

Implementasi Dan Monitoring Kualitas Udara di Sekitar Area Pabrik Kelapa Sawit Menggunakan Metode Fuzzy Logic Berbasis IoT

Aditia Sahputra Sinuraya¹, Jaka Prayudha², Jufri Halim³

^{1,2} Sistem Komputer, STMIK Triguna Dharma

³ Sistem Informasi, STMIK Triguna Dharma

Email: ¹adityasinuraya18@gmail.com, ²jakaprayudha3@gmail.com, ³halim.jufri1972@gmail.com

Email Penulis Korespondensi: adityasinuraya18@gmail.com

Abstrak

Pencemaran udara di sekitar pabrik kelapa sawit Desa Lau Pakam, Kabupaten Karo menjadi isu lingkungan yang signifikan karena aktivitas industri yang menghasilkan emisi berbahaya seperti karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂). Polusi ini berdampak negatif terhadap kualitas udara dan kesehatan masyarakat sekitar. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang mampu mengidentifikasi tingkat pencemaran udara secara real-time agar mitigasi dapat segera dilakukan. Untuk menjawab permasalahan tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan sensor MQ-2 dan MQ-135 yang terintegrasi dengan NodeMCU ESP32. Data sensor diproses menggunakan metode logika fuzzy Mamdani untuk mengklasifikasikan tingkat pencemaran udara secara fleksibel dan akurat. Sistem juga menampilkan hasil melalui LCD, memberikan peringatan menggunakan LED dan buzzer, serta mengirimkan data ke aplikasi Blynk agar dapat diakses secara daring. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu memantau kualitas udara secara efektif dan memberikan notifikasi dini saat terjadi peningkatan polusi. Sistem ini tidak hanya memberikan kemudahan pemantauan, tetapi juga meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga kualitas udara di lingkungan industri. Diharapkan, sistem ini dapat diterapkan lebih luas pada wilayah rawan pencemaran lainnya.

Kata Kunci: Internet of Things, Fuzzy Logic, Kualitas Udara, NodeMCU, Blynk.

Abstract

Air pollution around the palm oil factory in Lau Pakam Village, Karo Regency, has become a significant environmental issue due to industrial activities that generate harmful emissions like carbon monoxide (CO) and carbon dioxide (CO₂). This pollution negatively impacts air quality and the health of the local community. Therefore, a monitoring system capable of identifying air pollution levels in real-time is needed to enable prompt mitigation. To address this problem, this research developed an Internet of Things (IoT)-based air quality monitoring system using MQ-2 and MQ-135 sensors integrated with a NodeMCU ESP32. Sensor data is processed using the Mamdani fuzzy logic method to flexibly and accurately classify air pollution levels. The system also displays results via an LCD, provides warnings with an LED and a buzzer, and sends data to the Blynk application for online access. Test results show that the system can effectively monitor air quality and provide early notifications when pollution increases. This system not only simplifies monitoring but also raises public awareness about the importance of maintaining air quality in industrial environments. It is hoped that this system can be applied more widely in other pollution-prone areas.

Keywords: Internet of Things, Fuzzy Logic, Air Quality, NodeMCU, Blynk.

1. PENDAHULUAN

Kualitas udara adalah faktor krusial dalam menjaga kesehatan manusia dan kelestarian lingkungan. Peningkatan aktivitas industri, urbanisasi, dan lalu lintas telah menyebabkan peningkatan polusi udara, yang berisiko membahayakan kesehatan manusia serta menimbulkan berbagai dampak negatif pada lingkungan. Emisi karbon monoksida (CO) yang dihasilkan dari penggunaan bahan bakar, pemanasan, dan proses kimia dapat mempengaruhi kualitas udara di lingkungan sekitar [1]. Tanaman ini diyakini berasal dari wilayah Afrika dan mulai diperkenalkan ke Indonesia oleh pemerintah kolonial Hindia Belanda pada tahun 1848. Sebagian benihnya ditanam di Kebun Raya Bogor, sedangkan sisanya dimanfaatkan sebagai tanaman penghias di sepanjang jalan di kawasan Deli, Sumatera Utara pada dekade 1870-an. Pertumbuhan industri kelapa sawit secara global mulai pesat seiring dengan melonjaknya kebutuhan minyak nabati yang dipicu oleh Revolusi Industri pada pertengahan abad ke-19 [2].

Untuk mengatasi permasalahan pencemaran udara di sekitar pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam, diperlukan penerapan solusi yang bersifat teknis dan strategis secara terpadu. Salah satu solusi utama adalah penggunaan sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) yang dilengkapi dengan sensor gas seperti MQ-135, atau MQ-2. Sistem ini mampu mendeteksi kandungan polutan seperti CO, CO₂, secara real-time dan mengirimkan data ke platform digital yang dapat dianalisis menggunakan metode logika fuzzy untuk mengklasifikasikan tingkat kualitas udara.

