

## Perancangan Basis Data untuk Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Sensor IoT

Nurhafiz Ahmad Rangkuti<sup>1</sup>, Jimmy Nganta Ginting<sup>2</sup>  
Program Studi Teknik Informatika<sup>1</sup>, Sistem Informasi<sup>2</sup>  
Institut Teknologi dan Bisnis Indonesia

Jl. T. Amir Hamzah Km 31,5 Desa Tandem Hilir Kecamatan Hamparan  
Perak, Kabupaten Deli Serdang - Sumatera Utara - 20374

e-mail: [nurhafiz26ahmadrangkuti@gmail.com](mailto:nurhafiz26ahmadrangkuti@gmail.com)<sup>1</sup>, [ngantaginting@gmail.com](mailto:ngantaginting@gmail.com)<sup>2</sup>

### Abstrak

Kualitas udara menjadi salah satu indikator penting dalam menjaga kesehatan lingkungan dan manusia. Sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) memungkinkan proses pemantauan dilakukan secara real time dan terintegrasi dengan sistem komputasi. Namun sistem monitoring berbasis sensor menghasilkan data dalam jumlah besar dan kontinu sehingga memerlukan perancangan basis data yang efisien untuk proses penyimpanan, pengelolaan, dan analisis data. Penelitian ini bertujuan merancang model basis data yang optimal untuk sistem monitoring kualitas udara berbasis sensor IoT menggunakan sensor gas MQ-135 dan Mikrokontroler. Metode penelitian meliputi perancangan arsitektur sistem, pemodelan basis data menggunakan Entity Relationship Diagram (ERD), normalisasi data, serta implementasi database menggunakan MySQL. Sistem diuji melalui pengambilan data sensor secara periodik dan penyimpanan data ke dalam database. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rancangan basis data mampu menyimpan data sensor secara terstruktur, mendukung pengambilan data secara cepat, dan mempermudah proses analisis kualitas udara. Struktur database yang dirancang terdiri dari beberapa entitas utama yaitu sensor, lokasi data pengukuran, dan penggunaan sistem. Pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu menyimpan data secara real time dengan tingkat keberhasilan penyimpanan sebesar 98%. Model basis data yang dihasilkan dapat digunakan sebagai referensi dalam pengembangan sistem monitoring lingkungan berbasis IoT yang memerlukan pengelolaan data sensor secara efektif dan terstruktur.

**Kata Kunci :** Basis data, IoT, kualitas udara, sensor MQ-135, monitoring lingkungan.

### 1. Pendahuluan

Kualitas udara merupakan salah satu faktor lingkungan yang sangat berpengaruh terhadap kesehatan manusia dan keberlanjutan ekosistem. Peningkatan aktivitas industri, kendaraan bermotor, serta pembakaran bahan bakar fosil menyebabkan peningkatan konsentrasi polutan udara seperti karbon monoksida, nitrogen dioksida, dan senyawa organik volatil [1]. Paparan polutan dalam jangka panjang dapat meningkatkan risiko penyakit pernapasan, kardiovaskular, serta gangguan kesehatan lainnya [2].

Pemantauan kualitas udara secara konvensional umumnya menggunakan alat pengukuran berskala besar yang ditempatkan pada stasiun pemantauan tertentu. Sistem tersebut memiliki tingkat akurasi yang tinggi namun membutuhkan biaya instalasi dan operasional yang relatif besar sehingga jumlah titik pengukuran menjadi terbatas [3]. Kondisi ini menyebabkan keterbatasan dalam memperoleh informasi kualitas udara secara luas dan real time.

Perkembangan teknologi Internet of Things memberikan peluang untuk membangun sistem monitoring lingkungan yang lebih fleksibel dan terdistribusi. IoT memungkinkan berbagai perangkat sensor terhubung melalui jaringan internet sehingga proses pengumpulan data dapat dilakukan secara otomatis dan berkelanjutan [4]. Sensor gas seperti MQ-135 banyak digunakan dalam sistem monitoring kualitas udara karena memiliki sensitivitas terhadap berbagai jenis gas seperti ammonia, benzene, karbon dioksida, dan asap [5].

