

IMPLEMENTASI IOT BERBASIS ESP32 UNTUK PEMANTAUAN KUALITAS UDARA DI ALUN-ALUN BUNG KARNO UNGARAN

Muhammad Afrizal Darmawansyah¹, Priyadi², Daniel Rudjiono³

¹²³Program Studi Sistem Komputer, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas STEKOM Ungaran

Alamat e-mail: 1mafrizaldarmawansyah@gmail.com, 2priyadi@stekom.ac.id,
3rudjiono@stekom.ac.id

ABSTRACT

Real-time air quality monitoring is essential for providing timely and continuous environmental information. This study aims to design, implement, and evaluate an Internet of Things (IoT)-based air quality monitoring system using an ESP32 microcontroller. The system utilizes an MQ-135 sensor to detect carbon dioxide (CO₂) concentration and a DHT11 sensor to measure air temperature and humidity. The measured data are displayed on a 16×2 LCD and transmitted via a Telegram Bot to support remote monitoring. This research employed the Research and Development (R&D) method using the Prototype model. The system testing results showed that the developed system was capable of detecting CO₂ concentrations ranging from 194 to 2045 ppm, temperatures from 14 to 39.9°C, and humidity levels from 53% to 95% RH. All system components, including the sensors, LCD, indicator lights, and Telegram Bot, functioned according to the design specifications, achieving a 100% success rate during testing. Field testing at Alun-alun Bung Karno Ungaran demonstrated that the system was able to acquire, process, and transmit environmental data in real time with stable operation. The implementation results indicate that the developed system provides fast, integrated, and easily accessible air quality information, making it suitable as an IoT-based air quality monitoring prototype.

Keywords: Internet of Things (IoT), ESP32, Air Quality Monitoring, MQ-135, DHT11, Telegram Bot

ABSTRAK

Pemantauan kualitas udara secara *real-time* diperlukan untuk menyediakan informasi kondisi lingkungan yang cepat dan berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan menguji sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32. Sistem memanfaatkan sensor MQ-135 untuk mendeteksi konsentrasi CO₂ serta sensor DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembapan udara. Data hasil pengukuran ditampilkan pada LCD 16×2 dan dikirim melalui Bot Telegram untuk mendukung pemantauan jarak jauh. Penelitian menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model *Prototype*. Hasil Ujicoba alat menunjukkan bahwa sistem mampu mendeteksi konsentrasi CO₂ pada rentang 194–2045 ppm, suhu 14–39,9°C, dan kelembapan 53–95% RH. Seluruh komponen sistem, meliputi sensor, LCD, indikator lampu, dan Bot Telegram, berfungsi sesuai rancangan dengan tingkat keberhasilan pengujian sebesar 100%. Pengujian lapangan di Alun-alun Bung Karno Ungaran menunjukkan sistem mampu melakukan akuisisi, pemrosesan, dan pengiriman data secara *real-time* dengan kondisi operasional yang stabil. Hasil implementasi membuktikan bahwa sistem dapat menyajikan informasi kualitas udara secara cepat, terintegrasi, dan

mudah diakses sehingga layak digunakan sebagai *Prototype* pemantauan kualitas udara berbasis IoT.

Kata kunci: Internet of Things (IoT), ESP32, Kualitas Udara, MQ-135, DHT11, Bot Telegram

A. Pendahuluan

Kualitas udara menjadi salah satu aspek penting dalam menjaga kesehatan manusia. Paparan terhadap karbon dioksida (CO₂) dapat menyebabkan gangguan pernapasan, kelelahan, bahkan keracunan bila melebihi ambang batas. Untuk itu, diperlukan sistem yang mampu melakukan pemantauan kualitas udara secara real-time dan berkelanjutan.

Pemantauan kualitas udara menggunakan teknologi sensor dan *Internet of Things* (IoT) telah menjadi fokus utama dalam upaya meningkatkan kesadaran dan respons terhadap polusi udara. Dalam konteks ini, penelitian ini bertujuan untuk mengatasi keterbatasan pemantauan kualitas udara secara manual di lingkungan Alun-alun Bung Karno Ungaran dengan memperkenalkan sistem pemantauan berbasis sensor udara. Metode ini diusulkan sebagai solusi untuk memperoleh data kualitas udara secara *real-time*, meningkatkan akurasi pemantauan, serta memberikan notifikasi dini terhadap kondisi lingkungan yang berpotensi membahayakan kesehatan. Sistem ini menggunakan kombinasi sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas berbahaya dan DHT11 untuk mengukur suhu serta kelembaban udara. Data dari sensor dikirim dan diproses oleh mikrokontroler NodeMCU ESP32 yang memiliki konektivitas Wi-Fi, memungkinkan pengiriman data secara langsung ke Bot Telegram yang berfungsi untuk mengirimkan notifikasi otomatis kepada pengelola Alun-alun Bung Karno Ungaran apabila kualitas udara menurun di bawah ambang batas aman.

Dengan implementasi sistem ini, diharapkan lingkungan Alun-alun Bung Karno Ungaran dapat dipantau secara efisien dan responsif, sehingga memberikan perlindungan lebih baik terhadap kesehatan penghuninya.

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah membuka peluang besar dalam pengembangan sistem pemantauan lingkungan yang efisien dan terintegrasi. Dengan menggunakan sensor gas seperti MQ-135 dan sensor suhu-kelembapan DHT11, sistem dapat mendeteksi parameter udara secara akurat dan mengirimkan data langsung ke cloud melalui modul Wi-Fi seperti ESP32. Beberapa penelitian telah berhasil mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT). Mariano et al. (2024) mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara di bengkel otomotif menggunakan sensor MQ-135 dan DHT11 yang dipadukan dengan pembelajaran mesin untuk memprediksi indeks polusi udara secara real-time. Selain itu, Sarkar et al. (2023) membangun sistem pemantauan CO₂ berbasis ESP8266 dan sensor MQ-135 untuk menganalisis kualitas udara di dalam ruang kelas dengan kemampuan visualisasi data melalui platform cloud. Implementasi sistem ini tidak hanya bermanfaat dalam mendeteksi bahaya secara dini, tetapi juga dalam meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya kualitas udara terhadap produktivitas dan kesehatan. Dengan sistem yang terjangkau dan mudah diakses, teknologi IoT diharapkan menjadi solusi praktis untuk berbagai sektor, mulai dari pendidikan, kesehatan, industri, hingga transportasi.

