

Implementasi Teknologi Internet of Things (IoT) pada Sistem *Smart-Ventilation* Lab Kimia Berbasis ESP32 dengan Fitur Notifikasi *Real-Time*

Adi Lukman Maulana^{1*}, Alvifah Diyan Safitri², Stefanus Ardi Prasetyo³, Pramono⁴

^{1*}Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa
230103212@mhs.udb.ac.id

²Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa
230103215@mhs.udb.ac.id

³Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa
230103237@mhs.udb.ac.id

⁴Teknik Informatika/Ilmu Komputer
Universitas Duta Bangsa
pramono@udb.ac.id

Abstrak— Kesadaran akan bahaya gas polutan di laboratorium kimia sering kali rendah karena sifat polutan yang tidak berwarna dan tidak berbau. Penelitian ini merancang sistem *Smart-Ventilation* berbasis ESP32 yang mengintegrasikan teknologi IoT untuk meningkatkan standar keamanan di ruangan praktikum. Berbeda dengan alat pendeteksi biasa, sistem ini menggabungkan sensor kualitas udara MQ-135 dengan sensor suhu dan kelembapan (DHT) untuk memberikan perlindungan menyeluruh. Melalui aplikasi Blynk, ESP32 mengirimkan data secara *real-time* dan memberikan kendali penuh kepada pengguna, baik secara manual maupun otomatis. Sistem akan memerintahkan ventilasi dan miniatur AC untuk aktif secara mandiri saat mendeteksi ambang batas bahaya, sekaligus mengirimkan notifikasi instan ke smartphone. Implementasi ini membuktikan bahwa otomatisasi tata udara dapat meminimalisir risiko kecelakaan kerja akibat paparan zat kimia berbahaya secara efektif.

Kata kunci— ESP32, *Smart-Ventilation*, IoT, Blynk, Laboratorium Kimia, Sensor MQ-135.a

Abstract— *Low awareness of hazardous pollutants in chemistry labs is often caused by pollutants that are colorless and odorless. This study designs an ESP32-based Smart-Ventilation system that integrates IoT technology to improve safety standards in practical rooms. Unlike conventional detectors, this system combines the MQ-135 air quality sensor with temperature and humidity sensors (DHT) to provide comprehensive protection. Through the Blynk application, ESP32 transmits real-time data and provides full control to users, both manually and automatically. The system triggers ventilation and miniature AC units independently when detecting hazardous thresholds while simultaneously sending instant notifications to smartphones. This implementation proves that air management automation can effectively minimize the risk of workplace accidents due to hazardous chemical exposure.*

Keywords— ESP32, *Smart-Ventilation*, IoT, Blynk, Chemical Laboratory, MQ-135 Sensor

I. PENDAHULUAN

Udara merupakan komponen krusial yang sangat mempengaruhi kelangsungan hidup, kesehatan, dan kenyamanan manusia [1], [2]. Di era modern ini, kualitas udara dalam ruangan (*Indoor Air Quality*) menjadi isu kesehatan masyarakat yang sangat serius karena polusi di dalam ruangan tertutup sering kali beberapa kali lipat lebih buruk dan berbahaya dibandingkan di luar ruangan [1], [3]. Laboratorium merupakan sarana krusial dalam lingkungan institusi pendidikan tinggi yang berfungsi menunjang kegiatan praktikum, penelitian ilmiah, dan pengembangan

inovasi teknologi. Sebagai tempat yang melibatkan intensitas aktivitas eksperimental yang tinggi, aspek Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) menjadi pilar utama yang harus dipenuhi demi menjamin perlindungan menyeluruh bagi seluruh aktivitas akademik. Seiring tingginya mobilitas penggunaan laboratorium, risiko paparan zat udara berbahaya kian meningkat, terutama pada ruang praktikum kimia yang kerap mereaksikan berbagai bahan kimia volatil. Karakteristik ruangan laboratorium yang tertutup seringkali mempercepat proses akumulasi gas-gas sisa reaksi yang bersifat toksik di dalam ruangan.

Untuk mengatasi kelemahan sistem ventilasi konvensional tersebut, diperlukan sistem pemantauan dan pengendalian kualitas udara otomatis berbasis Internet of Things (IoT)[4]. Teknologi IoT memungkinkan integrasi berbagai sensor fisik ke dalam jaringan internet untuk memantau data lingkungan secara jarak jauh dan mengambil tindakan preventif secara mandiri[5]. Dalam perancangan arsitektur perangkat kerasnya, mikrokontroler ESP32 umumnya dipilih sebagai pusat kendali utama karena memiliki prosesor yang cepat, memori yang memadai, serta dukungan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth bawaan[6], [7]. Pendeteksian polutan di udara dilakukan menggunakan sensor MQ-135 yang memiliki sensitivitas tinggi terhadap berbagai gas berbahaya secara simultan seperti CO₂, amonia, benzena, dan asap[7]. Sementara itu, parameter suhu dan kelembaban udara dipantau menggunakan sensor DHT11 atau DHT22, dimana sensor DHT22 dinilai memiliki tingkat presisi dan akurasi pengukuran yang lebih baik dibandingkan dengan DHT11[4]. Ketika kadar gas melewati ambang batas normal, sistem akan bekerja secara otomatis dengan menghidupkan exhaust fan untuk membuang kadar gas dan mendinginkan suhu yang ada serta menyalakan alarm apabila indikator mencapai batas maksimal berbahaya.

