

Sistem deteksi dan klasifikasi polusi udara terhadap penderita asma menggunakan metode Naïve Bayes

Lindini Afira^{1*}, Rahmi Hidayati², Kartika Sari³

^{1,2,3}Jurusan Rekayasa Sistem Komputer, Fakultas MIPA, Universitas Tanjungpura
Jalan Prof. Dr. H. Hadari Nawawi, Pontianak, Kalimantan Barat, Indonesia

^{1*}h1051201008@student.untan.ac.id, ²rahmihidayati@siskom.untan.ac.id, ³kartika.sari@siskom.untan.ac.id

ABSTRAK

Polusi udara memiliki dampak signifikan terhadap kesehatan manusia, khususnya sistem pernapasan, dan dapat memicu penyakit asma. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem deteksi dan klasifikasi kualitas udara berbasis *Internet of Things* (IoT) menggunakan metode Naïve Bayes. Sistem ini mendeteksi konsentrasi polutan udara berupa Particulate Matter (PM_{2.5}), Karbon Monoksida (CO), dan Nitrogen Dioksida (NO₂), kemudian mengklasifikasikannya ke dalam tiga kategori, yaitu aman (ISPU 1–50), berisiko (ISPU 51–200), dan berbahaya (ISPU > 200). Dataset yang digunakan terdiri dari 120 data latih dan 30 data uji. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode Naïve Bayes mampu mencapai tingkat akurasi sebesar 97%. Selain itu, hasil pengujian sistem menunjukkan bahwa kualitas udara yang terukur berada pada kategori aman dengan nilai ISPU sebesar 30. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan efektif dalam membantu pemantauan kualitas udara bagi penderita asma.

Kata kunci: asma, deteksi, klasifikasi, Naïve Bayes, polusi udara

ABSTRACT

Air pollution has a significant impact on human health, particularly on the respiratory system, and can trigger asthma. This study aims to develop an Internet of Things (IoT)-based air quality detection and classification system using the Naïve Bayes method. The system detects concentrations of air pollutants, including Particulate Matter (PM_{2.5}), Carbon Monoxide (CO), and Nitrogen Dioxide (NO₂), and classifies them into three categories: safe (ISPU 1–50), at risk (ISPU 51–200), and hazardous (ISPU > 200). The dataset consists of 120 training data and 30 testing data. The results show that the Naïve Bayes method achieves an accuracy of 97%. In addition, system testing indicates that the measured air quality falls within the safe category, with an ISPU value of 30. These results demonstrate that the proposed system is effective in supporting air quality monitoring for asthma patients.

Keywords: asthma, Detection, Classification, Naïve Bayes, air pollution

1. PENDAHULUAN

Polusi udara dapat berdampak negatif pada kesehatan manusia, terutama pada sistem pernapasan. Polutan udara dan alergen adalah rangsangan utama yang memiliki efek yang cukup besar pada kesehatan penderita asma [1], [2], [3], [4]. Berdasarkan data Kementerian Kesehatan tahun 2020, asma merupakan salah satu jenis penyakit yang paling banyak diidap oleh masyarakat Indonesia. Hingga akhir tahun 2020, jumlah penderita asma di Indonesia sebanyak 4,5 % dari total jumlah penduduk Indonesia atau sebanyak lebih dari 12 juta. Serangan asma dapat terjadi akibat polusi udara, asap rokok, dan cuaca dingin. Banyak zat polusi udara memiliki hubungan erat dengan hasil penyakit pernapasan, terutama asma dan Penyakit Paru Obstruktif Kronis (PPOK) diantaranya, *Particulate Matter* (PM), Ozon (O₃), Sulfur Dioksida (SO₂), Karbon Monoksida (CO), dan Nitrogen Dioksida (NO₂) yang dapat menginduksi batuk, dahak, dan *hiperresponsif bronkial* pada penderita asma [5]. Kualitas udara di dalam ruangan dan faktor risiko lingkungan memiliki dampak yang signifikan terhadap penderita asma [6].

Berdasarkan Indeks Skala Kualitas Udara (ISPU) sebagaimana ditentukan oleh Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor

P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara pada kategori udara sedang, kelompok sensitif harus mengurangi aktifitas fisik yang terlalu berat [7]. Menurut Badan Perlindungan Lingkungan Amerika Serikat atau US-EPA (*United State Environmental Protection Agency*) pada tahun 2016 juga terdapat perbedaan antara orang yang menderita asma dengan orang yang tidak menderita asma. Dilansir dari *website* organisasi terkemuka untuk penderita asma dan alergi *The Asthma and Allergy Foundation of America* (AAFA) mengatakan bahwa pada penderita asma gejala dapat memburuk bahkan ketika kadar AQI (*Air Quality Indeks*) sedang (AQI 51-100) [8].

