

## Sistem keamanan pengiriman data pada perangkat pemantauan kualitas udara (CO<sub>2</sub>)

Nivika Tiffany Somantri<sup>1\*</sup>, Fadhil Aulia Rahman<sup>2</sup>, Sofyan Basuki<sup>3</sup>, Hajjar Yuliana<sup>4</sup>,  
Atik Charisma<sup>5</sup>, Adesena Permana<sup>6</sup>

<sup>1,2,3,4,5,6</sup>Program Studi Teknik Elektro, Universitas Jenderal Achmad Yani

Jalan Terusan Jend. Sudirman PO.BOX 148 Cimahi 40531, Jawa Barat, Indonesia

<sup>1\*</sup>[nivika.tiffany@lecture.unjani.ac.id](mailto:nivika.tiffany@lecture.unjani.ac.id), <sup>2</sup>[fadhilauliad009@gmail.com](mailto:fadhilauliad009@gmail.com), <sup>3</sup>[sofyan.basuki@lecture.unjani.ac.id](mailto:sofyan.basuki@lecture.unjani.ac.id),  
<sup>4</sup>[hajjaryuliana@lecture.unjani.ac.id](mailto:hajjaryuliana@lecture.unjani.ac.id), <sup>5</sup>[atik.charisma@lecture.unjani.ac.id](mailto:atik.charisma@lecture.unjani.ac.id), <sup>6</sup>[adesenapermana@lecture.unjani.ac.id](mailto:adesenapermana@lecture.unjani.ac.id)

### ABSTRAK

Teknologi *Internet of Things* (IoT) telah berperan penting dalam pemantauan kualitas udara, terutama untuk mengukur konsentrasi gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). LoRa, dengan jangkauan luas dan konsumsi daya rendah, menjadi solusi efektif untuk pengiriman data di daerah sulit dijangkau. Namun, tantangan utama adalah keamanan pengiriman data. Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan keamanan pengiriman data LoRa pada sistem pemantauan kualitas udara melalui penerapan enkripsi AES (*Advanced Encryption Standard*). Dalam penelitian ini dirancang suatu sistem enkripsi dan dekripsi keamanan data yang di implementasikan ke perangkat *node sensor* sebagai pangambil data sensor kualitas CO<sub>2</sub> dan pengirim data dalam bentuk *ciphertext*, serta perangkat *gateway* yang akan menerima enkripsi data lalu mengubahnya kembali menjadi *plaintext*, dilengkapi juga nilai RSSI dan SNR sebagai indikator kualitas pengiriman setiap data yang diterima dalam komunikasi LoRa. Pengujian sistem keamanan komunikasi data pada LoRa dengan algoritma AES 128-bit mode ECB berhasil mengamankan data yang dihasilkan oleh sensor MQ-135 untuk mengukur kadar CO<sub>2</sub>. LoRa mampu mengirimkan data dalam jarak 50 hingga 100 meter secara NLOS, namun kualitas pengiriman data menurun pada jarak lebih jauh, dengan packet loss mencapai 70% pada 150 meter dan 90% pada 250 meter. Nilai RSSI dan SNR juga memburuk seiring dengan peningkatan jarak, dengan nilai -110dBm hingga -112dBm untuk RSSI dan -10dB hingga -11dB untuk SNR pada jarak 150 hingga 250 meter. Pengujian kualitas udara di lingkungan urban menunjukkan rata-rata CO<sub>2</sub> sebesar 361,5 PPM, yang masih jauh dari ambang batas 1000 PPM yang ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan, menunjukkan kondisi udara yang aman.

**Kata kunci:** AES 128-bit, enkripsi dan dekripsi data, kualitas CO<sub>2</sub>, LoRa, MQ135

### ABSTRACT

*The Internet of Things (IoT) technology has played an important role in air quality monitoring, particularly in measuring carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) concentration. LoRa, with its wide range and low power consumption, is an effective solution for data transmission in areas that are difficult to reach. However, the main challenge is data transmission security. This research aims to optimize the security of LoRa data transmission in air quality monitoring systems through the application of AES (Advanced Encryption Standard) encryption. In this study, a data security encryption and decryption system was designed and implemented into the node sensor device to collect CO<sub>2</sub> sensor data and transmit the data in ciphertext, as well as into the gateway device to receive the encrypted data and convert it back to plaintext. It also includes RSSI and SNR values as indicators of the data transmission quality in the LoRa communication. The testing of the data communication security system on LoRa with the AES 128-bit ECB mode algorithm successfully secured the data generated by the MQ-135 sensor to measure CO<sub>2</sub> levels. LoRa is capable of transmitting data within a range of 50-100 meters in NLOS conditions, but the data transmission quality deteriorates over longer distances, with packet loss reaching 70% at 150 meters and 90% at 250 meters. The RSSI and SNR values also worsen as the distance increases, with RSSI values ranging from -110dBm to -112dBm and SNR values from -10dB to -11dB at distances of 150 to 250 meters. The air quality testing in the urban environment showed an average CO<sub>2</sub> concentration of 361.5 PPM, which is still far below the 1000 PPM threshold set by the Ministry of Health, indicating safe air quality.*

**Keywords:** AES 128-bit, CO<sub>2</sub> quality, data encryption and decryption, LoRa, MQ135

## 1. PENDAHULUAN

Dalam era modern ini, teknologi telah menjadi peran utama dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu inovasi signifikan adalah *Internet of Things* (IoT), yang memungkinkan perangkat untuk saling terhubung dan berbagi data secara efisien [1]. IoT telah membuka peluang besar dalam pengelolaan lingkungan, termasuk dalam pemantauan kualitas udara. Kualitas udara utamanya karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) pada sebuah penelitian menunjukkan bahwa emisi CO<sub>2</sub> Indonesia mengalami peningkatan signifikan, terutama pada tahun 2022, yang mencatatkan kenaikan sebesar 18,34% dibandingkan dengan tahun sebelumnya [2], [3]. Beberapa faktor utama yang berkontribusi terhadap peningkatan emisi CO<sub>2</sub> antara lain adalah proses perkembangan urbanisasi di Indonesia yang membuat kebutuhan akan energi yang masih mengandalkan energi fosil seperti batu bara untuk pembangkit listrik dan transportasi yang meningkat seiringnya banyak permintaan di banyak daerah yang berkembang populasinya [4], [5], [6]. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya kualitas udara bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan, sistem pemantauan berbasis IoT menjadi sangat relevan untuk menyediakan data *real-time* yang mendukung pengambilan keputusan. Teknologi LoRa (*Long Range*) adalah salah satu platform komunikasi utama dalam pengembangan sistem pemantauan kualitas udara, dengan keunggulan karakteristik jangkauan yang luas, dan konsumsi daya rendah. LoRa mampu mendukung pengiriman data secara optimal pada daerah yang sulit dijangkau oleh teknologi lain. Namun, di balik potensi besar tersebut, muncul tantangan serius terkait keamanan pengiriman data, yang menjadi perhatian utama dalam implementasi teknologi ini [7], [8].