Selain pengendalian perangkat keras, data hasil pemantauan dikirimkan secara real-time ke platform cloud seperti aplikasi Blynk guna memberikan indikator status visual, peringatan dini (early warning), dan kemudahan akses bagi pengguna [5], [8]. Rancang bangun sistem ini bertujuan untuk menciptakan purwarupa pemantau kualitas udara cerdas yang akurat, efisien secara energi, dan andal, yang mampu menjaga stabilitas udara dalam ruangan serta meningkatkan keselamatan dan kenyamanan proses aktivitas penggunaannya [5]. Penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan teknologi IoT pada sistem *Smart-Ventilation* lab kimia dengan menggunakan ESP32. Sistem tidak hanya mendeteksi udara yang berbahaya, tetapi juga akan memberikan notifikasi dan menyalakan ventilasi udara secara otomatis. Dalam pengembangannya, sistem ini juga mengintegrasikan sensor suhu dan kelembaban untuk memastikan kondisi laboratorium tetap optimal bagi

kegiatan penelitian. Pengguna dapat memantau data kualitas udara dan mengontrol perangkat secara manual maupun otomatis melalui aplikasi Blynk pada smartphone mereka. Diharapkan sistem ini dapat meningkatkan standar keselamatan kerja di laboratorium kimia dengan cerdas dan responsif. Risiko kecelakaan kerja akibat paparan zat kimia berbahaya dapat diminimalkan secara signifikan.

II. METODOLOGI PENELITIAN

Metodologi yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan metode prototyping yang terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu analisis kebutuhan sistem, perancangan perangkat keras (*hardware*), perancangan perangkat lunak (*software*), integrasi sistem IoT, dan metode pengujian.

A. Metode Pengumpulan Data

Metode pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga tahapan utama guna memperoleh landasan perancangan sistem yang akurat :

1. Studi Literatur

Dilakukan dengan menelaah jurnal ilmiah, dokumen paten, dan *datasheet* komponen elektronik terkait mikrokontroler ESP32, sensor MQ-135, dan sensor DHT-22 [4], [5]. Kajian pustaka ini bertujuan untuk menetapkan nilai ambang batas (*threshold*) dari paparan gas kimia berbahaya maupun indeks standar pencemaran udara (ISPU) yang dapat berdampak buruk pada kesehatan manusia di dalam ruangan [9]. Selain itu, studi literatur digunakan untuk mempelajari arsitektur perancangan Internet of Things (IoT), algoritma konversi data analog menjadi satuan PPM (*Parts Per Million*), serta proses integrasi perangkat keras dengan platform antarmuka (*user interface*) seperti aplikasi Blynk[10].

2. Observasi

Kami melakukan pengamatan langsung terhadap kondisi sistem sirkulasi udara di ruang laboratorium kimia. Pengamatan ini bertujuan untuk mengidentifikasi celah keamanan dari sistem ventilasi yang ada, mendeteksi sumber potensi polutan (seperti asap mesin, bahan kimia, atau kepadatan penghuni), serta menentukan titik-titik paling strategis untuk

penempatan (*placement*) perangkat sensor [5], [8]. Hasil observasi menunjukkan adanya celah keamanan di mana sistem ventilasi yang ada belum mampu melakukan tindakan koreksi fisik secara otomatis saat gas beracun yang tidak kasat mata mulai terakumulasi di ruangan.

3. Eksperimen Kalibrasi

Mengumpulkan data parameter udara pada dua kondisi lingkungan, yaitu pengukuran data ADC awal pada kondisi udara bersih (*clean air*) sebagai nilai acuan dasar, serta pengumpulan data respons sensor saat dipaparkan zat kimia uji secara berkala. Metode ini berfungsi untuk memvalidasi akurasi data hasil pengukuran perangkat keras yang dirancang dengan mengujinya terhadap kondisi yang terkontrol dan membandingkannya dengan standar acuan dari *datasheet* produk sensor. Tahapan ini meliputi : (1) Kalibrasi Sensor Gas MQ-135. Dilakukan dengan mengumpulkan data tegangan/resistansi awal pada kondisi udara bersih yang dikeluarkan oleh sensor menggunakan rumus:

$$V_{out} = \frac{ADC - Raw}{4095} \times 3,3$$

ADC-Raw merupakan hasil data dari tegangan yang dikirimkan oleh pin analog dari sensor MQ-135. Nilai 4095 didapat dari rentang bit yang dibaca oleh perangkat ESP-32, dan nilai 3,3 diperoleh dari pembacaan input pin GPIO dari perangkat Esp-32. Selanjutnya, mencari nilai hambatan daya dari sensor yaitu dengan rumus:

$$R_s = \frac{V_{CC} \times V_{out}}{V_{out}} \times R_L$$

VCC merupakan tegangan input yang diberikan kepada sensor MQ-135. Dengan ini, kami menggunakan tegangan 5 V DC. RL merupakan nilai hambatan yang terpasang di perangkat sensor MQ-135. Sensor yang kami gunakan adalah MQ-135 dari Flying-Fish yang mempunyai nilai hambatan sebesar 1000 ohm. Selanjutnya menghitung R0 sebagai hambatan sensor saat udara bersih dengan rumus:

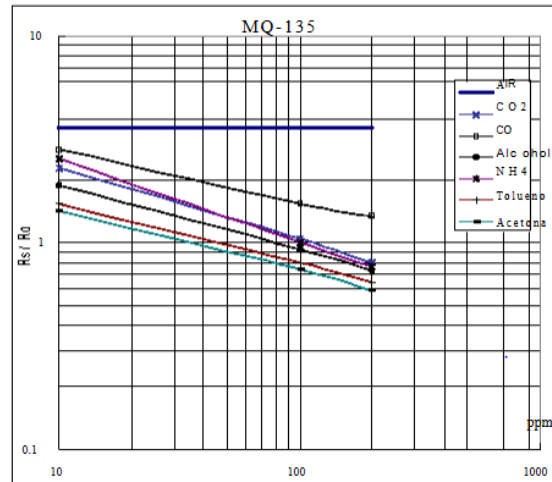
$$R_0 = \frac{R_s}{3,6}$$

Nilai 3.6 didapat dari rasio perbandingan RS dan R0 di udara bersih berdasarkan kurva pada *datasheet*. Selanjutnya, mencari nilai perbandingan antara RS

dan R0 yang akan menentukan udara bersih atau tidak dengan rumus:

$$Ratio = \frac{R_s}{R_0}$$

Semakin kecil nilai rasionya, udara semakin kotor.