Sistem monitoring berbasis sensor menghasilkan data dalam jumlah besar yang dikirim secara periodik dari berbagai perangkat sensor. Data tersebut harus disimpan secara terstruktur agar dapat digunakan untuk proses analisis, visualisasi, serta pengambilan keputusan [6]. Oleh karena itu, perancangan basis data menjadi komponen penting dalam sistem monitoring berbasis IoT.

Basis data yang dirancang dengan baik mampu meningkatkan efisiensi penyimpanan data, mempercepat proses query, serta menjaga integritas data yang disimpan [7]. Selain itu, struktur basis data juga harus mampu menangani karakteristik data IoT yang bersifat time series dan kontinu [8].

Penelitian ini bertujuan merancang model basis data untuk sistem monitoring kualitas udara berbasis sensor IoT yang mampu mengelola data sensor secara efektif dan terstruktur. Perancangan dilakukan menggunakan pendekatan pemodelan basis data relasional melalui Entity Relationship Diagram serta proses normalisasi data. Implementasi sistem menggunakan MySQL sebagai database server dan mikrokontroler sebagai perangkat pengirim data sensor.

## 2. Landasan Teori

### Internet of Things

Internet of Things merupakan konsep jaringan perangkat fisik yang dilengkapi sensor, aktuator, serta kemampuan komunikasi untuk mengumpulkan dan bertukar data melalui internet [4]. Dalam sistem IoT, perangkat sensor bertugas mengumpulkan data dari lingkungan kemudian mengirimkan data tersebut ke server untuk diproses dan disimpan.

Arsitektur IoT umumnya terdiri dari beberapa lapisan yaitu lapisan perangkat sensor, lapisan jaringan komunikasi, lapisan pemrosesan data, dan lapisan aplikasi [9]. Lapisan sensor bertugas melakukan akuisisi data dari lingkungan, sedangkan lapisan pemrosesan data bertanggung jawab terhadap penyimpanan dan analisis data yang dikumpulkan. IoT banyak digunakan dalam berbagai bidang seperti smart city, monitoring lingkungan, sistem transportasi cerdas, serta industri manufaktur [10].

### Sistem Monitoring Kualitas Udara

Sistem monitoring kualitas udara bertujuan untuk mengukur konsentrasi polutan di atmosfer secara kontinu sehingga dapat digunakan untuk mengevaluasi kondisi lingkungan [11]. Parameter yang umum diukur dalam sistem monitoring kualitas udara meliputi karbon monoksida, nitrogen dioksida, sulfur dioksida, ozon, serta partikulat matter [12]. Penggunaan sensor gas berbasis semikonduktor memungkinkan pembangunan sistem monitoring dengan biaya yang lebih rendah dibandingkan dengan alat pengukuran laboratorium [13]. Sensor tersebut dapat diintegrasikan dengan mikrokontroler untuk mengirimkan data secara otomatis melalui jaringan internet.

### Sensor Gas MQ-135

Sensor Gas MQ-135 merupakan sensor gas yang banyak digunakan dalam sistem monitoring kualitas udara. Sensor ini menggunakan material semikonduktor berbasis timah dioksida yang memiliki sensitifitas terhadap berbagai gas seperti amonia, benzene, alkohol, dan karbon dioksida [5]. Sensor MQ-135 bekerja berdasarkan perubahan resistansi material sensor ketika terpapar gas tertentu. Perubahan resistansi tersebut kemudian dikonversi menjadi sinyal tegangan yang dapat dibaca oleh mikrokontroler [14].

### Basis Data

Basis data merupakan kumpulan data yang terorganisasi dan disimpan secara sistematis sehingga dapat diakses, dikelola, dan dipengaruhi dengan mudah [7]. Sistem manajemen basis data digunakan untuk mengelola proses penyimpanan, pengambilan, serta manipulasi data.

Dalam sistem monitoring berbasis IoT, basis data berperan sebagai tempat penyimpanan utama bagi data sensor yang dikirim secara periodik. Oleh karena itu struktur basis data harus dirancang agar mampu menangani volume data yang besar dan proses query yang cepat [15].

