

Pengembangan Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet Of Things (IoT) Dengan Multi Sensor Dan Lora

1st *Habib Abdurrahman*
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
habibabdr@student.telkomuniversity.ac.id

2st *Suci Aulia*
Fakultas Ilmu Terapan
Universitas Telkom
Bandung, Indonesia
suciaulia@telkomuniversity.ac.id

3st *Hanif Fakhurroja*
BRIN KST Samaun Samadikun
Bandung, Indonesia
haniff@telkomuniversity.ac.id

Kemajuan teknologi memungkinkan pengembangan sistem pemantauan kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) yang menggunakan sensor untuk mengukur parameter polusi udara seperti CO₂, NH₃, suhu, kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin. Data dari sensor dikirim melalui teknologi *Long Range* (LoRa) untuk transmisi data jarak jauh dengan daya rendah. Sistem ini menyediakan data real-time melalui dashboard berbasis web yang mudah diakses. Pengujian menunjukkan Sensor suhu dan kelembaban memberikan pembacaan yang sesuai dengan kondisi lingkungan yang dipantau, dengan variasi suhu antara 25°C hingga 27°C dan kelembaban yang stabil antara 51% hingga 54%. Pengujian pada sensor gas CO₂ menunjukkan konsentrasi CO₂ yang berkisar antara 367 hingga 401 ppm. Sensor gas NH₃ menunjukkan nilai rendah yaitu 0 ppm secara konsisten. Signal-to-Noise Ratio (SNR) dan Received Signal Strength Indicator (RSSI) yang memadai, meskipun ada fluktuasi minor pada beberapa pengukuran. Sistem ini mendukung pengambilan keputusan cepat terkait polusi udara dan berkontribusi pada pengembangan kota cerdas (smart city), serta meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kualitas udara.

Kata Kunci: *Internet of Things* (IoT), Kualitas Udara, Multi Sensor, LoRa, Pemantauan Real-Time.

I. PENDAHULUAN

Kualitas udara yang buruk telah menjadi isu lingkungan

global yang serius, menyebabkan berbagai masalah kesehatan dengan dampak yang signifikan. Polusi udara, yang seringkali dihasilkan oleh emisi dari kendaraan bermotor, industri, dan pembakaran sampah, berkontribusi pada penyakit pernapasan, kardiovaskular, bahkan kematian dini. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), lebih dari 90% orang di seluruh dunia terpapar kualitas udara yang tidak memenuhi standar, dan ini sangat mengkhawatirkan[1]. Di daerah perkotaan, kepadatan lalu lintas dan aktivitas industri sering kali menjadi penyebab utama menurunnya kualitas udara[2].

Metode pemantauan kualitas udara yang konvensional memiliki keterbatasan signifikan, seperti cakupan yang terbatas, biaya tinggi, dan latensi dalam penyampaian data[3]. Maka dari itu, diperlukan solusi inovatif yang dapat memberikan data kualitas udara secara lebih efisien. Di era *Internet of Things* (IoT), teknologi ini menawarkan potensi besar untuk mengatasi tantangan ini. IoT memungkinkan integrasi berbagai perangkat untuk mendapatkan dan berbagi data secara real-time, yang sangat bermanfaat dalam sistem pemantauan kualitas udara[4]. Dengan penggunaan jaringan komunikasi yang efisien seperti *Long Range* (LoRa), sistem pemantauan dapat dioperasikan dengan konsumsi daya rendah dan jangkauan yang luas[5].

Tugas Akhir yang bertujuan mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT ini mencakup penggunaan sensor multi-parameter, seperti sensor gas CO₂, NH₃, suhu, kelembaban, dan tekanan udara[6]. Sistem ini akan mengumpulkan data secara terus-menerus dan mengirimkannya melalui LoRa ke gateway untuk disimpan dan dianalisis. Visualisasi hasil pemantauan akan dilakukan melalui dashboard interaktif berbasis Laravel, yang memungkinkan masyarakat dan pemangku kepentingan mengakses informasi kualitas udara dengan mudah dan cepat .

Dengan adanya sistem pemantauan yang terintegrasi ini, diharapkan dapat menyajikan informasi yang berguna untuk mengambil langkah-langkah mitigasi yang lebih efektif dalam menghadapi polusi udara. Ini juga berkontribusi pada pengembangan teknologi pemantauan lingkungan yang lebih efisien dan terjangkau, serta dapat memfasilitasi respons cepat terhadap kondisi darurat kualitas udara, demi menjaga kesehatan masyarakat.

II. TINJUAN PUSTAKA

A. Internet of Things (IoT)

Internet of Things (IoT) merupakan teknologi canggih yang pada dasarnya merujuk pada banyaknya perangkat dan sistem di seluruh dunia yang terhubung ke internet dan memiliki kemampuan untuk berbagi data. Dengan menggunakan software dan sensor, IoT memungkinkan perangkat untuk menjalin koneksi, mengontrol, mengoneksikan, serta berbagi data melalui media perangkat lain sambil tetap terhubung ke internet. Ini memungkinkan kinerja yang lebih baik[7]. IoT memungkinkan perangkat untuk berkomunikasi tanpa intervensi manusia, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dalam berbagai bidang, termasuk pemantauan kualitas udara. Dalam sistem ini, sensor akan mengumpulkan data lingkungan, kemudian data tersebut dikirimkan melalui jaringan nirkabel ke server untuk dianalisis dan divisualisasikan kepada pengguna.