Pemilihan Alun-alun Bung Karno sebagai objek penelitian bukan hanya karena tingginya aktivitas masyarakat, tetapi juga karena lokasi ini sangat representatif dalam menggambarkan kondisi tipikal ruang publik terbuka di kota menengah. Pemantauan kualitas udara di lokasi ini diharapkan dapat menjadi model percontohan untuk ruang publik lain yang sejenis. Untuk menjamin akurasi dan kebermanfaatan sistem yang dikembangkan, penelitian ini juga melibatkan lembaga terkait seperti Dinas Lingkungan Hidup (DLH) setempat. Keterlibatan lembaga ini bertujuan untuk memberikan validasi sistem, menyesuaikan dengan standar pengukuran polusi, serta mengintegrasikan sistem ke dalam platform informasi publik.

Pada hari Minggu, 15 Juni 2025, dilakukan wawancara dengan beberapa pengunjung di Alun-Alun Bung Karno Ungaran terkait persepsi mereka terhadap kualitas udara di lokasi tersebut. Salah satu responden, Bapak Kasrun, yang bekerja sebagai tukang parkir di Alun-alun Bung Karno, menilai bahwa udara pada pagi hari cukup segar, tetapi saat sore menjelang malam terasa lebih pengap akibat ramainya kendaraan yang datang. Menurutnya, kendaraan motor dan mobil sering meninggalkan banyak debu dan juga menyebabkan tenggorokan agak kering, meskipun ia tidak pernah mengalami gangguan kesehatan yang serius. Responden kedua, Ibu Yuni, petugas kebersihan di lokasi, mengatakan bahwa udara pada pagi hari relatif bersih, tetapi ketika jumlah pengunjung dan kendaraan meningkat, asap mulai terasa. Ia dan rekan-rekannya rutin membersihkan area Alun-alun Bung Karno Ungaran, namun polusi dari kendaraan dan asap rokok sulit dikendalikan. Responden ketiga, Ibu Sri Sudaryani, pedagang kaki lima, mengeluhkan adanya bau asap rokok

yang kadang cukup menyengat. Beliau mengkhawatirkan banyaknya anak-anak yang berkunjung ke Alun-alun Bung Karno Ungaran akan mengalami gangguan pernapasan.

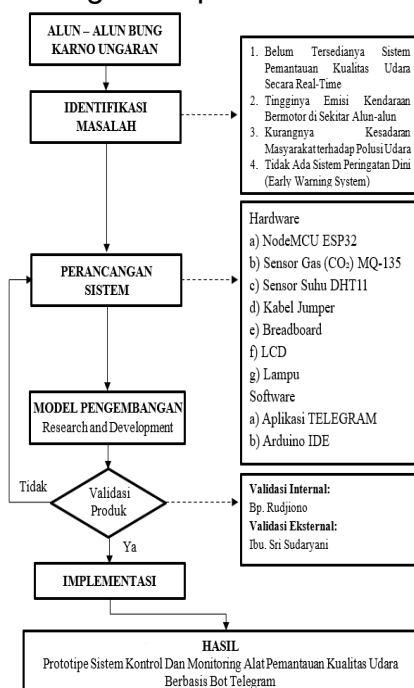
Dengan adanya sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) di Alun-alun Bung Karno Ungaran, diharapkan masyarakat dapat memperoleh informasi kondisi udara secara langsung, pemerintah memiliki data lingkungan yang aktual sebagai dasar pengambilan kebijakan terkait tata ruang dan kesehatan publik, serta meningkatnya kesadaran kolektif masyarakat akan pentingnya menjaga kualitas udara di ruang terbuka. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengidentifikasi beberapa permasalahan, yaitu belum tersedianya sistem pemantauan kualitas udara secara real-time, tingginya emisi kendaraan bermotor di sekitar Alun-alun Bung Karno Ungaran, rendahnya kesadaran masyarakat terhadap bahaya polusi udara, serta belum adanya sistem peringatan dini (*early warning system*). Agar penelitian lebih terarah, ruang lingkup dibatasi pada pemantauan parameter suhu, kelembaban, dan kadar gas CO₂ menggunakan sensor MQ-135 dan DHT11 yang diintegrasikan dengan mikrokontroler NodeMCU ESP32. Data dikirim secara real-time melalui jaringan Wi-Fi dan dimonitor menggunakan Bot Telegram. Pengujian sistem dilakukan di Alun-alun Bung Karno Ungaran dalam periode tertentu, dengan fungsi utama sebagai sistem monitoring dan peringatan dini berbasis prototipe tanpa fitur kontrol otomatis.

Berdasarkan identifikasi dan pembatasan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang mampu memantau suhu, kelembaban, dan kadar CO₂ secara

real-time, menyajikan informasi yang mudah diakses oleh masyarakat maupun pemerintah daerah, serta mengevaluasi efektivitas sistem beserta hambatan teknis dan spesifikasi minimum perangkat keras maupun perangkat lunak yang diperlukan agar sistem dapat beroperasi secara stabil dan efisien. Hasil penelitian diharapkan memberikan manfaat praktis berupa penyediaan informasi kualitas udara secara aktual, membantu pemerintah dalam pemantauan lingkungan dan pengendalian polusi, serta menjadi sistem peringatan dini bagi masyarakat, khususnya kelompok rentan. Selain itu, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi akademis dalam pengembangan teknologi IoT untuk pemantauan lingkungan serta menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya, sekaligus memberikan manfaat sosial melalui peningkatan partisipasi masyarakat dalam menjaga kualitas udara dan membangun budaya kolektif yang lebih peduli terhadap kesehatan lingkungan.