Inovasi yang diusulkan pada laporan penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan keamanan pengiriman data LoRa pada perangkat sistem pemantauan kualitas udara melalui penerapan metode enkripsi data. Penelitian ini didasarkan dari penelitian penulis sebelumnya yang berkaitan dengan komunikasi data LoRa [9], sehingga pada penelitian terbaru dilakukan peningkatan berupa keamanan komunikasi data pada LoRa. Perbedaan utama antara penelitian sebelumnya pada fokus aplikasi, spesifikasi teknis enkripsi (mode operasi), dan tujuan penelitian. Penelitian secara spesifik menerapkan AES-128 mode ECB pada kasus penggunaan nyata (pemantauan CO<sub>2</sub>), sementara kebanyakan penelitian lain membahas AES-128 dalam konteks protokol LoRaWAN secara umum, dan tujuan penelitian adalah menampilkan data kualitas udara (CO<sub>2</sub>) di suatu area berdasarkan keluaran dari sensor deteksi kualitas udara dengan mengintegrasikan perangkat *node sensor* dan *gateway*.

Penggunaan AES-128 dipilih karena faktor perbedaan kecepatan enkripsi dan dekripsi sebuah penelitian menunjukkan bahwa waktu enkripsi dan dekripsi meningkat seiring dengan peningkatan ukuran kunci. Secara khusus, AES-128 memiliki waktu enkripsi dan dekripsi yang paling cepat, diikuti oleh AES-192, dengan AES-256 yang paling lambat. Hal ini disebabkan oleh jumlah ronde yang lebih banyak pada AES-256 dan AES-192 dibandingkan dengan AES-128 [10], [11]. Dengan adanya celah pada keamanan data pada sistem komunikasi data LoRa ini, maka dilakukanlah pengembangan alat sebagai solusi untuk meningkatkan keandalan dan keamanan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT.

### 1.1 Penelitian Terkait

**Tabel 1. Perbandingan dengan penelitian sebelumnya**

Aspek yang Dibandingkan	AES-128 ECB pada Pemantauan CO <sub>2</sub>	Hasil Penelitian Lain (LoRa Tanpa Enkripsi) [12],[13]	Hasil Penelitian Lain (LoRa dengan Mode AES Lain: CTR/CBC) [14], [15]
Keamanan Data	Terenkripsi, namun berisiko. Data CO <sub>2</sub> berhasil dienkripsi, tetapi mode ECB bersifat deterministik. Jika data sensor memiliki pola berulang (misal: nilai CO <sub>2</sub> yang sama dikirim berulang), pola tersebut berpotensi terlihat oleh penyerang.	Sangat Rentan. Data dikirim dalam bentuk <i>plaintext</i> (teks asli). Sangat mudah disadap (sniffing) dan dibaca oleh pihak tidak berwenang.	Aman & Standar. Data terenkripsi dengan baik. Mode CBC dan CTR mengenkripsi data yang sama menjadi hasil yang berbeda setiap saat, sehingga pola data tidak dapat dideteksi. Ini adalah standar keamanan yang direkomendasikan

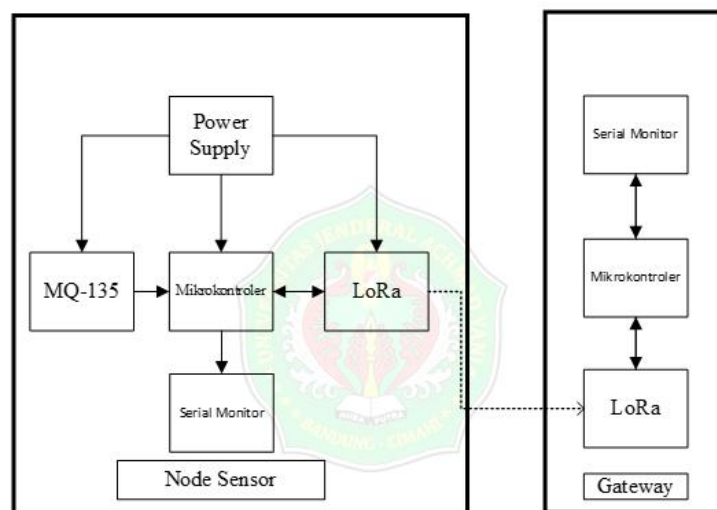
<p>Konsumsi Daya dan Efisiensi</p>	<p>Efisien (Potensial). Mode ECB memungkinkan paralelisasi proses enkripsi sehingga secara teori lebih cepat dan hemat daya pada perangkat keras yang mendukungnya. Sangat cocok untuk perangkat bertenaga baterai.</p>	<p>Paling Hemat Daya. Tidak ada proses komputasi untuk enkripsi, sehingga konsumsi daya hanya untuk transmisi radio. Ini yang paling efisien, tapi konsekuensi keamanannya sangat besar</p>	<p>Sedikit Lebih Boros. Mode CBC bersifat sekuensial (tidak bisa diparalelkan), sehingga membutuhkan waktu dan daya komputasi lebih banyak. Mode CTR lebih efisien dari CBC, tetapi tetap membutuhkan sumber daya untuk menghasilkan <i>counter</i></p>
------------------------------------	---	---	---

**2. METODE PENELITIAN**

**2.1 Diagram Sistem**

Diagram sistem dalam penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1. Sistem terdiri dari sub blok diagram sensor *node*, *gateway*. Pada bagian *node sensor* berfungsi sebagai data inputan suatu sistem pemantauan kualitas udara berdasarkan nilai yang di dapat dari sensor MQ-135. Parameter kuliatas udara dinilai berdasarkan tinggi/rendahnya nilai yang terdeteksi pada sensor MQ-135. Setelah data inputan berhasil di dapatkan selanjutnya data akan di dekripsi menggunakan metode *Advanced Encryption Standard* (AES) 128bit sehingga data awal yang awalnya berupa *Plaintext* di ubah menjadi *ciphertext*. Dibuatkan juga kunci enkripsinya agar data yang akan di kirimkan bisa di dekripsi. Selanjutnya data yang sudah di enkripsi di kirimkan dari *node sensor* ke bagian *gateway*. Pada bagian *gateway* data yang telah di dapatkan akan di dekripsi menggunakan kunci enkripsi yang sama seperti kunci di *node sensor*. Data awal yang didapatkan masih berupa *ciphertext* ini di dekripsi sehingga menjadi *plaintext* seperi data awalan sebelum proses enkripsi dimulai.

