

PROPOSAL

PFsains

by Pertamina Foundation

IOT untuk monitoring kualitas udara dengan pendekatan fuzzy bayesian

NAMA TIM PENGUSUL:

- | | |
|-----------------------------------|------------------|
| 1. Marastika wicaksono aji bawono | (Ketua peneliti) |
| 2. Agus Fachrur rozy | (Data analyst) |
| 3. Akhmad Dwi Kurniawan | (Engineer IOT) |
| 4. Annas Fajri Rizky Arya Ardhi | (Data analyst) |

2024



LEMBAR ORISINALITAS KARYA

(Merupakan karya orisinal, belum pernah mendapatkan juara ataupun pendanaan sejenis)

Format Surat :

SURAT PERNYATAAN ORISINALITAS KARYA

Yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Marastika wicaksono aji bawono
NIK : 3201102406900002
Institusi : Universitas Telkom

Dengan ini menyatakan bahwa karya dengan judul ".IOT untuk monitoring Kualitas Udara dengan Pendekatan Fuzzy Bayesian." adalah original (tidak mengandung unsur plagiat di dalamnya) serta belum pernah memenangkan dan atau mendapatkan pendanaan dalam perlombaan atau kompetisi sejenis.

Jika di kemudian hari ditemukan ketidakbenaran informasi, maka saya bersedia didiskualifikasi ataupun dibatalkan dari status pemenang serta tidak berhak mendapatkan pendanaan dalam kompetisi PFsains 2024.

Bogor, 19 Mei 2024

Yang menyatakan,



Marastika wicaksono aji bawono
22900029

SURAT PERNYATAAN KESEDIAAN MENGIKUTI KOMPETISI
PFsains 2024

Yang bertandatangan di bawah ini:

Nama Ketua Team : Marastika wicaksono aji bawono

Institusi : Universitas Telkom

Lokasi Implementasi : Mojokerto

Nama Anggota : Community Cyber Digital Platform

Nama Anggota	No HP/WA	Institusi
Marastika wicaksono aji bawono	082114024571	Universitas Telkom
Agus Fachrur rozy	0819-9953-8700	Universitas Brawijaya
Annas Fajri Rizky Arya Ardhi	0877-8830-8097	Universitas Airlangga
Akhmad Dwi Kurniawan	0815-5995-0030	SMKN 1 Mojokerto

Dengan ini menyatakan bahwa proposal inovasi teknologi/Energi PFSains 2024 dengan judul: IOT untuk monitoring Kualitas Udara dengan Pendekatan Fuzzy Bayesian merupakan karya orisinal kami yang dikerjakan secara berkelompok/team. Bahwasanya tim kami tidak akan bubar selama proses pelaksanaan kompetisi ini berlangsung hingga tahap - implementasi prototipe/purwarupa di lapangan – selesai. Apabila di kemudian hari ditemukan ketidaksesuaian dengan pernyataan ini, maka kami bersedia dituntut dan diproses dengan ketentuan yang berlaku dan mengembalikan seluruh biaya penugasan yang sudah diterima ke Pertamina Foundation.



Demikian pernyataan ini dibuat dengan sesungguhnya dan dengan sebenar-benarnya.

Bogor, 19 Mei 2024

Yang menyatakan,

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Marastika wicaksono aji bawono".

Marastika wicaksono aji bawono

22900029

ABSTRACT

Dalam era modern, kualitas udara yang buruk telah menjadi salah satu masalah lingkungan yang signifikan, berdampak negatif pada kesehatan manusia dan ekosistem. Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi inovatif untuk pemantauan kualitas udara secara real-time, memungkinkan pengumpulan data yang lebih detail dan akurat. Penelitian ini mengusulkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT yang menggabungkan pendekatan fuzzy Bayesian untuk meningkatkan akurasi dan keandalan prediksi kualitas udara. Sistem ini menggunakan berbagai sensor untuk mendeteksi polutan udara utama seperti CO₂, cO₂, PM_{2.5}, Celcius. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini kemudian diproses oleh mikrokontroler dan dikirimkan ke platform cloud untuk analisis lebih lanjut. Pendekatan fuzzy Bayesian diterapkan untuk mengelola ketidakpastian dan variasi dalam data sensor, serta untuk meningkatkan interpretasi hasil pemantauan. Pendekatan fuzzy memungkinkan pengolahan data yang ambigu atau tidak pasti, sementara model Bayesian memberikan kerangka probabilistik untuk membuat prediksi berdasarkan data yang ada. Kombinasi ini menghasilkan sistem yang lebih adaptif dan responsif terhadap perubahan kualitas udara. Hasil dari pengujian sistem menunjukkan peningkatan akurasi prediksi dan keandalan dalam mendeteksi perubahan kualitas udara dibandingkan dengan metode konvensional. Sistem yang diusulkan tidak hanya memberikan pemantauan kualitas udara yang lebih baik tetapi juga dapat digunakan sebagai alat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam kebijakan lingkungan. Dengan menyediakan data kualitas udara secara real-time dan prediksi yang lebih akurat, sistem ini dapat membantu masyarakat dan pemerintah dalam mengambil tindakan preventif untuk mengurangi dampak polusi udara.

Kata kunci: IoT, Kualitas Udara, Fuzzy Bayesian, Pemantauan Real-Time, Polusi Udara, Teknologi Sensor, Model Probabilistik.

BAB I PENDAHULUAN

- 1.1 Latar belakang masalah
- 1.2 Identifikasi kondisi permasalahan
- 1.3 Rumusan Masalah
- 1.4 Tujuan penelitian

BAB II REFERENSI DAN PENJABARAN INOVASI

- 2.1 Landasan teori/konsep

BAB III RENCANA PELAKSANAAN

- 3.1 Waktu dan tempat penelitian
- 3.2 Alat dan bahan IOT monitoring kualitas udara
- 3.3 Tahapan penelitian
- 3.4 Prosedur perancangan perangkat keras (hardware)
- 3.5 Diagram Blok Perancangan Sistem
- 3.6 Tata Cara Perhitungan
- 3.7 Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)
- 3.8 Metode dan Analisis
- 3.9 Laporan Hasil Pengujian Prototipe
- 4.0 Tahapan pengujian prototipe
- 4.1 Metode Bayesian Fuzzy Classification
- 4.2 Pembentukan Scenario
- 4.3 Hasil Simulasi data menggunakan Fuzzyfikasi
- 4.4 Implementasi strategi pemasaran
- 4.5 Hasil pengeolahan data IOT monitoring udara metode Bayesian fuzzyfikasi dengan R-Programming dan google collabs

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Penggunaan IoT dalam pemantauan kualitas udara telah dieksplorasi oleh beberapa peneliti. menekankan pentingnya pemantauan real-time dan potensi IoT untuk meningkatkan kualitas udara [6]. Penelitian sebelumnya mengambil langkah lebih jauh dengan mengusulkan sistem berbasis IoT untuk memantau dan memprediksi polusi udara, dengan menggabungkan algoritma pembelajaran mesin [7]. Penelitian sebelumnya memberikan tinjauan komprehensif mengenai teknologi yang memungkinkan sistem pemantauan kualitas udara berbasis IoT, menyoroti potensi sensor berbiaya rendah dan kebutuhan akan infrastruktur dan protokol yang kuat. Studi-studi ini secara kolektif menggarisbawahi potensi IoT dalam mengatasi tantangan pemantauan kualitas udara [8].

