

IMPLEMENTASI SISTEM SMART VENTILATION BERBASIS IOT MENGUNAKAN THRESHOLD KUALITAS UDARA

Muhammad Almas Albirra Hamid^{1*}), Dicky Aldian Pratama²⁾, Gian Alghifari³⁾, Ravi Rabbani
Aprialna⁴⁾, Anan Satria Perkasa⁵⁾, Rahmad Firdaus⁶⁾, Febby Apri Wenando⁷⁾

^{1,2,3,4,5,6}Ilmu Komputer, Universitas Muhammadiyah Riau

⁷Sistem Informasi Fakultas Teknologi Informasi Universitas Andalas

email: 230401193@student.umri.ac.id¹, 230401187@student.umri.ac.id², 230401202@student.umri.ac.id³,
230401194@student.umri.ac.id⁴, 230401191@student.umri.ac.id⁵, rahmadfirdaus@umri.ac.id⁶,
febby.apri@it.unand.ac.id⁷

Abstract

Poor air quality in enclosed workspaces, particularly in Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) that operate CNC laser cutting machines for acrylic processing, poses potential health risks and reduces worker comfort. This study aims to design and implement an Internet of Things (IoT)-based Smart Ventilation system capable of automatically monitoring and controlling indoor air quality based on predefined threshold values. The system integrates air quality sensors to detect smoke or hazardous gases, an ESP32 microcontroller as the central processing unit, and an exhaust fan as the actuator. Sensor data are processed in real time and used as the basis for activating or deactivating the ventilation system, while monitoring information is displayed through an IoT platform for remote supervision. Experimental results indicate that the proposed system can accurately identify changes in air quality and respond automatically to hazardous conditions in accordance with the defined thresholds. The implementation of this system is expected to improve indoor air quality, support occupational health and safety, and enhance energy efficiency through condition-based ventilation control.

Keywords: Smart Ventilation, Internet of Things, Indoor Air Quality, Threshold-Based Control, ESP32

Abstrak

Kualitas udara yang tidak optimal pada ruang kerja tertutup, khususnya pada sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) yang memanfaatkan mesin CNC berbasis laser untuk pemotongan akrilik, berpotensi menimbulkan gangguan kesehatan serta menurunkan tingkat kenyamanan pekerja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang mampu melakukan pemantauan dan pengendalian kualitas udara secara otomatis berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) tertentu. Sistem ini dikembangkan dengan mengintegrasikan sensor kualitas udara untuk mendeteksi keberadaan asap atau gas berbahaya, mikrokontroler ESP32 sebagai pusat pemrosesan data, serta kipas ventilasi sebagai aktuator. Data hasil pembacaan sensor diproses secara real-time dan digunakan sebagai dasar pengendalian kipas ventilasi, serta disajikan melalui platform IoT untuk pemantauan jarak jauh. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi perubahan kualitas udara secara akurat dan memberikan respons otomatis terhadap kondisi berbahaya sesuai dengan nilai *threshold* yang ditetapkan. Implementasi sistem ini diharapkan dapat meningkatkan kualitas udara, mendukung keselamatan dan kesehatan kerja, serta meningkatkan efisiensi energi melalui pengendalian ventilasi berbasis kondisi lingkungan aktual.

Keywords: Smart Ventilation, Internet of Things, Indoor Air Quality, Threshold-Based Control, ESP32

PENDAHULUAN

Kualitas udara dalam ruang memiliki dampak langsung terhadap kesehatan manusia karena

sebagian besar individu menghabiskan sekitar 80–90% waktunya di dalam ruangan (Janarthanan, 2022).

Kualitas udara pada ruang kerja tertutup merupakan faktor penting yang berpengaruh terhadap kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas tenaga kerja. Paparan jangka panjang terhadap asap, gas berbahaya, serta partikel halus di lingkungan kerja diketahui dapat meningkatkan risiko gangguan pernapasan dan menurunkan kinerja pekerja, terutama pada ruangan dengan sistem sirkulasi udara yang tidak optimal. Kondisi tersebut banyak dijumpai pada sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) yang memanfaatkan mesin produksi berbasis laser, seperti mesin CNC laser untuk pemotongan akrilik, yang menghasilkan emisi gas dan senyawa kimia selama proses operasional (Dhanalakshmi et al., 2020) (Gunnarsen et al., 2023).

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) mendorong lahirnya berbagai solusi pemantauan kualitas udara yang lebih adaptif dan berbasis data. Sistem berbasis IoT memungkinkan pengumpulan data lingkungan secara real-time melalui sensor, serta mendukung pengambilan keputusan otomatis berdasarkan kondisi aktual di lapangan. Penelitian yang dilakukan oleh (Michelle et al., 2024) menunjukkan bahwa pemanfaatan mikrokontroler ESP32 dan sensor MQ-series mampu mendeteksi keberadaan gas berbahaya secara efektif serta memberikan respons berupa alarm atau notifikasi. Hasil serupa juga dilaporkan oleh (Mota et al., 2025) dan (Wang et al., 2025), yang menegaskan bahwa arsitektur IoT dapat diandalkan dalam pemantauan kualitas udara dalam ruang secara berkelanjutan.

Selain aspek fungsional, penggunaan sensor berbiaya rendah (*low-cost sensors*) menjadi pertimbangan penting, khususnya bagi UMKM yang memiliki keterbatasan sumber daya. (Lopes et al., 2025) serta (Camacho-magriñán et al., 2025) menyatakan bahwa sistem pemantauan kualitas udara berbasis sensor ekonomis tetap mampu memberikan performa yang memadai, sekaligus menekan biaya implementasi. Namun demikian, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada fungsi pemantauan kondisi lingkungan, sementara integrasi pengendalian ventilasi otomatis belum diterapkan secara optimal.

Tinjauan komprehensif oleh (Rizo-maestre et al., 2026) terhadap 51 publikasi tentang ventilasi cerdas menunjukkan bahwa strategi pengendalian berbasis IoT mampu menghemat energi hingga 60% tanpa menurunkan kualitas udara, terutama ketika sistem dirancang dengan kontrol prediktif dan jaringan IoT yang skalabel. Hal ini menegaskan pentingnya pendekatan *threshold-based control* dalam sistem ventilasi cerdas untuk

mencapai keseimbangan antara efisiensi energi dan kualitas lingkungan kerja.

