

Monitoring Kadar Gas NO_x dan CO Pada Emisi Gas Buang Kendaraan

Monitoring NO_x and CO Gas Levels In Vehicle Exhaust Gas Emissions

Andhika Ihza Yusuf Gunadi¹, Danny Kurnianto*², Nur Afifah Zen³

^{1,3}*Department of Telecommunication Engineering, Telkom University*

²*Department of Telecommunication Engineering, Diploma Program, Telkom University
Jl. DI Panjaitan No.128, Purwokerto, Indonesia*

*²Corresponding author: dannykurnianto@telkomuniversity.ac.id

¹andhikaihza123@gmail.com, ³nurafifahzen@telkomuniversity.ac.id

Received on 12-11-2024, accepted on 07-01-2025, published on 27-01-2025

Abstrak

Gas karbon monoksida tidak berwarna, tidak berbau dan tidak berasa. Karbon monoksida mempunyai potensi bersifat racun yang berbahaya ketika terhirup karena gas masuk kedalam aliran darah dan dapat menempel pada *hemoglobin* dan tidak dapat memasok udara kedalam tubuh yang mengakibatkan manusia dapat kehilangan nyawa dalam hitungan menit tanpa disadari, sementara gas nitrogen oksida dapat menimbulkan gangguan sistem pernapasan pada paru-paru yang dapat merusak jaringan mukosa. Tujuan penelitian ini merancang sistem dalam bentuk *prototype* yang dapat mendeteksi gas karbon monoksida dan gas nitrogen oksida. Pada sistem ini menggunakan ESP32 sebagai olah data dari sensor, sensor MQ-7 sebagai pendeteksi gas karbon monoksida, sensor MQ-135 sebagai pendeteksi gas nitrogen oksida. Setiap informasi dikirimkan secara *real-time* melalui internet oleh mikrokontroler, sehingga dapat dipantau menggunakan aplikasi *blink*. Apabila kadar gas karbon monoksida dan nitrogen oksida yang terukur melebihi batas yang ditentukan, maka mikrokontroler akan memberikan perintah motor servo untuk membuka jendela *prototype* dan memberikan peringatan suara melalui *buzzer*. Pengujian pada sensor MQ-7 memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 4,27% dan rata-rata akurasi 95,73%. Kemudian pada pengujian sensor MQ-135 juga memberikan hasil dengan rata-rata *error* sebesar 5,57% dan rata-rata akurasi 94,43% untuk gas NO_x.

Kata kunci: Karbon Monoksida, MQ-7, MQ-135, Nitrogen Oksida, Otomatisasi

Abstract

Carbon monoxide gas is colorless, odorless and tasteless. Carbon monoxide has the potential to be a dangerous poison when inhaled because the gas enters the bloodstream and can attach to haemoglobin and cannot supply air into the body, which causes humans to lose their lives in minutes without realizing it. In contrast, nitrogen oxide gas can cause respiratory system disorders in the lungs, which can damage mucosal tissue. The purpose of this research is to design a prototype system that can detect carbon monoxide gas and nitrogen oxide gas. This system uses ESP32 as data processing from sensors, MQ-7 sensor as carbon monoxide gas detector, and MQ-135 sensor as nitrogen oxide gas detector. Each piece of information is sent in real-time via the internet by the microcontroller so that it can be monitored using the Blynk application. Suppose the measured carbon monoxide and nitrogen oxide gas levels exceed the specified limits. In that case, the microcontroller will instruct the servo motor to open the prototype window and provide a sound warning through the buzzer. Testing on the MQ-7 sensor gives results with an average error of 4.27% and an average accuracy of 95.73%. Then the MQ-135 sensor test also gave results with an average error of 5.57% and an average accuracy of 94.43% for NO_x gas.

Keywords: Carbon Monoxide, MQ-7, MQ-135, Nitrogen Oxide, Automation

I. PENDAHULUAN

Saat ini banyak individu yang mengandalkan kendaraan, khususnya mobil pribadi untuk perjalanan jarak jauh. Penggunaan kendaraan dalam waktu yang lama dapat menyebabkan kelelahan, sehingga para pengemudi sering kali memerlukan waktu istirahat. Beberapa orang memilih untuk beristirahat di dalam kendaraan karena merasa lebih nyaman dan aman. Namun, tidur di dalam kendaraan dengan mesin yang menyala dan pendingin udara dapat menimbulkan risiko, mengingat gas buang dari mesin mengandung zat-zat berbahaya. Proses pembakaran bahan bakar hidrokarbon tidak hanya menghasilkan karbon dioksida dan uap air, tetapi juga memproduksi nitrogen oksida (NOx), karbon monoksida, dan hidrokarbon yang tidak terbakar, yang semuanya dapat berpotensi beracun bagi kesehatan manusia. Nitrogen Oksida (NOx) merupakan sekumpulan gas yang meliputi Nitrogen Monoksida (NO) dan Nitrogen Dioksida (NO₂), serta melibatkan pembentukan Nitrogen Oksida (NOx). Gas-gas ini tidak memiliki warna, bau, maupun rasa. Proses pembentukan nitrogen oksida terjadi pada suhu dan tekanan tinggi di dalam mesin, yang menciptakan kondisi yang mendukung percepatan pembentukan gas tersebut. Karbon monoksida (CO) merupakan gas yang tidak memiliki warna, bau, atau rasa, serta mudah terbakar dan sangat berbahaya bagi kesehatan. Gas ini juga tidak dapat larut dalam air [1]. Gas buang kendaraan berbahan bakar bensin terdiri dari 72% nitrogen (N₂), 18,1% karbon dioksida (CO₂), 8,2% uap air (H₂O), 1,2% argon, 1,1% oksigen (O₂), dan 1,1% gas berbahaya. Gas berbahaya tersebut meliputi 0,13% nitrogen oksida (NOx), 0,09% hidrokarbon (HC), dan 0,9% karbon monoksida (CO). Meskipun hanya sebagian kecil dari total volume, gas-gas berbahaya ini berkontribusi signifikan terhadap polusi udara [2].

Ketika karbon monoksida memasuki aliran darah dapat berikatan dengan *hemoglobin* dan menggantikan oksigen, yang mengakibatkan penurunan jumlah oksigen yang tersedia untuk organ-organ tubuh. Hal ini berdampak negatif pada kemampuan fisik dan mental makhluk hidup yang terpapar. Gejala awal yang sering muncul akibat keracunan karbon monoksida adalah pusing, yang jika tidak ditangani dengan cepat, dapat berujung pada kematian. Senyawa ini memiliki afinitas yang lebih tinggi terhadap *hemoglobin* dibandingkan dengan oksigen [3].

