalah varians total.

Instrumen dinyatakan reliabel apabila nilai Cronbach's Alpha minimal 0,70.

2.9 Teknik Analisis Data

Data teknis dianalisis menggunakan statistik deskriptif berupa nilai minimum, maksimum, rata-rata, standar deviasi, persentase galat, akurasi, dan tingkat keberhasilan transmisi.

Data *pre-test* dan *post-test* dianalisis dengan membandingkan rata-rata skor sebelum dan setelah pelatihan. Besarnya peningkatan dihitung menggunakan Persamaan (11).

$$\Delta S = \bar{S}_{post} - \bar{S}_{pre} \quad (11)$$

Keterangan:

- ΔS adalah peningkatan skor;
- $\bar{S}_{post}$ adalah rata-rata skor setelah kegiatan; dan
- $\bar{S}_{pre}$ adalah rata-rata skor sebelum kegiatan.

Selain selisih skor, peningkatan relatif dapat dihitung menggunakan *normalized gain*.

$$g = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{max} - S_{pre}} \quad (12)$$

Nilai *normalized gain* dapat dikategorikan sebagai rendah apabila $g < 0,30$, sedang apabila $0,30 \leq g < 0,70$, dan tinggi apabila $g \geq 0,70$.

Sebelum uji perbedaan dilakukan, distribusi selisih skor diperiksa menggunakan uji normalitas Shapiro-Wilk. Apabila data berdistribusi normal, perbedaan skor dianalisis menggunakan uji t berpasangan.

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}} \quad (13)$$

Keterangan:

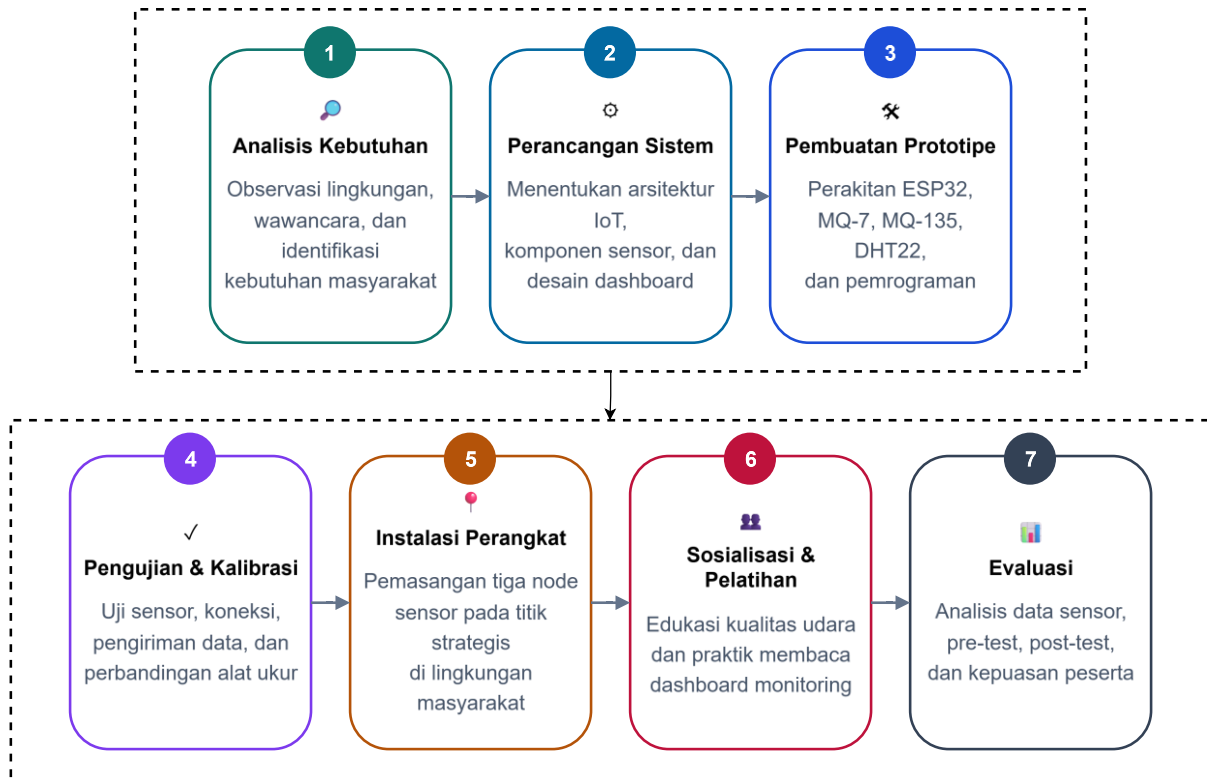
- $\bar{d}$ adalah rata-rata selisih skor;
- s_d adalah standar deviasi selisih skor; dan

- adalah jumlah peserta.

