

## KLASIFIKASI KUALITAS UDARA BERBASIS IOT DAN ALGORITMA K-NEAREST NEIGHBORS (KNN)

Ahmad Dzaky<sup>1</sup>, Rofilde Hasudungan<sup>2</sup>, Taghfirul Azhima Yoga Siswa<sup>3</sup>  
[2111102441024@umkt.ac.id](mailto:2111102441024@umkt.ac.id)<sup>1</sup>, [rh219@umkt.ac.id](mailto:rh219@umkt.ac.id)<sup>2</sup>, [tay758@umkt.ac.id](mailto:tay758@umkt.ac.id)<sup>3</sup>  
Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem pemantauan kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT) yang dipadukan dengan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) untuk mengklasifikasikan kualitas udara di lingkungan kampus Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur (UMKT). Sistem menggunakan sensor MQ-7 untuk mendeteksi karbon monoksida (CO), MQ-135 untuk mendeteksi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), serta GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi partikel debu PM10 dan PM2.5. Data sensor dikirimkan secara real-time ke platform Blynk dan disimpan di Google Sheet untuk kemudian diproses menggunakan algoritma KNN. Data pengamatan dikumpulkan dari dua lokasi, yaitu parkir Gedung A dan kantin Gedung G. Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma KNN dengan nilai  $k=3$  dapat mengklasifikasikan kualitas udara dengan akurasi sebesar 95%, precision rata-rata 94%, recall 89%, dan f1-score 91%. Dari 1.009 data yang dikumpulkan di parkir, mayoritas dikategorikan sebagai “Sedang”, sedangkan di kantin sebagian besar data juga berada dalam kategori “Sedang” meskipun terdapat sejumlah data yang termasuk kategori “Baik”. Kesimpulannya, penerapan IoT yang terintegrasi dengan algoritma KNN terbukti mampu memantau dan memprediksi kualitas udara secara real-time dengan tingkat akurasi yang cukup baik. Sistem ini diharapkan dapat membantu pihak kampus dalam memantau kondisi udara dan menjadi acuan pengambilan kebijakan untuk menciptakan lingkungan yang lebih sehat.

**Kata Kunci:** Kualitas Udara, Internet Of Things (Iot), K-Nearest Neighbors (Knn), Sensor Gas, Klasifikasi.

### Abstract

*This study aims to design and develop an air quality monitoring system based on the Internet of Things (IoT) integrated with the K-Nearest Neighbors (KNN) algorithm to classify air quality within the campus environment of Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur (UMKT). The system utilizes an MQ-7 sensor to detect carbon monoxide (CO), an MQ-135 sensor to detect sulfur dioxide (SO<sub>2</sub>), and a GP2Y1010AU0F sensor to detect particulate matter PM10 and PM2.5. Sensor data are transmitted in real time to the Blynk platform and stored in Google Sheets, then processed using the KNN algorithm. Observation data were collected from two locations: the parking area of Building A and the canteen of Building G. The test results show that the KNN algorithm with  $k=3$  can classify air quality with an accuracy of 95%, an average precision of 94%, recall of 89%, and an f1-score of 91%. From 1,009 data points collected in the parking area, the majority were classified as "Moderate," while in the canteen most data were also categorized as "Moderate," although there was a portion of data classified as "Good." In conclusion, the implementation of IoT integrated with the KNN algorithm has proven capable of monitoring and predicting air quality in real time with a fairly high level of accuracy. This system is expected to assist the campus in monitoring air conditions and serve as a reference for policy-making to create a healthier environment.*

**Keywords:** Air Quality, Internet Of Things (Iot), K-Nearest Neighbors (Knn), Gas Sensor, Classification.

## 1. PENDAHULUAN

Udara merupakan salah satu elemen penting dalam kehidupan manusia. Kualitas udara yang buruk dapat berdampak negatif terhadap kesehatan, seperti menyebabkan penyakit paru-paru, infeksi saluran pernapasan, dan gangguan pernapasan lainnya. Selain itu, polusi udara juga berkontribusi terhadap pemanasan global, perubahan ekologi, dan penipisan lapisan ozon (Amalia et al., 2022).

Peningkatan aktivitas industri, transportasi, dan pembakaran lahan telah menyebabkan tingginya tingkat polusi udara. Pencemaran udara di wilayah perkotaan sulit dihindari karena berbagai aktivitas manusia, seperti transportasi, sektor industri, dan pembangunan infrastruktur. Sebagai Contoh, DKI Jakarta, sebagai ibu kota Indonesia dengan jumlah penduduk yang melebihi 10 juta jiwa, menghadapi tantangan besar dalam pengelolaan lingkungan, terutama dalam mengatasi polusi udara. Warga di wilayah ini sering mengalami dampak negatif terhadap kesehatan akibat kualitas udara yang buruk. Menurut WHO, polusi udara menjadi penyebab 7,6% dari total kematian global, dengan sekitar 7 juta kematian dini setiap tahunnya akibat penyakit yang berkaitan dengan paparan polusi udara, baik di dalam ruangan (indoor air pollution) maupun di luar ruangan. Bahkan, pada tahun 2022, diperkirakan 99% populasi dunia telah terpapar udara tercemar yang berisiko menimbulkan berbagai penyakit, seperti stroke, gangguan jantung, penyakit paru-paru, hingga kanker (Lestari & Mahendra, 2023).

Pencemaran udara menjadi permasalahan lingkungan yang semakin serius akibat peningkatan aktivitas industri dan urbanisasi. Berbagai faktor seperti emisi kendaraan bermotor, pembakaran bahan bakar fosil, serta limbah industri berkontribusi terhadap tingginya kadar polutan di udara. Beberapa zat pencemar utama meliputi partikulat halus (PM<sub>2.5</sub> dan

PM<sub>10</sub>), karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan ozon (O<sub>3</sub>), yang diketahui memiliki dampak buruk terhadap kesehatan dan lingkungan. Menurut Nababan et al. (2023) menekankan pentingnya pemantauan kualitas udara secara akurat untuk membantu pengambilan kebijakan dalam mengendalikan polusi dan meminimalkan dampaknya terhadap kesehatan masyarakat. Oleh karena itu, diperlukan sistem pemantauan yang lebih canggih serta regulasi yang lebih ketat untuk mengurangi emisi polutan di udara. Oleh karena itu, diperlukan sistem yang dapat memantau dan memperkirakan kualitas udara secara real-time agar dapat mengurangi dampak buruknya bagi kesehatan dan lingkungan (Syahira & Arianto, 2024).