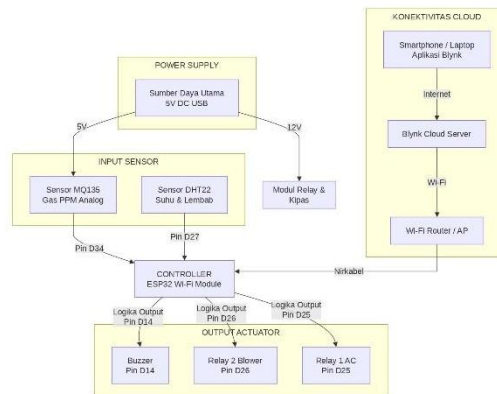


Gambar 1. Kurva perbandingan PPM dengan rasio (RS/R0).

Setelah itu, sensor dipaparkan pada gas uji (seperti simulasi asap atau gas) di dalam sebuah kotak uji isolasi (misalnya kotak mika transparan). Data perubahan resistansi (R_s) dicatat dan dikonversi menjadi nilai rasio untuk menentukan udara berbahaya atau tidak [11]. (2) Kalibrasi Suhu dan Kelembaban (DHT22): Data hasil pembacaan suhu dan kelembaban dari mikrokontroler akan dicatat secara berkala [12].

B. Arsitektur dan Alur Kerja Sistem

Integrasi sistem *Smart-Ventilation* laboratorium kimia ini dibangun berbasis *Internet of Things* (IoT) dengan membagi komponen ke dalam beberapa blok fungsional yang saling terhubung: *Power Supply*, *Input Sensor*, *Controller*, *Output Actuator*, dan *Konektivitas Cloud*. Hubungan antarkomponen di dalam diagram blok arsitektur ini ditunjukkan secara rinci pada Gambar 1



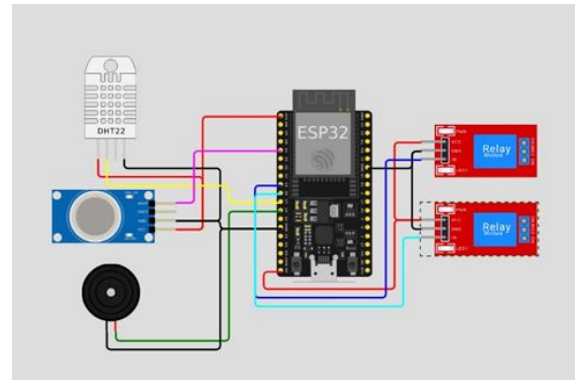
Gambar 2. Arsitektur dan Alur Kerja Sistem

Integrasi sistem *Smart-Ventilation* laboratorium kimia ini dibangun dengan membagi komponen ke dalam lima blok fungsional utama yang saling terhubung. Sistem ini beroperasi menggunakan dua jalur distribusi daya dari *Power Supply*, yaitu tegangan 5 V DC untuk menyalurkan energi ke blok *Input Sensor* (sensor MQ-135 dan DHT22), serta tegangan 12 V DC yang dialirkan khusus untuk menggerakkan blok aktuator fisik seperti modul relay dan kipas mekanis. Pada blok *Input Sensor*, sensor MQ-135 bertindak sebagai unit pengumpul kadar gas polutan yang mengirimkan data analognya menuju pin D34 ESP32, sedangkan sensor DHT22 membaca parameter digital suhu dan kelembaban ruangan melalui pin D27. Kedua parameter lingkungan tersebut kemudian diproses oleh mikrokontroler ESP32 Wi-Fi Module yang bertindak sebagai pusat kendali (*controller*) sistem.

Ketika logika pemrograman mendeteksi bahwa parameter udara atau suhu telah melebihi ambang batas (*threshold*) aman yang ditentukan, ESP32 secara otomatis akan mengaktifkan blok *Output Actuator* secara bersamaan melalui tiga pin digital, yaitu Pin D14 untuk membunyikan alarm suara pada *Buzzer*, Pin D26 untuk memicu Relay 2 agar menyalakan kipas pembuangan (*Blower*), dan Pin D25 untuk memicu Relay 1 agar mengaktifkan sistem pendingin ruangan (AC). Di saat yang bersamaan, ESP32 juga memanfaatkan konektivitas nirkabelnya untuk mengirimkan paket data tersebut ke jaringan internet melalui Wi-Fi router atau *Access Point* terdekat. Data ini kemudian diteruskan menuju *Blynk Cloud Server* untuk disimpan, hingga akhirnya ditarik

secara *real-time* oleh *smartphone* atau laptop pengguna melalui aplikasi Blynk dalam bentuk tampilan grafik monitoring dan indikator angka yang mudah dipahami dari jarak jauh.

C. Perancangan Perangkat Keras

Gambar 3. Rancangan rangkaian *Hardware*

Perancangan perangkat keras mengintegrasikan beberapa komponen utama seperti berikut:

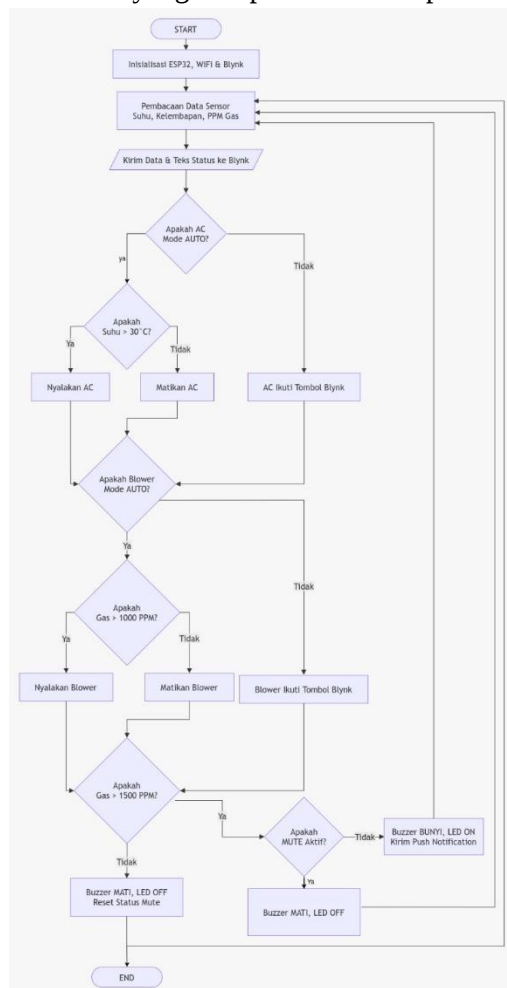
1. ESP32: Sebagai pusat pemrosesan sistem yang memiliki beberapa keunggulan, seperti modul Wi-Fi yang sudah menjadi satu.
2. Sensor MQ-135: Sebagai alat pembaca kualitas udara yang mampu membaca berbagai polutan seperti alkohol, amonia, dan zat udara lainnya yang umum ditemukan di laboratorium kimia.
3. DHT-22: Sensor yang dapat membaca suhu dan kelembaban dari ruangan tersebut.
4. Modul Relay: Berfungsi sebagai pengendali aliran sumber listrik untuk menyalakan perangkat kipas exhaust. dapat menghidupkan atau mematikan perangkat yang terhubung sesuai perintah dari ESP32
5. Fan atau Kipas DC: Berfungsi mengalirkan udara yang tercemar ke luar area ruangan dan dapat berfungsi sebaliknya, mengambil udara luar yang bersih ke dalam ruangan.
6. Buzzer: Sebagai alarm fisik di lokasi saat kadar udara mencapai level tertentu atau berbahaya.

D. Perancangan Perangkat Lunak

Pemrograman ESP32 dilakukan melalui Arduino IDE dan VS Code dengan bahasa pemrograman C++. Logika pemrograman digunakan untuk mengolah data yang terbaca pada sensor menjadi informasi yang

mudah dipahami dan mengirim informasi tersebut ke perangkat terkait maupun pengguna. Penelitian ini menerapkan sistem *Threshold*, yaitu ambang batas, di mana jika nilai baca yang dihasilkan sensor melebihi atau kurang dari ambang batas, akan mengeksekusi perintah terhadap perangkat relay dan mengirim notifikasi ke Blynk. Penggunaan ini sesuai dengan sistem bangun alat pendeteksi kebocoran gas yang menggunakan nilai sensor sebagai pemicu alarm.

Alur kerja sistem *Smart-Ventilation* ini dirancang untuk bekerja secara berulang, manual, dan otomatis. ESP32 bertindak sebagai pusat pemrosesan data. Data yang didapat dari sensor akan dikirimkan ke *Blynk* secara terus-menerus sehingga dapat dipantau pengguna dengan smartphone. Sistem dijalankan mulai dari inisialisasi perangkat dan koneksi internet hingga pengambilan keputusan berdasarkan data yang diperoleh dari sensor. Gambar 3 menunjukkan alur diagram sistem yang diimplementasikan pada ESP32.



Gambar 4. Flowchart Sistem

Logika pemrograman perangkat lunak pada sistem *Smart-Ventilation* ini dirancang menggunakan algoritma kontrol percabangan berbasis kondisi berlapis (*nested-if*) yang dieksekusi di dalam perulangan utama secara kontinu. Mekanisme kerja program dimulai saat alat dinyalakan, di mana mikrokontroler ESP32 melakukan inisialisasi awal pada pin komponen hardware serta membangun sinkronisasi konektivitas nirkabel ke jaringan Wi-Fi dan server Blynk. Memasuki siklus pemantauan, sistem secara periodik melakukan pembacaan parameter lingkungan berupa nilai suhu dan kelembaban dari sensor DHT22 serta kadar gas dari sensor MQ135, yang hasilnya langsung ditransmisikan ke *dashboard* Blynk dalam bentuk data angka dan teks status visual.

Mekanisme kendali sirkulasi udara dibagi menjadi dua tahapan keputusan, yaitu pengaturan pendingin ruangan (AC) dan kipas pembuangan (*blower*). Pada sistem AC, program pertama kali memeriksa status kontrol yang dikirim dari aplikasi Blynk. Jika terdeteksi berada pada "Mode AUTO" (jalur Ya) dan parameter suhu ruangan terbaca melebihi batas, maka ESP32 akan mengirimkan sinyal untuk menyalakan AC. Namun, jika suhu berada di bawah batas tersebut, AC akan dimatikan otomatis demi efisiensi daya. Apabila mode otomatis dinonaktifkan (jalur Tidak), logika kontrol AC sepenuhnya beralih mengikuti instruksi penekanan tombol manual oleh pengguna pada aplikasi Blynk. Alur pengujian yang sama diterapkan pada subsistem *Blower*, di mana pada kondisi otomatis dan kadar gas polutan terdeteksi melebihi batas aman, relay akan memicu *Blower* untuk aktif membuang udara kotor. Sebaliknya, jika kadar gas berada di bawah ambang batas tersebut, *Blower* akan dimatikan atau sistem akan beralih ke mode manual mengikuti penekanan tombol virtual pada Blynk apabila status otomatis berada pada posisi nonaktif (jalur Tidak).