1.2 Identifikasi kondisi permasalahan

Permasalahan pencemaran udara di Jakarta, sebagai ibu kota Indonesia dan salah satu kota metropolitan terbesar di Asia, menimbulkan berbagai masalah serius yang mempengaruhi kesehatan, kualitas hidup, dan lingkungan. Beberapa penyebab utama permasalahan pencemaran udara di kota ini:

a. Transportasi

Kendaraan bermotor, bermobil, transportasi darat seperti kereta dan bus di Jakarta mengalami kemacetan lalu lintas yang parah dengan jutaan kendaraan bermotor di jalan setiap hari. Pembakaran bahan bakar fosil oleh kendaraan ini menghasilkan emisi besar karbon monoksida, nitrogen oksida, hidrokarbon, dan partikulat halus yang berdampak buruk pada kualitas udara.

b. Kualitas bahan bakar rendah

Penggunaan bahan bakar dengan kandungan sulfur tinggi dan teknologi kendaraan yang kurang efisien memperburuk tingkat emisi.

c. Industri

Jakarta dikelilingi oleh berbagai zona industri di daerah seperti Tangerang, Bekasi, dan Karawang. Industri-industri ini melepaskan berbagai polutan seperti sulfur dioksida, nitrogen oksida, amonia, dan partikulat

d. Standar emisi rendah

Kurangnya penegakan regulasi yang ketat atas standar emisi untuk industri sering kali menyebabkan polusi yang tidak terkendali.

e. Pembangunan dan konstruksi

Proyek Konstruksi di Jakarta, yang sedang mengalami perkembangan infrastruktur yang pesat, sering kali memiliki banyak proyek konstruksi yang menghasilkan debu dan partikulat.

f. Pembakaran sampah

Pembakaran Terbuka di beberapa area, pembakaran sampah terbuka masih merupakan praktik umum, meskipun ilegal. Proses ini menghasilkan asap dan polutan berbahaya lainnya seperti dioxin yang berdampak negatif pada kualitas udara.

g. Sumber Alami

Kebakaran Hutan dan Lahan: Asap dari kebakaran hutan dan lahan, terutama dari wilayah Sumatera dan Kalimantan, sering kali mencapai Jakarta, terutama selama musim kemarau, menambah tingkat polusi udara yang sudah tinggi.

h. Fenomena Alam

Erupsi gunung berapi di Indonesia juga bisa menyebabkan peningkatan tiba-tiba dalam partikulat dan gas asam di udara.

i. Faktor Lainnya

Kurangnya ruang hijau penurunan area hijau di Jakarta berkurangnya kemampuan kota untuk menyaring polutan dan memproduksi oksigen, memperburuk kondisi udara.

j. Penggunaan AC dan generator pada penggunaan peralatan yang menghasilkan panas dan emisi juga menambah beban polusi di atmosfer kota.

Dalam menghadapi tantangan ini, pengembangan sistem monitoring kualitas udara dengan pendekatan *fuzzy bayesian* menjadi solusi yang menjanjikan. Sistem ini mengintegrasikan konsep *fuzzy logic* untuk mengatasi ketidakpastian dalam data dan pendekatan bayesian untuk mengklasifikasikan data dengan memperhitungkan probabilitasnya.

1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang sudah dibahas sebelumnya maka rumusan masalah yang digunakan adalah:

1. Bagaimana Internet of thing melakukan pengukuran kualitas udara?
2. Metode apa yang sesuai untuk menganalisa hasil dari IOT monitoring kualitas udara?

1.4 Tujuan penelitian

Penelitian ini berkaitan dengan poin SDGs, atau sustainable development goals (tujuan pembangunan berkelanjutan) sebagai berikut :

A. Good health and well-being (kesehatan yang baik dan kesejahteraan)

Monitoring pencemaran udara secara langsung berhubungan dengan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) ke-3, yaitu "Good Health and Well-being" atau "Kesehatan yang Baik dan Kesejahteraan". Tujuan penelitian monitoring pencemaran udara dalam konteks ini biasanya meliputi aspek-aspek berikut:

a. Mengidentifikasi sumber polusi

Penelitian bertujuan untuk mengidentifikasi dan memetakan sumber-sumber utama pencemaran udara di area tertentu. Hal ini penting untuk menentukan langkah-langkah pengendalian yang efektif dan mengurangi paparan polutan bagi penduduk setempat.

b. Evaluasi dampak kesehatan

Monitoring pencemaran udara membantu dalam mengkaji dampak langsung polusi terhadap kesehatan masyarakat. Misalnya, penelitian bisa fokus pada hubungan antara eksposur partikulat halus (PM2.5) dan masalah kesehatan seperti penyakit pernapasan, penyakit kardiovaskular, atau penurunan fungsi paru.

c. Pengembangan kebijakan kesehatan publik

Hasil dari monitoring pencemaran udara dapat digunakan untuk mengembangkan atau menyempurnakan kebijakan kesehatan publik dan regulasi yang bertujuan untuk mengurangi emisi polutan.

Ini termasuk kebijakan tentang batas emisi untuk industri dan kendaraan, serta promosi penggunaan energi bersih.

d. Penyuluhan dan pendidikan masyarakat

Memberikan informasi kepada masyarakat mengenai risiko kesehatan dari pencemaran udara dan cara-cara untuk mengurangi paparan merupakan bagian penting dari meningkatkan kesejahteraan umum. Penelitian monitoring dapat menyediakan data yang diperlukan untuk kampanye edukasi dan intervensi kesehatan.

e. Peningkatan respons darurat dan kesiapsiagaan

Dengan memahami pola dan tingkat pencemaran udara, pemerintah dan lembaga kesehatan dapat lebih baik dalam merespons keadaan darurat polusi udara, seperti kejadian kabut asap yang parah, dan melindungi kesehatan publik melalui peringatan dini dan tindakan pencegahan yang efektif.

f. Kolaborasi internasional dan pertukaran data

Penelitian ini sering memerlukan kolaborasi lintas batas dan pertukaran data antar negara atau wilayah. Ini penting terutama di wilayah yang berbagi ekosistem atau di mana polusi udara menyeberang batas internasional.

Dengan demikian, tujuan utama dari penelitian monitoring pencemaran udara dalam konteks "Good Health and Well-being" adalah untuk mengurangi beban penyakit yang berhubungan dengan polusi udara, mempromosikan kesehatan publik dan kesejahteraan, serta mendukung kebijakan berbasis bukti yang dapat melindungi dan meningkatkan kualitas hidup masyarakat

B. Affordable and clean energy (energi bersih dan terjangkau)

Tujuan penelitian monitoring pencemaran udara dalam konteks "Affordable and Clean Energy" (Energi Bersih dan Terjangkau), yang merupakan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) ke-7 dari Perserikatan Bangsa-Bangsa, mencakup beberapa aspek kritis. Penelitian ini berfokus pada identifikasi cara-cara untuk meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi dampak lingkungan dari penggunaan energi.

Berikut adalah beberapa tujuan spesifik dari penelitian tersebut:

a. Evaluasi dampak lingkungan dari sumber energi

Penelitian bertujuan untuk memahami dampak lingkungan dari berbagai sumber energi yang digunakan saat ini, termasuk batu bara, minyak, gas, biomassa, dan sumber energi terbarukan. Monitoring pencemaran udara membantu menentukan seberapa besar emisi polutan yang dihasilkan oleh setiap sumber energi ini.

b. Pengembangan dan promosi energi bersih

Penelitian ini digunakan untuk mengidentifikasi dan mengembangkan teknologi energi yang lebih bersih dan lebih efisien, yang menghasilkan polutan lebih sedikit. Tujuannya adalah untuk mendukung transisi ke energi terbarukan seperti tenaga surya, angin, hidroelektrik, dan biomassa yang memiliki dampak lingkungan yang lebih rendah.

c. Optimalisasi kebijakan energi

Hasil dari penelitian ini dapat informasikan pembuatan kebijakan yang bertujuan untuk mengurangi ketergantungan pada bahan bakar fosil dan meningkatkan investasi dalam energi terbarukan. Kebijakan ini bisa mencakup insentif untuk energi bersih, tarif untuk energi terbarukan, dan regulasi yang lebih ketat untuk emisi dari pembangkit listrik dan industri.

d. Peningkatan kesadaran dan pendidikan

Monitoring dan penelitian terkait pencemaran udara dari sumber energi dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran publik tentang pentingnya energi bersih. Edukasi ini penting untuk mendukung perubahan perilaku dan pilihan konsumsi energi di kalangan masyarakat.

e. Penilaian risiko dan manajemen

Penelitian dapat membantu dalam mengembangkan strategi manajemen risiko yang berhubungan dengan pencemaran udara dari penggunaan energi. Ini termasuk penilaian kesehatan masyarakat dan risiko lingkungan, serta pengembangan rencana mitigasi dan adaptasi.

f. Kolaborasi dan pengembangan teknologi

Penelitian ini memerlukan kolaborasi antar negara dan antar sektor untuk mengembangkan solusi teknologi yang bisa mengurangi emisi sambil memastikan akses energi yang terjangkau dan andal. Penelitian ini juga bisa mendukung inovasi dalam penyimpanan energi, efisiensi energi, dan teknologi pengurangan emisi.