Dalam mengatasi hal ini, diperlukan sebuah teknologi yang mampu untuk menginformasikan kondisi udara yang sedang ditempati oleh penderita asma guna mengurangi pemicu terjadinya serangan asma. Seperti pada penelitian sebelumnya, sistem yang dibangun dapat mendeteksi kadar beberapa zat polusi udara diantaranya *Particulate Matter* (PM_{2.5}), Karbon Monoksida (CO), dan Nitrogen Dioksida (NO₂). PM_{2.5} merupakan partikulat yang berdiameter 2,5 mikrometer atau kurang. Komponen utama dari PM adalah sulfat, nitrat, amonia, natrium klorida, karbon hitam, mineral debu dan air yang umumnya berasal dari emisi kendaraan dan industri, asap rokok, dan asap kebakaran hutan [9]. Karbon Monoksida (CO) adalah gas yang mudah terlarut dan masuk ke aliran darah dan dapat mengikat hemoglobin sehingga mengakibatkan hipoksia [5], dan Nitrogen Dioksida (NO₂) merupakan gas yang dapat mengiritasi sistem pernapasan, yang menembus ke dalam paru-paru yang menyebabkan batuk, mengi, *dispnea*, *bronkospasme*, dan bahkan edema paru ketika dihirup pada tingkat tinggi [10] dan paparan NO₂ menyebabkan perubahan akut dan kronik fungsi paru, inflamasi neutrofil bronkial dan produksi proinflamasi sitokin[11]. Kemudian mengklasifikasikan polusi udara tersebut ke dalam tiga (3) tingkatan kelas yaitu aman (ISPU 1-50), berisiko (ISPU 51-200), dan berbahaya (ISPU 201+). Berbeda dengan penelitian sebelumnya, proses klasifikasi pada penelitian ini dilakukan menggunakan metode Naïve Bayes.

Berdasarkan penelitian yang telah dijelaskan sebelumnya, pada penelitian ini dibangun sistem deteksi dan klasifikasi polusi udara terhadap penderita asma menggunakan metode Naïve Bayes. Pada sistem ini diharapkan dapat mengurangi penyebab terjadinya serangan asma yang disebabkan oleh polusi udara sekitar.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Perancangan Sistem

Penelitian ini membangun sebuah sistem untuk mendeteksi polusi udara yang dapat mempengaruhi kondisi penderita asma berdasarkan standar yang telah ditentukan serta mengklasifikasikan polusi udara tersebut ke dalam tiga kelas, yaitu aman, berisiko, dan berbahaya menggunakan metode Naïve Bayes. Tingkatan kelas didapatkan dari informasi berdasarkan tingkatan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). ISPU adalah angka yang tidak mempunyai satuan yang menggambarkan kondisi kualitas udara di lokasi dan waktu tertentu yang didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya [12]. Adapun tabel ISPU dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Konversi nilai konsentrasi parameter ISPU

ISPU	24 Jam Partikulat (PM ₁₀) µg/m ³	24 Jam Partikulat (PM _{2.5}) µg/m ³	24 Jam Sulfur Dioksida (SO ₂) µg/m ³	24 Jam Karbon Monoksida (CO) µg/m ³	24 Jam Ozon (O ₃) µg/m ³	24 Jam Nitrogen Dioksida (NO ₂) µg/m ³	24 Jam Hidrokarbon (HC) µg/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

Keterangan:

- Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat PM_{2.5} disampaikan tiap jam selama 24 jam.
- Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM₁₀), sulfur dioksida (SO₂), karbon monoksida (CO), ozon(O₃), nitrogen dioksida (NO₂), dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00.

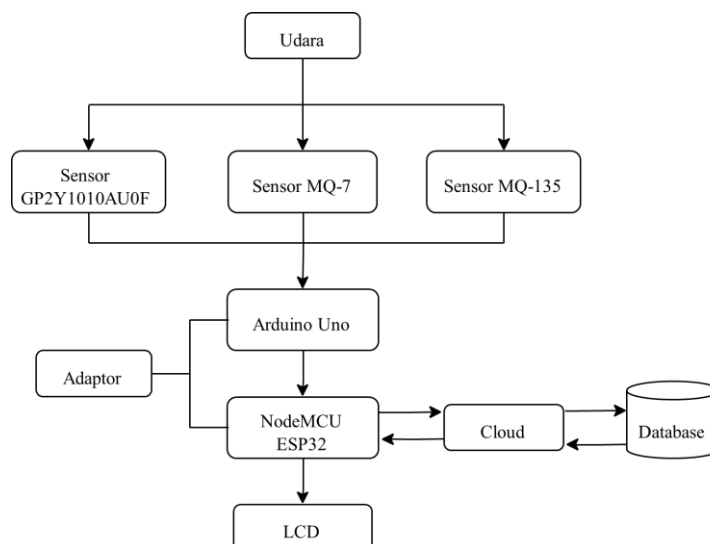
Berdasarkan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup Dan Kehutanan Republik Indonesia Nomor P.14/MENLHK/SETJEN/KUM.1/7/2020 Tentang Indeks Standar Pencemar Udara [7]. Pada penelitian ini menggunakan kategori aman sebagai kelas aman (ISPU 1-50), kategori sedang untuk kelas berisiko (ISPU 50-100), dan kategori sangat tidak sehat untuk kelas berbahaya (ISPU 201+) untuk penderita asma. Berikut konsentrasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Tabel konsentrasi yang digunakan

