

SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA BERBASIS IOT DENGAN NODEMCU V3 (ESP- 12) DI LINGKUNGAN TERMINAL BANJARNEGARA KECAMATAN KUTABANJARNEGARA JAWA TENGAH

1st Farhan Yoga Dwi
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Telkom Purwokerto
Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
21102085@ittelkom-pwt.ac.id

2nd Alon Jala Tirta Segara S.Kom., M.Kom.
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Telkom Purwokerto
Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
alonhs@telkomuniversity.ac.id

3rd Gunawan Wibisono S.Kom., M.Kom.
Program Studi Teknik Informatika
Universitas Telkom Purwokerto
Banyumas, Jawa Tengah, Indonesia
gwibisono@telkomuniversity.ac.id

Polusi udara di lingkungan perkotaan, termasuk di Kabupaten Banjarnegara, masalah pencemaran udara yang serius disebabkan oleh emisi dari sektor industri, transportasi, serta kegiatan domestik. Polutan yang dilepaskan ke atmosfer meliputi gas seperti nitrogen dioksida (NO_2), sulfur dioksida (SO_2), dan partikel debu halus. ($\text{PM}_{2.5}$ dan PM_{10}) merupakan faktor utama yang menurunkan kualitas udara dan berdampak langsung terhadap kesehatan masyarakat. Sayangnya, sistem pemantauan kualitas udara yang tersedia masih terbatas dari segi aksesibilitas, biaya, dan ketersediaan data real-time. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) dengan menggunakan NodeMCU V3 dan sensor MQ135, SDS011, serta BME280. Data dari sensor dikirim secara real-time ke server melalui koneksi Wi-Fi dan ditampilkan dalam antarmuka web yang informatif dan mudah diakses oleh pengguna. Metode pengembangan yang digunakan adalah pendekatan prototyping, dengan iterasi dan evaluasi berkala agar sistem sesuai kebutuhan pengguna. Sistem diuji di Terminal Induk Banjarnegara sebagai kawasan padat aktivitas transportasi. Nilai tertinggi tercatat pada $\text{PM}_{2.5}$ dan gas yang menunjukkan kualitas udara pada tingkat sedang, sedangkan tekanan udara berada dalam kisaran normal. Secara umum, sistem menunjukkan performa yang cukup akurat dan layak digunakan. Penelitian ini berkontribusi sebagai solusi pemantauan udara yang murah, efektif, dan mendukung pengambilan keputusan cepat dalam pengendalian pencemaran lingkungan.

Kata Kunci — Internet Of Things, Lingkungan Perkotaan, NodeMCU, Pemantauan Udara, Polusi Udara, Sistem Real-Time.

I. PENDAHULUAN

Polusi udara merupakan permasalahan lingkungan yang semakin mengkhawatirkan, terutama di kawasan urban dengan aktivitas manusia yang tinggi. [1] Emisi dari sektor transportasi, industri, dan pembakaran sampah berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi polutan seperti $\text{PM}_{2.5}$, PM_{10} , NO_2 , SO_2 , dan CO yang berdampak langsung pada kesehatan manusia serta lingkungan. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara menjadi kebutuhan penting dalam

upaya pengendalian pencemaran dan perlindungan kesehatan masyarakat. [2]

Tabel 1. Peningkatan IKU Kota Banjarnegara

No	Uraian	Capaian Tahun				
		2020	2021	2022	2023	2024
1	IKU	89,39	88,62	87,91	89,36	92,00
2	IKA	59,31	47,50	52,86	42,68	51,24
3	IKTL	65,16	39,30	39,30	42,39	42,18
	IKLH	72,77	62,36	64,09	61,52	65,76
	Klasifikasi	Baik	Sedang	Sedang	Sedang	Sedang

Salah satu daerah yang menghadapi tantangan ini adalah Kabupaten Banjarnegara, Jawa Tengah. Berdasarkan data BPS, sektor industri dan transportasi di wilayah ini mencatatkan emisi Nitrogen Dioksida (NO_2) masing-masing sebesar 19,54 dan 14,33, serta Sulfur Dioksida (SO_2) sebesar 5,86 dan 5,25. Terminal Induk Banjarnegara menjadi titik perhatian karena tingginya intensitas kendaraan yang berpotensi meningkatkan emisi lokal. Meski begitu, data dari Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup (DPKPLH) menunjukkan tren positif: nilai Indeks Kualitas Udara (IKU) meningkat dari 88,62 pada tahun 2021 menjadi 92,00 pada tahun 2024. Namun, secara umum, klasifikasi Indeks Kualitas Lingkungan Hidup (IKLH) masih berada dalam kategori “Sedang”, sehingga upaya pengendalian masih perlu diperkuat.