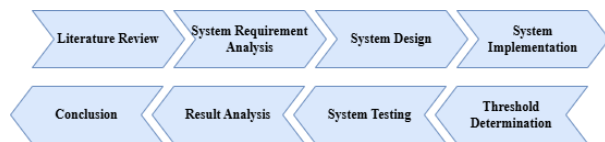
Pendekatan pengendalian ventilasi berbasis nilai ambang batas (*threshold-based control*) dipandang sebagai solusi yang efektif untuk meningkatkan kinerja sistem ventilasi. Penelitian menunjukkan bahwa penerapan *threshold* pada parameter kualitas udara, seperti konsentrasi gas dan kondisi termal ruang, mampu mengoptimalkan kerja ventilasi sekaligus meningkatkan efisiensi energi. Selain itu, pedoman kualitas udara dalam ruang yang mempertimbangkan aspek kesehatan dan produktivitas menegaskan pentingnya pengendalian lingkungan kerja berdasarkan batas aman yang terukur (Gunnarsen et al., 2023).

Berdasarkan kajian tersebut, masih diperlukan pengembangan sistem ventilasi cerdas yang tidak hanya melakukan pemantauan kualitas udara, tetapi juga mampu mengendalikan ventilasi secara otomatis dan adaptif sesuai dengan kondisi lingkungan kerja UMKM. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem *Smart Ventilation* berbasis IoT dengan mengintegrasikan sensor kualitas udara, mikrokontroler ESP32, serta pengendalian kipas ventilasi otomatis menggunakan pendekatan *threshold-based control*. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat meningkatkan kualitas udara lingkungan kerja, mendukung keselamatan dan kesehatan kerja, serta memberikan solusi teknologi yang efisien dan aplikatif bagi sektor UMKM.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada Gambar 1 Dalam penelitian ini, diperlukan suatu metodologi yang jelas dan terstruktur agar proses pengembangan sistem *Smart Ventilation* berbasis IoT dapat dilakukan secara sistematis dan terukur. Metodologi penelitian berperan sebagai pedoman dalam pelaksanaan setiap tahapan penelitian, mulai dari studi literatur hingga evaluasi hasil. Oleh karena itu, digunakan diagram metodologi penelitian untuk menggambarkan alur dan keterkaitan antar tahapan penelitian yang dilakukan.

Penelitian ini menggunakan pendekatan metodologi yang terstruktur untuk memastikan proses pengembangan sistem *Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT) dilakukan secara sistematis dan terukur. Alur tahapan penelitian divisualisasikan dalam bentuk diagram untuk memperjelas keterkaitan antar proses yang dilakukan selama penelitian.



Gambar 1. Metodologi Penelitian

Gambar 1 menunjukkan alur metodologi penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem *Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT). Metodologi penelitian pada Gambar 1 terdiri dari beberapa tahapan yang disusun secara berurutan dan saling berkaitan.

Tahapan awal pada Gambar 1 adalah studi literatur yang bertujuan untuk mengkaji penelitian terdahulu terkait sistem ventilasi cerdas, pemantauan kualitas udara dalam ruang, serta penerapan teknologi IoT. Tahap selanjutnya adalah analisis kebutuhan sistem yang dilakukan untuk mengidentifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional berdasarkan kondisi lingkungan kerja UMKM Creative Potlot.

Setelah analisis kebutuhan, Gambar 1 memperlihatkan tahap perancangan sistem yang mencakup perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak. Tahap ini dilanjutkan dengan implementasi sistem, yaitu proses perakitan prototipe dan pemrograman mikrokontroler ESP32 agar sistem dapat berfungsi sesuai rancangan.

Tahap berikutnya pada Gambar 1 adalah penentuan nilai ambang batas (*threshold*) yang digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan pengendalian ventilasi otomatis. Selanjutnya dilakukan pengujian sistem untuk mengevaluasi kinerja sistem dalam mendeteksi kualitas udara dan merespons perubahan kondisi lingkungan. Tahap akhir pada Gambar 1 adalah evaluasi hasil penelitian yang bertujuan untuk menilai kesesuaian sistem dengan tujuan penelitian serta menarik kesimpulan dari hasil yang diperoleh.

2.1 Literature Review

Tahap *literature review* dilakukan dengan mengkaji penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan sistem ventilasi cerdas, pemantauan kualitas udara dalam ruang (*indoor air quality*), serta penerapan teknologi *Internet of Things* (IoT). Penelusuran literatur dilakukan melalui jurnal ilmiah nasional dan internasional yang terindeks, khususnya jurnal yang terindeks **Scopus** dan/atau **Directory of Open Access Journals (DOAJ)**, guna menjamin kualitas dan kredibilitas sumber referensi.

Literatur yang dikaji difokuskan pada penelitian dengan topik pemantauan kualitas udara berbasis

sensor, penggunaan mikrokontroler ESP32 atau platform sejenis, arsitektur sistem IoT, serta mekanisme pengendalian ventilasi dan respons sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan. Parameter utama yang diperhatikan dalam kajian literatur meliputi jenis sensor kualitas udara, parameter suhu dan kelembapan, metode pengambilan keputusan berbasis nilai ambang batas, serta tujuan sistem dalam meningkatkan kualitas udara dan keselamatan lingkungan kerja.

Pada tahap ini, penulis mengkaji sembilan jurnal ilmiah yang relevan dan sebagian besar dipublikasikan dalam lima tahun terakhir. Referensi tersebut dikelompokkan berdasarkan perannya dalam penelitian. Beberapa penelitian digunakan sebagai landasan pengembangan sistem IoT dan perangkat keras, seperti (Abekiri et al., 2023) dan (Michelle et al., 2024). Penelitian lain digunakan sebagai acuan dalam pemantauan kualitas udara dalam ruang dan pemanfaatan sensor berbiaya rendah, di antaranya (Lopes et al., 2025), (Wang et al., 2025), (Camacho-magriñán et al., 2025), dan (Mota et al., 2025). Sementara itu, penelitian oleh (Gunnarsen et al., 2023) dijadikan acuan dalam penentuan parameter dan batas aman kualitas udara, serta (Dhanalakshmi et al., 2020) dan (Yildiz, 2025) digunakan sebagai referensi pendukung terkait konsep ventilasi dan pengendalian sistem.