ISPU	24 Jam Partikulat (PM _{2.5}) µg/m ³	24 Jam Karbon Monoksida (CO) µg/m ³	24 Jam Nitrogen Dioksida (NO ₂) µg/m ³
Aman (0 –50)	15,5	4000	80
Berisiko (51-200)	55,4	8000	200
Berbahaya (201+)	250,4	30000	2260

Sistem ini menggunakan tiga sensor, yaitu sensor GP2Y1014AU0F merupakan alat pengubah sinyal analog menjadi sinyal digital untuk mendeteksi kandungan partikulat debu [6] pada penelitian ini sensor GP2Y1014AU0F digunakan sebagai pendeteksi PM_{2.5}, sensor MQ-7 merupakan sensor yang berfungsi untuk mendeteksi gas CO. Sensor MQ-7 mempunyai kelebihan sensitivitas yang tinggi terhadap gas CO, stabil, dan usia pakai yang lama [15] pada penelitian ini MQ-7 digunakan sebagai pendeteksi gas CO, dan sensor MQ-135 adalah sensor yang dapat memonitoring kualitas udara dengan mendeteksi gas amonia (NH₃), natrium dioksida (NO₂), alkohol/ ethanol (C₂H₅OH), benzene (C₆H₆), karbon dioksida (CO₂), gas belerang/sulfur hidroksida (H₂S) dan asap/gas-gas lainnya di udara [16] pada penelitian ini sensor MQ-135 digunakan sebagai pendeteksi NO₂. Data yang telah diklasifikasi akan ditampilkan melalui *Liquid Crystal Display* (LCD) 20 x 4. *Liquid Crystal Display* (LCD) merupakan salah satu komponen elektronika yang berfungsi sebagai tampilan suatu data, baik karakter, huruf ataupun grafik [17].

Arduino Uno merupakan papan mikrokontroler yang menggunakan prosesor Atmel AVR dan memiliki sifat *open source* dan dirancang untuk memudahkan pengguna dalam mengembangkan berbagai proyek [18]. Pada penelitian ini, Arduino Uno digunakan sebagai pengendali sensor, dan NodeMCU ESP32 digunakan untuk mengolah data. Pada tahap pengujian, data sensor dikirim ke API untuk dilakukan proses Naïve Bayes. Saat dijalankan, metode Naïve Bayes menggunakan *server* terpisah melalui API untuk melakukan pengklasifikasian. Dengan adanya API, *programmer* dapat dengan mudah mengakses dan menggunakan fungsionalitas dari suatu perangkat lunak untuk mengembangkan atau mengintegrasikan perangkat lunak lainnya [19]. Proses klasifikasi menggunakan bahasa pemrograman *Python*. Setelah proses klasifikasi selesai, hasil klasifikasi ditampilkan pada LCD beserta dengan nilai PM_{2.5}, CO, dan NO₂. Adapun diagram blok sistem dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram blok sistem

Sebelum dilakukan proses klasifikasi, data hasil pembacaan sensor dilakukan tahap preprocessing. Tahapan ini meliputi pembersihan data (data cleaning) untuk mengurangi noise dari pembacaan sensor, normalisasi nilai agar seluruh parameter memiliki skala yang seragam, serta konversi nilai sensor ke dalam standar Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Proses ini bertujuan untuk meningkatkan kualitas data sehingga hasil klasifikasi menjadi lebih akurat.

2.2 Implementasi Metode Naïve Bayes

Naïve Bayes atau dikenal juga dengan Naïve Bayes Classifier merupakan salah satu algoritma *machine learning* yang diawasi (*supervised learning*) yang digunakan untuk menangani masalah klasifikasi berdasarkan pada probabilitas atau kemungkinan sesuai dengan Teorema Bayes. Algoritma Naïve Bayes adalah salah satu algoritma klasifikasi berdasarkan probabilitas yang membandingkan data *training* dan data *testing*. Keduanya dibandingkan melalui beberapa tahap persamaan, yang akhirnya diperoleh probabilitas tertinggi yang ditetapkan sebagai informasi [20]. Metode Naïve Bayes dipilih dalam penelitian ini karena memiliki keunggulan dalam proses klasifikasi berbasis probabilitas dengan kompleksitas komputasi yang rendah, sehingga cocok untuk implementasi sistem real-time berbasis Internet of Things (IoT). Selain itu, metode ini mampu memberikan performa yang baik meskipun menggunakan jumlah dataset yang relatif kecil.

