**Jurnal Impresi Indonesia (JII)**
e-ISSN: 2810-062x
Vol. 5, No. 9, September 2026, pp 5427-5444
DOI : 10.58344/jii.v5i9.8131

# Sistem Monitoring Kualitas Udara Ruangan Berbasis Internet of Things Dengan Fitur Early Warning System

**Fadilah Adeliani Putri*, Sufajar Butsianto, Ucok Darmanto Soer**
Universitas Pelita Bangsa, Indonesia
Email : fadillahadeliani23@gmail.com*

***Keywords:***
Prototype; ESP32; Early Warning System; Internet of Things

This is an open access article under the CC BY-SA license.

Copyright © 2026 by Author. Published by Riviera Publishing

***Abstract***

*Indoor air quality can deteriorate because of inadequate ventilation, household activities, humidity, and pollutants from the surrounding environment. Conventional monitoring based on occupants' perceptions cannot provide objective, continuous, and timely information. This study aimed to design and implement an Internet of Things (IoT)-based indoor air quality monitoring system equipped with an Early Warning System (EWS). The system was developed using the prototype method and integrated an ESP32 DevKit V1, MQ-135 sensor, DHT11 sensor, OLED display, passive buzzer, Blynk platform, and MySQL database. Testing covered sensor readings, local and remote displays, data transmission and storage, warning functions, and automatic reconnection. The system successfully measured temperature, humidity, and gaseous air-quality indicators and classified conditions as Fresh Air (<25 ppm), Poor Air (25–<50 ppm), or Danger (≥50 ppm). Monitoring results were displayed on the OLED and Blynk dashboard and stored in MySQL at 30-second intervals. When the status reached Danger, the system activated the buzzer and sent a Blynk notification. The status-change mechanism prevented repeated notifications, while automatic reconnection maintained monitoring after network disruption. The prototype successfully integrated sensing, processing, visualization, storage, and dual-channel warnings, providing an accessible solution for real-time indoor air quality monitoring in residential environments.*

**Kata Kunci:**
Prototipe; ESP32; Sistem Peringatan Dini; *Internet of Things*

**Abstrak**

Kualitas udara dalam ruangan dapat menurun akibat ventilasi yang kurang memadai, aktivitas rumah tangga, kelembapan, dan polutan dari lingkungan sekitar. Pemantauan konvensional berdasarkan persepsi penghuni belum mampu menyediakan informasi yang objektif, berkelanjutan, dan tepat waktu. Penelitian ini bertujuan merancang dan menerapkan sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis *Internet of Things* (IoT) yang dilengkapi *Early Warning System* (EWS). Sistem dikembangkan menggunakan metode prototipe dengan mengintegrasikan ESP32 DevKit V1, sensor MQ-135, sensor DHT11, layar OLED, passive buzzer, platform Blynk, dan basis data MySQL. Pengujian mencakup pembacaan sensor, tampilan lokal dan jarak jauh, pengiriman dan penyimpanan data, fungsi peringatan, serta koneksi ulang otomatis. Sistem berhasil mengukur suhu, kelembapan, dan indikator kualitas udara berbasis gas serta mengklasifikasikan kondisi menjadi Fresh Air (<25 ppm), Poor Air (25–<50 ppm), dan Danger (≥50 ppm). Data ditampilkan pada OLED dan dasbor Blynk serta disimpan dalam MySQL setiap 30 detik. Pada kondisi Danger, sistem mengaktifkan buzzer dan mengirimkan notifikasi Blynk. Mekanisme perubahan status mencegah notifikasi berulang, sedangkan koneksi ulang otomatis mempertahankan keberlanjutan pemantauan. Prototipe berhasil mengintegrasikan pengindraan, pemrosesan, visualisasi, penyimpanan,

dan peringatan dua saluran sebagai solusi pemantauan kualitas udara dalam ruangan secara waktu nyata.

## PENDAHULUAN

Perkembangan *Internet of Things* (IoT) membuka peluang pemantauan kualitas udara secara otomatis, sebuah faktor lingkungan penting yang jika tercemar dapat memicu gangguan pernapasan seperti iritasi saluran napas, asma, dan ISPA. Di permukiman padat, kualitas udara dalam ruangan sering memburuk akibat ventilasi yang kurang memadai, kelembapan tinggi, debu, dan aktivitas pembakaran, sementara data (BPS, 2024) menunjukkan sebagian besar rumah belum memiliki sistem monitoring real-time sehingga perubahan kondisi udara sulit diketahui secara cepat dan akurat. Berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), polutan yang melewati ambang tidak sehat meningkatkan risiko kesehatan, sehingga diperlukan sistem pemantauan real-time yang dilengkapi peringatan dini (*Early Warning System*).

Polusi udara rumah tangga menjadi perhatian khusus pada hunian yang padat dan memiliki ventilasi kurang memadai. Menurut *World Health Organization*, sekitar 2,1 miliar penduduk dunia masih memasak menggunakan api terbuka atau kompor tidak efisien berbahan bakar pencemar, sementara polusi udara rumah tangga diperkirakan menyebabkan 2,9 juta kematian pada 2021, termasuk lebih dari 309.000 kematian anak berusia di bawah lima tahun. Laporan tersebut juga menyatakan bahwa konsentrasi partikel halus dari asap pada hunian dengan ventilasi buruk dapat mencapai 100 kali lebih tinggi daripada tingkat yang dapat diterima. Meskipun data tersebut terutama menggambarkan pencemaran akibat penggunaan energi rumah tangga, kondisi ini memperlihatkan risiko lebih luas dari akumulasi polutan yang tidak terdeteksi dalam ruangan tertutup dan menegaskan pentingnya sistem pemantauan yang terjangkau serta mampu menyediakan informasi kondisi udara secara tepat waktu.

Permasalahan tersebut juga relevan dengan lingkungan permukiman padat di kawasan perkotaan dan industri yang berkembang pesat di Indonesia. Kondisi udara dalam ruangan dapat berubah akibat aktivitas memasak, pembakaran sampah di sekitar permukiman, keterbatasan sirkulasi udara, penggunaan peralatan rumah tangga, serta pergerakan penghuni atau pelanggan pada bangunan dengan fungsi campuran. Risiko tersebut terlihat pada lokasi penelitian, yaitu rumah kontrakan dua petak di Kelurahan Sukaresmi, Kecamatan Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, yang juga digunakan sebagai warung sembako. Ukuran ruangan yang terbatas, kegiatan memasak, mobilitas pelanggan, aktivitas pembakaran sampah di sekitar rumah, dan ventilasi yang kurang optimal berpotensi memengaruhi suhu, kelembapan, dan konsentrasi gas di dalam ruangan. Namun, penghuni umumnya masih menilai kondisi udara berdasarkan bau atau ketidaknyamanan fisik dan melakukan tindakan manual, seperti membuka jendela atau menyalakan kipas, tanpa didukung data kuantitatif mengenai kondisi udara yang sebenarnya.

Pengamatan konvensional yang mengandalkan persepsi manusia belum memadai karena perubahan kualitas udara tertentu dapat terjadi sebelum penghuni mencium bau atau merasakan ketidaknyamanan. Pemantauan manual juga tidak mampu menyediakan pengukuran berkelanjutan, akses jarak jauh, rekaman historis, maupun peringatan langsung ketika nilai yang terukur melampaui ambang batas. Keterbatasan tersebut berisiko menyebabkan keterlambatan tindakan korektif, terutama ketika penghuni sedang berada di luar rumah. Oleh karena itu, diperlukan pemantauan berkelanjutan yang dapat mengubah kondisi lingkungan menjadi informasi terukur untuk mendukung respons yang lebih cepat dan tepat. Internet of Things (IoT) menjadi kerangka teknologi yang sesuai karena memungkinkan pembacaan sensor dilakukan secara otomatis, diproses oleh mikrokontroler, dikirimkan melalui jaringan nirkabel, ditampilkan dari jarak jauh, dan disimpan untuk evaluasi selanjutnya.