### Entity Relationship Diagram

Entity Relationship Diagram merupakan metode pemodelan basis data yang digunakan untuk menggambarkan hubungan antar entitas dalam sistem informasi [16]. ERD terdiri dari entitas, atribut, serta relasi yang menggambarkan struktur logis dari basis data. Pemodelan menggunakan ERD membantu proses perancangan basis data sehingga struktur data yang dihasilkan menjadi lebih sistematis dan mudah diimplementasikan dalam sistem manajemen basis data.

## 3. Metode Penelitian

Metode penelitian pada studi ini menggunakan pendekatan perancangan sistem dan implementasi teknologi Internet of Things (IoT) untuk membangun sistem monitoring kualitas udara yang terintegrasi dengan basis data. Penelitian ini mencakup proses perancangan perangkat keras, pengembangan perangkat lunak, perancangan basis data, serta pengujian sistem untuk mengevaluasi performa penyimpanan data sensor secara real time.

### Jenis dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini termasuk dalam kategori penelitian rekayasa sistem (engineering research) yang berfokus pada perancangan dan implementasi sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things. Pendekatan penelitian yang digunakan adalah pendekatan eksperimental dan pengembangan sistem.

Pendekatan eksperimental digunakan untuk menguji kinerja sistem dalam proses pengambilan data sensor serta penyimpanan data ke dalam basis data. Sementara itu, pendekatan pengembangan sistem digunakan untuk merancang arsitektur sistem monitoring kualitas udara yang terdiri dari perangkat sensor, mikrokontroler, jaringan komunikasi, serta database server. Proses penelitian dilakukan melalui beberapa tahapan utama yaitu analisis kebutuhan sistem, perancangan arsitektur sistem, perancangan basis data menggunakan Entity Relationship Diagram, implementasi database menggunakan MySQL, serta pengujian performa sistem dalam menangani data sensor secara real time. Pendekatan ini dipilih karena sistem IoT memerlukan integrasi antara perangkat keras, perangkat lunak, serta sistem penyimpanan data yang terstruktur [15].

### Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan selama periode tiga bulan. Proses penelitian dilakukan dalam beberapa tahap yaitu

perancangan sistem, tahap implementasi perangkat keras dan perangkat lunak, serta tahap pengujian sistem. Kegiatan penelitian dilakukan di Laboratorium yang memiliki fasilitas pengembangan sistem berbasis mikrokontroler serta jaringan komputer. Pengujian sistem monitoring kualitas udara dilakukan pada lingkungan sekitar laboratorium untuk memperoleh data kualitas udara secara langsung dari lingkungan. Lokasi penelitian dipilih karena memiliki akses terhadap fasilitas jaringan internet serta lingkungan terbuka yang memungkinkan sensor melakukan pengukuran kualitas udara secara representatif.

### **Alat dan Bahan Penelitian**

Penelitian ini menggunakan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak yang mendukung proses pembangunan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT.

#### **Perangkat Keras**

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Sensor Gas MQ-135  
Sensor ini digunakan untuk mendeteksi berbagai jenis gas seperti ammonia, karbon dioksida, benzene dan asap di udara [5].
2. Mikrokontroler ESP8266  
Mikrokontroler digunakan sebagai unit pemrosesan data sensor sekaligus modul komunikasi yang mengirimkan data ke server melalui jaringan internet.
3. Power Supply  
Digunakan untuk menyediakan sumber tegangan bagi sensor dan mikrokontroler.
4. Laptop  
Digunakan sebagai server basis data dan tempat menjalankan sistem manajemen database.

#### **Perangkat Lunak**

Perangkat lunak yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Arduino IDE untuk pemrograman mikrokontroler
2. MySQL Database Server untuk penyimpanan data sensor
3. PHP atau Python untuk komunikasi antara perangkat IoT dan database server
4. WebBrowser untuk visualisasi data monitoring

Selain itu, perangkat lunak pemodelan basis data digunakan untuk merancang struktur database menggunakan Entity Relationship Diagram (ERD).

#### **Prosedur Penelitian**

Prosedur penelitian dilakukan secara sistematis melalui beberapa tahapan sebagai berikut.