$$P(H|X) = \frac{P(X|H)}{P(X)} \cdot P(H) \quad (1)$$

Keterangan:

- X : Data dengan class yang belum diketahui
 H : Hipotesis data X merupakan suatu *class* spesifik
 $P(H|X)$: Probabilitas hipotesis H berdasarkan kondisi X (*posterior probability*)
 $P(H)$: Probabilitas hipotesis H (*prior probability*)
 $P(X|H)$: Probabilitas X berdasarkan kondisi pada hipotesis H
 $P(X)$: Probabilitas X

Persamaan (1) merupakan persamaan umum dari metode Naïve Bayes.

$$\mu = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \text{ atau } \mu = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} \quad (2)$$

Keterangan:

- μ : nilai mean atau rata-rata dari kategori
 x_i : nilai x ke- i
 n : jumlah sampel dari kategori

Persamaan (2) merupakan persamaan untuk menghitung nilai *Mean* atau rata-rata

$$P(C_k) = \frac{\sum C_k}{\text{jumlah total data}} \quad (3)$$

Keterangan:

- P : Peluang
 C_k : Kategori yang dicari

Persamaan (3) merupakan persamaan untuk menghitung nilai *Probabilitas Prior*.

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \mu)^2}{n}} \quad (4)$$

Keterangan:

- σ : standar deviasi
 x_i : nilai x ke- i
 μ : nilai mean atau rata-rata dari kategori
 n : jumlah sampel dari kategori

Persamaan (4) merupakan persamaan untuk menghitung nilai standar deviasi yang berfungsi untuk menghitung probabilitas fitur kontinu dalam proses klasifikasi.

$$P(X_i|C_k) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_y^2}} e^{-\frac{(X_i-\mu_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} \quad (5)$$

Keterangan:

P : Peluang

X_i : Atribut ke i

C_k : Kategori yang dicari

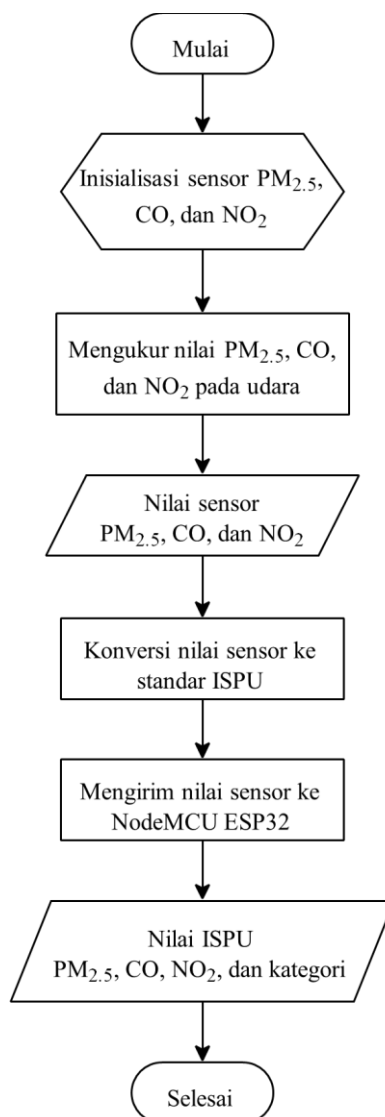
μ : Nilai *mean* atau rata-rata dari kategori

σ : Standar deviasi

Persamaan (5) merupakan persamaan untuk menghitung *Likelihood*.

