

PENGEMBANGAN SISTEM PEMANTAUAN KUALITAS UDARA BERBASIS WEBSITE MONITORING

1st Dzaky Ahmad
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
dzakyahmdd@student.telkomu
niversity.ac.id

2st Dr. Suci Aulia, S, T, M, T
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
suciaulia@telkomuniversity.ac.id

3st Dr. Hanif Fakhurroja, S. si, M. T
BRIN KST Samaun Samadikun
Bandung, Indonesia
haniff@telkomuniversity.ac.id

Abstrak - Kualitas udara yang buruk telah menjadi ancaman nyata bagi kesehatan masyarakat dan kelestarian lingkungan, memicu kebutuhan mendesak akan data pemantauan yang akurat dan mudah diakses. Menjawab tantangan tersebut, penelitian ini mengembangkan sebuah sistem pemantauan kualitas udara yang mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) secara menyeluruh. Sebuah perangkat prototipe yang dilengkapi lima sensor krusial—termasuk pendeteksi Karbon Dioksida (CO₂) dan Amonia (NH₃)—ditempatkan untuk mengumpulkan data lingkungan secara kontinu.

Data mentah ini kemudian ditransmisikan menggunakan teknologi nirkabel LoRa yang hemat daya ke platform Antares untuk pengumpulan terpusat. Dari sana, informasi diolah dan diarsipkan ke dalam basis data MySQL, menciptakan catatan historis yang berharga. Agar data ini bermanfaat bagi publik, sebuah dasbor visual berbasis web dibangun menggunakan framework Laravel. Situs ini di-hosting secara daring, memungkinkan siapa saja untuk melihat kondisi udara terkini secara transparan.

Pengujian sistem di lapangan menunjukkan keberhasilan fungsional yang signifikan. Sistem terbukti mampu menyajikan data secara real-time, dengan hasil pengukuran spesifik menunjukkan Suhu 27.6°C, Kelembapan 59%, CO₂ 559.22 ppm, dan NH₃ 23.88 ppm. Seluruh nilai ini berada dalam ambang batas "Aman" sesuai standar acuan, mengonfirmasi kemampuan sistem untuk tidak hanya mengukur tetapi juga memberikan klasifikasi status. Kemampuan pelacakan lokasi

perangkat juga terverifikasi, dengan sistem berhasil memetakan posisinya secara presisi di Telkom University (koordinat -6.977643, 107.632101). Prototipe ini membuktikan bahwa integrasi teknologi yang ada dapat menghasilkan solusi pemantauan kualitas udara yang efektif, terjangkau, dan siap diakses oleh masyarakat luas.

Kata Kunci: Pemantauan Kualitas Udara, Internet of Things (IoT), Hosting, Antares, Laravel, phpMyAdmin.

I. PENDAHULUAN

Peningkatan polusi udara menjadi salah satu permasalahan lingkungan yang berdampak pada kesehatan manusia dan ekosistem. Sampai saat ini, belum ada solusi untuk masalah polusi udara. Salah satu cara untuk mengurangi pencemaran udara adalah dengan mengkategorikan kualitas udara. Melakukan pengukuran kualitas udara dalam ruangan secara manual sangat tidak efektif, jadi dalam penelitian ini dirancang sebuah sistem yang dapat mengumpulkan data tentang kualitas udara dalam ruangan secara real time[1].

Oleh karena itu, diperlukan sistem monitoring kualitas udara yang efektif dan efisien untuk mendeteksi perubahan kondisi udara secara real-time. IoT (Internet of Things) telah memungkinkan pengembangan sistem monitoring yang dapat mengumpulkan, mengirim, dan menganalisis data kualitas udara dengan lebih mudah. Dalam situasi di mana aplikasi IoT hanya perlu mengirimkan jumlah data yang kecil dan berdaya rendah secara jarak jauh, teknologi LoRa akan sesuai.[2], [3]

Sistem ini dirancang untuk mengakuisisi data dari berbagai sensor seperti suhu, kelembapan, dan gas menggunakan unit mikrokontroler, data di kirim ke platform Antares secara nirkabel melalui protokol LoRa , dan di implementasi kan pada platform website berbasis server local, agar dapat diakses dengan mudah oleh publik, *website* ini telah di-*hosting* secara daring . Platform web ini akan menyajikan data secara *real-time* melalui visualisasi yang intuitif seperti *gauge* dan grafik historis. Pengembangan sistem ini diharapkan dapat menjadi solusi monitoring kualitas udara yang efisien, terjangkau, dan dapat dikustomisasi sesuai kebutuhan lokal, sekaligus mendorong kesadaran masyarakat terhadap pentingnya menjaga kualitas udara.

II. TINJUAN PUSTAKA

A. Long Range Wide Area Network (LoRaWAN)

LoRaWAN adalah protokol jaringan yang dirancang untuk komunikasi jarak jauh dengan konsumsi daya rendah, cocok untuk aplikasi IoT seperti pemantauan lingkungan. LoRaWAN memungkinkan transmisi data dalam jangkauan yang luas, sehingga ideal untuk pemantauan kualitas udara di berbagai lokasi.[24] , Secara arsitektur, LoRaWAN terdiri dari beberapa elemen utama: *End Device* (perangkat sensor di lapangan), *Gateway* (penerima sinyal LoRa dan penerus ke internet), *Network Server* (mengelola jaringan dan duplikasi data), dan *Application Server* (mengolah data akhir). Untuk proyek ini, pemilihan LoRaWAN didasarkan pada keunggulannya yang signifikan dibandingkan teknologi lain seperti Wi-Fi atau seluler. Dengan konsumsi daya yang sangat rendah, perangkat sensor dapat beroperasi menggunakan baterai untuk waktu yang lama. Jangkauannya yang mencapai beberapa kilometer memungkinkan penempatan sensor di lokasi yang tidak memiliki akses internet konvensional, menjadikannya solusi yang skalabel dan hemat biaya untuk pemantauan area yang luas.[24]

B. Antares Iot Platform

Antares merupakan platform yang digunakan untuk mengetahui data dari sensor. Platform Antares adalah produk dari PT. Telkom Indonesia yang bertujuan untuk mengembangkan layanan dan ekosistem untuk peneliti. Platform tersebut

bersifat realtime dan update data secara langsung[25] .

