

ANALISIS PM2.5, CO₂, SUHU, DAN KELEMBAPAN PADA SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA BERBASIS IOT

Ega Ananda Dien Daniswara, Pramono, Agustina Purwatiningsih

Teknik Informatika, Universitas Duta Bangsa Surakarta

Jl. Bhayangkara No.55, Tipes, Serengan, Surakarta, Jawa Tengah

220103121@mhs.udb.ac.id

ABSTRAK

Kualitas udara dalam ruangan, terutama di kamar tidur, memengaruhi kesehatan dan kenyamanan penghuni. Permasalahan yang terjadi adalah belum tersedianya sistem monitoring kualitas udara yang mampu memantau kondisi ruangan secara realtime dan melakukan pengendalian otomatis. Penelitian ini bertujuan merancang dan membangun sistem monitoring serta pengendalian kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan parameter suhu, kelembaban, dan PM2.5. Metode yang digunakan adalah *prototype* yang meliputi tahap perancangan, pembuatan, pengujian, dan evaluasi sistem. Sistem menggunakan ESP32 sebagai mikrokontroler, sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembaban, sensor Sharp GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi PM2.5, relay dan kipas DC sebagai aktuator, *Firestore Realtime Database* sebagai server, serta *website dashboard* sebagai media monitoring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu mengirimkan data sensor ke *Firestore* dan *website* secara *realtime* setiap 5 detik. Pada pengujian pagi hari diperoleh rata-rata suhu 28,7 °C, kelembaban 72,7%, dan PM2.5 sebesar 13,1 µg/m³ dengan kondisi udara baik dan kipas OFF, sedangkan pada siang hari kipas otomatis aktif saat suhu mencapai 31,9 °C. Sistem berjalan sesuai parameter yang telah ditentukan.

Kata kunci : *Internet of Things (IoT), kualitas udara, PM2.5, ESP32, monitoring realtime, Firestore Realtime Database.*

1. PENDAHULUAN

Dalam beberapa tahun terakhir, perhatian terhadap kualitas lingkungan hidup semakin meningkat seiring dengan kesadaran masyarakat terhadap dampak polusi udara bagi kesehatan. Polusi udara merupakan kondisi ketika udara terkontaminasi zat berbahaya yang dapat mengganggu kesehatan manusia dan lingkungan[1]. Salah satu polutan yang berbahaya adalah partikel halus PM2.5 yang dapat masuk ke saluran pernapasan dan menyebabkan penyakit seperti ISPA, *pneumonia*, dan asma[2]. Berdasarkan klasifikasi Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), kualitas udara berdasarkan konsentrasi PM2.5 dibagi menjadi lima kategori, yaitu baik, sedang, tidak sehat, sangat tidak sehat, dan berbahaya. Data BMKG menunjukkan bahwa konsentrasi PM2.5 di beberapa wilayah Jawa Tengah seperti Semarang mencapai rata-rata 42,8 µg/m³ pada April 2026 dan termasuk kategori sedang.[3]. Selain PM2.5, faktor suhu dan kelembaban udara juga memengaruhi kenyamanan serta kualitas udara di dalam ruangan[4].

Permasalahan yang terjadi adalah belum tersedianya sistem *monitoring* kualitas udara dalam ruangan yang mampu memantau kondisi udara secara realtime dan melakukan pengendalian otomatis ketika kualitas udara memburuk. Tingginya konsentrasi polutan dan suhu ruangan dapat menurunkan kenyamanan serta berdampak pada kesehatan penghuni[5]. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang dapat memantau parameter kualitas udara secara langsung dan mudah diakses.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem monitoring serta pengendalian

kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* menggunakan parameter PM2.5, suhu, dan kelembaban. Sistem dirancang menggunakan ESP32, sensor DHT22, sensor Sharp GP2Y1010AU0F, relay, dan kipas DC sebagai aktuator.[6].

Rencana penyelesaian masalah dilakukan dengan menerapkan teknologi *Internet of Things (IoT)* yang memungkinkan pengambilan data sensor secara *realtime* dan monitoring jarak jauh melalui *website*. Data sensor dikirim ke *Firestore Realtime Database* menggunakan koneksi internet, kemudian ditampilkan pada *dashboard monitoring*. Selain itu, sistem juga dilengkapi pengendalian otomatis menggunakan relay dan kipas DC untuk membantu menjaga kualitas udara dalam ruangan agar tetap berada pada kondisi yang baik[7].

2. TINJAUAN PUSTAKA

Penelitian yang dilakukan oleh Fredy Agung Dwi Cahyono dan Denny Irawan. [8] dengan judul “Rancang Bangun Sistem Pemantauan dan Kontrol Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis IoT” menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring berbasis *Internet of Things (IoT)* mampu mendeteksi kadar gas berbahaya dan partikel debu secara akurat serta melakukan pengendalian otomatis melalui kipas DC. Sistem yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dengan sensor MQ-2, MQ-7, dan GP2Y1010AU0F, serta metode pengembangan berupa perancangan dan pengujian *prototype* dengan analisis tingkat error sensor. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat akurasi yang tinggi dengan rata-rata error kurang dari 0,1% serta mampu menampilkan data secara *real-time*

melalui web server. Namun, penelitian tersebut masih terbatas pada parameter gas tertentu seperti CO dan gas mudah terbakar, serta belum mencakup pemantauan parameter kualitas udara lainnya seperti CO₂, suhu, dan kelembapan yang juga berpengaruh terhadap kenyamanan dan kesehatan dalam ruangan.