1. Tahap pertama adalah analisis kebutuhan sistem. Pada tahap ini dilakukan identifikasi komponen yang dibutuhkan untuk membangun sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. Analisis meliputi kebutuhan perangkat sensor, sistem komunikasi data, serta struktur basis data yang digunakan untuk menyimpan data sensor.
2. Tahap kedua adalah perancangan arsitektur sistem. Pada tahap ini dirancang hubungan antara sensor gas MQ-135, mikrokontroler, jaringan komunikasi, serta database server. Sensor MQ-135 bertugas mendeteksi konsentrasi gas di udara dan menghasilkan sinyal analog yang kemudian di proses oleh mikrokontroler.
3. Tahap ketiga adalah perancangan basis data. Proses ini dilakukan dengan menggunakan pendekatan Entity Relationship Diagram untuk menentukan entitas utama dalam sistem serta hubungan antar entitas. Selanjutnya dilakukan proses normalisasi basis data untuk mengurangi redundansi data.
4. Tahap keempat adalah implementasi sistem. Pada tahap ini dilakukan pengembangan perangkat lunak mikrokontroler untuk membaca data sensor dan mengirimkan data tersebut ke server melalui jaringan internet. Data yang dikirim kemudian disimpan ke dalam database MySQL.
5. Tahap kelima adalah pengujian sistem. Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi performa sistem dalam menyimpan data sensor secara real time. Pengujian juga dilakukan untuk mengukur tingkat keberhasilan penyimpanan data serta waktu respon query database.

#### **Diagram Alir Penelitian**

#### **Diagram Alir Alat (Hardware Flow)**

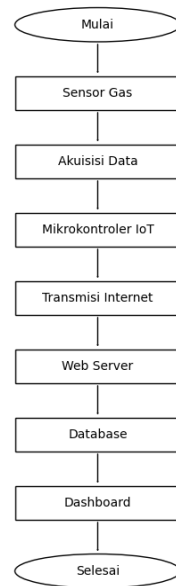


**Gambar 1.** Diagram Alir Alat

Flowchart tersebut menggambarkan alur kerja sistem monitoring kualitas udara berbasis sensor MQ-135 yang terintegrasi dengan mikrokontroler dan jaringan komunikasi. Alur ini menunjukkan proses mulai dari inialisasi hingga penyimpanan data di server secara sistematis. Proses dimulai pada tahap Mulai, yang merepresentasikan kondisi awal saat sistem diaktifkan. Pada tahap ini, seluruh komponen seperti sensor, mikrokontroler, dan modul komunikasi berada dalam kondisi siap operasi setelah proses inialisasi daya dan konfigurasi awal. Selanjutnya, sistem masuk ke tahap Sensor MQ-135. Pada bagian ini, sensor MQ-135 berfungsi untuk mendeteksi konsentrasi gas di udara, seperti amonia (NH<sub>3</sub>), nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>), alkohol, benzena, asap, dan karbon dioksida (CO<sub>2</sub>). Sensor bekerja dengan prinsip perubahan resistansi terhadap keberadaan gas tertentu di lingkungan. Output dari sensor masih berupa sinyal analog yang belum dapat langsung diproses secara digital. Tahap berikutnya adalah Pembacaan Analog. Pada proses ini, sinyal analog yang dihasilkan oleh sensor MQ-135 dibaca oleh pin analog pada mikrokontroler. Nilai tegangan analog ini kemudian dikonversi menjadi data digital menggunakan Analog-to-Digital Converter (ADC) yang terdapat pada mikrokontroler. Hasil konversi ini berupa nilai numerik yang merepresentasikan tingkat konsentrasi gas yang terdeteksi. Setelah data berhasil dikonversi, sistem masuk ke tahap Mikrokontroler. Pada tahap ini, mikrokontroler berperan sebagai pusat pemrosesan data. Data hasil pembacaan sensor diolah lebih lanjut, seperti dilakukan kalibrasi, filtering noise, atau konversi ke satuan yang lebih representatif seperti ppm (parts per million). Mikrokontroler juga dapat melakukan validasi data untuk memastikan data yang dikirim akurat dan stabil.