Pemilihan jurnal sebagai acuan didasarkan pada tingkat relevansi terhadap topik penelitian, kesesuaian parameter yang dianalisis, kejelasan metodologi, serta status jurnal yang terindeks dan bereputasi. Dengan pendekatan ini, kajian literatur tidak hanya berfungsi sebagai landasan teoritis, tetapi juga sebagai dasar konseptual dalam perancangan dan pengembangan sistem *Smart Ventilation* berbasis IoT yang diusulkan.

2.2 Analisis Kebutuhan Sistem

Pada tahap ini dilakukan analisis kebutuhan sistem berdasarkan lingkungan kerja UMKM Creative Potlot yang menjadi objek penelitian. Analisis kebutuhan dilakukan menggunakan pendekatan analisis sistem berbasis kebutuhan (*requirement-based system analysis*) dengan tujuan untuk mengidentifikasi fungsi utama dan karakteristik sistem *Smart Ventilation* yang sesuai dengan kondisi operasional dan aktivitas kerja di UMKM tersebut.

Lingkungan kerja UMKM Creative Potlot memiliki karakteristik ruang kerja tertutup dengan aktivitas produksi yang berpotensi menghasilkan asap dan peningkatan suhu, sehingga memerlukan sistem pemantauan kualitas udara yang mampu bekerja

secara real-time. Berdasarkan kondisi tersebut, kebutuhan fungsional sistem meliputi kemampuan untuk memantau kualitas udara, mendeteksi parameter lingkungan berupa suhu, kelembapan, dan keberadaan asap atau gas, serta melakukan pengendalian ventilasi secara otomatis berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan.

Selain itu, sistem diharapkan mampu menampilkan informasi kondisi lingkungan dan status sistem secara jelas kepada pengguna, sehingga dapat mendukung pengambilan keputusan secara cepat apabila terjadi kondisi lingkungan yang tidak aman. Informasi tersebut harus dapat diakses baik secara lokal maupun melalui pemantauan jarak jauh.

Dari sisi kebutuhan non-fungsional, sistem dirancang dengan mempertimbangkan keandalan pemantauan secara kontinu, kemudahan penggunaan oleh pengguna non-teknis di lingkungan UMKM Creative Potlot, serta efisiensi energi selama sistem beroperasi. Pemilihan komponen berbiaya rendah dan arsitektur sistem yang sederhana menjadi pertimbangan utama agar sistem dapat diterapkan secara efektif dan berkelanjutan pada skala UMKM.

Sebagai bagian dari analisis kebutuhan, ditetapkan pula pendekatan pengujian sistem untuk memastikan kesesuaian antara sistem yang dikembangkan dengan kebutuhan yang telah dirumuskan. Pengujian fungsional direncanakan menggunakan metode **black-box testing** untuk memverifikasi bahwa setiap fungsi sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan fungsional yang telah ditetapkan. Selain itu, dilakukan pengujian berbasis pengguna (*user-based testing*) untuk mengevaluasi tingkat kemudahan penggunaan, kejelasan informasi yang disajikan, serta kesesuaian sistem dengan kebutuhan operasional pengguna di lingkungan UMKM Creative Potlot.

2.3 Perancangan Sistem

Pada tahap perancangan sistem, dilakukan proses integrasi komponen perangkat keras sebagai dasar pembentukan prototipe *Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT). Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa setiap komponen sistem dapat terhubung dan berfungsi sesuai dengan rancangan arsitektur yang telah ditetapkan. Untuk memperjelas proses perakitan dan integrasi komponen perangkat keras tersebut, disajikan visualisasi proses perakitan prototipe sistem.



Gambar 2. Proses Perakitan Prototipe Sistem Smart Ventilation Berbasis IoT

Gambar 2 menunjukkan proses perakitan prototipe sistem *Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilakukan pada tahap perancangan sistem. Proses perakitan pada Gambar 2 memperlihatkan integrasi komponen perangkat keras ke dalam satu kesatuan prototipe.

Komponen yang dirakit pada Gambar 2 meliputi sensor kualitas udara, sensor suhu dan kelembapan, mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama, serta kipas ventilasi dan indikator sebagai aktuator dan media peringatan. Integrasi komponen pada Gambar 2 dilakukan sesuai dengan rancangan arsitektur sistem agar proses akuisisi data lingkungan dan pengendalian ventilasi dapat berjalan secara optimal.

2.4 Implementasi Sistem

Pada tahap implementasi, rancangan sistem yang telah disusun pada tahap perancangan direalisasikan ke dalam bentuk sistem *Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT) yang siap dioperasikan. Tahap ini bertujuan untuk memastikan bahwa integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak dapat berjalan secara terpadu sesuai dengan rancangan sistem yang telah ditetapkan. Gambar 3 disajikan untuk menggambarkan hasil implementasi sistem dalam bentuk prototipe *Smart Ventilation*.



Gambar 3. Prototipe Sistem Smart Ventilation Berbasis IoT pada Tahap Implementasi

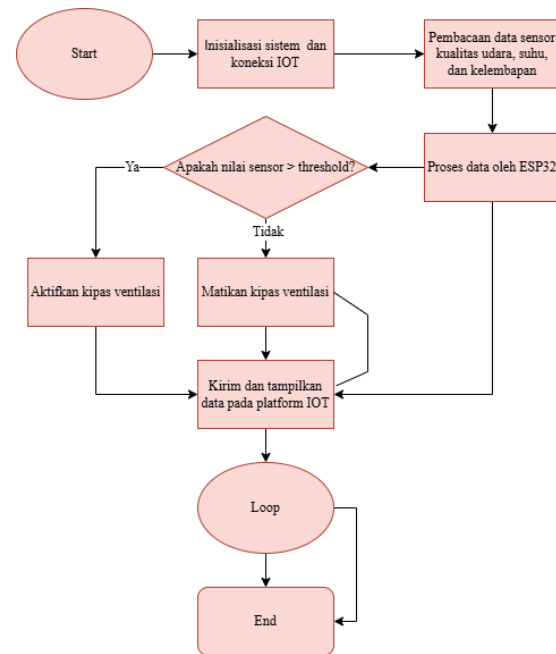
Gambar 3 menunjukkan prototipe *sistem Smart Ventilation* berbasis IoT yang telah terintegrasi antara komponen perangkat keras dan perangkat lunak. Pada Gambar 3 terlihat bahwa seluruh komponen utama sistem, seperti sensor kualitas udara, sensor suhu dan kelembapan, mikrokontroler ESP32, serta kipas ventilasi, telah terpasang dan siap digunakan dalam proses pemantauan kualitas udara dan pengendalian ventilasi.