Dengan demikian, tujuan dari penelitian monitoring pencemaran udara dalam konteks "Affordable and Clean Energy" adalah untuk mempromosikan penggunaan energi yang lebih bersih dan lebih efisien yang mendukung perlindungan lingkungan dan pengembangan sosial ekonomi yang berkelanjutan.

C. Sustainable cities and communities (kota dan komunitas berkelanjutan)

Penelitian monitoring pencemaran udara dalam konteks "Sustainable Cities and Communities" (Kota dan Komunitas Berkelanjutan), yang merupakan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) ke-11 dari Perserikatan Bangsa-Bangsa, bertujuan untuk mendukung pengembangan kota-kota yang dapat memberikan kualitas hidup yang baik sambil meminimalkan dampak lingkungan. Berikut beberapa tujuan spesifik dari penelitian ini:

a. Peningkatan kualitas udara

Tujuan utama dari monitoring pencemaran udara adalah untuk mengidentifikasi tingkat dan sumber utama polusi udara di kota-kota. Hal ini penting untuk mengembangkan strategi yang dapat mengurangi tingkat pencemaran udara dan memenuhi standar kualitas udara yang sehat untuk mendukung kehidupan perkotaan yang berkelanjutan.

b. Mendukung perencanaan kota yang berkelanjutan

Data dari penelitian monitoring dapat digunakan untuk menginformasikan perencanaan perkotaan, termasuk desain kota yang lebih hijau, integrasi transportasi umum yang efisien dan rendah emisi, serta pengembangan infrastruktur yang mendukung gaya hidup yang lebih ramah lingkungan dan kesehatan masyarakat.

c. Mengurangi risiko kesehatan

Dengan mengidentifikasi polutan udara dan memetakan area yang paling terdampak, kota dapat mengembangkan rencana untuk mengurangi paparan polutan, khususnya di komunitas rentan seperti di dekat zona industri atau daerah lalu lintas tinggi. Ini dapat memperbaiki kondisi kesehatan umum penduduk.

d. Edukasi dan keterlibatan masyarakat

Penelitian bertujuan untuk meningkatkan kesadaran dan keterlibatan masyarakat dalam isu-isu pencemaran udara. Dengan pendidikan dan partisipasi aktif dari warga, kota dapat lebih efektif dalam mengimplementasikan kebijakan yang mendukung pengurangan polusi udara.

e. Pengembangan kebijakan dan regulasi

Hasil dari monitoring dan penelitian dapat memandu pembuatan kebijakan dan regulasi yang lebih efektif untuk mengendalikan sumber polusi udara, mengatur pembangunan berkelanjutan, dan menjamin kualitas hidup yang baik di kota.

f. Adaptasi dan mitigasi perubahan Iklim

Kota-kota merupakan kontributor besar terhadap emisi gas rumah kaca, dan oleh karena itu, mengurangi pencemaran udara juga berkaitan dengan mitigasi perubahan iklim. Penelitian ini dapat membantu kota dalam mengidentifikasi langkah-langkah yang efektif untuk mengurangi jejak karbon mereka dan adaptasi terhadap dampak perubahan iklim.

g. Penggunaan teknologi bersih dan inovasi

Penelitian dapat mendorong penggunaan dan pengembangan teknologi bersih dan inovasi dalam manajemen polusi udara. Hal ini termasuk penerapan teknologi pemantauan udara canggih, solusi berbasis AI untuk prediksi polusi, dan teknologi pengolahan udara yang lebih efisien.

Dengan cara ini, monitoring pencemaran udara membantu kota dan komunitas dalam menghadapi tantangan perkotaan kontemporer, mendukung pertumbuhan yang inklusif, aman, tahan banting, dan berkelanjutan. Selain itu, hasil penelitian ini

memberikan dasar ilmiah yang kuat untuk intervensi dan kebijakan yang berorientasi pada masa depan untuk menciptakan kota yang lebih layak huni dan lestari.

D. Climate action (tindakan untuk iklim)

Penelitian monitoring pencemaran udara dalam konteks "Climate Action" (Tindakan untuk Iklim), yang merupakan Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (SDG) ke-13 dari Perserikatan Bangsa-Bangsa, sangat penting untuk mengatasi perubahan iklim global. Tujuan utama dari penelitian ini meliputi:

a. Memahami sumber dan dampak polutan

Monitoring pencemaran udara bertujuan untuk mengidentifikasi dan memahami sumber-sumber utama polusi udara, termasuk gas rumah kaca yang mempengaruhi perubahan iklim. Mengetahui polutan seperti karbon dioksida (CO₂), metana (CH₄), dan karbon hitam membantu dalam menilai dampak mereka terhadap pemanasan global dan perubahan iklim.

b. Evaluasi pengurangan emisi

Penelitian ini dapat mengevaluasi efektivitas kebijakan dan teknologi yang telah diterapkan untuk mengurangi emisi polutan. Data dari monitoring membantu pemerintah dan organisasi dalam menilai apakah target pengurangan emisi mereka tercapai dan bagaimana strategi ini dapat ditingkatkan.

c. Model prediktif perubahan iklim

Data dari monitoring pencemaran udara digunakan untuk mengembangkan dan memperbaiki model prediktif perubahan iklim. Model-model ini penting untuk memahami bagaimana polusi udara dari berbagai sumber akan mempengaruhi iklim di masa depan dan membantu dalam perencanaan adaptasi dan mitigasi perubahan iklim.

d. Pengembangan strategi mitigasi dan adaptasi

Hasil penelitian memberikan dasar ilmiah untuk pengembangan strategi mitigasi yang efektif untuk mengurangi emisi gas rumah kaca serta strategi adaptasi untuk mengurangi kerentanan terhadap dampak negatif perubahan iklim, seperti kenaikan suhu dan perubahan pola cuaca.

e. Kebijakan dan regulasi global

Penelitian monitoring pencemaran udara mendukung pembuatan kebijakan dan regulasi internasional yang berhubungan dengan perubahan iklim. Kesadaran publik dan edukasi

Meningkatkan kesadaran publik tentang hubungan antara pencemaran udara dan perubahan iklim. Edukasi membantu masyarakat memahami pentingnya mengurangi emisi dari aktivitas sehari-hari dan mendukung kebijakan yang berfokus pada keberlanjutan dan perlindungan lingkungan.

f. Kolaborasi internasional

Memfasilitasi kolaborasi internasional dalam penelitian dan pengembangan teknologi yang dapat mengurangi pencemaran udara dan dampaknya terhadap iklim. Kolaborasi ini juga melibatkan pertukaran data dan strategi terbaik antar negara untuk melawan perubahan iklim secara efektif.

Dengan demikian, tujuan dari penelitian monitoring pencemaran udara dalam konteks "Climate Action" adalah untuk memberikan data dan analisis yang membantu dunia dalam mencapai pengurangan emisi yang signifikan, memahami dampak perubahan iklim, dan mendorong tindakan global untuk melindungi planet ini untuk generasi saat ini dan yang akan datang.

4. Manfaat/Proyeksi Hasil

1. Peningkatan kesehatan masyarakat dengan memberikan estimasi kualitas udara yang akurat dan relevan dengan potensi dampaknya terhadap kesehatan manusia, sistem ini dapat membantu dalam mengurangi risiko terkena penyakit yang disebabkan oleh polusi udara. Informasi yang tepat waktu dan akurat memungkinkan masyarakat untuk mengambil tindakan pencegahan yang diperlukan, seperti menghindari area dengan tingkat polusi tinggi atau menggunakan masker pelindung.
2. Perlindungan lingkungan dengan sistem ini dapat membantu dalam melindungi lingkungan alam sekitar dengan memberikan informasi yang diperlukan untuk mengidentifikasi sumber-sumber polusi udara dan mengambil tindakan yang tepat untuk mengurangi emisi polutan. Hal ini dapat membantu dalam menjaga keberlanjutan lingkungan dan mencegah kerusakan lebih lanjut pada ekosistem.