Penelitian yang dilakukan oleh Haikal Aswaldi. [9] dengan judul “Penerapan Teknologi Internet of Things (IoT) untuk Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan” menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) mampu memberikan informasi kualitas udara secara real-time dengan biaya pengembangan yang relatif terjangkau. Sistem yang dikembangkan menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor DHT22, MH-Z19, dan PMS7003 untuk mendeteksi suhu, kelembapan, karbon dioksida (CO₂), dan PM2.5, serta menggunakan metode Research and Development (R&D) dalam proses pengembangannya. Data hasil pemantauan dikirim ke platform cloud ThingSpeak untuk keperluan visualisasi dan notifikasi otomatis. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem memiliki waktu respons yang cepat, yaitu sekitar 3–5 detik, dengan tingkat akurasi yang baik serta dapat diterapkan pada berbagai lingkungan seperti rumah tangga maupun ruang publik. Namun, penelitian tersebut masih bergantung pada platform pihak ketiga yaitu ThingSpeak dan belum mengintegrasikan sistem kontrol otomatis terhadap perangkat seperti kipas atau ventilasi berdasarkan kondisi kualitas udara yang terdeteksi.

Penelitian yang dilakukan oleh Bunga Khoeriah Utami, Muhammad Rizqi Fajri, Johan, dan Annisya Dwi Chaerani. [10] dengan judul “Sistem Internet of Things (IoT) untuk Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan” menunjukkan bahwa penerapan sistem monitoring berbasis Internet of Things (IoT) mampu memantau berbagai jenis gas berbahaya dalam ruangan secara real-time dengan koneksi yang stabil. Sistem yang dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 dikembangkan menggunakan metode experimental system design yang meliputi tahap perancangan arsitektur, implementasi perangkat keras dan lunak, serta pengujian fungsional sistem. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi gas seperti NH₃ (amonia), CO (karbon monoksida), dan CO₂ (karbon dioksida), serta menampilkan data melalui dashboard berbasis web yang interaktif. Namun, penelitian tersebut belum dilengkapi dengan fitur penyimpanan data historis dan notifikasi otomatis yang dapat meningkatkan fungsi pemantauan dan respons terhadap kondisi kualitas udara.

Berdasarkan beberapa penelitian sebelumnya, penulis membuat sistem untuk memantau dan mengendalikan kualitas udara di dalam ruangan dengan menggunakan Internet of Things. Sistem ini menggabungkan kelebihan dari penelitian yang sudah ada sebelumnya. Penelitian ini menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor

untuk memantau partikel halus, gas karbon dioksida, suhu, dan kelembapan secara langsung. Sistem ini juga dilengkapi dengan pengendalian otomatis menggunakan kipas angin yang diatur oleh relay berdasarkan batas tertentu. Dalam membuat sistem ini, penulis menggunakan metode prototype sehingga sistem dapat dibuat secara bertahap sesuai dengan kebutuhan pengguna. Sistem ini juga diuji dengan pengujian fungsional dan pengujian kinerja untuk memastikan semua komponen perangkat keras dan perangkat lunak bekerja dengan baik. Dengan cara ini, diharapkan sistem yang dibuat dapat memberikan monitoring yang lebih akurat, respons yang cepat, serta meningkatkan kenyamanan dan kesehatan orang yang berada di dalam ruangan dibandingkan dengan penelitian sebelumnya.

2.1. Kualitas Udara Dalam Ruang

Standar kualitas udara dalam ruang di Indonesia saat ini mengacu pada Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan. Regulasi ini menetapkan parameter kualitas udara yang mencakup aspek fisik, kimia, dan biologi guna menjamin derajat kesehatan masyarakat. Berdasarkan standar tersebut, parameter fisik ruangan yang ideal mencakup suhu antara 18–30°C dengan tingkat kelembapan berkisar 40%–60% Rh. Dari aspek kimia, regulasi menetapkan Nilai Ambang Batas (NAB) yang ketat, di antaranya konsentrasi Karbon Dioksida (CO₂) maksimal sebesar 1.000 ppm dan Karbon Monoksida (CO) maksimal 10 mg/m³ untuk paparan 8 jam. Selain itu, parameter biologi mensyaratkan angka kuman udara maksimal 700 CFU/m³ dan angka kapang maksimal 1.000 CFU/m³. Kepatuhan terhadap standar-standar ini menjadi krusial mengingat kualitas udara yang buruk di dalam ruangan dapat berkontribusi signifikan terhadap masalah kesehatan pernapasan dan produktivitas pengguna ruang[12].

2.2. Particulate Matter 2.5 (PM2.5)

PM_{2,5} adalah partikel debu yang terdiri dari campuran kompleks partikel padat dan cair yang sangat kecil yang ada di udara. Jenis partikulat yang sedang banyak diteliti saat ini adalah PM_{2,5} (partikulat dengan ukuran kurang dari 2,5µm) karena sifatnya yang mampu menembus hingga bagian terdalam paru-paru dan kandungannya yang dapat masuk ke dalam aliran darah. PM_{2,5} yang dihasilkan dari aktivitas industri biasanya mengandung berbagai material seperti logam berat dan sulfur dioksida. [13].