Penelitian sebelumnya telah menunjukkan manfaat teknologi IoT dalam pemantauan kualitas udara dalam ruangan. Jo et al., (2020) mengembangkan platform pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT yang mencakup perangkat sensor, transmisi data waktu nyata, analisis berbasis komputasi awan, visualisasi, penyimpanan data, dan peringatan kepada pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa integrasi sensor, komunikasi IoT, dan komputasi awan memungkinkan informasi kualitas udara dalam ruangan diakses secara efisien dari berbagai lokasi. Selanjutnya, (Anitha & Kumar, 2023) mengembangkan sistem pemantauan polusi dan pemurnian udara berbasis IoT yang menggabungkan komponen pengindraan dan penyaringan. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa pengindraan lingkungan berbasis IoT dapat mendeteksi perubahan konsentrasi polutan dan mendukung mekanisme respons, sehingga pemantauan tidak hanya bergantung pada pengamatan pasif.

Penelitian yang lebih mutakhir menekankan keterjangkauan dan fleksibilitas perangkat pemantauan berbasis mikrokontroler. Easterline et al., (2024) mengintegrasikan mikrokontroler ESP32 dengan sensor MQ-2, MQ-7, MQ-8, dan MQ-135 untuk memantau sejumlah indikator gas serta mengirimkan data melalui arsitektur IoT. Hasilnya menunjukkan kelayakan penggunaan sensor seri MQ dan konektivitas ESP32 sebagai perangkat pemantauan udara secara waktu nyata dengan biaya relatif rendah. Dalam konteks Indonesia, (Al-Faris & Elsi, 2024) juga mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT menggunakan sensor MQ-135 dan platform Blynk sehingga pengguna dapat memantau hasil pengukuran dari jarak jauh dan menerima notifikasi ketika kondisi berbahaya terdeteksi. Berbagai penelitian tersebut menegaskan bahwa ESP32, sensor seri MQ, dan dasbor yang terhubung dengan komputasi awan dapat menjadi dasar praktis untuk mengembangkan sistem pemantauan lingkungan yang mudah diakses.

Meskipun demikian, literatur terdahulu masih menunjukkan sejumlah keterbatasan yang relevan dengan penerapan pada lingkungan tempat tinggal. Beberapa sistem lebih menekankan pembacaan sensor dan visualisasi daring, tetapi belum mengintegrasikan tampilan lokal, dasbor jarak jauh, basis data historis yang terstruktur, serta peringatan lokal dan jarak jauh secara bersamaan. Penelitian lain menggunakan banyak sensor atau perangkat pemurnian udara yang dapat meningkatkan kompleksitas dan biaya sistem sehingga kurang terjangkau bagi rumah tangga berskala kecil. Selain itu, prototipe terdahulu umumnya diuji di laboratorium, perkantoran, kawasan industri, atau lingkungan pemantauan umum dan belum secara khusus diterapkan pada hunian sempit yang sekaligus digunakan untuk kegiatan usaha. Dengan demikian, terdapat kesenjangan praktis mengenai sistem berbiaya rendah yang mengintegrasikan pengukuran suhu, kelembapan, dan indikator kualitas udara dengan visualisasi lokal, pemantauan jarak jauh, penyimpanan data terstruktur, pemulihan koneksi, dan peringatan dini berbasis perubahan status dalam satu arsitektur.

Penanganan kesenjangan tersebut menjadi penting karena efektivitas pemantauan tidak hanya ditentukan oleh kemampuan mendeteksi perubahan lingkungan, tetapi juga oleh kemampuan sistem menyampaikan informasi yang mudah dipahami dan tepat waktu kepada pengguna. Data yang hanya ditampilkan pada perangkat lokal tidak dapat diakses ketika penghuni berada di luar ruangan, sedangkan pembacaan berbasis komputasi awan tanpa alarm lokal berpotensi kurang efektif ketika koneksi internet terputus atau pengguna tidak segera memeriksa telepon pintar. Data historis juga diperlukan untuk mengidentifikasi pola perubahan berulang dan menghubungkannya dengan aktivitas rumah tangga atau kegiatan usaha. Oleh karena itu, sistem yang terintegrasi perlu menampilkan hasil pembacaan secara lokal, mengirimkannya ke platform jarak jauh, menyimpannya dalam basis data, dan memberikan peringatan melalui lebih dari satu saluran. Integrasi tersebut dapat meningkatkan kesadaran pengguna terhadap kondisi udara dengan tetap mempertahankan rancangan sistem yang terjangkau dan mudah direplikasi.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi kontekstual antara ESP32 DevKit V1, sensor DHT11, sensor MQ-135, layar OLED, platform Blynk IoT, basis data MySQL, dan Early Warning System melalui dua saluran peringatan pada hunian sempit dengan fungsi campuran. Sistem yang diusulkan menggunakan DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan keluaran MQ-135 digunakan sebagai indikator umum perubahan kualitas udara berbasis respons gas. ESP32 memproses dan mengklasifikasikan hasil pengukuran, menampilkannya pada OLED, mengirimkannya ke Blynk, serta menyimpannya dalam MySQL melalui permintaan HTTP POST. Ketika nilai kualitas udara mencapai kategori bahaya, sistem mengaktifkan buzzer sebagai peringatan lokal dan mengirimkan notifikasi Blynk sebagai peringatan jarak jauh. Mekanisme perubahan status juga diterapkan untuk mencegah pengiriman notifikasi berulang, sedangkan prosedur koneksi ulang otomatis digunakan untuk mendukung keberlanjutan pemantauan setelah terjadi gangguan jaringan.

Berdasarkan uraian tersebut, penelitian ini bertujuan merancang, menerapkan, dan mengevaluasi secara fungsional sistem pemantauan kualitas udara dalam ruangan berbasis IoT yang dilengkapi *Early Warning System* pada lingkungan permukiman. Secara khusus, penelitian ini menguji kemampuan prototipe dalam membaca suhu, kelembapan, dan indikator kualitas udara; mengklasifikasikan kondisi yang terukur; menampilkan informasi secara lokal dan jarak jauh; menyimpan data berbasis waktu secara berkala; serta menghasilkan peringatan ketika terjadi perubahan status atau kondisi mencapai kategori bahaya. Penelitian ini berkontribusi melalui penyediaan arsitektur prototipe yang terintegrasi dan relatif ekonomis serta memberikan bukti praktis mengenai keterhubungan fungsional antara komponen pengindraan, pemrosesan, komunikasi, penyimpanan, dan peringatan. Hasil penelitian diharapkan membantu penghuni merespons penurunan kualitas udara lebih awal, menjadi referensi bagi peneliti dan mahasiswa dalam mengembangkan sistem IoT sejenis, serta menyediakan landasan teknis bagi penelitian selanjutnya yang menggunakan sensor berakurasi lebih tinggi, visualisasi data historis, validasi dengan instrumen referensi, dan pengendalian otomatis terhadap ventilasi atau perangkat pemurnian udara.