3. Peningkatan kualitas hidup dengan memungkinkan pengambilan keputusan yang tepat berdasarkan hasil monitoring kualitas udara, sistem ini dapat berkontribusi pada peningkatan kualitas hidup masyarakat secara keseluruhan. Lingkungan yang lebih bersih dan sehat akan menciptakan kondisi yang lebih baik untuk kehidupan manusia, termasuk meningkatkan produktivitas, kesejahteraan, dan kualitas hidup secara keseluruhan.
4. Efisiensi pengelolaan sumber daya dengan memberikan informasi yang lebih akurat tentang tingkat pencemaran udara dan dampaknya, sistem ini dapat membantu dalam mengelola sumber daya secara lebih efisien. Ini termasuk penggunaan bahan bakar dan energi yang lebih efisien, pengembangan kebijakan lingkungan yang lebih efektif, dan alokasi sumber daya yang lebih baik untuk mitigasi polusi udara.
5. Peningkatan kesadaran lingkungan dengan menyediakan informasi yang jelas dan mudah dimengerti tentang kualitas udara dan dampaknya, sistem ini dapat membantu dalam meningkatkan kesadaran masyarakat tentang pentingnya menjaga lingkungan. Ini dapat mendorong perilaku yang lebih bertanggung jawab terkait dengan penggunaan sumber daya dan aktivitas yang berpotensi menciptakan polusi udara.

BAB II REFERENSI DAN PENJABARAN INOVASI

1.2 Landasan teori/konsep

Pengurangan CO₂ emisi dalam jangka pendek dan jangka panjang, menunjukkan potensinya peranannya dalam kelestarian lingkungan hidup [1]. Jumlah alat transportasi yang menggunakan bahan bakar fosil terus bertambah juga sangat mempengaruhi peningkatan penggunaan minyak bumi, yang nantinya dapat mengganggu keseimbangan ekosistem kawasan yang berdampak pada makhluk hidup lainnya [2]. Tren degradasi lingkungan global, yang ditandai dengan meningkatnya emisi karbon dioksida (CO₂) dan meluasnya jejak ekologis, menimbulkan risiko besar terhadap bumi dan menyebabkan pemanasan global [3]. Karbon dioksida (CO₂) adalah gas rumah kaca utama yang bertanggung jawab atas pemanasan global dan perubahan iklim [4]. Selain itu, analisis terpadu Indeks Kualitas Udara dan kondisi meteorologi di Jakarta mengungkapkan hubungan sebab akibat antara polutan dan faktor meteorologi, sehingga menyoroti pentingnya memahami dinamika ini untuk langkah-langkah pengendalian polusi yang efektif [5].

A. Sensor MQ-135

Sensor MQ-135 adalah jenis sensor kimia yang sensitif terhadap senyawa NH₃, NO_x, alkohol, benzol, asap (CO), CO₂, dan lain-lain. Sensor ini bekerja dengan cara menerima perubahan nilai resistansi (analog) bila terkena gas. Sensor ini memiliki daya tahan yang baik untuk penggunaan penanda bahaya polusi karena praktis dan tidak memakan daya yang besar. Penyesuaian sensitifitas sensor ditentukan oleh nilai resistansi dari MQ-135 yang berbeda-beda untuk berbagai konsentrasi gas-gas. Jadi, Ketika menggunakan komponen ini, penyesuaian sensitifitas sangat diperlukan. Selain itu, kalibrasi pendeteksian konsentrasi NH₃ sebesar 100 ppm atau alkohol sebesar 50 ppm di udara.

B. Sensor DHT 22

Sensor DHT22 merupakan sensor pendeteksi suhu dan kelembapan dan ESP 32 merupakan mikrokontroller sebagai perangkat yang dapat terhubung dengan wifi. Dengan terhubungnya perangkat pada suatu sistem maka diciptakanlah pengembangan alat untuk menstabilkan suhu dan kelembapan secara otomatis.

C. Polusi Udara di Indonesia

Berdasarkan Laporan Air Quality Life Index Maret 2019 diketahui bahwa dalam dua dekade terakhir kadar PM2.5 mengalami peningkatan yang cukup signifikan dari 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ menjadi 22 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Standar PM2.5 sendiri adalah partikel yang berukuran 2,5 mikron atau bahkan lebih kecil. Partikel ini tak kasat mata dan bisa terhirup dan menumpuk di paru-paru yang bisa menyebabkan kematian dini pada seseorang. Partikel PM2.5 berasal dari polusi berbagai kendaraan bermotor, kebakaran hutan, pembakaran kayu, minyak, batubara, asap pabrik dan lain sebagainya. PM2.5 juga bisa berada di dalam ruangan, hal ini bisa dipicu oleh asap rokok, proses pembakaran saat memasak, pembakaran lilin, dan lain sebagainya.

D. Inovasi yang ditawarkan

Tentukan kategori inovasi teknologi/energi yang diciptakan Internet of thing untuk monitoring kualitas udara di Jakarta

E. Keunggulan Inovasi teknologi/energi

Penggunaan IoT dalam monitoring kualitas udara di Jakarta membawa beberapa keunggulan signifikan yang dapat meningkatkan efisiensi, ketepatan, dan responsivitas dalam mengatasi pencemaran udara. Berikut adalah beberapa keunggulan dari penerapan IoT untuk monitoring kualitas udara:

a. Pemantauan real-time

IoT memungkinkan pengumpulan data kualitas udara secara real-time melalui sensor yang tersebar luas di berbagai lokasi. Dengan data yang

terus-menerus diperbarui, pemangku kepentingan dapat melihat perubahan kualitas udara sesaat dan mengidentifikasi pola atau peristiwa pencemaran secara cepat dan akurat.

b. Pemantauan skala besar

Sensor IoT dapat ditempatkan di berbagai titik di seluruh kota, yang memungkinkan pemantauan kualitas udara secara luas dan terpadu. Hal ini sangat bermanfaat di kota besar seperti Jakarta, di mana variabilitas kualitas udara bisa sangat tinggi antara satu wilayah dengan wilayah lainnya

c. Pengurangan biaya

Dibandingkan dengan stasiun pemantauan tradisional, sensor IoT umumnya lebih murah dan lebih mudah dipasang dan dipelihara. Ini memungkinkan penyebaran jaringan monitoring yang lebih luas dengan anggaran yang sama, meningkatkan cakupan dan resolusi data.

d. Analisis data

IoT memfasilitasi pengumpulan data besar yang dapat dianalisis menggunakan teknik analitik canggih dan pembelajaran mesin untuk memahami tren pencemaran udara, memprediksi peristiwa pencemaran masa depan, dan merancang intervensi yang lebih efektif.

e. Respon cepat terhadap peristiwa pencemaran

Dengan IoT, sistem dapat dikonfigurasi untuk mengirimkan peringatan otomatis ketika tingkat polutan melebihi batas aman. Hal ini memungkinkan pemerintah dan badan terkait untuk merespons dengan cepat, seperti dengan memberlakukan pembatasan lalu lintas atau memberi tahu publik tentang risiko kesehatan.

f. Integrasi dengan sistem Lain

IoT memungkinkan integrasi data kualitas udara dengan sistem informasi geografis (GIS) dan platform manajemen kota lainnya, yang memungkinkan perencanaan perkotaan yang lebih holistik dan berbasis data untuk meningkatkan kualitas hidup warga.

g. Keterlibatan masyarakat

IoT juga memungkinkan pengembangan aplikasi mobile yang dapat memberikan informasi kualitas udara kepada masyarakat secara real-time. Akses informasi ini meningkatkan kesadaran publik dan memungkinkan individu untuk mengambil tindakan perlindungan diri serta berpartisipasi lebih aktif dalam kegiatan pengurangan polusi.