Ambang batas konsentrasi polutan Particulate Matter (PM_{2.5}) di Indonesia merujuk pada standar yang ditetapkan oleh Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG), di mana Nilai Ambang Batas (NAB) yang diperbolehkan dalam udara ambien adalah sebesar 55,5 µg/m³ dalam durasi paparan 24 jam. BMKG mengklasifikasikan kualitas udara ke dalam lima kategori utama berdasarkan

tingkat risikonya terhadap kesehatan dan lingkungan: kategori 'Baik' ($0 - 15,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 'Sedang' ($15,6 - 55,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 'Tidak Sehat' ($55,5 - 150,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 'Sangat Tidak Sehat' ($150,5 - 250,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$), serta kategori 'Berbahaya' jika konsentrasi melampaui $250,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Klasifikasi ini menjadi parameter krusial dalam memantau dampak polusi udara terhadap kelompok sensitif maupun ekosistem secara luas[14].

2.3. Suhu

Hubungannya dengan PM2.5 seringkali sulit untuk diketahui. Beberapa penelitian menemukan bahwa, di musim dingin, terutama di wilayah dengan pemanasan domestik yang intens, ada hubungan negatif antara emisi dan suhu yang lebih rendah. Namun, suhu yang lebih tinggi dapat meningkatkan reaksi kimia yang menghasilkan ozon dan aerosol organik sekunder, serta meningkatkan ketinggian lapisan batas atmosfer. Sebuah penelitian di Jakarta menemukan bahwa pola suhu harian hampir sama dengan pola konsentrasi PM 2.5.[15] Menurut Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 1077/MENKES/PER/V/2011, syarat kadar suhu ruangan yang dianjurkan $18 - 30^\circ\text{C}$, kelembaban (RH) $40 - 60\%$, dan laju ventilasi $0,15 - 0,25\%$ [16].

2.4. Kelembapan

Selain suhu, kelembapan udara juga mempengaruhi hasil pengukuran CO (Karbon Monoksida) pada lokasi pengukuran, bahwa kondisi kelembapan tinggi juga dapat mempengaruhi bahan pencemar di udara. Pada kelembapan tinggi, kadar molekul uap air dapat bereaksi dengan bahan pencemar di udara menjadi senyawa yang berbahaya atau menjadi bahan pencemar sekunder. Hal ini sejalan dengan hasil pengukuran CO (Karbon Monoksida) dengan kelembapan udara pada lokasi kedua dengan rata kelembapan 59% RH dan rata-rata pengukuran CO (Karbon Monoksida) 31.491 jadi dapat dipastikan hasil pengukuran kelembapan yang merupakan factor meteorologis ini mempengaruhi konsentrasi Karbon Monoksida (CO). Kelembapan udara $<60\%$ termasuk dalam kategori relatif rendah, maka hal ini akan mempengaruhi konsentrasi kualitas udara ambien. Pada kelembapan yang relatif rendah maka konsentrasi Total Particulate Suspended akan tinggi[17].

2.5. Gas CO₂

Karbon merupakan salah satu bahan yang terdapat di udara sebagai Karbon Dioksida (CO₂), di air sebagai CO₂ (Karbon Dioksida) terlarut, dan di tanah sebagai bebatuan karbonat". Gas tersebut mempunyai dampak yang sangat tidak baik bagi manusia maupun makhluk hidup lainnya. Jika suatu makhluk hidup terpapar gas tersebut dalam waktu yang cukup lama dapat mengakibatkan kematian yang disebabkan kurangnya pemasukan oksigen[18]. Karbon dioksida (CO₂) umumnya tidak dikategorikan sebagai gas toksik pada konsentrasi latar, tetapi akumulasinya di ruang tertutup-terutama ketika

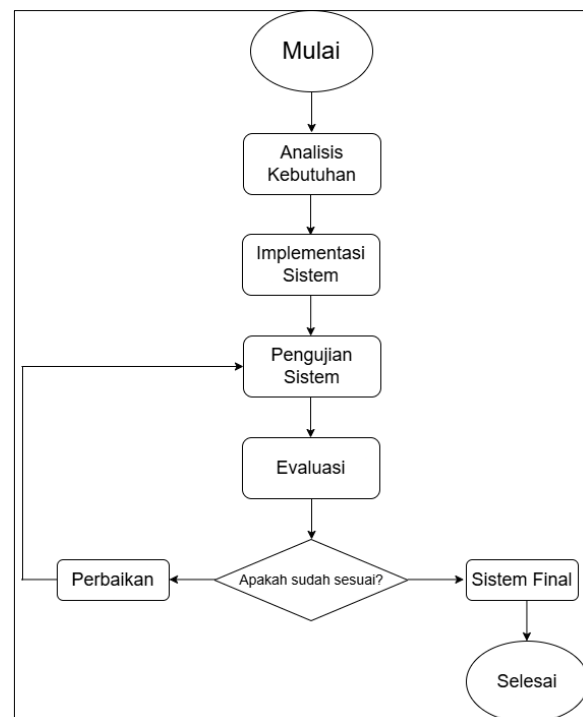
melewati kisaran 1.000 ppm menjadi indikator ventilasi yang tidak memadai. Kondisi ini dikaitkan dengan turunnya performa kognitif, menurunnya kenyamanan, dan kecenderungan terperangkapnya polutan lain dalam udara dalam ruang[19].