Dalam arsitektur sistem ini, Antares berperan sebagai *Platform as a Service* (PaaS) khusus IoT yang berfungsi sebagai *middleware* atau gerbang data. Peran utamanya adalah memisahkan antara kompleksitas jaringan perangkat keras dengan aplikasi web. Antares menerima data dari *gateway* LoRaWAN dan menyediakannya melalui sebuah *endpoint* API (Application Programming Interface) yang aman dan terstandarisasi. Untuk integrasi data, Antares menggunakan mekanisme kunci API (*API Key*) sebagai metode autentikasi. Aplikasi web Laravel yang dikembangkan harus menyertakan API Key ini dalam setiap permintaan untuk mengambil data, sehingga memastikan bahwa hanya aplikasi yang berwenang yang dapat mengakses data sensor.[25]

C. Laravel

Laravel merupakan framework PHP open source yang dilengkapi dengan berbagai sintaks yang membuat website dengan Laravel banyak digemari oleh berbagai komunitas programmer di GitHub. Framework ini menyediakan beberapa jenis library PHP dan beberapa fungsi lain yang dapat memudahkan penulisan baris kode. Laravel dikenal dengan kesederhanaan dan keunggulannya karena dibuat untuk pengguna akhir. Framework ini juga terkenal dengan dokumentasinya yang lengkap dan terkini. Setiap kali ada pembaruan ke versi terbaru, selalu ada pembaruan dokumentasi.[26]

D. Laragon

Laragon merupakan aplikasi yang dapat mengubah komputer menjadi server atau lokal atau dapat disebut sistem web stack untuk pengembangan web. Laragon memiliki beberapa fitur unggulan seperti mendukung SSL, memudahkan developer untuk mengubah versi program pendukung, mengelola database, membuat proyek aplikasi dengan cepat, dan tampilan yang user friendly. Laragon menyediakan banyak layanan, tools, dan fitur mulai dari Apache, MySQL, PHP server, Memcached, Redis, Composer, Xdebug, PHPMyAdmin, Cmdr, dan Laravel.[26]

E. Phpmyadmin

PhpMyAdmin adalah sebuah aplikasi atau perangkat berbasis opensource yang bisa kita gunakan secara gratis untuk melakukan pemrograman ataupun administrasi pada database MySQL. PhpMyAdmin sendiri menggunakan bahasa PHP untuk pemrogramannya selain itu phpMyAdmin mendukung berbagai operasi MySQL, diantaranya (mengelola basis data, tabel-tabel, bidang (fields), relasi (relations), indeks, pengguna (users), perijinan (permissions), dan lain-lain.[27]

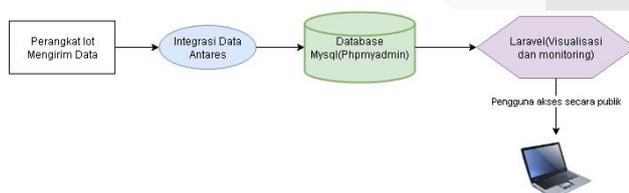
F. Hosting

Web Hosting merupakan tempat di mana file data dan segala macam hal yang diperlukan oleh suatu website dapat disimpan dan bisa diakses melalui internet (Waryanto, 2018). Tiap-tiap layanan hosting memiliki paket hosting yang berbeda. Paket ini dibedakan dalam Bandwithnya, kapasitas penyimpanannya, harganya, jumlah domain yang bisa dimiliki.[28]

III. PERMODELAN DAN PERANCANGAN

A. Arsitektur Sistem

Diagram pada gambar 3.1 menjelaskan struktur pemantauan kualitas udara berbasis website monitoring, Arsitektur sistem Monitoring Kualitas Udara dirancang dengan pendekatan berbasis *Internet of Things (IoT)* yang terintegrasi penuh dengan platform antares dan *website monitoring*. Sistem ini dibangun untuk memastikan bahwa data sensor dari berbagai lokasi dapat diterima, disimpan, diolah, dan divisualisasikan secara *real-time* dan akurat bagi pengguna.



Gambar 3. 1 Arsitektur Sistem

Sistem ini terdiri dari empat komponen utama, yaitu :

1. Perangkat IoT Pengirim Data

Perangkat keras di lapangan yang terdiri dari mikrokontroler ESP32 dan berbagai sensor (MQ-135, DFRobot Gravity: Analog

Ammonia Sensor (MQ137), Sensor GY-65 (BMP085/BMP185), Sensor GY-GPS6MV2) menjadi garda terdepan dalam pengumpulan data. Perangkat ini bertugas membaca parameter kualitas udara secara periodik dan mengirimkannya ke platform *Antares* menggunakan teknologi komunikasi *LoRaWAN* untuk jangkauan yang luas dan konsumsi daya yang efisien.

2. Platform Antares dan Integrasi Data

Platform *Antares* berfungsi sebagai *IoT Platform* atau gerbang penerima utama yang menampung semua data yang dikirim oleh perangkat IoT. Selanjutnya, data sensor yang menggunakan kode JSON di integrasikan ke website monitoring menggunakan API *Antares*, di mana sebuah skrip berjalan secara periodik untuk menarik data JSON dari API *Antares*, lalu mengolah dan menyimpannya secara otomatis ke dalam basis data MySQL untuk penyimpanan jangka panjang.