Penelitian mengenai monitoring kualitas udara telah banyak dilakukan oleh para peneliti seperti, Amalia et al. (2022) menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) untuk mengklarifikasi kualitas udara di DKI Jakarta dan menghasilkan Akurasi terbaik 96% pada K=7. Selanjutnya, Deandra et al. (2024) menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) untuk mengklarifikasi kualitas udara di DKI Jakarta dengan Akurasi tertinggi 91.37% pada K=7 setelah dilakukan tuning hyperparameter. Budianita et al. (2024) membandingkan algoritma KNN dan Naïve Bayes dalam klasifikasi kualitas udara di Tangerang Selatan dan menemukan bahwa KNN lebih akurat dengan 94.44% dibandingkan Naïve Bayes yang mencapai 86.11%. Ananta et al. (2023) menerapkan KNN untuk mengklasifikasikan kualitas udara di DKI Jakarta dan berhasil memperoleh Akurasi 100%. Lestari & Mahendra (2023) menggunakan model Long Short-Term Memory (LSTM) dan Artificial Neural Network (ANN) untuk memprediksi kualitas udara di DKI Jakarta, dengan hasil menunjukkan bahwa LSTM lebih baik dibandingkan ANN berdasarkan nilai RMSE 23.311, MAE 19.391, dan MAPE 0.176.

Selain itu, penelitian berbasis Internet of Things (IoT) juga banyak dilakukan. Iskandar et al. (2024) merancang sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT di CV. Mitra Karya Informatika, Gowa, dengan menggunakan sensor MQ2, NodeMCU, dan ESP8266, yang menghasilkan notifikasi alarm aktif saat kadar CO lebih dari 150 ppm. Muttaqin et al. (2024) mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT di Universitas Negeri Semarang dengan sensor MQ-135 dan DHT11, yang menunjukkan koefisien determinasi 0,85-0,98 dalam pemantauan gas berbahaya. Pebralia et al. (2024) merancang sistem pemantauan kualitas udara real-time berbasis IoT dengan menggunakan ESP32 dan Google Sheet, yang terbukti hemat biaya dan efisien. Octaviano et al. (2022) mengembangkan sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT di Tangerang Selatan dengan sensor MQ-7, Sharp GP2Y1010AU0F, dan DHT11, dimana data dapat dipantau secara real-time melalui platform Blynk dan ThingSpeak.

Diel Din et al. (2024) merancang sistem pemantauan kualitas udara di Sulawesi Selatan menggunakan sensor MQ-7 dan MQ-135 yang terintegrasi dengan Wemos d1 mini dan Thingspeak, dengan error sensor berkisar antara 9,01% hingga 47% tergantung pada jenis polutan yang terdeteksi. Syahira & Arianto (2024) menggunakan algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) untuk klasifikasi kualitas udara di Yogyakarta dengan Akurasi mencapai 99% pada  $K=5$ , serta precision 100%, recall 99%, dan F-Measure 100%. Fahri Syeha Maulana et al. (2021) mengembangkan sistem pemantauan ketebalan debu berbasis IoT menggunakan sensor GP2Y1010AU0F, di mana data pemantauan dikirimkan melalui aplikasi Blynk untuk kemudahan akses secara real-time.

Klasifikasi kualitas udara sangat penting terbukti dengan banyaknya penelitian dengan berbagai algoritma dan perangkat IoT. Oleh karena itu, pada penelitian ini akan

menerapkan IoT dan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) untuk memonitoring kualitas udara pada lingkungan kampus UMKT. Internet of Things (IoT) adalah teknologi yang memungkinkan objek fisik terhubung ke internet untuk bertukar data secara otomatis. Dalam pemantauan kualitas udara, sistem berbasis IoT menggunakan sensor untuk mengukur faktor lingkungan seperti suhu, kelembaban, dan kadar gas berbahaya. Sensor ini akan mengirimkan data ke cloud melalui jaringan Wi-Fi atau protokol komunikasi seperti MQTT, sehingga dapat dianalisis dan ditampilkan dalam antarmuka digital (Iskandar et al., 2024). Keunggulan IoT dalam pemantauan kualitas udara meliputi kemampuannya untuk beroperasi secara mandiri, memberikan peringatan dini saat polusi meningkat, dan memungkinkan tindakan cepat dalam mitigasi risiko terhadap kesehatan manusia dan lingkungan (Octaviano et al., 2022). Meskipun IoT dapat menyediakan data secara real-time, diperlukan metode analisis yang mampu memprediksi kualitas udara berdasarkan pola yang terbentuk dari data yang dikumpulkan. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah K-Nearest Neighbors (KNN).

K-Nearest Neighbors (KNN) adalah algoritma klasifikasi yang mengelompokkan data berdasarkan kedekatan titik-titik dalam ruang. Metode ini sering digunakan dalam analisis kualitas udara untuk mengklasifikasikan tingkat polusi berdasarkan data lingkungan yang tersedia. Dengan menggabungkan teknologi IoT dan algoritma KNN, sistem pemantauan kualitas udara dapat menjadi lebih akurat dan efisien. Ke depan, pemanfaatan IoT dalam pemantauan kualitas udara diperkirakan akan terus berkembang, terutama dengan integrasi teknologi kecerdasan buatan (AI) untuk meningkatkan ketepatan prediksi (Octaviano et al., 2022)

## 2. METODE PENELITIAN

### Pengujian

Pengujian dalam penelitian ini dilakukan untuk memastikan sistem yang dirancang dapat bekerja sesuai tujuan, baik dari sisi perangkat keras (IoT) maupun perangkat lunak algoritma klasifikasi K-Nearest Neighbors (KNN). Secara umum, pengujian dibagi menjadi dua tahap, yaitu pengujian perangkat keras IoT dan pengujian model algoritma KNN. Pengujian perangkat keras difokuskan pada keakuratan dan kestabilan sensor dalam membaca parameter kualitas udara, yaitu gas karbon monoksida (CO), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), serta partikel debu PM10 dan PM2.5. Pengujian dilakukan di dua titik lokasi kampus Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, yaitu area parkir Gedung A dan kantin Gedung G. Data diambil secara real-time selama beberapa hari pada jam aktif perkuliahan (07.00–15.00 WITA). Data sensor yang diperoleh dikirimkan ke aplikasi Blynk melalui koneksi Wi-Fi serta disimpan ke Google Sheet untuk keperluan analisis lebih lanjut. Pengujian algoritma KNN dilakukan untuk menilai seberapa baik model dapat mengklasifikasikan kualitas udara ke dalam kategori “Baik”, “Sedang”, atau “Tidak Sehat”. Model dibangun menggunakan data latih yang diambil dari dataset Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) Jakarta, sedangkan data uji berasal dari data sensor yang dikumpulkan di kampus.