B. Lynx 32 development board

Lynx32 Development Board adalah sebuah papan pengembangan (development board) mikrokontroler buatan Indonesia yang menggunakan chip ESP (Espressif), khususnya varian ESP32, dan telah terintegrasi dengan modul LoRa (Long Range). Board ini disusun guna menunjang pengembangan perangkat Internet of Things (IoT) yang membutuhkan komunikasi jarak jauh dan efisiensi daya.

C. Kualitas Udara

Udara merupakan sumber daya tak terbatas yang dimiliki bersama dan berperan penting dalam menunjang kehidupan manusia serta makhluk hidup lainnya. Pemeliharaan kualitas udara sangat penting untuk menjaga kesehatan dan kesejahteraan manusia, sekaligus melindungi kehidupan makhluk hidup lainnya. Pencemaran udara dapat merusak kualitas udara, yang pada gilirannya mengurangi fungsi udara itu sendiri dan menghalangi pemanfaatannya secara optimal. Beberapa faktor alam yang dapat mencemari atmosfer antara lain aktivitas vulkanik, transportasi umum, dan kegiatan industri. Kualitas udara yang baik mendukung kesehatan saluran pernapasan, sehingga kehidupan menjadi lebih sehat dan aktivitas berjalan dengan lancar.

D. MQ-135

Sensor MQ-135 adalah perangkat yang penting dalam pengukuran kualitas udara, terutama untuk mendeteksi gas CO₂ yang berpotensi berbahaya bagi kesehatan dan lingkungan. Sensor ini berfungsi dengan mengubah nilai resistansi listriknya tergantung pada konsentrasi gas yang terdeteksi. Senyawa utama dalam sensor MQ-135 adalah timbal oksida (SnO₂), yang memberikan sensitivitas tinggi terhadap gas berbahaya dengan konduktivitas rendah di udara bersih[7].

E. DFRobot MEMS NH3 Sensor

Sensor DFRobot MEMS NH3 dirancang khusus untuk deteksi gas amonia (NH₃) dengan menggunakan teknologi mikroelektromekanik (MEMS), yang memungkinkan pengembangan alat deteksi dengan ukuran kecil dan efisiensi tinggi. Teknologi MEMS mengintegrasikan elemen mekanik dengan sirkuit elektronik, memungkinkan respon cepat dan penggunaan daya yang rendah, dua karakteristik penting dalam aplikasi pemantauan lingkungan[8]. Sensor ini menggunakan bahan yang sensitif terhadap gas amonia, seperti nanopartikel ZnO, atau senyawa lainnya yang mampu memberikan respons signifikan terhadap kehadiran NH₃ dalam udara. Penelitian menunjukkan bahwa sensor berbasis ZnO dengan modifikasi nanopartikel menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam kinerja deteksi NH₃, dengan respons gas yang sangat baik serta batas deteksi yang rendah[9].

F. DHT 11

Sensor DHT11 adalah alat yang umum digunakan untuk mengukur suhu dan kelembaban udara secara bersamaan. Sensor ini merupakan paket sensor yang mengandung thermistor jenis NTC (Negative Temperature Coefficient) dan sensor kelembaban dengan karakteristik resistif yang merespon perubahan konten air di udara. Sinyal yang dihasilkan oleh sensor ini diproses menjadi bentuk digital melalui chip internal yang mengkonversi data analog menjadi format digital, sehingga dapat diakses dan diproses lebih lanjut [10].

G. BMP085

BMP085 adalah sensor dari Bosch yang digunakan untuk mengukur tekanan atmosfer. Sensor ini merupakan bagian penting dalam berbagai aplikasi teknologi modern, termasuk sistem pemantauan cuaca, perangkat wearable, dan sistem navigasi. Fungsionalitas BMP085 memungkinkan pengguna untuk mengukur tekanan dengan tingkat akurasi tinggi, yang sangat dibutuhkan dalam penginderaan lingkungan, terutama untuk aplikasi yang memerlukan pengukuran ketinggian dan tekanan atmosfer[11].

H. GY-GPSMV2

Modul GPS GY-GPS6MV2 adalah sensor yang umum dipakai dalam berbagai aplikasi embedded dan Internet of Things (IoT). Modul ini mengandalkan chip u-blox NEO-6M, yang terkenal karena kemampuannya dalam menerima sinyal GPS dengan baik meskipun dalam kondisi yang kurang ideal. Salah satu alasan mengapa sensor GPS ini dipilih adalah kemampuannya untuk mengakses banyak satelit dan mengirimkan data lokasi dengan cepat, yang membuatnya sangat cocok untuk aplikasi navigasi dan pelacakan[12].