Tahap akhir dari alur logika program ini mengatur mekanisme peringatan dini (*early warning system*) melalui kondisi kritis gas dan fitur mode senyap (*mute button*). Ketika kadar akumulasi gas beracun di laboratorium melonjak tajam melebihi batas bahaya (jalur Ya), sistem akan melakukan pengecekan terhadap status tombol *MUTE* di aplikasi. Jika fitur

MUTE tidak aktif (jalur Tidak), maka ESP32 akan langsung mengaktifkan alarm fisik berupa *buzzer* yang berbunyi, menyalakan indikator LED, dan mengirimkan notifikasi peringatan instan (*push notification*) ke smartphone pengguna. Namun, jika pengguna mengaktifkan mode senyap (jalur Ya), alarm suara *buzzer* dan lampu LED akan dimatikan sementara untuk mencegah kebisingan berlebih di area praktikum. Apabila hasil pembacaan gas berada di bawah batas kritis (jalur Tidak), *Buzzer* dan LED otomatis mati, serta status fungsional tombol *Mute* akan direset kembali ke posisi awal. Setelah seluruh rangkaian instruksi logika kontrol tersebut selesai dieksekusi, alur program tidak berhenti, melainkan berputar kembali (*looping*) menuju tahap pembacaan data sensor untuk memastikan siklus pemantauan laboratorium tetap berjalan secara *real-time* dan berkelanjutan.

E. Integrasi Sistem dengan Blynk

Blynk merupakan platform IoT berupa aplikasi yang tersedia untuk perangkat iOS dan Android yang dirancang khusus untuk memantau serta mengendalikan perangkat mikrokontroler seperti ESP32 secara nirkabel melalui jaringan internet. Dalam arsitektur pemantauan kualitas udara ini, aplikasi Blynk bertindak sebagai lapisan aplikasi (*application layer*) yang berfungsi memvisualisasikan data lingkungan kepada pengguna secara *real-time*. Proses integrasi dimulai dengan menghubungkan mikrokontroler ESP32 ke server Blynk Cloud melalui konfigurasi protokol komunikasi Wi-Fi [4]. Data suhu, kelembaban, dan kadar gas polutan divisualisasikan dalam bentuk grafik serta indikator angka yang mudah dipahami pada layar smartphone. Selain pemantauan, platform ini juga menyediakan fitur kendali manual melalui tombol virtual yang memungkinkan pengguna mengaktifkan ventilasi kapan saja diperlukan. Komunikasi dua arah ini memastikan bahwa keamanan laboratorium tetap terjaga dengan respons yang sangat cepat meskipun dari jarak jauh. Hal ini mempermudah pengembangan iot tanpa harus membuat aplikasi atau website pemantau.

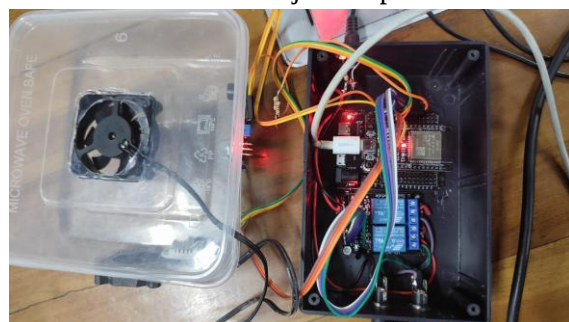
F. Metode Pengujian

Tahapan pengujian sistem (*system testing*) dilakukan secara komprehensif untuk mengevaluasi kinerja, akurasi, dan keandalan purwarupa yang telah dirancang, baik dari sisi fungsionalitas perangkat keras (*hardware*) maupun perangkat lunak (*software*) [2], [6]. Pengujian pertama dilakukan pada semua sensor MQ-135 dan DHT-22 yang digunakan, dimana akan diukur sensitivitasnya terhadap paparan suhu, kelembaban, atau polutan udara, dan dicatat nilai yang dihasilkan. Pengujian kedua, yaitu performa *Internet of Things* (IoT) dan pengujian respons aktuator, juga menjadi aspek krusial dalam tahap ini. Pengujian perangkat lunak mencakup evaluasi stabilitas modul koneksi nirkabel (Wi-Fi) dari mikrokontroler ESP32 dalam mentransmisikan data ke platform cloud Blynk, pengukuran tingkat kehilangan paket data (*packet loss*), serta memastikan bahwa visualisasi pada dashboard aplikasi dapat diperbarui secara *real-time* pada interval waktu yang telah dikonfigurasi. Pengujian ketiga pada sistem kendali otomatis dengan diuji kelayakannya seberapa cepat tanggap mikrokontroler memberikan instruksi pada exhaust fan dan peringatan *buzzer*. Secara keseluruhan, prototipe alat akan diuji dalam lingkungan tertutup kecil untuk mengetahui kinerja alat tersebut.

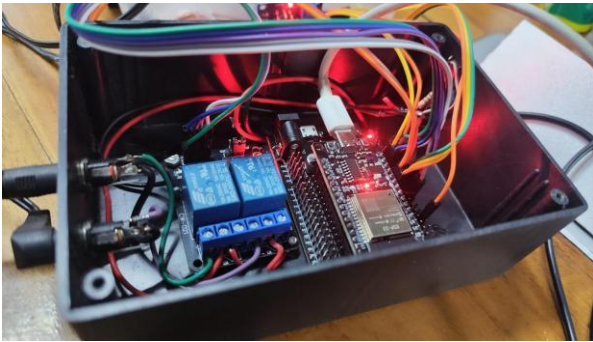
III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Implementasi Sistem

Implementasi sistem ini terdiri dari perakitan perangkat keras (*hardware*) dan integrasi perangkat lunak (*software*). Pada sisi perangkat keras, sistem diwujudkan dalam dua unit kotak instrumen utama, yaitu kotak pusat kendali (*controller box*) dan kotak pengujian parameter lingkungan (*chamber test box*). Hubungan pengawatan dan hasil rakitan prototipe sistem secara utuh ditunjukkan pada berikut.