$$P(X) = P(C_k) * P(X_i|C_k) * P(X_i|C_k) * P(X_i|C_k) \quad (6)$$

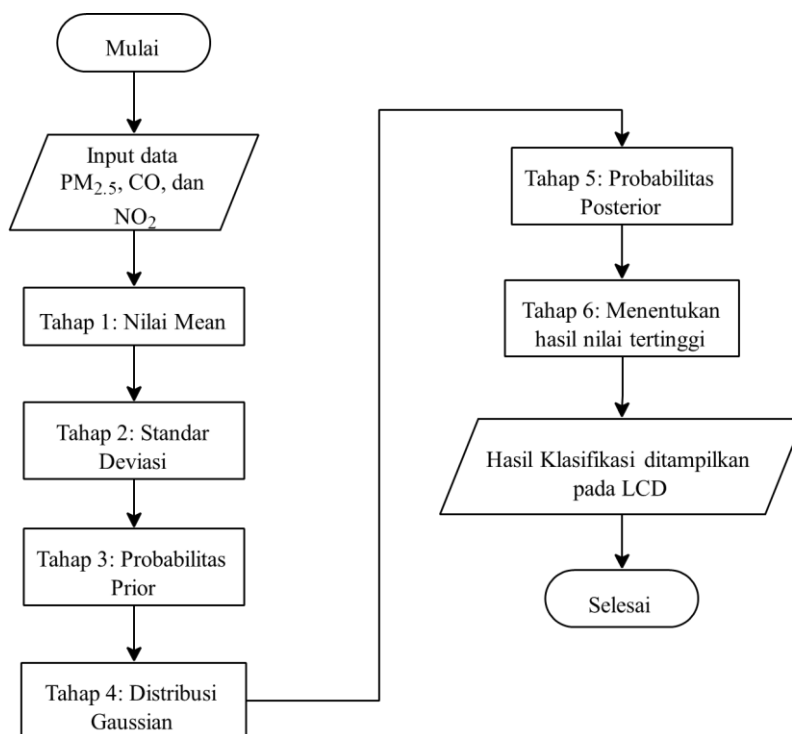
Persamaan (6) merupakan persamaan untuk menghitung nilai probabilitas posterior yang menjadi penentu kelas prediksi yang didapat.



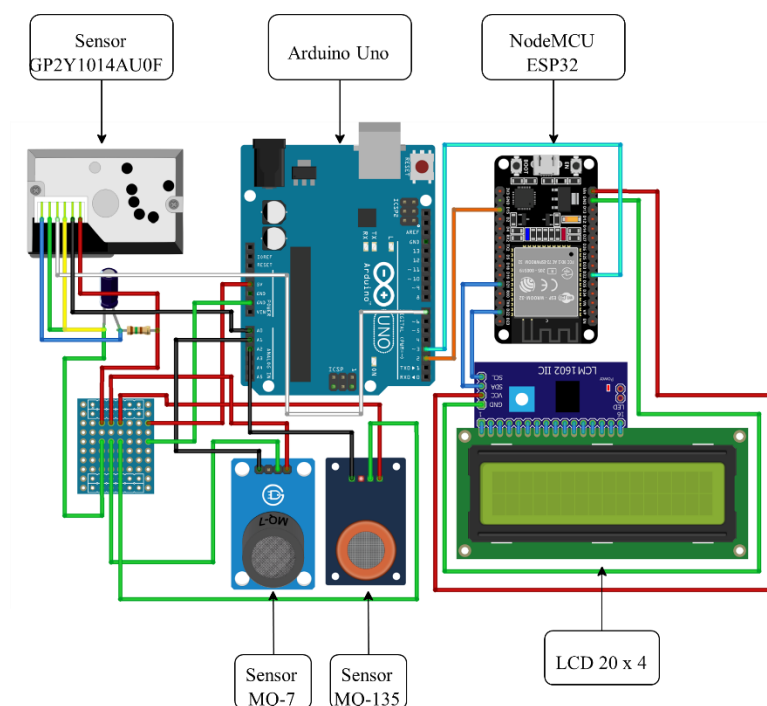
Gambar 2. Diagram alir program pada Arduino Uno

Pada Gambar 2 merupakan diagram alir Arduino Uno, Arduino Uno digunakan sebagai mikrokontroler untuk mengukur kadar PM_{2.5}, CO, dan NO₂. Alur kerja dimulai dengan inisialisasi sensor

GP2Y1014AU0F, sensor MQ-7, dan sensor MQ-135. Selanjutnya, dilakukan pengukuran kadar PM_{2.5}, gas CO, dan gas NO₂. Data tersebut kemudian dikonversi ke dalam bentuk nilai ISPU kemudian data yang telah didapat dari Arduino Uno kemudian dikirim ke NodeMCU ESP32 dalam bentuk nilai ISPU beserta kategori polusi udara.



Gambar 3. Diagram alir algoritma Naïve Bayes



Gambar 4. Rancangan keseluruhan sistem

Pada Gambar 3 merupakan algoritma Naïve Bayes yang telah dirancang. Sistem ini dimulai dengan pengambilan data sensor yang dikirim dari NodeMCU ESP32 yang meliputi data pengukuran PM_{2.5}, CO, dan NO₂ sebagai data pengujian. Sebelum melakukan proses klasifikasi Naïve Bayes, data sensor