B. Metode Penelitian

2.1. Kerangka Berpikir



Gambar 2. Kerangka Berpikir

2.2. Tempat Penelitian

Lokasi Penelitian dilakukan di Alun-alun Bung Karno Ungaran, Alun-alun ini terletak di Kelurahan Kalirejo, Kecamatan Ungaran Timur, Kabupaten Semarang. Lokasi tersebut dipilih karena merupakan area publik yang sering digunakan masyarakat untuk berbagai aktivitas sehingga kualitas udara di lingkungan tersebut perlu dipantau secara berkala. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan Bot telegram. Sistem yang dikembangkan mampu memantau parameter kualitas udara secara real-time dan mengirimkan informasi serta notifikasi kepada pengguna melalui aplikasi Telegram. Dengan adanya sistem ini, pengguna dapat memperoleh informasi mengenai kondisi kualitas udara secara cepat dan mudah, sehingga dapat mendukung kesadaran masyarakat terhadap kondisi lingkungan serta membantu dalam pengambilan keputusan terkait aktivitas di luar ruangan.

2.3. Metode Pengumpulan data

Setelah masalah ditemukan, maka selanjutnya perlu dikumpulkan berbagai informasi dan studi pustaka yang dapat digunakan sebagai bahan perencanaan produk tertentu yang diharapkan mampu mengatasi masalah tersebut. Beberapa metode pengumpulan data sebagai berikut:

1. Wawancara adalah metode pengumpulan data yang dilakukan secara langsung, agar data yang diperoleh tidak melenceng dari objek. Dengan cara tanya jawab secara langsung dan sistematis berdasar pada tujuan penelitian yang ada di lapangan.
2. Observasi adalah teknik pengumpulan data dengan cara

melakukan pengamatan dan pencatatan secara sistematis pada obyek penelitian.

3. Studi Pustaka adalah suatu cara untuk mendapatkan keterangan dengan cara mencari data melalui dokumentasi, buku-buku referensi maupun melalui informasi data digital dari internet sehingga diharapkan dapat memudahkan dalam mendukung dalam melakukan penelitian.

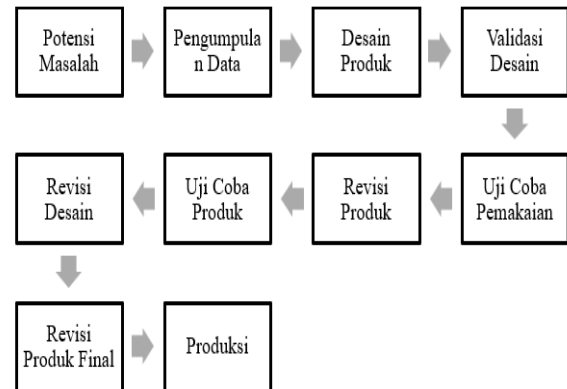
2.4. Jenis Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode penelitian R&D (*Research and Development*) adalah metode penelitian yang digunakan untuk menghasilkan produk tertentu, dan menguji keefektifan produk tertentu (Bakhtiar 2023), Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengembangan sistem prototyping untuk menghasilkan produk dalam bentuk prototype. Sebuah prototype akan memberikan sebuah gambaran tentang cara kerja sistem yang akan berfungsi dalam bentuk lengkapnya.

2.5. Perancangan Sistem

Produk ini menggunakan metode penelitian *Research and Development* (R&D). Menurut Judijanto (2024), *Research and Development* (R&D) merupakan suatu proses atau langkah-langkah yang dilakukan untuk mengembangkan produk baru atau menyempurnakan produk yang telah ada. Metode ini mencakup serangkaian kegiatan penelitian yang digunakan untuk menghasilkan suatu produk serta menguji tingkat keefektifan produk tersebut. R&D memiliki peran penting dalam mendorong inovasi, baik dalam pengembangan teknologi, produk, layanan, maupun sistem yang dapat dimanfaatkan untuk memenuhi kebutuhan pengguna. Dalam penelitian ini, penulis menerapkan 10 tahapan perancangan sistem yang digunakan sebagai pedoman dalam proses

pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT).



Gambar 3. Perancangan system

a. Potensi dan Masalah

Potensi Pemantauan Kualitas Udara di Alun-alun Bung Karno Ungaran. Lokasi Strategis dan Ramai, Alun-alun Bung Karno adalah pusat keramaian dan aktivitas publik, sehingga pemantauan kualitas udara di sini sangat relevan dan bermanfaat untuk masyarakat. Kesadaran masyarakat yang meningkat, masyarakat semakin sadar akan pentingnya udara bersih. Ini bisa mendorong partisipasi publik dalam menjaga kualitas udara. Penggunaan teknologi IoT, tersedia banyak alat pemantau udara berbasis IoT yang murah dan efisien, serta bisa diintegrasikan dengan sistem informasi publik secara *real-time*.

Masalah Pemantauan Kualitas Udara di Alun-alun Bung Karno Ungaran. Keterbatasan infrastruktur, masih terbatasnya alat pemantau kualitas udara, baik dari segi jumlah maupun teknologi yang digunakan. Kurangnya data historis perhitungan, tidak tersedianya data kualitas udara jangka panjang menyulitkan analisis tren dan dampak.