2.6. Internet of Things

Internet of Things (IoT) merupakan suatu konsep dimana suatu objek dapat mengirimkan informasi, mentransfer data, melakukan monitoring, serta perintah kontrol melalui suatu media berupa website maupun aplikasi yang terhubung dengan internet serta dapat dikontrol secara jarak jauh. Dalam implementasinya, IoT melibatkan berbagai teknologi seperti sensor, perangkat mobile, jaringan nirkabel, dan teknologi cloud. Sensor-sensor ini memungkinkan perangkat untuk mendeteksi, mengukur, dan mengumpulkan data dari lingkungan sekitarnya[20].

3. METODE PENELITIAN

Metode yang diterapkan dalam penelitian ini adalah metode prototype, yaitu metode pengembangan sistem yang dilakukan secara bertahap melalui beberapa tahapan, meliputi analisis kebutuhan, implementasi sistem, pengujian sistem, dan evaluasi. Pada tahap evaluasi dilakukan penilaian terhadap kesesuaian sistem dengan kebutuhan pengguna. Jika sistem belum sesuai, maka dilakukan perbaikan dan pengembangan kembali hingga memperoleh hasil yang diinginkan. Apabila sistem telah sesuai, maka sistem dinyatakan sebagai sistem final dan proses penelitian selesai.



Gambar 1. Flowchart perancangan monitoring kualitas udara

3.1. Analisis Kebutuhan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi kebutuhan perangkat keras dan perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. Kebutuhan sistem terdiri dari perangkat keras sebagai media pengambilan dan pengendalian data, serta perangkat lunak sebagai media pemrograman, penyimpanan, dan monitoring data secara real-time.

a. Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

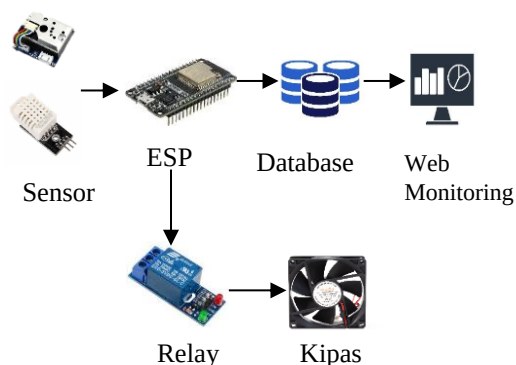
- Sensor Sharp GP2Y1010AU0F untuk mengukur kadar partikel debu PM2.5.
- Sensor DHT22 untuk mengukur suhu dan kelembapan ruangan.
- ESP32 sebagai mikrokontroler utama untuk memproses dan mengirim data sensor.
- Relay sebagai pengontrol otomatis ON/OFF kipas.
- Kipas DC sebagai alat sirkulasi udara untuk membantu menurunkan polusi udara dalam ruangan.

b. Perangkat Lunak

Perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan sistem meliputi:

- Arduino IDE untuk menulis dan mengunggah program ke ESP32.
- Firebase sebagai database penyimpanan data sensor secara real-time.
- Visual Studio Code untuk mengembangkan website monitoring.
- HTML, CSS, dan JavaScript untuk membangun antarmuka web monitoring.
- Web browser untuk menampilkan dashboard monitoring kualitas udara secara real-time.

3.2. Implementasi Sistem



Gambar 2. Arsitektur sistem

Tahap implementasi sistem dilakukan dengan menggabungkan perangkat keras dan perangkat lunak untuk membangun sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara berbasis Internet of Things secara real-time. Sensor Sharp GP2Y1010AU0F digunakan untuk mengukur konsentrasi partikel debu PM2.5, sedangkan sensor

DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Data sensor diproses oleh ESP32 kemudian dikirim ke database Firebase melalui jaringan WiFi.

Berdasarkan arsitektur sistem pada Gambar 2, data sensor yang diterima ESP32 akan dikirim ke database dan ditampilkan pada website monitoring secara real-time. Sistem juga menggunakan relay untuk mengontrol kipas DC secara otomatis apabila kualitas udara melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Program sistem dikembangkan menggunakan Arduino IDE untuk proses pembacaan sensor, pengolahan data, dan pengendalian aktuator.

3.3. Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem ini dilakukan untuk memastikan kinerja keseluruhan sistem berjalan sesuai dengan yang dirancang. Pengujian ini meliputi beberapa hal, seperti pengujian akurasi sensor, kestabilan komunikasi data, dan respons sistem pengendalian otomatis. Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan sensor PM2.5 dan sensor suhu serta kelembapan dengan alat ukur referensi. Ini dilakukan untuk mengetahui seberapa besar tingkat kesalahan atau deviasi data yang ada.