Apabila data tidak berdistribusi normal, digunakan uji Wilcoxon *signed-rank*. Taraf signifikansi ditetapkan sebesar $\alpha = 0,05$. Perbedaan dinyatakan signifikan apabila nilai $p < 0,05$.

2.10 Alur Pelaksanaan Kegiatan

Alur pelaksanaan kegiatan disusun secara sistematis agar pengembangan perangkat dan pemberdayaan masyarakat dapat berjalan secara terpadu.



Gambar 1. Alur Kegiatan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan hasil pelaksanaan kegiatan berdasarkan tiga aspek utama, yaitu implementasi sistem monitoring, kinerja teknis perangkat, serta perubahan pengetahuan dan kesadaran masyarakat. Penyajian hasil difokuskan pada capaian yang diperoleh setelah sistem diterapkan di RT 20, Kelurahan Lubuk Gaung, Kecamatan Sungai Sembilan, Kota Dumai.

3.1 Implementasi Sistem Monitoring

Kegiatan diawali dengan observasi lingkungan dan identifikasi titik pemasangan perangkat. Berdasarkan hasil observasi, tiga node sensor ditempatkan pada lokasi yang memiliki karakteristik berbeda, yaitu dekat jalur kendaraan, bagian tengah permukiman, dan area yang relatif jauh dari sumber emisi langsung. Penempatan tersebut bertujuan memperoleh gambaran kondisi udara yang lebih representatif. Sistem monitoring berhasil dikembangkan menggunakan ESP32, sensor MQ-7, MQ-135, dan DHT22. Data hasil pengukuran dikirim melalui jaringan Wi-Fi menuju platform Blynk dan

dashboard berbasis web. Informasi ditampilkan dalam bentuk nilai numerik, grafik perubahan, dan status kondisi lingkungan sehingga dapat dipantau melalui telepon pintar maupun komputer.

Hasil implementasi menunjukkan bahwa seluruh node dapat membaca dan mengirimkan data sesuai interval yang telah ditentukan. Sistem juga dapat menampilkan riwayat pengukuran sehingga perubahan kondisi udara dapat diamati berdasarkan waktu dan lokasi pengukuran.

Tabel 4. Capaian implementasi system

Aspek implementasi	Hasil
Jumlah node sensor	3 node
Lokasi pemasangan	Area jalan, tengah permukiman, dan area minim emisi langsung
Parameter yang dipantau	Karbon monoksida, indikator kualitas udara, suhu, dan kelembapan
Media monitoring	Blynk dan dashboard berbasis web
Interval pengiriman data	Setiap 5 menit
Status operasional	Seluruh node berfungsi dan terhubung ke server

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh parameter memiliki akurasi di atas 95%. Akurasi tertinggi diperoleh pada pengukuran suhu sebesar 98,1%, sedangkan akurasi terendah terdapat pada pengukuran karbon monoksida sebesar 95,8%. Secara keseluruhan, sistem menghasilkan rata-rata akurasi sebesar 96,9%, sehingga melampaui indikator keberhasilan yang ditetapkan sebesar 90%.

Tingkat keberhasilan pengiriman data ke server mencapai 98,7%. Sebagian kecil data tidak terkirim akibat ketidakstabilan jaringan internet pada waktu tertentu. Namun, kondisi tersebut tidak mengganggu fungsi utama sistem karena perangkat dapat kembali mengirimkan data setelah koneksi tersedia.