Langkah-langkah pengujian model meliputi:

1. Pra-pemrosesan data: Data sensor diubah ke skala ISPU agar sesuai standar nasional. Data juga dibersihkan dari nilai kosong dan kesalahan format.
2. Pemilihan parameter k: Nilai k ditetapkan sebesar 3 ( $k=3$ ) untuk menentukan jumlah tetangga terdekat yang digunakan saat klasifikasi.
3. Perhitungan jarak: Menggunakan jarak Euclidean untuk membandingkan data uji dengan data latih.

4. Prediksi kategori: Kategori kualitas udara untuk data uji ditentukan berdasarkan mayoritas kategori pada k data latih terdekat.

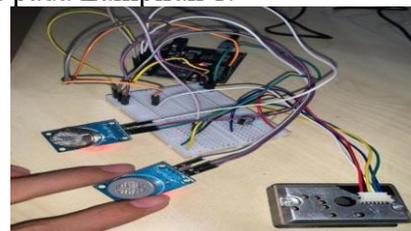
Evaluasi performa model: Dilakukan menggunakan metrik akurasi, precision, recall, dan f1-score. Evaluasi dilakukan dengan membagi dataset menjadi data latih dan data uji menggunakan rasio 80:20.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa algoritma KNN mampu mengklasifikasikan kualitas udara dengan akurasi mencapai 95%, precision rata-rata sebesar 94%, recall 89%, dan f1-score 91%. Temuan ini menunjukkan bahwa model cukup andal untuk digunakan sebagai pendukung pemantauan kualitas udara secara real-time di lingkungan kampus. Dengan pengujian yang meliputi kedua aspek tersebut, diharapkan sistem yang dibangun dapat memberikan informasi yang akurat dan bermanfaat bagi pihak kampus dalam menjaga dan meningkatkan kualitas udara.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

### Rangkaian Alat Sistem Monitoring Kualitas Udara

Rangkaian sistem monitoring kualitas udara pada penelitian ini menggunakan mikrokontroler Wemos ESP32 D1 R32 sebagai pusat pengolahan dan pengiriman data, yang terhubung dengan tiga jenis sensor, yaitu MQ-7 untuk mendeteksi karbon monoksida (CO), MQ-135 untuk mendeteksi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan GP2Y1010AU0F untuk mendeteksi partikel debu seperti PM10 dan PM2.5. Semua komponen disusun di atas breadboard dan dihubungkan ke ESP32 menggunakan kabel jumper seperti terlihat pada Gambar 3.1. sedangkan Sourc Code program Arduino yang digunakan dapat dilihat pada Lampiran 1.



Gambar 1 Rangkaian Alat Sistem Monitoring Kualitas Udara

Pada bagian atas rangkaian, sensor MQ-7 dan MQ-135 masing-masing terhubung melalui tiga jalur utama (Ditunjukkan pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2). Pin VCC dari kedua sensor gas tersebut dihubungkan ke pin 5V pada ESP32, sedangkan pin GND dihubungkan ke ground. Output analog dari sensor MQ-7 disambungkan ke pin GPIO 34, sedangkan output analog dari sensor MQ-135 disambungkan ke pin GPIO 35. Kedua pin ini berfungsi sebagai masukan analog untuk membaca tingkat konsentrasi gas.

Tabel 1 Tabel konfigurasi Sensor MQ-7 dan Wemos ESP32 D1 R32

Pin Sensor	Pin Mikrokontroler ( <i>Wemos ESP32 D1 R32</i> )
MQ7	<i>D1 R32</i>
VCC	Pin 5V
GND	GND
AOUT	Pin GPIO 34

Tabel 3.1 di atas menunjukkan koneksi atau pemetaan pin antara sensor MQ-7 dan mikrokontroler Wemos ESP32 D1 R32. Pin VCC pada sensor dihubungkan ke pin 5V pada mikrokontroler untuk menyediakan tegangan kerja. Pin GND disambungkan ke pin ground (GND) untuk melengkapi rangkaian listrik. Sedangkan pin AOUT dari MQ-7 dihubungkan ke pin analog GPIO 34 pada ESP32 yang berfungsi membaca sinyal keluaran analog dari sensor. Konfigurasi ini memungkinkan mikrokontroler untuk mendeteksi dan memproses data konsentrasi gas karbon monoksida (CO) yang terdeteksi oleh sensor MQ-7.

Tabel 2 Tabel konfigurasi Sensor MQ-135 dan Wemos ESP32 D1 R32

Pin Sensor	Pin Mikrokontroler ( <i>Wemos ESP32 D1 R32</i> )
MQ-135	<i>D1 R32</i>
VCC	Pin 5V
GND	GND
AOUT	Pin GPIO 35

Tabel 3.2 di atas memperlihatkan konfigurasi sambungan antara sensor MQ-135 dan mikrokontroler Wemos ESP32 D1 R32. Pin VCC pada sensor MQ-135 disambungkan ke pin 5V pada mikrokontroler untuk menyediakan suplai

tegangan. Pin GND dihubungkan ke pin ground (GND) agar rangkaian dapat berfungsi dengan baik. Sementara itu, pin AOUT sensor MQ-135 dihubungkan ke pin GPIO 35 pada ESP32, yang bertugas membaca sinyal analog yang dihasilkan sensor. Konfigurasi ini memungkinkan mikrokontroler memproses data konsentrasi gas sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) yang terdeteksi oleh sensor MQ-135.

Tabel 3 Tabel konfigurasi Sensor Debu GP2Y1010AU0F dan Wemos ESP32 D1 R32

Pin Sensor	Pin Mikrokontroler ( <i>Wemos ESP32 D1 R32</i> )
GP2Y1010AU0F	<i>ESP32 D1 R32</i>
V-LED	pin 5V
LED GND	GND
LED	Pin 14
S-GND	GND
VO	Pin 39
VCC	Pin 5V

Table 3.3 Sensor ketiga yaitu GP2Y1010AU0F, yang berfungsi untuk mendeteksi debu udara, memiliki enam pin. Dari gambar, tampak bahwa pin V-LED sensor dikontrol melalui transistor NPN yang diaktifkan dari pin GPIO 14 ESP32. Hal ini berfungsi untuk mengatur waktu nyala LED inframerah pada sensor agar sinkron dengan pembacaan data. Pin LED-GND dan S-GND dihubungkan langsung ke GND, dan pin VCC disambungkan ke pin 5V ESP32. Pin Vo atau output analog dari sensor debu dihubungkan ke pin GPIO 39 untuk membaca nilai konsentrasi debu dari pantulan cahaya.