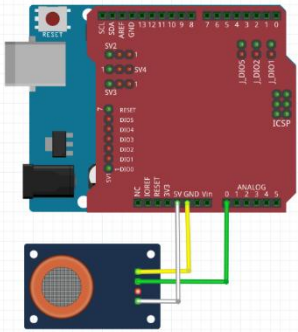
AES (*Advanced Encryption Standard*) dengan mode ECB (*Electronic Codebook*) adalah metode enkripsi simetris yang mengenkripsi data dalam blok 128-bit menggunakan kunci yang dapat berupa 128-bit, 192-bit, atau 256-bit. Pada mode ECB, setiap blok data *plaintext* dienkripsi secara terpisah dengan kunci yang sama [16], [17]. Mode ini memungkinkan proses enkripsi yang sederhana dan efisien, di mana setiap blok *plaintext* diubah menjadi blok *ciphertext* yang sesuai tanpa bergantung pada blok sebelumnya. Data yang sama di enkripsi dengan kunci yang sama akan menghasilkan *ciphertext* yang sama bila melakukan enkripsi dengan 2 atau lebih data yang sama. Mode ECB membutuhkan waktu enkripsi yang lebih singkat dibandingkan CBC [18], [19]. Hal ini karena pada ECB, setiap blok *plaintext* dienkripsi secara independen, sehingga prosesnya bisa diparalelkan dan tidak ada ketergantungan antar blok. Sehingga pada penelitian ini mode ECB dipilih untuk memaksimalkan efesiensi waktu proses enkripsi ke dekripsi karena diimplementasikan pada pemantauan kualitas udara (CO2) secara *real-time*.



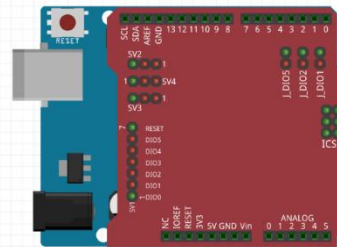
**Gambar 1. Diagram skematik sistem**

### 2.1 Perancangan Perangkat Keras

Diagram pengkabelan perangkat *node sensor* dapat dilihat pada Gambar 2. Perangkat *node sensor* terdiri dari Arduino uno R3 yang dihubungkan secara langsung dengan modul LoRa *Shield* (Semtech SX1276) di keseluruhan PIN, selanjutnya dihubungkan sensor MQ-135 sensor pembaca CO<sub>2</sub>. PIN yang digunakan MQ-135 yaitu PIN VCC ke pin 5V Arduino, PIN *Ground* dihubungkan ke PIN *ground* (GND) Arduino. PIN Analog input dihubungkan ke PIN analog 0 sebagai data masukan sensor MQ-135 untuk mendeteksi CO<sub>2</sub>. Penggunaan modul LoRa *shield* dipanggil melalui program sesuai pin yang digunakan yaitu LORA\_SS PIN 10 digital, LORA\_RST PIN 9 digital, dan LORA\_DIO0 PIN 2 digital.



Gambar 2. Diagram pengkabelan perangkat *node sensor*



Gambar 3. Diagram pengkabelan perangkat *gateway*

Pada Gambar 3 terlihat bagian perangkat *gateway wiring* tidak tampak, karena tidak menggunakan kabel *jumper* penghubung, karena modul LoRa *shield* dihubungkan secara langsung ke arduino Uno R3. PIN yang akan digunakan adalah PIN LORA\_SS PIN 10 digital, LORA\_RST PIN 9 digital, dan LORA\_DIO0 PIN 2 digital yang dipanggil dari program di arduino.

### 2.2 Perancangan Perangkat Lunak

Gambar 4 menunjukkan contoh proses yang dimulai dari *node sensor*. *Node sensor* mengumpulkan data kualitas udara (CO<sub>2</sub>) dalam bentuk *plaintext*, kemudian data tersebut dienkripsi untuk di jaga kerahasiaannya menjadi format *ciphertext*. Data yang telah dienkripsi dikirimkan ke *gateway*, dan hasilnya juga ditampilkan pada *serial monitor*. Di sisi *gateway*, data yang diterima dalam bentuk *ciphertext* didekripsi untuk mengembalikan data ke bentuk *plaintext*. Setelah itu, data kualitas udara dalam bentuk *plaintext* ditampilkan pada *serial monitor*, dan proses selesai. Contoh tampilan *serial monitor* di sisi *gateway* dapat dilihat pada Gambar 5.

```

14:05:17.285 -> Lora Init OK
14:05:17.285 -> Rs: 32.63
14:05:17.285 -> Ra/Bo: 7.57
14:05:17.285 -> CO2 ppm: 100.00
14:05:17.285 -> Plaintext: CO2:0100ppm
14:05:17.285 -> Encrypted: D8 5E EF 1C FC 4C 40 F3 21 3D EE A1 57 DC EB F
14:05:17.285 -> Data sent
14:05:17.285 ->
14:05:27.244 -> Rs: 12.89
14:05:27.244 -> Ra/Bo: 2.99
14:05:27.244 -> CO2 ppm: 628.84
14:05:27.339 -> Plaintext: CO2:0628ppm
14:05:27.370 -> Encrypted: AA 47 27 24 A3 BE 7A 5E A 3C A5 FA DB A3 DF F
14:05:27.371 -> Data sent
14:05:27.388 ->
14:05:37.355 -> Rs: 16.78
14:05:37.355 -> Ra/Bo: 3.89
14:05:37.355 -> CO2 ppm: 369.66
14:05:37.482 -> Plaintext: CO2:0369ppm
14:05:37.484 -> Encrypted: 7F EE 24 D4 D C2 9D 27 77 A7 2D 9D EC 81 E4 CF
14:05:37.484 -> Data sent
    
```