Sistem pemantauan kualitas udara yang terintegrasi dan real-time diperlukan untuk mendukung kebijakan lingkungan yang adaptif. Teknologi Internet of Things (IoT) memberikan solusi dengan memungkinkan sensor-sensor udara mengirim data secara langsung ke server pusat. NodeMCU V3 (ESP8266) menjadi platform yang tepat dalam

pengembangan sistem ini karena mendukung konektivitas nirkabel dan fleksibel dalam pemrograman. Penelitian ini ditujukan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan NodeMCU V3, yang dikombinasikan dengan berbagai sensor untuk mendeteksi parameter udara guna memperoleh data lingkungan secara real-time dan akurat, serta menyajikan data melalui dashboard berbasis web. [3] Sistem ini secara khusus diarahkan untuk menganalisis kondisi udara di Terminal Induk Banjarnegara sebagai area dengan tingkat aktivitas transportasi tinggi dan potensi pencemaran signifikan.

Manfaat dari sistem ini diharapkan mencakup penyediaan solusi pemantauan yang hemat biaya, peningkatan kesadaran masyarakat terhadap kualitas udara, serta penyediaan data real-time yang dapat dijadikan dasar dalam tindakan preventif dan perumusan kebijakan lingkungan. Selain itu, penelitian ini juga dapat menjadi referensi dalam pengembangan sistem IoT serupa, mendukung identifikasi tingkat pencemaran secara spesifik di wilayah terminal, dan membantu penataan lalu lintas serta pengawasan emisi kendaraan umum secara berkala guna mewujudkan pengelolaan transportasi publik yang lebih ramah lingkungan. [4]

II. KAJIAN TEORI

A. Website

Website adalah platform digital yang terdiri dari sejumlah halaman yang saling terhubung dan diakses melalui jaringan internet dengan menggunakan URL (Uniform Resource Locator). Konten yang disajikan dalam website bisa berupa teks, gambar, video, maupun data interaktif. Dalam konteks penelitian ini, website dikembangkan dengan framework Laravel yang bertugas sebagai sistem backend untuk menerima dan menampilkan data kualitas udara dari perangkat IoT. Website ini juga berfungsi sebagai antarmuka monitoring, menyajikan informasi secara real-time dalam bentuk grafik dan rekaman data, sehingga pengguna dapat dengan mudah memperoleh informasi yang dibutuhkan secara cepat dan akurat. [5]

B. Internet of Things

Konsep Internet of Things (IoT) dirancang untuk memastikan konektivitas internet tetap terjaga. Melalui pendekatan ini, berbagai perangkat seperti mesin, peralatan, dan objek fisik lainnya dapat saling terhubung menggunakan jaringan sensor. Aktuator berperan penting dalam sistem ini karena memungkinkan perangkat untuk mengumpulkan informasi, memantau kinerja secara terus-menerus, serta berkolaborasi dan melakukan tindakan secara otomatis berkat akses data yang dimilikinya secara mandiri. [6]

C. Arduino IDE

Arduino IDE adalah perangkat lunak yang digunakan untuk menulis, mengunggah, dan menguji program pada mikrokontroler berbasis Arduino. Aplikasi ini sangat berguna dalam proses pengembangan berbagai proyek berbasis mikrokontroler seperti Internet of Things (IoT), robotika, dan bidang teknis lainnya. Melalui Arduino IDE, pengguna dapat menyusun program sesuai dengan kebutuhan proyek mereka.

Arduino IDE dilengkapi dengan sejumlah fitur yang mendukung proses pengembangan kode secara efisien, di antaranya: autocomplete yang membantu mempercepat penulisan kode dengan menyarankan sintaks yang relevan, serial monitor untuk memantau keluaran data secara serial, serial plotter untuk memvisualisasikan data serial dalam bentuk grafik, serta debugging yang berguna dalam mengidentifikasi dan memperbaiki kesalahan pada program yang sedang dijalankan. [7]

D. Sensor SDS-011

SDS-011 merupakan sensor udara yang berfungsi untuk mendeteksi debu seperti PM2.5 dan PM10. Sensor ini dikembangkan oleh perusahaan Nova Fitness, sebuah perusahaan hasil pengembangan dari Universitas Jinan di Shandong, China. Salah satu keunggulan utamanya adalah tingkat akurasi yang tinggi, yang didukung oleh penggunaan kipas berukuran besar sehingga mampu meningkatkan efisiensi dalam pengambilan sampel udara. [8]