Selanjutnya, pengujian kestabilan komunikasi data dilakukan dengan memantau proses pengiriman data dari ESP32 ke database melalui jaringan WiFi. Ini dilakukan secara berkala untuk memastikan tidak terjadi kehilangan data atau keterlambatan pengiriman yang signifikan. Pengujian juga dilakukan terhadap sistem pengendalian otomatis. Ini dilakukan dengan mengamati respons aktuator berupa kipas yang dikendalikan melalui relay. Respons ini diaktifkan ketika nilai PM2.5, suhu, atau kelembapan melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Hasil dari pengujian ini digunakan untuk mengevaluasi keandalan sistem dalam melakukan monitoring dan pengendalian kualitas udara secara real-time. Ini juga memastikan sistem dapat bekerja secara stabil, akurat, dan responsif sesuai dengan kebutuhan.

3.4. Evaluasi

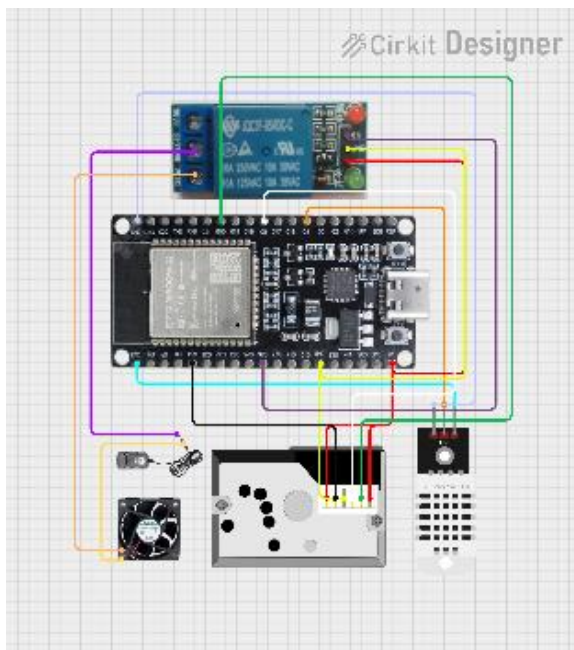
Tahap analisis dan evaluasi sistem sangat penting untuk memastikan kinerja sistem sesuai dengan tujuan penelitian. Pada tahap ini, akan meninjau hasil pengujian yang sudah diperoleh. Menganalisis data hasil pengujian dari beberapa aspek, seperti akurasi sensor, kestabilan komunikasi data, dan respons sistem pengendalian otomatis. Tujuannya adalah untuk mengidentifikasi adanya kesalahan, ketidaksesuaian, atau penurunan performa sistem. Kalau ditemukan masalah, akan melakukan perbaikan dan penyempurnaan sistem. Ini meliputi penyesuaian program pada ESP32, optimasi pengiriman data melalui jaringan WiFi, dan kalibrasi sensor agar hasil pembacaan lebih akurat. Proses evaluasi ini akan terus berulang sampai sistem bisa bekerja dengan baik, stabil, dan sesuai dengan kebutuhan. Dengan begitu,

bisa menghasilkan sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) yang andal dan efektif, serta sistem yang dapat memantau dan mengendalikan kualitas udara dengan baik.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Desain Rangkaian Sistem

Desain rangkaian dalam sistem monitoring kualitas udara melibatkan koneksi antara ESP32 dan beberapa sensor, yaitu sensor PM2.5, DHT22, relay, serta kipas DC. Sensor DHT22 terhubung dengan GPIO 4 pada ESP32 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Sensor PM2.5 tipe Sharp GP2Y1010AU0F terpasang melalui GPIO 34 sebagai pembaca data debu analitik dan menggunakan GPIO 5 untuk kontrol LED sensor. Semua informasi dari sensor diproses oleh ESP32 sebelum dikirim ke situs web monitoring melalui jaringan WiFi. Modul relay terhubung pada GPIO 18 di ESP32 sebagai pin pengatur untuk menyalakan dan mematikan kipas DC secara otomatis. Dalam rangkaian relay terdapat terminal COM, NO, dan NC. Kabel positif dari adaptor kipas disambungkan ke terminal COM pada relay, sementara terminal NO dihubungkan ke kabel positif kipas DC. Kabel negatif kipas langsung tersambung ke negatif adaptor. Dengan pengaturan ini, kipas akan hidup saat relay menerima perintah dari ESP32. Sistem ini menggunakan sumber daya dari adaptor dan USB untuk memberikan daya pada ESP32 dan kipas DC, sehingga sistem dapat berfungsi secara stabil dan terus menerus.

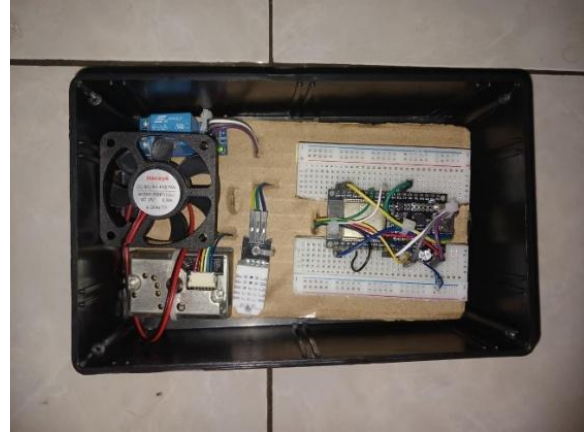


Gambar 3. Desain rangkaian sistem

4.2. Merancang Perangkat Keras

Perangkat keras yang diciptakan dalam studi ini adalah sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara yang berbasis Internet of Things (IoT).