Mikrokontroler ESP32 pada Gambar 3 diprogram untuk melakukan pembacaan data dari sensor kualitas udara, sensor suhu, dan sensor kelembapan secara periodik, kemudian memproses data tersebut secara real-time. Pendekatan serupa diterapkan oleh (Afrial et al., 2025), yang mengintegrasikan ESP32 dengan platform ThingSpeak untuk memantau parameter udara dalam ruang dan mengendalikan aktuator berdasarkan kondisi polutan terdeteksi. Hasil pemrosesan data digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan dalam mengendalikan kipas ventilasi secara otomatis melalui mekanisme perbandingan nilai sensor dengan nilai ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan (Michelle et al., 2024) dan (Lopes et al., 2025).

2.5 Alur Flowchart Sistem Smart Ventilation

Untuk menjelaskan alur kerja dan logika pengendalian *sistem Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT) secara sistematis dan terstruktur, digunakan representasi visual dalam bentuk flowchart. Flowchart ini berfungsi sebagai acuan untuk memahami tahapan proses pemantauan kualitas udara dan mekanisme pengambilan keputusan dalam sistem.

Gambar 4 disajikan untuk menggambarkan alur flowchart sistem Smart Ventilation berbasis IoT yang digunakan dalam penelitian ini.



Gambar 4. Flowchart sistem smart ventilation

Gambar 4 menunjukkan alur kerja *sistem Smart Ventilation* berbasis IoT yang diawali dengan proses inisialisasi sistem. Pada tahap ini, mikrokontroler ESP32 melakukan konfigurasi awal perangkat serta membangun koneksi ke jaringan IoT agar sistem dapat berkomunikasi dengan platform pemantauan.

Setelah proses inisialisasi dan koneksi berhasil, Gambar 4 memperlihatkan tahapan pembacaan kondisi lingkungan kerja oleh sensor kualitas udara, sensor suhu, dan sensor kelembapan yang dilakukan secara periodik. Data hasil pembacaan sensor tersebut kemudian dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 untuk diproses secara real-time.

Tahap selanjutnya pada Gambar 4 adalah proses perbandingan nilai hasil pembacaan sensor dengan nilai ambang batas (threshold) yang telah ditetapkan. Apabila nilai sensor melebihi threshold, sistem akan mengaktifkan kipas ventilasi secara otomatis untuk meningkatkan sirkulasi udara. Sebaliknya, apabila nilai sensor berada di bawah atau sama dengan threshold, sistem akan menonaktifkan kipas ventilasi karena kondisi kualitas udara masih berada dalam batas aman.

Pada tahap akhir alur kerja, Gambar 4 menunjukkan proses pengiriman data hasil pembacaan sensor dan status kipas ventilasi ke platform IoT untuk keperluan pemantauan jarak jauh. Seluruh rangkaian proses tersebut berjalan secara berulang (loop) selama sistem dalam kondisi aktif, sehingga pemantauan dan pengendalian

kualitas udara dapat dilakukan secara berkelanjutan.

2.6 Penentuan Nilai Ambang Batas (Threshold)

Penentuan nilai ambang batas (*threshold*) kualitas udara dilakukan untuk membedakan kondisi lingkungan kerja yang aman dan tidak aman sebagai dasar pengambilan keputusan dalam pengendalian *sistem Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT). Pendekatan klasifikasi kondisi lingkungan berdasarkan nilai ambang batas juga diterapkan oleh (Simamora et al., 2025), yang menggunakan sistem fuzzy logic untuk mengkategorikan kualitas udara menjadi tiga kelas (baik, sedang, buruk) berdasarkan input dari multi-sensor. Metode ini terbukti mampu mengurangi kesalahan klasifikasi dari 9.47% menjadi 1.92% setelah penerapan fuzzy logic. Penetapan threshold ini didasarkan pada kajian literatur terkait pemantauan kualitas udara dalam ruang serta pedoman kualitas udara yang mempertimbangkan aspek kesehatan, kenyamanan, dan produktivitas pekerja. Parameter utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi kondisi termal ruangan (suhu) dan konsentrasi asap atau gas.

Tabel 1 Tabel Interpretasi Suhu dan Kondisi Lingkungan/Struktur

Rentang Suhu (°C)	Kategori Kondisi	Deskripsi Kondisi Lingkungan / Struktur	Interpretasi Teknis	Tindakan / Implikasi Sistem
< 20	Dingin	Lingkungan dengan suhu rendah, biasanya terjadi pada malam hari atau kondisi cuaca dingin	Aktivitas termal rendah, ekspansi material minimal	Tidak diperlukan tindakan khusus
20 – 24	Normal Stabil	Kondisi lingkungan ideal dan stabil	Respons sensor dan struktur berada pada kondisi normal	Sistem beroperasi normal
25 – 27	Normal Aktif	Suhu meningkat akibat aktivitas lingkungan atau sistem	Mulai terjadi perubahan kecil pada respons struktur	Monitoring rutin

28 – 30	Hangat / Peringatan Awal	Suhu meningkat karena aktivitas operasional, paparan lingkungan, atau beban kerja sistem	Perubahan respons sensor mulai signifikan namun masih dalam batas aman	Peningkatan frekuensi pemantauan
31 – 33	Mendekati Batas	Suhu tinggi akibat aktivitas intensif atau kondisi lingkungan ekstrem	Potensi peningkatan tegangan material dan sinyal sensor	Sistem masuk limit zone
34 – 36	Panas Tinggi	Kondisi panas signifikan yang dapat memengaruhi performa struktur	Respons sensor menunjukkan anomali awal	Peringatan (warning threshold)
> 36	Kritis	Suhu ekstrem yang berpotensi menyebabkan degradasi struktur atau kegagalan sistem	Risiko kegagalan sistem meningkat	Alarm dan tindakan mitigasi