Terdapat beberapa kasus yang terjadi, pada kasus pertama terdapat kematian akibat paparan karbon monoksida di mobil telah terjadi di berbagai tempat. Pada 27 Juli 2020, Kompas melaporkan dua orang meninggal saat tidur di mobil dengan mesin dan AC menyala dalam perjalanan dari Pelabuhan Bakauheni ke Merak [4]. Republika, 6 Juli 2023, melaporkan dua orang di Muara Teweh, Kalimantan Tengah, meninggal karena keracunan gas kendaraan saat tidur di mobil [5]. Liputan6, 18 September 2020, mencatat empat korban keracunan gas di Malaysia, dua di antaranya meninggal [6].

Berdasarkan pemaparan permasalahan diatas, sebagai bentuk pencegahan dirancang sistem kontrol untuk mendeteksi gas karbon monoksida (CO) dan nitrogen oksida (NOx) pada kotak *prototype* menggunakan sensor MQ-135 untuk mendeteksi gas NOx [7]. Serta sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO [8]. Sistem ini memantau kadar gas berbahaya secara *real-time* dengan integrasi *platform* IoT, memberikan peringatan ketika konsentrasi gas melebihi ambang batas, serta mengatur jendela *prototype* untuk meningkatkan sirkulasi udara. Dilengkapi tampilan informasi berbasis IoT dan peringatan suara, sistem ini bertujuan meningkatkan keselamatan, kenyamanan, dan mencegah risiko kesehatan akibat paparan gas berbahaya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

Pada penelitian yang dilakukan oleh Gregi Septian fokus utama adalah deteksi gas CO dengan memanfaatkan LCD dan *buzzer* sebagai *output*, dan pada penelitian Erik Candra F melakukan penelitian serupa, namun ia menggunakan *buzzer*, LCD, dan LED sebagai *output*. Kedua penelitian ini terbatas pada satu variabel penelitian dan tidak melibatkan tindakan lebih lanjut, sehingga terdapat potensi untuk menambahkan variabel penelitian dan tindakan tambahan [9, 10]. Ainun Mutmainnah melakukan penelitian yang berfokus pada deteksi gas CO dengan menggunakan LCD dan aplikasi untuk monitoring sebagai *output* [11]. Di sisi lain, Suzuki Sofyan juga meneliti deteksi gas CO dengan *buzzer* sebagai *output*. sementara Nizirwan Anwar melakukan penelitian yang lebih komprehensif dengan deteksi gas CO menggunakan *buzzer* sebagai *output*, aplikasi untuk monitoring, serta penurunan jendela kendaraan sebagai tindakan lebih lanjut. Namun dari kedua penelitian diatas masih terbatas pada satu variabel, sehingga ada ruang untuk menambahkan variabel penelitian [12, 13]. Penelitian yang dilakukan oleh Mutiara Asmazori dan Nini Firmawati berfokus pada deteksi gas CO dan NOx dengan menggunakan modul suara dan bot telegram sebagai *output* dari penelitian, sementara pada penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Zidni,

dkk. Melakukan monitoring gas CO dan NO_x untuk kesehatan udara dengan *output* notifikasi pada telegram, pada kedua penelitian diatas terdapat persamaan tidak adanya tindakan lebih lanjut seperti penurunan kaca jendela [14, 15]. Pada penelitian yang dilakukan oleh Dias Damar Sumaga adalah pengaruh *blower* terhadap hasil uji kadar emisi gas buang dengan menggunakan beberapa sensor untuk deteksi, pada penelitian Tarra Indira Kusuma melakukan pemantauan kualitas udara dengan menggunakan LCD untuk menampilkan data, Kipas DC, dan *buzzer*. Dari kedua penelitian diatas, terdapat persamaan tidak adanya aplikasi untuk memantau nilai kadar gas secara *real-time* [16, 17]. Pada penelitian yang dilakukan Alfian Nurfauzi melakukan monitoring sistem karbon monoksida pada kabin mobil dengan *output* LCD untuk menampilkan data, *blower fan* untuk sirkulasi udara, LED dan indikator *buzzer* untuk memberikan peringatan. Penelitian ini tidak menggunakan aplikasi untuk memantau secara *real-time* dan tidak ada tindakan pencegahan untuk penurunan jendela [18].

Penelitian yang diusulkan berbeda dari penelitian sebelumnya yang hanya memfokuskan pada satu variabel, yaitu gas karbon monoksida (CO). Dalam studi ini, dua variabel yang diperhatikan adalah gas CO dan nitrogen oksida (NO_x), yang keduanya memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan manusia dan kondisi lingkungan. Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah mengidentifikasi adanya paparan gas CO dan NO_x di dalam kabin kendaraan saat berkendara, belum ada langkah konkret yang diambil untuk mencegah atau mengurangi konsentrasi kedua gas tersebut. Dalam penelitian ini, digunakan ESP32 sebagai pengendali, sensor MQ-7 untuk mendeteksi gas CO, sensor MQ-135 untuk gas NO_x, serta *buzzer* sebagai alat peringatan suara. Selain itu, aplikasi *blynk* digunakan untuk memantau kadar gas, dan motor servo diterapkan untuk mengoperasikan jendela sebagai langkah pencegahan terhadap akumulasi gas yang berlebihan.

A. NodeMCU ESP32

NodeMCU adalah papan elektronik berbasis chip ESP32 yang banyak digunakan dalam proyek IoT dan perangkat elektronik. ESP32 memiliki dua inti CPU yang dapat bekerja secara paralel atau hemat energi dengan kecepatan hingga 240 MHz. Keunggulannya terletak pada konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth, menjadikannya ideal untuk aplikasi IoT [19].

B. Sensor MQ-7

MQ-7 adalah sensor gas yang mendeteksi karbon monoksida (CO) dengan sensitivitas tinggi untuk aplikasi rumah tangga, industri, dan kendaraan. Sensor ini membutuhkan catu daya 5V AC/DC untuk *heater* dan 5V DC untuk rangkaian, serta mampu mengukur CO dalam rentang 10–10.000 ppm [8].

C. Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 mendeteksi berbagai gas berbahaya seperti NH₃, NO_x, CO, CO₂, alkohol, dan benzol, yang memengaruhi kualitas udara. Sensor ini bekerja dengan mengukur perubahan resistensi saat terpapar gas dan memiliki sensitivitas yang dapat disesuaikan. Efisien dalam daya, MQ-135 cocok untuk mendeteksi polusi dengan akurasi dalam rentang ppm [7].