E. Sensor MQ-135

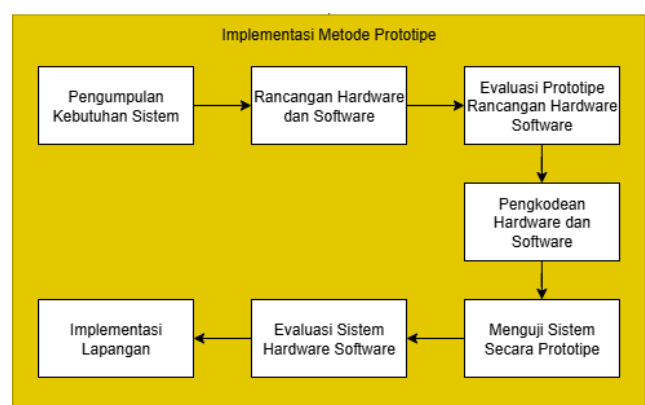
MQ-135 merupakan sensor gas yang berfungsi untuk mendeteksi pencemaran udara dengan mengenali keberadaan sejumlah gas berbahaya, termasuk amonia, hidrogen sulfida, benzena, serta asap dan senyawa lainnya. Sensor ini dikenal memiliki kepekaan tinggi terhadap berbagai senyawa seperti nitrogen oksida (NOx), alkohol, karbon monoksida (CO), karbon dioksida (CO₂), dan gas-gas polutan lainnya. [9]

F. Sensor BME-280

Sensor BME280 merupakan sensor digital multifungsi yang mampu mengukur suhu, kelembaban, dan tekanan udara, tiga parameter utama dalam bidang meteorologi. Diproduksi oleh Bosch Sensortec, sensor ini merupakan versi lanjutan dari BMP180. Berkas bentuknya yang ringkas dan konsumsi daya yang efisien, BME280 sangat ideal digunakan dalam perangkat bertenaga baterai maupun sistem Internet of Things (IoT). [10]

G. Metode Prototipe

Metode prototipe adalah suatu pendekatan dalam pengembangan sistem yang menekankan pembuatan model awal (prototipe) dari sistem yang akan dibangun, kemudian prototipe ini diuji dan dievaluasi oleh pengguna atau stakeholder. Dengan pendekatan ini, pengembang dapat menerima umpan balik secara langsung dan melakukan perbaikan atau penyesuaian secara bertahap hingga produk akhir sesuai dengan kebutuhan dan ekspektasi pengguna.



Gambar 1. Metode Prototipe

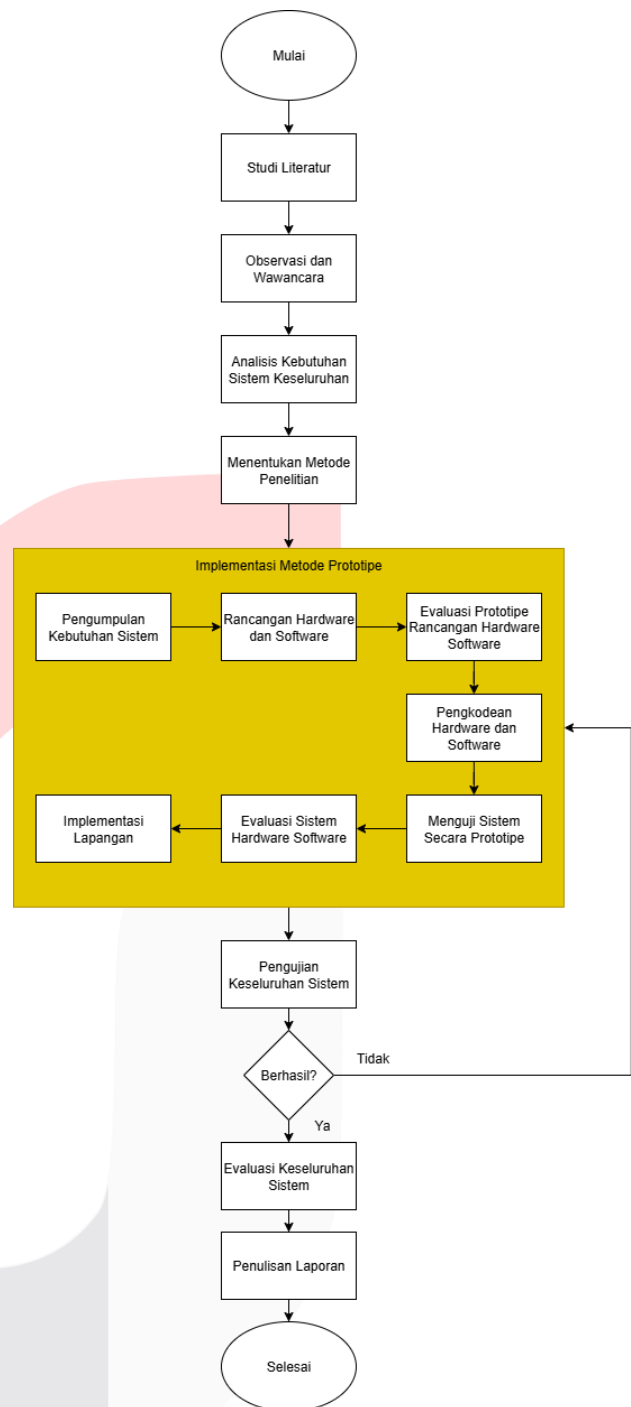
Proses prototyping biasanya bersifat iteratif, meliputi tahap perancangan, pembuatan prototipe, pengujian, evaluasi, dan revisi berulang kali. Dengan metode ini, risiko kegagalan proyek dapat diminimalkan karena masalah atau kekurangan dapat terdeteksi lebih awal dan diperbaiki sebelum pengembangan final selesai. [5]