3. Konfigurasi Basis Data

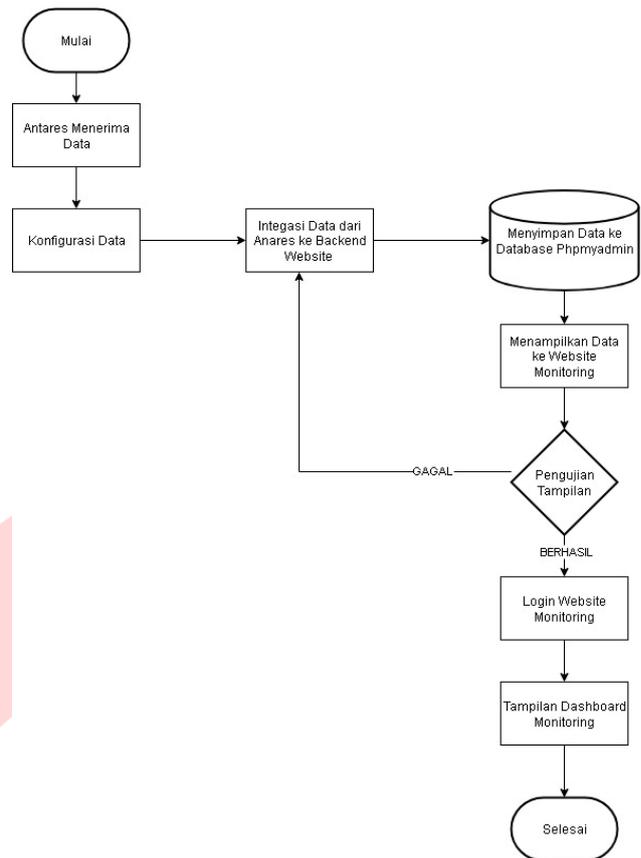
Setelah data sensor tersimpan di dalam *database MySQL*, langkah selanjutnya adalah menghubungkannya dengan aplikasi website. Konfigurasi koneksi ini dilakukan pada sisi *back-end* website yang dibangun menggunakan *framework PHP Laravel*. Informasi penting seperti *host database*, nama *database*, *username*, dan *password* diatur dalam *file* konfigurasi khusus *file.env* pada *Laravel* untuk menciptakan jalur komunikasi yang aman. Setelah terhubung, *back-end* bertugas membuat logika untuk mengambil *query*, mengolah, dan menyiapkan data dari *database* sebelum dikirim untuk ditampilkan di *front-end*.

4. Aplikasi Web dan Lingkungan Hosting

Komponen ini adalah antarmuka utama bagi pengguna. Data yang telah diolah oleh *back-end* kemudian dikirim ke sisi *front-end* untuk divisualisasikan kepada pengguna. Agar *dashboard* ini dapat diakses secara publik dari mana saja, keseluruhan aplikasi *website* (mencakup *back-end Laravel* dan *front-end*)

di-*deploy* atau di-*hosting* pada *server* daring. *Server hosting* ini bertanggung jawab menjalankan aplikasi secara terus-menerus dan menyajikannya melalui internet, sehingga pengguna dapat memantau, mengelola, dan menganalisis data kualitas udara secara interaktif dalam bentuk tabel, grafik historis, dan indikator status kualitas udara melalui *browser* di perangkat apa pun. Dengan arsitektur ini, sistem monitoring kualitas udara memanfaatkan alur kerja yang terstruktur mulai dari akuisisi data hingga penyajian informasi. Dalam pelaksanaannya, perangkat IoT di lapangan mengirimkan data sensor ke platform Antares. Data ini kemudian secara otomatis ditarik dan diarsipkan ke dalam *database* MySQL oleh sebuah *script* terjadwal. Data yang sudah tersimpan di *database* kemudian diakses oleh *back-end* website melalui konfigurasi koneksi yang telah diatur. *Back-end* mengolah dan menyiapkan data ini sebelum akhirnya disajikan oleh *front-end* kepada pengguna dalam bentuk visual yang informatif memastikan keseluruhan sistem dapat dipantau dari mana saja secara efisien dan *real-time* berkat implementasi pada *server hosting* daring.

B. Tahapan Perancangan



Gambar 3. 2 Diagram Alur

Diagram alur sistem dimulai dari proses awal ketika Antares menerima data dari perangkat sensor yang dikirim melalui protokol LoRa. Setelah data diterima oleh platform Antares, sistem akan masuk ke tahap konfigurasi, yaitu proses pengaturan agar data dapat diteruskan secara otomatis ke server website. Konfigurasi ini mencakup pengaturan webhook atau API yang menghubungkan Antares dengan backend Laravel. Selanjutnya, sistem melakukan pengecekan: apakah konfigurasi berhasil? Jika tidak berhasil, maka sistem akan kembali ke tahap konfigurasi untuk melakukan perbaikan pengaturan hingga berhasil. Namun, jika berhasil, maka data dari Antares akan langsung disimpan ke dalam database MySQL. Setelah data berhasil disimpan, sistem masuk ke tahap Menampilkan Data ke Website Monitoring. Pada titik ini, dilakukan Pengujian Tampilan untuk memverifikasi apakah data dari database dapat diambil dan disiapkan untuk visualisasi dengan benar. Jika proses ini gagal, sistem akan kembali ke tahap integrasi untuk mengambil ulang data. Namun, jika Berhasil, data siap disajikan kepada pengguna. Pada titik ini, keseluruhan aplikasi web telah di-*hosting* pada *server* daring, yang memungkinkan alur dapat berlanjut dari sisi

pengguna Alur dari sisi pengguna dimulai saat ia mengakses website dan masuk ke halaman Login Website Monitoring. Setelah autentikasi berhasil, pengguna diarahkan ke Tampilan Dashboard Monitoring, di mana semua data kualitas udara ditampilkan secara visual. Proses dianggap Selesai ketika pengguna telah melihat informasi yang disajikan di dashboard

C. Antarmuka Pengguna (Administrator)

Sistem ini akan memberikan informasi kualitas udara secara real-time dan historis kepada pengguna melalui *website*. Tujuan utamanya adalah menyajikan data yang kompleks (seperti kadar partikulat, gas berbahaya) dengan cara yang mudah dipahami dan diakses oleh berbagai jenis pengguna.