Penelitian sebelumnya telah dilakukan oleh Titin Rahmayanti Rambe, Wina Mariana Parinduri, Nurhamimah Rambe, Riskyka, Dini Puji Anggraini dan menyimpulkan pencemaran udara adalah ancaman serius bagi kesehatan manusia dan lingkungan. Polusi ini dapat berasal dari gas, cairan, maupun partikel padat di udara, seperti aerosol, debu, asap kendaraan, kebakaran hutan, hingga asap rokok. Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan naratif melalui survei, observasi lapangan, serta analisis dokumen untuk menilai dampak limbah pabrik kelapa sawit terhadap kelestarian

lingkungan di sekitar PT LSP Bahorok. Secara umum, aktivitas pabrik turut berkontribusi terhadap penurunan kualitas udara di lingkungan masyarakat sekitar [3].

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT dengan menggunakan sensor karbon monoksida, menggunakan pendekatan logika fuzzy. Sensor ini bekerja dengan mendeteksi perubahan nilai resistansi (analog) ketika terpapar gas. Sensor MQ-135 dikenal andal sebagai penanda bahaya polusi karena praktis dan hemat daya [4]. Studi kasus dilakukan di sekitar Pabrik Kelapa Sawit di Desa Lau Pakam Kabupaten Karo, sebuah pabrik pengolahan kelapa sawit, untuk memahami tantangan lingkungan spesifik dan menemukan solusinya. Diharapkan, penelitian ini dapat memberikan kontribusi penting dalam upaya menjaga kualitas udara yang lebih baik dan melindungi kesehatan masyarakat di wilayah tersebut [5].

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Metode Penelitian

Dalam menyelesaikan penelitian ini untuk merancang sistem implementasi dan *monitoring* kualitas udara berbasis IoT di pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam, diperlukan proses penelitian yang diuraikan pada metodolgi penelitian berikut ini :

1. Observasi atau Peninjauan Langsung
Metode ini dilakukan melalui pengamatan langsung di lapangan terhadap sistem yang dirancang untuk memantau kualitas udara di wilayah sekitar pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam . Hasil dari pengamatan ini digunakan sebagai bahan analisis awal yang akan mendasari perancangan algoritma sistem *monitoring* yang dikembangkan.
2. Studi Literatur
Studi literatur dilakukan dengan menelusuri berbagai sumber informasi seperti buku, jurnal ilmiah, dan publikasi lainnya yang relevan. Tujuannya adalah untuk mengumpulkan data dan referensi mengenai komponen-komponen yang mendukung pengembangan sistem, serta sebagai landasan teoritis dalam pelaksanaan penelitian ini.
3. Eksperimen atau Percobaan Langsung
Metode ini melibatkan proses pengumpulan data melalui pengujian langsung terhadap sistem, yang bertujuan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki permasalahan yang muncul. Dengan demikian, sistem yang dibangun dapat berfungsi secara optimal sesuai dengan harapan. Setelah perangkat keras dan perangkat lunak selesai dikembangkan, dilakukan proses pengujian sistem monitoring kualitas udara di wilayah sekitar pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam Kab. Karo. Apabila hasil pengujian belum memenuhi kriteria yang diinginkan, maka akan dilakukan perbaikan hingga sistem beroperasi dengan baik.

2.2 Tahapan Penelitian

Dalam pelaksanaan penelitian ini, terdapat sejumlah tahapan kerja yang harus dijalankan secara sistematis. Kerangka kerja penelitian merupakan representasi dari langkah-langkah yang dirancang untuk memastikan bahwa proses penelitian dapat berlangsung secara terarah dan efektif [6].



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Adapun penjelasan kerangka penelitian diatas dapat diuraikan dalam beberapa lakgkah yang akan dilakukan, antara lain sebagai berikut :