D. Buzzer

Buzzer adalah komponen elektronik yang mengubah energi listrik menjadi suara. Dengan prinsip kerja mirip *loudspeaker*, *buzzer* menggunakan kumparan untuk menciptakan medan elektromagnet yang menggerakkan diafragma, menghasilkan gelombang suara yang dapat didengar [20].

E. Motor Servo

Motor servo SG90 adalah motor DC dengan sistem umpan balik yang memungkinkan pengendalian posisi sudut dengan akurasi tinggi. Sinyal kontrolnya berupa pulsa PWM, digunakan untuk mengatur posisi dan sudut putaran motor dengan mudah [21].

F. Mekanisme Kerja Pada *Prototype*

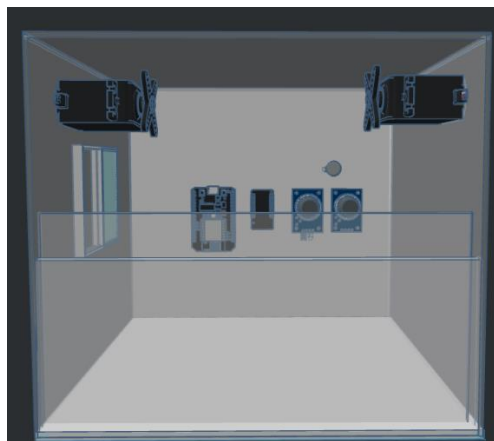
Prototype ini dikembangkan dengan sistem yang canggih untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya, seperti karbon monoksida dan nitrogen oksida. Sensor MQ-7 dan MQ-135 digunakan untuk mengukur konsentrasi gas di dalam kotak *prototype*. Apabila konsentrasi gas yang terdeteksi melebihi ambang batas yang telah ditentukan, informasi tersebut akan diterima oleh mikrokontroler ESP32. Proses ini dilakukan secara real-time, sehingga setiap perubahan dalam kadar gas dapat dipantau dengan segera.

Setelah sensor mengumpulkan data, ESP32 akan menginstruksikan motor servo untuk membuka jendela *prototype* sesuai dengan tingkat konsentrasi gas yang terdeteksi. Jendela *prototype* akan terbuka lebih lebar seiring dengan meningkatnya kadar gas, yang akan meningkatkan sirkulasi udara di dalam kotak *prototype*. Selain itu, ESP32 juga akan mengaktifkan buzzer sebagai peringatan suara kepada pengguna mengenai potensi bahaya. Data mengenai kadar gas yang terdeteksi akan dikirimkan ke aplikasi *blynk*, sehingga pengguna dapat memantau informasi tersebut secara real-time melalui perangkat mobile mereka. Dengan cara ini, sistem ini tidak hanya melakukan tindakan otomatis, tetapi juga menyediakan informasi yang penting untuk meningkatkan keselamatan dan kenyamanan saat berkendara.

III. METODE PENELITIAN

Perancangan *prototype* dilakukan melalui serangkaian langkah, dimulai dengan pengembangan konsep dasar yang mencakup pemilihan komponen yang tepat. *Prototype* ini dirancang untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya dengan memanfaatkan sensor MQ-135 untuk nitrogen oksida dan MQ-7 untuk karbon monoksida. Selain itu, pembuatan antarmuka pemantauan menggunakan aplikasi *blynk* juga merupakan elemen krusial dalam proses ini. Dengan antarmuka tersebut, pengguna dapat memantau data secara langsung dan menerima pemberitahuan terkait status kadar gas di dalam kotak *prototype*. Tujuan dari pembuatan *prototype* ini adalah untuk menghasilkan sistem yang tidak hanya berfungsi secara optimal, tetapi juga mudah digunakan dan diakses. Melalui aplikasi *blynk*, operator dapat berinteraksi dengan sistem kontrol, memperoleh informasi mengenai kadar gas, serta menerima peringatan apabila kadar gas melebihi batas yang telah ditentukan.

A. Perancangan *prototype* model 3D ruangan



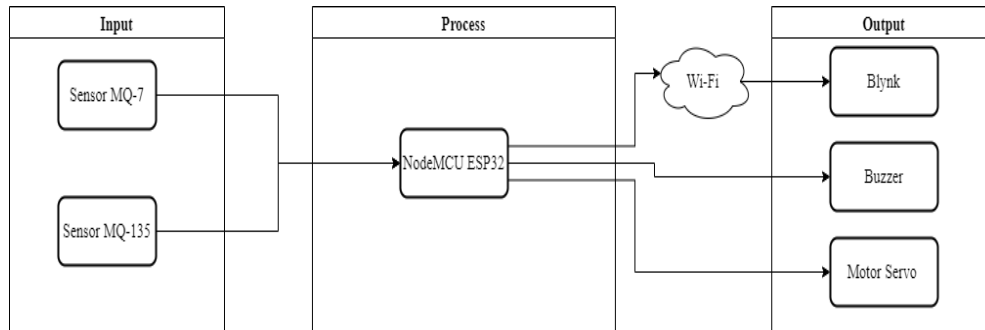
Gambar 1 Desain *Prototype* 3D

Pada gambar 1 ini menampilkan tampak depan yang menunjukkan komponen-komponen yang telah terpasang di dalamnya, serta menggambarkan penataan yang rapi dari berbagai elemen elektronik, seperti sensor, mikrokontroler, motor servo, dan *buzzer* yang berfungsi secara sinergis untuk mendeteksi kualitas udara. Selanjutnya, desain *prototype* 3D yang dihasilkan menggunakan platform *Thinkercad* ditampilkan. Desain ini akan diterapkan dengan menggunakan akrilik sebagai bahan utama, dengan ukuran *prototype* untuk penelitian ini adalah 35 cm x 35 cm untuk lebar dan panjang. Dalam desain *prototype*, sensor MQ-7, sensor MQ-135, ESP32, dan *buzzer* ditempatkan di bagian belakang dalam, sementara motor servo diletakkan di samping dinding untuk mengatur jendela yang berfungsi menaikkan dan menurunkan guna

mengeluarkan gas. Di sisi samping juga terdapat jendela geser kecil yang berfungsi untuk memasukkan gas ke dalam *prototype*.

B. Blok Diagram

Pada penelitian "Monitoring Kadar Gas NO_x dan CO Pada Emisi Gas Buang Kendaraan" menggunakan blok diagram seperti pada gambar 2.