Gambar 3. 3 Antarmuka Website Monitoring

Gambar 3.3 menyajikan data kualitas udara terkini dan historis secara visual. Pengguna dapat melihat beberapa parameter sekaligus dalam bentuk *gauge* dan memantau tren data dalam grafik garis interaktif. Selain parameter kualitas udara, halaman ini juga secara krusial menampilkan lokasi geografis perangkat sensor secara *real-time* melalui data Latitude dan Longitude. Informasi lokasi ini dilengkapi dengan tautan interaktif untuk melihat posisi perangkat secara langsung di Google Maps.



Gambar 3. 4 Antarmuka Grafik sensor

Gambar 3.4 Penyajian data historis dalam bentuk tabel yang detail dan interaktif. Pengguna dapat memanfaatkan fitur filter untuk mencari data berdasarkan rentang waktu yang spesifik, serta memilih parameter kualitas udara tertentu untuk ditelusuri. Halaman ini sengaja dipisahkan dari *dashboard* utama untuk menyediakan ruang kerja

yang lebih fokus bagi pengguna yang membutuhkan analisis data, seperti peneliti atau administrator.

D. Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem pemantauan kualitas udara ini berfokus pada pembangunan alur data *end-to-end* yang efisien dan antarmuka pengguna yang informatif. Proses dimulai dengan akuisisi data di mana sensor kualitas udara mengirimkan informasi melalui protokol LoRa ke platform IoT Antares, yang berfungsi sebagai pusat penerima data. Selanjutnya, data dari Antares akan melewati tahap konfigurasi dan validasi melalui API Antares ke *backend* yang dibangun menggunakan *framework* Laravel (PHP). Jika konfigurasi gagal, sistem akan mengulang hingga berhasil, memastikan integritas data sebelum disimpan. Setelah data berhasil diverifikasi, ia akan secara otomatis ditampilkan di website monitoring. Agar dapat diakses secara publik, aplikasi *website* yang telah selesai dikembangkan ini kemudian di-*deploy* ke lingkungan *server hosting* daring. Dari sinilah pengguna dapat mengakses *website* melalui *browser web* standar. Pengguna diwajibkan untuk *login* terlebih dahulu demi otentikasi, dan kemudian akan diarahkan ke *dashboard monitoring* yang berfungsi sebagai tampilan utama. *Dashboard* ini menyajikan data kualitas udara dalam format yang mudah dipahami seperti grafik dan *gauge*, sehingga memungkinkan pemantauan kualitas udara secara *real-time* dan historis.

1. Implementasi Sistem

Implementasi sistem pemantauan kualitas udara ini akan mencakup serangkaian langkah untuk mengintegrasikan seluruh komponen agar berfungsi secara optimal. Prosesnya dimulai dengan pemasangan dan konfigurasi perangkat sensor kualitas udara di lokasi-lokasi strategis yang kemudian akan mengirimkan data melalui protokol LoRa ke platform Antares. Secara paralel, proses pengembangan aplikasi dimulai di lingkungan server lokal menggunakan Laragon. Laragon berfungsi sebagai platform untuk menginstal dan menjalankan semua kebutuhan *backend* seperti *web server*, PHP, dan *database* MySQL di komputer pengembang, memungkinkan pembangunan dan pengujian awal dilakukan secara efisien. Setelah aplikasi berhasil dibangun dan diuji secara lokal, langkah selanjutnya adalah mempersiapkan lingkungan *server hosting* untuk *deployment*

publik. Proses ini mencakup konfigurasi sistem operasi *server*, *web server* (Apache/Nginx), PHP, dan *database* pada *server* daring tersebut. Tahap krusial berikutnya adalah integrasi sistem, di mana API Antares akan dikonfigurasi pada Antares untuk secara otomatis meneruskan data yang diterima ke *backend* Laravel. Setelah data berhasil masuk, aplikasi *web monitoring* akan di-*deploy* dari lingkungan lokal ke *server hosting*, sehingga dapat diakses melalui *browser*. Sebelum diluncurkan, serangkaian pengujian menyeluruh akan dilakukan untuk memastikan akurasi data, fungsionalitas login, dan kelancaran alur data dari sensor hingga antarmuka pengguna. Setelah semua pengujian berhasil, sistem siap untuk dioperasikan dan dipantau oleh pengguna melalui *website*. Setelah semua pengujian berhasil, sistem siap untuk dioperasikan, memungkinkan pengguna (administrator, masyarakat, atau pihak terkait) untuk memantau kualitas udara secara real-time dan mengakses data historis melalui *website*, mendukung pengambilan keputusan berbasis data terkait kondisi lingkungan di Bandung.

IV. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

A. Implementasi

Tahap implementasi merupakan realisasi teknis dari seluruh perancangan sistem yang telah dijelaskan pada Bab III. Pada bab ini, akan dipaparkan secara rinci langkah-langkah yang dilakukan dalam membangun aplikasi web untuk sistem pemantauan kualitas udara, mulai dari persiapan lingkungan pengembangan, implementasi *backend* dan *frontend*, hingga pengujian fungsionalitas sistem secara menyeluruh. Setiap tahapan akan disertai dengan bukti konkret berupa tangkapan layar dan penjelasan kode yang relevan untuk menunjukkan bahwa sistem telah berhasil dibangun sesuai perancangan.

