

IMPLEMENTASI SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA REAL-TIME BERBASIS IOT PADA PABRIK KIPAS (STUDI KASUS: BY KIPAS BALI)

IMPLEMENTATION OF AN IOT-BASED REAL-TIME AIR QUALITY MONITORING SYSTEM IN A FAN FACTORY (CASE STUDY: BY KIPAS BALI)

I Wayan Gova Prapta Abiantara¹, Made Adi Paramartha Putra², Ni Putu Noviyanti Kusuma³

Program Studi Teknik Informatika, Fakultas Teknologi Informasi dan Desain, Universitas Primakara

Jl. Tukad Badung, Denpasar Selatan, Kota Denpasar, Bali^{1,2,3}

gova.prapta02@gmail.com¹, adi@primakara.ac.id², kusuma@primakara.ac.id³

ABSTRACT

The wooden fan production process at By Kipas Bali generates fine dust, fumes, and VOC emissions from cutting, sanding, and painting activities, which can degrade indoor air quality. To address the absence of a real-time monitoring system, this study develops an IoT-based air quality monitoring prototype using MQ135 and DHT22 sensors, an ESP32 microcontroller, and a Firebase-powered web dashboard. The prototype method is applied through stages of planning, design, construction, and testing. Two MQ135 sensors are installed at different production points to obtain more representative pollutant readings, while DHT22 measures temperature and humidity. Sensor data is processed by ESP32, transmitted to Firebase, and visualized in real time on a web dashboard. A buzzer provides immediate warnings when pollutant levels exceed safety thresholds. The system successfully delivers real-time monitoring, responsive alerts, and reliable data visualization, supporting safer and more controlled working conditions in the factory environment.

Keywords: IoT, air quality, ESP32, MQ135, Firebase, ZH03B

ABSTRAK

Proses produksi kipas kayu di By Kipas Bali menghasilkan debu halus, asap, dan emisi VOC dari aktivitas pemotongan, pengampasan, dan pengecatan, yang dapat menurunkan kualitas udara di dalam ruangan. Untuk mengatasi ketiadaan sistem pemantauan secara real-time, penelitian ini mengembangkan sebuah prototipe sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT (Internet of Things) menggunakan sensor MQ135 dan DHT22, mikrokontroler ESP32, serta dashboard web berbasis Firebase. Metode prototipe diterapkan melalui tahapan perencanaan, perancangan, pembangunan, dan pengujian. Dua buah sensor MQ135 dipasang pada titik produksi yang berbeda untuk mendapatkan pembacaan polutan yang lebih representatif, sementara sensor DHT22 digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan. Data dari sensor diproses oleh ESP32, dikirim ke Firebase, dan divisualisasikan secara real-time pada dashboard web. Sebuah buzzer memberikan peringatan langsung ketika tingkat polutan melewati ambang batas aman. Sistem ini berhasil menyediakan pemantauan langsung, peringatan yang responsif, dan visualisasi data yang andal, sehingga mendukung kondisi kerja yang lebih aman dan terkendali di lingkungan pabrik.

Kata Kunci: IoT, kualitas udara, ESP32, MQ135, Firebase, ZH03B.

PENDAHULUAN

Aktivitas industri merupakan salah satu sumber utama pencemaran udara yang kompleks karena melibatkan berbagai proses produksi yang menghasilkan debu, gas buang, dan senyawa kimia berbahaya (Nakhjiri & Kakroodi, 2024). Di Indonesia, informasi mutu udara ambien kepada publik dirangkum melalui Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), yakni angka tanpa satuan yang menggambarkan kondisi mutu udara di lokasi tertentu dan digunakan sebagai sistem informasi/peringatan dini (*early warning*) bagi masyarakat dan pemangku

kepentingan. Perhitungan ISPU—yang kini diatur lewat Permen LHK P.14/2020—mencakup tujuh parameter: PM10, PM2.5, NO₂, SO₂, CO, O₃, dan hidrokarbon (HC), dengan penyampaian hasil PM2.5 tiap jam dan parameter lain paling sedikit dua kali per hari. Untuk memudahkan interpretasi, ISPU diklasifikasikan menjadi: 1–50 (Baik), mutu udara sangat baik dan tidak menimbulkan efek negatif; 51–100 (Sedang), mutu udara masih dapat diterima; dan 101–200 (Tidak Sehat), mutu udara bersifat merugikan bagi manusia, hewan, dan tumbuhan (Siti Nurbaya, 2020).