I. LoRa

Long Range(LoRa) adalah teknologi komunikasi nirkabel yang memungkinkan transmisi data dalam jarak jauh dengan konsumsi daya rendah. Meskipun LoRa memiliki keterbatasan dalam kecepatan transmisi data, teknologi ini tetap unggul dalam hal jangkauan komunikasi jarak jauh, konsumsi daya yang rendah, dan transmisi data yang aman[13].

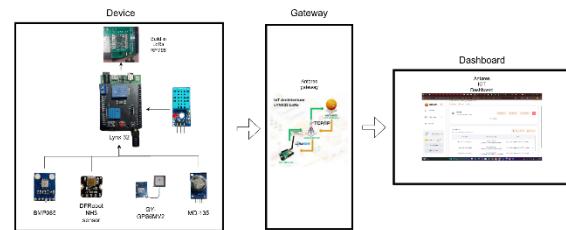
J. LoRaWAN

LoRaWAN, yang merupakan singkatan dari Long Range Wide Area Network, adalah teknologi komunikasi nirkabel yang dirancang untuk aplikasi Internet of Things (IoT) dengan efisiensi daya yang tinggi dan jangkauan yang luas. Teknologi ini mengandalkan protokol LoRa untuk memberikan kemampuan transmisi data yang jauh dengan konsumsi energi yang. LoRaWAN dapat menghubungkan ratusan hingga ribuan perangkat di area yang luas, menjadikannya ideal untuk pengembangan aplikasi yang memerlukan pengambilan data yang ekstensif [14].

III. PERANCANGAN SISTEM

A. Blok Diagram Sistem Monitoring Kualitas Udara

Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sensor pemantauan kualitas udara, mikrokontroler sebagai unit pemrosesan, komunikasi LoRa untuk pengiriman data, server backend untuk penyimpanan dan pengelolaan data, serta dashboard berbasis web untuk menampilkan hasil pemantauan kepada pengguna. Blok diagram ini memberikan gambaran menyeluruh mengenai proses kerja sistem, mulai dari akuisisi data hingga penyajian informasi kepada pengguna secara interaktif.



GAMBAR 1
Blok Diagram Sistem Monitoring Kualitas Udara

Dalam sistem yang digambarkan oleh diagram blok ini, terdapat tiga komponen utama yang saling berinteraksi untuk mengumpulkan, mengirimkan, dan memproses data: perangkat pengirim LoRa, gateway LoRa, dan platform cloud IoT. Proses dimulai dengan perangkat-perangkat yang dilengkapi dengan sensor-sensor seperti sensor suhu, kelembaban, GPS, barometer, sensor gas (CO2 dan NH3). Setiap perangkat ini bertugas untuk mengumpulkan data dari lingkungan sekitar secara real-time, seperti data suhu, kelembaban, koordinat lokasi, tekanan udara, konsentrasi gas (CO2 dan NH3) lalu mengirimkan informasi tersebut melalui modul LoRa yang terintegrasi. Penggunaan teknologi LoRa memungkinkan transmisi data pada area yang luas dengan kebutuhan daya yang rendah, yang menjadikannya ideal untuk aplikasi Internet of Things (IoT) yang membutuhkan pengiriman data secara kontinu.

Setelah data dikirimkan oleh perangkat, sinyal tersebut diterima oleh gateway LoRa. Gateway berfungsi sebagai penghubung antara perangkat LoRa dan jaringan internet, menerima data dalam bentuk sinyal radio yang dikirimkan oleh perangkat. Data yang diterima dari berbagai perangkat ini kemudian dikirimkan ke platform cloud IoT untuk diproses lebih lanjut. Gateway LoRa memiliki peran penting dalam memastikan bahwa komunikasi antara perangkat dan cloud dapat berjalan lancar, serta menghubungkan jaringan LoRa dengan jaringan internet menggunakan protokol yang sesuai.

Di sisi lain, platform IoT cloud bertindak sebagai pusat pengolahan dan penyimpanan data yang diterima dari gateway. Setelah data berhasil diterima di cloud, platform ini akan menyimpan dan mengelola data tersebut agar dapat dianalisis lebih lanjut. Data yang telah terkumpul dapat diakses melalui web dashboard yang memfasilitasi pengguna untuk memonitor keadaan perangkat dan lingkungan secara real-time. Dashboard ini berfungsi sebagai antarmuka yang menampilkan visualisasi data secara jelas dan mudah dipahami, sehingga pengguna dapat membuat keputusan yang lebih informasional berlandaskan data yang dikumpulkan.