1. Mengidentifikasi Masalah
Tahapan ini diawali dengan mengenali permasalahan yang menjadi latar belakang penelitian, yaitu penurunan kualitas udara di sekitar pabrik kelapa sawit dalam beberapa tahun terakhir.
2. Menganalisis Masalah
Setelah permasalahan teridentifikasi, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis untuk merumuskan masalah secara lebih spesifik. Dengan demikian, fokus penelitian dapat diarahkan pada penyelesaian inti permasalahan (*problem solving*) yang sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai.
3. Penentuan Tujuan Penelitian
Penetapan tujuan penelitian merupakan langkah penting agar arah pengembangan sistem menjadi jelas. Tujuan ini akan menjadi dasar dalam mengevaluasi apakah solusi yang ditawarkan melalui sistem monitoring kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* dapat secara efektif mengatasi permasalahan yang telah diidentifikasi sebelumnya.
4. Studi Literatur
Untuk memperoleh solusi yang tepat dan berbasis ilmiah, diperlukan kajian literatur dari berbagai sumber terpercaya, seperti jurnal nasional maupun internasional, buku, serta referensi akademik lainnya.
5. Pengumpulan Data Parameter Kualitas Udara
Setelah melalui tahapan sebelumnya, proses selanjutnya adalah pengumpulan data yang berkaitan dengan parameter-parameter kualitas udara.
6. Implementasi Metode *Fuzzy Logic*
Data yang diperoleh dari sensor sering kali bersifat tidak pasti dan ambigu, sehingga memerlukan proses pemrosesan awal menggunakan metode *fuzzy Logic*.
7. Implementasi *Internet of Things*
Penerapan teknologi *Internet of Things* dalam sistem monitoring kualitas udara merupakan hasil dari identifikasi kebutuhan selama proses penelitian. Tujuan dari penerapan IoT adalah untuk memberikan informasi secara *real-time* kepada pekerja di sekitar pabrik, mengenai kondisi udara di sekitarnya. Dengan demikian, para pekerja dan pemasok TBS dapat lebih waspada dan mengambil langkah antisipatif terkait kesehatan.
8. Pengujian Sistem
Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem berdasarkan parameter dan indikator kualitas udara yang telah ditetapkan sebelumnya. Tahap ini mencakup pengujian terhadap *sensor-sensor* yang digunakan, yaitu MQ-2, dan MQ-135, guna memastikan bahwa masing-masing sensor berfungsi dengan baik.

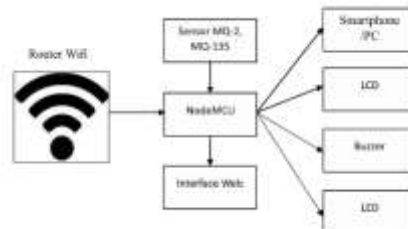
2.3 Metode Perancangan Sistem

Metodologi perancangan sistem merupakan salah satu elemen penting dalam pelaksanaan penelitian karena menjadi pedoman dalam proses pengembangan sistem yang dirancang. Dalam penelitian ini, metode perancangan sistem dilakukan melalui beberapa tahapan terstruktur, yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Perencanaan
Tahap perencanaan dimulai dengan menyusun rancangan awal sistem yang akan dikembangkan. Proses ini mencakup penentuan latar belakang permasalahan, perumusan masalah, serta identifikasi solusi yang relevan. Setelah itu, dilakukan perencanaan implementasi setiap bagian dari sistem yang dirancang. Tahap ini ditutup dengan penyusunan kesimpulan awal berdasarkan perencanaan dan pendekatan yang telah ditentukan.
2. Analisis
Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap kebutuhan dan fungsi sistem yang berkaitan dengan monitoring kualitas udara. Selain itu, proses ini mencakup pengumpulan referensi dan data pendukung dari berbagai sumber terpercaya guna memperkuat dasar pengembangan sistem.
3. Desain
Tahapan desain mencakup pembuatan rancangan visual sistem dalam bentuk tiga dimensi menggunakan perangkat lunak desain, sesuai dengan konsep dan kebutuhan pengguna. Selain itu, dirancang juga rangkaian elektronik berdasarkan spesifikasi komponen yang akan digunakan dalam sistem.
4. Eksekusi
Tahap ini merupakan pelaksanaan dari proses perancangan sistem. Komponen perangkat keras dan perangkat lunak mulai dirakit dan diintegrasikan sesuai dengan desain serta langkah-langkah teknis yang telah dirancang sebelumnya.
5. Pengujian
Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan fungsinya dan mampu menampilkan data secara akurat berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Proses ini mencakup uji coba terhadap prototype sistem untuk memperoleh masukan yang akan digunakan dalam pengembangan sistem ke tahap berikutnya.
6. Perawatan dan Evaluasi
Setelah sistem berhasil diuji, tahap selanjutnya adalah pemeliharaan dan evaluasi.

2.4 Algoritma Sistem

Algoritma sistem merupakan bentuk penerapan metode yang digunakan dalam proses pengembangan sistem pada penelitian ini. Dalam hal ini, algoritma berbasis *Internet of Things (IoT)* diterapkan untuk memungkinkan sistem dapat terhubung dan beroperasi melalui jaringan internet, sehingga proses monitoring dan kontrol dapat dilakukan secara real-time dan jarak jauh.