Perbedaan akurasi antarparameter dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing sensor. Sensor suhu dan kelembapan cenderung menghasilkan pembacaan yang lebih stabil, sedangkan sensor gas memiliki sensitivitas terhadap kondisi lingkungan, waktu pemanasan, dan keberadaan gas lain. Oleh karena itu, sensor MQ-135 digunakan sebagai indikator perubahan kualitas udara dan bukan sebagai alat ukur tunggal untuk menentukan konsentrasi gas secara presisi.

3.3 Perubahan Pengetahuan dan Kesadaran Masyarakat

Dampak kegiatan terhadap masyarakat diukur melalui perbandingan hasil *pre-test* dan *post-test*. Penilaian meliputi pengetahuan mengenai kualitas udara, pemahaman dampak pencemaran, kemampuan membaca dashboard, kesadaran perilaku ramah lingkungan, dan partisipasi dalam pelaporan kondisi lingkungan.

Tabel 6. Perbandingan hasil pre-test dan post-test

Indikator	Pre-test	Post-test	Peningkatan
Pengetahuan tentang kualitas udara	42,8%	87,5%	44,7%
Pemahaman dampak pencemaran	48,5%	90,2%	41,7%
Kemampuan membaca dashboard	12,3%	78,6%	66,3%
Kesadaran perilaku ramah lingkungan	38,2%	81,4%	43,2%

Partisipasi pelaporan kondisi udara	17,1%	74,3%	57,2%
Rata-rata	31,8%	82,4%	50,6%

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh indikator mengalami peningkatan. Rata-rata skor peserta meningkat dari 31,8% menjadi 82,4%, dengan peningkatan sebesar 50,6%. Peningkatan tertinggi terdapat pada kemampuan membaca dashboard, yaitu 66,3%. Kondisi ini menunjukkan bahwa praktik langsung memberikan pengaruh besar terhadap kemampuan peserta dalam memahami data kualitas udara. Peningkatan partisipasi pelaporan sebesar 57,2% juga memperlihatkan bahwa ketersediaan data lingkungan mampu mendorong keterlibatan masyarakat. Sebelum kegiatan, sebagian besar peserta belum memiliki dasar informasi yang jelas untuk melaporkan kondisi udara. Setelah sistem diterapkan, masyarakat dapat menggunakan data dashboard sebagai informasi awal untuk mengenali perubahan kondisi lingkungan.

Hasil uji *t* berpasangan menunjukkan nilai $t = 14,82$ dengan nilai $p < 0,001$. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara skor sebelum dan sesudah kegiatan. Dengan demikian, kegiatan tidak hanya berhasil dari sisi teknis, tetapi juga memberikan dampak terhadap peningkatan pengetahuan dan kesadaran masyarakat.

3.4 Pembahasan

Hasil kegiatan menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis IoT dapat diterapkan pada lingkungan permukiman dengan biaya dan komponen yang relatif terjangkau. Integrasi sensor, mikrokontroler, jaringan internet, dan dashboard memungkinkan data lingkungan diperoleh secara berkala dan diakses langsung oleh masyarakat. Rata-rata akurasi sebesar 96,9% menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang memadai sebagai alat monitoring awal. Meskipun demikian, hasil pembacaan sensor gas tetap perlu dipahami sebagai indikator kondisi udara, bukan sebagai pengganti instrumen laboratorium. Proses kalibrasi dan pemeliharaan berkala diperlukan agar kestabilan pembacaan tetap terjaga.

Keberhasilan pengiriman data sebesar 98,7% menunjukkan bahwa sistem dapat beroperasi secara stabil. Kendala utama terdapat pada kualitas jaringan internet. Oleh karena itu, pengembangan berikutnya dapat dilengkapi dengan penyimpanan data sementara pada perangkat agar data tidak hilang ketika koneksi terputus. Peningkatan skor pengetahuan dan kesadaran masyarakat memperlihatkan bahwa teknologi akan lebih bermanfaat apabila disertai edukasi dan pelatihan. Dashboard yang sederhana membantu masyarakat memahami data tanpa harus memiliki kemampuan teknis yang tinggi. Kegiatan praktik langsung juga meningkatkan kemampuan peserta dalam membaca grafik dan mengenali perubahan kondisi udara.