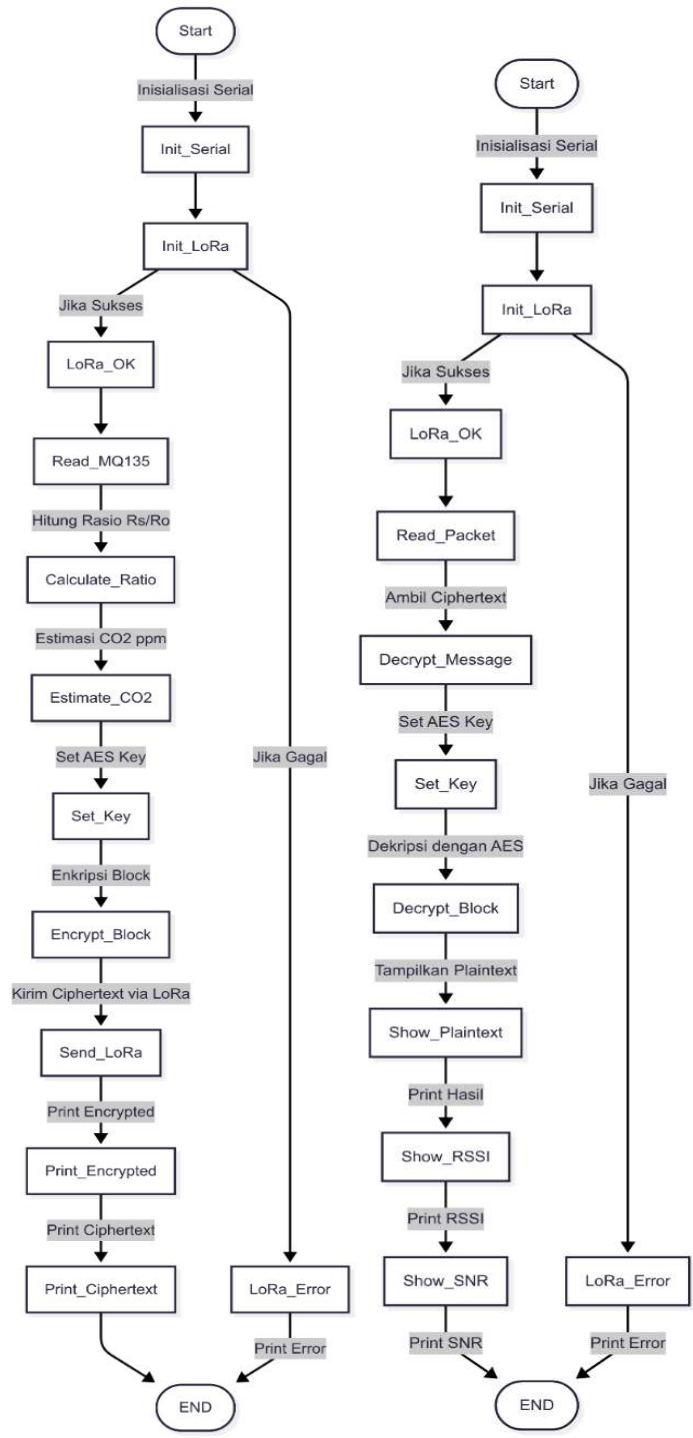
Gambar 4. Contoh tampilan *serial monitor* di *node sensor*

```

14:05:17.850 -> CO2:0100ppm
14:05:17.850 -> Received Encrypted: D8 5E EF 1C FC 4C 40 F3 21 3D EE A1 57 DC EB F
14:05:17.917 -> Decrypted Plaintext: CO2:0100ppm
14:05:17.950 -> * with RSSI -90
14:05:17.996 -> * with Snr 9.75
14:05:27.991 -> CO2:0628ppm
14:05:27.991 -> Received Encrypted: AA 47 27 24 A3 BE 7A 5E A 3C A5 FA DB A3 DF F
14:05:28.027 -> Decrypted Plaintext: CO2:0628ppm
14:05:28.060 -> * with RSSI -97
14:05:28.098 -> * with Snr 8.25
14:05:30.068 -> CO2:0369ppm
14:05:30.068 -> Received Encrypted: 7F EE 24 D4 D C2 9D 27 77 A7 2D 9D EC 81 E4 CF
14:05:30.168 -> Decrypted Plaintext: CO2:0369ppm
14:05:38.168 -> * with RSSI -98
14:05:38.210 -> * with Snr 8.25
    
```

Gambar 5. Contoh tampilan *serial monitor* di *gateway*

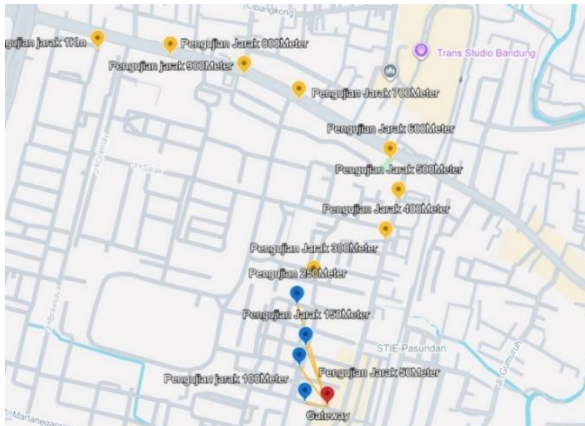
Gambar 6 menunjukkan *flowchart* yang menggambarkan proses pengumpulan dan pengolahan data kualitas udara (CO<sub>2</sub>) menggunakan sensor MQ-135 lalu proses enkripsi AES128bit di sisi perangkat *node sensor* dan proses dekripsi di sisi perangkat *gateway*.



Gambar 6. Diagram alir proses kerja alat *node sensor* dan *gateway*

### 2.3 Metoda Analisa Yang Digunakan

Pengujian data dilakukan di sekitar lingkungan perumahan (urban) dengan cara memberikan jarak pada kedua perangkat selama proses pengambilan data kualitas udara (CO<sub>2</sub>) oleh sensor MQ135 dengan kondisi *Non Line of Sight* seperti pada Gambar 7. Dari data yang telah didapatkan akan dilihat kualitas datanya, berdasarkan *Delay* setiap pengiriman data, persentase paket loss yang didapatkan di setiap pengujian dengan variasi perubahan jarak pengiriman data, nilai RSSI dan SNR di setiap pengiriman datanya, dan persentase keberhasilan proses enkripsi data menggunakan AES-128 Bit.



Gambar 7. Titik pengujian *sampling*



Gambar 8. Situasi pengujian kualitas udara (CO<sub>2</sub>)

Pengujian dimulai dari pemberian jarak 100 meter antara perangkat *node sensor* dan *gateway*, lalu dilakukan pengambilan data *sampling* oleh sensor MQ135 sebanyak 10 data. Pengujian *sampling* dilakukan berulang dengan kelipatan jarak bertambah 100 meter, dengan pengujian akhir target di jarak 1 kilometer (Kondisi Optimal). Jika ditemui kondisi dilapangan perangkat tidak mampu mengirim data hingga 1 kilometer, pengujian akan dilakukan menyesuaikan dengan kemampuan maksimal alat dapat mengirimkan data dari *node sensor* ke *gateway*.

Data kualitas udara (CO<sub>2</sub>) diuji dengan cara pengujian selama 30 Menit dan dilakukan *sampling* setiap 5 menit sekali sebanyak 5 data, data yang didapatkan akan dilihat apa melebihi nilai maksimal kadar CO<sub>2</sub> yang telah di tentukan oleh Menteri Kesehatan berdasarkan Standar Baku Mutu Kesehatan Lingkungan (SBMKL) yaitu 1000 PPM. Proses pengujian dilakukan di kondisi lingkungan yang tidak padat penduduk dan dilakukan pada siang hari seperti ditunjukkan pada Gambar 8.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 3.1 Kalibrasi

Sistem pemantau gas karbon dioksida (CO<sub>2</sub>) dengan menggunakan sensor MQ135 terintegrasi Telegram diharapkan dapat berjalan sesuai dengan fungsinya dan dapat mengukur secara akurat. Pada saat seluruh sistem alat ini sudah dipastikan berjalan dengan baik maka harus dilakukan kalibrasi untuk memperoleh hasil data pengukuran yang akurat. Dalam hal ini akan dilakukan kalibrasi pada pembacaan sistem dari sensor MQ135. Berikut ini merupakan data yang dihasilkan dari kalibrasi sistem dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kalibrasi sistem perancangan pada sensor MQ135

Ke-	Kalibrator	MQ135	Galat (%)	Akurasi (%)
1	357	361,1	1,15	98,85
2	301	302,95	0,65	99,35
3	299	301,31	0,77	99,23
4	299	301,76	0,92	99,08
5	298	300,64	0,89	99,11
6	297	299,97	1,00	99,00
7	297	299,79	0,94	99,06
8	297	299,78	0,94	99,06
9	297	299,33	0,78	99,22
10	301	303,18	0,72	99,28
Rata-rata	304,3	306,981	0,87	99,12

#### 3.2 Pengujian

Sesudah melewati tahapan persiapan alat, perancangan alat, dan realisasi alat dan sistem yang digunakan. Selanjutnya alat diuji untuk mengetahui fungsi dan kehandalan sistem yang telah di realisasikan.