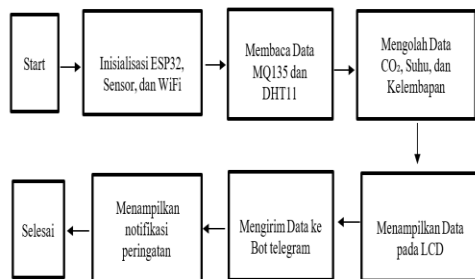
b. Pengumpulan data

Pengumpulan data atau informasi di dapat dari beberapa cara diantaranya observasi dengan melakukan pengamatan dan pencatatan secara sistematis pada obyek penelitian,

wawancara dilakukan pada setiap bagian yang berkaitan dengan pemantauan kualitas udara Alun-alun Bung Karno Ungaran.

c. Desain Produk

Desain produk pada penelitian ini menggunakan pengembangan R&D (*Research and Development*). Dalam perancangan desain ada beberapa aplikasi yang digunakan. Tahapan pembuatan program menggunakan metode pengembangan sistem prototyping untuk menghasilkan produk dalam bentuk prototype.



Gambar 4. Perancangan system

d. Validasi Desain

Tujuan dari validasi desain adalah untuk menilai desain produk yang telah dihasilkan apakah desain produk tersebut sudah dapat diterapkan atau tidak dan untuk mengoreksi jika masih ada kekurangan maka dapat dilakukan perbaikan.

e. Uji Coba Pemakaian

Sistem di uji coba di Alun-alun Bung Karno Ungaran selama beberapa hari untuk melihat kestabilan koneksi, akurasi data sensor, dan keterbacaan data di aplikasi.

f. Revisi Produk

Jika ditemukan kendala selama uji coba (misalnya data tidak stabil, sensor tidak akurat, atau koneksi Wi-Fi terputus), maka produk akan direvisi pada bagian yang bermasalah.

g. Uji Coba Produk

Produk di uji coba untuk memastikan hasil yang akan dicapai, setelah mengetahui kelemahan dan kekurangan produk. Hal ini dilakukan untuk

mengetahui apakah produk yang dibuat sudah berjalan sesuai dengan desain yang dibuat serta menentukan apakah alat yang digunakan sudah siap digunakan atau belum.

Tabel 1 Ujicoba Produk

Kondisi	CO ₂	Suhu	Kelembapan	Lampu	LCD	TELEGRAM	Hasil Pengujian
CO ₂ Normal	194 ppm	28.6 °C	73% RH	Lampu Hijau Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Normal) Suhu (Normal) Kelembapan (Kering)	Berhasil
CO ₂ Waspada	740 ppm	29° C	63% RH	Lampu Merah dan Hijau Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Waspada) Suhu (Normal) Kelembapan (Kering)	Berhasil
CO ₂ Bahaya	1557 ppm	29.5 °C	53% RH	Lampu Merah Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Normal) Kelembapan (Kering)	Berhasil
Suhu Normal dan Kelembapan Normal	1817 ppm	27.4 °C	84% RH	Lampu Merah Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Normal) Kelembapan (Normal)	Berhasil
Suhu Normal dan Kelembapan Kering	1708 ppm	29.3 °C	72% RH	Lampu Merah dan Hijau Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Normal) Kelembapan (Kering)	Berhasil

Suhu Normal dan Kelembapan Basah	1789 ppm	25.3°C	95% RH	Lampu Merah Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Normal) Kelembapan (Basah)	Berhasil
Suhu Panas dan kelembapan Normal	2045 ppm	32.2°C	83% RH	Lampu Merah dan Kuning Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Panas) Kelembapan (Normal)	Berhasil
Suhu Panas dan Kelembapan Kering	1853 ppm	33.1°C	59% RH	Lampu Menyala Samudra	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Sedang) Kelembapan (Kering)	Berhasil
Suhu Panas dan Kelembapan Basah	1838 ppm	39.9°C	95% RH	Lampu Merah dan Kuning Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Panas) Kelembapan (Basah)	Berhasil
Suhu Dingin dan Kelembapan Normal	1947 ppm	17.8°C	90% RH	Lampu Merah Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Dingin) Kelembapan (Normal)	Berhasil
Suhu Dingin dan Kelembapan Kering	1939 ppm	14°C	78% RH	Lampu Merah dan Kuning Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya) Suhu (Dingin) Kelembapan (Kering)	Berhasil

Suhu Dingin dan Kelembapan Kering	1939 ppm	14° C	78% RH	Lampu Merah dan Kuning Menyala	Menampilkan data CO ₂ , Suhu, Kelembapan	CO ₂ (Bahaya)	Berhasil
						Suhu (Dingin)	
						Kelembapan (Kering)	

Tabel 2. Skema Output yang Direncanakan

No	Input Sistem	Proses	Output yang Direncanakan	Indikator Keberhasilan
1	Sensor MQ135 membaca kadar CO ₂	ESP32 mengolah data CO ₂	Status kualitas udara (Normal, Waspada, Bahaya)	Status sesuai dengan nilai ambang CO ₂
2	Sensor DHT11 membaca suhu	ESP32 mengolah data suhu	Status suhu (Dingin, Normal, Panas)	Kategori suhu tampil dengan benar
3	Sensor DHT11 membaca kelembapan	ESP32 mengolah data kelembapan	Status kelembapan (Kering, Normal, Basah)	Kategori kelembapan tampil dengan benar
4	Data sensor diproses	ESP32 mengirim data ke LCD	LCD menampilkan nilai CO ₂ , suhu, dan kelembapan secara real-time	Data tampil tanpa keterlambatan berarti
5	Data sensor diproses	ESP32 mengirim notifikasi Telegram	Telegram menampilkan status CO ₂ , suhu, dan kelembapan	Pesan diterima sesuai kondisi aktual
6	Hasil klasifikasi kondisi lingkungan	ESP32 mengaktifkan relay	Lampu indikator menyala sesuai kondisi	Lampu menyala sesuai standar yang ditentukan

h. Revisi Desain

Setelah pengujian produk awal dilakukan perbaikan desain produk sampai mendapatkan desain produk yang sesuai dengan yang dibutuhkan. Jika diketahui kelemahannya. Kelemahan yang muncul dalam desain produk selanjutnya oleh peneliti akan dicoba untuk dikurangi dengan cara memperbaiki desain.

i. Revisi Produk Final

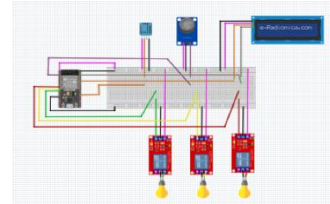
Revisi produk akan menunjukkan bahwa kerja dari produk baik dan tidak ada kendala. Sehingga produk tersebut dapat diterapkan pada pemantauan

kualitas udara di “Alun-alun Bung Karno Ungaran”.

j. Produksi

Setelah produk final disetujui dan dinyatakan sesuai, produk tersebut siap diproduksi.