H. Pengujian Blackbox

Pengujian blackbox adalah metode pengujian sistem atau perangkat lunak yang berfokus pada pengujian fungsi-fungsi eksternal tanpa mengetahui bagaimana sistem bekerja secara internal. Pengujian ini bertujuan untuk memvalidasi apakah sistem memenuhi kebutuhan dan spesifikasi yang telah ditentukan dengan cara menguji input dan mengevaluasi outputnya. Dalam penelitian pemantauan kualitas udara, pengujian blackbox dilakukan dengan memberikan berbagai input berupa data sensor dan memeriksa apakah data tersebut diproses dengan benar dan ditampilkan secara akurat di platform website. Pengujian ini mencakup pengujian fungsi utama sistem, seperti koneksi Wi-Fi, pengiriman data secara real-time, visualisasi data dalam grafik dan indikator, serta respons sistem terhadap kondisi yang berbeda. Dengan pengujian blackbox, pengembang dapat memastikan bahwa seluruh fitur sistem berjalan sesuai harapan tanpa harus mengakses kode atau mekanisme internal perangkat lunak. [5]

III. METODE

Gambar 2 adalah diagram alur penelitian di bawah ini yang menggambarkan langkah-langkah yang harus diambil sebagai berikut.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

A. Studi Literatur

Studi pustaka dilakukan untuk memperoleh referensi terkait perencanaan penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan sistem monitoring otomatis, serta untuk mengumpulkan berbagai sumber informasi lain yang relevan dalam mendukung penyusunan laporan ini.

B. Observasi dan Wawancara

. Observasi dilakukan untuk melihat langsung kondisi lingkungan yang menjadi lokasi target sistem pemantauan, seperti tingkat kepadatan lalu lintas, aktivitas industri, serta pola hunian masyarakat yang dapat memengaruhi kualitas udara. Selain observasi, peneliti juga melakukan wawancara

langsung dengan pihak Dinas Perumahan, Kawasan Permukiman dan Lingkungan Hidup (DPKPLH) Kabupaten Banjarnegara sebagai instansi yang memiliki kewenangan dalam pengelolaan dan pemantauan lingkungan hidup di daerah tersebut.

C. Analisis Kebutuhan Sistem Keseluruhan

Dalam pelaksanaan penelitian ini, digunakan kombinasi perangkat keras (hardware), perangkat lunak (software), serta koneksi internet guna mendukung kelancaran dan keberhasilan penelitian.

D. Menentukan Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode prototyping, yaitu metode pengembangan sistem yang menekankan pada pembuatan prototipe awal yang kemudian dievaluasi dan disempurnakan secara bertahap berdasarkan umpan balik dari pengguna atau hasil pengujian. Metode ini dipilih karena dinilai sesuai untuk membangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT, yang membutuhkan pengujian langsung terhadap kinerja perangkat keras dan perangkat lunak dalam kondisi nyata. Prosesnya dimulai dari pengumpulan kebutuhan sistem, dilanjutkan dengan perancangan awal, pembuatan prototipe, evaluasi, hingga pengujian sistem di lapangan. Dengan pendekatan ini, pengembangan sistem menjadi lebih fleksibel dan iteratif, sehingga dapat membangun sistem yang sepenuhnya memenuhi kebutuhan yang telah ditentukan pengguna serta kondisi lingkungan di wilayah penelitian, khususnya di lingkungan perkotaan Kabupaten Banjarnegara.

E. Implementasi Metode Prototipe

Metode penelitian yang digunakan dalam pengembangan sistem ini adalah Prototyping, yaitu metode yang berfokus pada pengembangan sistem secara iteratif melalui pembuatan prototipe awal yang kemudian dievaluasi dan disempurnakan berdasarkan umpan balik pengguna. Pendekatan ini dipilih karena mampu menjembatani kebutuhan pengguna dengan proses teknis pengembangan sistem secara cepat dan fleksibel. Dalam konteks penelitian ini, prototipe sistem pemantauan kualitas udara dikembangkan melalui beberapa tahapan mulai dari pengumpulan kebutuhan, perancangan, pengkodean, evaluasi, hingga implementasi sistem di lapangan. Berikut adalah tahapan implementasi metode prototipe yang dilakukan dalam penelitian ini.