### 3.3 Parameter yang Diuji

Parameter yang diuji ada beberapa pengujian fungsi dan kuliatas berdasarkan alat yang telah di rancang, Parameter yang diuji meliputi:

- a) Fungsi dan keberhasilan menampilkan kualitas udara CO<sub>2</sub> pada *serial monitor*
- b) Keberhasilan proses enkripsi dan proses dekripsi AES 128 Bit mode ECB berdasarkan kecocokan nilai Code ASCII HEX
- c) *Delay, packet loss* dan *error rate* pengiriman data saat mulai proses enkripsi ke proses dekripsi data menggunakan AES 128 Bit mode ECB.
- d) Kualitas pengiriman data antara *node sensor* dan *gateway* berdasarkan nilai RSSI dan SNR yang terukur di sisi *gateway*.

### 3.4 Gambaran Situasi Pelaksanaan Pengujian

Pengujian alat dilakukan di area perumahan Kompleks Pusenkav Jalan Turangga 4 dengan Kecamatan Lengkong, Kota Bandung. Pengujian dilakukan pemberian jarak secara NLOS (*Non-Line of Sight*) di jarak 100 Meter dan 250 Meter. Saat melakukan pengukuran di jarak lebih dari 250 Meter alat sudah tidak mampu mengirimkan data atau saling tidak terkoneksi dan tidak dapat mengirimkan data dari *node sensor* ke *gateway* (kondisi tidak optimal). Untuk pengujian kulitias udara (CO<sub>2</sub>) dilakukan pengujian selama 30 menit, dan dilakukan pengambilan data setiap 5 menit sebanyak 5 data. Seluruh pengujian dilakukan berada di area rumah dengan keadaan ramai penduduk.

### 3.5 Hasil Pengujian

#### 3.5.1 Jarak 100 Meter (NLOS)

Tabel 3 memperlihatkan seluruh data yang dikirimkan dari perangkat *node sensor* ke *gateway* berhasil dienkripsi dan didekripsi dengan benar, kecuali pada data ke-4 yang mengalami *packet loss*. Hasil perbandingan antara kode HEX dari data enkripsi dan dekripsi menunjukkan kecocokan pada 9 dari 10 sampel data, dengan *packet loss rate* sebesar 10%. Ini menunjukkan bahwa sistem enkripsi dan dekripsi berjalan dengan baik pada sebagian besar transmisi, meskipun ada satu data yang hilang. Penggunaan mode ECB dalam sistem enkripsi AES 128-bit menyebabkan nilai HEX yang sama untuk nilai sensor yang sama, seperti yang terlihat pada data ke-7 dan ke-10 yang memiliki nilai sensor 202 PPM yang dikirimkan pada dua kesempatan yang berbeda.

Dari sisi performa waktu, analisis *delay* antara proses enkripsi dan dekripsi menunjukkan rata-rata waktu tunda (*delay*) sebesar 609.22 milidetik, dengan *delay* tercepat sebesar 554 milidetik dan *delay* terlama sebesar 658 milidetik. Ini menunjukkan bahwa meskipun terdapat variasi dalam waktu tunda, sistem masih dapat mengelola transmisi data dengan efisien dalam kondisi pengujian jarak 100 meter. Hilangnya data ke-4 (yang mengalami *packet loss*) cukup signifikan terhadap analisis *delay* karena memengaruhi jarak waktu antara data ke-3 dan data ke-5. Data ke-4 tidak terdekripsi dan tidak ada waktu dekripsi yang tercatat untuk data tersebut, sehingga tidak dihitung dalam pengukuran *delay* keseluruhan. Jarak *delay* dekripsi antara data ke-3 dan data ke-5 dihitung berdasarkan perbedaan waktu antara dekripsi pada data ke-3 dan dekripsi pada data ke-5. Untuk data ke-3, dekripsi terjadi pada 2:14:54.635, dan untuk data ke-5, dekripsi terjadi pada 2:15:14.854 sehingga terdapat *delay* antar data ke 3 dan 5  $2:15:14.854 - 2:14:54.635 = 20.219$  detik atau 20.219.000 milidetik, yang membuatnya melebihi dari *delay* antar data yang telah di *setting* di program yang seharusnya 10 detik.

Dari sisi kualitas sinyal, nilai RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) tercatat dalam rentang -108 dBm (terbagus) hingga -111 dBm (terburuk), yang menunjukkan adanya penurunan kekuatan sinyal pada jarak yang lebih jauh namun masih berada dalam batas yang dapat diterima oleh sistem LoRa seperti pada Gambar 9. Sementara itu, nilai SNR (*Signal-to-Noise Ratio*) berada pada rentang 0.75 dB (terburuk) hingga -6.00 dB (terbaik), yang mengindikasikan adanya gangguan *noise* pada beberapa *transmisi*, terutama pada pengiriman dengan sinyal yang lebih lemah.

Dengan hasil ini pada jarak 100-meter ini, dapat disimpulkan bahwa sistem komunikasi LoRa 913 MHz yang digunakan dengan skema enkripsi-dekripsi AES 128-bit ECB bekerja secara efisien, akurat, dan stabil dalam kondisi pengujian sejauh 100-meter secara NLOS meskipun mengalami sedikit gangguan paket loss di 10% pada kondisi NLOS pada jarak 100 meter. Kinerja sistem tetap dapat menjaga keakuratan data pada sebagian besar transmisi meskipun ada sedikit penurunan kualitas sinyal.