Secara keseluruhan, alur sistem ini mengintegrasikan berbagai perangkat LoRa yang terhubung melalui gateway untuk mengirimkan data ke platform cloud IoT. Data yang dikirim melalui teknologi LoRa kemudian diproses dan dianalisis di cloud, memungkinkan pemantauan jarak jauh dan pengelolaan data secara efisien. Dengan menggunakan platform IoT dan web

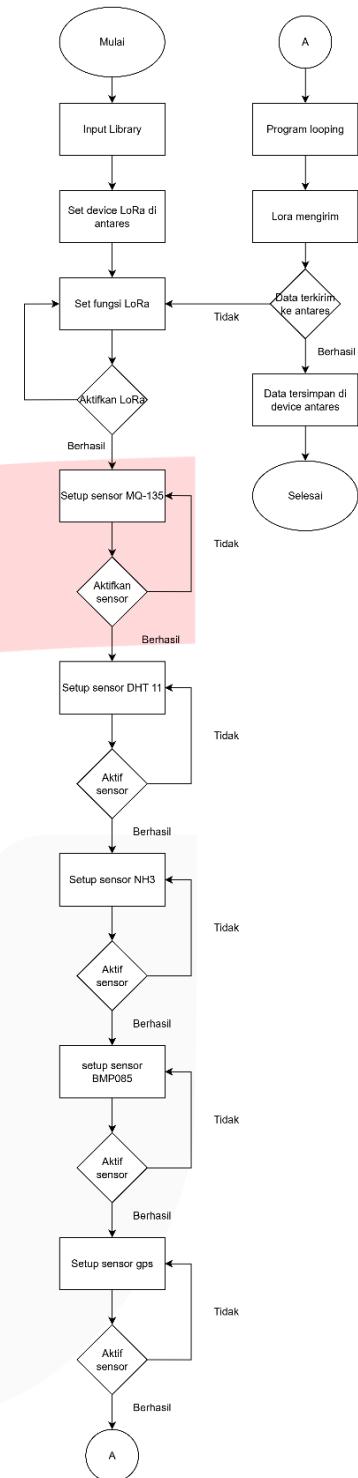
dashboard, pengguna dapat memanfaatkan data yang dikumpulkan untuk berbagai aplikasi, seperti pemantauan lingkungan atau pengelolaan aset. Keandalan sistem ini bergantung pada kemampuan komunikasi LoRa, kestabilan gateway dalam menerima dan mengirimkan data, serta platform cloud yang dapat mengolah dan menyajikan data secara efektif.

B. Perancangan Program Monitoring Kualitas Udara

Dalam Pengembangan sistem ini Untuk memastikan fungsi pengiriman dan penerimaan data berjalan dengan baik sistem ini menggunakan Arduino IDE, Anda perlu mengunduh dan mengintegrasikan beberapa library penting ke dalam Arduino IDE sebelum memulai pemrograman. Berikut adalah beberapa library yang harus tersedia untuk mengimplementasikan fungsi LoRa dalam pengembangan sistem ini.

```
#include <Wire.h>
#include <Adafruit_BMP085.h>
#include <DHT.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <lorawan.h>
```

- Wire.h : library fungsi untuk berkomunikasi dengan perangkat I2C.
- Adafruit_BMP085.h : library untuk mengakses sensor BMP085
- TinyGPS++.h : library untuk mengakses dan memproses data dari penerima GPS
- DHT.h : library untuk mengakses sensor DHT
- lorawan.h : untuk menghubungkan mikrokontroler dengan jaringan LoRaWAN



GAMBAR 2
Flowchart Perancangan Program Monitoring Kualitas Udara

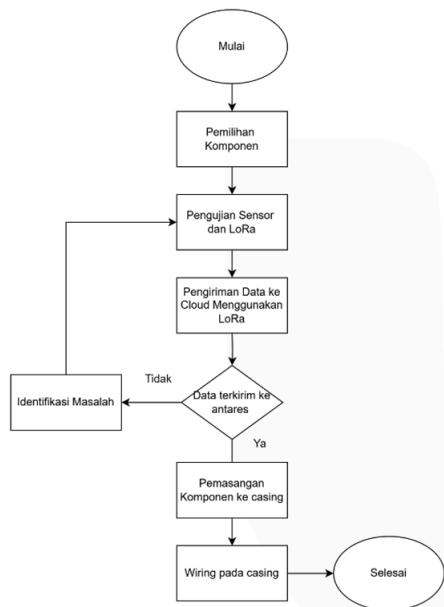
Berdasarkan lampiran 1 menjelaskan alur perancangan program menggunakan software Arduino IDE. Proses dimulai dengan tahap inisialisasi, yang mencakup input library yang dibutuhkan dalam program, diikuti dengan pengaturan perangkat LoRa di Antares dan pengaturan fungsi LoRa. Setelah itu, perangkat LoRa diaktifkan. Langkah selanjutnya adalah menyiapkan berbagai sensor yang diperlukan, dimulai dengan sensor MQ135, yang

kemudian diaktifkan. Kemudian, sensor DHT11 dipasang dan diaktifkan untuk pengukuran kelembapan dan suhu. Setelah itu, sensor NH₃ (Ammonia) juga dipasang dan diaktifkan untuk mendeteksi gas NH₃. Terakhir, sensor GPS dan BMP085 disiapkan untuk mendapatkan data posisi dan tekanan udara.