2.6. Spesifikasi Produk

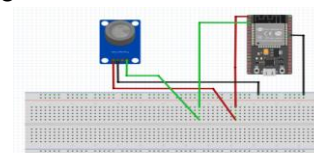


Gambar 5. Skema Perancangan Alat

Rancangan ini menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali untuk mengatur dan mengendalikan seluruh proses pemantauan kualitas udara. Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas karbon dioksida (CO₂) di udara. Sensor DHT11 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan lingkungan sekitar. Data yang diperoleh dari sensor-sensor ini ditampilkan pada modul LCD 16x2 dan Lampu indikator bisa otomatis aktif saat tingkat gas melewati ambang batas berbahaya, memberikan informasi *real-time* mengenai kondisi udara. Sistem ini dirakit pada breadboard, yang memudahkan dalam pengaturan dan pengujian komponen-komponen elektronik yang terlibat.

Berikut ini adalah penjabaran dari desain di atas:

• MQ-135

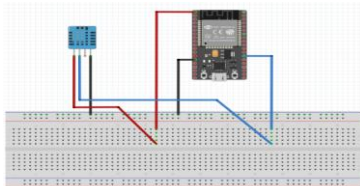


Gambar 6. Rangkaian MQ135

Sensor MQ-135 digunakan untuk mendeteksi konsentrasi gas di udara, khususnya gas karbon dioksida (CO₂), yang menjadi indikator kualitas udara. Sensor ini dihubungkan dengan mikrokontroler ESP32 melalui beberapa

pin utama, yaitu VCC, GND, dan AOUT. Pin VCC terhubung ke pin 3V3 pada ESP32 sebagai sumber daya utama, sedangkan pin GND dihubungkan ke ground sebagai referensi tegangan sistem. Output analog sensor diperoleh melalui pin AOUT yang terhubung ke GPIO36 (VP/A0) pada ESP32 untuk membaca perubahan konsentrasi gas dalam satuan analog. Data analog tersebut kemudian dikonversi oleh ADC (*Analog-to-Digital Converter*) yang terdapat pada ESP32 sehingga dapat diproses lebih lanjut oleh sistem. Selain itu, sensor MQ-135 juga memiliki pin DOUT yang bersifat opsional dan dapat digunakan untuk membaca status digital ketika konsentrasi gas telah melewati ambang batas tertentu. Dengan konfigurasi tersebut, sensor MQ-135 mampu memberikan informasi kualitas udara secara *real-time* sebagai bagian dari sistem monitoring berbasis IoT.

- DHT11

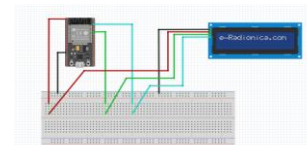


Gambar 7. Rangkaian DHT11

Sensor DHT11 merupakan sensor digital yang digunakan untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di lingkungan sekitar. Sensor ini memiliki tiga pin utama yang digunakan dalam perancangan sistem, yaitu VCC, DO (Data Output), dan GND. Pin VCC berfungsi sebagai sumber daya sensor dan terhubung ke tegangan 3,3V pada ESP32 melalui kabel berwarna merah. Pin DO berfungsi sebagai keluaran data digital yang mengirimkan hasil pembacaan suhu dan kelembapan ke mikrokontroler, serta dihubungkan ke pin GPIO4 (D4) menggunakan kabel berwarna biru. Sementara itu, pin GND dihubungkan ke ground ESP32 melalui kabel berwarna hitam sebagai referensi tegangan sistem. Data yang diperoleh

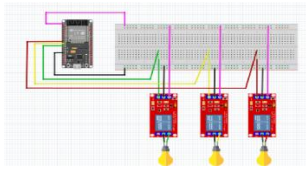
dari sensor DHT11 kemudian diproses oleh ESP32 untuk ditampilkan pada LCD dan dikirimkan ke Bot Telegram secara *real-time*. Dengan konfigurasi tersebut, sensor DHT11 mampu mendukung proses pemantauan kondisi lingkungan secara akurat dan berkelanjutan.

- LCD



Gambar 8. Rangkaian LCD 16X2
LCD 16×2 dengan modul I2C digunakan sebagai media tampilan untuk menampilkan informasi hasil pembacaan sensor secara *real-time*. Modul ini dihubungkan dengan NodeMCU ESP32 melalui empat pin utama yaitu VCC, GND, SDA, dan SCL. Pin VCC terhubung ke pin 3V3 pada NodeMCU sebagai sumber daya listrik, sedangkan pin GND dihubungkan ke pin GND sebagai jalur ground sistem. Komunikasi data antara LCD dan ESP32 dilakukan melalui protokol I2C, di mana pin SDA dihubungkan ke GPIO21 sebagai jalur pertukaran data dan pin SCL dihubungkan ke GPIO22 sebagai jalur sinkronisasi clock. Penggunaan antarmuka I2C memungkinkan jumlah kabel yang digunakan menjadi lebih sedikit dibandingkan koneksi paralel konvensional. Data suhu, kelembapan, dan kualitas udara yang diperoleh dari sensor akan ditampilkan pada LCD sehingga pengguna dapat memantau kondisi lingkungan secara langsung. Dengan konfigurasi tersebut, LCD 16×2 mampu berfungsi sebagai media informasi yang sederhana, efisien, dan mudah dibaca oleh pengguna.