**Tabel 3. Hasil pengujian di jarak 100 meter antara *node sensor* dan *gateway***

Enkripsi					Dekripsi						
Data ke:	MQ135	HEX	Waktu	Keterangan	Data ke:	MQ135	HEX	Waktu	Keterangan	RSSI	SNR
1	100 PPM	D8 5E EF 1C FC 4C 40 F3 21 3D EE A1 57 DC EB F	2:14:33.776	Berhasil	1	100 PPM	D8 5E EF 1C FC 4C 40 F3 21 3D EE A1 57 DC EB F	2:14:34.383	Berhasil	-108	0.75
2	306 PPM	81 7B C0 E4 8E 4D 21 76 36 CD 6C 62 7E 15 E9 7	2:14:43.899	Berhasil	2	306 PPM	81 7B C0 E4 8E 4D 21 76 36 CD 6C 62 7E 15 E9 7	2:14:44.518	Berhasil	-110	-5.50
3	281 PPM	69 1D 9B 7B 82 C2 5D D3 2E D A 2E 8 42 69 70	2:14:54.043	Berhasil	3	281 PPM	69 1D 9B 7B 82 C2 5D D3 2E D A 2E 8 42 69 70	2:14:54.635	Berhasil	-109	-6.00
4	247 PPM	92 45 A3 C6 F5 55 D5 80 57 A3 8E B8 E9 E6 C CB	2:15:04.168	Berhasil	4	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
5	235 PPM	67 B F0 6E F 60 F 3E F1 45 69 27 C1 AC B1 3B	2:15:14.196	Berhasil	5	235 PPM	67 B F0 6E F 60 F 3E F1 45 69 27 C1 AC B1 3B	2:15:14.854	Berhasil	-110	-6.00
6	230 PPM	66 74 47 8F C5 B0 C7 B3 26 37 CC CC 40 47 18 BA	2:15:24.321	Berhasil	6	230 PPM	66 74 47 8F C5 B0 C7 B3 26 37 CC CC 40 47 18 BA	2:15:24.963	Berhasil	-109	-1.00
7	202 PPM	3E A3 3E 66 6F F9 F9 71 AD 14 3E F4 73 C9 AF EF 67	2:15:34.462	Berhasil	7	202 PPM	3E A3 3E 66 6F F9 F9 71 AD 14 3E F4 73 C9 AF EF 67	2:15:35.069	Berhasil	-109	-2.50
8	230 PPM	66 74 47 8F C5 B0 C7 B3 26 37 CC CC 40 47 19 BA	2:15:44.547	Berhasil	8	230 PPM	66 74 47 8F C5 B0 C7 B3 26 37 CC CC 40 47 19 BA	2:15:45.175	Berhasil	-109	-4.50
9	215 PPM	97 21 C8 3F 33 2 22 D9 80 22 E6 ED 6C 32 E6 73	2:15:54.735	Berhasil	9	215 PPM	97 21 C8 3F 33 2 22 D9 80 22 E6 ED 6C 32 E6 73	2:15:55.289	Berhasil	-109	-4.50
10	202 PPM	3E A3 3E 66 6F F9 F9 71 AD 14 3E F4 73 C9 AF EF 67	2:16:04.789	Berhasil	10	202 PPM	3E A3 3E 66 6F F9 F9 71 AD 14 3E F4 73 C9 AF EF 67	2:16:05.365	Berhasil	-111	-4.75

```

14:14:33.668 -> Rs: 97.68
14:14:33.668 -> Rs/Ro: 22.66
14:14:33.707 -> CO2 ppm: 100.00
14:14:33.707 -> Plaintext: CO2:0100ppm
14:14:33.707 -> Encrypted: D8 5E EF 1C FC 4C 40 F3 21 3D EE A1 57 DC EB F
14:14:33.776 -> Data sent
14:14:33.776 ->
14:14:43.794 -> Rs: 19.40
14:14:43.794 -> Rs/Ro: 4.50
14:14:43.794 -> CO2 ppm: 306.86
14:14:43.885 -> Plaintext: CO2:0306ppm
14:14:43.899 -> Encrypted: 81 7B C0 E4 8E 4D 21 76 E6 CD 6C 62 7E 15 E9 7
14:14:43.899 -> Data sent
14:14:43.900 ->
14:14:53.892 -> Rs: 20.45
14:14:53.892 -> Rs/Ro: 4.74
14:14:53.892 -> CO2 ppm: 281.66
14:14:54.043 -> Plaintext: CO2:0281ppm
14:14:54.043 -> Encrypted: 69 1D 9B 7B 92 C2 5D D3 2E D A 2E 8 42 69 70
14:14:54.047 -> Data sent
14:14:54.052 ->

```

Gambar 9. Serial monitor hasil pengujian di jarak 100 meter antara *node sensor* dan *gateway*

### 3.5.2 Jarak 250 Meter (NLOS)

Tabel 4 merupakan hasil pengujian pada jarak 250 meter menunjukkan penurunan performa atau kualitas dari komunikasi data lora dari *node sensor* ke *gateway*. Terlihat sebanyak 90% data gagal di terima atau terjadi *packet loss*, Hal ini mengindikasikan bahwa semakin jauh jarak antara perangkat *node sensor* dan *gateway*, semakin besar pula kemungkinan terjadinya kehilangan paket data, terutama dalam kondisi non-line-of-sight (NLOS). Dari data yang berhasil diterima di *gateway* dan berhasil di dekripsi juga termasuk data yang error. Terlihat dari ketidakcocokan nya nilai HEX yang dikirimkan *node sensor* (Enkripsi) dengan *gateway* (dekripsi) sehingga data dari *node sensor* tidak berhasil dibaca *plaintext* nya.

Pada sisi performa waktu, *delay* antara enkripsi dan dekripsi tidak dapat dihitung dengan akurat untuk sebagian besar data yang hilang. Bahkan pada data yang berhasil, *delay* cenderung tinggi di 643ms, menggambarkan kualitas transmisi menurun seiring dengan bertambahnya jarak. Nilai RSSI yang lebih rendah dan SNR yang juga lebih buruk semakin memperburuk kondisi komunikasi, menunjukkan bahwa sinyal semakin lemah dan lebih terpengaruh oleh gangguan seperti pada Gambar 10. Secara keseluruhan, sistem LoRa pada jarak 250 meter mengalami kesulitan untuk menjaga keandalan transmisi, dengan banyaknya *packet loss* dan penurunan kualitas sinyal yang mengarah pada kegagalan dekripsi. Ini menjadikan indikasi perangkat bahwa melakukan pengujian jarak lebih jauh akan memperburuk hasilnya atau tidak memungkinkan terjadinya komunikasi data sama sekali. Dari 4 titik Lokasi pengujian yang di lakukan, didapatkan rata-rata *delay* proses enkripsi ke dekripsi di rata-rata  $delay = \frac{624+609.22+609+643}{4} = 621.305 \text{ ms}$ .

```

14:30:53.356 -> Rs: 47.80
14:30:53.356 -> Rs/Ro: 11.09
14:30:53.402 -> CO2 ppm: 100.00
14:30:53.402 -> Plaintext: CO2:0100ppm
14:30:53.402 -> Encrypted: D8 5E EF 1C FC 4C 40 F3 21 3D EE A1 57 DC EB F
14:30:53.480 -> Data sent
14:30:53.480 ->
14:31:03.492 -> Rs: 15.32
14:31:03.492 -> Rs/Ro: 3.55
14:31:03.492 -> CO2 ppm: 416.90
14:31:03.599 -> Plaintext: CO2:0416ppm
14:31:03.599 -> Encrypted: 60 52 C5 D5 BF 52 92 27 AC 87 C7 49 A3 7D 18 87
14:31:03.602 -> Data sent
14:31:03.604 ->
14:31:13.568 -> Rs: 19.40
14:31:13.568 -> Rs/Ro: 4.50
14:31:13.568 -> CO2 ppm: 306.86
14:31:13.660 -> Plaintext: CO2:0306ppm
14:31:13.662 -> Encrypted: 81 7B C0 E4 8E 4D 21 76 E6 CD 6C 62 7E 15 E9 7
14:31:13.697 -> Data sent
14:31:13.697 ->