Gambar 2. Arsitektur Pengiriman Data Sensor Kedalam IoT

Pada sistem ini, pengiriman data diawali oleh *NodeMCU* yang berfungsi sebagai pemancar radio mini dan telah terhubung ke jaringan *WiFi*. *NodeMCU* akan memperoleh alamat *IP* tersendiri, yang kemudian dapat diakses oleh perangkat client yang berada pada jaringan *WiFi* yang sama. Sebagai contoh, pada ilustrasi, komputer dan handphone berperan sebagai client dan dapat mengakses web monitoring dengan membuka browser dan mengetikkan alamat domain *Blynk*. Pengiriman data dimulai ketika sensor mendeteksi kualitas udara; hasil pembacaan sensor tersebut kemudian dikirim dan ditampilkan pada halaman *Blynk*. Dalam aplikasi ini, data yang dikirim berasal dari sensor *MQ-135*, sehingga pengguna dapat mengetahui tingkat kualitas udara di wilayah sekitar area pabrik kelapa sawit di Desa Lau pakam, apakah dalam kondisi baik atau buruk, dengan mengakses aplikasi *Blynk*

Tabel 1. Variabel Sistem Fuzzy logic

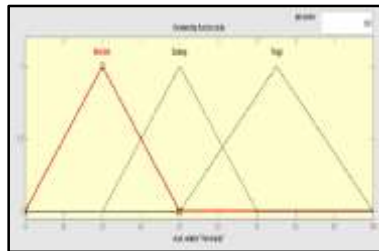
Fungsi	Variabel	Nama Himpunan Fuzzy	Semesta Pembicaraan	Domain
Input	Karbon Monoksida (MQ-2)	Rendah	[10..100]	[10..50]
		Sedang		[30..70]
		Tinggi		[50..100]
	Karbon Dioksida (MQ-135)	Kering	[0..100]	[0..40]
		Sedang		[30..60]
		Basah		[50..100]
Output	Buzzer	mati	[0..255]	[0..127]
		Sedang		[100..180]
		Kencang		[150..255]

Dalam menerapkan metode *fuzzy* kedalam sistem pendeteksi kualitas udara di sekitar Pabrik Kelapa Sawit di Desa Lau Pakam, pertama melakukan inisialisasi variabel sistem *fuzzy* logic.

Dari data table diatas dapat disimpulkan untuk pemrosesan sistematis dari metode *fuzzy* sebagai berikut:

1. Fuzzyfication

Tingkat keanggotaan pada variabel *Karbon Monoksida* atau *MQ-2* direpresentasikan dalam bentuk kurva, yang mencerminkan tiga himpunan *fuzzy*, yaitu: Rendah, Sedang, dan Tinggi.



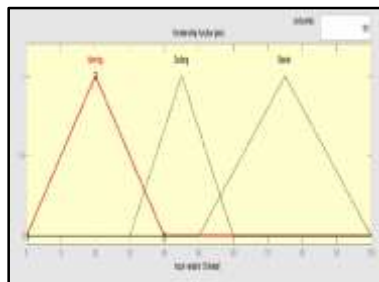
Gambar 3. Himpunan Keanggotaan Sensor MQ-2

Apabila *Karbon Monoksida* yang terdeteksi oleh sensor adalah 25%, maka nilai hasil dari proses fuzzifikasi dapat ditentukan :

$$\mu A[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b \leq x \leq c \end{cases}$$

$$\mu_{Rendah}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \text{ atau } x \geq 100 \\ (25 - 10)/(50 - 10) \end{cases} = 0,37$$

Variabel *Karbon Dioksida* atau *MQ-135* pada parameter kelembapan memiliki derajat keanggotaan yang direpresentasikan dalam tiga himpunan fuzzy, yaitu Kering, Sedang, dan Basah, berdasarkan bentuk kurva keanggotaannya



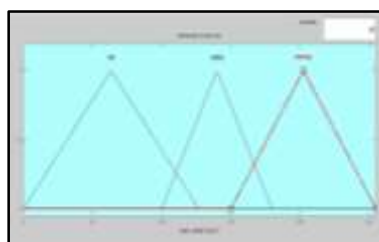
Gambar 4. Himpunan Keanggotaan Sensor MQ-135

Apabila *Karbon Dioksida* yang terdeteksi oleh sensor *MQ-135* adalah 65% maka nilai hasil dari proses fuzzifikasi dapat ditentukan :

$$\mu A[x] = \begin{cases} 0, & x \leq a \text{ atau } x \geq c \\ (x - a)/(b - a), & a \leq x \leq b \\ (c - x)/(c - b), & b \leq x \leq c \end{cases}$$

$$\mu_{Basah}[x] = \begin{cases} 0, & x \leq 10 \text{ atau } x \geq 100 \\ (100 - 65)/(100 - 50) \end{cases} = 0,7$$

Derajat keanggotaan variabel *Buzzer* dari derajat keanggotaan pada variabel output *buzzer* terdiri dari 3 himpunan fuzzy yaitu: mati, sedang, kencang.