BAB III RENCANA PELAKSANAAN

3.1 Waktu dan tempat penelitian

Penelitian ini di lakukan di bulan Maret 2024 s/d Mei 2024

Tabel 3.1 Jadwal pelaksanaa penelitian

No	Thn/Bln Kegiatan	Apr-24						Mei 2024						Juni 2024						TAHUN 2025					
		1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
1	Study Literatur Review																								
2	Perancangan sistem IOT																								
3	Perancangan dashboard visualisasi																								
4	Pengujian Prototipe																								
5	Analisa data uji prototipe																								
6	Pembuatan laporan penelitian																								
7	Pemasaran produk prototipe IOT																								

3.2 Alat dan bahan IOT monitoring kualitas udara

Penelitian ini memerlukan peralatan dan beberapa bahan untuk membuat rancang bangun sistem monitoring kualitas udara berbasis IoT. Peralatan dan bahan yang digunakan adalah sebagai penunjang utama untuk membuat kerangka dan sistem pada alat monitor ini. Adapun peralatan yang digunakan dalam melakukan penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 3.2 sebagai berikut.

Tabel 3.2 Perangkat yang di gunakan

No	Nama	Fungsi
1.	Laptop	Melakukan coding pemograman software Arduino IDE.
2.	Handphone dan PC	Melakukan visualisasi hasil monitoring kualitas udara

3.	Kabel USB	Mentransmisikan dan mengupload suatu program
4.	Multimeter	Mengukur besaran voltage arus listrik
5.	Peralatan lain	Solder, gunting, bor, obeng

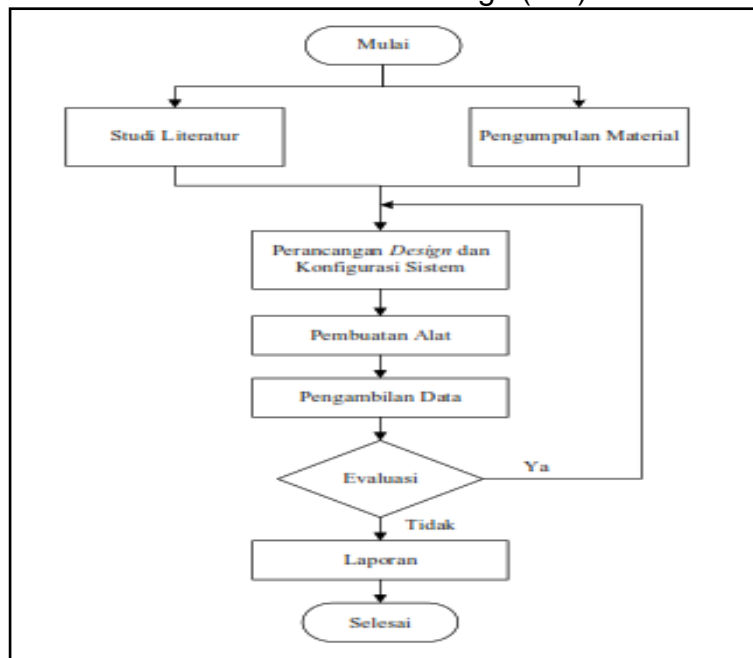
Penelitian ini ditunjang dengan beberapa bahan atau komponen elektronik yang digunakan. Daftar komponen tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3.3 Komponen dan fungsi IOT

No	Nama	Fungsi
1	Node MCU ESP32	modul mikrokontroler terintegrasi yang memiliki fitur lengkap dan kinerja tinggi.
2	Sensor MQ-135	sensor yang memonitor kualitas udara untuk mendeteksi gas amonia (NH ₃), natrium-(di)oksida (NO _x), alkohol / ethanol (C ₂ H ₅ OH), benzena (C ₆ H ₆), arbondioksida (CO ₂), gas belerang / sulfur-hidroksida (H ₂ S) dan asap / gas-gas lainnya di udara
3	Sensor DHT	merupakan paket sensor yang berfungsi untuk mengukur suhu dan kelembaban
4.	Jumper	Penghubung dengan antara 2 atau lebih kompone elektronika
5.	Protoboard	Sebagai media penyimpanan penyusunan rangkaian
6.	Power supply	Pemberi daya listrik untuk satu atau dua beban
7.	LCD 20x4	Penampil data nilai keluaran pada layar

3. 3 Tahapan penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yang mendasari pembuatan sistem monitoring kualitas udara berbasis internet of things (IoT).



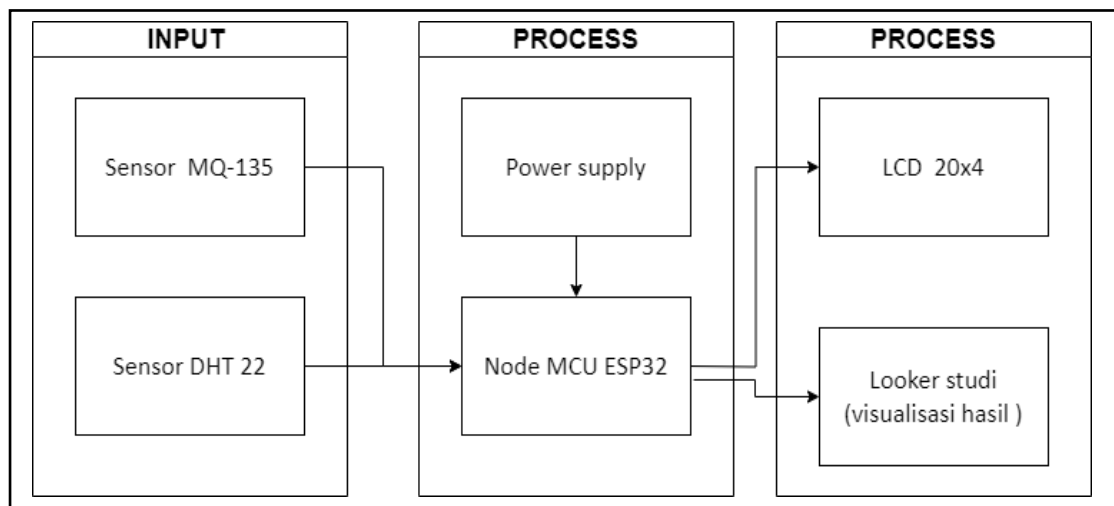
Tabel 3.4 Alur proses pembuatan

Tahapan penelitian ini secara umum juga didefinisikan sebagai perencanaan konsep tentang alur penelitian agar lebih mudah dan efisien. Tahap penelitian pertama adalah melakukan studi literatur dengan mencari referensi materi, riset dan mempelajari nsep-konsep yang terkait tentang sistem monitoring kualitas udara berbasis Internet of Things (IoT). Tahap berikutnya adalah pengumpulan material seperti menyiapkan alat dan bahan yang digunakan kemudian melakukan perancangan design dan konfigurasi. sistem dengan menggunakan software fritzing. Perancangan ini dilakukan sebagai gambaran konsep wiring setiap komponen sensor sebelum dilakukan pembuatan alat atau realisasi perangkat keras. Tahap berikutnya adalah pengujian dan

pengambilan data. Jika monitoring berhasil dijalankan dan data keluaran sesuai dengan yang diharapkan, maka melakukan analisis hasil dengan mengacu pada standar indeks pencemaran udara yang ada.