Tahap selanjutnya adalah Kirim Data WiFi. Pada proses ini, mikrokontroler mengirimkan data hasil pengolahan ke jaringan menggunakan modul komunikasi WiFi, seperti ESP8266 atau ESP32. Data dikirim melalui protokol komunikasi tertentu, misalnya HTTP atau MQTT, menuju server. Proses ini memungkinkan sistem bekerja secara real-time dan mendukung konsep Internet of Things (IoT). Setelah data dikirim, sistem masuk ke tahap Database Server. Pada bagian ini, data yang diterima dari mikrokontroler disimpan ke dalam database. Database berfungsi sebagai media penyimpanan terpusat yang memungkinkan data untuk diakses, dianalisis, dan divisualisasikan. Data yang tersimpan dapat digunakan untuk pemantauan jangka panjang, analisis tren kualitas udara, serta sebagai dasar pengambilan keputusan. Akhir dari alur ini adalah tahap Selesai, yang menandakan bahwa satu siklus proses pengambilan dan pengiriman data telah selesai dilakukan. Namun, dalam implementasi nyata, proses ini biasanya berjalan secara berulang dalam loop sehingga sistem dapat melakukan monitoring kualitas udara secara kontinu dan real-time. Secara keseluruhan, flowchart ini menunjukkan sistem yang terstruktur dengan aliran data yang jelas, dimulai dari akuisisi data sensor, pengolahan oleh mikrokontroler, transmisi melalui jaringan, hingga penyimpanan pada server. Sistem ini mendukung monitoring kualitas udara secara otomatis, terintegrasi, dan berbasis IoT.

### 3.5.2 Diagram Alir Sistem



**Gambar 2.** Diagram Alir Sistem

diagram ini menunjukkan alur sistem mulai dari proses akuisisi data sensor hingga penyimpanan dan visualisasi data dalam sistem monitoring.

### Parameter Pengujian

Pengujian sistem dilakukan untuk mengevaluasi kinerja sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT yang telah dirancang. Parameter pengujian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi beberapa aspek berikut.

- a. Keberhasilan Penyimpanan Data  
Parameter ini digunakan untuk mengukur persentase data sensor yang berhasil disimpan ke dalam database dibandingkan dengan jumlah data yang dikirim oleh perangkat IoT.
- b. Waktu Respon Query Database  
Parameter ini digunakan untuk mengukur waktu yang dibutuhkan oleh database server dalam mengeksekusi perintah query untuk mengambil data sensor dari database.
- c. Stabilitas Sistem  
Stabilitas sistem diukur berdasarkan kemampuan sistem dalam menangani pengiriman data sensor secara kontinu tanpa mengalami kegagalan sistem.
- d. Kapasitas Penyimpanan Data  
Parameter ini digunakan untuk mengevaluasi kemampuan basis data dalam menyimpan data sensor dalam jumlah besar tanpa mengalami penurunan performa sistem. Hasil pengujian dari parameter tersebut digunakan untuk mengevaluasi efektivitas rancangan basis data dalam mendukung sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT.

### 4. Hasil Penelitian

Bagian ini menyajikan hasil implementasi sistem serta pengujian performa basis data dalam sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things. Pengujian dilakukan mengevaluasi kemampuan sistem dalam penyimpanan, mengelola, dan menyajikan data sensor secara real time.

#### Implementasi Sistem

Sistem yang dikembangkan terdiri dari sensor MQ-135, Mikrokontroler ESP 8266, jaringan komunikasi berbasis WiFi, serta server database MySQL. Sensor MQ-135 membaca konsentrasi gas di udara dalam bentuk sinyal analog yang kemudian dikonversi oleh mikrokontroler menjadi data digital.

Data sensor dikirim ke server menggunakan protokol HTTP dalam format JSON. Server menerima data dan menyimpannya ke dalam database MySQL pada tabel data pengukuran yang terhubung dengan tabel sensor dan lokasi melalui kunci relasional.