Secara keseluruhan, kegiatan ini menghasilkan dua capaian utama. Pertama, terbentuknya sistem monitoring kualitas udara yang dapat beroperasi dan menyajikan data secara waktu nyata. Kedua, meningkatnya kemampuan masyarakat dalam memahami dan memanfaatkan informasi kualitas udara. Integrasi kedua aspek tersebut menjadi dasar bahwa sistem tidak hanya berfungsi sebagai perangkat teknologi, tetapi juga sebagai media edukasi dan pemberdayaan masyarakat.

4. KESIMPULAN

Kegiatan pengembangan sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things* di RT 20, Kelurahan Lubuk Gaung, Kecamatan Sungai Sembilan, Kota Dumai, berhasil menghasilkan sistem yang mampu memantau indikator kualitas udara, karbon monoksida, suhu, dan kelembapan secara waktu nyata melalui platform Blynk dan dashboard berbasis web. Sistem menunjukkan rata-rata akurasi sebesar 96,9% dengan tingkat keberhasilan pengiriman data mencapai 98,7%, sehingga memenuhi kriteria teknis yang telah ditetapkan. Kegiatan sosialisasi dan pelatihan juga memberikan dampak positif terhadap masyarakat, yang ditunjukkan oleh peningkatan rata-rata skor pengetahuan dan kesadaran dari 31,8% menjadi 82,4%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi teknologi monitoring dan edukasi lingkungan efektif dalam meningkatkan kemampuan masyarakat untuk membaca, memahami, dan memanfaatkan informasi kualitas udara.

Keberlanjutan program diarahkan melalui penyerahan perangkat kepada mitra, penunjukan operator lokal, penyusunan panduan penggunaan dan pemeliharaan, serta pemantauan berkala terhadap fungsi sensor dan dashboard. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan melalui penambahan sistem peringatan dini, penyimpanan data lokal, perluasan titik pemantauan, dan kerja sama dengan pemerintah daerah atau instansi lingkungan agar data yang dihasilkan dapat dimanfaatkan secara lebih luas dalam pengelolaan kualitas udara.

5. DAFTAR PUSTAKA

- Akbar, R. M. R., Arif, T. Y., & Irhamsyah, M. (2023). Analisis performansi protokol MQTT pada sistem pemantauan kualitas udara ruangan berbasis IoT. *KITEKTRO: Jurnal Komputer, Informasi Teknologi, Dan Elektro*, 8(3), 102–109. <https://doi.org/10.24815/kitektro.v8i3.35074>
- Anugerah, R., & Sutabri, T. (2024). Perancangan sistem monitoring kualitas udara menggunakan IoT dengan metode prototype. *Modem: Jurnal Informatika Dan Sains Teknologi*, 3(1), 1–5. <https://doi.org/10.62951/modem.v3i1.304>
- Budianto, H., & Sumanto, B. (2024). Perancangan sistem monitoring kualitas udara dalam ruangan berbasis Internet of Things. *Jurnal Listrik, Instrumentasi, Dan Elektronika Terapan*, 5(1), 9–17. <https://doi.org/10.22146/juliet.v5i1.87423>
- Candrasari, S., Clarissa, E. C., Kusumawardani, F., Pattymahu, G. C. H., Eugenia, J. F., Cahyadi, L. B., Silvian, V., & Syabanera, N. D. (2023). Pemulihan dampak pencemaran udara bagi kesehatan masyarakat Indonesia. *Professional: Jurnal Komunikasi Dan Administrasi Publik*, 10(2), 849–854. <https://doi.org/10.37676/professional.v10i2.5417>
- Dimiyati, A. N., Purwantoro, & Primajaya, A. (2025). Sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) dengan visualisasi data pada aplikasi Android: Studi kasus PT South Pacific Viscose. *Jurnal Informatika Dan Teknik Elektro Terapan*, 13(3), 523–536. <https://doi.org/10.23960/jitet.v13i3.6900>
- Fachrizal, F., Julham, J., & Antoni, A. (2022). Sistem monitoring polusi udara menggunakan sensor nitrogen carbon berbasis Internet of Things. *Jurnal Sistem Komputer Dan Informatika*, 4(1), 199–207. <https://doi.org/10.30865/json.v4i1.4903>
- Hasanuddin, M., & Herdianto, H. (2023). Sistem monitoring dan deteksi dini pencemaran udara berbasis Internet of Things (IoT). *Journal of Computer System and Informatics*, 4(4), 976–984. <https://doi.org/10.47065/josyc.v4i4.4034>