Komponen perangkat keras yang digunakan meliputi mikrokontroler ESP32, sensor Sharp GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi partikel debu PM2.5, sensor DHT22 yang membaca suhu dan kelembapan ruangan, relay untuk mengontrol otomatis kipas, serta kipas DC yang membantu sirkulasi udara di dalam ruangan.



Gambar 4. Rancangan alat

Gambar di atas menunjukkan keseluruhan rangkaian alat monitoring kualitas udara yang terdiri dari ESP32 sebagai pengendali utama sistem, sensor Sharp GP2Y1010AU0F dan sensor DHT22 untuk membaca kondisi lingkungan, serta relay dan kipas DC sebagai sistem kontrol otomatis. Semua komponen disusun menggunakan breadboard dan kabel jumper sesuai dengan pengaturan pin pada program yang telah dibuat. ESP32 berfungsi untuk menerima data dari sensor, lalu mengirimkan data tersebut ke database Firebase agar dapat ditampilkan pada website monitoring secara langsung. Selain itu, relay berfungsi untuk mengatur ON/OFF kipas DC secara otomatis sesuai dengan kondisi kualitas udara dan temperatur ruangan.

4.3. Implementasi Web Monitoring

Pelaksanaan monitoring web dilakukan untuk menunjukkan hasil pembacaan sensor secara langsung melalui dasbor yang berbasis website. Dashboard dibangun dengan HTML, CSS, dan JavaScript serta menggunakan Firebase sebagai tempat penyimpanan data sensor. Tampilan situs monitoring menunjukkan data suhu, kelembapan, dan tingkat PM2.5 yang diperoleh dari sensor yang terhubung dengan ESP32. Selain itu, dasbor juga menunjukkan status kualitas udara, indikator kondisi PM2.5, serta status ON/OFF ventilator otomatis yang diatur menggunakan relay.

Gambar 5. Tampilan dashboard pengukuran sensor

Gambar tersebut memperlihatkan antarmuka dashboard monitoring kualitas udara berbasis web yang digunakan untuk menampilkan data sensor secara langsung. Dashboard menunjukkan data suhu, kelembapan, dan tingkat PM2.5 yang didapat dari sensor yang terhubung ke ESP32. Selain itu, di halaman utama juga terlihat status kualitas udara, indikator PM2.5, serta keadaan kipas otomatis.

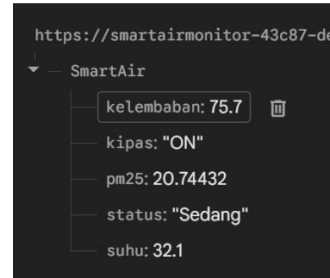
ON/OFF yang diatur menggunakan relay sesuai dengan kondisi lingkungan dalam ruangan.



Gambar 6. Grafik pengukuran sensor

Di bagian bawah dashboard, terdapat grafik monitoring yang menggunakan Chart.js untuk memvisualisasikan perubahan data suhu, kelembaban, dan PM2.5 secara langsung. Dashboard juga menunjukkan informasi tentang nilai rata-rata, nilai maksimum, dan nilai minimum PM2.5 selama periode monitoring. Sistem monitoring ini dibuat dengan HTML, CSS, dan JavaScript serta menggunakan Firebase sebagai basis data, sehingga pengguna dapat dengan mudah dan secara real-time memantau kondisi kualitas udara dalam kamar tidur berukuran 3 m × 3 m melalui peramban web

4.4. Database Firebase



Gambar 7. Tampilan data sensor pada firebase

Di Firebase Realtime Database, data pembacaan sensor ditampilkan dalam menu database dengan nama node SmartAir seperti yang tertera di gambar di atas. Informasi yang tersimpan mencakup suhu, kelembaban, PM2.5, kondisi kualitas udara, dan status kipas. Sensor yang dibaca oleh ESP32 akan dikirim secara langsung ke Firebase untuk monitoring melalui situs web. Sebagai ilustrasi, di dalam basis data tercatat suhu mencapai 32.1 °C, kelembaban 75.7 %, PM2.5 sejumlah 20.74432 µg/m³, kondisi udara “Sedang”, dan status kipas “ON”. Data ini dimanfaatkan sebagai monitoring kualitas udara secara langsung pada sistem yang sudah dibangun.

4.5. Pengujian Suhu, Kelembaban, dan PM 2.5

Uji coba dilaksanakan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam monitoring data suhu, kelembaban, dan kadar PM2.5 secara langsung dengan memanfaatkan sensor DHT22 dan Sharp GP2Y1010AU0F. Data hasil pembacaan sensor ditampilkan di situs web monitoring dan dikirim ke Firebase Realtime Database lewat koneksi internet menggunakan ESP32. Uji coba dilakukan berulang kali untuk mengamati stabilitas data sensor yang dihasilkan oleh sistem.