Transistor pada breadboard berperan sebagai saklar yang mengatur kapan LED inframerah dari sensor debu menyala. Resistor yang terhubung ke basis transistor memastikan arus basis cukup stabil dan tidak berlebihan.

Rangkaian ini dirancang untuk bekerja secara real-time, membaca data udara dari lingkungan sekitarnya, kemudian mengirimkan data melalui Wifi ke dashboard aplikasi Blynk ditunjukkan pada lampiran Lampiran 11. Serta menyimpannya secara otomatis di Google Sheet. Dengan

konfigurasi yang sederhana namun fungsional ini, sistem mampu melakukan pemantauan kualitas udara secara efisien di lingkungan kampus.

### 3. Data Sensor Udara (Tanpa Kategori)

Pengambilan data dilakukan secara langsung di dua titik lokasi yang berada di lingkungan Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur, yaitu di area parkir Gedung A dan kantin Gedung G. Pengambilan data dilaksanakan selama dua hari, dari hari Senin dan Selasa, dengan rentang waktu mulai pukul 07.00 hingga 03.00 WITA. Pemilihan waktu ini disesuaikan dengan jam aktif perkuliahan agar hasil data mencerminkan kualitas udara pada saat lingkungan kampus sedang digunakan secara aktif.



Gambar 3 Pengambilan Data di Parkiran Gedung A. Pada Gambar 3.2 memperlihatkan lokasi parkir Gedung A, alat diletakkan di tempat terbuka yang tidak terhalang bangunan agar sensor dapat menangkap udara bebas secara optimal. Data diperoleh setiap 3 detik secara otomatis, mencakup parameter PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO. Berdasarkan pengamatan langsung selama pengambilan data, area parkir cenderung memiliki sirkulasi udara yang baik dan aktivitas kendaraan yang sedang, sehingga menghasilkan data sensor dengan konsentrasi polutan yang relatif rendah.



Gambar 3 Pengambilan Data di Kantin Gedung G

Selanjutnya pada Gambar 3.3 memperlihatkan pengambilan data di Kantin Gedung G. Di lokasi ini, perangkat diletakkan di area semi-terbuka untuk menghindari gangguan langsung seperti asap dapur atau peralatan elektronik. Hasil pengamatan menunjukkan bahwa nilai konsentrasi polutan, terutama SO<sub>2</sub> dan partikel debu, cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan parkir. Hal ini diduga dipengaruhi oleh aktivitas memasak dan merokok pada saat jam istirahat.

Seluruh data dari kedua lokasi terkirim ke Google Sheet secara real-time melalui koneksi Wifi. Setiap lokasi menghasilkan 1.009 baris data sensor selama periode pengambilan, yang kemudian digunakan dalam proses pengolahan dan klasifikasi kualitas udara. Kemudian, Contoh data pada parkir Gedung A dan Kantin Gedung G ditunjukkan pada Tabel 3.4 dan Tabel 3.5. Dataset lengkap dari hasil pengambilan data ini dapat dilihat secara menyeluruh pada Lampiran 4 dan Lampiran 5, sedangkan kode yang digunakan untuk pengiriman data ke Google Sheet tersedia pada Lampiran 1 dan untuk kodenya ditunjukkan pada lampiran 3.

Tabel 4 Data Mentah Udara di Parkiran Gedung A

NO	PM10	PM2.5	SO <sub>2</sub>	CO
1	2	1	30	980
2	2	1	33	986
3	2	1	36	990
4	2	1	39	993
...	...	...	...	...
1006	8	5	47	507
1007	8	5	55	449
1008	8	5	56	449
1009	7	5	56	452

Tabel 3.4 menampilkan data awal yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor kualitas udara di area parkir Gedung A Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur. Data terdiri dari empat parameter utama, yaitu PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO, yang diukur secara real-time menggunakan sensor GP2Y1010AU0F, MQ-135, dan MQ-7. Nilai-nilai yang ditampilkan merupakan data asli dalam satuan mikrogram per meter

kubik ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sebelum dikonversi ke skala ISPU. Data ini selanjutnya digunakan sebagai data uji untuk proses klasifikasi kualitas udara dengan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN).

Tabel 5 Data Mentah Udara di Kantin Gedung G

NO	PM10	PM2.5	SO <sub>2</sub>	CO
1	2	1	30	980
2	2	1	33	986
3	2	1	36	990
4	2	1	39	993
...	...	...	...	...
1006	8	5	47	507
1007	8	5	55	449
1008	8	5	56	449
1009	7	5	56	452

Tabel 3.5 menampilkan data awal yang diperoleh dari hasil pengukuran sensor kualitas udara di lokasi kantin Gedung G Universitas Muhammadiyah Kalimantan Timur. Data terdiri dari empat parameter utama, yaitu PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO, yang dicatat secara real-time menggunakan sensor GP2Y1010AU0F, MQ-135, dan MQ-7. Nilai-nilai tersebut masih berupa data asli dalam satuan mikrogram per meter kubik ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) sebelum dikonversi ke skala ISPU. Data ini selanjutnya dimanfaatkan sebagai data uji untuk proses klasifikasi kualitas udara dengan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN).

### Preprocessing

Setelah seluruh data berhasil dikumpulkan, langkah berikutnya adalah melakukan pra-pemrosesan (preprocessing). Tahap ini penting untuk memastikan data dalam kondisi bersih dan siap diolah lebih lanjut. Langkah-langkah yang dilakukan dalam preprocessing mencakup:

Pembersihan data, yaitu menghapus nilai yang kosong. Konversi format, yaitu mengubah tanda koma (,) pada bilangan desimal menjadi titik (.) agar dapat dikenali oleh perangkat lunak pemroses data. Pelabelan kualitas udara, berdasarkan nilai ambang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Setiap baris data diberi label kualitas: Baik, Sedang, atau Tidak Sehat,

sesuai kategori nilai PM10, PM2.5, CO, dan SO<sub>2</sub>.