Tabel 1 menyajikan klasifikasi kondisi lingkungan berdasarkan rentang suhu ruangan. Rentang suhu di bawah 28°C dikategorikan sebagai kondisi normal yang menunjukkan lingkungan kerja berada dalam batas nyaman. Rentang suhu 28–30°C diklasifikasikan sebagai kondisi hangat yang menandakan adanya peningkatan aktivitas lingkungan, namun masih berada dalam batas aman. Suhu di atas 30°C dikategorikan sebagai kondisi panas yang berpotensi menurunkan kenyamanan dan memerlukan respons sistem berupa peningkatan sirkulasi udara.

Klasifikasi suhu pada Tabel 1 digunakan sebagai dasar dalam penentuan zona kondisi sistem serta penyesuaian respons pemantauan dan pengendalian ventilasi otomatis.

Selain parameter suhu, konsentrasi asap atau gas digunakan sebagai indikator utama keselamatan lingkungan kerja. Parameter ini berperan penting dalam mendeteksi potensi bahaya yang dapat berdampak langsung terhadap kesehatan pekerja dan keamanan lingkungan.

Tabel 2 Tabel Parameter Asap (Smoke / Gas Particulate)

Tingkat Asap	Zona Kondisi	Deskripsi Kondisi	Respons Sistem
Tidak terdeteksi	Normal Zone	Lingkungan aman dan normal	Sistem beroperasi normal
Rendah	Safe Zone	Asap ringan akibat aktivitas normal	Pemantauan rutin
Sedang	Limit Zone	Indikasi awal peningkatan polutan	Peringatan dini
Tinggi	Critical Zone	Risiko serius terhadap lingkungan kerja	Aktivasi alarm dan kipas
Sangat tinggi	Emergency Zone	Kondisi darurat dan berbahaya	Tindakan keselamatan

Tabel 2 menunjukkan klasifikasi tingkat konsentrasi asap atau gas yang digunakan dalam sistem Smart Ventilation. Ketika asap atau gas tidak terdeteksi, lingkungan kerja dikategorikan sebagai kondisi normal sehingga sistem tidak memicu tindakan pengendalian khusus. Pada tingkat rendah, asap umumnya berasal dari aktivitas lingkungan normal dan sistem tetap berada pada zona aman dengan mekanisme pemantauan berjalan secara rutin.

Peningkatan konsentrasi asap ke tingkat sedang pada Tabel 2 mengindikasikan adanya anomali awal, sehingga sistem memasuki limit zone dan mulai memberikan peringatan dini untuk meningkatkan kewaspadaan pengguna. Pada tingkat tinggi, kondisi lingkungan dikategorikan sebagai critical zone yang menandakan potensi bahaya serius, sehingga sistem secara otomatis mengaktifkan alarm dan kipas ventilasi. Apabila konsentrasi asap mencapai tingkat sangat tinggi, lingkungan kerja diklasifikasikan sebagai emergency zone yang memerlukan tindakan segera, seperti penghentian sementara sistem atau evakuasi area kerja (Gunnarsen et al., 2023).

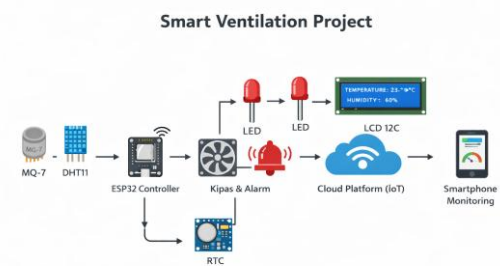
2.7 Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja *Smart Ventilation* dalam mendeteksi perubahan kualitas udara dan merespons kondisi lingkungan secara otomatis. Pengujian dilakukan pada beberapa skenario, yaitu kondisi udara normal dan kondisi udara tercemar oleh asap atau gas. Parameter yang diamati meliputi respons sensor terhadap perubahan lingkungan, waktu respons sistem, serta keberhasilan aktivasi dan deaktivasi kipas ventilasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Arsitektur Sistem Smart Ventilation

Sebelum membahas hasil pengujian, bagian ini terlebih dahulu menjelaskan arsitektur sistem *Smart Ventilation* yang telah diimplementasikan sebagai dasar pemahaman terhadap hasil yang diperoleh. Arsitektur sistem yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Arsitektur Sistem Smart Ventilation Berbasis Internet of Things (IoT)

Pada Gambar 5 sistem terdiri dari sensor MQ-7 untuk mendeteksi keberadaan asap atau gas, serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan lingkungan. Data dari sensor dikirimkan ke mikrokontroler ESP32 sebagai unit pemrosesan utama. ESP32 memproses data secara real-time dan membandingkannya dengan nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan. Hasil pemrosesan tersebut digunakan untuk mengendalikan aktuator berupa kipas ventilasi, alarm, dan indikator LED. Selain itu, data pemantauan dikirimkan ke platform *cloud IoT* sehingga dapat dipantau melalui perangkat *smartphone*.

3.2 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan *Smart Ventilation* dalam memantau kualitas udara dan merespons perubahan kondisi lingkungan secara otomatis. Sensor MQ-7 menunjukkan selisih pengukuran sebesar 1.3 ppm

untuk CO dan sensor DHT11 memiliki selisih 0.8°C untuk suhu serta 1.0% untuk kelembaban, mengindikasikan bahwa sensor-sensor tersebut memiliki reliabilitas yang memadai untuk aplikasi pemantauan lingkungan kerja (Mendeteksi & Udara, 2025) Pengujian dilakukan secara langsung pada lingkungan kerja UMKM Creative Potlot dengan beberapa skenario, meliputi kondisi udara normal, peningkatan suhu, peningkatan kelembaban, serta keberadaan asap atau gas yang dihasilkan dari aktivitas mesin CNC.