Salah satu teknologi mutakhir yang banyak diterapkan pada era Revolusi Industri 4.0 adalah *Internet of Things (IoT)*. Secara umum, IoT merupakan konsep yang memungkinkan perangkat fisik saling terhubung melalui jaringan *internet* untuk bertukar data dan menjalankan fungsi tertentu secara otomatis (Putra et al., 2022). Teknologi ini menggabungkan sensor, mikrokontroler, dan aktuator yang dapat bekerja tanpa pengawasan langsung dari manusia. penerapan IoT pada lingkungan industri mampu meningkatkan efisiensi sistem pemantauan udara dengan mendeteksi perubahan kadar gas dan partikel secara *real-time* (Sampedro et al., 2023). Sistem IoT tersebut menggunakan jaringan sensor terintegrasi yang dikendalikan mikrokontroler untuk memantau kondisi udara, lalu mengirimkan data ke *cloud server* agar operator dapat segera mengambil tindakan ketika ambang batas terlampaui (García et al., 2022).

Pada pabrik kipas kayu By Kipas Bali yang berlokasi di Pering, Blahbatuh, Bali, proses produksi dilakukan melalui beberapa tahapan berurutan, meliputi pemotongan kayu, pengamplasan, hingga pengecatan. Setiap tahapan produksi tersebut berpotensi menghasilkan partikel debu kayu berukuran halus serta uap cat dari bahan pelapis (*volatile organic compounds/VOC*) yang dapat menurunkan kualitas udara di area kerja (Santoso et al., 2025). Dalam satu siklus produksi, pabrik ini mampu menghasilkan sekitar 1.000 stik kipas, sehingga aktivitas mesin produksi dan proses *finishing* berlangsung dengan intensitas yang cukup tinggi.

Berdasarkan observasi awal di lokasi penelitian, kondisi kualitas udara yang buruk berdampak langsung terhadap kenyamanan dan kesehatan pekerja. Pekerja sering mengalami keluhan seperti sesak napas dan batuk-batuk, terutama saat proses pemotongan kayu dan pengecatan berlangsung. Akibatnya, durasi kerja efektif pekerja menjadi terbatas, di mana dalam kondisi tertentu pekerja hanya mampu bekerja selama 1 hingga 4 jam,

bahkan ada kalanya hanya sekitar 1 jam, sebelum harus menghentikan aktivitas produksi untuk memulihkan kondisi pernapasan atau membuka ventilasi secara manual. Kondisi ini tidak hanya menurunkan produktivitas kerja, tetapi juga berpotensi meningkatkan risiko gangguan kesehatan apabila paparan polutan berlangsung secara berulang dan tanpa pemantauan yang memadai.

Penerapan konsep *Internet of Things (IoT)* pada industri tidak hanya berfungsi sebagai sistem pemantauan (Putra et al., 2024), tetapi juga sebagai mekanisme deteksi dini (*early warning system*) yang dapat memberikan respons cepat terhadap perubahan kondisi lingkungan. Dengan adanya sistem yang mampu membaca data sensor secara berkelanjutan dan mengirimkannya ke platform digital, pihak operator dapat mengetahui kondisi udara di area produksi tanpa harus melakukan pengecekan manual. Sistem ini dapat diprogram untuk mengaktifkan alarm suara atau indikator visual apabila nilai ambang batas polutan telah terlampaui, sehingga proses produksi dapat dihentikan sementara dan ventilasi dibuka guna menormalkan kembali sirkulasi udara.

Berdasarkan hal tersebut, penelitian ini Menerapkan rancang bangun dan implementasi sistem pemantauan kualitas udara real time berbasis IoT di pabrik kipas kayu By Kipas Bali, Pering, Blahbatuh. Arsitektur sistem menggunakan ESP32 sebagai pengendali utama, MQ135 untuk deteksi gas/uap cat (VOC), dan DHT22 untuk suhu dan kelembapan. Data sensor diproses dan dikirim ke *Firestore* kemudian divisualisasikan pada *dashboard web* (Next.js) agar kondisi dapat dipantau secara berkelanjutan. Jika ambang yang ditetapkan terlampaui, sistem secara otomatis mengaktifkan *buzzer* sebagai peringatan di lokasi untuk menghentikan aktivitas sementara dan membuka ventilasi.

Melalui implementasi alat ini, pabrik By Kipas Bali akan memiliki sistem pemantauan udara yang responsif, efisien, dan terukur, serta sejalan dengan prinsip

penerapan teknologi Revolusi Industri 4.0 di sektor industri kecil menengah. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi model penerapan IoT yang aplikatif untuk meningkatkan keselamatan, kebersihan, dan efisiensi proses produksi di lingkungan pabrik berbasis kayu (Darmawan et al., 2026).