## METODE PENELITIAN

### Objek Penelitian

Objek penelitian adalah kondisi kualitas udara dalam ruangan pada tempat tinggal peneliti, yang diamati melalui parameter suhu, kelembapan, dan kualitas udara menggunakan sensor DHT11 dan MQ-135 yang terhubung ke ESP32, ditampilkan pada OLED, dikirim ke Blynk, dan disimpan pada database MySQL.

Penelitian dilaksanakan di rumah kontrakan dua petak di Kelurahan Sukaresmi, Kecamatan Cikarang Selatan, Kabupaten Bekasi, Jawa Barat, yang juga digunakan sebagai warung sembako. Lokasi ini dipilih karena memiliki variasi aktivitas harian (memasak, keluar-masuk pelanggan, penggunaan peralatan rumah tangga) serta faktor lingkungan sekitar seperti pembakaran sampah dan ruangan yang relatif sempit, sehingga berpotensi memengaruhi kualitas udara di dalam rumah dan relevan sebagai lokasi pengujian sistem.

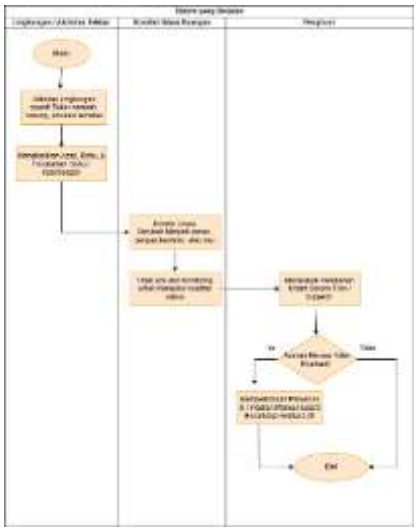
Parameter yang diamati meliputi suhu dan kelembapan (DHT11) serta indikator kualitas udara (MQ-135). Apabila hasil pembacaan menunjukkan kondisi tidak aman, sistem mengirimkan notifikasi EWS kepada pengguna.

### Analisa Sistem

Analisis sistem dilakukan untuk mengidentifikasi permasalahan pada proses pemantauan kualitas udara yang masih manual, sehingga dapat dirancang solusi berupa sistem monitoring berbasis IoT yang lebih cepat, akurat, dan dapat diakses dari jarak jauh.

**Analisa Sistem Berjalan**

Berdasarkan observasi lapangan dan studi literatur, pemantauan kualitas udara pada lingkungan permukiman masih dilakukan secara konvensional berdasarkan persepsi penghuni tanpa didukung alat ukur kuantitatif.



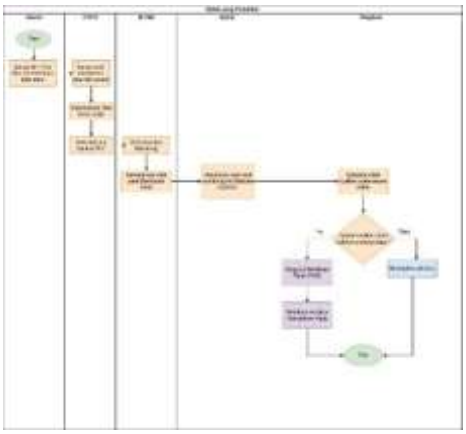
**Gambar 1**. Activity Diagram Sistem yang Berjalan

Berdasarkan Gambar 1, aktivitas lingkungan seperti pembakaran sampah, kegiatan warung, dan sirkulasi udara terbatas memengaruhi kondisi udara. Penghuni menilai kenyamanan secara subjektif lalu bertindak manual (membuka jendela, menyalakan kipas) tanpa data pengukuran yang pasti.

Sistem yang berjalan memiliki beberapa keterbatasan, yaitu: (1) bergantung pada persepsi subjektif penghuni; (2) tidak tersedia media tampilan kondisi udara secara real-time; (3) tidak dapat dipantau dari jarak jauh; (4) tidak ada penyimpanan data historis untuk evaluasi; dan (5) belum ada mekanisme peringatan dini. Kondisi ini menyebabkan pengambilan keputusan bersifat reaktif dan berpotensi terlambat mendeteksi penurunan kualitas udara, sehingga diperlukan sistem monitoring berbasis IoT yang otomatis, real-time, dan dilengkapi fitur *Early Warning System*.

**Sistem yang Diusulkan**

Sistem yang diusulkan menggunakan ESP32, sensor DHT11, sensor MQ-135, aplikasi Blynk, dan database MySQL untuk memantau kondisi udara secara otomatis dan berkelanjutan tanpa bergantung pada pengamatan manual.



**Gambar 2.** Activity Diagram Sistem yang Diusulkan

Perubahan kondisi lingkungan dideteksi oleh sensor: DHT11 mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan MQ-135 mendeteksi konsentrasi gas/polutan. Data diproses ESP32, ditampilkan pada OLED sebagai monitoring lokal, lalu dikirim melalui internet sehingga dapat dipantau melalui smartphone. Data historis yang tersimpan memungkinkan pengguna menganalisis pola perubahan kualitas udara sebagai dasar pengambilan keputusan yang lebih tepat, sehingga meningkatkan efektivitas pemantauan dibandingkan metode manual sebelumnya.

**Alat dan Bahan Penelitian**

Alat dan bahan penelitian terdiri atas perangkat keras (hardware) dan perangkat lunak (software) yang saling mendukung dalam proses perancangan, implementasi, dan pengujian prototipe.

**Perangkat Keras**

Daftar perangkat keras yang digunakan disajikan pada Tabel 1.

**Tabel 1.** Daftar Perangkat Keras

| No | Nama Perangkat | Fungsi Utama |
|---|---|---|
| 1 | ESP32 | Sebagai mikrokontroler utama untuk mengolah data sensor dan mengirimkan data ke *platform* IoT |
| 2 | ESP32 *Expansion Board* | Mempermudah pemasangan ESP32 serta memudahkan koneksi pin input dan output ke komponen lainnya |
| 3 | *Breadboard* | Media perakitan rangkaian elektronik tanpa proses penyolderan |
| 4 | Sensor DHT11 | Mengukur suhu dan kelembapan udara |
| 5 | Sensor MQ-135 | Mendeteksi kualitas udara dan konsentrasi gas tertentu |
| 6 | *OLED Display 0.96 Inch I2C* | Menampilkan hasil pembacaan sensor secara lokal |
| 7 | *Buzzer* | Memberikan peringatan suara ketika kualitas udara berada pada kategori *Danger* sebagai bagian dari fitur *Early Warning System*. |
| 8 | Kabel Jumper | Menghubungkan antar komponen pada *breadboard* |
| 9 | Kabel Micro USB | Menghubungkan ESP32 dengan komputer saat proses pemrograman |

**Perangkat Lunak**

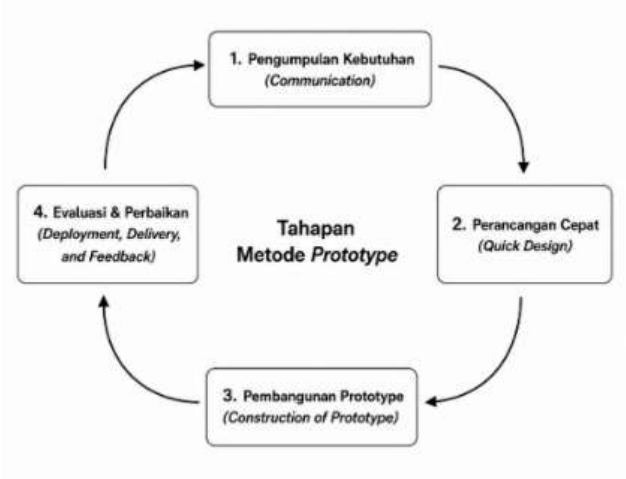
Daftar perangkat lunak yang digunakan disajikan pada Tabel 3.2.