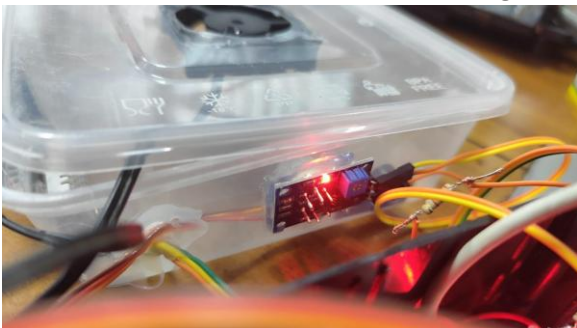
Gambar 5. Prototipe Alat dan Kotak Test



Gambar 6. Kotak Pusat Kendali Berbasis ESP32



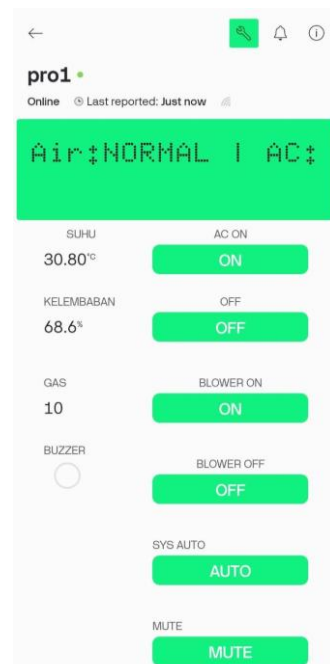
Gambar 7. Kotak Test Simulasi Ruangan.



Gambar 8. Pemasangan Sensor MQ-135 pada Dinding Wadah Simulasi Ruangan.

Sistem ini diimplementasikan secara fisik ke dalam dua kompartemen terpisah guna mengisolasi sirkulasi udara pengujian dari pusat pemrosesan data elektrik. Pemisahan ini bertujuan untuk mencegah interferensi termal sekaligus melindungi mikrokontroler dari paparan zat kimia secara langsung. Kompartemen pertama berupa Kotak Pusat Kendali (*Controller Box*) berbahan *enclosure* tertutup warna hitam. Bagian internalnya memuat mikrokontroler ESP32 yang terhubung langsung ke modul *relay* 2-channel via kabel *jumper interface female-to-female*. Daya utama sistem disuplai secara eksternal melalui adaptor via port USB tipe-C pada ESP32, yang sekaligus mendistribusikan tegangan

kerja ke komponen digital lainnya. Kompartemen kedua adalah Kotak Pengujian Parameter (*Chamber Test Box*) yang menggunakan wadah terisolasi transparan demi memudahkan observasi visual selama simulasi paparan gas kimia. Pada bagian ini, sensor MQ-135 dipasang menembus dinding samping kotak agar bagian detektornya berinteraksi langsung dengan udara internal. Sebagai aktuatur sistem *Smart-Ventilation*, sebuah kipas DC (*exhaust fan*) ditempatkan pada penutup atas kotak dan dikendalikan oleh modul *relay*. Ketika konsentrasi gas atau suhu melampaui ambang batas (*threshold*), ESP32 akan mengaktifkan *relay* untuk menyalakan kipas guna membuang udara terkontaminasi keluar dari *chamber*.



Gambar 9. Tampilan Sistem Pada Blynk.

B. Pengujian Fungsional Perangkat



Gambar 10. Pengujian dengan gas korek api.

Pengujian fungsional perangkat keras (*hardware*) dan perangkat lunak (*software*) merupakan tahapan krusial yang bertujuan untuk memvalidasi bahwa seluruh komponen yang telah dirakit dapat merespons perubahan kondisi lingkungan laboratorium secara tepat. Pengujian ini dirancang untuk membuktikan keandalan algoritma percabangan berbasis kondisi berlapis (*nested-if*) yang telah ditanamkan ke dalam mikrokontroler ESP32. Melalui pengujian fungsional ini, dapat diketahui apakah sistem *Smart-Ventilation* mampu mengeksekusi instruksi otomatisasi tata udara dan pengiriman data internet secara sinkron tanpa adanya *error*, keterlambatan transisi logika, maupun malfungsi sirkuit elektrik. Prosedur pengujian fungsional ini dilakukan dengan menyimulasikan beberapa variasi kondisi lingkungan nyata di dalam kotak uji isolasi (*chamber test box*), serta menguji interaksi kendali digital jarak jauh menggunakan platform IoT Blynk. Secara rinci, penjabaran dari masing-masing skenario pengujian fungsional tersebut dijelaskan pada tabel berikut:

No	Parameter Sensor	Mode	Logika Sistem	Relay 1 (AC)	Relay 2	Buzzer	Teks Indikator	Kesimpulan
1	Udara Bersih (Ratio 3.6), Suhu < 30°C	AUTO	NORMAL	MATI	MATI	MATI	"Status= NORMAL"	Berhasil
2	Terdeteksi Gas Polutan (Ratio = 1.0 - 1.9)	AUTO	WASPADA	MATI	HIDUP	MATI	"Status= WASPAD A"	Berhasil
3	Udara Bersih, Terdeteksi Suhu Ruang > 30°C	AUTO	SUHUTINGGI	HIDUP	MATI	MATI	"Suhu > 30°C"	Berhasil
4	Kritis (Ratio < 0.4), Fitur MUTE Nonaktif	AUTO	BAHAYA	HIDUP	HIDUP	BUNYI	"AWAS! GAS K..."	Berhasil
5	Tombol Virtual Blower Ditekan (ON)	MANUAL	USER CONTROL	MATI	HIDUP	MATI	"Blower MANUAL"	Berhasil