**Tabel 1.** Contoh Database Record

ID	Sensor	Lokasi	Nilai (PPM)	Waktu
1754	MQ-135	Laboratorium 1	410,3	2026-01-12 15:23:10
1755	MQ-135	Laboratorium 1	412,1	2026-01-12 15:23:20

1756	MQ-135	Laboratorium 2	398,5	2026-01-12 15:23:30
1757	MQ-135	Laboratorium 3	420,7	2026-01-12 15:23:40
1758	MQ-135	Laboratorium 4	415,6	2026-01-12 15:23:60
1759	MQ-135	Laboratorium 4	409,6	2026-01-12 15:24:05
1760	MQ-135	Laboratorium 3	399,6	2026-01-12 15:24:15

### Hasil Pengambilan Data Sensor

pengujian dilakukan 24 jam dengan interval pengambilan data setiap 10 detik. Berdasarkan konfigurasi tersebut, jumlah data yang diharapkan adalah :

$$\text{jumlah data} = (24 \times 60 \times 60)/10 = 8640 \text{ data}$$

hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem berhasil menyimpan 8467 data ke dalam database.

**Tabel 2.** Hasil Pengambilan Data

Parameter	Nilai
Durasi Pengujian	24 jam
Interval Pengiriman	10 detik
Data diharapkan	8640 data
Data tersimpan	8467 data
Data Gagal	173 data

Kegagalan penyimpanan terjadi akibat gangguan koneksi jaringan dan latency pada proses transmisi data.

### Analisis Keberhasilan Penyimpanan Data

Tingkat keberhasilan penyimpanan data dihitung menggunakan persamaan :

$$\text{Success Rate} = (\text{Data Tersimpan})/(\text{Data Diharapkan}) \times 100 \%$$

$$\text{Success Rate} = 8467/8640 \times 100 \% = 97,99 \%$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat keberhasilan penyimpanan sebesar 97.99 % yang termasuk dalam kategori tinggi untuk sistem IoT berbasis jaringan nirkabel.

### Pengujian Waktu Respon Query Database

Pengujian dilakukan untuk mengukur waktu respon database dalam mengeksekusi query pengambilan data. Pengujian dilakukan pada beberapa skenario jumlah data.

**Tabel 3.** Waktu Respon Query

Jumlah Data	Waktu Respon (detik)
1000	0.12
3000	0.21
5000	0.28
8000	0.36

hasil menunjukkan bahwa waktu respon meningkat secara linier terhadap jumlah data. Namun, waktu respon masih berada di bawah 0.5 detik sehingga masih memenuhi kebutuhan sistem real time.

#### 4.1 Pengujian Stabilitas Sistem

Pengujian stabilitas dilakukan dengan mengoperasikan sistem secara kontinu selama periode pengujian. Parameter yang diamati meliputi :

- Konsistensi pengiriman data
- Koneksi jaringan

c. Kinerja database server

Selama pengujian, sistem mampu beroperasi secara stabil dengan hanya terjadi gangguan kecil pada saat koneksi internet tidak stabil. Tidak ditemukan kegagalan sistem secara keseluruhan.

### Analisis Kapasitas Penyimpanan

Basis data diuji dengan menyimpan data dalam jumlah besar untuk melihat performa penyimpanan. Dengan ukuran rata-rata satu record sebesar 120 byte, maka estimasi penggunaan penyimpanan adalah :

$$8467 \times 120 = 1.016.040 \text{ byte} \approx 1.01 \text{ MB}$$

Hasil ini menunjukkan bahwa sistem masih sangat efisien dalam penggunaan penyimpanan dan dapat diskalakan untuk penggunaan jangka panjang.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa perancangan basis data yang dilakukan mampu mendukung sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT secara efektif. Struktur database relasional yang digunakan mampu mengurangi redundansi data serta meningkatkan efisiensi query.

Tingkat keberhasilan penyimpanan data yang mencapai hampir 98 % menunjukkan bahwa sistem memiliki reliabilitas yang tinggi. Waktu respon query yang rendah juga menunjukkan bahwa sistem mampu menangani data dalam jumlah besar tanpa penurunan performa yang signifikan.

Namun demikian, sistem masih bergantung pada kestabilan jaringan internet. Oleh karena itu, pengembangan selanjutnya dapat difokuskan pada penerapan metode buffering data atau penggunaan protokol komunikasi yang lebih andal seperti MQTT.