Dengan menerapkan konsep peringatan dini, sistem IoT menampilkan pembaruan *real-time* di *dashboard web* sehingga operator segera mengetahui saat nilai ambang terlampaui. Praktik ini umum pada riset pemantauan kualitas udara: data dari sensor dikirim terus-menerus ke *server* dan divisualisasikan pada antarmuka *web* beserta indikator peringatan membuat *status*, tren, dan riwayat mudah dipantau dalam satu panel. Pemantauan udara *real-time* berbasis ESP32 menampilkan visualisasi web dan memicu peringatan ketika polutan melewati batas aman, menegaskan efektivitas *dashboard web* untuk pemantauan langsung di lapangan (Rahmadani et al., 2025).

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) yang bertujuan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji sistem pemantauan kualitas udara berbasis Int IoT sebagai sebuah produk fungsional. Dalam penelitian ini, pengembangan sistem dilakukan dengan menggunakan metode *prototype* sebagai metode pengembangan alat, di mana sistem dikembangkan melalui pembuatan model awal yang kemudian diuji secara langsung di lingkungan pabrik. Hasil pengujian tersebut digunakan sebagai dasar evaluasi dan penyempurnaan sistem secara bertahap agar sesuai dengan kebutuhan pengguna dan kondisi operasional lapangan. Pendekatan ini dipilih karena sistem pemantauan kualitas udara *real-time* pada pabrik kipas kayu harus mampu beradaptasi terhadap berbagai faktor lingkungan, seperti intensitas debu kayu, perubahan suhu dan kelembapan selama proses produksi, serta

keberadaan uap pelarut dari proses finishing, sehingga diperlukan proses pengembangan yang iteratif dan berbasis pengujian lapangan untuk memastikan kinerja dan keandalan sistem.

Jenis Data dan Metode Pengumpulan Data

Data dalam penelitian ini dibedakan berdasarkan sumber dan jenisnya, yang digunakan sebagai dasar analisis dan evaluasi sistem pemantauan kualitas udara *real-time*. Penelitian ini menggunakan dua sumber data, yaitu primer dan sekunder. Data primer diperoleh langsung dari hasil observasi lapangan dan uji coba sistem, meliputi pembacaan *sensor MQ135* untuk mendeteksi gas (VOC, amonia, CO) serta *sensor DHT22* untuk mengukur suhu dan kelembapan, termasuk juga pengujian fungsi *buzzer*, indikator peringatan, dan pembaruan data pada *dashboard web*. Sementara itu, data sekunder berasal dari literatur yang relevan seperti jurnal ilmiah, buku, standar kualitas udara (ISPU), Permen LHK P.14/2020, serta artikel terkait teknologi IoT, ESP32, sensor lingkungan, dan sistem peringatan dini, yang menjadi dasar perancangan dan analisis sistem.

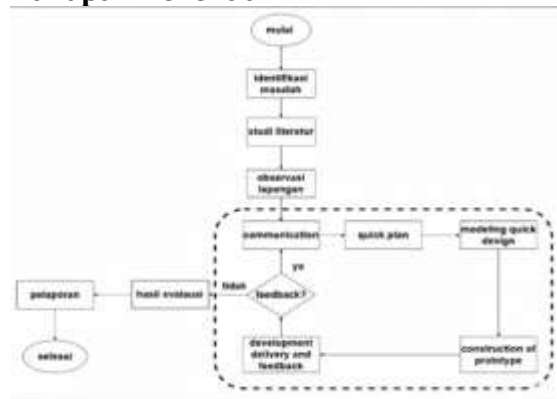
Penelitian ini menggunakan dua jenis data, yaitu kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif berupa angka hasil pembacaan sensor, seperti suhu ruangan (°C), kelembapan (%RH), dan nilai kadar gas yang terdeteksi oleh MQ135, serta status ambang (normal, waspada, atau bahaya) yang digunakan untuk memicu alarm. Data kualitatif diperoleh melalui pengamatan terhadap perilaku sistem selama pengujian, seperti kemampuan alat dalam mendeteksi perubahan kondisi udara, kecepatan sistem menampilkan data pada *dashboard web*, ketepatan alarm berbunyi ketika ambang dilampaui, serta respon pengguna terhadap kemudahan pemantauan. Gabungan kedua jenis data ini digunakan untuk mengevaluasi kinerja alat IoT yang dikembangkan.

Dalam penelitian ini, data dikumpulkan untuk mendukung perancangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT. Terdapat tiga metode yang digunakan, yaitu: studi literatur, observasi langsung, wawancara.