```

```

14:31:14.340 -> JeFm^<h
14:31:14.340 -> Received Encrypted: 81 7B E8 E4 8E 4D 21 76 E6 CD 6C 62 7E 15 B9 7
14:31:14.381 -> Decrypted Plaintext: JeFm^<h
14:31:14.414 -> ' with RSSI -112
14:31:14.461 -> ' with Snr -10.00

```

Gambar 10. Serial monitor hasil pengujian di jarak 250 meter antara *node sensor* dan *gateway*

**Tabel 4. Hasil pengujian di jarak 250 meter antara *node sensor* dan *gateway***

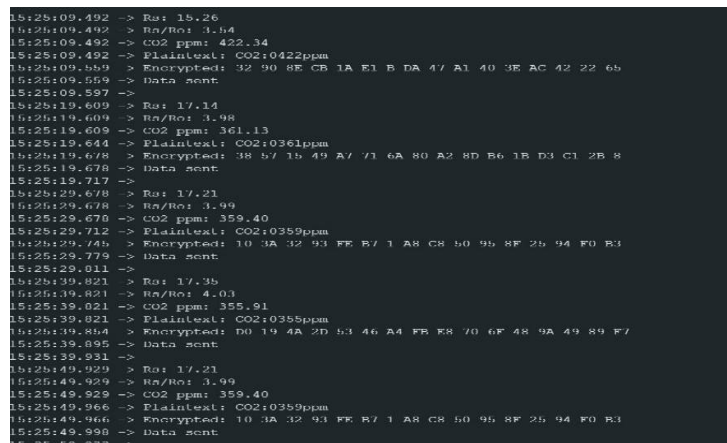
Enkripsi					Dekripsi						
Data ke:	MQ135	HEX	Waktu	Keterangan	Data ke:	MQ135	HEX	Waktu	Keterangan	RSSI	SNR
1	100 PPM	D8 5E EF 1C FC 40 F3 21 3D EE A1 57 DC EB F	2:30:53.480	Berhasil	1	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
2	416 PPM	60 52 C5 D5 BF 52 92 27 AC 87 C7 49 A3 7D 18 87	2:31:03.602	Berhasil	2	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
3	306 PPM	81 7B C0 E4 8E 4D 21 76 E6 CD 6C 62 7E 15 E9 7	2:31:13.697	Berhasil	3	??	81 7B E8 E4 8E 4D21 76 E6 CD 6C 62 7E 15 B9 7	2:31:14.340	Error	-112	-10.00
4	259 PPM	64 E3 45 37 50 C1 7F DD C6 48 B1 69 93 91 5C DD	2:31:23.901	Berhasil	4	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
5	232 PPM	9 4A A3 D5 29 B 36 17 D8 E2 1E CA CC 1A 66 17	2:31:34.902	Berhasil	5	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
6	207 PPM	C5 8D 17 E8 7E FB 2F 55 26 FC 4F E 9D C9 75 53	2:31:44.040	Berhasil	6	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
7	188 PPM	6 62 CC 7A 51 A4 53 A1 64 16 A 91 CB EC AE AA	2:31:54.150	Berhasil	7	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
8	182 PPM	41 EB 4C 25 CA 4E E7 F6 C3 FF 70 E8 75 2F 16 6C	2:32:04.213	Berhasil	8	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
9	180 PPM	AF 3F 86 79 D2 73 61 30 AC89 81 DB 81 D8 F0 50	2:23:34.767	Berhasil	9	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada
10	212 PPM	C BF 5B 12 E5 E5 F6 3A 5A 8D BB 2D 3B 1A CA A	2:23:44.853	Berhasil	10	Tidak ada	Tidak ada	Tidak ada	Paket loss	Tidak ada	Tidak ada

### 3.6.1 Pengujian Kualitas CO2

Berdasarkan Tabel 5 dan Gambar 11, data pengujian sensor MQ135 terhadap gas CO<sub>2</sub>, Nilai resistansi sensor menunjukkan penurunan seiring berjalannya waktu, dari rata-rata 371,2 pada menit ke-5 menjadi 321,4 pada menit ke-30, yang mengindikasikan adanya penurunan konsentrasi gas CO<sub>2</sub>. Meskipun demikian, fluktuasi yang terjadi pada beberapa interval waktu, seperti kenaikan rata-rata pada menit ke-10 (394,6) dan menit ke-20 (377,8), menunjukkan bahwa konsentrasi gas CO<sub>2</sub> tidak selalu stabil. Hal ini bisa dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti perubahan suhu, kelembapan, atau keberadaan gas lain selain CO<sub>2</sub>, yang juga dapat mempengaruhi pembacaan sensor MQ135. Selain itu, karena MQ135 sensitif terhadap berbagai gas lain seperti amonia dan alkohol, hasil pengukuran dapat dipengaruhi oleh polusi udara lainnya.

Tabel 5. Hasil pengujian kualitas udara (CO2)

Data ke	MQ135 Menit 5	MQ135 Menit 10	MQ135 Menit 15	MQ135 Menit 20	MQ135 Menit 25	MQ135 Menit 30
1	422 PPM	386 PPM	362 PPM	438 PPM	328 PPM	343 PPM
2	361 PPM	359 PPM	355 PPM	377 PPM	343 PPM	312 PPM
3	359 PPM	328 PPM	341 PPM	392 PPM	352 PPM	312 PPM
4	355 PPM	350 PPM	397 PPM	345 PPM	371 PPM	314 PPM
5	359 PPM	550 PPM	343 PPM	337 PPM	328 PPM	326 PPM
Rata-rata	371,2 PPM	394,6 PPM	359,6 PPM	377,8 PPM	344,4 PPM	321,4 PPM
Total Rata-rata	361,5 PPM					



Gambar 11. Serial monitor proses sampling di menit ke 5

Berdasarkan penelitian, batasan masalah pada penelitian ini terletak pada sistem yang dibuat tidak mencakup pendeteksian jenis polutan lain selain karbondioksida (CO<sub>2</sub>) dan sistem enkripsi & dekripsi yang digunakan menggunakan *Advance Encryption Standard* (AES 128 bit) mode ECB dengan *delay* maksimal 1 detik setiap proses enkripsi ke dekripsi.

## 4. KESIMPULAN

Dari pengujian implementasi enkripsi data menggunakan AES-128Bit pada perangkat pemantauan kualitas udara (CO<sub>2</sub>) dapat disimpulkan dalam dua poin utama. Pertama, sistem pengamanan komunikasi data pada LoRa berhasil diterapkan dan dapat mengirimkan data dalam jarak efektif 50 hingga 100 meter secara NLOS, meskipun kualitas data menurun pada jarak lebih jauh, dengan paket loss mencapai 70% pada 150 meter dan 90% pada 250 meter. Kedua, pada *serial monitor* yang dapat di tampilkan data kualitas udara CO<sub>2</sub> di area urban menghasilkan rata-rata 361,5 PPM, jauh di bawah batas aman 1000 PPM yang ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan, menunjukkan kualitas udara yang aman

di lingkungan pengujian. Dari pengujian yang telah dilakukan untuk implementasi keamanan enkripsi data menggunakan AES-128Bit mode ECB masih memiliki celah, oleh karena itu diusulkan beberapa saran seperti menggunakan mode lain seperti CBC (*Cipher block chaining*), CFB (*Cipher feedback*), CTR (*Counter mode*), atau OFB (*Output feedback*) agar lebih aman dari *Known-Plaintext Attack*, juga disarankan perangkat di uji secara LOS (*Line of Sight*) untuk meminimalkan *obstacle*.