**Tabel 2.** Daftar Perangkat Lunak

| No | Nama Perangkat Lunak | Fungsi Utama |
|---|---|---|
| 1 | *Arduino* IDE | Digunakan untuk membuat dan mengunggah program ke ESP32 |
| 2 | *MySQL* | Menyimpan data hasil monitoring sebagai data historis |
| 3 | *Blynk IoT* | Digunakan sebagai *platform* monitoring data sensor secara real-time dan pengiriman notifikasi |

## METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah metode Prototype, yaitu metode pengembangan sistem dengan membangun model awal yang dievaluasi dan disempurnakan secara berulang hingga sesuai dengan kebutuhan pengguna. Metode ini dipilih karena sesuai untuk penelitian yang mengintegrasikan perangkat keras dan perangkat lunak sehingga pengujian dan perbaikan dapat dilakukan secara bertahap.




**Gambar 3.** Tahapan Metode Prototype

### Pengumpulan Kebutuhan Sistem (*Communication*)

Dilakukan melalui observasi lingkungan, studi literatur, dan identifikasi kebutuhan pengguna, menghasilkan kebutuhan berupa pemantauan otomatis suhu, kelembapan, dan kualitas udara secara real-time, penyimpanan data, serta notifikasi peringatan.

### Perancangan Cepat (*Quick Design*)

Meliputi perancangan arsitektur sistem, diagram UML, basis data, antarmuka Blynk, serta rangkaian ESP32, DHT11, MQ-135, dan OLED sebagai dasar pembangunan prototipe.

### Pembangunan Prototipe (*Construction of Prototype*)

Meliputi perakitan perangkat keras, pemrograman pada Arduino IDE, konfigurasi Blynk, serta integrasi dengan database MySQL sehingga data sensor dapat ditampilkan, dikirim, dan disimpan.

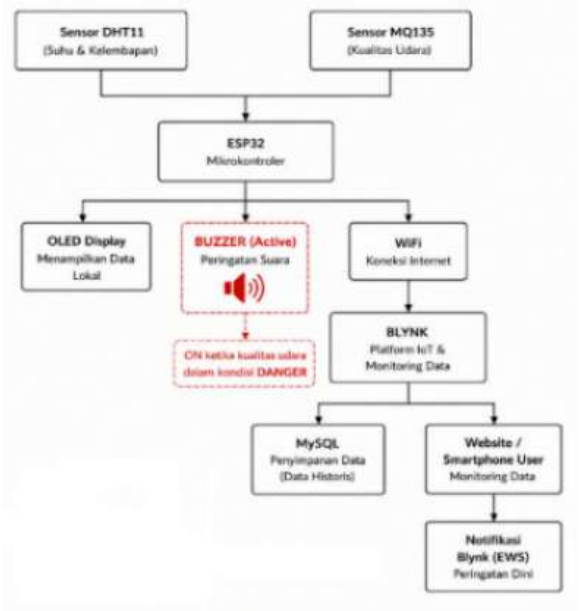
### Evaluasi dan Penyempurnaan Sistem (*Deployment, Delivery, and Feedback*)

Pengujian fungsi pembacaan sensor, tampilan OLED, pengiriman data ke Blynk, penyimpanan database, dan notifikasi peringatan; kekurangan yang ditemukan diperbaiki hingga sistem berfungsi sesuai kebutuhan.

## Perancangan Sistem

### Diagram Blok Sistem

Diagram blok menggambarkan hubungan antar komponen sistem, mulai dari pengambilan data oleh sensor, pengolahan oleh mikrokontroler, pengiriman data melalui internet, hingga informasi diterima pengguna melalui platform monitoring dan sistem peringatan dini.

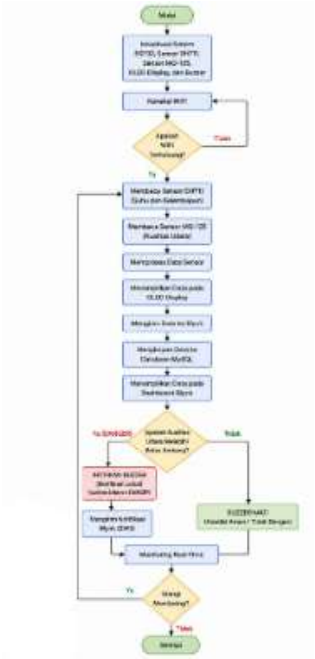



**Gambar 4.** Diagram Blok Sistem Monitoring Kualitas Udara

Sensor DHT11 mengukur suhu dan kelembapan, sedangkan MQ-135 mendeteksi kualitas udara. Data dikirim ke ESP32 yang mengolah nilai, menentukan kategori kualitas udara, menampilkannya pada OLED, mengirimkannya ke Blynk melalui WiFi, serta menyimpannya ke database MySQL melalui HTTP POST. Sebagai fitur EWS, sistem mengaktifkan active buzzer dan mengirim notifikasi Blynk apabila kualitas udara mencapai kategori Danger, sehingga pengguna memperoleh peringatan baik secara lokal maupun jarak jauh.

**Flowchart Sistem**

Flowchart menggambarkan alur kerja sistem secara terstruktur, mulai dari inisialisasi perangkat, pembacaan sensor, pengolahan data, hingga pengiriman data ke platform monitoring.



**Gambar 5.** Flowchart Sistem Monitoring Kualitas Udara

Proses diawali dengan inisialisasi ESP32, DHT11, MQ-135, OLED, dan buzzer, dilanjutkan koneksi WiFi (diulang hingga berhasil). Setelah terhubung, sensor MQ-135 menjalani proses warm-up untuk menstabilkan pembacaan. Selanjutnya ESP32 membaca data DHT11 dan MQ-135 secara berkala, mengklasifikasikan kondisi udara berdasarkan ambang batas, menampilkannya pada OLED, mengirimkannya ke Blynk, serta menyimpannya ke database MySQL melalui HTTP POST. Apabila kondisi mencapai kategori Danger, active buzzer dan notifikasi Blynk diaktifkan sebagai bagian dari EWS; jika tidak, sistem melanjutkan monitoring secara berkelanjutan (*continuous monitoring*).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Implementasi Sistem

Implementasi sistem merupakan realisasi hasil perancangan pada Bab III menjadi sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang beroperasi sesuai tujuan penelitian. Tahap ini meliputi perakitan perangkat keras, pengembangan program ESP32, integrasi dengan Blynk, penyimpanan data ke MySQL melalui HTTP POST, serta penerapan fitur Early Warning System (EWS) menggunakan notifikasi Blynk dan passive buzzer.

### Implementasi Perangkat Keras

Seluruh komponen — ESP32 DevKit V1, sensor DHT11, sensor MQ-135, OLED SSD1306, passive buzzer, ESP32 Expansion Board, breadboard, dan kabel jumper — dirakit dalam sebuah wadah agar rapi, mudah dipindahkan, dan terlindungi. Sensor dan buzzer ditempatkan pada bagian depan prototipe agar dapat berinteraksi langsung dengan lingkungan, sedangkan OLED dipasang di bagian atas agar informasi suhu, kelembapan, PPM, dan status kualitas udara (*Fresh Air, Poor Air, Danger)* mudah dibaca pengguna tanpa membuka aplikasi Blynk.