Gambar 5. Himpunan Keanggotaan Keputusan Sistem

2. Inference Rule

Dari derajat keanggotaan tersebut, dapat dibuat beberapa aturan dari inference Rule berikut ini:

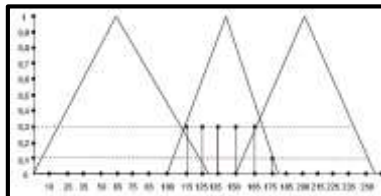
1. If (KarbonMonoksida Rendah and KarbonDioksida Kering) then Buzzer Mati
2. If (KarbonMonoksida Rendah and KarbonDioksida Sedang) then Buzzer Mati
3. If (KarbonMonoksida Rendah and KarbonDioksida Basah) then Buzzer Sedang
4. If (KarbonMonoksida Sedang and KarbonDioksida Kering) then Buzzer Mati
5. If (KarbonMonoksida Sedang and KarbonDioksida Sedang) then Buzzer Sedang
6. If (KarbonMonoksida Sedang and KarbonDioksida Basah) then Buzzer Kencang
7. If (KarbonMonoksida Tinggi and KarbonDioksida Kering) then Buzzer Sedang
8. If (KarbonMonoksida Tinggi and KarbonDioksida Sedang) then Buzzer Kencang
9. If (KarbonMonoksida Tinggi and KarbonDioksida Basah) then Buzzer Kencang

3. Defuzzification

Pengujian dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak *MATLAB* untuk membandingkan hasil akhir yang ditampilkan oleh alat dengan hasil ujicoba yang diperoleh melalui *MATLAB*. Proses pengujian melibatkan pengoperasian alat dan pengujian sensor dalam kondisi tertentu.



Gambar 6. Hasil Deffuzifikasi melalui Matlab



Gambar 7. Penentuan Nilai Crisp dengan Centeroid Method

Selain itu juga dilakukan perhitungan manual *fuzzy* dengan menggunakan *Centeroid Method* dan diperoleh:

$$Y * COA = \frac{(0,3*115)+(0,3*125)+(0,3*135)+(0,3*150)+(0,3*165)+(0,1*175)}{0,3+0,3+0,3+0,3+0,3+0,1}$$

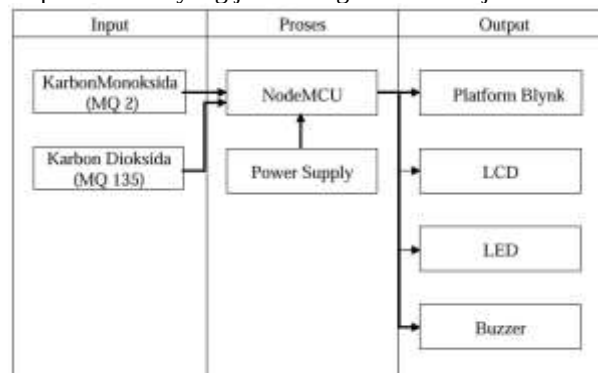
$$Y * COA = \frac{34,5+36,6+40,5+45+49,5+17,5}{1,6}$$

$$Y * COA = \frac{223,6}{1,6} = 139,75$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Blok Diagram

Berikut adalah blok diagram yang secara visual membagi sistem menjadi tiga bagian logis: Input, Proses, dan Output, yang bertujuan untuk memberikan pemahaman yang jelas mengenai alur kerja sistem secara keseluruhan respons.



Gambar 8. Blok Diagram Sistem

Diagram blok sistem yang disajikan menggambarkan struktur rancangan sistem pemantauan kualitas udara di wilayah sekitar pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam. Berikut ini merupakan uraian dari masing-masing komponen dalam diagram tersebut:

1. Sensor MQ-2 (Karbon Monoksida)

Sensor ini berfungsi untuk mendeteksi gas karbon monoksida (CO) yang kesehatan manusia. Sensor ini memberikan nilai tegangan yang berkaitan dengan konsentrasi CO di udara. MQ-2 dilengkapi dengan dua keluaran, yaitu analog dan digital. Keluaran analog memberikan nilai tegangan yang proporsional dengan konsentrasi gas, sedangkan keluaran digital biasanya digunakan untuk mendeteksi ambang batas tertentu yang sudah ditentukan melalui pengaturan potensiometer [7].