3.4 Prosedur perancangan perangkat keras (hardware)

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini adalah laptop atau pc yang digunakan untuk membuat website monitoring, Node MCU ESP32 sebagai unit kontrol, power supply sebagai sumber tegangan, sensor MQ-135, Sensor DHT 22 dan LCD 20x4. Adapun tampilan diagram blok sistem yang dibuat dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

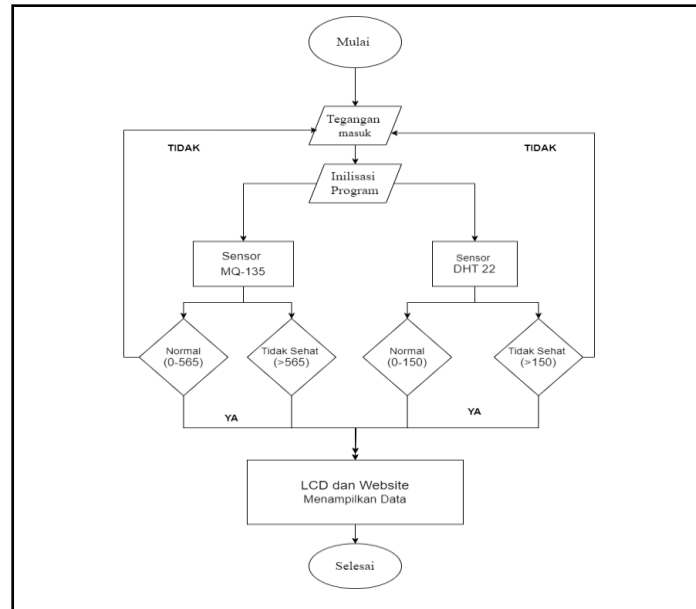


Gambar 3.5 Diagram Blok Perancangan Sistem

Berdasarkan Gambar 3.5 menu input meliputi tentang sistem menerima data masukan pengukuran melalui pin analog (ADC) sensor. Sensor akan mendeteksi keberadaan dari parameter zat yang diukur kemudian data dikirim ke menu proses yaitu pada Node MCU ESP32.

Pada bagian menu process, data yang masuk merupakan data digital yang telah dikonversi sebelumnya (ADC). Pengolahan sinyal PWM Node MCU ESP32 dari sensor kemudian dikirim ke bagian output sistem. Bagian menu output merupakan tampilan data keluaran dengan menggunakan LCd 20x4 dan website monitoring. Perancangan perangkat keras ini merupakan gabungan dari beberapa komponen sensor dan komponen lainnya yang telah terintegrasi. Perancangan ini melibatkan

seluruh komponen sehingga disebut sebagai perangkat keseluruhan alat. Alat yang dibuat melakukan processing tegangan masuk yang berasal dari power supply kemudian menginisialisasi program oleh unit kontrol (mikrokontroler). Mikrokontroler akan mentransmisikan perintah program dan diterima oleh sensor sehingga dapat mendeteksi kadar zat polutan.



Gambar 3.6 Diagram Alir Sistem Keseluruhan

Sistem akan melakukan pengondisian zat polutan terukur dengan mengategorikan aman atau tidak sehat. Data akhir merupakan data hasil pengukuran yang tertampil pada layar LCD 20x4 dan website monitoring.

3.5 Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

ISPU merupakan angka tanpa satuan, digunakan untuk menggambarkan kondisi mutu udara ambien di lokasi tertentu dan didasarkan kepada dampak terhadap kesehatan manusia, nilai estetika dan makhluk hidup lainnya. Khusus untuk daerah rawan terdampak kebakaran hutan dan lahan, informasi ini dapat digunakan sebagai early warning system atau sistem peringatan dini bagi masyarakat sekitar. Tujuan memberikan kemudahan dari keseragaman informasi mutu udara ambien kepada masyarakat di lokasi dan waktu tertentu serta sebagai bahan pertimbangan dalam melakukan upaya-upaya pengendalian pencemaran udara baik bagi pemerintah pusat maupun pemerintah daerah.

3.6 Tata Cara Perhitungan

menggunakan persamaan

$$I = \frac{(I_a - I_b)}{(X_a - X_b)} (X_x - X_b) + I_b \dots \dots \dots (1)$$

I = ISPU terhitung

I_a = ISPU Batas atas

I_b = ISPU Batas bawah

X_a = Konsentrasi batas atas µg/m³

X_b = Konsentrasi batas bawah µg/m³

X_x = Konsentrasi ambien nyata hasil pengukuran µg/m³

Rentang	Kategori	Penjelasan
1-50	Baik	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan dan tumbuhan
51-100	Sedang	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan dan tumbuhan.
101-200	Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan dan tumbuhan.
201-300	Sangat Tidak Sehat	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
301+	Berbahaya	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.

Gambar 3.7 Kategori Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

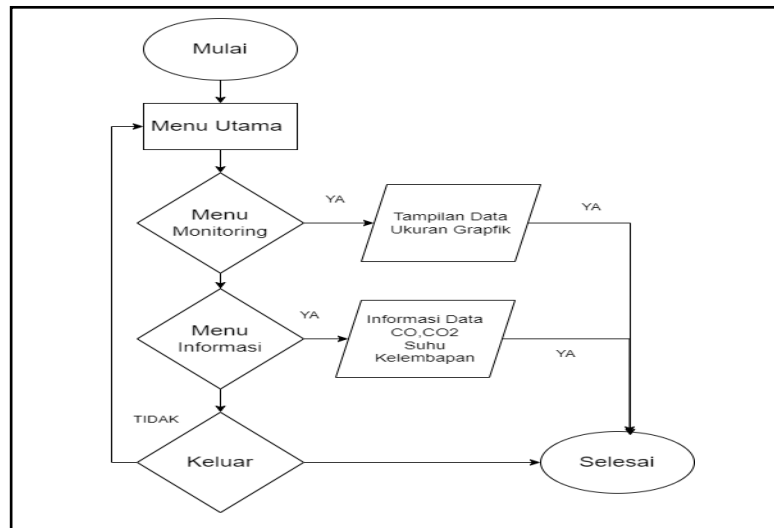
Sumber : <https://ditppu.menlhk.go.id/>

Berdasarkan data US Environmental Protection Agency berikut adalah standar level PM 2.5. Dengan Indonesia yang berada pada level sedang saat ini, polusi udara sudah menjadi hal yang perlu dipertimbangkan karna ada kecenderungan peningkatan yang terjadi terus-menerus seiring waktu.

3.7 Prosedur perancangan perangkat lunak (software)

Perancangan perangkat lunak berupa logika algoritma pemrograman mulai dari pembacaan data sensor, melakukan perhitungan terhadap data yang didapat dan klasifikasi data. Perancangan sistem antar muka (interface) website monitoring menggunakan bahasa HTML, CSS dan Javascript. Sedangkan pada sisi database sistem atau cloud system menggunakan bahasa PHP yang terintegrasi dengan XAMPP.

Pemrograman dilakukan dengan menggunakan text editor Visual Studio Code (VSCode). Website ini akan menampilkan hasil monitoring dalam bentuk data card dan graphic serta terdapat informasi yang diberikan tentang kualitas udara. Adapun flowchart yang tertampil pada Gambar 3.5 sebagai berikut.



Gambar 3.8 Diagram Alir Sistem Antar Muka

Berdasarkan Gambar 3.8 data hasil pengukuran kondisi kualitas udara diproses oleh Node MCU ESP32. Data yang masuk tersebut akan diproses dan disimpan didalam database MySQL kemudian ditampilkan ke website monitoring secara real time. Website akan terus terintegrasi dengan alat ketika data internet telah terkoneksi dengan sistem, jika tidak maka monitoring tidak akan berjalan. Di bawah ini merupakan tampilan mock up antar muka website yang akan dibuat terlihat pada Gambar 3.8 Mockup visualisasi antar muka hasil berikut.