Populasi dan Sampel

Penelitian ini dilakukan di Desa Pering, Kecamatan Blahbatuh, Kabupaten Gianyar, Bali, pada lokasi pabrik kipas kayu By Kipas Bali yang menjalankan proses produksi seperti pemotongan, pengamplasan, dan pengecatan kayu sehingga berpotensi menghasilkan debu serta uap VOC, menjadikannya tempat yang tepat untuk uji coba alat pemantauan kualitas udara berbasis IoT. Penelitian berlangsung dari Oktober 2025 hingga Mei 2026, mencakup tahapan perancangan, perakitan, pengujian, serta penyempurnaan alat berdasarkan hasil evaluasi dan kebutuhan operasional pabrik.

Tahapan Penelitian



Pada tahap ini, peneliti mencoba memahami berbagai masalah yang terjadi di pabrik kipas kayu By Kipas Bali, khususnya terkait kondisi kualitas udara selama proses produksi. Aktivitas seperti pemotongan kayu, penyerutan, pengamplasan, dan pengecatan menghasilkan serbuk kayu halus serta uap VOC yang dapat menurunkan mutu udara dan mengganggu kenyamanan pekerja. Karena tidak adanya sistem pemantauan otomatis, pekerja sulit mengetahui kapan kualitas udara berada pada level yang perlu

diwaspadai atau kapan aktivitas produksi sebaiknya dihentikan sementara. Kondisi ini berpotensi mengganggu kesehatan, menurunkan efisiensi kerja, dan menghambat proses produksi. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem pemantauan udara *real-time* yang dapat memberikan peringatan otomatis dan membantu menjaga kualitas udara tetap stabil selama operasional pabrik.

Setelah memahami permasalahan, peneliti mengumpulkan referensi dari buku, jurnal, prosiding, peraturan pemerintah, dan penelitian terdahulu yang membahas perangkat monitoring berbasis IoT. Kajian literatur ini mencakup teknologi *mikrokontroler ESP32*, *sensor MQ135* untuk mendeteksi gas VOC dan amonia, *sensor DHT22* untuk mengukur suhu dan kelembapan, serta konsep dashboard web *real-time* untuk menampilkan data udara. Peneliti juga menelaah standar kualitas udara Indonesia seperti ISPU dan Permen LHK P.14/2020 untuk menentukan ambang batas yang relevan. Informasi literatur ini menjadi dasar dalam merancang sistem pemantauan kualitas udara yang akurat, responsif, dan sesuai kebutuhan operasional pabrik.

Peneliti melakukan pengamatan langsung di pabrik kipas kayu By Kipas Bali. Observasi ini bertujuan untuk mengetahui kondisi nyata lingkungan produksi, seperti tingkat debu, sirkulasi udara, temperatur, serta area yang paling terpapar uap pelarut. Peneliti juga mengamati intensitas aktivitas produksi, jam kerja pabrik, serta kondisi ruangan pada saat proses pemotongan dan pengecatan berlangsung. Informasi ini diperlukan agar alat yang dibuat dapat dipasang pada lokasi yang tepat, membaca kondisi udara secara representatif, dan memberikan peringatan yang sesuai saat kualitas udara menurun.

Berdasarkan observasi lapangan dan kajian literatur, peneliti melakukan diskusi awal dengan pemilik pabrik untuk memahami kebutuhan pengguna secara lebih spesifik. Dari komunikasi tersebut diketahui bahwa sistem yang

dikembangkan sebaiknya mampu melakukan pemantauan suhu, kelembapan, serta kadar gas VOC secara *real-time*, memberikan alarm otomatis apabila hasil pembacaan melebihi ambang batas, dan menampilkan data melalui dashboard web yang mudah dipantau oleh operator.

Setelah memahami kebutuhan pengguna, peneliti menyusun perencanaan awal perangkat yang akan dibangun. Rencana ini mencakup pemilihan komponen seperti *ESP32* sebagai pusat kendali, *sensor MQ135* sebagai pendeteksi gas, *sensor DHT22* sebagai pembaca suhu dan kelembapan, serta *buzzer* sebagai media peringatan ketika kualitas udara berada pada kondisi tidak sehat.

peneliti membuat rancangan alur kerja sistem, termasuk diagram blok, *flowchart* pemrosesan data sensor, dan desain tampilan *dashboard web*. Peneliti menentukan bagaimana sensor membaca data, bagaimana *ESP32* mengolah nilai ambang, bagaimana data dikirim ke *server*, serta bagaimana *buzzer* aktif ketika terjadi kondisi bahaya. Rancangan ini dibuat sebelum alat dirakit agar proses pembangunan lebih terstruktur, meminimalkan kesalahan, dan memastikan setiap komponen bekerja terintegrasi.

peneliti mulai merakit seluruh komponen perangkat keras seperti *ESP32*, *sensor MQ135*, *sensor DHT22*, dan *buzzer* ke dalam satu panel. Rangkaian disolder untuk mendapatkan sambungan yang kuat dan aman. Selanjutnya, peneliti menulis kode program pada *ESP32* menggunakan *Arduino IDE* untuk membaca sensor, memproses ambang batas, mengirim data ke *Firestore*, serta mengontrol *buzzer*.