Tabel 1. Pengujian Fungsional Perangkat

```
Temp=31.60C Hum=65.30% ADC=97 V=0.078 Rs=62.964 Ratio=7.975 Status=NORMAL
Temp=31.60C Hum=65.40% ADC=97 V=0.078 Rs=62.964 Ratio=7.975 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=91 V=0.073 Rs=67.182 Ratio=8.509 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=94 V=0.076 Rs=65.006 Ratio=8.234 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=93 V=0.075 Rs=65.716 Ratio=8.324 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=87 V=0.070 Rs=70.317 Ratio=8.906 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=92 V=0.074 Rs=66.441 Ratio=8.416 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=93 V=0.075 Rs=65.716 Ratio=8.324 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=91 V=0.073 Rs=67.182 Ratio=8.509 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.50% ADC=90 V=0.073 Rs=67.939 Ratio=8.605 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.60% ADC=91 V=0.073 Rs=67.182 Ratio=8.509 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.60% ADC=90 V=0.073 Rs=67.939 Ratio=8.605 Status=NORMAL
Temp=31.50C Hum=65.70% ADC=89 V=0.072 Rs=68.714 Ratio=8.703 Status=NORMAL
```

Gambar 11 Tampilan Laporan Pada Blynk

C. Pembahasan pengujian Akurasi Sensor dan Waktu Jeda

Setelah seluruh fungsi sistem tervalidasi dengan baik, pengujian dilanjutkan ke tahap analisis kuantitatif. Tahap ini berfokus pada pengukuran tingkat akurasi pembacaan parameter lingkungan oleh sensor MQ-135 dan DHT22, serta evaluasi waktu jeda (*latency*) pada transmisi data berbasis IoT. Proses pengujian dilakukan secara menyeluruh di dalam *chamber test box* terisolasi untuk menjamin bahwa parameter fisik seperti nilai resistansi, tegangan, dan rasio yang terbaca oleh mikrokontroler ESP32 memenuhi standar presisi ilmiah yang ditetapkan. Berikut adalah hasil pengujian akurasi sensor :

1. Analisis Kualitas Udara Bersih dan Normal

Pengujian akurasi pertama dilakukan pada kondisi udara ambien laboratorium yang bersih tanpa adanya paparan zat kimia volatil berbahaya. Berdasarkan perekaman data log serial keluaran dari resolusi 12-bit ESP32, diperoleh parameter numerik yang sangat stabil. Ketika ruangan berada dalam kondisi bersih, sensor MQ-135 mendeteksi nilai ADC (Analog-to-Digital Converter) yang rendah pada rentang angka 77 hingga 122. Nilai data mentah digital tersebut dikonversi menggunakan rumus tegangan referensi 3.3 V ESP32 dan menghasilkan nilai tegangan fisik (V) berkisar antara 0.062 V–0.098 V. Melalui penurunan rumus hambatan sensor dengan nilai beban resistor (Ω) sebesar 1.0, diperoleh nilai resistansi internal sensor (Ω) yang tinggi, yaitu berkisar antara 49.857 Ω . Dengan nilai Ω statis sebesar 7.895, kalkulasi akhir menghasilkan nilai *rasio* sensitivitas pada rentang **6.315 hingga 10.080**. Berdasarkan standar kurva *datasheet* MQ-135, setiap nilai rasio yang berada di atas angka **3.6** secara valid merepresentasikan kualitas udara yang bersih, murni, dan bebas dari kontaminasi gas beracun. Bersamaan dengan itu, parameter

termal dari sensor DHT22 mendeteksi suhu stabil pada 31.4°C dengan kelembapan rata-rata 65.6%. Seluruh rekaman data log kondisi udara bersih ini disajikan secara lengkap pada tabel berikut.

No	Suhu (C)	Lembab (%)	ADC	Rasio	Status
1	31.4	65.6	122	6.315	NORMAL
2	31.4	65.6	117	6.59	NORMAL
3	31.4	65.6	112	6.89	NORMAL
4	31.4	65.6	107	7.218	NORMAL
5	31.4	65.6	100	7.732	NORMAL
6	31.4	65.6	101	7.654	NORMAL
7	31.4	65.7	94	8.234	NORMAL
8	31.4	65.7	89	8.703	NORMAL
9	31.4	65.6	84	9.229	NORMAL
10	31.4	65.6	80	9.697	NORMAL
11	31.4	65.4	77	10.08	NORMAL

Tabel 2. Data Log Pembacaan Sensor pada Kondisi Udara Normal dan Bersih

2. Analisis Kualitas Udara Kotor (Terpapar Gas)

Kualitas udara ditunjukkan dengan memberi paparan udara kotor terhadap alat yang dibuat. Paparan partikel udara yang bertambah pekat akan menambah resistansi pada sensor sehingga tegangan output yang dihasilkan oleh sensor yang dikirim ke esp-32 berkurang. Nilai tegangan ini akan membuat rasio semakin kecil.

3. Analisis Pembagian Udara Berdasarkan Rasio

Rasio akan dibagi menjadi beberapa indikator. Tingkatan udara bersih atau normal dimulai dari rasio 3.6 sesuai dengan *datasheet* sensor MQ-135. Status waspada dimulai dari rasio 2. Sedangkan kategori tinggi adalah di bawah rasio 1. Dan dikatakan berbahaya apabila berada di rasio 0.4 ke bawah.

4. Pengujian Jeda Waktu Transmisi Data IoT

Pengujian waktu transmisi menghasilkan data sebagai berikut:

No	Waktu Deteksi	Waktu Update (WIB)	Selisih (detik)	Kualitas Sinyal Wi-Fi
1	14:02:10	14:02:12		Stabil (-55 dBm)
2	14:02:15	14:02:18		Stabil (-56 dBm)
3	14:02:20	14:02:22		Stabil (-55 dBm)
Rata-rata	-	-	2.33	Koneksi Sangat Baik

Tabel 3. Data Log Waktu Pembacaan Sensor dan pengiriman data pada Blynk

Untuk mengetahui keandalan sistem, dilakukan pengujian akurasi sensor dengan pembacaan DHT-22 dan MQ-135 secara kontinu dalam kondisi yang terkontrol dan dibandingkan dengan *datasheet* sensor MQ-135. Data yang dihasilkan sebagai berikut:

No	Suhu (C)	Kelembapan (%)	ADC	Rasio	Status
1	31	66.8	610	1.162	WASPADA
2	31	67.1	560	1.277	WASPADA
3	31	67.1	464	1.567	WASPADA
4	31	67.1	409	1.795	WASPADA
5	31	67	383	1.925	WASPADA

Tabel 4. Data Log Pembacaan Sensor pada Kondisi Udara Terpapar Polutan

Hasil pengukuran menunjukkan bahwa sensor mampu merespons perubahan kondisi ruangan dengan baik dan linier. Selain itu, pengujian

waktu jeda (delay) menunjukkan respons sistem yang sangat cepat; waktu yang dibutuhkan sejak threshold terlampaui hingga sistem menyalakan kipas exhaust dan memunculkan notifikasi di smartphone hanya memakan waktu beberapa detik. Hal ini membuktikan bahwa sistem dapat bertindak sigap sebelum gas beracun yang tidak kasat mata terakumulasi dan membahayakan praktikan.