2. Sensor MQ-135 (Karbon Dioksida)

Sensor ini digunakan untuk mendeteksi gas seperti karbon dioksida (CO_2), amonia (NH_3), benzene, dan gas beracun lainnya. Dalam sistem ini, MQ-135 difokuskan untuk mengukur tingkat CO_2 sebagai indikator pencemaran udara dan juga Perlu kalibrasi untuk hasil yang lebih akurat [8].

3. NodeMCU ESP32

NodeMCU juga adalah sebuah mikrokontroler yang sudah memiliki fitur Wi-Fi bawaan, sehingga tidak memerlukan tambahan chipset Wi-Fi. Dengan desain sistem pada chip (SoC), perangkat ini dapat berkomunikasi melalui GPIO serta terhubung ke internet untuk mengirim dan menerima data [9]. Namun, dengan hadirnya NodeMCU, ESP32 telah dikemas dalam sebuah board yang lebih ringkas dan dilengkapi berbagai fitur, sehingga mempermudah pengguna dalam mengembangkan proyek berbasis mikrokontroler[10].

4. Power Supply

Berfungsi sebagai sumber daya utama sistem, memberikan tegangan yang stabil ke NodeMCU dan semua sensor/output yang terhubung. Tanpa power supply, sistem tidak dapat beroperasi

5. Blynk

Platform ini berfungsi untuk menampilkan data kualitas udara secara *real-time* melalui *smartphone*. Pengguna dapat memantau kadar CO dan CO_2 dari jarak jauh.

6. Buzzer

Memberikan peringatan bunyi ketika tingkat polusi udara melewati ambang batas tertentu, terutama jika terdeteksi dalam kategori "Buruk". Dengan memberikan tegangan yang sesuai, kita dapat dengan mudah menggunakan buzzer dalam berbagai aplikasi, seperti alarm, peringatan suara pada perangkat elektronik, indikator suara dalam sistem otomasi, serta berbagai kebutuhan lainnya dalam bidang elektronika dan teknik[11].

7. LED

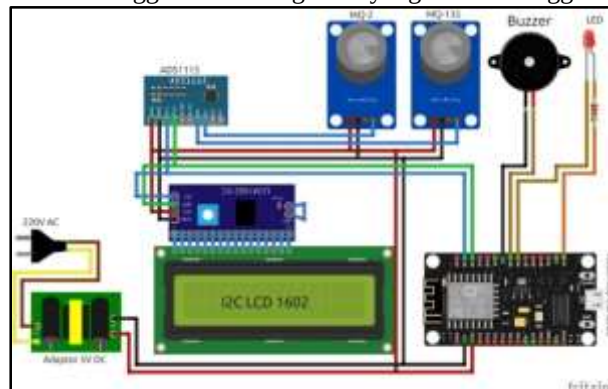
Digunakan sebagai indikator tingkat bahaya, contohnya jika kuning maka kualitas udara sedang, dan jika merah mengartikan kualitas udara buruk, yang perlu diperhatikan apabila tegangan yang diberikan melebihi batas toleransi meskipun dalam kondisi maju, LED dapat mengalami kerusakan atau bahkan terbakar [12].

8. LCD

Menampilkan data secara langsung di tempat, seperti nilai konsentrasi CO dan CO_2 serta status kualitas udara berdasarkan *logika fuzzy*, dan juga Karena kemudahan integrasinya, LCD 16x2 sering dijadikan sebagai tampilan output dalam proyek elektronik berbasis Arduino maupun sistem tertanam lainnya [13].

3.2 Rangkaian Keseluruhan Sistem

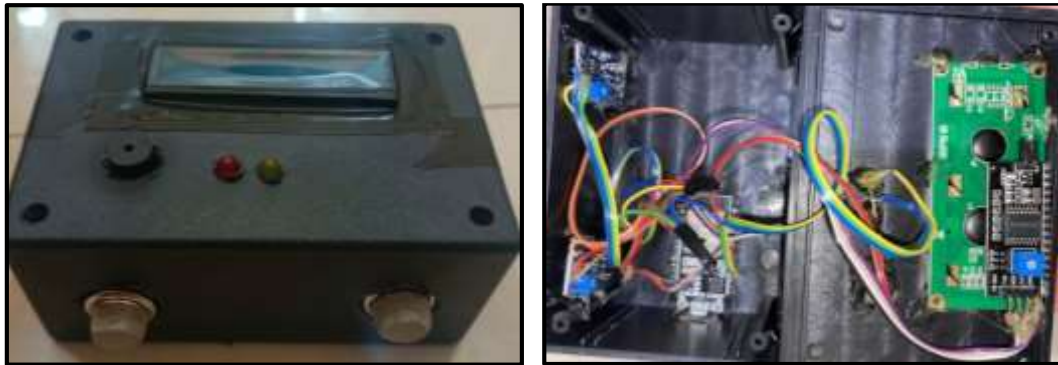
Berikut merupakan rangkaian keseluruhan dari sistem monitoring kualitas udara yang sudah di desain. Sebelum prototype dibuat maka akan dilakukan menggambaran rangkaian yang dibuat menggunakan software proteus.