Gambar 6. Pengujian Smart Ventilation di mesin CNC

Gambar 6 merupakan penerapan pengujian sistem disajikan dalam bentuk **tabel data pengujian**, yang memuat nilai pembacaan sensor suhu, kelembaban, dan gas, serta status keluaran sistem berupa LED indikator, alarm, dan kipas ventilasi.

Tabel 3 Tabel Hasil Data Pengujian

No	Suhu ($^{\circ}\text{C}$)	Kelembaban (%)	Gas MQ-7
1	28.4	63	320
2	31.2	72	340
3	37.5	65	350
4	34.2	85	360
5	18.7	70	330
6	29.3	60	650
7	38.1	82	370
8	26.5	55	345
9	30.2	78	610
10	32.8	82	400
11	27.5	65	310

Untuk mengevaluasi kinerja sistem Smart Ventilation, dilakukan serangkaian pengujian pada berbagai kondisi lingkungan kerja. Hasil pengujian disajikan pada Tabel 3, yang memuat nilai

pembacaan sensor suhu, kelembaban, dan gas MQ-7 beserta respons sistem berupa status LED merah, buzzer, dan kipas ventilasi.

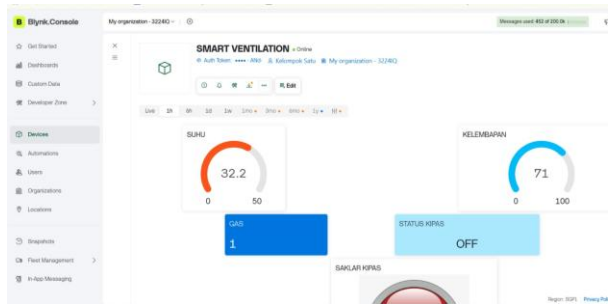
No	Kondisi Lingkungan	LED Merah	Buzzer	Kipas	Keterangan
1	Kondisi Aman	OFF	OFF	OFF	Aman
2	Kondisi Aman	OFF	OFF	OFF	Aman
3	Suhu Tinggi	ON	ON	ON	Bahaya
4	Lembab Tinggi	ON	ON	ON	Bahaya
5	Suhu Rendah	ON	ON	ON	Bahaya
6	Gas / Asap	ON	ON	ON	Bahaya
7	Suhu & Lembab Tinggi	ON	ON	ON	Bahaya
8	Kondisi Aman	OFF	OFF	OFF	Aman
9	Gas / Asap	ON	ON	ON	Bahaya
10	Lembab Tinggi	ON	ON	ON	Bahaya
11	Kondisi Aman	OFF	OFF	OFF	Aman

Berdasarkan Tabel 3, sistem mampu mengklasifikasikan kondisi lingkungan ke dalam kategori aman dan bahaya sesuai dengan nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Pada kondisi dengan parameter lingkungan berada dalam rentang normal, seluruh aktuator berada dalam keadaan nonaktif. Sebaliknya, ketika suhu, kelembaban, atau konsentrasi gas melebihi threshold, sistem secara otomatis mengaktifkan LED indikator, buzzer, dan kipas ventilasi sebagai bentuk respons pengendalian. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme threshold-based control bekerja secara konsisten dan sesuai dengan rancangan sistem.

3.3 Respons Sistem pada Kondisi Aman

Gambar 7 menampilkan kondisi sistem Smart Ventilation berbasis IoT ketika suhu, kelembaban, dan konsentrasi gas berada di bawah nilai ambang batas yang telah ditetapkan. Pada kondisi ini, indikator status kipas menunjukkan keadaan OFF, yang menandakan bahwa sistem tidak

mengaktifkan ventilasi karena kualitas udara masih dalam kategori aman. Nilai pembacaan sensor tetap ditampilkan secara real-time pada dashboard sebagai bagian dari proses monitoring berkelanjutan (Fernández-Agüera et al., 2024).



Gambar 7. Tampilan Pada Dashboard Dalam kondisi Aman

Visualisasi pada Gambar 7 menunjukkan bahwa mekanisme threshold-based control bekerja sesuai dengan logika perancangan, di mana aktuatur hanya diaktifkan ketika parameter lingkungan melebihi batas yang ditentukan. Kondisi ini mendukung efisiensi energi serta memastikan sistem tidak melakukan intervensi yang tidak diperlukan.

Tangkapan layar dashboard ini menampilkan kondisi sistem Smart Ventilation Berbasis IoT saat kualitas udara berada dalam keadaan normal, di mana tidak terdeteksi adanya asap atau gas berbahaya. Pada kondisi ini, nilai pembacaan sensor berada di bawah ambang batas yang telah ditentukan, sehingga sistem secara otomatis menonaktifkan kipas ventilasi. Tampilan dashboard ini menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi udara aman dan mengendalikan kipas secara tepat sesuai dengan logika yang telah dirancang.

3.4 Respons Sistem terhadap Peningkatan Suhu dan Kelembapan

Pada skenario pengujian dengan suhu dan kelembapan yang melebihi batas aman, sistem secara otomatis mengklasifikasikan kondisi tersebut sebagai kondisi tidak aman. Pada kondisi ini, kipas ventilasi dan indikator peringatan diaktifkan untuk meningkatkan sirkulasi udara dan memberikan informasi kepada pengguna.

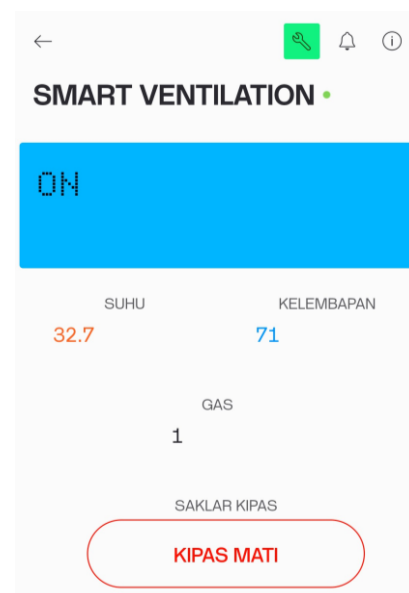
Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi perubahan parameter lingkungan secara real-time dan memberikan respons yang sesuai. Kemampuan ini penting dalam menjaga kenyamanan dan keselamatan lingkungan kerja, sebagaimana direkomendasikan dalam pedoman kualitas udara dalam ruang yang

mempertimbangkan aspek kesehatan dan produktivitas pekerja (Gunnarsen et al., 2023).