ESP32 berperan sebagai pusat pengendali yang membaca data sensor, menentukan kategori kualitas udara, menampilkan hasil pada OLED, mengirim data ke Blynk melalui WiFi, dan mengirim data ke database MySQL melalui HTTP POST. Sebagai bagian EWS, passive buzzer pada GPIO26 aktif bersamaan dengan notifikasi Blynk ketika kualitas udara mencapai kategori Danger. Secara keseluruhan, seluruh komponen perangkat keras berhasil terealisasi dan berfungsi sesuai rancangan.



**Gambar 8.** Prototype Sistem Monitoring Kualitas Udara

**Implementasi Perangkat Lunak**

Program pada ESP32 dikembangkan menggunakan Arduino IDE dengan pustaka WiFi.h, WiFiClient.h, HTTPClient.h, BlynkSimpleEsp32.h, Wire.h, Adafruit_GFX.h, Adafruit_SSD1306.h, dan DHT.h. Konfigurasi pin meliputi MQ-135 pada GPIO34 (analog, ADC 12-bit, attenuation 11 dB), DHT11 pada GPIO15, OLED SSD1306 pada GPIO21 (SDA) dan GPIO22 (SCL), serta passive buzzer pada GPIO26.

Setelah inisialisasi dan koneksi WiFi/Blynk berhasil, sensor MQ-135 menjalani proses warm-up selama 100 detik dengan teknik moving average (10 sampel) untuk menstabilkan pembacaan. Selanjutnya sistem membaca sensor setiap 2 detik menggunakan BlynkTimer: DHT11 menghasilkan suhu dan kelembapan, sedangkan MQ-135 diproses (nilai RL = 10,0 kΩ, R0 = 2,55) menjadi nilai PPM.

Klasifikasi kualitas udara dibagi tiga kategori: Fresh Air (PPM < 25), Poor Air (25 ≤ PPM < 50), dan Danger (PPM ≥ 50). Hasil klasifikasi ditampilkan pada OLED, dikirim ke Blynk setiap 30 detik melalui virtual pin (V0 = PPM, V1 = suhu, V2 = kelembapan, V3 = status), dan disimpan ke database MySQL melalui HTTP POST ke simpan.php dengan interval yang sama.

Fitur EWS memanfaatkan variabel lastStatus untuk membandingkan status terkini dengan status sebelumnya sehingga notifikasi Blynk hanya dikirim saat terjadi perubahan status. Pada kondisi Danger, sistem menjalankan event air_Danger dan mengaktifkan buzzer (tone() 2000 Hz); buzzer dinonaktifkan (noTone()) saat kondisi kembali aman. Program juga dilengkapi mekanisme auto-reconnect yang memeriksa koneksi WiFi dan Blynk setiap 10 detik untuk menjaga keberlangsungan monitoring. Source code lengkap ESP32 disajikan pada Lampiran 1.

**Implementasi Database MySQL**

Penyimpanan data dilakukan melalui script PHP simpan.php sebagai perantara antara ESP32 dan database MySQL, dengan koneksi diatur melalui koneksi.php (Lampiran 3). ESP32 mengirim data melalui metode HTTP POST; script hanya menerima permintaan POST, mengambil empat parameter (suhu, kelembapan, kualitas udara, status), lalu menyimpannya ke tabel monitoring menggunakan perintah SQL INSERT dengan prepared statement (Lampiran 2).

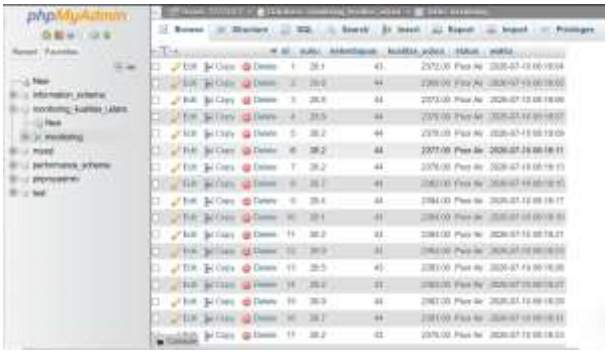
```
$sql = "INSERT INTO monitoring
(suhu, kelembapan, kualitas_udara, status)
VALUES (?,?,?,?)";
$stmt = $conn->prepare($sql);
$stmt->bind_param("ddds", $suhu, $kelembapan, $kualitas_udara, $status);
```

**Kode Program 1.** Proses Penyimpanan Data pada simpan.php

Pengiriman data dilakukan setiap 30 detik untuk menghindari penumpukan data dengan perubahan nilai yang relatif kecil, namun perubahan status kualitas udara tetap tercatat dan digunakan sebagai dasar fitur Early Warning System.



**Gambar 9.** Implementasi Struktur Database MySQL



**Gambar 10.** Implementasi Database MySQL

Hasil implementasi menunjukkan tabel monitoring berhasil mencatat data id, suhu, kelembapan, kualitas_udara, status, dan waktu — termasuk perubahan kondisi, misalnya data dengan status Danger (61,89 PPM) di antara data berstatus Fresh Air. Hal ini membuktikan database mampu merekam hasil monitoring beserta status dan waktu pencatatannya secara akurat.

Selain struktur tabel, data hasil monitoring yang telah tersimpan pada database ditampilkan melalui dashboard utama monitoring. Dashboard utama digunakan untuk menampilkan informasi kondisi lingkungan yang meliputi suhu, kelembapan, kualitas udara dalam satuan PPM, dan status kualitas udara. Dashboard juga menampilkan grafik perubahan suhu, kelembapan, dan kualitas udara berdasarkan data monitoring yang diterima oleh sistem.



**Gambar 11.** Dashboard Utama Monitoring Database MySQL

Selain dashboard utama, sistem menyediakan halaman Monitoring yang digunakan untuk menampilkan kondisi kualitas udara secara real-time. Halaman Monitoring

menampilkan nilai suhu, kelembapan, kualitas udara dalam satuan PPM, serta status kondisi udara. Grafik yang tersedia pada halaman ini digunakan untuk menampilkan perubahan nilai suhu, kelembapan, dan kualitas udara berdasarkan data hasil monitoring.



**Gambar 12.** Halaman Monitoring

Sistem juga menyediakan halaman Laporan yang digunakan untuk melihat riwayat hasil monitoring dalam periode tertentu. Pengguna dapat menentukan rentang tanggal untuk menampilkan data yang diperlukan. Halaman Laporan menampilkan nilai rata-rata suhu, kelembapan, dan kualitas udara, serta tabel detail hasil pembacaan yang terdiri dari waktu, suhu, kelembapan, kualitas udara, dan status. Selain itu, tersedia fitur untuk mengunduh data dalam format CSV dan PDF sebagai dokumentasi hasil monitoring.



**Gambar 13.** Halaman Laporan

Berdasarkan implementasi tersebut, proses penyimpanan data dari ESP32 ke database MySQL telah berjalan sesuai dengan rancangan. Data hasil monitoring dapat diterima oleh server melalui metode HTTP POST, diproses oleh *script* PHP, dan disimpan ke dalam tabel *monitoring* secara berkala. Data yang tersimpan kemudian dapat ditampilkan melalui dashboard utama, halaman Monitoring, dan halaman Laporan sehingga hasil monitoring dapat dipantau dan ditinjau kembali berdasarkan data yang telah tercatat.

**Implementasi Dashboard Blynk**

Dashboard Blynk digunakan sebagai media monitoring jarak jauh yang menampilkan status kualitas udara, nilai PPM, suhu, dan kelembapan melalui virtual pin V0–V3, diperbarui setiap 30 detik. Pada contoh tampilan, dashboard menunjukkan status Fresh Air dengan PPM 6, suhu 30°C, dan kelembapan 54%.