Proses ini dilakukan dalam loop program, di mana data yang diperoleh dari beragam sensor dikirim melalui LoRa dan diterima oleh Antares. Data yang diterima dari Antares kemudian disimpan di cloud untuk analisis atau pemantauan lebih lanjut. Proses ini berulang secara terus-menerus (looping) untuk memantau kondisi secara real-time.

C. Proses Penggerjaan Sistem Monitoring Kualitas udara

Pada proyek akhir ini, akan direncanakan sistem pemantauan kualitas udara di area Telkom University Land Mark Tower. Tahapan-tahapan yang akan dilaksanakan dapat digambarkan melalui diagram alir berikut.



GAMBAR 3
Flowchart Proses Penggerjaan Sistem Monitoring Kualitas Udara

Pada bagian ini dijelaskan tahapan dan alur proses perancangan sistem monitoring kualitas udara berbasis LoRa. Tahap perancangan akan dilakukan dengan Pemilihan komponen yang dibutuhkan dan mempersiapkan segala kebutuhan untuk merangkai perangkat keras. Tahap berikutnya, kalibrasi setiap sensor agar mendapatkan hasil yang akurat maupun mendekati dengan alat ukur pabrik. Setelah semua berhasil dijalankan, tahap selanjutnya yaitu pengiriman data ke cloud menggunakan komunikasi LoRa agar data dapat digunakan oleh backend untuk di tampilkan pada antarmuka website yang dapat dilihat secara real time, mendekati akurat, dan historis. Selanjutnya, pemasangan

komponen ke casing untuk melindungi komponen elektronik yang sensitif terkena air jika hujan. Tahap terakhir adalah wiring pada casing, setelah memasang komponen ke casing dilakukan wiring pada casing agar kabel terorganisir dengan baik.

D. Proses Penggerjaan Sistem Monitoring Kualitas udara

Dalam proyek sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT, skenario pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa sistem bekerja secara optimal dalam membaca parameter lingkungan, mengirimkan data secara stabil melalui komunikasi LoRa, dan menampilkan informasi pada platform monitoring. Tujuan pengujian ini adalah mengevaluasi efektivitas dan keandalan sensor serta jalur komunikasi nirkabel pada berbagai kondisi lingkungan.



GAMBAR 4
Flowchart skenario pengujian

Sebelum sistem dijalankan, seluruh sensor seperti MQ135, NH₃, GY-65, GY-GPS6MV2, dan DHT11 diintegrasikan dengan mikrokontroler ESP32 dan diprogram agar mampu membaca data secara periodik serta menyertakan informasi lokasi dari modul GPS GY-GPS-MV2. Setelah Proses Integrasi, semua sensor dikalibrasi terlebih dahulu untuk memastikan akurasi pembacaan terhadap parameter suhu, kelembapan, tekanan udara, penempatan lokasi, dan konsentrasi gas. Selanjutnya Pengujian komunikasi LoRa dilakukan untuk memastikan bahwa data dapat dikirimkan secara stabil dan tanpa gangguan ke gateway. Setelah sistem berhasil mengirimkan data, proses pengumpulan dilakukan secara berkala, dan seluruh informasi ditampilkan melalui dashboard web dalam bentuk data lingkungan dan lokasi secara real-time, sehingga sistem dapat berfungsi secara

optimal dan terus-menerus dalam memantau kualitas udara.

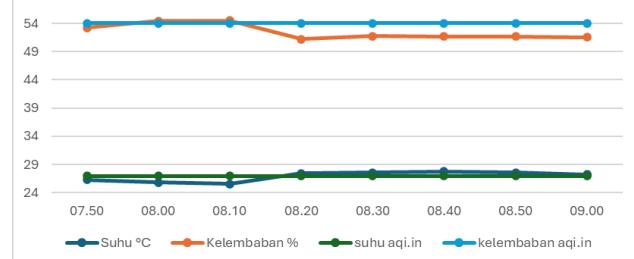
IV. IMPLEMENTASI DAN PENGUJIAN

A. Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban (DHT11)

TABEL 1
Suhu dan kelembaban

Waktu	Suhu °C	Kelembaban %	Suhu aqi.in°C	Kelembaban aqi.in%
07.50	26,27	53,20	27	54
08.00	25,86	54,46	27	54
08.10	25,54	54,51	27	54
08.20	27,42	51,23	27	54
08.30	27,58	51,78	27	54
08.40	27,79	51,66	27	54
08.50	27,55	51,67	27	54
09.00	27,24	51,58	27	54

Pengujian Sensor Suhu dan Kelembaban (°C, %)



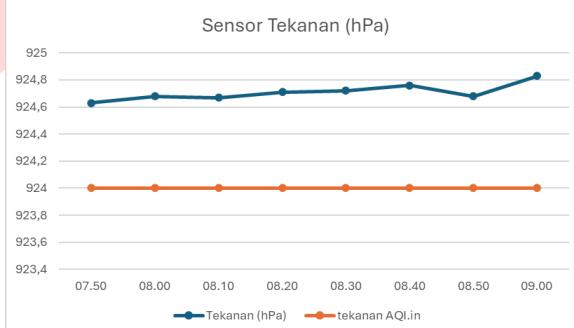
GAMBAR 5
Grafik Suhu & Kelembapan

Sensor DHT11 berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembapan udara di lingkungan sekitar. Sensor ini memiliki tingkat akurasi yang cukup baik aplikasi monitoring berbasis mikrokontroler. Pada pengujian, DHT11 memberikan pembacaan suhu yang stabil dalam kisaran 25.54°C hingga 27.42°C, serta kelembapan antara 51.25% hingga 54.51%. Perubahan tersebut sesuai dengan kondisi alami lingkungan terbuka pada pagi hari, di mana suhu perlahan meningkat sementara kelembapan menurun.