Setelah alat selesai dibangun, dilakukan pengujian langsung di lingkungan pabrik kipas kayu untuk memastikan seluruh fungsi berjalan dengan baik. Pengujian meliputi keakuratan pembacaan sensor, stabilitas koneksi ke database, kecepatan pembaruan data pada *dashboard web*, serta keefektifan *buzzer* sebagai alarm.

Tahap akhir penelitian adalah penyusunan laporan yang berisi seluruh proses mulai dari perancangan, perakitan, pengujian, hingga evaluasi sistem. Laporan dilengkapi dengan data *sensor*, hasil pengujian, diagram sistem, foto perangkat, dokumentasi *dashboard web*, serta penjelasan teknis rangkaian dan program.

Hasil dan Pembahasan

Communicating

Tahap awal dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi langsung pada lingkungan pabrik kipas kayu By Kipas. Observasi bertujuan untuk memahami kondisi nyata kualitas udara serta aktivitas produksi yang berpotensi mempengaruhi pencemaran udara di dalam area kerja. Berdasarkan hasil pengamatan, ditemukan bahwa proses produksi seperti pemotongan kayu, pengamplasan, dan pengecatan menghasilkan debu partikulat serta gas yang dapat menurunkan kualitas udara. Selain itu, sistem pemantauan kualitas udara yang digunakan sebelumnya masih bersifat manual dan tidak memberikan informasi secara *real-time* kepada pekerja. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kebutuhan akan sistem monitoring yang mampu memberikan informasi kualitas udara secara cepat, akurat, dan mudah diakses guna meningkatkan keselamatan dan kenyamanan pekerja.

Quick Plan

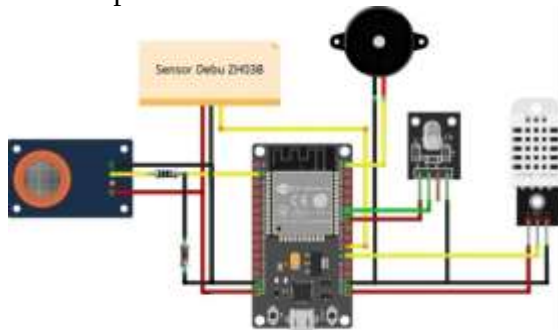
Berdasarkan hasil observasi dan wawancara yang telah dilakukan dengan pekerja di lingkungan pabrik yang berlokasi di Pering, Blahbatuh, Bali, diperoleh berbagai permasalahan terkait pemantauan kualitas udara yang masih dilakukan secara manual dan belum terintegrasi dengan sistem monitoring yang optimal. Kondisi tersebut menyebabkan keterbatasan dalam mendeteksi perubahan kualitas udara secara cepat, terutama pada saat aktivitas produksi berlangsung secara intensif. Oleh karena itu, pada tahap penyusunan rencana awal (*Quick Plan*), dirancang sebuah sistem pemantauan kualitas udara berbasis

Internet of Things (IoT) yang mampu melakukan pengukuran secara *real-time* serta memberikan informasi kondisi lingkungan kerja secara lebih akurat dan efisien.

Modelling Quick Design



Berdasarkan gambar rancangan di atas, alur kerja sistem alat terdiri dari beberapa bagian, yaitu (1) adaptor 5 V yang berfungsi sebagai sumber daya utama yang menyuplai energi listrik ke seluruh rangkaian sistem. Daya tersebut digunakan oleh (2) ESP32 sebagai pusat kendali yang bertugas mengolah data dari seluruh sensor. Selanjutnya, (3) sensor DHT22 berfungsi sebagai input untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di lingkungan sekitar. Selain itu, (4) sensor ZH03B digunakan untuk mendeteksi konsentrasi partikulat udara seperti PM2.5 dan PM10.



Kemudian, (5) sensor MQ-135 berperan dalam mendeteksi gas berbahaya dan kualitas udara secara umum. Seluruh data yang diperoleh dari sensor akan dikirimkan ke ESP32 untuk diproses lebih lanjut. Setelah data dianalisis, sistem akan memberikan output berupa (6) LED RGB yang berfungsi sebagai indikator visual kondisi kualitas udara, serta (7) buzzer yang berfungsi sebagai peringatan suara apabila kondisi udara berada pada tingkat yang tidak aman. Dengan rancangan tersebut,

sistem pemantauan kualitas udara dapat bekerja secara otomatis dan *real-time* dalam mendeteksi perubahan kondisi lingkungan, serta memberikan peringatan secara langsung kepada pengguna melalui indikator visual dan audio.