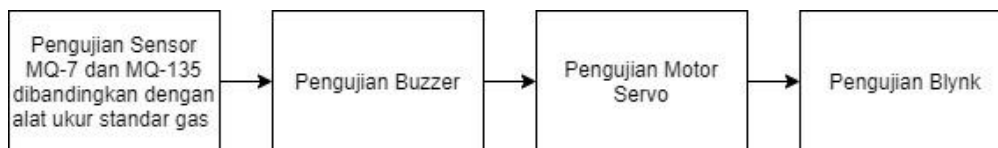


Gambar 2 Blok Rangkaian

Pada Gambar 2 ditampilkan sebuah skema rangkaian yang akan dianalisis, yang dibuat menggunakan komponen yang meliputi sensor MQ-7, sensor MQ-135, ESP32, dua motor servo, dan sebuah *buzzer*. Semua komponen tersebut telah tersedia dalam pustaka *Fritzing*. Dalam implementasi perangkat keras secara langsung, ESP32 berfungsi sebagai mikrokontroler yang bertanggung jawab untuk memproses data dan memberikan instruksi kepada semua komponen yang terhubung. Sensor MQ-7 dan MQ-135 berfungsi sebagai *input*, sedangkan *outputnya* terdiri dari dua motor servo yang berfungsi untuk menggerakkan jendela *prototype*, serta *buzzer* yang berfungsi sebagai sinyal peringatan suara.

C. Alur Sistem Pengujian

Terdapat beberapa tahap yang dilakukan untuk pengujian sistem yang ditampilkan pada Gambar 3.



Gambar 3 Alur Sistem Pengujian

Pada Gambar 3 ditampilkan sebuah alur sistem pengujian dengan tahap pertama sensor MQ-135 dan MQ-7 diletakkan didalam kotak yang ditutup rapat beserta alat ukur standar gas *analyzer* GUT 4020h sebagai alat standar pengujian. Pertama gas dari kendaraan dimasukan kedalam kotak, gas dimasukan dengan selang yang dihubungkan ke knalpot mobil. Selama pengujian mobil dalam kondisi mesin menyala untuk memberikan sumber gas buang, proses pengambilan data selama 20 detik hingga alat standar menampilkan hasil gas buang. Untuk sensor MQ-135 dan MQ-7 diberikan *delay* antara data 1 dan 2 selama 4 detik, sehingga terdapat 5 data yang dikumpulkan.

Tahap Kedua Pengujian *Buzzer* dilakukan dengan menutup rapat kotak *prototype*, sensor MQ-7 dan MQ-135, ESP32 berada didalam kotak *prototype*. Gas dimasukan kedalam kotak selama 20 detik, kemudian dipantau melalui serial monitor untuk melihat nilai kadar gas didalam kotak. Ketika nilai kadar gas mencapai 25 ppm *buzzer* akan mengeluarkan suara. Dengan menerapkan metode ini, pengujian dapat memberikan gambaran menyeluruh tentang kinerja *buzzer*, baik dalam situasi pengujian langsung maupun dalam konteks aplikasi yang lebih kompleks. Hasil dari pengujian ini sangat penting untuk memastikan *buzzer* dapat berfungsi dengan efektif sebagai sinyal peringatan dalam system.

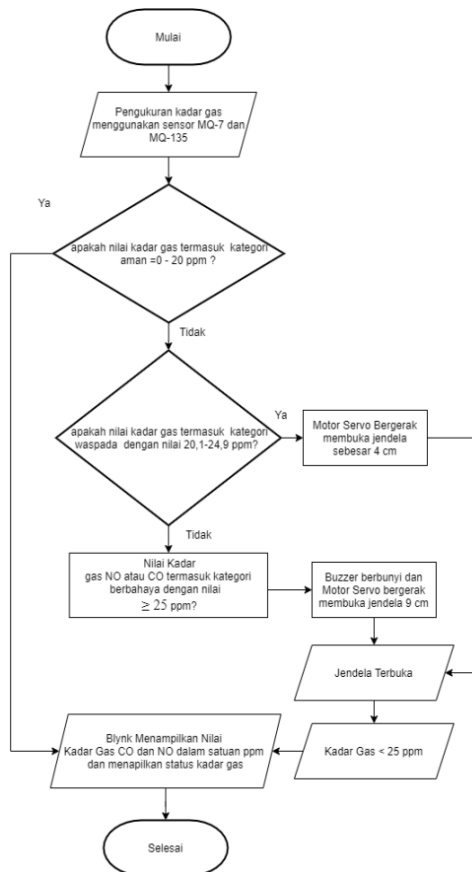
Pengujian tahap tiga, motor servo diberikan perintah bergerak secara maksimal untuk mengetahui lebar jendela *prototype* yang terbuka. Setelah itu servo disesuaikan dengan jendela *prototype* yang dapat terbuka

dengan lebar 9 cm dalam status berbahaya, dan jendela *prototype* terbuka dengan lebar 4 cm dalam status waspada. Hasil dari pengujian ini dapat mengetahui efektivitas sistem jendela otomatis yang dirancang untuk meningkatkan kualitas udara.

Pengujian tahap empat, Pengambilan data pengujian *blink* berdasarkan waktu ketika gas dimasukkan kedalam kotak *prototype* dan dihitung waktu sampai nilai kadar gas dikatakan aman yaitu dibawah 20 ppm, dengan nilai volume kotak sebesar 46.656 cm³.

D. Alur Sistem Otomatisasi Gas

Pada penelitian "Monitoring Kadar Gas NO_x dan CO Pada Emisi Gas Buang Kendaraan" menggunakan sebuah sistem otomatisasi untuk mengukur kadar gas berbahaya, khususnya Nitrogen Oksida (NO_x) dan Karbon Monoksida (CO), yang terdapat dalam emisi gas buang kendaraan. Diagram alir menampilkan proses pengambilan data oleh sensor dan dianalisis oleh sistem untuk menentukan kategori kadar gas. Setelah hasil didapatkan, sistem memberikan respon otomatis yang sesuai dengan kategori kadar gas tersebut. Sistem dirancang dengan tahapan proses yang dapat dilihat pada diagram alir yang ditampilkan pada gambar 4.