B. Pengujian Sensor Tekanan (BMP085)

TABEL 2
Pengujian Sensor Tekanan

Waktu	Tekanan (hPa)	Tekanan Aqi.in (hPa)
07.50	924.63	924
08.00	924.68	924
08.10	924.67	924
08.20	924.71	924
08.30	924.72	924
08.40	924.76	924
08.50	924.68	924
09.00	924.83	924



GAMBAR 6
Grafik Tekanan (BMP085)

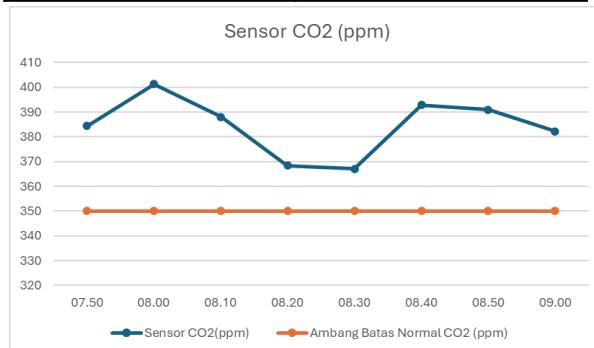
Sensor GY-65 atau BMP180 digunakan untuk mengukur tekanan atmosfer. Sensor ini mampu mendeteksi tekanan dengan presisi yang cukup tinggi dan umum digunakan dalam aplikasi cuaca serta sistem navigasi berbasis ketinggian. Dalam pengujian, sensor menunjukkan tekanan udara tetap stabil 924.18. Nilai tersebut stabil dan menandakan bahwa tidak terjadi perubahan signifikan pada tekanan udara selama periode pengamatan.

C. Pengujian Sensor Gas CO2 (MQ135)

TABEL 3
Pengujian Sensor Gas CO2

Waktu	CO2 (ppm)
07.50	384.35
08.00	401.23
08.10	388.04
08.20	368.31
08.30	367.01

Waktu	CO2 (ppm)
08.40	392.81
08.50	390.92
09.00	382.21



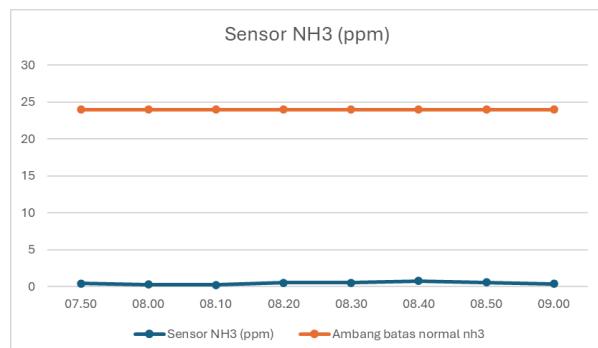
GAMBAR 7
Grafik Gas CO2 (MQ135)

Sensor MQ135 berfungsi untuk mendeteksi kualitas udara dengan fokus pada gas beracun seperti karbon dioksida (CO_2), amonia (NH_3). Sensor ini beropersi dengan prinsip perubahan resistansi terhadap konsentrasi gas di udara. Berdasarkan hasil pengujian, sensor mendeteksi CO_2 dalam kisaran 367.01 ppm hingga 401.23 ppm, yang menandakan kondisi udara masih bersih dan tidak terpolusi. Sensor MQ135 juga bisa mendeteksi gas lain, namun akurasi tergantung pada kalibrasi dan lingkungan.

D. Pengujian Sensor Gas Amonia (NH_3)

TABEL 4
Pengujian Sensor Gas Amonia

Waktu	NH3 (ppm)
07.50	0.45
08.00	0.32
08.10	0.24
08.20	0.54
08.30	0.55
08.40	0.78
08.50	0.57
09.00	0.42



GAMBAR 8
Grafik Gas Amonia (DFRobot NH3 Sensor)

Sensor NH_3 digunakan secara khusus untuk mendeteksi keberadaan gas amonia di udara. Gas amonia biasanya berasal dari limbah organik, aktivitas industri, atau peternakan. Pada pengujian di ruang terbuka tanpa sumber amonia, sensor menunjukkan hasil 0 ppm secara konsisten, yang berarti tidak terdapat gas amonia di lokasi uji. Sensor ini penting untuk memantau lingkungan yang berpotensi terpapar limbah kimia.