Pengambilan data menggunakan sensor partikel (PM10 dan PM2.5), gas sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), serta karbon monoksida (CO), semuanya dalam bentuk satuan konsentrasi mikrogram per meter kubik ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Nilai-nilai ini bersifat kuantitatif dan belum dapat secara langsung dibandingkan atau diklasifikasikan berdasarkan standar kualitas udara nasional, yaitu Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Oleh karena itu, perlu dilakukan proses konversi dari  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ke skala ISPU. Adapun hasil konversi data Parkiran gedung A dan data Kantin gedung G ditampilkan pada Tabel 3.8 dan Tabel 3.9. Untuk semua data yang telah di konversi di tunjukan pada Lampiran 7 dan Lampiran 8.

Konversi dari satuan konsentrasi mikrogram ke skala ISPU dilakukan menggunakan rumus interpolasi linear seperti pada persamaan 3.1, sesuai dengan ketentuan baku dalam dokumen pedoman ISPU dari Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK). Masing-masing parameter pencemar (PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO) memiliki rentang nilai ambang batas tertentu yang dikaitkan dengan skor ISPU seperti ditunjukkan pada Tabel 3.6. Dataset ISPU Jakarta yang digunakan sebagai referensi pelatihan klasifikasi tersedia pada Lampiran 4, dan Contoh datanya ditampilkan pada Tabel 3.7.

$$I = \frac{I_a - I_b}{X_a - X_b} (X_x - X_b) + I_b$$

Dimana,

$I$  = ISPU terhitung

$I_a$  = ISPU batas atas

$I_b$  = ISPU batas bawah

$X_a$  = Konsentrasi ambien batas atas ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$X_b$  = Konsentrasi ambien batas bawah ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

$X_x$  = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

Tabel 6 Ambang Batas Kategori ISPU

ISPU	PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM2.5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	SO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	CO ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	O <sub>3</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	HC ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )
0 - 50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51 - 100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101 - 200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201 - 300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
> 300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Tabel 7 Data Ispu Jakarta Buat Modeling

No	pm10	pm2.5	...	SO <sub>2</sub>	CO	kategori
1	51	65	...	45	9	SEDANG
2	27	34	...	45	5	SEDANG
3	46	65	...	46	8	SEDANG
...	...	...	...	...	...	...
980	75	106	...	58	14	SEHAT TIDAK
981	76	103	...	57	12	SEHAT TIDAK
982	83	104	...	59	13	SEHAT
...	...	...	...	...	...	...
2091	32	47	...	27	10	BAIK
2092	17	33	...	26	6	BAIK
2093	22	37	...	28	8	BAIK

Berdasarkan data yang disajikan pada Tabel 3.7, penelitian ini menggunakan dataset Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) wilayah DKI Jakarta yang pada awalnya memiliki tujuh atribut polutan utama, yakni PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, CO, O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, dan HC. Namun, dalam implementasinya, hanya empat atribut yang diambil, yaitu PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO. Pemilihan empat atribut tersebut menyesuaikan dengan jenis sensor yang terpasang pada sistem monitoring yang dirancang, antara lain sensor MQ-7 untuk mendeteksi karbon monoksida (CO), sensor MQ-135 untuk mendeteksi sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), serta sensor GP2Y1010AU0F yang dapat mengukur konsentrasi partikel debu PM10 dan PM2.5. Sedangkan sensor untuk mendeteksi polutan lain seperti ozon (O<sub>3</sub>), nitrogen dioksida (NO<sub>2</sub>), dan hidrokarbon (HC) belum tersedia pada perangkat yang dikembangkan.

Keputusan untuk menyederhanakan jumlah atribut dari tujuh menjadi empat tersebut belum melalui validasi oleh pakar (expert). Namun, langkah ini diambil agar data yang digunakan tetap relevan dengan

kemampuan perangkat keras (sensor) yang tersedia, sehingga hasil pemantauan yang diperoleh tetap dapat mewakili kondisi kualitas udara di lingkungan pemantauan. Selain itu, dalam metode perhitungan ISPU, penentuan status kualitas udara mengikuti prinsip bahwa nilai ISPU tertinggi dari parameter yang diukur menjadi penentu kategori kualitas udara secara keseluruhan. Artinya, meskipun sistem hanya memantau empat parameter, status kualitas udara akhir tetap diambil berdasarkan nilai ISPU tertinggi di antara parameter tersebut. Dengan demikian, hasil klasifikasi yang diperoleh tetap dapat mencerminkan kondisi pencemaran udara paling dominan pada periode pengukuran.

Tabel 8 Evaluasi Model KNN (k=3)

	precision	recall	f1-score	support
BAIK	0.93	0.81	0.86	63
SEDANG	0.95	0.98	0.96	320
TIDAK SEHAT	0.94	0.87	0.91	39
accuracy			0.95	422
macro avg	0.94	0.89	0.91	422
Weighted avg	0.95	0.95	0.94	422

Tabel 3.8 menampilkan Prediksi kategori “Baik” atau “Sedang” pada data uji diperoleh melalui proses klasifikasi menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN). Langkahnya dimulai dari data sensor yang dikumpulkan di lokasi penelitian, kemudian data tersebut dikonversi menjadi skala ISPU. Selanjutnya, data ini dijadikan sebagai data uji dan dibandingkan dengan dataset ISPU Jakarta yang digunakan sebagai data latih. Perhitungan dilakukan dengan menghitung jarak Euclidean antara data uji dan data latih. Berdasarkan hasil perhitungan, kategori prediksi untuk data uji ditentukan sesuai dengan kategori mayoritas dari k tetangga terdekat. Pada penelitian ini, digunakan nilai K=3.

Evaluasi performa model KNN dilakukan menggunakan data latih dan data uji yang telah dibagi secara acak dengan rasio 80% : 20%. Hasil pengujian

menunjukkan bahwa model KNN memiliki akurasi sebesar 95%, dengan precision rata-rata 94%, recall 89%, dan f1-score 91% seperti yang ditampilkan pada Tabel 3.13. Nilai-nilai evaluasi ini menunjukkan bahwa model cukup baik dalam memprediksi kategori kualitas udara berdasarkan data sensor yang dikumpulkan.

Tabel 9 Data ISPU Parkiran Gedung A

NO	pm10	pm2.5	SO <sub>2</sub>	CO
1	2	3.333.333.333	30	12.25
2	2	3.333.333.333	33	12.325
3	2	3.333.333.333	36	12.375
4	2	3.333.333.333	39	124.125
...	...	...	...	...
1006	8	1.666.666.667	47	63.375
1007	8	1.666.666.667	5.297.979.798	56.125
1008	8	1.666.666.667	5.347.474.747	56.125
1009	7	1.666.666.667	5.347.474.747	5.65

Tabel 3.9 menampilkan hasil konversi data sensor yang diperoleh dari parkir Gedung A menjadi nilai ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara). Data ini mencakup parameter PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO yang diukur dalam satuan mikrogram per meter kubik ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Nilai-nilai tersebut diperoleh setelah proses konversi menggunakan rumus interpolasi linear sesuai pedoman baku KLHK. Berdasarkan data yang ditampilkan, dapat diamati bahwa nilai konsentrasi CO dan SO<sub>2</sub> cenderung lebih tinggi dibandingkan parameter lainnya. Informasi ini selanjutnya digunakan sebagai input dalam proses klasifikasi kualitas udara menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN).