Gambar 4 Alur Sistem Otomatisasi Gas

Pada Gambar 4, tahap awal yang dilakukan adalah pengukuran kadar gas menggunakan kedua sensor. Membaca data dari kedua sensor, menentukan nilai kadar gas yang dibagi menjadi 3 kategori. Kategori pertama rentang nilai kadar gas 0 hingga 20 ppm, jika nilai kadar gas berada dalam rentang tersebut maka nilai kadar gas akan dikirim ke *blink* tanpa adanya tindakan lebih lanjut. Kategori kedua nilai kadar gas berada dalam rentang nilai 21.1 hingga 24,9 ppm, maka motor servo akan membuka jendela *prototype* sebesar 4 cm sebagai tindakan pencegahan tanpa membunyikan *buzzer*. Kategori ketiga adalah nilai kadar gas mencapai 25 ppm atau lebih untuk kadar gas NO_x dan CO dengan ketentuan berdasarkan Peraturan Menteri Tenaga Kerja dan Transmigrasi [22], motor servo akan membuka jendela *prototype* sebesar 9 cm dan *buzzer* akan berbunyi, serta mengirimkan nilai ke *blink* dan mengirimkan status kategori gas.

E. Monitoring Dengan Blynk

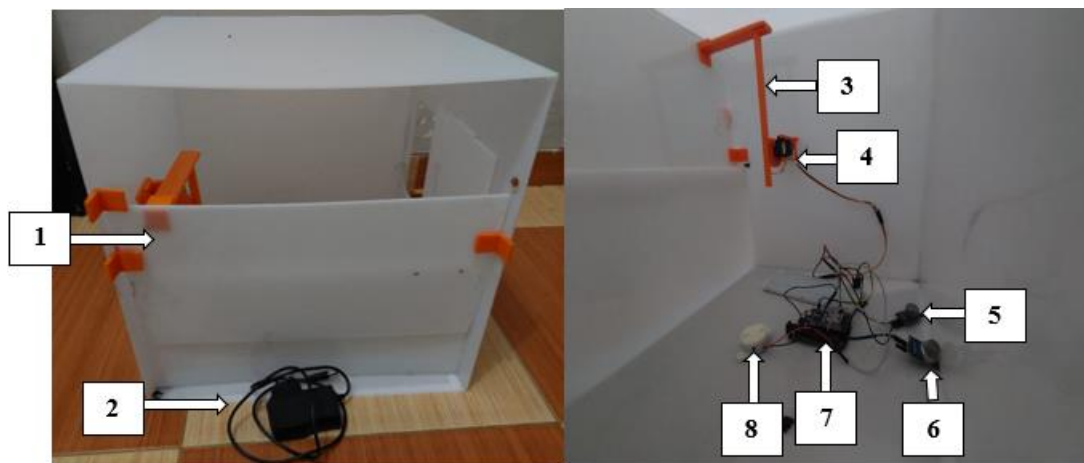
Aplikasi *blynk* merupakan sebuah *platform* yang dirancang untuk perangkat *mobile* dengan sistem operasi iOS dan Android, yang memungkinkan pengguna untuk mengendalikan modul seperti Arduino, Raspberry Pi, dan WEMOS D1 melalui jaringan internet. Dengan antarmuka grafis yang mudah digunakan, aplikasi ini memfasilitasi pembuatan proyek dengan metode *drag and drop widget*, sehingga pengguna dapat mengatur semua fitur dalam waktu kurang dari lima menit, menjadikannya sangat ramah pengguna. *Blynk* tidak terikat pada papan atau modul tertentu, memberikan fleksibilitas dalam mengontrol berbagai perangkat dari jarak jauh kapan saja dan di mana saja, asalkan perangkat tersebut terhubung ke internet dengan koneksi yang stabil. Konsep ini merupakan bagian dari sistem *Internet of Things* (IoT). Sebagai sebuah *platform Internet of Things* (IoT), *blynk* memberikan kemudahan bagi pengguna untuk menghubungkan berbagai perangkat keras IoT serta mengontrol dan memantau perangkat tersebut dari lokasi yang jauh. Dalam hal pengukuran kualitas udara, *blynk* menyajikan data dari sensor MQ-7 dan MQ-135, yang berfungsi untuk mendeteksi keberadaan gas berbahaya seperti karbon monoksida dan nitrogen oksida. Dengan adanya fitur pemantauan yang disediakan, pengguna dapat memantau secara langsung kadar gas di dalam kotak *prototype* sehingga memungkinkan mereka untuk mengambil langkah-langkah pencegahan apabila kadar gas melebihi batas yang telah ditentukan. Hal ini berkontribusi pada upaya menjaga keselamatan dan kesehatan pengguna, serta meningkatkan kenyamanan saat berkendara.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan ditunjukkan hasil perancangan *prototype* “Monitoring Kadar Gas NOx dan CO Pada Emisi Gas Buang Kendaraan”, dan hasil pengujian sistem dengan uji coba secara langsung menggunakan kendaraan.

A. Hasil Perancangan *Prototype*

Pada bagian ini menampilkan hasil perancangan akhir dengan semua komponen mulai dari sensor MQ-7 dan MQ-135, mikrokontroler ESP32, hingga motor servo dan *buzzer*, yang telah terpasang di dalamnya, menunjukkan integrasi dan fungsi sistem secara keseluruhan.



Gambar 5 Hasil Perancangan *Prototype*

Pada Gambar 5 merupakan rincian dari hasil perancangan sistem yang telah dikerjakan. Pada gambar tersebut, dapat dilihat berbagai komponen dan alat yang digunakan dalam sistem ini. Alat-alat dan komponen yang digunakan pada sistem ini diantaranya yaitu:

1. Jendela *Prototype*
2. Adaptor 5 volt
3. Rack and Pinion

4. Motor Servo
5. Sensor MQ-7
6. Sensor MQ-135
7. ESP32
8. Buzzer

Jendela digunakan untuk mengeluarkan gas didalam kotak *prototype* dengan mekanisme naik turun. *Rack and pinion* berfungsi sebagai mekanisme yang menghubungkan motor servo dengan jendela. Sensor MQ-7 berfungsi untuk mendeteksi gas karbon monoksida, dan sensor MQ-135 berfungsi untuk mendeteksi gas nitrogen oksida. Kemudian *buzzer* digunakan untuk memberikan peringatan suara jika nilai kadar gas melebihi ambang batas. Pada sistem tersebut juga terdapat fitur monitoring nilai gas CO dan NOx melalui aplikasi *blynk* dan informasi nilai kadar gas ditampilkan dalam bentuk angka. Sensor MQ-135 dan sensor MQ-7 akan memberikan data nilai kadar gas pada aplikasi *blynk* untuk membantu pengguna dalam memantau kondisi kotak *prototype* secara *real-time* dan memberikan perlindungan yang lebih bagi pengguna dari bahaya gas beracun.