E. Pengujian GY-GPS6MV2

TABEL 5
Pengujian GY-GPS6MV2

Waktu	Latitude	Longitude
07.50	-6.977573	107.632043
08.00	-6.977573	107.632043
08.10	-6.977573	107.632043
08.20	-6.977573	107.632043
08.30	-6.977573	107.632043
08.40	-6.977573	107.632043
08.50	-6.977573	107.632043
09.00	-6.977573	107.632043

Modul GPS GY-GPS6MV2 digunakan untuk memberikan informasi lokasi secara real-time. Data dari modul ini digunakan untuk menandai lokasi pengambilan data kualitas udara, sehingga hasil pengukuran bisa dikaitkan dengan titik geografis tertentu. Modul ini mendukung pembacaan latitude dan longitude yang cukup akurat, dan sangat berguna dalam sistem pemantauan bergerak atau sistem terdistribusi.

F. Pengujian Signal to Noise Ratio (SNR) LoRa

Pengujian SNR Pada LoRa dari pengiriman data 5 sensor yang sudah di integrasikan ke Lynx 32 Development board.

TABEL 6
Pengujian Signal to Noise Ratio (SNR)

Waktu	SNR
07.50	-4.19
08.00	-2
08.10	-4.19
08.20	-3.79
08.30	-0.20
08.40	-1.5
08.50	0.20
09.00	-3.5

Pengujian SNR pada ESP32 LoRa menunjukkan nilai berkisar antara -4.19 dB hingga 0.20 dB, menandakan sinyal masih dapat diterima meskipun berada di lingkungan dengan noise tinggi. Nilai terbaik tercatat pada pukul 08.50 dengan SNR 0.20 dB, sedangkan nilai terendah -4.19 dB terjadi dua kali pada pukul 07.50 dan 08.10. Fluktuasi ini kemungkinan disebabkan oleh perubahan kondisi lingkungan, interferensi, atau posisi antena. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa ESP32 LoRa tetap andal meskipun dalam kondisi sinyal yang tidak ideal.

G. Pengujian Received Signal Strength Indicator (RSSI) LoRa

Pengujian RSSI Pada LoRa dari pengiriman data 5 sensor yang sudah di integrasikan ke Lynx 32 development board.

TABEL 7
Pengujian Received Signal Strength Indicator (RSSI)

Waktu	RSSI
07.50	-109
08.00	-109
08.10	-111
08.20	-111
08.30	-109
08.40	-111
08.50	-109
09.00	-109

Pengujian RSSI pada ESP32 LoRa menunjukkan nilai yang konsisten berada di antara -109 dBm hingga -111 dBm, yang mengindikasikan kekuatan sinyal yang lemah namun masih dalam batas yang dapat diterima oleh modul LoRa. Nilai RSSI yang rendah seperti ini umum terjadi pada komunikasi jarak jauh atau saat terdapat penghalang antara pengirim dan penerima. Konsistensi nilai ini menandakan kondisi link yang stabil meskipun sinyal tidak terlalu kuat, dan performa komunikasi tetap berjalan berkat sensitivitas tinggi dari modul LoRa.

H. Pengujian Penggunaan Frekuensi LoRa

Pengujian penggunaan frekuensi Pada LoRa dari pengiriman data 5 sensor yang sudah di integrasikan ke Lynx 32 Development board.

TABEL 8
Pengujian Penggunaan Frekuensi LoRa

Waktu	Frekuensi
07.50	922.4
08.00	922.4
08.10	922.4
08.20	922.4
08.30	922.4
08.40	922.4
08.50	922.4
09.00	922.4

Frekuensi 922.4 MHz yang tercatat secara konsisten pada setiap waktu menunjukkan bahwa ESP32 LoRa beroperasi pada kanal tetap dalam rentang frekuensi LoRa yang dizinkan di Indonesia, yaitu antara 920 MHz hingga 923 MHz (band ISM untuk Asia Tenggara). Nilai ini menandakan modul dikonfigurasi untuk menggunakan channel 922.4 MHz secara statis, tanpa melakukan hopping atau perubahan frekuensi, sehingga transmisi tetap stabil dan sesuai regulasi lokal untuk penggunaan LoRa.

V. PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pengujian sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT, sistem ini berhasil mengukur dan mengirimkan data kualitas udara secara real-time dengan stabil dan akurat. Data yang diperoleh menunjukkan suhu berkisar antara 30°C hingga 33°C dengan kelembapan 51% hingga 54%. Tekanan udara stabil di sekitar 924 hPa, dan konsentrasi CO₂ tercatat antara 367 ppm hingga 401 ppm,

menandakan udara yang relatif bersih. Sensor NH3 tidak mendeteksi gas amonia, dan data lokasi dari sensor GPS menunjukkan koordinat -6.977573, 107.632043. Sistem komunikasi LoRa menunjukkan performa baik dengan SNR antara -4.19 dB hingga 0.20 dB dan RSSI antara -109 dBm hingga -111 dBm. Secara keseluruhan, sistem ini efektif dalam memberikan data akurat dan tepat waktu untuk pengambilan keputusan terkait kualitas udara.