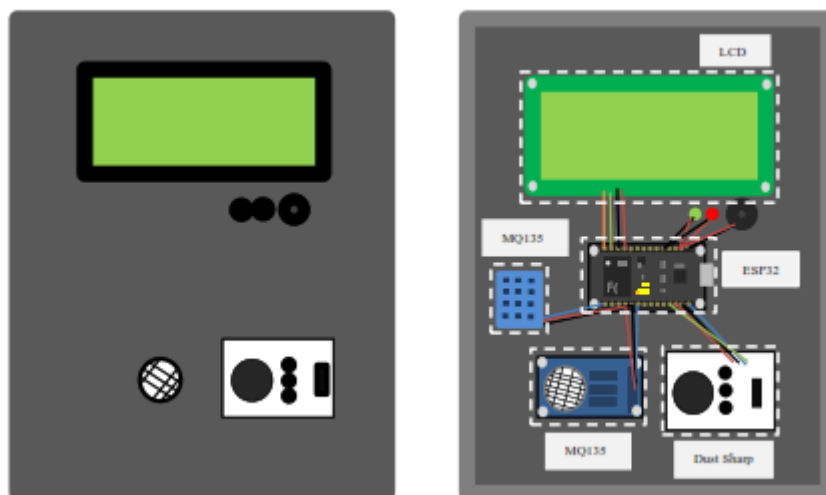


Gambar 3.9 Mockup visualisasi antar muka hasil

Pada Gambar 3.9 di atas, website tersebut memiliki 3 menu utama yaitu navbar, sidebar dan container. Pada bagian navbar berisi tampilan logo profile. Pada bagian sidebar berisi tombol menu dan unit toggler untuk perlebar layar. Sedangkan pada bagian container berisi data card, graphic chard dan pie chard. Data card berfungsi untuk menampilkan data hasil pengukuran secara angka dalam satuan $\mu\text{g}/\text{m}^3$ graphic chard berfungsi untuk menampilkan data dalam bentuk grafik dan pie chard berfungsi untuk menampilkan indeks kualitas udara dengan 3 indikator yaitu aman jika nilai pengukuran berada pada indeks ISPU sebesar 0-50, sedang jika nilai pengukuran berada pada indeks ISPU 51-100 dan tidak sehat jika nilai pengukuran berada pada indeks ISPU lebih dari 100.

3.8 Desain dan Pembuatan Alat

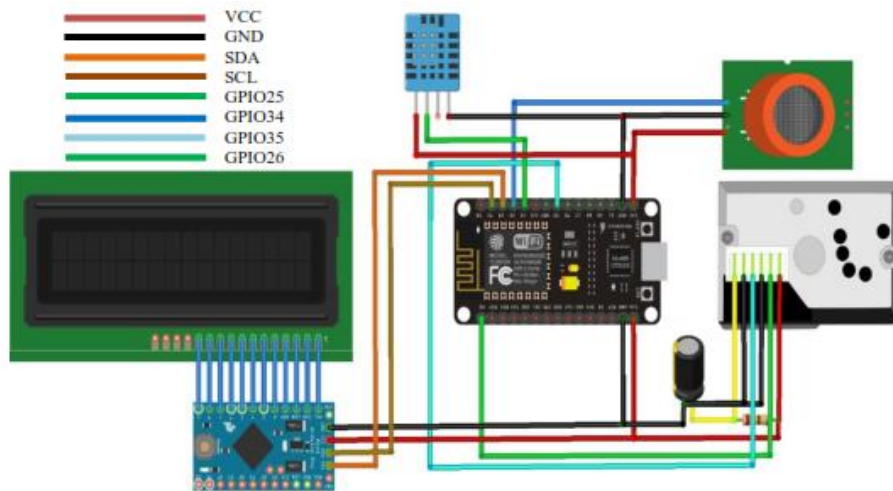
Sensor MQ-135, Sensor DHT dan mikrokontroler diletakan pada sensor box. LCD 20x4 dihubungkan ke Mikrokontroler Node MCU ESP32 yang terhubung dengan modul sensor menggunakan jumper. Nilai setiap parameter akan ditampilkan pada LCD 20x4 dengan berbasis internet of things



Gambar 3.10 Desain alat tampak depan dan dalam

Sensor MQ-135 akan bekerja mendeteksi kadar gas NO_2 dan sensor CO_2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ akan bekerja untuk mendeteksi kadar materi partikulat PM_{10} di udara. Sketsa rangkaian dibuat dengan memerhatikan wiring disetiap komponen atau modul sensor dan layar LCD 20x4.

Di bawah ini merupakan sketsa wiring alat yang ditampilkan pada Gambar 3.7 berikut.



Gambar 3.11 Wiring keseluruhan kompone

3.8 Metode dan Analisis

Hasil dari luaran yang dihasilkan oleh alat pemantau kualitas udara kemudian dilakukan klasifikasi dengan menggunakan Metode Bayesian Fuzzy Classification. Metode Fuzzy Naive Bayes merupakan gabungan antara teori himpunan fuzzy dan klasifikasi naive bayes. Penggunaan logika fuzzy memungkinkan penjelasan terhadap faktor-faktor ketidakpastian dalam proses pengelompokan, sehingga meminimalkan kesalahan dalam klasifikasi. Sementara itu, metode Naive Bayes memanfaatkan probabilitas untuk mengklasifikasikan data. Dengan demikian, kombinasi kedua metode ini memungkinkan penggunaan logika fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian dalam klasifikasi berdasarkan probabilitas (Putra, Purnawan, & Putri, 2018). Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk membentuk klasifikasi pencemaran udara adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan dan serta mendeskripsikan data yang telah dikumpulkan berdasarkan luaran alat.
2. Menentukan himpunan semesta pada setiap variabel dengan menggunakan persamaan:

$$U = [D_{min}, D_{max}]$$

Dimana U merupakan semesta pembicaraan, D_{min} adalah nilai terkecil dari data, D_{max} nilai terbesar dari data.

3. Melakukan perhitungan probabilitas (prior) untuk setiap kelas interval tingkat pencemaran udara menggunakan persamaan (Saputra, 2020):

$$P(S_i) = \frac{N(S_i)}{N(S)}$$

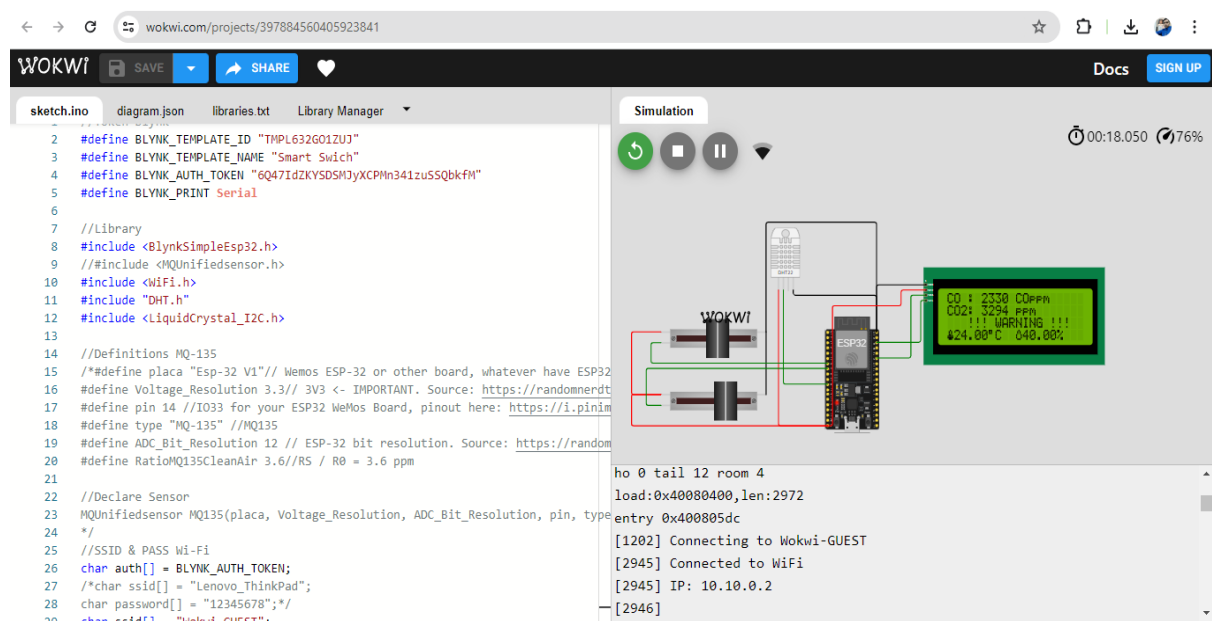
4. Menghitung nilai likelihood berdasarkan hasil fuzzyfikasi dan nilai probabilitas (prior) yang telah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P(X|S_i) = \sum_{j=1}^n P(x_j | S_i) * \mu(x_j) \text{ dengan } j = 1, 2, \dots, m$$