Tabel 1. Pengujian sensor pada pagi hari

No	Waktu pengujian	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM2.5 (µg/m³)	Status udara	Status kipas
1	08.00	28.5	72.1	11.2	baik	OFF
2	08.05	28.5	72.1	11.2	baik	OFF
3	08.10	28.6	72.2	11.2	baik	OFF
4	08.15	28.6	72.2	11.3	baik	OFF
5	08.20	28.6	72.2	11.3	baik	OFF

Tabel 2. Pengujian sensor pada siang hari

No	Waktu pengujian	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM2.5 (µg/m³)	Status udara	Status kipas
1	13.00	32.4	74.2	18.5	sedang	ON
2	13.05	32.4	74.2	19.7	sedang	ON
3	13.10	32.4	74.2	20.2	sedang	ON
4	13.15	32.4	74.2	20.2	sedang	ON
5	13.20	32.5	74.2	21.4	sedang	ON

Tabel 3. Pengujian sensor pada malam hari

No	Waktu pengujian	Suhu (°C)	Kelembaban (%)	PM2.5 (µg/m³)	Status udara	Status kipas
1	20.00	27.8	77.3	10.1	baik	OFF
2	20.05	27.8	77.3	10.4	baik	OFF
3	20.10	27.8	77.3	10.4	baik	OFF
4	20.15	27.8	77.3	11.1	baik	OFF
5	20.20	27.5	77.3	11.1	baik	OFF

Berdasarkan hasil uji coba di pagi, siang, dan malam, sistem dapat membaca nilai suhu, kelembaban, dan PM2.5 secara real-time dengan konsisten. Data dari pembacaan sensor telah berhasil dikirim ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan di situs web monitoring. Saat pengujian siang hari, suhu ruangan melebihi 30 °C sehingga relay bekerja dan kipas beroperasi otomatis. Pada pagi dan malam hari, keadaan udara masih dianggap baik sehingga kipas dalam kondisi OFF. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara berfungsi dengan baik sesuai dengan kondisi lingkungan di dalam ruangan.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil studi yang telah dilaksanakan, sistem monitoring dan pengendalian kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan ESP32 telah berhasil dirancang dan diterapkan dengan efektif. Sistem dapat memantau parameter suhu, kelembaban, dan PM2.5 secara langsung menggunakan sensor DHT22 dan Sharp GP2Y1010AU0F. Informasi yang diperoleh dari pembacaan sensor telah berhasil diunggah ke Firebase Realtime Database dan ditampilkan di situs monitoring, memungkinkan pengguna untuk mengawasi kondisi kualitas udara dari jauh. Selain itu, sistem kontrol otomatis yang memanfaatkan relay dan kipas DC juga berfungsi dengan baik, di mana kipas akan aktif secara otomatis ketika suhu melampaui 30 °C atau saat kondisi kualitas udara tergolong tidak sehat. Berdasarkan hasil uji coba, semua fungsi sistem, mulai dari pembacaan sensor, pengiriman data, tampilan situs web, hingga kontrol otomatis kipas, bekerja sesuai dengan yang diharapkan. Penerapan metode prototyping juga mendukung tahapan pengembangan sistem dengan melakukan evaluasi dan perbaikan sampai sistem memenuhi kebutuhan pengguna.