- Lampu



Gambar 9. Rangkaian Lampu

Sistem indikator menggunakan tiga buah lampu yang dikendalikan melalui modul relay dan mikrokontroler ESP32 untuk memberikan informasi visual mengenai kondisi kualitas udara. Setiap relay dihubungkan ke pin GPIO yang berbeda, yaitu GPIO25 untuk Lampu merah, GPIO26 untuk Lampu kuning, dan GPIO27 untuk Lampu hijau sebagai sinyal kendali dari ESP32. Selain itu, masing-masing relay memperoleh sumber daya dari pin 3,3V dan GND pada ESP32 untuk mendukung proses operasional. Pada sisi beban, terminal COM relay dihubungkan ke salah satu kabel lampu, sedangkan kabel netral (N) terhubung langsung ke lampu dan kabel fasa (L) dari sumber listrik PLN dihubungkan ke terminal NO (Normally Open) relay. Ketika ESP32 mengaktifkan relay sesuai kondisi kualitas udara yang terdeteksi, kontak relay akan menutup sehingga lampu indikator yang sesuai dapat menyala secara otomatis. Penggunaan tiga lampu indikator ini memudahkan pengguna dalam mengetahui kondisi kualitas udara secara cepat tanpa harus melihat data pada LCD atau aplikasi Telegram. Dengan demikian, sistem mampu memberikan peringatan visual yang sederhana, efektif, dan mudah dipahami oleh pengguna.

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Alat monitoring suhu, kelembaban, dan kualitas udara pada alun-alun Bung Karno telah berhasil dirancang menggunakan mikrokontroler ESP32 NodeMCU sebagai pusat kendali sistem. Perangkat ini terhubung dengan beberapa sensor utama yaitu DHT11 untuk mengukur suhu dan kelembaban

udara serta MQ-135 untuk mendeteksi kualitas udara.

Data hasil pembacaan sensor suhu, kelembaban, dan kualitas udara dikirimkan secara *real-time* melalui jaringan WiFi ke Bot Telegram. Informasi yang diterima ditampilkan dalam bentuk chat sehingga memudahkan pengguna dalam memantau dan memahami kondisi lingkungan secara visual. Selain itu, sistem dilengkapi dengan fitur notifikasi yang secara otomatis memberikan peringatan kepada pengguna apabila nilai suhu, kelembaban, atau kualitas udara berada di luar rentang yang telah ditetapkan sebagai kondisi optimal.

Alat dirakit menggunakan akrilik sebagai media utama dalam pemasangan dan penempatan komponen, sehingga menghasilkan struktur yang lebih rapi. Seluruh komponen terintegrasi pada rangka akrilik yang dirancang sesuai kebutuhan sistem. Prototipe ini berukuran 21 cm × 29 cm.

Dengan rancangan ini, alat mampu mendukung kegiatan pemantauan kualitas udara di alun-alun Bung Karno Ungaran secara *real-time*, sehingga dapat membantu pengguna maupun pihak terkait dalam memantau kondisi lingkungan dengan lebih praktis, efisien, dan akurat dibandingkan metode pemantauan manual. Informasi yang diperoleh dapat digunakan sebagai dasar untuk meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap kualitas udara serta mendukung upaya pengelolaan lingkungan yang lebih baik.



Gambar 10. Foto Alat

1.1. Hasil Pengujian Sistem

Pengujian alat dilakukan di alun-alun Bung Karno Ungaran, Kabupaten Semarang, dengan tujuan memastikan bahwa sistem monitoring IoT dapat membaca data suhu, kelembaban, dan kualitas udara secara akurat serta mengirimkan notifikasi *real-time*. Pengujian dilakukan pada tanggal 28 September 2025 hingga 5 Oktober 2025, mulai pukul 07.00 hingga 08.00 WIB, dengan interval pengambilan data setiap satu jam.

Sensor yang digunakan adalah:

1. DHT11 untuk mengukur suhu (°C) dan kelembaban (%),
2. MQ-135 untuk mendeteksi Kualitas Udara (ppm),

Sistem notifikasi otomatis dikirim melalui aplikasi Telegram.

Tabel 3 Hasil Pengujian Sensor Suhu,

Tanggal	Waktu	Suhu (°C)	Keterangan	Kelembaban (%)	Keterangan	Kualitas Udara (ppm)	Keterangan
28-09	07.00	29,0	Normal	68	Kering	535	Waspada
	08.00	29,5	Normal	68	Kering	553	Waspada
29-09	07.00	28,8	Normal	65	Kering	490	Waspada
	08.00	29,2	Normal	62	Kering	574	Waspada
30-09	07.00	27,6	Normal	72	Kering	526	Waspada
	08.00	27,2	Normal	72	Kering	586	Waspada
01-10	07.00	27,1	Normal	70	Kering	560	Waspada
	08.00	27,8	Normal	70	Kering	573	Waspada
02-10	07.00	28,2	Normal	71	Kering	497	Waspada
	08.00	28,4	Normal	68	Kering	447	Waspada
03-10	07.00	27,3	Normal	71	Kering	476	Waspada
	08.00	27,7	Normal	70	Kering	491	Waspada
04-10	07.00	27,6	Normal	70	Kering	637	Waspada
	08.00	28,5	Normal	70	Kering	524	Waspada
05-10	07.00	28,5	Normal	69	Kering	648	Waspada
	08.00	29,0	Normal	62	Kering	740	Waspada

Kelembaban, dan Kualitas udara.