B. Skenario Pengujian

Setelah sistem berhasil diimplementasikan, tahap selanjutnya adalah melakukan pengujian secara menyeluruh untuk memverifikasi bahwa setiap komponen berfungsi sesuai dengan perancangan. Pengujian pada bab ini dilakukan menggunakan metode *black-box testing*, yang berfokus pada fungsionalitas sistem dari sudut pandang pengguna. Skenario pengujian akan mencakup validasi integrasi data pada *backend*, fungsionalitas visualisasi pada *frontend*, dan

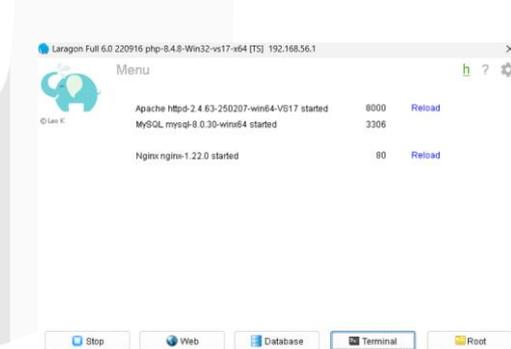
responsivitas antarmuka. Hasil dari setiap skenario pengujian akan disajikan secara sistematis untuk mengevaluasi kinerja dan keandalan sistem.

C. Pengujian

Pengujian sistem pemantauan kualitas udara ini telah berhasil dilakukan dan menghasilkan fitur-fitur utama yang berfungsi dengan baik, baik di sisi *backend* maupun *frontend* web. Aplikasi ini secara efektif memantau data kualitas udara dari berbagai lokasi dan memungkinkan validasi data oleh administrator melalui *dashboard* web yang intuitif. Fitur lain yang telah berhasil diterapkan mencakup: login dan registrasi pengguna, tampilan peta interaktif untuk status kualitas udara terkini di Bandung, visualisasi data *real-time* dalam bentuk grafik dan table. Berikut hasil implementasi sistem sebagai bukti bahwa fitur telah berhasil dijalankan.

1. Persiapan dan Konfigurasi Laragon

Tahapan implementasi *backend* diawali dengan persiapan lingkungan server pada komputer lokal. Proses ini menggunakan perangkat lunak Laragon, sebuah platform pengembangan web yang mengintegrasikan Apache, Nginx, MySQL, dan berbagai perangkat lunak lain yang diperlukan untuk menjalankan aplikasi berbasis PHP seperti Laravel.

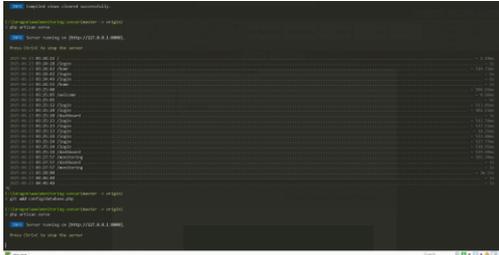


Gambar 4. 1 Aktivasi Layanan Web Server dan Database Server Melalui Panel Kontrol Laragon

2. Menjalankan Server Pengembangan dan Mengakses Aplikasi

Setelah semua langkah persiapan mulai dari penempatan file proyek, konfigurasi environment, pembuatan database, hingga eksekusi migrasi telah selesai, aplikasi kini siap untuk dijalankan. Laravel menyediakan sebuah server pengembangan (*development server*)

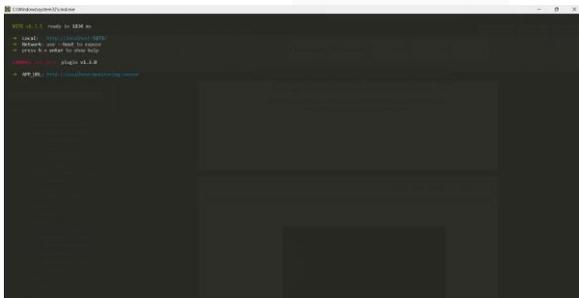
internal yang sangat praktis untuk keperluan pengujian. Server ini dapat diaktifkan melalui Antarmuka Baris Perintah (Command Line Interface - CLI) Artisan.



Gambar 4. 2 Eksekusi perintah `cd` untuk mengarahkan terminal ke direktori Proyek dan Eksekusi perintah `php artisan serve` untuk menjalankan server

3. Menjalankan Backend Server

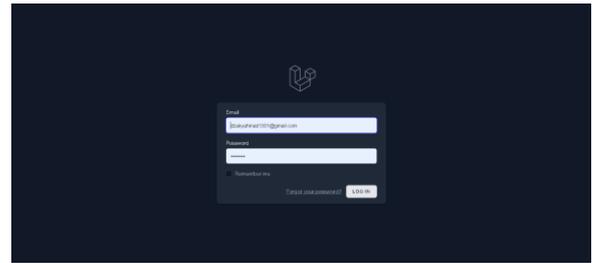
Setelah server pengembangan untuk antarmuka web berhasil dijalankan, langkah selanjutnya adalah menjalankan komponen *backend* utama yang berfungsi sebagai "server data". Berbeda dengan server web yang menangani tampilan, *backend server* dalam konteks ini adalah sebuah skrip otomatis yang bertugas untuk menarik data dari API Antares.