B. Hasil Pengujian Perangkat

1. Pengujian Sensor MQ-135

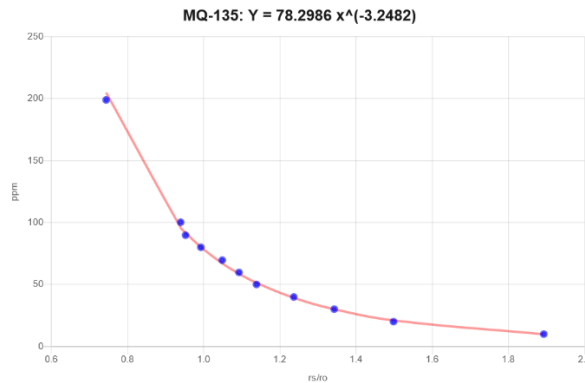
Pengujian dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat sensor dalam mengukur kadar gas dengan cara membandingkan sensor MQ-135 dengan alat ukur standar gas *analyzer* GUT 4020h yang digunakan untuk uji emisi gas buang kendaraan.



Gambar 6 Pengambilan Data Dengan Kotak Prototype

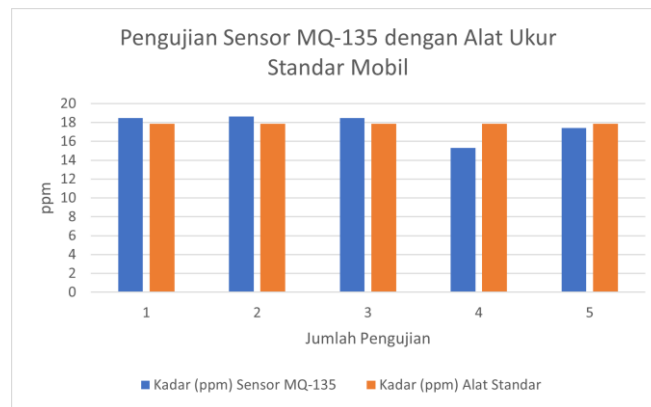
Pada Gambar 6 dilakukan pengujian untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor dalam mengukur konsentrasi gas dengan membandingkan sensor MQ-135 terhadap alat ukur standar yang digunakan dalam pengujian emisi gas buang kendaraan.

Terdapat pengukuran grafik sensor dengan perbandingan nilai ppm dengan nilai rs/ro yang menandakan rasio antara resistansi sensor dengan resistansi referensi, pengujian pada sensor MQ-135 untuk mengukur nilai gas netral yang terdapat pada ruangan.



Gambar 7 Grafik Sensor MQ-135

Pada Gambar 7 menampilkan grafik karakteristik *datasheet*, sumbu x merupakan nilai rs/ro dan sumbu y adalah nilai PPM. Dengan menggunakan regresi *power* dapat diperoleh persamaan $Y = 78.2986x^{-3.2482}$, rumus tersebut merupakan hubungan antara NO_x dengan rs/ro .



Gambar 8 Pengujian Sensor MQ-135 Dengan Alat Ukur Standar Mobil

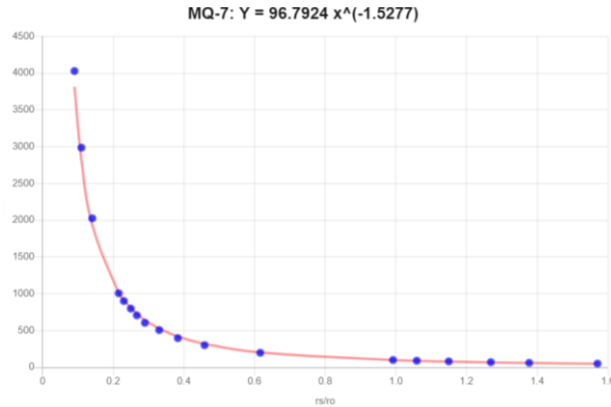
Pada Gambar 8 hasil rata-rata pengujian sensor MQ-135 yang telah dibandingkan dengan alat ukur standar menggunakan mobil sebagai *platform* pengujian. Data pada tabel diatas merupakan hasil penggabungan dari dua tabel yang terdapat 5 kali hasil pengujian pada masing-masing tabel. Pengujian pertama, kadar PPM yang terdeteksi oleh sensor MQ-135 bervariasi. Didapatkan nilai pengukuran terendah 15,31 PPM dan tertinggi 18,63 PPM, sementara untuk alat standar mendapatkan nilai 17,86 PPM disetiap pengukuran.

Dari pengujian tersebut, persentase *error* dihitung untuk setiap pengukuran dengan membandingkan nilai yang terdeteksi oleh sensor dengan nilai yang diperoleh dari alat standar. Rata-rata persentase *error* yang diperoleh pada pengujian adalah 5,57%, menunjukkan adanya variasi antara pembacaan sensor dan nilai standar. Meskipun terdapat *error*, hasil ini menunjukkan bahwa sensor MQ-135 dapat memberikan pembacaan yang cukup konsisten dan mendekati nilai standar. Dari pengujian pertama didapatkan rata-rata akurasi sebesar 94,43%.

2. Pengujian Sensor MQ-7

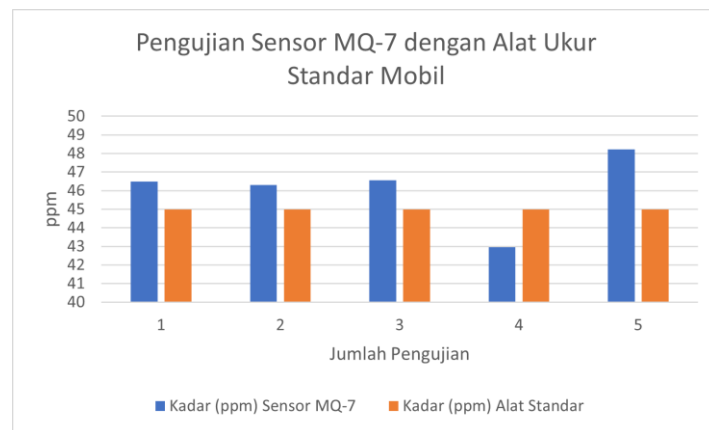
Pengujian dilakukan seperti pada gambar 9 untuk mengetahui akurasi sensor dalam mengukur kadar gas dengan cara membandingkan sensor MQ-7 dengan alat ukur standar gas *analyzer* GUT 4020h yang digunakan untuk uji emisi gas buang kendaraan.