- Hidayati, R. (2024). Sistem pemantauan kualitas udara secara real-time menggunakan ESP32 dan teknologi IoT. *Djtechno: Jurnal Teknologi Informasi*, 5(2), 232–245. <https://doi.org/10.46576/djtechno.v5i2.4619>
- Maharani, S., & Aryanta, W. R. (2023). Dampak buruk polusi udara bagi kesehatan dan cara meminimalkan risikonya. *Jurnal Ecocentrism*, 3(2), 47–58. <https://doi.org/10.36733/jecocentrism.v3i2.7129>
- Mashuri, A. A., & Zulfa, N. (2022). Sistem monitoring dan pendukung keputusan kualitas udara di Kota Semarang menggunakan IoT. *Jurnal Informatika Upgris*, 8(1), 37–41. <https://doi.org/10.26877/jiu.v8i1.7532>
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang bangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT (Internet of Things) dengan sensor DHT11 dan sensor MQ135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(2), 102–115. <https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115>
- Nugraha, R. F., Husna, F. N., Sandi, S., Syahla, A. F., Saputra, Y. A., & Hidayat, R. (2024). Smart Air Quality Guardian: Pengawasan polusi udara berbasis ESP32 dengan sensor gas MQ-2 dan MQ-135. *Jurnal Komputer Dan Elektro Sains*, 2(2), 1–7. <https://doi.org/10.58291/komets.v2i2.175>
- Pebralia, J., Akhsan, H., & Amri, I. (2024). Implementasi Internet of Things (IoT) dalam monitoring kualitas udara pada ruang terbuka. *Jurnal Kumparan Fisika*, 7(1), 1–8. <https://doi.org/10.33369/jkf.7.1.1-8>
- Purbakawaca, R., & Fauzan, S. A. (2022). Rancang bangun sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbiaya rendah berbasis IoT. *Jurnal Talenta Sipil*, 5(1), 118–127. <https://doi.org/10.33087/talentsipil.v5i1.104>
- Rachman, G., Manuhutu, F., Jamaludin, J., Batlolona, J. R., Nurmin, N., & Risahondua, H. (2024). Sosialisasi mitigasi bencana gempa bumi dan simulasi teknologi Internet of Things (IoT) di Sekolah Madrasah Aliyah Negeri 1 Maluku Tengah. *AJAD: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 4(1), 136–147. <https://doi.org/10.59431/ajad.v4i1.300>
- Refalista, A., Irawati, R., Irawan, I., & Wisjhnuadji, T. W. (2023). Penggunaan sensor MQ-2, 4, 7, 135 dan ESP32 untuk air pollution monitoring berbasis Internet of Things. *Jurnal Ticom: Technology of Information and Communication*, 12(1), 31–36. <https://doi.org/10.70309/ticom.v12i1.104>
- Sadali, M., Putra, Y. K., Kertawijaya, L., & Gunawan, I. (2022). Sistem monitoring dan notifikasi kualitas udara di jalan raya dengan platform IoT. *Infotek: Jurnal Informatika Dan Teknologi*, 5(1), 27–34. <https://doi.org/10.29408/jit.v5i1.4384>
- Supriadi, Purnamawati, Rahmah, U., Supriadi, M. F., & Samad, P. (2025). Penerapan sistem keamanan lingkungan cerdas berbasis teknologi IoT dan AI di Kelurahan Manuruki Kota Makassar. *Jurnal Pengabdian Masyarakat*, 3(2), 298–302. <https://doi.org/10.59562/abdimas.v3i2.10560>
- Ulaan, G. C., Poekoel, V. C., & Ontowirjo, A. H. J. (2022). Indoor air quality monitoring system. *Jurnal Teknik Informatika*, 17(1), 93–104. <https://doi.org/10.35793/jti.v17i1.34695>
- Waruwu, M. (2024). Metode penelitian dan pengembangan (R&D): Konsep, jenis, tahapan dan kelebihan. *Jurnal Ilmiah Profesi Pendidikan*, 9(2), 1220–1230. <https://doi.org/10.29303/jipp.v9i2.2141>