Gambar 4. 3 Eksekusi perintah `cd` untuk mengarahkan terminal ke direktori Proyek dan Eksekusi perintah `Npm run dev` untuk menjalankan backend

4. Implementasi Antarmuka Halaman Login

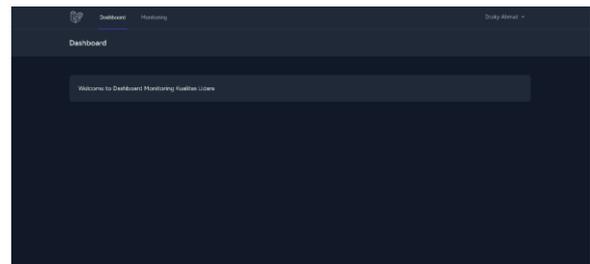
Setelah server pengembangan berhasil diaktifkan dan berjalan pada alamat `http://127.0.0.1:8000`, langkah selanjutnya adalah mengakses aplikasi melalui peramban web (*web browser*). Tampilan pertama yang disajikan oleh sistem saat URL tersebut diakses adalah halaman autentikasi pengguna, atau halaman login, seperti yang didokumentasikan pada Gambar 4.4



Gambar 4. 4 Tampilan Halaman Login Sistem Monitoring

5. Implementasi Halaman Dashboard Utama

Setelah pengguna berhasil melewati proses autentikasi pada halaman login, sistem akan langsung mengarahkan mereka ke halaman utama aplikasi. Halaman ini adalah Dashboard, yang berfungsi sebagai pusat kendali dan halaman selamat datang bagi pengguna yang telah terverifikasi. Tampilan awal dari dashboard ini didokumentasikan pada Gambar 4.5



Gambar 4. 5 Tampilan Awal Halaman Dashboard Pasca-Login

6. Implementasi Halaman Monitoring

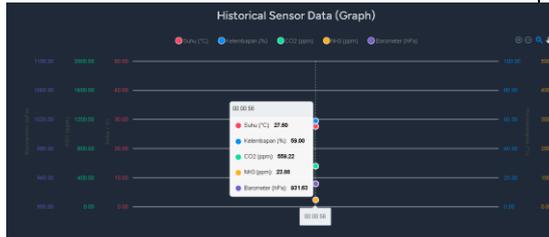
Halaman Monitoring merupakan inti fungsional dari keseluruhan sistem. Halaman ini dapat diakses melalui menu navigasi "Monitoring" pada *header* dan dirancang khusus untuk menyajikan visualisasi data kualitas udara yang diterima dari sensor. Gambar 4.5 menampilkan struktur antarmuka yang telah berhasil diimplementasikan untuk halaman ini.



Gambar 4. 6 Antarmuka Halaman Monitoring untuk Visualisasi Data Sensor

7. Implementasi Histori Data Sensor

Untuk memenuhi tujuan analisis dan penelitian dalam jangka panjang, sistem tidak hanya menampilkan data sesaat, tetapi juga harus mampu menyajikan data historis dengan rentang waktu yang spesifik. Untuk itu, diimplementasikan sebuah fitur visualisasi data dalam bentuk grafik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.7



Gambar 4. 7 Antarmuka Halaman Monitoring yang menampilkan area untuk grafik data historis dan panel untuk kontrol aktuator:

			(ACGIH)		
5.	Tekanan Udara	hPa	1013 hPa (standar atmosfer)	931.63	Normal (sesuai ketinggian)
6.	GPS	-	-	-6.977643, 107.632101	Akurat

V PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian, penelitian ini telah berhasil mencapai seluruh tujuannya dengan mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara end-to-end yang fungsional. Sistem IoT yang dibangun terbukti mampu mengukur parameter lingkungan secara akurat, termasuk Suhu (27.6°C), Kelembapan (59%), CO2 (559.22 ppm), dan NH3 (23.88 ppm) di mana data tersebut berhasil dikirimkan menggunakan teknologi LoRa ke platform Antares. Selanjutnya, data diintegrasikan ke database MySQL oleh sistem backend dengan memanfaatkan API key Antares sebagai metode autentikasi yang aman dan divisualisasikan secara real-time melalui website monitoring yang dibangun dengan framework Laravel. Hasil evaluasi memvalidasi bahwa sistem berfungsi secara akurat dan stabil, dibuktikan dengan data sensor yang berada dalam kategori “Aman” serta pelacakan lokasi geografis yang presisi pada koordinat Latitude -6.977643 dan Longitude 107.632101 di area Telkom University. Sesuai tujuan akhir, sistem telah berhasil dihosting secara daring sehingga mudah diakses oleh publik, dan dengan demikian berhasil menjawab seluruh rumusan masalah yang diajukan.

D. Parameter dan Hasil Pengujian Sistem Monitoring

1. Parameter dan Analisis Kualitas Udara

Pengujian selanjutnya dilakukan dengan menganalisis data sensor yang dikumpulkan oleh sistem. Nilai-nilai ini kemudian dibandingkan dengan standar ambang batas yang ditetapkan oleh WHO, ACGIH, dan BMKG. Tabel berikut menyajikan hasil analisis dari masing-masing parameter:

Tabel 4.IV.1 Tabel: Parameter dan Analisis Kualitas Udara

N O	Parameter	Satuan	Ambang Batas Standar	Hasil Pengukuran	Kategori
1.	Suhu	°C	-	27.6	Aman dan Ideal
2.	Kelembapan	%RH	40–60%	59	Aman
3.	CO2	ppm	350 ppm	559.22	Tidak Berbahaya
4.	NH3	ppm	< 25 ppm	23.88	Aman