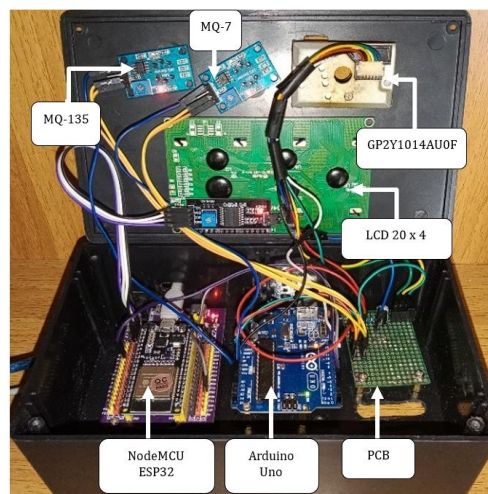
diubah atau dikonversi terlebih dahulu ke dalam bentuk standar Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU) agar sensor memiliki rentang nilai yang sama. sehingga menghasilkan *output* berupa data sensor berdasarkan standar ISPU. Setelah dikonversi ke nilai ISPU, selanjutnya masuk ke perhitungan nilai mean, standar deviasi, probabilitas prior, distribusi gaussian, dan probabilitas posterior, kemudian menentukan hasil nilai tertinggi dari probabilitas posterior maka itulah hasil klasifikasi polusi udara yang didapatkan.

Pada Gambar 4 merupakan gambaran perancangan keseluruhan sistem yang terdiri dari perancangan sensor GP2Y1014AU0F sebagai pendeteksi PM_{2.5}, sensor MQ-7 sebagai pendeteksi gas CO, MQ-135 sebagai pendeteksi konsentrasi NO₂, serial komunikasi antara Arduino Uno dan NodeMCU ESP32, serta perancangan LCD untuk menampilkan hasil klasifikasi dan konsentrasi polusi udara.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Implementasi Sistem

Implementasi perangkat keras merupakan penggabungan seluruh komponen perangkat keras sehingga terhubung dan berfungsi sesuai dengan yang telah dirancang sebelumnya. Implementasi perangkat keras meliputi implementasi pengukuran kadar PM_{2.5}, CO, dan NO₂, tampilan LCD serta komunikasi serial antara Arduino Uno dan NodeMCU ESP32. Adapun implementasi perangkat keras dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Tampilan keseluruhan sistem

Dalam penelitian ini, API digunakan untuk menghubungkan dua sistem terpisah agar dapat saling berkomunikasi. API digunakan dalam proses pengiriman data ke *server*. Dalam hal ini, sistem mengirimkan data sensor ke *server* menggunakan permintaan POST. *Server* kemudian memproses data tersebut untuk melakukan klasifikasi kemudian menyimpan hasilnya ke *database* dan mengirimkan hasil klasifikasi kembali NodeMCU ESP32. Selanjutnya, hasil klasifikasi tersebut ditampilkan di layar LCD. Adapun hasil response API dapat dilihat pada Gambar 6. dan tampilan pada LCD dapat dilihat pada Gambar 7.

```
{ } JSON  Preview Visualize
1 {
2   "CO": 9.0,
3   "Kelas_Prediksi": "Aman",
4   "NO2": 29.0,
5   "PM25": 40.0,
6   "Timestamp": "2025-01-21 05:53:41.804700"
7 }
```

Gambar 6 Hasil respon API



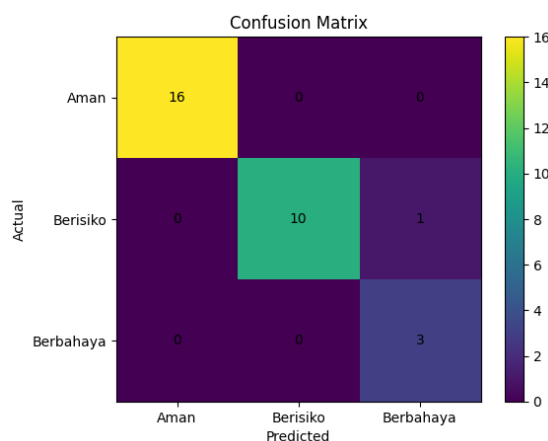
Gambar 7. Tampilan pada LCD

3.2 Hasil Pengujian Naïve Bayes

Pada penelitian ini, dibangun sebuah sistem untuk mengklasifikasikan kualitas udara berdasarkan nilai $PM_{2.5}$, CO, dan NO_2 terhadap penderita asma. Metode klasifikasi yang digunakan adalah Naïve Bayes. Data latih yang digunakan terdiri dari 150 dataset yang mencakup $PM_{2.5}$, CO, dan NO_2 . Pengambilan data dilakukan dengan mengambil *dataset* dengan pengkondisian udara yang dilakukan selama kurang lebih 12 jam. Setelah pengumpulan *dataset*, data dibagi menjadi 2 dengan model 80:20 menjadi 120 data latih dan 30 data uji.