Saran untuk pengembangan penelitian mendatang meliputi penggunaan sensor kualitas udara dengan akurasi lebih tinggi, penambahan fitur notifikasi otomatis pada smartphone, serta memperluas area dan durasi pengujian demi mendapatkan hasil monitoring yang lebih optimal dan akurat. Selain itu, sistem dapat ditingkatkan dengan memasukkan analisis data dan penyimpanan riwayat monitoring yang lebih komprehensif agar bisa dimanfaatkan sebagai dasar evaluasi kualitas udara dalam jangka panjang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Sukmawati, "Alat Deteksi Polusi Udara Dalam Ruangan Tertutup Berbasis Internet Of Things (Iot)," 2025.
- [2] G. Agung And B. Putra, "Sistem Monitoring Dan Perencanaan Kontrol Kualitas Udara Pada Basement Living World Denpasar Berbasis Iot Dan Plc Program Studi D4 Teknik Otomasi Jurusan Teknik Elektro Politeknik Negeri Bali 2025," 2025.
- [3] K. Dan Geofisika. Badan Meteorologi, "Informasi Konsentrasi Partikulat (Pm2.5) Wilayah Jawa Tengah," <https://Staklim-Jateng.Bmkg.Go.Id/Pm25.Php>.
- [4] S. Mi'rajtania, H. Yuana, And W. D. Puspitasari, "Prototipe Sistem Monitoring Suhu Dan Kelembaban Untuk Pengendalian Lingkungan Mikro Berbasis Iot Pada Ruang Koleksi Berisiko Di Fasilitas Publik Prototype Of An Iot-Based Temperature And Humidity Monitoring System For Microenvironmental Control In High-Risk Collection Spaces Within Public Facilities."
- [5] M. A. Falahuddin, W. S. Ayu, M. Arman, And Susilawati, "Unjuk Kerja Performa Sistem Monitoring Konsentrasi Pm1, Pm2.5, Pm10, Co Dan Co2 Di Dalam Ruangan Berbasis Internet Of Things (Iot)," *Scientific Journal Of Mechanical Engineering Kinematika*, Vol. 10, No. 2, Pp. 251–264, Oct. 2025, Doi: 10.20527/Sjmekinematika.V10i2.443.
- [6] C. E. Delinda Et Al., "Pemantauan Dan Pengendalian Udara Dalam Ruangan Berbasis Iot Dengan Metode Fuzzy Logic," *Jitel*, Vol. 5, No. 2, Pp. 2775–6696, Doi: 10.35313/Jitel.V5.I2.2025.89-100.
- [7] A. Budiawan, R. R. Suryono, And D. Darwis, "Implementasi Sensor Gas Amonia Berbasis Internet Of Things Pada Peternakan Ayam Potong Dengan Sistem Monitoring Dan Pengendalian Kualitas Udara Otomatis," *Malcom: Indonesian Journal Of Machine Learning And Computer Science*, Vol. 5, No. 1, Pp. 343–349, Jan. 2025, Doi: 10.57152/Malcom.V5i1.1649.
- [8] Fredy Agung Dwi Cahyono And Denny Irawan, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Dan Kontrol Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis Iot," *Elkom: Jurnal Elektronika Dan Komputer*, Vol. 17, No. 2, Pp. 468–476, Dec. 2024, Doi: 10.51903/Elkom.V17i2.2208.
- [9] H. Aswaldi, "Penerapan Teknologi Internet Of Things (Iot) Untuk Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Article History," *Journal Of Computer Science And Information Technology*, Vol. 1, No. 2, 2025, Doi: 10.70716/Jocsit.V1i2.225.
- [10] B. Khoeriah Utami, M. Rizqi Fajri, And A. Dwi Chaerani, "Jurnal Sains Dan Teknologi Sistem Internet Of Things (Iot) Untuk Pemantauan Kualitas Udara Dalam Ruangan," *Jurnal Sains Dan Teknologi*, Vol. 02.
- [11] W. Cintya Dewi, M. Raharjo, N. Endah Wahyuningsih, F. Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro Jl Sudarto No, And T. Kota Semarang Jawa Tengah Indonesia, "Literatur Review : Hubungan Antara Kualitas Udara Ruang Dengan Gangguan Kesehatan Pada Pekerja Literature Review : Link Between Space Air Quality And Health Interference In

- Workers,” *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, Vol. 8, No. 1, P. 2021.
- [12] Kementerian Kesehatan RI, *Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 2 Tahun 2023 Tentang Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 Tentang Kesehatan Lingkungan*. 2023.
- [13] M. Farhan, F. Islam, And M. Chairani H, “Pengukuran Kualitas Udara Particulate Matter (Pm_{2.5}) Dalam Ruangan Di Pt. Rekind Daya Mamuju,” *Jurnal Kesehatan Lingkungan Mapping*, Vol. 3, No. 1, Pp. 7–16, Apr. 2025, Doi:10.33490/Mpc.V3i1.1744.
- [14] K. Dan G. Badan Meteorologi, “Informasi Konsentrasi Partikulat (Pm_{2.5}),” Bmkg.Go.Id.
- [15] R. A. Prasetyo, “Mengoptimalkan Irigasi Pertanian Cerdas Melalui Internet Of Multimedia Things (Iomt) Dengan Deteksi Kebutuhan Air Tanaman Berbasis Deep Learning”, Doi:10.13140/Rg.2.2.15442.32960.
- [16] A. Vallasifa And I. Prasetyo, “Evaluasi Kenyamanan Termal Pada Bangunan Klinik Saintifikasi Jamu ‘Hortus Medicus’ Tawangmangu,” 2023. [Online]. Available: [Http://Siar.Ums.Ac.Id/](http://Siar.Ums.Ac.Id/)
- [17] Z. Ibrahim Et Al., “Identifikasi Kualitas Udara Ambien Disekitar Wilayah Kota Gorontalo Identification Of Ambient Air Quality Around The City Of Gorontalo,” *Public Health And Surveillance Review*, Vol. 1, No. 1, P. 2022, Doi: 10.56796/Phsr.V1i1.16414.
- [18] H. Aji And A. Kautsar, “Bees: Bulletin Of Electrical And Electronics Engineering Perancangan Alat Monitoring Kadar Gas Co₂ Di Udara Berbasis Nodemcu Esp 8266,” *Media Online*, Vol. 5, No. 1, Pp. 1–9, 2024, Doi: 10.47065/Bees.V5i1.5005.
- [19] R. A. Wijaya And P. B. Santosa, “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Di Sekitar Kawasan Industri Tekstil Berbasis Internet Of Things (Iot).”
- [20] M. R. Prayogo, Y. Suprpto, R. I. S. Teknik, N. Udara, And P. Surabaya, “Perancangan Media Pembelajaran Pada Alat Pemantau Kualitas Udara Berbasis Website,” *Media Pembelajaran Pada Alat Pemantau Kualitas Udara Journal Of Public Transportation Community*, Vol. 2, No. 2, P. 2022, 2022