B. Saran

Berdasarkan keberhasilan pengembangan dan implementasi sistem yang telah dicapai, terdapat berbagai peluang pengembangan yang dapat menjadi acuan untuk penelitian di masa mendatang. Untuk pengembangan fungsionalitas selanjutnya, sistem ini dapat diperkaya dengan menambahkan modul notifikasi dan peringatan dini secara *real-time* melalui email atau aplikasi *mobile* khusus, yang akan meningkatkan responsivitas sistem terhadap kondisi udara berbahaya. Lebih lanjut, data historis yang telah terkumpul membuka potensi besar untuk implementasi analisis prediktif berbasis *machine learning* guna meramalkan tren kualitas udara. Dari sisi teknis dan metodologis, penelitian di masa depan dapat berfokus pada peningkatan robustitas sistem, seperti melakukan studi komparatif antara teknologi LoRa dengan alternatif lain, mengoptimalkan manajemen daya pada perangkat sensor untuk memperpanjang masa pakainya di lapangan, serta mengimplementasikan enkripsi *end-to-end* untuk memperkuat lapisan keamanan data. Lebih jauh lagi, tugas akhir ini dapat menjadi fondasi bagi penelitian interdisipliner, di mana studi mendalam mengenai validasi dan kalibrasi sensor terhadap alat standar industri sangat disarankan untuk menjamin akurasi data jangka panjang. Data yang dihasilkan juga dapat dianalisis untuk mendukung perumusan kebijakan publik terkait lingkungan, dan sebagai langkah strategis, pengembangan infrastruktur *LoRaWAN Gateway* mandiri dapat dieksplorasi untuk menciptakan jaringan pemantauan yang lebih luas dan independen. Keseluruhan saran ini diharapkan dapat menjadi peta jalan bagi peneliti selanjutnya untuk membangun solusi pemantauan kualitas udara yang lebih komprehensif, akurat, dan berdampak luas.

VI DAFTAR PUSTAKA

[1]	[1] G. C. Rumampuk, V. C. Poekoel, dan A. M. Rumagit, "Internet of Things-Based Indoor Air Quality Monitoring System Design," <i>Jurnal Teknik Informatika</i> , vol. 17, no. 1, pp. 11-18, Jan. 2021. [Online]. Available:
-----	---

	https://ejournal.unsrat.ac.id/index.php/informatika
[2]	[2] A. Yanziah, "ANALISIS JARAK JANGKAUAN LORA PADA AIR QUALITY MONITORING BERBASIS ESP-32 YANG TERINTEGRASI DENGAN ANTARES PLATFORM," Tugas Akhir, Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Sriwijaya, Palembang, 2020.
[3]	[3] F. B. Setiawan, "Rancang Bangun WSN Menggunakan Ebyte E22-900T30D sebagai Media Komunikasi Jarak Jauh di Daerah Urban Area (Palur, Surakarta)," <i>Informatics, Electrical and Electronics Engineering (Infotron)</i> , vol. 3, no. 2, pp. 65–75, 2023.
[4]	[4] A. Sagala, S. Hutapea, R. Sinaga, dan R. Lubis, "IMPLEMENTING INTEROPERABLE MULTI-GATEWAY LORAWAN FOR EFFICIENT MARITIME TRACKING SYSTEMS," <i>EUREKA: Physics and Engineering</i> , vol. 3, no. 3, pp. 159–168, May 2024, doi: 10.21303/2461-4262.2024.003138.
[5]	[5] <i>SAMI 2020 IEEE 18th World Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics</i> , Herl'any, Slovakia, 2020. IEEE.
[6]	[6] R. Anzum, "LoRaWAN Technology on Air Quality Monitoring for Public Health Protection," <i>World Journal of Environmental Biosciences</i> , vol. 9, no. 1, pp. 1–6, Jan. 2020. [Online]. Available: www.environmentaljournal.org
[7]	[7] H. H. W. Wibowo, Zulkhairi, dan L. Kurniasari, "Monitoring Kualitas Udara dan Emisi Asap dengan The Internet of Things (IoT) pada Halte Bus di Wilayah Perkotaan Menggunakan Sensor MQ-135 dan MQ-2," <i>Jurnal Elektro dan Telekomunikasi Terapan</i> , vol. 11, no. 1, pp. 45–50, 2024, doi: 10.25124/jett.v11i1.7569.
[8]	[8] S. N. Djabir, M. F. Azis, dan A. Kurniadi, "Design and Development of a Monitoring and Alarm System for Home Security Door Using Antares IoT Platform," <i>JEAT: Journal of Electrical and Automation Technology</i> , vol. 1, no. 1, pp. 56–61, Des. 2022.

[9] G. R. U. Sinaga dan Samsudin, "Implementasi Framework Laravel dalam Sistem Reservasi pada Restoran Cindelaras Kota Medan," *Jurnal Janitra Informatika dan Sistem Informasi*, vol. 1, no. 2, pp. 73–84, Okt. 2021, doi: 10.25008/janitra.v1i2.131.

[10] Bragiwibisana, F. T. Syifa, dan I. Permatasari, "PENGIRIMAN DATA SENSOR UNTUK DETEKSI LOGAM YANG BERSIFAT METAL DENGAN MENGGUNAKAN PLATFORM ANTARES," *SINTA Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, vol. 1, no. 4, pp. 191–199, Okt. 2024, doi: 10.61124/sinta.v1i4.31.

[11] F. Sinlae, E. Irwanda, Z. Maulana, dan V. E. Syahputra, "Penggunaan Framework Laravel dalam Membangun Aplikasi Website Berbasis PHP," *Jurnal Siber Multi Disiplin (JSMD)*, vol. 2, no. 2, pp. 119–132, Jul. 2024, doi: 10.38035/jsmd.v2i2.

[12] A. F. A. Hasani, A. A. Apriyanda, N. Falah, D. A. A. Sugiarto, dan R. M. N. Riswandi, "PEMBUATAN WEBSITE: MYSQL DATABASE," Unpublished, 2020.

[13] R. F. Ramadhan dan R. Mukhaiyar, "Penggunaan Database Mysql dengan Interface PhpMyAdmin sebagai Pengontrolan Smarthome Berbasis Raspberry Pi," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 129–134, 2020.