Pengamatan menggunakan perbandingan data latih, yaitu 80:20. Pengujian metode Naïve Bayes dilakukan sebanyak 30 kali percobaan, terdapat kesesuaian data sebanyak 29 data dan 1 data yang tidak sesuai, sehingga didapatkan nilai akurasi sebesar 97%, precision sebesar 96% dan *recall* sebesar 95% menggunakan *Confusion Matrix*. *Confusion Matrix* adalah tabel yang menyatakan klasifikasi jumlah data uji yang benar dan jumlah data uji yang salah [21]. Hasil Pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dibangun memiliki kemampuan yang cukup baik dalam mengklasifikasikan kualitas udara untuk penderita asma berdasarkan nilai $PM_{2.5}$, CO, dan NO_2 meskipun terdapat data yang tidak sesuai dengan hasil klasifikasi.

Tingginya nilai akurasi yang diperoleh dipengaruhi oleh beberapa faktor, di antaranya kualitas dataset yang cukup representatif, proses preprocessing data yang baik, serta pemilihan parameter yang relevan yaitu $PM_{2.5}$, CO, dan NO_2 . Namun demikian, masih terdapat potensi kesalahan klasifikasi yang disebabkan oleh beberapa faktor seperti ketidakstabilan pembacaan sensor, adanya noise pada data, serta asumsi independensi antar fitur pada metode Naïve Bayes yang tidak selalu terpenuhi dalam kondisi nyata. Berdasarkan pengujian sistem terhadap penderita asma yang telah dilakukan di sebuah ruangan dengan konsentrasi polusi udara yang tinggi. Pengujian berlangsung dari pukul 13.30 WIB hingga 14.00 WIB, diperoleh hasil pengukuran Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) $PM_{2.5}$ dengan nilai 30, CO dengan nilai 4, dan NO_2 dengan nilai 29. Berdasarkan sistem yang telah dikembangkan menunjukkan bahwa kualitas udara tersebut termasuk kedalam kategori aman bagi penderita asma. Untuk memperjelas hasil pengujian, performa klasifikasi divisualisasikan dalam bentuk grafik pada Gambar 8. Visualisasi ini berupa confusion matrix untuk menggambarkan performa klasifikasi metode Naïve Bayes.



Gambar 8. Confusion matrix

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, metode Naïve Bayes menunjukkan performa yang sangat baik dalam mengklasifikasikan kualitas udara bagi penderita asma dengan tingkat akurasi sebesar 97%. Hal ini menunjukkan bahwa metode yang digunakan efektif untuk diterapkan pada sistem deteksi kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT). Sistem yang dikembangkan mampu mendeteksi konsentrasi polutan udara seperti $PM_{2.5}$, CO, dan NO_2 serta mengklasifikasikannya ke dalam kategori aman, berisiko, dan berbahaya berdasarkan nilai ISPU. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebagian besar data berhasil diklasifikasikan dengan benar, yang diperkuat dengan visualisasi *confusion matrix*. Meskipun demikian, masih terdapat keterbatasan dalam sistem, seperti adanya potensi noise pada data sensor serta asumsi independensi antarfitur pada metode Naïve Bayes yang tidak selalu terpenuhi dalam kondisi nyata. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya dapat mengembangkan sistem dengan menambahkan parameter polutan lain seperti PM_{10} , SO_2 , dan O_3 , serta membandingkan dengan

metode klasifikasi lain seperti Support Vector Machine (SVM) atau Random Forest untuk meningkatkan akurasi dan keandalan sistem. Selain itu, pengembangan lebih lanjut juga dapat dilakukan melalui peningkatan kualitas data, integrasi dengan aplikasi *mobile*, serta implementasi sistem monitoring secara *real-time* berbasis *cloud*.