## REFERENSI

- [1] S. S. S. S. Ana Shohibul Manshur Al Ahmad, "Decomposition Of Air Pollution In Indonesia," *BIO Web of Conferences*, vol. 155, no. 10th-ICCC – 10th International Conference on Climate Change "Climate Change, Plant and Health", 2025.
- [2] T. S. ., S. Fadhil Aulia Rahman, "SISTEM PENGIRIMAN DATA ANTARA *NODE SENSOR* DAN *GATEWAY* MENGGUNAKAN MODUL RADIO LORA PADA PROTOTIPE SMART GARDEN BERBASIS MIKROKONTROLER," *DIGITAL LIBRARY POLITEKNIK NEGERI BANDUNG*, 2021.
- [3] M. N. Alenezi, H. Alabdulrazzaq, H. M. Alhatlani and F. A. Alobaid, " Onthe Performance of AES Algorithm Variants," *International Journal of Information and Computer Security*, 2024.
- [4] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan, "INDEKS STANDAR PENCEMAR UDARA (ISPU) SEBAGAI INFORMASI MUTU UDARA AMBIEN DI INDONESIA," September 2020. [Online]. Available: <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>. [Accessed 25 Mei 2025].
- [5] T. S. Bagus Amar Solihin, "SISTEM MONITORING KADAR KARBONDIOKSIDA," Koleksi Tugas Akhir Perpustakaan Politeknik Negeri Bandung, 2021.
- [6] Menteri Kesehatan, "Peraturan Pelaksanaan Peraturan Pemerintah Nomor 66 Tahun 2014 tentang Kesehatan Lingkungan," 12 January 2023. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Details/245563/permenkes-no-2-tahun-2023>. [Accessed 3 August 2025].
- [7] lora-alliance, "What is LoRaWAN," lora-alliance, [Online]. Available: <https://lora-alliance.org/about-lorawan/>. [Accessed Mei 2025].
- [8] M. D. P. F. W. A. P. E. W. K. S. Dara Aulia Feryando, "Uji Komparatif Lora 433 MHz dan 915 MHz Sebagai Media Pengirim Data Pemantauan Box ZP," *Jurnal Perkeretaapian Indonesia (Indonesian Railway Journal)*, vol. 9, 2025.
- [9] H. W. F. N. d. R. M. Michael Paul Smart Simbolon, "Penerapan Komunikasi Nirkabel LoRa pada Sistem Pencatat Kehadiran Portabel," *JOURNAL OF APPLIED ELECTRICAL ENGINEERING Politeknik Negeri Batam*, vol. 5, 2021.
- [10] A. K. K. A. Dian Astika Rini, "IMPLEMENTASI SERANGAN AKTIF PADA ALGORITME SPECK 128/128BIT," *Jurnal IKRAITH-INFORMATIKA*, vol. 6, pp. 91-97, 2022.
- [11] V. S. A. A. W. Putri Apriyanti Windya, "Penerapan Keamanan Komunikasi pada Jaringan LoRa(Long Range) Menggunakan Algoritma *Advanced Encryption Standard*(AES) dan Message Authentication Code(MAC)," *Jurnal Tugas Akhir Fakultas Informatika*, Vols. Vol.8, No.2 , p. 3406, 2021.
- [12] M. S. N. Abdul Rahman, "KEAMANAN WIRELESS SENSOR NETWORKPENDETEKSI KEBAKARAN HUTAN MENGGUNAKAN ALGORITMA AES PADA MEDIA KOMUNIKASI LORA," *Seminar Nasional Matematika, Geometri, Statistika, dan KomputasiSeNa-MaGeStiK 2022*, 2022.
- [13] A.K.N. Carolin, R. Ardiansyah, dan Koesmarijanto, "Implementation of Security in LoRaWAN Network Using Speck Algorithm and Message Authentication Code", *Journal of Telecommunication Network*, Vol. 14, No. 4, 2024.
- [14] S. S. S. Putri Alifia Rizky, "Implementasi Algoritma KriptografiAES CBC Untuk Keamanan Komunikasi Data Pada Hardware," *JURNAL RESISTOR*, vol. 3 No.1, 2020.
- [15] R. A. Naufal, "Implementasi Algoritma Brute Force untuk Mengeksploitasi Kelemahan Keamanan pada Metode Enkripsi AES-ECB," *Makalah IF2211 Strategi Algoritma*, 2025.
- [16] P. E. W. H. C. A. A. G. B. P. Ida Ayu Widyantari Arnawa, "PERBANDINGAN WAKTU ENKRIPSI ANTARA METODE ELECTRONIC CODEBOOK (ECB) DAN *CIPHER BLOCK CHAINING* (CBC) DALAM ALGORITMA BLOWFISH," *Jurnal Ilmu Komputer Indonesia (JIKI)Jurnal Ilmu Komputer Indonesia (JIKI)*, vol. 5, 2020.
- [17] I. IRSYAD, "Analisis Perbandingan Algoritme Aes Dengan Mode Operasi Ecb Dan Cbc Dan Pendugaan Waktu Menggunakan Regresi Linear," *Undergraduate Thesis IPB*, 2016.
- [18] J. M. L. S. A. P. F. I. R. R. Y. Ahmad Supriyogo, "PENGARUH KONDISI *LINE OF SIGHT* DAN NON *LINE OF SIGHT* TERHADAP PENGIRIMAN DATA MENGGUNAKAN TEKNOLOGI LOW POWER WIDE AREA NETWORK," *Jurnal Teknik Elektro Universitas Tanjungpura*, Vols. Volume 10, No.1, 2022.
- [19] W. S. Andrian Maulana, "ANALISIS KUALITAS SIGNAL WIRELESS MENGGUNAKAN RECEIVED SIGNAL STRENGTH INDICATOR (RSSI) DI SMP NEGERI 10 SALATIGA," *Jurnal Penerapan Teknologi Informasi dan Komunikasi* , vol. 03, 2024.

- [20] E. S. P. K. A. Al Ghitha Aulia Rahman, "Implementasi Mekanisme End-To-End Security Menggunakan Algoritma AES dan HMAC pada Pengiriman Data Sensor ECG Berbasis LoRa," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, Vols. Vol. 4, No. 1, pp. 166-173, 2020.
- [21] D. M. D. N. A. Kurniandi, "Implementasi Algoritme AES-256 pada Sistem Pemantauan Getaran Gempa Bumi Menggunakan Perangkat LoRa," *Jurnal Info Kripto*, vol. 17, 2023.
- [22] A. K. R. P. Muhammad Fadhli Iman, "IMPLEMENTASI ALGORITME CLEFIA 128-BIT UNTUK PENGAMANAN," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, vol. 9, pp. 1647-1654 , 2019.