VI. DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Rizkina Utamy, "PROTOTYPE WIRELESS SENSOR NETWORK SISTEM PENGUKURAN DEBU DAN SUHU UDARA BERBASIS MQTT SERVER," vol. 10, no. 2, 2023, [Online]. Available: <https://www.amazon.in/REES52-Traffic-Light->
- [2] S. Pencerah, O. Oheoputra Husen, J. Mukaddas, and A. Ishak, "Analisis Karbonmonoksida (CO), OksidaNitrogen (NOx) dan Sulfurioksida (SO2) pada Kualitas Lingkungan Udara Ambien Jalan Raya Kota Kendari," 2023, doi: 10.35326/pencerah.v8i4.3021.
- [3] R. Samsinar and I. Fikri, "Perancangan dan Implementasi Alat Pengukur Tingkat Polusi Udara Karbon Monoksida dan Debu Berbasis Website Menggunakan Raspberry Pi," vol. 4, no. 1, [Online]. Available: <http://192.168.1.1/index.php>
- [4] M. A. Satryawan and E. Susanti, "PERANCANGAN ALAT Pendetksi KUALITAS UDARA DENGAN IoT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32 D1 R32," *Sigma Teknika*, vol. 6, no. 2, pp. 410–419, 2023.
- [5] W. Cintya Dewi, M. Raharjo, N. Endah Wahyuningsih, F. Kesehatan Masyarakat Universitas Diponegoro Jl Sudarto No, and T. Kota Semarang Jawa Tengah Indonesia, "LITERATUR REVIEW: HUBUNGAN ANTARA KUALITAS UDARA RUANG DENGAN GANGGUAN KESEHATAN PADA PEKERJA LITERATURE REVIEW: LINK BETWEEN SPACE AIR QUALITY AND HEALTH INTERFERENCE IN WORKERS," *Jurnal Kesehatan Masyarakat*, vol. 8, no. 1, p. 2021.
- [6] A. Yusuf, K. Kusrini, and A. H. Muhammad, "Perbandingan Additive dan Multiplicative Exponential Smoothing Terhadap Prakiraan Kualitas Udara di Banjarmasin," *Jurnal ELTIKOM*, vol. 6, no. 1, pp. 40–55, Jan. 2022, doi: 10.31961/eltikom.v6i1.507.
- [7] A. Hasibuan, M. Daud, R. Andria, I. M. A. Nrartha, M. Sayuti, and F. S. Lukman, "Design of Ammonia Gas Detection and Control Devices in Chicken Farms Based on Arduino Uno," *MOTIVECTION: Journal of Mechanical, Electrical and Industrial Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 485–500, Sep. 2023, doi: 10.46574/motivection.v5i3.240.
- [8] T. J. Hsueh and R. Y. Ding, "A Room Temperature ZnO-NPs/MEMS Ammonia Gas Sensor," *Nanomaterials*, vol. 12, no. 19, Oct. 2022, doi: 10.3390/nano12193287.
- Y. Li *et al.*, "Pd-Decorated ZnO Hexagonal Microdiscs for NH3 Sensor," *Chemosensors*, vol. 12, no. 3, Mar. 2024, doi: 10.3390/chemosensors12030043.
- A. Askan, M. Ali, K. Kadaryono, and M. Muhlasin, "Optimasi Sistem Kontrol Mesin Penetas Telur Menggunakan Sensor Suhu dan Kelembaban Udara," *Jurnal FORTECH*, vol. 3, no. 1, pp. 1–6, Mar. 2022, doi: 10.56795/fortech.v3i1.101.
- W. Suparta, A. Warsita, and Ircham, "A low-cost development of automatic weather station based on Arduino for monitoring precipitable water vapor," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 24, no. 2, pp. 744–753, Nov. 2021, doi: 10.11591/ijeecs.v24.i2.pp744-753.
- P. Petisiwath, R. Wanotayan, N. Damrongkijudom, S. Ninlaphruk, and S. Kladsomboon, "Dosimetric Performance of Poly(vinyl alcohol)/Silver Nanoparticles Hybrid Nanomaterials for Colorimetric Sensing of Gamma Radiation," *Nanomaterials*, vol. 12, no. 7, Apr. 2022, doi: 10.3390/nano12071088.
- T. Istiana *et al.*, "Kajian Pemanfaatan IoT Berbasis LPWAN Untuk Jaringan Akuisisi Data ARG," *Elektron Jurnal Ilmiah*, vol. 12, 2020, [Online]. Available: <http://202.90.198.206/awscenter/index.php>
- T. Herlina Rochadiani, W. Widjaja, H. Santoso, Y. Natasya, U. Dzakiyah Nisrina Arijqoh, and R. Angelika Septi Rahayu, "PENERAPAN IOT UNTUK PEMANTAUAN KUALITAS AIR KOLAM PETERNAK IKAN DI KAMPUNG KALIPATEN," 2022.