Gambar 9. Rangkaian Keseluruhan Sistem

3.3 Rancangan Keseluruhan Sistem

Berikut ini merupakan rancangan keseluruhan dari sistem monitoring kualitas udara yang telah dibentuk dan berupa prototype jadi.



Gambar 10. Rancangan Keseluruhan Sistem

3.4 Pengujian Sistem

Tahap pengujian sistem bertujuan untuk memvalidasi fungsionalitas dan mengukur kinerja purwarupa yang telah diimplementasikan. Pengujian dilakukan dengan menjalankan serangkaian skenario yang dirancang untuk mensimulasikan berbagai kondisi yang mungkin dihadapi oleh pengemudi.

3.4.1 Pengujian Indikator LED

Pengujian pada bagian ini bertujuan untuk mengevaluasi fungsi *LED* dalam sistem pemantauan kualitas udara di wilayah sekitar area pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam. *LED* diuji untuk memastikan kemampuannya dalam memberikan peringatan visual apabila terdeteksi kondisi udara yang tidak sehat. Dalam sistem ini, *LED* akan aktif (menyala) secara otomatis ketika sensor mendeteksi bahwa kualitas udara berada pada level yang membahayakan.



Gambar 11. Pengujian LED

3.4.2 Pengujian Layar LCD

Gambar di bawah ini memperlihatkan tahap pengujian terhadap modul *LCD* yang digunakan dalam sistem. Fungsi utama *LCD* adalah menampilkan informasi nilai kualitas udara yang terdeteksi di wilayah area sekitar pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam. Data yang muncul pada layar akan berubah secara berkala sesuai dengan hasil pengukuran dari sensor yang digunakan.



Gambar 12. Pengujian LCD

3.4.3 Pengujian Aplikasi Blynk

Pada bagian ini, dilakukan uji coba terhadap aplikasi *Blynk* sebagai media tampilan data berbasis aplikasi/web. Pengujian bertujuan memastikan bahwa hasil pembacaan sensor dapat dikirim dan ditampilkan secara *real-time* melalui aplikasi/web. Nilai yang ditampilkan menggambarkan kondisi kualitas udara di sekitar area pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam, sehingga proses pemantauan dapat dilakukan langsung melalui aplikasi *Blynk*.



Gambar 13. Pengujian Aplikasi Blynk

3.4.4 Pengujian Keseluruhan

Pada bagian ini, dilakukan pengujian keseluruhan sistem untuk memastikan bahwa keseluruhan sistem berjalan dengan baik. Dimana indikator *Buzzer*, tampilan *LED*, *LCD*, dan aplikasi *Blynk* berjalan dengan selaras.



Gambar 14. Pengujian Keseluruhan Sistem

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan dan implementasi sistem monitoring kualitas udara di wilayah sekitar area pabrik kelapa sawit di Desa Lau Pakam Kab. Karo, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut: Sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things (IoT)* yang dikembangkan berhasil mendeteksi tingkat polusi udara, khususnya *karbon monoksida (CO)* dan *karbon dioksida (CO₂)*, secara efektif di sekitar area Pabrik Kelapa Sawit di Desa Lau Pakam, Kabupaten Karo. Sistem ini menggunakan sensor *MQ-2*, *MQ-135* dan mikrokontroler *NodeMCU ESP32* untuk membaca data secara *real-time* dan mengirimkannya ke *platform* pemantauan jarak jauh melalui aplikasi *Blynk*. Data dari sensor *karbon monoksida* dan *karbon dioksida* berhasil diolah menggunakan metode *fuzzy Mamdani* untuk mengklasifikasikan tingkat kualitas udara ke dalam kategori seperti "Baik", "Sedang", dan "Buruk". Pendekatan ini mampu mengurangi ambiguitas data sensor dan menghasilkan *output* yang lebih mudah dipahami serta relevan untuk pengambilan keputusan. Implementasi gabungan teknologi *IoT* dan *logika fuzzy* menunjukkan kinerja yang baik dalam sistem pemantauan kualitas udara. Sistem ini dapat berjalan secara otomatis, menyajikan data yang akurat, memberikan peringatan dini secara responsif, dan menghasilkan pemantauan kondisi udara secara *real-time* melalui perangkat digital, sehingga sangat bermanfaat untuk pengawasan kualitas lingkungan di wilayah sekitar pabrik kelapa sawit.