1. Pengumpulan Kebutuhan Sistem
2. Rancangan Hardware dan Software
3. Evaluasi Rancangan Hardware dan Software
4. Pengkodean Hardware dan Software
5. Evaluasi Pengkodean Hardware dan Software
6. Implementasi di Lapangan

F. Pengujian Keseluruhan Sistem

Pengujian dilakukan secara menyeluruh terhadap baik perangkat keras maupun perangkat lunak. Sistem diuji menggunakan pendekatan black-box testing untuk menguji fungsionalitas sistem secara menyeluruh tanpa melihat kode program. Pengujian black-box dilakukan dengan memberikan input (misalnya kondisi udara tertentu) dan mengamati output dari sistem, seperti data yang tampil pada dashboard website dan hasil pengiriman ke ThingSpeak.

G. Penulisan Laporan

Tahapan akhir dari penelitian ini adalah penulisan laporan sebagai dokumentasi resmi dari seluruh rangkaian kegiatan penelitian. Laporan memuat latar belakang, rumusan masalah, kajian teori, metodologi, implementasi sistem, hasil pengujian, serta kesimpulan dan saran. Penulisan laporan dilakukan secara sistematis dan akademis agar dapat menjadi acuan bagi pengembangan sistem selanjutnya serta sebagai bukti kontribusi ilmiah dalam bidang pemantauan kualitas udara berbasis IoT.

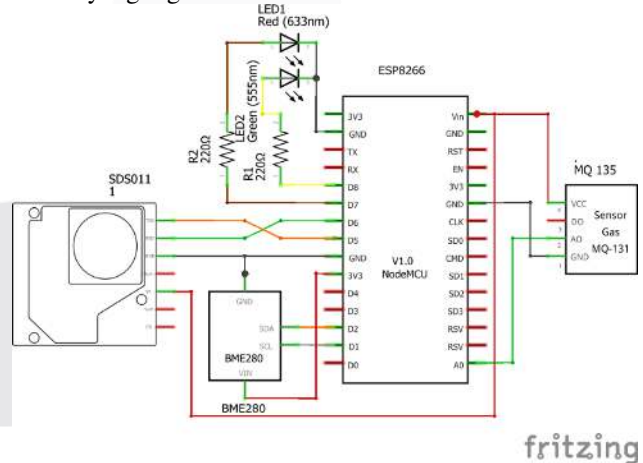
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Gambaran Umum Implementasi

Mikrokontroler NodeMCU V3 (ESP-12) berfungsi sebagai komponen pengendali utama dalam sistem. NodeMCU dipilih karena dilengkapi dengan WiFi internal, sehingga dapat langsung terhubung ke jaringan tanpa perangkat tambahan. Proses pengumpulan kebutuhan sistem dilakukan untuk menentukan komponen dan spesifikasi teknis yang dibutuhkan dalam perancangan sistem pemantauan kualitas udara. Sistem monitoring dalam penelitian ini dibangun dengan mengintegrasikan sejumlah sensor dan komponen sebagai berikut: NodeMCU V3 sebagai pengontrol utama sekaligus penghubung ke jaringan IoT.

B. Rancangan Hardware dan Software

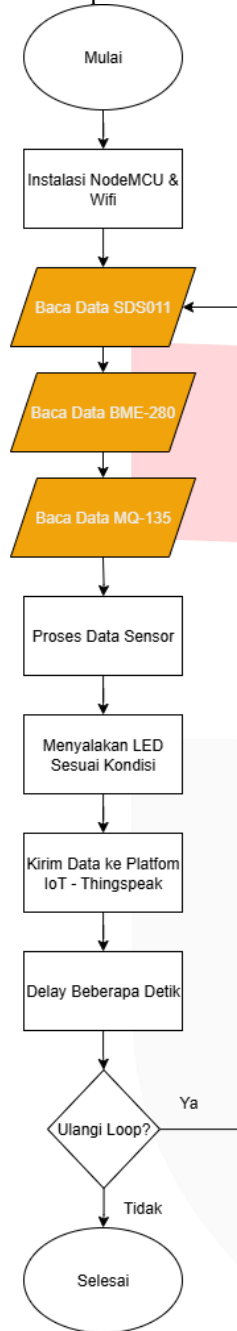
Perancangan perangkat keras dan lunak merupakan tahap penting dalam membangun sistem pemantauan kualitas udara, mencakup penataan komponen serta struktur arsitekturnya. Berikut ditampilkan skema keseluruhan dari sensor yang digunakan.