Dari hasil pengujian selama 1 jam 7 hari tersebut dapat disimpulkan bahwa:

1. Sensor DHT11 mampu mendeteksi perubahan suhu dan kelembaban dengan baik. Berdasarkan hasil pengamatan, suhu terendah terjadi dengan nilai suhu 27,1°C. Sementara itu, suhu tertinggi terjadi dengan nilai suhu 29,5°C. Berdasarkan hasil pengamatan, kelembaban terendah terjadi dengan nilai kelembaban sebesar 62%. Sementara itu, kelembaban tertinggi terjadi dengan nilai kelembaban sebesar 72%.
2. Sensor MQ-135 mampu mendeteksi perubahan karbon dioksida dengan baik. Berdasarkan hasil pengamatan, kualitas udara terendah terjadi dengan nilai konsentrasi sebesar 447 ppm. Sementara itu, kualitas udara tertinggi terjadi dengan nilai konsentrasi sebesar 740 ppm.
3. Sistem notifikasi otomatis pada Bot Telegram bekerja dengan baik, ditunjukkan oleh indikator notifikasi yang aktif sesuai kondisi di tabel.
4. Dari hasil pengujian di alun-alun Bung Karno Ungaran, sistem dapat membantu pengguna untuk memantau kondisi suhu, kelembaban, dan kualitas udara secara *real-time*.

D. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian, sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) menggunakan mikrokontroler ESP32, sensor MQ-135, dan sensor DHT11 telah berhasil dirancang, diimplementasikan, dan diuji sesuai dengan metode *Research and Development* (R&D) menggunakan model *Prototype*. Sistem mampu mengintegrasikan seluruh komponen perangkat keras dan perangkat lunak sehingga dapat melakukan pemantauan

konsentrasi CO₂, suhu, dan kelembapan secara *real-time*.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor MQ-135 mampu mendeteksi konsentrasi CO₂ pada rentang 194–2045 ppm, sedangkan sensor DHT11 mampu mengukur suhu pada rentang 14–39,9°C dan kelembapan 53–95% RH. Seluruh hasil pembacaan sensor berhasil ditampilkan pada LCD, indikator lampu bekerja sesuai dengan kategori kondisi yang telah ditentukan, serta notifikasi berhasil dikirim melalui Bot Telegram pada seluruh skenario pengujian dengan tingkat keberhasilan 100%.

Pengujian lapangan menunjukkan bahwa sistem mampu beroperasi secara stabil pada lingkungan sebenarnya dan menghasilkan data pemantauan secara *real-time* sesuai dengan kondisi lingkungan. Berdasarkan hasil tersebut, alat yang dikembangkan telah memenuhi tujuan penelitian sebagai sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang mampu memberikan informasi kondisi lingkungan secara cepat, terintegrasi, dan mudah diakses melalui media lokal maupun jarak jauh.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfakihuddin, M. L. B., Hasyim, A., Kuraesin, A. D., Sena, B., & Radjawane, L. E. (2024, April 29). *Peran Infrastruktur Hijau Perkotaan dalam Meningkatkan Kualitas Udara di Jakarta* | *JURNAL UNITEK*.
<https://ejurnal.sttdumai.ac.id/index.php/unitek/article/view/7>
- Andriana, M., & Priyadi. (2023). IMPLEMENTASI METODE R&D PADA SISTEM PENGGAJIAN GURU HONORER. *Jurnal Akuntansi dan Bisnis*, 3(1), 20–27.
<https://doi.org/10.51903/jiab.v3i1.230>
- Aprianes, C., & Az-Zahra, A. R. (2023). Memahami Penerapan Terhadap Ketentuan Pengelolaan Kualitas Udara Di Dki Jakarta. *Innovative: Journal Of Social Science Research*, 3(5), Article 5.
<https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/5678>
- Ardiyanto, T., Supriadi, C., & Priyadi. (2025). Rancang Bangun Sistem Monitoring Deteksi Dini Kebakaran Ruang Server Berbasis Iot. *Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 3(3), 35–45.
<https://doi.org/10.51903/432zjf74>
- Din, D., Hasanuddin, Z. B., & Panggalo, S. (2024). *Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Thingspeak dan Website* | *JURNAL EKSITASI DEPARTEMEN TEKNIK ELEKTRO*.
<https://journal.unhas.ac.id/index.php/eksitasi/article/view/42726>
- Fajar, M. T. (2024). Studi Perbandingan Kualitas Udara di Kota Indonesia Terdampak Infeksi Saluran Pernapasan Akut. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(2), Article 2.
<https://doi.org/10.55123/insologi.v3i2.3288>
- Gangwar, A., Singh, S., Mishra, R., & Prakash, S. (2023). The State-of-the-Art in Air Pollution Monitoring and Forecasting Systems using IoT, Big Data, and Machine Learning. *Wireless Personal Communications*, 130(3), 1699–1729.
<https://doi.org/10.1007/s11277-023-10351-1>
- Hidayatullah, M., Nurikah, N., & Cahyani, F. A. (2025). Upaya Pemerintah Provinsi DKI Jakarta Terhadap Pengendalian Pencemaran Udara: Efforts of the DKI Jakarta Provincial Government in Controlling Air Pollution. *JAPHTN-HAN*, 4(1), Article 1.