UCAPAN TERIMA KASIH

Saya ucapkan Terima Kasih yang sebesar-besarnya kepada Bapak Jaka Prayudha, S.Kom., M.Kom dan juga kepada Bapak Jufri Halim, SE., M.M sebagai dosen Pembimbing I dan Dosen Pembimbing II yang telah memberikan arahan dan bimbingan dalam menyelesaikan penelitian ini. Serta semua pihak – pihak terkait yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Pratiwi, A. S. Handayani, and S. Sarjana, "Pengukuran Kinerja Sistem Kualitas Udara Dengan Teknologi Wsn Menggunakan Confusion Matrix," *J. Inform. Upgris*, vol. 6, no. 2, pp. 66–75, 2021, doi:

- 10.26877/jiu.v6i2.6552.
- [2] Abdul Hakim, “Pengaruh Biaya Produksi Terhadap Pendapatan Petani Mandiri Kelapa Sawit Di Kecamatan Segah,” *J. Ekon. STIEP*, vol. 3, no. 2, pp. 31–38, 2018, doi: 10.54526/jes.v3i2.8.
 - [3] T. R. Rambe, W. M. Parinduri, and N. Rambe, “Penyuluhan Dampak Pencemaran Udara Dilingkungan Masyarakat Dari Pabrik Kelapa Sawit PT LSP Bahorok,” vol. 5, no. 1, pp. 45–51, 2024.
 - [4] M. Hasanuddin and H. Herdianto, “Sistem Monitoring dan Deteksi Dini Pencemaran Udara Berbasis Internet Of Things (IOT),” *J. Comput. Syst. Informatics*, vol. 4, no. 4, pp. 976–984, 2023, doi: 10.47065/josyc.v4i4.4034.
 - [5] Z. Majidah, M. Ari Bianto, and B. Dwi Saputra, “Implementasi Fuzzy Logic Mamdani Untuk Monitoring Kualitas Udara Berbasis Iot,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 2, no. 1, pp. 1–6, 2024, doi: 10.52060/juptik.v2i1.2091.
 - [6] M. D. Safira, A. Syafiuddin, A. H. Z. Fasya, and B. Setianto, “Literature Review: Kualitas Udara Di Kawasan Industri Di Berbagai Lokasi Di Indonesia,” *J. Public Heal.*, vol. 9, no. 2, pp. 38–47, 2022.
 - [7] R. Inggil and J. Pangala, “Perancangan Alat Pendeteksi Kebocoran Gas LPG Menggunakan Sensor MQ-2 Berbasis Arduino,” *Simkom*, vol. 6, no. 1, pp. 12–22, 2021, doi: 10.51717/simkom.v6i1.51.
 - [8] A. A. Rosa, B. A. Simon, and K. S. Licanto, “Sistem Pendeteksi Pencemaran Udara Portabel Menggunakan Sensor MQ-7 dan MQ-135,” *Ultim. Comput. J. Sist. Komput.*, vol. 12, no. 1, pp. 23–28, 2020, doi: 10.31937/sk.v12i1.1611.
 - [9] B. K. Yakti, “Monitoring Kualitas Udara Berbasis Web Menggunakan NodeMCU ESP8266,” *UG J.*, vol. 13, no. 4, 2022, [Online]. Available: <https://www.ejournal.gunadarma.ac.id/index.php/ugjournal/article/viewFile/6619/2550>
 - [10] Mariza Wijayanti, “Prototype Smart Home Dengan Nodemcu Esp8266 Berbasis Iot,” *J. Ilm. Tek.*, vol. 1, no. 2, pp. 101–107, 2022, doi: 10.56127/juit.v1i2.169.
 - [11] W. Oktodinata and Y. Purnomo, “Perangkat Jam Portabel dengan Fungsi Pembaca Suhu dan Pelacakan Suara Melalui Buzzer Menggunakan Modul Nrf Berbasis Arduino,” *J. Tek. Indones.*, vol. 3, no. 7, pp. 115–128, 2024, doi: 10.58860/jti.v3i7.446.
 - [12] M. Mulyati, S. Syafril, and M. F. Siregar, “Analisa Konsumsi Daya Lampu Halogen dan LED di Bandar Udara Halim Perdanakusuma,” *Al-DYAS*, vol. 3, no. 1, pp. 480–487, 2024, doi: 10.58578/alldyas.v3i1.2746.
 - [13] S. Mulyati and S. Sadi, “INTERNET OF THINGS (IoT) PADA PROTOTIPE PENDETEKSI KEBOCORAN GAS BERBASIS MQ-2 dan SIM800L,” *J. Tek.*, vol. 7, no. 2, 2019, doi: 10.31000/jt.v7i2.1358.