3.5 Respons Sistem terhadap Deteksi Asap atau Gas

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi respons sistem ketika terjadi peningkatan konsentrasi asap atau gas di lingkungan kerja. Pada kondisi ini, sensor MQ-7 menunjukkan nilai yang melebihi ambang batas (threshold) yang telah ditentukan, sehingga sistem mengklasifikasikan lingkungan sebagai kondisi berbahaya. Sistem kemudian merespons dengan mengaktifkan kipas ventilasi dan alarm secara otomatis sebagai mekanisme peringatan dini dan upaya mitigasi terhadap potensi risiko kualitas udara. Visualisasi respons sistem pada perangkat mobile ditampilkan pada Gambar 8.

Respons ini merupakan fungsi utama dari sistem *Smart Ventilation*, yaitu mendeteksi polutan udara dan secara otomatis meningkatkan sirkulasi udara. Hasil ini konsisten dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa integrasi sensor gas dengan mikrokontroler ESP32 efektif dalam mendeteksi kondisi udara berbahaya dan memicu respons sistem secara real-time (Michelle et al., 2024).



Gambar 8. Tampilan Pada Smartphone dalam kondisi Terdeteksi Asap

Gambar 8 menunjukkan tampilan dashboard Smart Ventilation berbasis IoT ketika sistem mendeteksi keberadaan asap atau gas di lingkungan sekitar. Status kipas ventilasi ditampilkan dalam kondisi aktif sebagai hasil dari proses pengendalian otomatis berbasis threshold. Selain mode otomatis, antarmuka juga menyediakan fitur kontrol manual

yang memungkinkan pengguna untuk mengoperasikan kipas secara langsung apabila diperlukan.

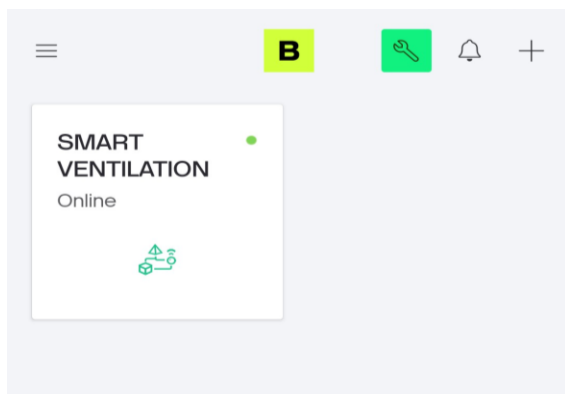
Tampilan pada Gambar 8 mengindikasikan bahwa sistem tidak hanya mampu mendeteksi peningkatan konsentrasi polutan udara secara real-time, tetapi juga menyediakan fleksibilitas pengendalian melalui integrasi platform IoT pada perangkat smartphone.

3.6 Konsistensi Data Monitoring dan Platform IoT

Selain pengujian terhadap respons fisik sistem, dilakukan evaluasi untuk memastikan kesesuaian data antara perangkat lokal dan platform IoT. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi bahwa data hasil pembacaan sensor yang ditampilkan pada LCD identik dengan data yang dikirimkan ke server IoT dan diakses melalui perangkat smartphone.

Visualisasi hasil monitoring melalui perangkat mobile ditampilkan pada Gambar 9.

Konsistensi ini menunjukkan bahwa sistem komunikasi data berbasis IoT berjalan dengan baik dan mendukung pemantauan jarak jauh secara real-time. Temuan ini sejalan dengan penelitian (Wang et al., 2025) dan (Camacho-magriñán et al., 2025), yang menekankan pentingnya integrasi data real-time dalam sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT.



Gambar 9. Tampilan Pada Smartphone

Gambar 9 memperlihatkan tampilan dashboard pada smartphone yang menampilkan nilai suhu, kelembapan, konsentrasi gas, serta status kipas ventilasi secara real-time. Nilai yang ditampilkan pada platform IoT konsisten dengan data yang terbaca pada perangkat lokal, sehingga menunjukkan bahwa proses transmisi dan sinkronisasi data berjalan dengan baik.

3.7 Pembahasan Kinerja Sistem

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis yang telah dilakukan, sistem *Smart Ventilation* berbasis IoT mampu menjalankan fungsi pemantauan dan pengendalian kualitas udara secara otomatis sesuai dengan nilai *threshold* yang ditetapkan. Sistem dapat membedakan kondisi lingkungan aman dan tidak aman, serta memberikan respons yang cepat dan konsisten.

Dibandingkan dengan penelitian sebelumnya, sistem yang dikembangkan menunjukkan kesesuaian dalam hal arsitektur IoT, penggunaan sensor, serta pendekatan pengendalian ventilasi berbasis nilai ambang batas (Lopes et al., 2025). (Santos et al., 2023) melaporkan bahwa material berbasis vanadium dioksida dapat mengalami perubahan sifat optik dan listrik yang signifikan pada suhu tinggi, yang relevan dengan batas peringatan suhu dalam sistem *Smart Ventilation*. Dengan demikian, sistem ini berpotensi menjadi solusi yang aplikatif dan efisien untuk diterapkan pada lingkungan kerja UMKM.

SIMPULAN DAN SARAN

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *Smart Ventilation* berbasis *Internet of Things* (IoT) berhasil dikembangkan dan berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Data sensor ditampilkan secara real-time melalui aplikasi Blynk dan notifikasi Telegram, menunjukkan bahwa kombinasi sensor MQ series dengan ESP32 mampu memberikan informasi kualitas udara yang akurat dan tepat waktu kepada pengguna (Mendeteksi & Udara, 2025).

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu membedakan kondisi lingkungan aman dan tidak aman berdasarkan nilai ambang batas (*threshold*) yang telah ditetapkan. Pada kondisi aman, sistem tidak mengaktifkan kipas ventilasi maupun alarm, sedangkan pada kondisi tidak aman sistem memberikan respons otomatis berupa aktivasi kipas ventilasi dan alarm. Respons sistem yang konsisten terhadap perubahan kondisi lingkungan menunjukkan bahwa pendekatan *threshold-based control* efektif dalam mendukung pengendalian kualitas udara secara adaptif.