**Gambar 14.** Dashboard Monitoring Kualitas Udara pada Blynk

Selain menampilkan hasil pengukuran, Blynk berperan dalam mekanisme EWS: ketika kondisi mencapai Danger, event yang telah dikonfigurasi memberikan notifikasi kepada pengguna secara bersamaan dengan aktifnya passive buzzer, sehingga tersedia dua bentuk peringatan — lokal dan jarak jauh.

**Implementasi Early Warning System**

EWS diterapkan melalui dua jalur peringatan yang dikendalikan ESP32 berdasarkan hasil klasifikasi PPM dari MQ-135: passive buzzer (GPIO26, tone() 2000 Hz) sebagai peringatan lokal saat status Danger, dan notifikasi Blynk (event air_Danger) sebagai peringatan jarak jauh. Variabel lastStatus mencegah pengiriman notifikasi berulang selama status tidak berubah.



**Gambar 15.** Implementasi Early Warning System pada Kondisi Danger

Dengan mekanisme ini, pengguna yang berada di dekat prototipe mengetahui kondisi Danger melalui bunyi buzzer, sedangkan pengguna yang berada jauh dari perangkat tetap menerima informasi melalui notifikasi Blynk.

**Pengujian Sistem**

Pengujian dilakukan untuk mengetahui keberhasilan implementasi prototipe dengan membandingkan fungsi yang dirancang terhadap keluaran aktual sistem. Pengujian mencakup

sensor DHT11, sensor MQ-135, OLED Display, dashboard Blynk, database MySQL, passive buzzer, fitur Early Warning System, serta pengujian keseluruhan sistem secara terintegrasi.

**Pengujian Sensor DHT11**

Pengujian dilakukan dengan menjalankan prototipe pada kondisi ruangan dan mengamati hasil pembacaan suhu serta kelembapan pada OLED dan Blynk.

**Tabel 3.** Hasil Pengujian Sensor DHT11

| No. | Suhu (°C) | Kelembapan (%) | OLED | Blynk | Hasil |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30,9 | 52 | Tampil | Tampil | Berhasil |
| 2 | 30,5 | 52 | Tampil | Tampil | Berhasil |
| 3 | 30,3 | 52 | Tampil | Tampil | Berhasil |
| 4 | 30,3 | 52 | Tampil | Tampil | Berhasil |
| 5 | 30,1 | 52 | Tampil | Tampil | Berhasil |

Sensor DHT11 dinyatakan berfungsi karena mampu menghasilkan nilai suhu dan kelembapan yang terbaca ESP32 serta tampil pada OLED dan Blynk sebagai data masukan proses monitoring.

**Pengujian Sensor MQ-135**

Sebelum pengujian, sensor dikalibrasi memperoleh R0 = 2,55 kΩ dengan RL = 10 kΩ sebagai acuan perhitungan PPM.

```
const float RL = 10.0; // kOhm
const float RO = 2.55; // Hasil kalibrasi
```

**Kode Program 2.** Penetapan Nilai R0 dan RL

```
voltage = adcValue * 3.3 / 4095.0;
Rs = ((3.3 - voltage) / voltage) * RL;
ratio = Rs / RO;
ppm = 116.6020682 * pow(ratio, -2.769034857);
```

**Kode Program 3.** Perhitungan Nilai PPM Sensor MQ-135

```
#define FRESH_LIMIT 25.0
#define POOR_LIMIT 50.0
if (ppm < FRESH_LIMIT) currentStatus = "Fresh Air";
else if (ppm < POOR_LIMIT) currentStatus = "Poor Air";
else currentStatus = "Danger";
```

**Kode Program 4.** Klasifikasi Status Kualitas Udara

**Tabel 4.** Hasil Pengujian Sensor MQ-135

| No. | Kondisi Pengujian | Nilai PPM | Status Sistem | OLED | Blynk | Hasil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Kondisi udara normal | 24,33 | *Fresh Air* | Tampil | Tampil | Berhasil |
| 2 | Kondisi kualitas udara menurun | 48,97 | *Poor Air* | Tampil | Tampil | Berhasil |
| 3 | Kondisi kualitas udara berbahaya | 52,02 | *Danger* | Tampil | Tampil | Berhasil |

Hasil pengujian menunjukkan nilai PPM sensor MQ-135 sesuai dengan kategori ambang batas yang ditetapkan, dan pada kategori Danger sistem berhasil mengaktifkan buzzer serta notifikasi Blynk sebagai bagian dari Early Warning System.

**Pengujian OLED Display**

Pengujian memastikan OLED dapat menampilkan status kualitas udara, PPM, suhu, dan kelembapan sesuai data dari ESP32.

**Tabel 5.** Hasil Pengujian OLED Display

| No | Kondisi | PPM | Status | Suhu (°C) | Kelembapan (%) | Tampilan | Hasil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Normal | 13 | Fresh Air | 33,9 | 46 | Tampil | Berhasil |
| 2 | Menurun | 49,1 | Poor Air | 33,3 | 46 | Tampil | Berhasil |
| 3 | Berbahaya | 57,5 | Danger | 33,7 | 47 | Tampil | Berhasil |

OLED Display dinyatakan berfungsi karena seluruh parameter monitoring tampil dengan baik dan sesuai data yang diproses ESP32, sehingga dapat digunakan sebagai media monitoring lokal.

**Pengujian Dashboard Blynk**

Pengujian memastikan data yang dikirim ESP32 melalui virtual pin (V0–V3) diterima dan ditampilkan dashboard sesuai kondisi kualitas udara yang terdeteksi.

**Tabel 6.** Hasil Pengujian Dashboard Blynk

| No | Kondisi | PPM | Suhu (°C) | Kelembapan (%) | Status | Tampilan | Hasil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Normal | 22 | 30 | 57 | Fresh Air | Tampil | Berhasil |
| 2 | Menurun | 33 | 30 | 56 | Poor Air | Tampil | Berhasil |
| 3 | Berbahaya | 55 | 30 | 57 | Danger | Tampil | Berhasil |

Dashboard Blynk berhasil menampilkan perubahan status kualitas udara serta parameter suhu dan kelembapan secara bersamaan, sehingga terbukti efektif sebagai media monitoring jarak jauh.

**Pengujian Database MySQL**

Pengujian memastikan data yang dikirim ESP32 melalui HTTP POST diterima script simpan.php dan tersimpan pada tabel monitoring beserta waktu pencatatannya, dengan interval pengiriman 30 detik.

**Tabel 7.** Hasil Pengujian Database MySQL

| No | Waktu | Suhu (°C) | Kelembapan (%) | Kualitas Udara (PPM) | Status | Tersimpan | Hasil |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 21:04:45 | 29,1 | 57 | 2,78 | Fresh Air | Ya | Berhasil |
| 2 | 21:05:15 | 29,8 | 57 | 2,72 | Fresh Air | Ya | Berhasil |
| 3 | 21:05:45 | 29,3 | 58 | 2,6 | Fresh Air | Ya | Berhasil |
| 4 | 21:06:15 | 29,9 | 57 | 2,54 | Fresh Air | Ya | Berhasil |
| 5 | 21:06:45 | 29,1 | 57 | 2,51 | Fresh Air | Ya | Berhasil |

Sistem berhasil menyimpan data secara berkala dengan interval 30 detik secara konsisten, membuktikan mekanisme penyimpanan data historis berjalan sesuai rancangan.