[14] M. Mujiono, A. K. Nalendra, D. H. Fauzi, and N. Karromah, "Implementasi IoT sebagai Sumber Data untuk Sistem Monitoring Berbasis Web dengan Framework Laravel," *ANTIVIRUS: Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, vol. 17, no. 1, pp. 41-52, Mei 2023, doi: 10.35457/antivirus.v17i1.2808.

[15] R. D. B. Sakti, S. Lestanti, and S. N. Budiman, "Perancangan Dashboard Monitoring Penjualan pada Website Pateron.id Menggunakan Framework Laravel dan Vue JS," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 8, no. 2, pp. 1731-1738, Apr. 2024.

[16] D. Y. Akbar and Y. A. Kurnia, "Prototipe Sistem Monitoring Kadar Karbon Monoksida berbasis Laravel," *JTECS: Jurnal Sistem Telekomunikasi Elektronika Sistem Kontrol Power Sistem & Komputer*, vol. 4, no. 2, pp. 14-22, Jan. 2024, doi: 10.32503/jtecs.v4i1.4751.

[17] B. Wibisana, F. T. Syifa, and I. Permatasari, "Pengiriman Data Sensor untuk Deteksi Logam yang Bersifat Metal dengan Menggunakan Platform Antares," *SINTA Jurnal Sistem Informasi dan Teknologi Komputasi*, vol. 1, no. 4, pp. 191-199, Okt. 2024, doi: 10.61124/sinta.v1i4.31.

[18] M. Yusuf and M. Zaid, "Sistem Pemantauan Indeks Kualitas Udara dan Keadaan Cuaca pada Lingkungan Berbasis Webserver," *Jurnal Mahasiswa Teknik Komputer Kendali Elektronika (TKKE)*, [c. 2016].

[19] N. Rafilla and A. R. W. Putri, "Sistem pemantau kualitas udara ruangan berbasis Internet of Things (IoT)," in *Prosiding Seminar Nasional Penelitian dan Pengabdian Kepada Masyarakat LPPM Universitas 'Aisyiyah Yogyakarta*, vol. 3, 2025, pp. 196-201.

[20] F. D. Samudra, M. Ulum, K. Joni, and D. Rahmawati, "Perancangan Sistem Monitoring dan Deteksi Polusi Udara Menggunakan Metode Fuzzy Sugeno Berbasis IoT," *JOINCS (Journal of Informatics, Network, and Computer Science)*, vol. 4, no. 1, pp. 13-18, 2021.

[21] R. Stiawan, I W. Sudiarta, and R. Wirawan, "Rancang Bangun Sistem Database Berbasis Web Untuk Monitoring Cuaca," Program Studi Fisika, Universitas Mataram, Mataram, Indonesia, [c. 2015].

[22] H. Budianto and B. Sumanto, "Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis Internet of Things," *Jurnal Listrik, Instrumentasi, dan Elektronika Terapan*, vol. 5, no. 1, pp. 9-17, Apr. 2024.

[23] C. Oktaviani, G. Widyatmojo, and A. S. W. P., "Pengembangan Sistem Informasi Stok

[2
3] Barang pada Lini Sewing di PT. Sumber Masanda Jaya Kabupaten Brebes Berbasis Dekstop," *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 9, no. 4, pp. 5687-5693, Agu. 2025.

[2
4] [24] A. Pradiptya, "MEMBANGUN SISTEM KONEKSI MELALUI KONFIGURASI PADA LORAWAN GATEWAY," Laporan Kerja Praktik, Program Studi S1 Teknik Komputer, Universitas Dinamika, Surabaya, 2023.

[2
5] [25] L. Siregar, S. Ramadhani, dan Yulianto, "Internship Information System at PT Biro Klasifikasi Indonesia Samarinda Branch," *TEPIAN*, vol. 5, no. 3, pp. 57–65, Sep. 2024, doi: 10.51967/tepiان.v5i3.3115.

[2
6] [26] R. F. Ramadhan dan R. Mukhaiyar, "Penggunaan Database Mysql dengan Interface PhpMyAdmin sebagai Pengontrolan Smarthome Berbasis Raspberry Pi," *JTEIN: Jurnal Teknik Elektro Indonesia*, vol. 1, no. 2, pp. 129–134, 2020.

[2
8] [28] F. N. Yahya, A. Arwan, and A. P. Kharisma, "Pengembangan Sistem Manajemen Proyek dan Akun Hosting di Software House Berbasis Web (Studi Kasus Elecomp Software House)," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 12, pp. 4291-4299, Des. 2020.

[2
9] [29] World Health Organization, *WHO guidelines for indoor air quality: dampness and mould*. Geneva, Switzerland: WHO, 2009. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.who.int/publications/i/item/9789289041683>

[3
0] [30] ASHRAE, "Standard 62.1 & 62.2," *ashrae.org*. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standards-62-1-62-2>

[3
1] [31] American Conference of Governmental Industrial Hygienists, "TLVs® and BEIs®," *ACGIH*. ACGIH, 2025. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.acgih.org/science/tlvs-beis/>

[3
2] [32] Occupational Safety and Health Administration, "Ammonia," *OSHA*. U.S. Department of Labor. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.osha.gov/chemicaldata/102>

[3
3] [33] ASHRAE, "ANSI/ASHRAE Standard 55-2020, Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy," *ashrae.org*. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.ashrae.org/technical-resources/bookstore/standard-55-thermal-environmental-conditions-for-human-occupancy>

[3
4] [34] U.S. Environmental Protection Agency, "A Brief Guide to Mold, Moisture, and Your Home," *U.S. EPA*. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: <https://www.epa.gov/mold/brief-guide-mold-moisture-and-your-home-0>

[3
5] [35] World Meteorological Organization, *International Meteorological Vocabulary*. Geneva, Switzerland: WMO, 2014. Accessed: Jul. 11, 2025. [Online]. Available: https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=12465