Tabel 10 Data ISPU Kantin Gedung G

NO	pm10	pm2.5	SO <sub>2</sub>	CO
1	19	43,33333	67,82828	8,3
2	19	43,33333	65,84848	8,2625
3	19	43,33333	64,36364	8,15
4	19	43,33333	62,87879	7,7625
...	...	...	...	...
1006	7	16,66667	30	9,5
1007	5	13,33333	30	10,4
1008	5	10	30	11,025
1009	5	13,33333	31	11,475

Tabel 3.10 menampilkan hasil konversi data sensor kualitas udara yang dikumpulkan dari lokasi kantin Gedung G ke dalam skala ISPU (Indeks Standar Pencemar Udara). Data mencakup empat parameter utama, yaitu PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO, dengan satuan mikrogram per meter kubik ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Proses konversi dilakukan menggunakan rumus interpolasi linear sesuai pedoman KLHK. Dari data yang ditunjukkan, dapat dilihat bahwa konsentrasi SO<sub>2</sub> di kantin cenderung lebih tinggi dibandingkan area parkir, diduga akibat aktivitas memasak dan asap rokok. Dataset ini kemudian digunakan sebagai data uji dan data latih dalam pemodelan klasifikasi kualitas udara dengan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN).

#### Klasifikasi dengan Algoritma K-Nearest Neighbor (KNN)

Setelah data sensor berhasil diperoleh, tahap selanjutnya adalah melakukan proses klasifikasi kualitas udara menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN). Data sensor yang dikumpulkan terlebih dahulu diberi label kategori kualitas udara berdasarkan dataset referensi dari Jakarta (ditunjukkan pada Tabel 3.7), sehingga dapat digunakan sebagai data latih dan data uji.

Dalam penelitian ini, nilai k ditetapkan sebesar 3. Pemilihan nilai k=3 didasarkan pada beberapa pertimbangan metodologis. Pertama, penggunaan angka ganjil seperti k=3 bertujuan untuk mencegah terjadinya hasil voting yang seimbang (tie), sehingga keputusan klasifikasi dapat diambil dengan lebih jelas. Kedua, nilai k yang terlalu kecil, misalnya k=1, cenderung membuat model menjadi sangat sensitif terhadap data outlier atau noise, yang dapat menurunkan keandalan prediksi. Sebaliknya, nilai k yang terlalu besar dapat menyebabkan model menjadi terlalu general dan mengabaikan variasi penting yang terdapat pada data. Hasil evaluasi model menunjukkan bahwa penggunaan k=3 memberikan performa yang paling optimal, dengan capaian akurasi

sebesar 95%, nilai precision 94%, recall 89%, dan f1-score 91%. Oleh karena itu, nilai k=3 dipilih karena dianggap mampu memberikan keseimbangan yang baik antara kompleksitas model dan tingkat ketepatan klasifikasi kualitas udara.

Cara kerja algoritma K-Nearest Neighbor (KNN), pada bagian ini ditampilkan satu contoh perhitungan manual yang dilakukan terhadap data sensor kualitas udara. Contoh ini bertujuan untuk menggambarkan langkah-langkah klasifikasi secara rinci sebelum seluruh data diproses secara otomatis oleh sistem. Data yang digunakan diambil dari hasil pengukuran di lokasi parkir, tepatnya pada baris pertama. Data tersebut memiliki nilai PM10 = 2, PM2.5 = 3.33, SO<sub>2</sub> = 30, dan CO = 12.25. Kemudian data ini dibandingkan dengan beberapa data pelatihan yang berasal dari data ISPU Jakarta, yang telah memiliki label kualitas udara. Contoh proses klasifikasi manual ditampilkan pada Tabel 3.11 (data uji), Tabel 3.12 (data latih), dan hasil 3 data terdekat ditunjukkan pada Tabel 3.13.

Perhitungan dilakukan menggunakan rumus jarak Euclidean, yang digunakan untuk mengukur seberapa dekat nilai data sensor terhadap masing-masing data pelatihan. Rumus Euclidean adalah sebagai berikut:

$$d = \sqrt{(x_1 - y_1)^2 + (x_2 - y_2)^2 + (x_3 - y_3)^2 + (x_4 - y_4)^2}$$

Keterangan:

xxx = nilai dari data sensor (data uji)

yyy = nilai dari data ISPU Jakarta (data latih)

Tabel 11 Data Uji Parkiran (Diambil 1 data sebagai Contoh dari Tabel 3.1)

PM10	PM2.5	SO <sub>2</sub>	CO
2	3.33	30	12.25

Tabel 12 Data Latih (Diambil 5 data sebagai Contoh dari Tabel 3.4)

No	PM10	PM2.5	SO <sub>2</sub>	CO	Kategori
1	51	65	45	9	SEDANG
2	27	34	45	5	SEDANG
3	46	65	46	8	SEDANG
4	75	106	58	14	TIDAK SEHAT
5	22	37	28	8	BAIK

Tabel 3.11 memperlihatkan satu contoh data uji yang diambil dari data sensor kualitas udara di parkir Gedung A, berisi empat atribut utama: PM10, PM2.5, SO<sub>2</sub>, dan CO. Sementara itu, Tabel 3.12 menampilkan lima contoh data latih yang sudah memiliki label kategori kualitas udara (Baik, Sedang, atau Tidak Sehat) berdasarkan data ISPU Jakarta.

Data uji tersebut kemudian dibandingkan dengan data latih menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) untuk menghitung jarak terdekat (menggunakan metode jarak Euclidean). Berdasarkan kategori mayoritas dari tetangga terdekat, sistem dapat memprediksi kelas atau kategori kualitas udara untuk data uji tersebut. Dengan cara ini, data uji yang awalnya belum memiliki label (unlabeled) dapat diklasifikasikan menjadi kategori kualitas udara tertentu seperti Baik, Sedang, atau Tidak Sehat.