Gambar 2. Skema Sensor

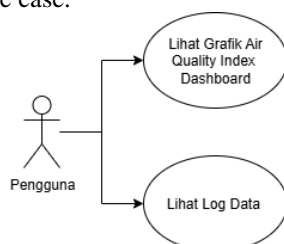
Desain model perangkat IoT memberikan gambaran tentang susunan komponen dan sensor yang digunakan dalam sistem. Gambar 3 menunjukkan flowchart perangkat keras untuk Sistem monitoring kualitas udara yang dikembangkan dengan teknologi IoT menggunakan mikrokontroler NodeMCU V3 (ESP-12) yang diterapkan di lingkungan perkotaan. Diagram alur ini menggambarkan tahapan kerja sistem, dimulai dari proses inisialisasi hingga pengiriman data ke platform cloud. Proses diawali dengan mengaktifkan perangkat dan menginisialisasi NodeMCU serta koneksi

WiFi untuk memastikan sistem terhubung ke internet. Setelah koneksi berhasil, sistem akan mulai mengambil data dari tiga sensor utama, termasuk SDS011 yang digunakan untuk mengukur partikel debu seperti PM2.5 dan PM10.



Gambar 3. Flowchart Sistem Hardware

Use case pada gambar 4. berikut memperlihatkan hubungan antara aktor (pengguna) dengan fungsionalitas utama sistem dalam bentuk use case.



Gambar 4. Use Case Diagram

Setiap sensor diintegrasikan ke dalam NodeMCU V3 melalui pin digital maupun antarmuka komunikasi seperti I2C atau UART, sesuai dengan kebutuhan masing-masing sensor.

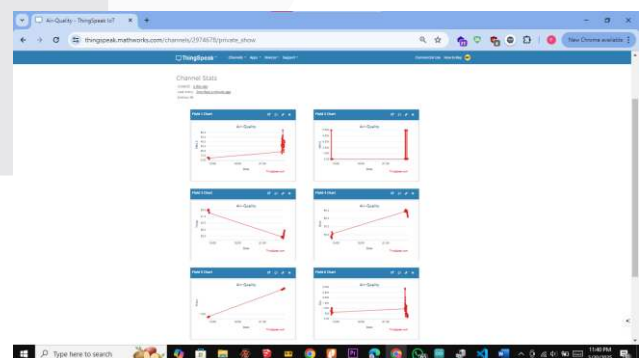


Gambar 5. Implementasi Hardware

Penempatan perangkat keras dalam sistem dirancang untuk mendukung integrasi yang efisien antar komponen. NodeMCU V3 ditempatkan di bagian tengah breadboard sebagai pusat pengendali sistem. Sensor SDS-011 dihubungkan melalui antarmuka UART untuk membaca nilai PM2.5 dan PM10, sedangkan sensor MQ-135 terpasang pada pin ADC untuk mendeteksi keberadaan gas polutan. Sementara itu, sensor BME280 dikoneksikan melalui jalur I2C menggunakan pin SDA dan SCL. LED indikator digunakan untuk menunjukkan status sistem, sementara kabel jumper menghubungkan seluruh komponen. NodeMCU diprogram menggunakan laptop melalui Arduino IDE, dan data pemantauan dapat diakses secara real-time melalui website yang ditampilkan pada smartphone atau laptop lain.

C. Pengembangan Sistem

Pada tahap ini, sistem yang sebelumnya telah disetujui oleh tim pengembang perangkat lunak mulai diimplementasikan berdasarkan desain yang telah dirancang sebelumnya.

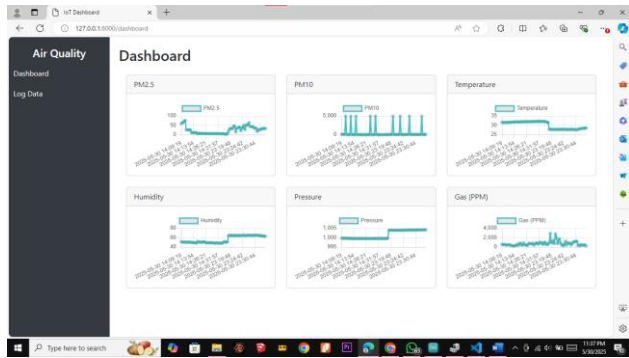


Gambar 6. Hasil Visualisasi ThingSpeak

Data yang dikirim oleh perangkat NodeMCU kemudian divisualisasikan secara real time. Terdapat enam grafik yang menggambarkan masing-masing parameter kualitas udara, seperti PM2.5, PM10, temperatur, kelembapan, tekanan, serta kadar gas. Pola perubahan nilai pada grafik

menunjukkan bahwa sistem sensor bekerja secara terus-menerus dan bahwa data berhasil tersimpan di cloud dengan lancar.