- <https://doi.org/10.55292/japhtnhan.v4i1.168>
- Irbah, N., Nurika, G., & Ramani, A. (2024). Implementation of Indoor Air Quality Monitoring Systems of Particulate Matter 2.5 Based on the Internet of Things. *JURNAL KESEHATAN LINGKUNGAN*, 16(3), Article 3.
<https://doi.org/10.20473/jkl.v16i3.2024.266-276>
- Islam, A., Pattnaik, N., Moula, Md. M., Rötzer, T., Pauleit, S., & Rahman, M. A. (2024). Impact of urban green spaces on air quality: A study of PM10 reduction across diverse climates. *Science of The Total Environment*, 955, 176770.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.176770>
- Judijanto, L., Muhammadijah, M., Utami, R. N., Suhirman, L., Laka, L., Boari, Y., Lembang, S. T., Wattimena, F. Y., Astriawati, N., Laksono, R. D., & Yunus, M. (2024). *Metodologi Research and Development: Teori dan Penerapan Metodologi RnD*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
<https://books.google.co.id/books?id=y3lNEQAAQBAJ>
- Karnati, H. (2023). *IoT-Based Air Quality Monitoring System with Machine Learning for Accurate and Real-time Data Analysis* (No. arXiv:2307.00580). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2307.00580>
- Kharisma, L. P. I., Kelvin, K., Sudiro, S. A., Suprianto, G., Judijanto, L., Lutfi, M., Laksono, R. D., Safitri, A., Gaspersz, V., Pracasitaram, I. G. M. S. B., & Yuniansyah, Y. (2024). *Internet of Things: Pengenalan dan Penerapan Teknologi IoT*. PT. Sonpedia Publishing Indonesia.
<https://books.google.co.id/books?id=sGEOEQAAQBAJ>
- Mariano, K. D. P., Almada, F. L. N., & Dutra, M. A. (2024). *Smart Air Quality Monitoring for Automotive Workshop Environments* (No. arXiv:2410.03986). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2410.03986>
- Maula, G. M. (2024). Efektivitas Implementasi Kebijakan Pengendalian Pencemaran Udara di Indonesia. *Savana: Indonesian Journal of Natural Resources and Environmental Law*, 1(02), 145–159.
<https://doi.org/10.25134/savana.v1i2.223>
- Megantoro, A., Saidah, S., & Sevierda, R. (2025). SISTEM DETEKSI DAN PEMANTAUAN PENCEMARAN UDARA BERBASIS IOT. *Journal of Informatics and Communication Technology (JICT)*, 6(2), Article 2.
<https://doi.org/10.52661/jict.v6i2.357>
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot (Internet Of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(2), 102–115.
<https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115>
- Nugraha, A. R., & Hasan, A. (2019). KENDALI PERANGKAT ELEKTRONIK MENGGUNAKAN APLIKASI BERBASIS WEB MENGGUNAKAN ARDUINO. *Jurnal Manajemen dan Teknik Informatika (JUMANTAKA)*, 3(1), Article 1.
<https://jurnal.stmik-dci.ac.id/index.php/jumantaka/article/view/404>
- Ogunbiyi, O., Mohammed, O. C., & Adesina, L. M. (2023). Development of an Automated Estimating Electronic Weighing Scale. *ResearchGate*.
<https://doi.org/10.53982/ajer.2023.0601.08-j>

- Omkar, N., Rahul, S., Vijaykrishna, R., Swapna, N., & Sura, M. R. (2024). *Smart Environmental Monitoring Using Esp32 Microcontroller*.
<https://www.iosrjournals.org/iosr-jece/papers/Vol.%2019%20Issue%203/Ser-1/B1903010712.pdf>
- Pantiwati, Y., Permana, F. H., Aminudin, & Sari, T. N. I. (2024). *PROTOTYPE E-MODUL MODEL PEMBELAJARAN LI-PRO-GP*. UMMPress.
<https://books.google.co.id/books?id=o-USEQAAQBAJ>
- Rezeki, Y. A., & Safitri, S. Y. (2022). *Alat Eksperimen Fisika Berbasis IoT untuk Penentuan Konstanta Pendinginan Newton*. CV Pajang Putra Wijaya.
<https://books.google.co.id/books?id=Sb6fEAAAQBAJ>
- Rahmatulloh, A., Rianto, R., & Firmansah, T. A. (2019). Telegram Bot Implementation in Academic Information Services with The Forward Chaining Method. *Sinkron : Jurnal Dan Penelitian Teknik Informatika*, 3(2), Article 2.
<https://doi.org/10.33395/sinkron.v3i2.10023>
- Rivangga, S., Yanuarti, R., & Nilogiri, A. (2024). Implementasi Cloud Computing Pada Prediksi Tingkat Kualitas Udara Berbasis Internet Of Things. *JUSTINDO (Jurnal Sistem Dan Teknologi Informasi Indonesia)*, 9(2), Article 2.
<https://doi.org/10.32528/justindo.v9i2.1574>
- Sarkar, A., Ghosh, D., Ganguly, K., Ghosh, S., & Saha, S. (2023). *Exploring IoT for real-time CO2 monitoring and analysis* (No. arXiv:2308.03780). arXiv.
<https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.03780>
- Sulasminingsih, S., Juwariyah, T., Siahaan, Y., Putri, B. H., & Putra, N. A. (2024). Penerapan Tema SDGs Kehidupan Sehat dan Sejahtera untuk Menangani Polusi Udara di Jakarta. *IKRA-ITH Teknologi Jurnal Sains Dan Teknologi*, 8(1), Article 1.
<https://doi.org/10.37817/ikraith-teknologi.v8i1.3239>
- Syukhron, I., Rahmadewi, R., & Ibrahim. (2021). Penggunaan Aplikasi Blynk untuk Sistem Monitoring dan Kontrol Jarak Jauh pada Sistem Kompos Pintar berbasis IoT. *Electrician : Jurnal Rekayasa Dan Teknologi Elektro*, 15(1), Article 1.
<https://doi.org/10.23960/elc.v15n1.2158>
- Umbu, A. B. S. (2023). Analisis Grafik Karakteristik Sensitivitas Sensor MQ-135 untuk Menentukan Persamaan Hubungan antara ppm dan Rs/Ro. *Jurnal Teori dan Aplikasi Fisika*, 49–60.
<https://doi.org/10.23960/jtaf.v11i2.314>
- Widharma, I. G. S., & Wiranata. (2022). Mikrokontroler dan Aplikasi, Penulis: I Gede Suputra Widharma & Lalu Febrian Wiranata. *Penerbit Wawasan Ilmu*.
<https://wawasanilmu.co.id/product/mikrokontroler-dan-aplikasi-penulis-i-gede-suputra-widharma-lalu-febrian-wiranata/>