Construction Of Prototype

Proses perakitan alat merupakan tahap penyusunan dan penggabungan seluruh komponen perangkat keras agar alat dapat berfungsi sesuai dengan tujuan penelitian. Proses ini dilakukan secara bertahap untuk memastikan setiap komponen terhubung dengan benar. Tahap pertama dalam proses perakitan alat adalah menyusun rangkaian jalur koneksi di papan PCB (board) yang sesuai dengan konfigurasi pin pada *mikrokontroler* ESP32. Proses ini dilaksanakan dengan merakit dan menyolder kabel penghubung di antara titik-titik pada papan rangkaian sesuai dengan desain yang telah dibuat sebelumnya. Pembentukan jalur ini bertujuan untuk menjamin setiap komponen terhubung dengan baik agar sistem bisa berfungsi dengan stabil dan optimal.

Pada langkah selanjutnya ESP32 dipasang dan disolder dengan posisi yang sesuai agar terhubung dengan jalur rangkaian yang telah dibuat sebelumnya. Selain itu, konektor tambahan juga dipasang untuk memudahkan proses penghubungan sensor dan komponen lainnya, sehingga sistem dapat dirakit dengan lebih rapi dan terstruktur.

Selanjutnya adalah pemotongan kabel penghubung untuk sensor DHT22, MQ135, dan ZH03B, yang panjangnya sekitar 5 meter, merupakan tahap ketiga dalam proses perakitan sistem. Untuk mengatur proses instalasi, perawatan, dan penempatan komponen, konektor dipasang di setiap ujung kabel. Panjang kabel ini juga dipilih untuk memberikan kenyamanan dalam penempatan sensor, memungkinkannya menjangkau area pengukuran yang lebih besar.

Pada tahap terakhir dilakukan proses pemasangan seluruh komponen pada

kerangka alat yang sudah dibuat, dan merapikan semua kabel untuk meningkat estetika dan keamanan alat. Sehingga mendapat hasil akhir yang sesuai dan dapat diimplementasikan langsung pada tempat yang sebenarnya.

Hasil ini menunjukkan bahwa proses pembentukan *cluster* menggunakan centroid pada algoritma K-Means menghasilkan tingkat homogenitas yang lebih tinggi dan pemisahan antar-*cluster* yang lebih baik dibandingkan algoritma K-Medoids pada data penerima Bantuan Sosial Tunai di Kecamatan Solear.

Deployment, Delivery and Feedback

Sebelum memulai tahap deployment, langkah pertama yang harus dilakukan adalah mengupload kode sumber aplikasi ke repositori GitHub sebagai wadah penyimpanan dan pengelolaan kode yang terpusat. Langkah ini bertujuan untuk mempermudah proses pengembangan, penulisan dokumentasi, serta pengendalian versi sehingga setiap modifikasi pada sistem bisa tercatat dengan rapi. Di samping itu, manfaat penggunaan GitHub mendukung proses integrasi dengan berbagai layanan lainnya, termasuk platform untuk melakukan deployment, yang membuat distribusi aplikasi menjadi lebih mudah.

Setelah itu, dilakukan tahap penggelaran ke platform Vercel agar situs web dapat dengan mudah diakses melalui internet tanpa bergantung pada lingkungan pengembangan lokal. Dengan cara ini, pengguna tidak perlu lagi menjalankan aplikasi melalui Visual Studio Code menggunakan perintah `npm run dev`, tetapi bisa langsung mengakses sistem di mana pun dan kapan pun untuk memantau kualitas udara secara langsung. Proses ini membuat sistem lebih praktis, efisien, dan siap diterapkan dalam situasi nyata sebagai solusi monitoring yang terintegrasi antara perangkat keras dan aplikasi berbasis web.

Langkah selanjutnya adalah mengatur kode program ESP32 memakai Arduino IDE untuk dapat terhubung dengan

layanan yang telah dideploy di Vercel. Di fase ini, disesuaikan parameter koneksi seperti jaringan Wi-Fi, endpoint API, dan format pengiriman data untuk memastikan ESP32 mampu mengirimkan data pembacaan sensor langsung ke server. Pengaturan ini bertujuan untuk menyatukan perangkat keras dengan aplikasi berbasis web, sehingga data kualitas udara bisa dikirim, disimpan, dan ditampilkan di dashboard secara real-time. Dengan cara ini, sistem dapat beroperasi secara terhubung dan mendukung proses pemantauan dengan maksimal.

SIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) pada pabrik kipas kayu By Kipas Bali, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Sistem pemantauan kualitas udara berhasil dirancang dan diimplementasikan dengan memanfaatkan mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan beberapa sensor, yaitu MQ-135, ZH03B, dan DHT22 untuk memantau kualitas udara secara real-time
2. Sensor MQ-135 mampu mendeteksi gas berbahaya dan senyawa VOC pada area pengecatan, sensor ZH03B mampu mengukur konsentrasi partikulat debu pada area pemotongan dan pengamplasan kayu, serta sensor DHT22 mampu memantau suhu dan kelembapan ruangan dengan baik
3. Hasil kalibrasi menunjukkan bahwa seluruh sensor menghasilkan data yang valid dan representatif terhadap kondisi lingkungan kerja, dengan tingkat deviasi yang masih berada dalam batas toleransi
4. Hasil pengujian lapangan menunjukkan bahwa jarak penempatan sensor mempengaruhi akurasi pembacaan, dengan posisi optimal berada pada jarak ± 15 cm dari sumber polutan
5. Sistem peringatan yang terdiri dari buzzer, LED RGB, dan notifikasi

- berbasis website berhasil berfungsi dengan baik dalam memberikan informasi ketika nilai parameter melebihi ambang batas
6. Dashboard berbasis website menggunakan Next.js dan Firebase mampu menampilkan data sensor secara real-time, grafik, riwayat data, serta notifikasi peringatan, dan telah diterima dengan baik oleh pihak pengguna di lingkungan pabrik
- DAFTAR PUSTAKA**
- Arhizal.M, Ibnugraha.P, & Hadiyoso.S. (2025). Dashboard Iot Untuk Pemantauan Lingkungan Hidroponik Berbasis Web. *E-Proceeding of Applied Science*, 11.
- Bobulski, J., Szymoniak, S., & Pasternak, K. (2024). An IoT System for Air Pollution Monitoring with Safe Data Transmission. *Sensors*, 24(2). <https://doi.org/10.3390/s24020445>
- Fatimatuzzahra, F., Didik, L. A., & Bahtiar, B. (2020). Analisis Akurasi Sistem Sensor DHT22 berbasis Arduino terhadap Thermohygrometer Standar. *Jurnal Fisika Dan Aplikasinya*, 16(1), 33. <https://doi.org/10.12962/j24604682.v16i1.5717>
- Firly.M. (2021). Pemanfaatan Sensor Mq-135 Sebagai Monitoring. <https://doi.org/https://doi.org/10.3390/s2223443>
- García, L., Garcia-Sanchez, A. J., Asorey-Cacheda, R., Garcia-Haro, J., & Zúñiga-Cañón, C. L. (2022). Smart Air Quality Monitoring IoT-Based Infrastructure for Industrial Environments. *Sensors*, 22(23). <https://doi.org/10.3390/s22239221>
- Hartanto Sri, & P.Dwi Andre. (2021). Rancang Bangun Sistem Absensi Dengan Pemeriksaan Suhu Tubuh Berbasis Arduino Atmega2560. *Jurnal Ilmiah Elektrokrisna*, 9 No 2.
- Mahendra, D. A., & Winardi, S. (2023). Perancangan Realtime Database Firebase untuk IoT dan Unity Menggunakan Metode SDLC. *Jurnal Ilmu Komputer Dan Bisnis*, 14(2a), 72–82. <https://doi.org/10.47927/jikb.v14i2a.525>
- Mironeanu, C., Archip, A., Amarandei, C. M., & Craus, M. (2021). Experimental cyber attack detection framework. *Electronics (Switzerland)*, 10(14). <https://doi.org/10.3390/electronics10141682>
- Nadifah, S., Susilo, C., & Hamid, M. A. (2023). Hubungan Mitigasi Early Warning System (EWS) dengan kesiapsiagaan Relawan dalam Menghadapi Bencana di Desa Supiturang Kabupaten Lumajang. *Health & Medical Sciences*, 2(1), 8. <https://doi.org/10.47134/phms.v2i1.70>
- Nakhjiri, A., & Kakroodi, A. A. (2024). Air pollution in industrial clusters: A comprehensive analysis and prediction using multi-source data. *Ecological Informatics*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102504>
- Pramudita, R., & Setyawan, K. (2022). Sistem Smart Class Berbasis Internet Of Things Dengan Menggunakan Metode Prototype. *SMARTICS Journal*, 8(1). <https://doi.org/10.21067/smartics.v8i1.7209>
- Pratama, E. W., & Kiswantono, A. (2023). Electrical Analysis Using ESP-32 Module In Realtime. *JEECS (Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences)*, 7(2), 1273–1284. <https://doi.org/10.54732/jeeecs.v7i2.21>
- Rahmadani, A. A., Syaifudin, Y. W., Setiawan, B., Panduman, Y. Y. F., & Funabiki, N. (2025). Enhancing Campus Environment: Real-Time Air Quality Monitoring Through IoT and Web Technologies. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 14(1).