**Pengujian Passive Buzzer**

Pengujian memastikan buzzer hanya aktif pada kategori Danger dan tetap mati pada kategori Fresh Air maupun Poor Air.

**Tabel 8.** Hasil Pengujian Passive Buzzer

| No | Nilai PPM | Status | Kondisi Buzzer | Hasil |
|---|---|---|---|---|
| 1 | < 25 | Fresh Air | Mati | Berhasil |
| 2 | 25 – < 50 | Poor Air | Mati | Berhasil |
| 3 | ≥ 50 | Danger | Menyala | Berhasil |

Passive buzzer terbukti terintegrasi dengan proses klasifikasi kualitas udara pada ESP32 dan hanya aktif pada kategori Danger, sehingga berfungsi baik sebagai peringatan lokal dalam mekanisme EWS.

**Pengujian Early Warning System (EWS)**

Pengujian mencakup dua bentuk keluaran peringatan (buzzer lokal dan notifikasi Blynk) serta mekanisme lastStatus yang mencegah pengiriman notifikasi berulang pada status yang sama.

**Tabel 9.** Hasil Pengujian Early Warning System

| No | Nilai PPM | Status | Passive Buzzer | Notifikasi Blynk | Perubahan Status | Hasil |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | < 25 | Fresh Air | Mati | Diterima | Ya | Berhasil |
| 2 | 25 – < 50 | Poor Air | Mati | Diterima | Ya | Berhasil |
| 3 | ≥ 50 | Danger | Menyala | Diterima | Ya | Berhasil |
| 4 | ≥ 50 | Danger | Menyala | Tidak dikirim ulang | Tidak | Berhasil |

Sistem berhasil mengirim notifikasi Blynk setiap terjadi perubahan status (Fresh Air, Poor Air, atau Danger) dan mengaktifkan buzzer khusus pada kategori Danger, sementara notifikasi tidak dikirim ulang selama status tidak berubah, sehingga mekanisme EWS terbukti bekerja sesuai rancangan.

**Pengujian Keseluruhan Sistem**

Pengujian dilakukan dari proses inisialisasi, koneksi WiFi/Blynk, warm-up MQ-135, pembacaan sensor, hingga penampilan, pengiriman, penyimpanan data, dan mekanisme EWS, termasuk kemampuan auto-reconnect saat koneksi jaringan terputus.

**Tabel 10.** Hasil Pengujian Sistem Secara Keseluruhan

| No | Fungsi yang Diuji | Kondisi Diharapkan | Hasil Pengamatan | Ket. |
|---|---|---|---|---|
| 1 | Inisialisasi perangkat | Seluruh perangkat terinisialisasi | Berhasil diinisialisasi | Berhasil |
| 2 | Koneksi WiFi | ESP32 terhubung jaringan | Berhasil terhubung | Berhasil |
| 3 | Koneksi Blynk | ESP32 terhubung Blynk | Berhasil terhubung | Berhasil |
| 4 | Warm-up MQ-135 | Berlangsung 100 detik | Sesuai waktu ditentukan | Berhasil |
| 5 | Pembacaan DHT11 | Suhu & kelembapan terbaca | Berhasil terbaca | Berhasil |
| 6 | Pembacaan MQ-135 | Nilai PPM diperoleh | Berhasil diperoleh | Berhasil |
| 7 | OLED Display | Data ditampilkan | Berhasil ditampilkan | Berhasil |
| 8 | Dashboard Blynk | Data diterima & tampil | Berhasil diterima & tampil | Berhasil |
| 9 | Database MySQL | Data tersimpan | Tersimpan berkala | Berhasil |
| 10 | Dashboard database | Data diterima dan tampil | Data tampil pada dashboard database | Berhasil |
| 11 | Passive buzzer | Aktif saat Danger | Menyala saat Danger | Berhasil |
| 12 | Notifikasi Blynk | Terkirim saat status berubah | Diterima saat berubah | Berhasil |

Seluruh fungsi utama prototipe — mulai dari inisialisasi, pembacaan sensor, pengolahan dan klasifikasi data, penyajian informasi, penyimpanan data, hingga pemberian peringatan dini — berjalan sesuai rancangan dan dinyatakan berhasil.

**Pembahasan Hasil Pengujian**

Berdasarkan seluruh pengujian, prototipe Sistem Monitoring Kualitas Udara Ruangan Berbasis IoT dengan fitur Early Warning System mampu menjalankan fungsi utama yang dirancang. ESP32 berhasil mengolah data suhu dan kelembapan dari DHT11 serta nilai PPM dari MQ-135 untuk menentukan kategori kualitas udara (Fresh Air < 25 PPM, Poor Air 25–<50 PPM, Danger ≥ 50 PPM) menggunakan parameter kalibrasi yang telah ditetapkan.

Pada sisi keluaran, hasil pengolahan data berhasil ditampilkan melalui OLED Display sebagai media lokal dan dashboard Blynk sebagai media pemantauan jarak jauh, mencakup status kualitas udara, nilai PPM, suhu, dan kelembapan. Sistem juga berhasil menyimpan data

ke database MySQL setiap 30 detik, sehingga pencatatan tidak berlebihan namun tetap merekam setiap perubahan status secara akurat sebagai data historis.

Pada mekanisme *Early Warning System*, notifikasi Blynk dikirim setiap terjadi perubahan status (*Fresh Air, Poor Air,* atau *Danger*), dan pada kondisi Danger sistem memberikan dua bentuk peringatan sekaligus — notifikasi Blynk dan bunyi passive buzzer — tanpa mengirim notifikasi berulang selama status tidak berubah.

Secara keseluruhan, integrasi antara sensor, ESP32, OLED Display, Blynk, database MySQL, dan passive buzzer telah berjalan sesuai fungsi yang dirancang. Sistem tidak hanya mampu memantau kondisi lingkungan, tetapi juga mengolah data menjadi informasi status kualitas udara, menyimpannya sebagai riwayat, serta memberikan peringatan dini kepada pengguna, sehingga prototipe dinyatakan telah memenuhi tujuan penelitian sebagai sistem monitoring kualitas udara ruangan dengan fitur Early Warning System.

## KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem, dapat disimpulkan bahwa sistem monitoring kualitas udara ruangan berbasis Internet of Things (IoT) dengan fitur Early Warning System berhasil dirancang dan diimplementasikan menggunakan ESP32 DevKit V1 sebagai pusat pengendali, sensor MQ-135 untuk membaca kualitas udara, sensor DHT11 untuk membaca suhu dan kelembapan, serta OLED Display sebagai media pemantauan secara lokal. Sistem mampu mengolah hasil pembacaan sensor dan menentukan kondisi kualitas udara berdasarkan ambang batas yang ditetapkan, yaitu Fresh Air untuk nilai di bawah 25 PPM, Poor Air untuk nilai 25 hingga kurang dari 50 PPM, dan Danger untuk nilai 50 PPM atau lebih.

Sistem juga mampu menampilkan dan mengirimkan data hasil monitoring, di mana data suhu, kelembapan, nilai kualitas udara dalam satuan PPM, dan status kualitas udara ditampilkan pada OLED Display maupun dashboard Blynk. Data hasil monitoring tersebut turut dikirimkan ke database MySQL melalui metode HTTP POST dan disimpan secara berkala dengan interval 30 detik.