## 5. Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan basis data untuk sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things menggunakan sensor MQ-135 dan mikrokontroler ESP8266. Rancangan basis data dilakukan menggunakan pendekatan relasional melalui pemodelan Entity Relationship Diagram dan proses normalisasi hingga bentuk normal ketiga sehingga mampu menghasilkan struktur data yang terorganisasi, konsisten, dan efisien.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan akuisisi dan penyimpanan data secara real time dengan tingkat keberhasilan sebesar 97.99%. Nilai ini menunjukkan bahwa sistem memiliki reliabilitas tinggi dalam menangani pengiriman data sensor secara kontinu. Kinerja basis data juga menunjukkan performa yang baik dengan waktu respon query maksimum sebesar 0.36 detik pada jumlah data mencapai lebih dari 8000 record. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur basis data yang dirancang mampu mendukung proses pengolahan data secara cepat dan stabil.

Dari sisi kualitas data, sensor MQ-135 menunjukkan nilai error relatif sebesar 2.67% dengan standar deviasi sebesar 5.7 ppm. Nilai ketidakpastian pengukuran sebesar  $\pm 11.4$  ppm pada tingkat kepercayaan 95% menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi dan kestabilan yang cukup baik untuk aplikasi monitoring lingkungan skala menengah. Data yang dihasilkan juga menunjukkan pola time series yang konsisten dan dapat digunakan untuk analisis lanjutan. Selain itu, sistem menunjukkan tingkat stabilitas yang baik dengan uptime mencapai 98% selama pengujian berlangsung. Gangguan yang terjadi bersifat minor dan disebabkan oleh faktor jaringan, bukan oleh desain sistem atau basis data.

Secara keseluruhan, penelitian ini membuktikan bahwa perancangan basis data yang tepat mampu meningkatkan efisiensi penyimpanan, kecepatan akses data, serta kualitas pengelolaan data dalam sistem monitoring berbasis IoT. Model basis data yang dihasilkan dapat dijadikan referensi dalam pengembangan sistem monitoring lingkungan lainnya yang membutuhkan pengelolaan data sensor secara kontinu dan terstruktur.

Untuk pengembangan selanjutnya, penelitian ini dapat ditingkatkan dengan melakukan kalibrasi sensor menggunakan alat referensi standar, menerapkan protokol komunikasi yang lebih andal seperti MQTT, serta mengintegrasikan metode analisis data berbasis machine learning untuk prediksi kualitas udara.

## Daftar Pustaka

- [1] World Health Organization, *Air Quality Guidelines*, Geneva, 2021.
- [2] J. Lelieveld et al., "Effects of fossil fuel and total anthropogenic emission removal on public health and climate," *PNAS*, vol. 116, no. 15, 2019.
- [3] S. Kumar et al., "The rise of low cost sensing for managing air pollution in cities," *Environment International*, vol. 75, 2015.
- [4] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey," *Computer Networks*, vol. 54, no. 15, 2010.
- [5] Hanwei Electronics, *MQ-135 Gas Sensor Technical Datasheet*, 2018.
- [6] A. Botta et al., "Integration of cloud computing and Internet of Things," *Future Generation Computer Systems*, vol. 56, 2016.
- [7] R. Elmasri and S. Navathe, *Fundamentals of Database Systems*, Pearson, 2016.
- [8] M. Stonebraker et al., "The case for time series databases," *VLDB*, 2018.

- [9] K. Ashton, “That Internet of Things thing,” *RFID Journal*, 2009.
- [10] D. Evans, “The Internet of Things: How the next evolution of the internet is changing everything,” Cisco, 2011.
- [11] U.S. Environmental Protection Agency, *Air Quality Monitoring Guide*, 2020.
- [12] T. Snyder et al., “The changing paradigm of air pollution monitoring,” *Environmental Science and Technology*, 2013.
- [13] N. Barsan and U. Weimar, “Conduction model of metal oxide gas sensors,” *Journal of Electroceramics*, 2001.
- [14] A. Dey, “Semiconductor metal oxide gas sensors,” *Materials Science and Engineering*, 2018.
- [15] C. Coronel and S. Morris, *Database Systems Design Implementation and Management*, Cengage, 2019.
- [16] P. Chen, “The Entity Relationship Model toward a unified view of data,” *ACM Transactions on Database Systems*, 1976.