Untuk memprediksi kategori data uji, dilakukan perhitungan manual jarak Euclidean antara data uji dan beberapa data latih terdekat. Nilai data uji adalah PM10=2, PM2.5=3.33, SO<sub>2</sub>=30, dan CO=12.25. Data latih memiliki nilai dan kategori seperti yang ditunjukkan pada Tabel 3.13.

Data Latih 1

Data Latih 1  
 $= \sqrt{(2 - 51)^2 + (3.33 - 65)^2 + (30 - 45)^2 + (12.25 - 9)^2} = \sqrt{2401 + 3792.1 + 225 + 10.5} = \sqrt{6428.66} \approx 80.17$

Data Latih 2  
 $= \sqrt{(2 - 27)^2 + (3.33 - 34)^2 + (30 - 45)^2 + (12.25 - 5)^2} = \sqrt{625 + 938.9 + 225 + 52.56} = \sqrt{1841.46} \approx 42.90$

Data Latih 3  
 $= \sqrt{(2 - 46)^2 + (3.33 - 65)^2 + (30 - 46)^2 + (12.25 - 8)^2} = \sqrt{1936 + 3792.1 + 256 + 18.06} = \sqrt{6002.16} \approx 77.48$

Data Latih 4  
 $= \sqrt{(2 - 75)^2 + (3.33 - 106)^2 + (30 - 58)^2 + (12.25 - 14)^2} = \sqrt{5329 + 10576.4 + 784 + 3.06} = \sqrt{16692.46} \approx 129.2$

Data Latih 5  
 $= \sqrt{(2 - 22)^2 + (3.33 - 37)^2 + (30 - 28)^2 + (12.25 - 8)^2} = \sqrt{400 + 1134.8 + 4 + 18.06} = \sqrt{1556.86} \approx 39.45$

Dari hasil perhitungan jarak, diperoleh tiga data latih dengan jarak terdekat yaitu data latih nomor 5, 2, dan 3, masing-masing dengan jarak sekitar 39.45, 42.90, dan 77.48. Berdasarkan mayoritas kategori dari ketiga data latih tersebut, data uji diprediksi masuk ke dalam kategori Sedang (atau Baik, tergantung mayoritasnya).

Tabel 13 K=3 Terdekat

No	Jarak	Kelas
5	39.45	BAIK
2	42.90	SEDANG
3	77.48	SEDANG

Pada Tabel 3.13 menunjukkan hasil perhitungan manual jarak Euclidean antara data uji (Tabel 3.12) dan data latih (Tabel 3.13), dengan menampilkan tiga data latih terdekat ( $k=3$ ). Terlihat bahwa data uji memiliki jarak paling kecil terhadap satu data latih berkategori Baik dan dua data latih berkategori Sedang. Karena mayoritas tetangga terdekat memiliki kelas Sedang, maka berdasarkan prinsip algoritma K-Nearest Neighbors (KNN), data uji ini diprediksi masuk ke dalam kategori Sedang.

### Hasil Pengujian

Setelah membuat model klasifikasi berbasis K-NN, maka langkah selanjutnya, model ini digunakan untuk memprediksi kualitas udara pada area kampus UMKT yang telah diambil sebelumnya pada lokasi parkir gedung A dan kantin Gedung G. Adapun Kualitas Udara Setelah dilakukan klasifikasi, sistem berhasil memetakan kualitas udara di masing-masing lokasi. Hasil klasifikasi ditunjukkan pada Tabel 3.6 dan Tabel 3.7. Data hasil klasifikasi secara lengkap dapat dilihat pada Lampiran 6 untuk parkir dan Lampiran 7 untuk kantin, yang merupakan hasil pemrosesan lanjutan dari kode Python pada Lampiran 2.

Tabel 14 Hasil Klasifikasi Kualitas Udara Parkiran Gedung A

no	pm10	pm2.5	SO <sub>2</sub>	CO	kelas_prediksi
1	2	3,333333	30	12,25	BAIK
2	2	3,333333	33	12,325	BAIK
3	2	3,333333	36	12,375	BAIK
4	2	3,333333	39	12,4125	BAIK
5	2	3,333333	39	12,4375	BAIK
...	...	...	...	...	...
1006	8	16,66667	53,47475	5,6125	SEDANG
1007	7	16,66667	53,47475	5,65	SEDANG
1008	5	10	32	11,775	BAIK
1009	4	10	31	12	BAIK
1010	3	6,666667	30	12,15	BAIK

Tabel 3.14 menyajikan hasil klasifikasi kualitas udara yang diperoleh dari sensor yang dipasang di area parkir Gedung A. Diketahui bahwa dari total 1.009 data yang dikumpulkan, sebanyak 73 data (7,24%) termasuk dalam kategori “Baik”, sedangkan 936 data (92,76%) termasuk dalam kategori “Sedang”. Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun parkir berada di area terbuka yang memiliki sirkulasi udara cukup baik, aktivitas kendaraan bermotor selama jam kuliah kemungkinan besar menjadi penyebab meningkatnya konsentrasi polutan seperti karbon monoksida (CO) dan partikel debu (PM10). Aktivitas lalu lintas yang terjadi secara berkala, terutama saat mahasiswa datang dan pulang, dapat mempengaruhi kualitas udara di sekitar parkir, sehingga sebagian besar data diklasifikasikan dalam kategori “Sedang”. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas udara di area parkir tetap perlu diperhatikan, terutama pada jam-jam padat aktivitas, karena fluktuasi konsentrasi polutan dapat terjadi secara signifikan.

Tabel 15 Hasil Klasifikasi Kualitas Udara Kantin Gedung G

no	pm10	pm2.5	SO <sub>2</sub>	CO	kelas_prediksi
1	19	43,33333	67,82828	8,3	SEDANG
2	19	43,33333	65,84848	8,2625	SEDANG
3	19	43,33333	64,36364	8,15	SEDANG
4	19	43,33333	62,87879	7,7625	SEDANG
5	20	43,33333	61,88889	7,85	SEDANG
...	...	...	...	...	...
1006	5	10	30	11,025	BAIK
1007	5	13,33333	31	11,475	BAIK
1008	5	10	32	11,775	BAIK
1009	4	10	31	12	BAIK
1010	3	6,666667	30	12,15	BAIK

Tabel 3.15 menampilkan hasil klasifikasi kualitas udara yang diperoleh dari sensor yang ditempatkan di area kantin Gedung G. Berdasarkan hasil klasifikasi, dari total 1.009 data, sebanyak 807 data (79,83%) menunjukkan kualitas udara berada pada kategori "Sedang", dan 204 data (20,17%) berada pada kategori "Baik". Hal ini terutama terjadi pada waktu-waktu padat aktivitas, seperti saat jam istirahat siang, ketika kegiatan memasak dan keramaian mahasiswa di sekitar kantin meningkat. Aktivitas memasak serta kemungkinan adanya asap rokok di sekitar area kantin berkontribusi terhadap meningkatnya konsentrasi polutan udara, khususnya SO<sub>2</sub> dan partikel debu halus (PM<sub>2.5</sub>). Kemiripan hasil klasifikasi dengan lokasi parkir menunjukkan bahwa kondisi udara di sekitar kampus cenderung seragam pada waktu pengambilan data, meskipun masing-masing lokasi memiliki potensi sumber polusi yang berbeda.