- <https://doi.org/10.3390/jsan14010002>
- Roihan, A., Mardiansyah, A., Pratama, A., Pangestu, A. A., Komputer, P. S., & Raharja, U. (2021). Simulasi Pendeteksi Kelembaban Pada Tanah Menggunakan Sensor Dht22 Dengan Proteus. *Jurnal Methodika*, 7(1).
- Selay, A., Andgha, G. D., Alfarizi, M. A., Izdhihar, M., Wahyudi, B., Falah, M. N., Khaira, M., & Encep, M. (2022). Internet Of Things. In *Karimah Tauhid* (Vol. 1).
- Siti Nurbaya. (2020). Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia. (Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia). <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>
- Yanuardi Lado, A., Widiarto, H., Samanhudi, A., & Penerbangan Indonesia Curug, P. (2020). Alat Peraga Kontrol Dan Monitoring Lampu Sorot Lapangan Perwira Angkasa Di Politeknik Penerbangan Indonesia Curug. In *Jurnal Ilmiah Aviasi* (Vol. 13, Number 3). <http://journal.ppicurug.ac.id/index.php/jurnal-langit-biru>
- Yildiz, O., & Sucuoglu, H. S. (2025). Development of Real-Time IoT-Based Air Quality Forecasting System Using Machine Learning Approach. *Sustainability*, 17(19), 8531. <https://doi.org/10.3390/su17198531>
- Yusop, N., Moketar, N. A., & Sadikan, S. F. N. (2024). Development of Arduino applications for IoT applications in software engineering education: a systematic literature review. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 13(3), 1824–1831. <https://doi.org/10.11591/eei.v13i3.4506>
- Zhu, C., Liu, Z., Zou, B., Xiao, Y., Zeng, M., Wang, H., & Fan, Z. (2023). An HBase-Based Optimization Model for Distributed Medical Data Storage and Retrieval. *Electronics* (Switzerland), 12(4). <https://doi.org/10.3390/electronics12040987>
- Darmawan, I. M. D. H., Kusuma, N. P. N., Kshetri, N., Artani, K. T. B., & Wardani, W. P. P. (2026). Harnessing Blockchain for Transparent and Sustainable Accounting in Creative MSMEs amid Digital Disruption: Evidence from Indonesia. *Journal of Risk and Financial Management*, 19(1), 80. <https://doi.org/10.3390/jrfm19010080>
- García, L., Garcia-Sanchez, A. J., Asorey-Cacheda, R., Garcia-Haro, J., & Zúñiga-Cañón, C. L. (2022). Smart Air Quality Monitoring IoT-Based Infrastructure for Industrial Environments. *Sensors*, 22(23). <https://doi.org/10.3390/s22239221>
- Nakhjiri, A., & Kakroodi, A. A. (2024). Air pollution in industrial clusters: A comprehensive analysis and prediction using multi-source data. *Ecological Informatics*, 80. <https://doi.org/10.1016/j.ecoinf.2024.102504>
- Putra, M. A. P., Karna, N. B. A., Zainudin, A., Kim, D. S., & Lee, J. M. (2024). TSFed: A three-stage optimization mechanism for secure and efficient federated learning in industrial IoT networks. *Internet of Things (Netherlands)*, 27. <https://doi.org/10.1016/j.iot.2024.101287>
- Putra, M. A. P., Kim, D. S., & Lee, J. M. (2022). Adaptive LRFU replacement policy for named data network in industrial IoT. *ICT Express*, 8(2), 258–263. <https://doi.org/10.1016/j.icte.2021.10004>
- Rahmadani, A. A., Syaifudin, Y. W., Setiawan, B., Panduman, Y. Y. F., & Funabiki, N. (2025). Enhancing

Campus Environment: Real-Time Air Quality Monitoring Through IoT and Web Technologies. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, 14(1). <https://doi.org/10.3390/jsan14010002>

Sampedro, G. A. R., Putra, M. A. P., & Abisado, M. (2023). 3D-AmplifAI: An Ensemble Machine Learning Approach to Digital Twin Fault Monitoring for Additive Manufacturing in Smart Factories. *IEEE Access*, 11, 64128–64140. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3289536>

Santoso, F., Gusti, I., Pramesti, A., Putri, D., & Putu Noviyanti Kusuma, N. (2025). CORE BANKING TESTING PADA FITUR CONFIGURATION USER DI BPR LESTARI BALI. In *Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika* (Vol. 9, Number 3).