Dashboard yang ditampilkan pada Gambar 7 merupakan antarmuka website Sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT ini menyajikan enam parameter utama secara real-time, meliputi PM2.5, PM10, suhu, kelembapan, tekanan udara, dan konsentrasi gas yang dinyatakan dalam satuan PPM (parts per million).



Gambar 7. Tampilan Dashboard pada Website

Visualisasi tiap parameter menggunakan grafik linier dengan sumbu X merepresentasikan waktu, yang memungkinkan pengguna untuk melacak perkembangan data dari waktu ke waktu. Menu navigasi terletak di sisi kiri layar, menyediakan dua opsi utama: Fitur "Dashboard" dan "Log Data" disediakan untuk memudahkan pengguna dalam mengakses tampilan pemantauan secara langsung serta meninjau riwayat data. Antarmuka sistem dirancang dengan pendekatan yang intuitif dan responsif guna menunjang proses pemantauan kualitas udara secara efisien.



Gambar 8. Tampilan History Data

Gambar 8 menampilkan antarmuka riwayat data pada situs pemantauan kualitas udara. Melalui fitur ini, pengguna dapat menelusuri informasi secara rinci, mencakup waktu pencatatan serta nilai dari setiap parameter kualitas udara yang terukur. Melalui tampilan ini, pengguna dapat memantau perubahan nilai dari waktu ke waktu serta mengidentifikasi pola atau tren yang terjadi.

Berdasarkan perhitungan dari 100 data hasil pemantauan yang dilakukan, diperoleh nilai rata-rata sebagai berikut: PM2.5 sebesar 18,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, PM10 sebesar 718,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, suhu (Temperature) sebesar 24,39°C, kelembapan

(Humidity) sebesar 54,96%, tekanan udara (Pressure) sebesar 1000,93 hPa, dan kadar gas (PPM) sebesar 0,057 ppm. Nilai PM10 yang sangat tinggi disebabkan oleh adanya data ekstrem (outlier) seperti 4.932,20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yang kemungkinan besar merupakan error dari sensor atau gangguan teknis saat pengukuran berlangsung.

Dengan mengacu pada nilai-nilai tersebut, dapat disimpulkan bahwa kualitas udara di Terminal Banjarnegara berada dalam kondisi "Tidak Sehat". Meskipun suhu, kelembapan, dan tekanan udara terpantau stabil, namun konsentrasi PM2.5 dan PM10 yang tinggi menunjukkan adanya pencemaran udara yang dapat membahayakan kesehatan, khususnya bagi anak-anak, lansia, dan individu dengan gangguan pernapasan. Selain itu, kadar gas (PPM) juga memperkuat indikasi adanya zat pencemar di udara. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem monitoring berbasis website yang dikembangkan telah mampu memberikan informasi lingkungan secara akurat dan real-time., untuk mitigasi polusi udara di kawasan terminal.

D. Pengujian Sistem Blackbox

Pengujian sistem dilakukan menggunakan metode blackbox untuk mengevaluasi fungsionalitas dari sisi pengguna tanpa meninjau kode program secara langsung. Tujuan Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh fitur dalam sistem berjalan sesuai dengan spesifikasi yang telah dirancang sebelumnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pembacaan sensor berhasil menampilkan data setiap 15 detik secara konsisten, dan pengiriman data ke server berjalan baik dengan data tampil real-time di ThingSpeak dan dashboard lokal. Fitur penyimpanan riwayat juga berjalan optimal dengan menampilkan 100 data terakhir secara urut dan lengkap. Visualisasi data pada halaman dashboard menampilkan grafik parameter PM2.5, PM10, suhu, kelembapan, tekanan, dan gas secara dinamis dan responsif. Navigasi antarmuka berjalan lancar tanpa kendala, serta sistem menunjukkan performa yang stabil dan andal saat diuji dalam durasi yang panjang tanpa mengalami crash.