#### 4. KESIMPULAN

- a) Berdasarkan hasil penelitian, berhasil dirancang dan diimplementasikan sistem monitoring kualitas udara berbasis mikrokontroler ESP32 yang terintegrasi dengan sensor MQ-7, MQ-135, dan GP2Y1010AU0F. Sistem ini mampu membaca data kualitas udara secara real-time dan mengirimkannya ke platform Blynk serta Google Sheet melalui koneksi Wi-Fi. Data hasil pembacaan sensor dikonversi ke dalam skala ISPU agar sesuai dengan standar kualitas udara nasional.
- b) Sistem klasifikasi kualitas udara menggunakan algoritma K-Nearest Neighbors (KNN) dengan dataset ISPU Jakarta sebagai data latih. Hasil pengujian menunjukkan model KNN dengan parameter  $k=3$  mampu mengklasifikasikan kualitas udara berdasarkan kategori pencemar dominan. Di area parkir Gedung A, dari 1.011 data yang diperoleh, sebanyak 936 data

masuk kategori "Sedang" dan 75 data kategori "Baik". Sedangkan di area kantin Gedung G, terdapat 807 data "Sedang" dan 204 data "Baik". Secara keseluruhan, sistem mampu mengidentifikasi bahwa kondisi kualitas udara di kedua lokasi umumnya berada pada kategori "Sedang", dengan kondisi di area parkir cenderung lebih tercemar.

#### Saran

- a) Penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan menambahkan jenis sensor lain seperti NO<sub>2</sub> atau O<sub>3</sub> agar cakupan parameter udara lebih lengkap. Kalibrasi sensor secara berkala juga penting dilakukan untuk menjaga Akurasi data.
- b) Selain itu, sistem dapat dilengkapi dengan fitur notifikasi peringatan pada aplikasi ketika kualitas udara memburuk. Untuk keperluan klasifikasi, disarankan menggunakan algoritma lain sebagai pembandingan agar diperoleh hasil yang lebih optimal. Area pengambilan data juga sebaiknya diperluas agar sistem dapat diuji di berbagai kondisi lingkungan.

#### 5. DAFTAR PUSTAKA

- Amalia, A., Zaidah, A., Isnainiyah, & Nurlaili, I. (2022). Prediksi Kualitas Udara Menggunakan Algoritma K-Nearest Neighbor. *JIKO (Jurnal Informatika Dan Komputer)*, 7(2), 496–507. <https://doi.org/10.33387/jiko.v4i2.2871>
- Darussalam, & Arief, G. (2018). Pemanfaatan Sensor Suhu DHT22, Ultrasonik HC-SR04 Untuk Mengendalikan Kolam Dengan Notifikasi Email Siswanto 1., Resti, 1(1), 19–25.
- Iskandar, I., Rimalia, W., Jeffry, EnriCO Panggabean, B., & Leonard. (2024). Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara Ruang Berbasis Internet of Things (IoT). *Journal of System and COmputer Engineering (JSCE)*, 5(1), 115–127. <https://doi.org/10.22146/juliet.v5i1.87423>

- Lestari, I. G. A. N., & Mahendra, I. N. D. A. (2023). Prediksi Kualitas Udara dengan Menggunakan Metode Long Short-Term Memory dan Artificial Neural Network. *Jurnal Sistem Dan Informatika (JSI)*, 17(2), 121–129.  
<https://doi.org/10.30864/jsi.v17i2.565>
- Muttaqin, R., Prayitno, W. S. W., Setyaningsih, N. E., & Nurbaiti, U. (2024). Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis IoT (Internet Of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ-135. *Jurnal Pengelolaan Laboratorium Pendidikan*, 6(2), 102–115.  
<https://doi.org/10.14710/jplp.6.2.102-115>
- Nababan, A. A., Jannah, M., Aulina, M., & Andrian, D. (2023). Prediksi Kualitas Udara Menggunakan Xgboost Dengan Synthetic Minority Oversampling Technique (Smote) Berdasarkan Indeks Standar Pencemaran Udara (Ispu). *JTIK (Jurnal Teknik Informatika Kaputama)*, 7(1), 214–219.  
<https://doi.org/10.59697/jtik.v7i1.66>
- Octaviano, A., Sofiana, S., Agustino, D. O., & Rosyani, P. (2022). Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Internet OF Things. *Media Online), Kajian Ilmiah Informatika dan Komputer (KLIK)*, 3(2), 147–156.  
<https://djournalS.COM/klik>
- Putra, P., M. H. Pardede, A., & Syahputra, S. (2022). Analisis Metode K-Nearest Neighbour (KNN) Dalam Klasifikasi Data Iris Bunga. *Jurnal Teknik Informatika Kaputama (JTIK)*, 6(1), 297–305.
- Satryawan, M. A., & Susanti, E. (2023). PERANCANGAN ALAT PENDETEKSI KUALITAS UDARA DENGAN IoT (Internet of Things) MENGGUNAKAN WEMOS ESP32D1R32. *SigmaTeknika*, 6(2), 410419.  
<https://doi.org/10.33373/sigmateknika.v6i2.5646>
- Syahira, N., & Arianto, D. B. (2024). Prediksi Tingkat Kualitas Udara Dengan Pendekatan Algoritma K-Nearest Neighbor. *Jurnal Ilmiah Informatika Komputer*, 29(1), 45–59.  
<https://doi.org/10.35760/ik.2024.v29i1.10069>
- Tri Sulistyorini, Nelly Sofi, & Erma Sova. (2022). Pemanfaatan NodeMCU ESP8266 Berbasis Android (Blynk) Sebagai Alat Alat Mematikan Dan Menghidupkan Lampu. *Jurnal Ilmiah Teknik*, 1(3), 40–53.  
<https://doi.org/10.56127/juit.v1i3.334>