Terdapat pengukuran grafik sensor dengan perbandingan nilai ppm dengan nilai rs/ro yang menandakan rasio antara resistansi sensor dengan resistansi referensi, pengujian pada sensor MQ-7 untuk mengukur nilai gas netral yang terdapat pada ruangan. Hasil pengukuran ditampilkan pada gambar 9.



Gambar 9 Grafik Sensor MQ-135

Pada Gambar 9 menampilkan grafik karakteristik *datasheet*, sumbu x merupakan nilai r_s/r_o dan sumbu y adalah nilai PPM. Dengan menggunakan regresi *power* dapat diperoleh persamaan $Y = 96.7924x^{-1.5277}$, rumus tersebut merupakan hubungan antara CO dengan r_s/r_o .



Gambar 10 Pengujian Sensor MQ-7 Dengan Alat Ukur Standar Mobil

Pada Gambar 10 menampilkan hasil rata-rata pengujian sensor MQ-7 yang telah dibandingkan dengan alat ukur standar menggunakan mobil sebagai *platform* pengujian. Data pada tabel diatas merupakan hasil penggabungan dari dua tabel yang terdapat 5 kali hasil pengujian pada masing-masing tabel. Pengujian pertama, kadar PPM yang terdeteksi oleh sensor MQ-7 bervariasi. Didapatkan nilai pengukuran terendah 42,96 PPM dan tertinggi 48,22 PPM, sementara untuk alat standar mendapatkan nilai 45 PPM disetiap pengukuran.

Dari pengujian tersebut, persentase *error* dihitung untuk setiap pengukuran dengan membandingkan nilai yang terdeteksi oleh sensor dengan nilai yang diperoleh dari alat standar. Rata-rata persentase *error* yang diperoleh pada pengujian adalah 4,27%, menunjukkan adanya variasi antara pembacaan sensor dan nilai standar. Meskipun terdapat *error*, hasil ini menunjukkan bahwa sensor MQ-7 dapat memberikan pembacaan yang cukup konsisten dan mendekati nilai standar. Dari pengujian pertama didapatkan rata-rata akurasi sebesar 95,73%.

3. Pengujian Buzzer

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *buzzer* dalam merespon perintah. Pada Tabel 1 pengujian *buzzer* dihubungkan dengan mikrokontroler serta komponen lain, dan menggunakan *input* gas sebagai pemicu aktif *buzzer*. *Buzzer* mulai aktif saat salah satu nilai kadar gas menyentuh 25 ppm atau lebih besar, sementara nilai kadar dibawah rentang 25 ppm maka *buzzer* tidak aktif.

Tabel 1 Pengujian Buzzer Sesuai Kadar PPM

Kadar (ppm) NOx	Kadar (ppm) CO	Aktif	Tidak Aktif
25,87	20,42	✓	X
Kadar (ppm) NOx	Kadar (ppm) CO	Aktif	Tidak Aktif
53,5	25,87	✓	X
28,07	25,64	✓	X
23,32	13,54	X	✓
9,59	22,13	X	✓
8,17	21,14	X	✓
4,87	18,21	X	✓
4,94	18,26	X	✓
5,06	18,31	X	✓
5,14	18,12	X	✓

4. Pengujian Motor Servo

Pada pengujian ini dirancang untuk menilai kinerja dan akurasi motor servo yang terintegrasi dengan jendela *prototype*.

Tabel 2 Pengujian Motor Servo

Jendela Terbuka (cm)	Kadar CO (ppm)	Kadar NOx (ppm)	Status
9	40,33	25,39	Berbahaya
9	37,74	27,35	Berbahaya
9	36,99	20,16	Berbahaya
4	21,6	7,22	Waspada
4	21,14	6,69	Waspada
4	22,13	8,24	Waspada
0	15,06	3,76	Aman
0	16,06	4,26	Aman
0	13,77	3,24	Aman
0	15,75	3,89	Aman

Pada Tabel 2 menunjukkan hasil pengujian motor servo dapat merespon dengan benar terhadap perubahan nilai kadar gas. Motor servo aktif saat nilai kadar gas mencapai 20,1 ppm karena sudah termasuk kategori waspada. Selanjutnya jendela *prototype* akan terbuka semakin lebar ketika nilai kadar gas mencapai 25 ppm atau lebih.

5. Pengujian Blynk

Berikut merupakan tampilan dari aplikasi *blynk* dengan pengiriman data secara *real-time* melalui aplikasi *blynk* sehingga pengguna dapat memantau secara langsung.



Gambar 11 Tampilan Antarmuka Aplikasi Blynk

Pada Gambar 11 aplikasi *blynk* berhasil mengakses nilai konsentrasi gas yang diukur oleh sensor MQ-135 dan MQ-7. Rentang pengukuran konsentrasi gas pada kedua sensor tersebut berkisar antara 0 ppm hingga 100 ppm. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa koneksi antara aplikasi dan sensor berjalan dengan baik, serta aplikasi mampu menampilkan data yang diterima dari sensor secara akurat. Integrasi antara aplikasi, sensor, dan aktuator dapat dianggap berhasil karena telah diimplementasikan dengan efektif.

Tabel 3 Pengujian Blynk Berdasarkan Waktu

No.	Waktu	PPM		Status
		MQ-135	MQ-7	
1	8.31	61,4	25,7	Berbahaya
2	8.31	28	25,7	Berbahaya
3	8.32	17	26	Berbahaya
4.	8.32	13,3	24,4	Waspada
5.	8.32	12,8	24,7	Waspada
6.	8.32	18,2	22,2	Waspada
7.	8.33	18,7	19,9	Aman
8.	8.33	18,1	20,3	Waspada
9.	8.33	17,1	20,1	Waspada
10.	8.33	16,7	19,7	Aman

Pada Tabel 3 pengujian *blynk* dipantau menggunakan *website blynk* secara langsung, terdapat 10 data yang diambil. Hasil pengujian didapatkan waktu selama 2 menit dari status berbahaya hingga aman dengan nilai volume kotak sebesar 46.656 cm³. Hasil ini menunjukkan bahwa pengiriman data dari mikrokontroler ESP32 ke *platform blynk* berfungsi dengan baik, dan data yang ditampilkan secara *real-time* tanpa adanya jeda.

V. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian, kinerja sensor menunjukkan rata-rata *error* 5,57% serta akurasi deteksi diatas 94,43% untuk gas NOx dan gas CO memiliki rata-rata *error* 4,27%, serta akurasi diatas 95,73%. Implementasi motor servo yang berfungsi untuk membuka jendela *prototype* secara otomatis sesuai dengan rentang 20,1 hingga 24,9 untuk membuka jendela *prototype* selebar 4 cm, nilai kadar gas mencapai 25 ppm atau lebih jendela *prototype* terbuka 9 cm dan *buzzer* dapat memberikan peringatan suara ketika kadar gas melebihi ambang batas yang telah ditentukan. Hal ini menunjukkan efektifitas sistem dalam mendeteksi gas berbahaya, serta *prototype* dapat dikembangkan lebih lanjut untuk membantu para pengguna kendaraan untuk menjaga kesehatan sehingga dapat meminimalisir resiko keracunan. Sistem *prototype* ini berhasil mengirimkan data ke sistem *cloud* secara efektif melalui aplikasi *blynk*, menunjukkan bahwa integrasi antara sensor, mikrokontroler, dan aplikasi dapat berjalan dengan baik, serta fitur monitoring berfungsi sesuai dengan harapan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. F. Azhar, "Analisis Biaya Kerugian Emisi Gas Buang Kendaraan Bermotor Akibat Volume Lalu Lintas Di Ruas Jalan Kota Bandar Lampung," 2022.
- [2] R. Sunaryanto and C. Situmorang, "Perbandingan Emisi Gas Buang Antara Motor Bahan Bakar Empat Tak Berbahan Bakar Premium, Peralite, Dan Pertamina," *Jurnal TechLINK*, vol. 4, no. 2, 2020.
- [3] M. Ehsani, Y. Gao, S. Longo, and K. Ebrahimi, *Modern Electric, Hybrid Electric, and Fuel Cell Vehicles Third Edition*. 2018.
- [4] M. Gusti, "Diduga Keracunan Gas Buang Kendaraan, Penumpang Tewas di Dalam Kendaraan," Kompas TV. Accessed: Mar. 31, 2023. [Online]. Available: <https://www.kompas.tv/article/97007/diduga-keracunan-gas-buang-kendaraan-penumpang-tewas-di-dalam-kendaraan>
- [5] Q. Rostanti, "Ayah dan Anak Ditemukan tak Bernyawa di Mobil, Diduga Keracunan Gas CO dari AC," Republika. Accessed: Sep. 27, 2023. [Online]. Available: <https://news.republika.co.id/berita/rxd5z3425/ayah-dan-anak-ditemukan-tak-bernyawa-di-mobil-diduga-keracunan-gas-co-dari-ac>
- [6] V. C. Sitompul, "Tertidur di Mobil dengan Mesin dan AC Hidup, 2 Wanita Tewas Keracunan Gas CO," Liputan6. Accessed: Sep. 27, 2023. [Online]. Available: <https://www.liputan6.com/global/read/4359670/tertibur-di-mobil-dengan-mesin-dan-ac-hidup-2-wanita-tewas-keracunan-gas-co?page=3>
- [7] M. Firly Akbar, "Pemanfaatan Sensor MQ-135 Sebagai Monitoring Kualitas Udara Pada Aula Gedung Fasilkom," Sep. 2021.

- [8] F. Ardiansyah, Misbah, and Pressa, "Sistem Monitoring Debu Dan Karbon Monoksida Pada Lingkungan Kerja Boiler Di PT. Karunia Alam Segar," *IKRA-ITH*, vol. 2, no. 3, p. 64, 2018.
- [9] G. Septian, R. Mardiaty, and M. R. Effendi, *Perancangan Sistem Deteksi Gas Karbon Monoksida Berbasis Mikrokontroler Arduino pada Kendaraan Roda Empat*. 2019.
- [10] E. Candra Fauzi, D. Wahiddin, and D. Sulisty Kusumaningrum, "Monitoring Kadar Karbon Monoksida Dalam Mobil Dengan Sensor MQ-9 Berbasis Arduino," *teknologi dan sains*, vol. II, no. 1, 2021.
- [11] A. Mutmainnah, "Pengembangan Alat Monitoring Kadar Gas Karbon Monoksida (CO) Berbasis IoT," 2020.
- [12] S. Syofian, A. Setiawan, and R. Siregar, "Deteksi dan Monitoring Gas Beracun Carbon Monoksida (CO) Pada Kabin Kendaraan Tua (Odometer > 300k km) dan Hubungannya Terhadap Kepadatan Kendaraan Dengan Metode Fuzzy," 2021.
- [13] N. Anwar, R. R. Saputra, and A. Ichwani, "Internet Of Things Monitoring Sistem Deteksi Gas Carbon Monoksida (CO) Pada Kabin Mobil," 2022.
- [14] M. Asmazori and N. Firmawati, "Rancang Bangun Alat Pendeteksi NOx dan CO Berbasis Mikrokontroler ESP32 dengan Notifikasi Via Telegram dan Suara," *JITCE (Journal of Information Technology and Computer Engineering)*, vol. 5, no. 02, pp. 57–62, Sep. 2021, doi: 10.25077/jitce.5.02.57-62.2021.
- [15] M. Zidni, M. Hannats, H. Ichsan, and S. R. Akbar, "Sistem Monitoring Kesehatan Udara menggunakan Sensor MQ7 dan MQ135 terhadap Berbagai Gas Berbahaya pada Mobil," 2022. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [16] D. Damar Sumbaga and S. Shofiah, "Pengaruh Blower Terhadap Hasil Uji Kadar Emisi Gas Buang (CO, HC, NOx, Asap) Berbasis Mikrokontroler.," *Teknik*, vol. 12, pp. 17–23, 2023, [Online]. Available: <http://jurnal.umt.ac.id/index.php/jt/index>
- [17] T. Indira, "Deteksi Gas CO dan NOx Berbasis Arduino Sebagai Informasi Kualitas Udara Di Wilayah Semarang," 2019.
- [18] A. Nurfauzi, "Prototype Sistem CO Detector pada Cabin Mobil," 2020.
- [19] Espressif Systems, "ESP32-WROOM-32 Datasheet." [Online]. Available: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32-wroom-32_datasheet_en.pdf.
- [20] S. Purwo Santoso and F. Wijayanto, "Rancang Bangun Akses Pintu Dengan Sensor Suhu Dan Handsanitizer Otomatis Berbasis Arduino," *Elektro*, vol. 10, no. 1, p. 23, 2022.
- [21] N. Tulus Ujianto, R. I. Fitria, D. A. Nawangnugraeni, and H. R. Jannah, "Pintu Air Otomatis Pencegah Rob Berbasis Arduino," vol. 14, no. 1, p. 60, 2023.