Selain itu, integrasi sistem dengan platform IoT memungkinkan pemantauan kualitas udara dan status sistem secara jarak jauh melalui perangkat pengguna. Sistem yang dikembangkan dinilai

sesuai untuk diterapkan pada lingkungan kerja UMKM karena memiliki arsitektur yang sederhana, biaya implementasi yang relatif rendah, serta mampu meningkatkan keselamatan dan kenyamanan kerja melalui pengendalian ventilasi otomatis.

4.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dicapai, beberapa saran dapat diberikan untuk pengembangan sistem pada penelitian selanjutnya. Pertama, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan jenis sensor lain, seperti sensor partikel debu (PM2.5/PM10) atau sensor gas spesifik lainnya, guna meningkatkan akurasi dan cakupan pemantauan kualitas udara.

Kedua, pendekatan pengendalian sistem dapat ditingkatkan dengan menerapkan metode cerdas, seperti logika fuzzy atau pembelajaran mesin, sehingga sistem mampu beradaptasi terhadap pola perubahan lingkungan yang lebih kompleks. Ketiga, pengujian sistem dapat diperluas pada skala lingkungan kerja yang lebih besar dan dalam durasi waktu yang lebih panjang untuk memperoleh evaluasi kinerja yang lebih komprehensif.

Terakhir, integrasi sistem dengan fitur notifikasi otomatis, seperti pesan singkat atau aplikasi seluler, dapat dipertimbangkan untuk meningkatkan efektivitas peringatan dini dan respons pengguna terhadap kondisi lingkungan yang berpotensi berbahaya.

TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak **Rahmad Firdaus, S.Kom., M.TI**, selaku dosen pengampu mata kuliah **Manajemen Proyek Teknologi Informasi**, atas bimbingan, arahan, serta kesempatan yang telah diberikan kepada penulis untuk mengembangkan proyek akhir menjadi sebuah artikel jurnal. Dukungan dan masukan yang diberikan sangat membantu dalam proses perancangan, pelaksanaan, hingga penyusunan artikel ini, sehingga penelitian dapat diselesaikan dengan baik.

DAFTAR PUSTAKA

- Abekiri, N., Rachdy, A., Ajaamoum, M., Nassiri, B., Elmahni, L., & Oubail, Y. (2023). Platform for hands-on remote labs based on the ESP32 and. *Scientific African*, 19, e01502. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2022.e01502>
- Afrial, M., Rauf, M., Nouman, M., Khan, M. T., Rizwan, M. A., & Ahmad, N. (2025). *Multi-Sensor Indoor Air Quality Monitoring with*

- Real-Time Logging and Air Purifier Integration* †.
- Camacho-magriñán, P., Sales-lerida, D., Lara-doña, A., & Sanchez-morillo, D. (2025). *Leveraging Low-Cost Sensor Data and Predictive Modelling for IoT-Driven Indoor Air Quality Monitoring*. 1–28.
- Dhanalakshmi, S., Poongothai, M., & Sharma, K. (2020). ScienceDirect ScienceDirect IoT Quality and Smart for HVAC System IoT Based Indoor Air a , Quality and b Smart Energy Management for HVAC. *Procedia Computer Science*, 171(2019), 1800–1809. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.04.193>
- Gunnarsen, L., Linda, H., Dimitroulopoulou, S., & Dudzi, M. R. (2023). *Indoor air quality guidelines from across the world : An appraisal considering energy saving , health , productivity , and comfort*. 178(August). <https://doi.org/10.1016/j.envint.2023.108127>
- Janarthanan, A. (2022). *Real-time indoor air quality monitoring using the Internet of Things*. 99–104.
- Lopes, S. I., Orłowski, C., Branco, P. T. B. S., Karatzas, K., Villena, G., Saffell, J., Marques, G., Sousa, S. I. V, Lenartz, F., & Bergmans, B. (2025). *Low-Cost Sensor Systems and IoT Technologies for Indoor Air Quality Monitoring : Instrumentation , Models , Implementation , and Perspectives for Validation*. 1–31.
- Mendeteksi, U., & Udara, P. (2025). *Sistem Monitoring Lingkungan Berbasis IoT Dan WSN Untuk Mendeteksi Pencemaran Udara*. 3(1), 1–9.
- Michelle, L., Ravica, A. A., Sherryn, P., & Easterline, L. M. (2024). ScienceDirect ScienceDirect Smart Air Monitoring with IoT-based MQ-2 , MQ-7 , MQ-8 , and Smart Air Monitoring with IoT-based MQ-135 Sensors using NodeMCU MQ-135 Sensors using NodeMCU ESP32. *Procedia Computer Science*, 245, 815–824. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.10.308>
- Mota, A., Serôdio, C., & Briga-sá, A. (2025). *Implementation of an Internet of Things Architecture to Monitor Indoor Air Quality : A Case Study During Sleep Periods*.
- Rizo-maestre, C., Flores-moreno, J. M., Sanz, A. N., & Echarri-iribarren, V. (2026). *Intelligent Ventilation and Indoor Air Quality : State of the Art Review (2017 – 2025)*.
- Santos, A. J., Martin, N., Outón, J., Blanco, E., García, R., & Morales, F. M. (2023). Energy & Buildings A simple two-step approach to the fabrication of VO 2 -based coatings with unique thermochromic features for energy-efficient smart glazing. *Energy & Buildings*, 285, 112892. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2023.11289>

2

- Simamora, A. M., Denih, A., & Suriansyah, M. I. (2025). *Indoor Air Quality Detection Robot Model Based on the Internet of Things (IoT)*. 2–6.
- Wang, Z., Chen, Z., Shahid, I., Asif, Z., & Haghighat, F. (2025). *Indoor Air Quality Assessment Through IoT Sensor Technology : A Montreal – Qatar Case Study*. 2019, 1–27.
- Yildiz, O. (2025). *Development of Real-Time IoT-Based Air Quality Forecasting System Using Machine Learning Approach*. 1–26.