REFERENSI

- [1] N. Kaffash-Charandabi, A. A. Alesheikh, and M. Sharif, "A ubiquitous asthma monitoring framework based on ambient air pollutants and individuals' contexts," *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 26, no. 8, pp. 7525–7539, Mar. 2019, doi: 10.1007/s11356-019-04185-3.
- [2] M. Astriyani, N. I. Laela, D. P. Lestari, L. Anggraeni, and T. Astuti, "Analisis Klasifikasi Data Kualitas Udara DKI Jakarta Menggunakan Algoritma C.45," *JURNAL SISTEM & TEKNOLOGI INFORMASI KOMUNIKASI*, vol. 6, no. 1, pp. 36–41, 2022, [Online]. Available: <https://doi.org/10.32524/jusitik.v6i1.790>
- [3] A. Hidayat *et al.*, "Pengaruh Pencemaran Udara PM 2,5 dan PM 10 Terhadap Keluhan Pernapasan Anak di Ruang Terbuka Anak di DKI Jakarta," *ARKEMAS*, vol. 5, Dec. 2020.
- [4] Tim Promkes RSST, "Asma," Kemenkes. [Online]. Available: https://yankes.kemkes.go.id/view_artikel/1433/asma
- [5] J. Chatkin, L. Correa, and U. Santos, "External Environmental Pollution as a Risk Factor for Asthma," Feb. 01, 2022, *Springer*. doi: 10.1007/s12016-020-08830-5.
- [6] A. Sujiarta, G. Putu, W. Wedashwara, and A. Zubaidi, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Di Ruangan Tertutup Berbasis IoT Menggunakan Sensor MQ-135 dan GP2Y1014AU0F," *J-COSINE*, vol. 7, Dec. 2023, [Online]. Available: <http://jcosine.if.unram.ac.id/>
- [7] Dinas Lingkungan Hidup, *PERATURAN MENTERI LINGKUNGAN HIDUP DAN KEHUTANAN REPUBLIK INDONESIA*. 202
- [8] M. Anand and J. G. Demain, "Air Pollution and Asthma," <https://aafa.org/asthma/asthma-triggers-causes/air-pollution-smog-asthma/>.
- [9] I. W. R. Aryanta and S. E. Maharani, "Dampak Buruk Polusi Udara bagi Kesehatan dan Cara Maminimalkan Risikonya," *JURNAL ECOCENTRISM*, vol. 3, no. 2, 2023, [Online]. Available: <https://doi.org/10.36733/jeco.v3i2.7035>
- [10] A. I. Tiotiu *et al.*, "Impact of air pollution on asthma outcomes," Sep. 01, 2020, *MDPI AG*. doi: 10.3390/ijerph17176212.
- [11] A. Dwi, S. Mirza, and P. Budhi, "Dampak Polusi Udara terhadap Asma," *Jurnal Kesehatan Unila*, vol. 2, no. 2, p. 162, Jul. 2018.
- [12] I. Prayoga, D. Triyanto, and Suhardi, "SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA SECARA REALTIME DENGAN PERINGATAN BAHAYA KUALITAS UDARA TIDAK SEHAT MENGGUNAKAN PUSH NOTIFICATION," *Jurnal Komputer dan Aplikasi*, vol. 08, no. 02, pp. 91–102, 2020, [Online]. Available: <https://dx.doi.org/10.26418/coding.v8i2>
- [13] I. D. Ratih, S. M. Retnaningsih, and V. M. Dewi, "Klasifikasi Kualitas Tanah Menggunakan Metode Naive Bayes Classifier," *Jurnal Aplikasi Matematika dan Statistik*, vol. 1, pp. 11–20, 2022, doi: 10.53625/jams.v1i1.4227.
- [14] A. R. Purwandani, A. Y. Husodo, and F. Bimantoro, "Analisis Efektifitas Metode Weighted Product dan TOPSIS dalam Mendiagnosa Serangan Asma (Effectiveness Analysis of Weighted Product and TOPSIS Methods in Diagnosing Asthma Attacks)," *J-COSINE*, vol. 3, no. 1, 2019, [Online]. Available: <http://jcosine.if.unram.ac.id/>
- [15] E. A. Ardharaja, "Aplikasi Sensor MQ-7 pada Pengukuran Gas Karbon Monoksida untuk Uji Emisi Kendaraan Bermotor Berbasis IoT," 2022.
- [16] Q. Hidayati, F. Zaini Rachman, M. Arif Surya Rimbawan, T. Elektro, P. Negeri Balikpapan, and S. Hatta Km, "Sistem Monitoring Kualitas Udara Berbasis Fuzzy Logic," *ISAS Publishing*, vol. 6, 2020.
- [17] B. Harpad, S. Salmon, and R. M. Saputra, "SISTEM MONITORING KUALITAS UDARA DI KAWASAN INDUSTRI DENGAN NODEMCU ESP32 BERBASIS IOT," *Jurnal Informatika Wicida*, vol. 12, no. 2, pp. 39–47, Jul. 2022, doi: 10.46984/inf-wcd.1955.
- [18] G. P. Humairoh, R. Dani, and E. Putra, "Prototipe Pengendalian Kualitas Udara Indoor Menggunakan Mikrokontroler dengan Sensor MQ135, DHT-22 dan Filter HEPA," *Serambi Engineering*, vol. VII, no. 1, 2022.
- [19] A. M. Rulianti, "KLASIFIKASI KELAYAKAN SUSU KAMBING BERDASARKAN PH, WARNA DAN AROMA MENGGUNAKAN METODE K-NEAREST NEIGHBOR," 2024.
- [20] Bustami, "PENERAPAN ALGORITMA NAIVE BAYES UNTUK MENGLASIFIKASI DATA NASABAH ASURANSI," 2014.

- [21] D. Normawati and S. A. Prayogi, "Implementasi Naïve Bayes Classifier Dan Confusion Matrix Pada Analisis Sentimen Berbasis Teks Pada Twitter," *Jurnal Sains Komputer & Informatika (J-SAKTI)*, vol. 5, no. 2, pp. 697–711, 2021, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.30645/j-sakti.v5i2.369>