E. Mitigasi Polusi

Berdasarkan hasil pemantauan dan analisis data kualitas udara, sistem pemantauan berbasis IoT ini memberikan kontribusi penting dalam penyusunan rekomendasi mitigasi polusi bagi pemerintah dan masyarakat. Data yang dikirim secara real-time memungkinkan Dinas Lingkungan Hidup (DLH) setempat untuk segera merespons jika terjadi penurunan kualitas udara di lokasi tertentu, khususnya di kawasan industri atau transportasi. Informasi ini mendukung pengambilan keputusan cepat, seperti melakukan inspeksi lapangan, memberikan teguran kepada pihak penyebab polusi, mengatur ulang operasional kegiatan yang berisiko, serta mendorong program penghijauan. Selain itu, sistem ini berperan dalam menyosialisasikan kondisi udara kepada masyarakat agar dapat mengambil langkah perlindungan diri. Dengan demikian, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring, tetapi juga sebagai instrumen pendukung kebijakan lingkungan yang adaptif dan responsif terhadap dinamika kualitas udara perkotaan.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil Mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) dengan memanfaatkan NodeMCU V3 (ESP-12) sebagai unit pengendali utama yang terintegrasi dengan sensor SDS011, BME280, dan MQ-135. Sistem mampu membaca parameter kualitas udara secara real-time dan mengirimkan data setiap 15 detik ke platform ThingSpeak dan dashboard web. Implementasi di Terminal Banjarnegara menunjukkan bahwa sistem ini dapat meningkatkan akurasi dan akses data kualitas udara. Rata-rata hasil pengukuran menunjukkan nilai PM_{2.5} sebesar 18,37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dan PM₁₀ sebesar 718,87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, yang menandakan kualitas udara berada pada kategori tidak sehat bagi kelompok rentan. Sistem ini membuktikan potensi besar teknologi IoT dalam pemantauan lingkungan secara efektif dan berkelanjutan.

Sebagai pengembangan ke depan, sistem dapat ditingkatkan dengan menambahkan fitur notifikasi otomatis sebagai peringatan dini jika parameter udara melebihi ambang batas. Penggunaan baterai dan panel surya juga direkomendasikan agar sistem dapat digunakan secara mandiri di luar ruangan. Selain itu, pemanfaatan kecerdasan buatan (AI) atau machine learning dapat diterapkan untuk menganalisis pola dan memprediksi potensi pencemaran. Dengan demikian, sistem ini diharapkan mampu menjadi alat bantu pengambilan keputusan yang cepat dan akurat dalam menjaga kualitas udara dan kesehatan masyarakat.

REFERENSI

- [1] Umah, R., & Gusmira, E. (2024). Dampak pencemaran udara terhadap kesehatan masyarakat di perkotaan. *Profit: Jurnal Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, 3(3), 103–112. <https://doi.org/10.58192/Profit.V3i3.2246..>
- [2] R. Hidayati *Et Al.*, “Sistem Pemantauan Kualitas Udara Secara Real-Time Menggunakan Esp32 Dan Teknologi Iot,” *Jurnal Teknologi Informasi*, Vol. 5, No. 2, 2024, Doi: 10.46576/Djtechno..
- [3] T. Blinova, S. S. Chauhan, T. Singla, S. Bansal, A. Mittal, And V. S. Yellanki, “Performance Evaluation Of Iot Sensors In Urban Air Quality Monitoring: Insights From The Iot Sensor Performance Test,” In *Bio Web Of Conferences*, Edp Sciences, Jan. 2024. Doi: 10.1051/Bioconf/20248601088.
- [4] M. Ridwan Ali Akbar, E. Priatna, And I. Taufiqurohman, “E-Joint (Electronica And Electrical Journal Of Innovation Technology) Monitoring Kualitas Udara Menggunakan Nodemcu Esp8266 Berbasis Internet Of Thing (Iot) Di Ciamis.”
- [5] N. H. Alifvio Arya Sapta Pradana, “Sistem Monitoring Baterai Berbasis Iot Menggunakan Blynk Iot,” Jun. 2024.
- [6] B. *1, “Pengenalan Internet Of Things (Iot) Pemanfaatan Dalam Kehidupan Sehari-Hari Bagi Siswa Dan Siswi Smk,” 2024.
- [7] A. Satriadi And Dan Yuli Christiyono, “Perancangan Home Automation Berbasis Nodemcu,” Mar. 2019. [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/transient>
- [8] K. Kunci-Polusi, “Perangkat Portable Pemantau Polusi Menggunakan Sensor Pm, Co, Dan O3 Berbasis,” *Jurnal Teknik Its*, Vol. 10, No. 2, 2021.
- [9] Muhammad Irfanuddin Majiid, “Rancang Bangun Alat Pemantau Udara Ambien Dengan Pemanfaatan Iot (Internet Of Things) Berbasis Mikrontroler Menggunakan Sensor Mq- 135 Dan Sensor Mq-136 Pada Wilayah Kabupaten Ponorogo (Parameter Co2 Dan So2),” 2021.
- [10] Taryana Suryana, “Membangun Stasiun Cuaca Dengan Bme 280 Untuk Monitoring,” 2022. [Online]. Available: <https://github.com/nodemcu/nodemcu-devkit>