IV. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan dan pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa sistem *Smart-Ventilation* laboratorium kimia berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32 telah berhasil diimplementasikan. Integrasi antara sensor MQ-135 dan DHT-22 terbukti mampu mendeteksi peningkatan kadar gas polutan berbahaya serta memantau suhu dan kelembaban ruangan secara *real-time*. Berbeda dengan sistem pendeteksi konvensional, inovasi sistem ini mampu memberikan tindakan koreksi fisik secara otomatis, yaitu dengan menyalakan kipas *exhaust* dan AC melalui kendali relay saat parameter lingkungan melampaui batas aman (*threshold*). Penggunaan platform Blynk juga sangat efektif dalam memberikan visualisasi data dan notifikasi peringatan dini secara instan kepada pengguna dari jarak jauh. Dengan demikian, otomasi tata udara ini secara proaktif dapat menciptakan lingkungan laboratorium kimia yang lebih sehat dan meminimalisir risiko kecelakaan kerja akibat paparan zat kimia beracun bagi para praktikan dan laboran.

Ucapan Terima Kasih

Penulis menyampaikan rasa terima kasih yang mendalam kepada semua pihak yang telah berkontribusi dan mendukung terlaksananya penelitian ini. Ucapan apresiasi setinggi-tingginya kepada para responden atas partisipasi aktif serta kerjasamanya selama proses pengumpulan data hingga penyelesaian laporan penelitian ini.

REFERENSI

- [1] R. Muttaqin, W. Sakti, W. Prayitno, and N. Erna, "Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot (Internet of Things dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135," vol. 6, no. 2, pp. 102–115, 2024.
- [2] B. Surbakti, J. Gusti, A. Ginting, S. Romadhona, and M. B. Ginting, "SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA RUANGAN DENGAN," vol. 1, pp. 129–137, 2024, doi: 10.61124/sinta.v1i3.25.
- [3] G. P. Humairoh, R. Dani, and E. Putra, "Prototipe Pengendalian Kualitas Udara Indoor Menggunakan Mikrokontroler dengan Sensor MQ135 , DHT-22 dan Filter HEPA," vol. VII, no. 1, pp. 2529–2536, 2022.
- [4] Naipospos et al., "RANCANG BANGUN ALAT PEMANTAU KUALITAS UDARA REAL TIME BERBASIS ESP32 DAN INTERNET OF THINKS," vol. 4, no. 2, pp. 292–307, 2026.
- [5] M. Ikhwanudin and A. Wiranto, "RANCANG BANGUN SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DAN SUHU MENGGUNAKAN SENSOR MQ 135 DAN DHT 11 MELALUI WEBSITE BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," vol. 10, no. 1, pp. 1050–1058, 2026.
- [6] No, "Rancang Bangun Sistem Exhaust Fan Otomatis Berbasis Sensor DHT11 dan Mikrokontroler ESP32 untuk Peningkatan Kualitas Udara di Smoking Area," vol. 9, no. 1, pp. 102–112, 2025, doi: 10.30588/jeemm.v9i1.2161.
- [7] H. Ikhwanudin, J. Oktanuriawan, and K. Kunci, "Rancang Bangun dan Uji Kinerja Monitoring Kualitas Udara Sebagai Salah Satu Perangkat Kesehatan dan Keselamatan Kerja Di Laboratorium Rekayasa Pangan Design and Performance Test of Air Quality Monitoring as a Work Health and Safety Device in Food Engineering Laboratory," no. September, pp. 20–21, 2025, doi: 10.25047/nacia.v3i1.276.
- [8] T. Asri and M. N. Irfan, "Pengembangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruangan Berbasis IoT dengan Sensor MQ-135," no. 2018, pp. 35–42.
- [9] F. Azzarah, T. Utami, W. Kasoep, and N. P. Novani, "Prototype Sistem Pendeteksi dan Penetralsir Asap Rokok pada Ruangan dengan Fitur Monitoring Suhu dan Kelembaban," vol. 01, pp. 32–44, 2022.
- [10] M. A. Satryawan and E. Susanti, "IoT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32 D1 R32," vol. 6, no. 2, pp. 410–419, 2023.
- [11] J. A. N and A. Firmansah, "Sistem Automatic Exhaust Fan Menggunakan Sensor DHT11 Dan Sensor MQ-135 Untuk Mendeteksi Kualitas Udara Ruang Industri," vol. 7783, pp. 101–110, 2025.
- [12] S. Jaiswal and C. Panditkar, "Design and Experimental Analysis of a Low-Cost Multi-Gas Air Quality Monitoring System with MQ135 Sensor Using Arduino," International Journal of Research and Scientific Innovation (IJRSI), vol. 13, no. 4, pp. 1311–1318, Apr. 2026, doi: 10.51244/IJRSI.2026.1304000118.
- [13] Ari Bangkit Sanjaya Uumbu, "Analisis Grafik Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-135 Untuk Menentukan Persamaan Hubungan Antara ppm dan Rs/Ro" *J. Teori Apl. Fis.*, vol. 11, no. 2, pp. 49–60, Jul. 2023.