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian yang telah dilakukan, pengembangan sistem selanjutnya disarankan menambahkan visualisasi data historis pada dashboard sehingga pengguna dapat melihat perubahan suhu, kelembapan, dan kualitas udara dalam bentuk grafik berdasarkan waktu. Pengembangan berikutnya juga disarankan menggunakan sensor kualitas udara dengan tingkat sensitivitas dan ketelitian yang lebih tinggi dibandingkan sensor yang digunakan pada penelitian ini, agar pembacaan kualitas udara menjadi lebih stabil dan lebih mampu mendeteksi perubahan kondisi udara. Selain itu, pengembangan sistem dapat dilakukan menggunakan platform Arduino atau mikrokontroler lain serta bahasa pemrograman yang sesuai dengan kebutuhan pengembangan, sehingga kemampuan pemrosesan dan pengembangan perangkat lunak dapat menjadi lebih luas.

## REFERENSI

Abidin, Z., Nadhif, M., & Arif, M. (2022). Desain prototype alat kontrol serta deteksi suhu dan kelembaban kandang ayam broiler dengan metode fuzzy berbasis IoT.

ADIY. (n.d.). *ADIY MQ-135 air quality gas sensor module description*. https://www.adiy.in

Alda, M., Alfarisi, M., Br Barus, A., Syahfitri, I., & Asnawi, A. (2024). [Judul artikel]. *INNOVATIVE: Journal of Social Science Research, 4*, 8143–8153.

Alfirdaus, M. H. (2024). Perancangan dan implementasi sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. *Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Jaringan*. https://bit.ly/SISFOTEKJAR

ASHRAE. (2025). *Indoor carbon dioxide, ventilation, and indoor air quality*. https://www.ashrae.org/file%20library/about/government%20affairs/public%20policy%20resources/briefs/indoor-carbon-dioxide--ventilation-and-indoor-air-quality.pdf

Dachi, J. V., & Suhada, J. (2025). Implementasi basis data sederhana menggunakan MySQL/PostgreSQL. *Jurnal Teknik Informatika dan Terapan, 3*(1), 49–59. https://doi.org/10.62951/router.v3i1.621

Dewi, D. A. I. C., Swardika, I. K., & Santiary, P. A. W. (2025). Development of an IoT-based temperature and humidity monitoring system with MySQL query optimization for efficient data storage and access. In *[Judul prosiding]* (pp. 39–48). Atlantis Press. https://doi.org/10.2991/978-94-6463-878-3_6

Espressif Systems. (n.d.). *ESP32 series datasheet* (Version 5.2). https://www.espressif.com

Fikri, A., & Ridwan, M. (2025). Implementation of Internet of Things (IoT) in air quality monitoring (AQI). *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi dan Ilmu Komputer, 5*(2), 424–443. https://doi.org/10.55606/juisik.v5i2.1326

Hafizh, A., Kholis, N., Zuhrie, S., & Widodo, A. (n.d.). Prototype of early warning system for home door security based on IoT using piezoelectric sensor. http://www.insinyoer.com/prnisip_kerja_piezoelektrik

Handson Technology. (n.d.). *[Judul dokumen]*. https://www.handsontec.com

Hanum, L., & Elfizon, E. (2023). Rancang bangun pemantau kualitas udara dalam ruangan berbasis Internet of Things. *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 4*(2). https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.473

Hayat, R. R., Putra, M. A., & Suherman, D. (n.d.). Rancang bangun sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT di wilayah yang terdampak aktivitas pertambangan Kota Sangatta.

Karnati, H. (2023). IoT-based air quality monitoring system with machine learning for accurate and real-time data analysis.

Muhd Zain, N., Amir, M., Rozi, R. M., Othman, M., & Paidi, Z. (2024). The development of an IoT-based air quality monitoring system using the Blynk application. *Journal of Computing Research and Innovation, 9*(1). https://doi.org/10.24191/jcrinn.v9i1

Muttaqin, R., Sakti, W., Prayitno, W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang bangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT (Internet of Things) dengan sensor DHT11 dan sensor MQ135.

Nifratama, A., Suratno, T., & Arsa, D. (2024). Analisis dan evaluasi pengujian pada penerapan metode prototype dalam software engineering. *Jurnal Ilmiah Media Sisfo, 18*(1), 128–138. https://doi.org/10.33998/mediasisfo.2024.18.1.1649

Nurdiyanti, S., & Candra, O. (2023). Sistem monitoring daya listrik 3 fasa berbasis IoT (Internet of Things). *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia, 4*(2), 924–933. https://doi.org/10.24036/jtein.v4i2.532

Odja, E. C., Nababan, D., & Kelen, Y. P. K. (2024). E-kuesioner evaluasi kualitas layanan akademik Universitas Timor menggunakan metode prototype. *SATESI: Jurnal Sains Teknologi dan Sistem Informasi, 4*(2), 118–123. https://doi.org/10.54259/satesi.v4i2.2810

Perdana, A. S., Afifah, L., & Azizah, P. N. (n.d.). Perancangan sistem monitoring kualitas udara berbasis mikrokontroler ESP32. https://doi.org/10.5281/zenodo.17768271

Program Studi Pendidikan Teknik Elektro Universitas Negeri Surabaya. (n.d.). *Mengenal sensor DHT11 dan cara kerjanya*. Universitas Negeri Surabaya. https://pendidikan-elektro.ft.unesa.ac.id/post/mengenal-sensor-dht11-dan-cara-kerjanya

Setiawan, D. (2025). Monitoring kualitas udara untuk mengukur konsentrasi partikel udara berbasis Internet of Things. *[Nama jurnal], 18*, 7–14. https://doi.org/10.5281/zenodo.15855170

Simamora, A. M., Denih, A., & Suriansyah, M. I. (2025). Indoor air quality detection robot model based on the Internet of Things (IoT). *arXiv*. https://doi.org/10.48550/arXiv.2505.19600

Siregar, U. K., Sitakar, T. A., Haramain, S., Lubis, Z. N. S., & Nadhirah, U. (2024). Pengembangan database management system menggunakan MySQL.

Soldered Electronics. (2024). *Soldered_333099-3395096* [Datasheet]. https://www.mouser.com/datasheet/2/1398/Soldered_333099-3395096.pdf

Suburdjati, B. A., Sukoco, L., & Cedric, X. (2026). Analisis prediksi kadar $CO_2$ (ppm) berdasarkan suhu dan kelembapan menggunakan sensor DHT22 dan MQ135 dengan perbandingan model machine learning berbasis IoT pada ESP32. *Jurnal Sistem Informasi Galuh, 4*(1). https://ojs.unigal.ac.id/index.php/jsig/index

Susila, M. T. A., Firdaus, I. N., Chuzairi, M. F., & Rahmawati, D. (2023). Flood early warning system prototype based on ultrasonic sensor and Internet of Things. *Jurnal Rekayasa Elektrika, 19*(3). https://doi.org/10.17529/jre.v19i3.33147

Taufik, H. H. A. A. M. (2025). IoT-based air quality monitoring system in the Services Building of the Integrated Polytechnic Unit Balikpapan. *JIMREK: Jurnal Ilmiah Rekayasa Elektro*. https://ejournal.poltekba.ac.id/index.php/jimrek/article/view/328

U.S. Environmental Protection Agency. (n.d.). *Low-cost air pollution monitors and indoor air quality*.

Wibowo, H. H. W., Zulkhairi, & Kurniasari, L. (2024). Monitoring kualitas udara dan emisi asap dengan teknologi Internet of Things (IoT) pada halte bus di wilayah perkotaan menggunakan sensor MQ-135 dan MQ-2. *Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan, 11*(1). https://doi.org/10.25124/jett.v11i1.7569