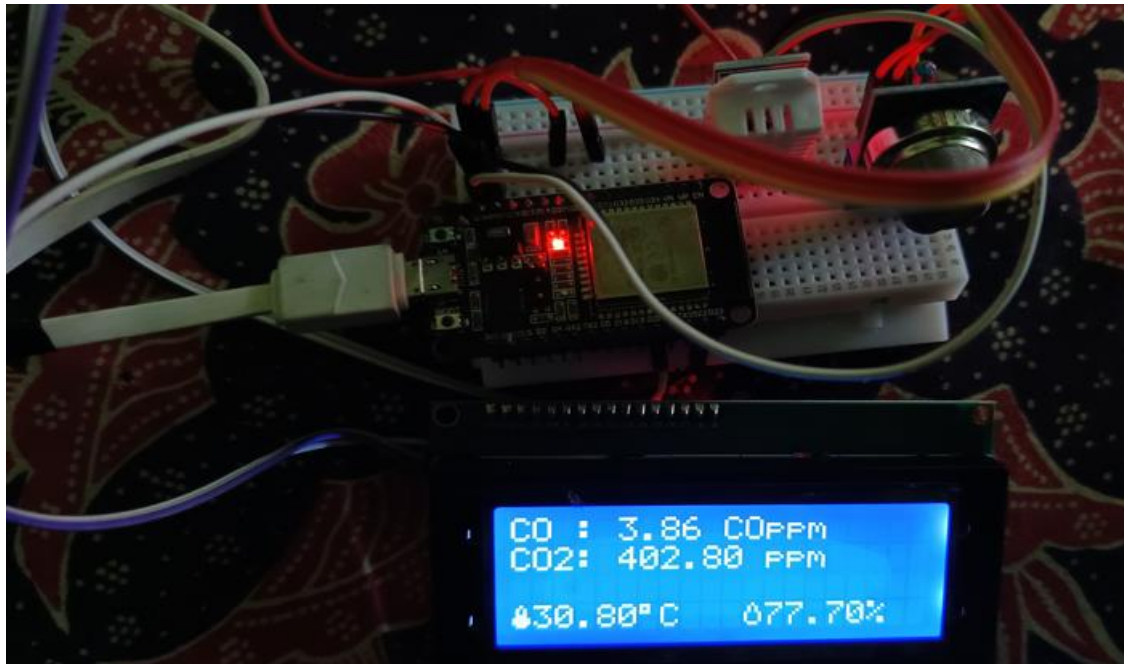
3.9 Laporan Hasil Pengujian Prototipe

Link hasil propotipe IOT Monitoring polusi

udara :<https://wokwi.com/projects/397884560405923841>



Gambar 3.12 Coding pemograman IOT dengan wokwi



Gambar 3.13 Foto Produk IOT hasil monitoring polusi kondisi normal



Gambar 3.13 Foto Produk IOT hasil monitoring polusi kondisi darurat berbahaya

4.0 Tahapan pengujian prototipe

Tingkat Kesiapan Teknologi (Technology Readiness Level atau TRL) digunakan untuk mengukur seberapa matang suatu teknologi. Ada sembilan tingkatan, mulai dari penelitian dasar hingga penggunaan penuh di lapangan. Berikut penjelasan setiap tingkat untuk inovasi air monitor dalam bahasa yang lebih sederhana:

TRL 1: Penelitian Dasar

Penelitian awal dilakukan untuk memahami dasar-dasar teknologi air monitor. Misalnya, mempelajari bagaimana sensor air bekerja.

TRL 2: Pengembangan Ide

Ide-ide tentang bagaimana teknologi air monitor bisa bekerja mulai dirumuskan. Mengidentifikasi apa saja yang dibutuhkan untuk membuat teknologi ini

TRL 3: Bukti Konsep

Eksperimen awal dilakukan di laboratorium untuk membuktikan bahwa ide teknologi air monitor bisa berfungsi. Contohnya, menguji sensor di kondisi yang dikontrol.

TRL 4: Uji Komponen di Laboratorium

Komponen-komponen teknologi air monitor diuji lebih lanjut di laboratorium. Pada tahap ini, prototipe awal mulai dirakit.

TRL 5: Uji Komponen di Lingkungan Nyata

Komponen teknologi diuji di lingkungan yang lebih mirip dengan kondisi nyata, tapi masih dikontrol. Misalnya, menguji prototipe dalam simulasi kondisi lapangan.

TRL 6: Demonstrasi di Lingkungan Nyata

Prototipe diuji di kondisi operasional sebenarnya untuk pertama kalinya. Misalnya, digunakan di lapangan atau tempat yang mirip dengan penggunaan sesungguhnya.

TRL 7: Uji Sistem Lengkap di Lapangan

Teknologi air monitor diuji sebagai sistem lengkap di lingkungan operasional. Harus menunjukkan kinerja yang memadai.

TRL 8: Sistem Lengkap Diuji dan Diverifikasi

Sistem air monitor telah melalui pengujian komprehensif dan dinyatakan siap digunakan. Pengujian mencakup semua aspek teknis dan operasional.

TRL 9: Penggunaan Penuh di Lapangan

Teknologi air monitor siap digunakan secara rutin dalam aplikasi sebenarnya. Telah terbukti andal dan efektif. Setiap tingkat memerlukan bukti bahwa teknologi telah memenuhi persyaratan pada tahap tersebut, seperti hasil pengujian atau demonstrasi lapangan. Inovasi air monitor harus melewati setiap tahap ini untuk memastikan siap digunakan secara luas.



Gambar 3.14 Hasil IOT untuk monitoring kualitas udara

Kesimpulan kontribusi penelitian dari data yang di terima IOT untuk monitoring kualitas udara Ini kalo CO dan CO2 melebihi nilai ambang berbahaya batas buzzer dan LED merah nyala berarti sedangkan apabila nilai ambang batas masih aman maka menyala hijau. berikut mandaat dari hasil kontribusi.

- Pemantauan waktu nyata untuk pengumpulan data kualitas udara secara terus-menerus memungkinkan pemantauan tingkat polusi secara real-time.

- Analisis data historis untuk menyimpan data dari waktu ke waktu memungkinkan analisis tren dan pola, membantu mengidentifikasi sumber polusi dan waktu puncak polusi.
- Peringatan dan pemberitahuan untuk istem ini dapat diatur untuk mengirimkan peringatan ketika kualitas udara berada di bawah ambang batas tertentu, sehingga membantu mengambil tindakan tepat waktu.
- Kesadaran masyarakat untuk menyediakan data yang dapat diakses oleh masyarakat dapat meningkatkan kesadaran tentang kualitas udara dan mendorong tindakan masyarakat.

4.1 Metode Bayesian Fuzzy Classification

Hasil dari luaran yang dihasilkan oleh alat pemantau kualitas udara kemudian dilakukan klasifikasi dengan menggunakan Metode Bayesian Fuzzy Classification. Metode Fuzzy Naive Bayes merupakan gabungan antara teori himpunan fuzzy dan klasifikasi naive bayes. Penggunaan logika fuzzy memungkinkan penjelasan terhadap faktor-faktor ketidakpastian dalam proses pengelompokan, sehingga meminimalkan kesalahan dalam klasifikasi. Sementara itu, metode Naive Bayes memanfaatkan probabilitas untuk mengklasifikasikan data. Dengan demikian, kombinasi kedua metode ini memungkinkan penggunaan logika fuzzy untuk mengatasi ketidakpastian dalam klasifikasi berdasarkan probabilitas (Putra, Purnawan, & Putri, 2018). Adapun langkah-langkah yang dilakukan untuk membentuk klasifikasi pencemaran udara adalah sebagai berikut:

1. Mengumpulkan dan serta mendeskripsikan data yang telah dikumpulkan berdasarkan luaran alat.
2. Menentukan himpunan semesta pada setiap variabel dengan menggunakan persamaan:

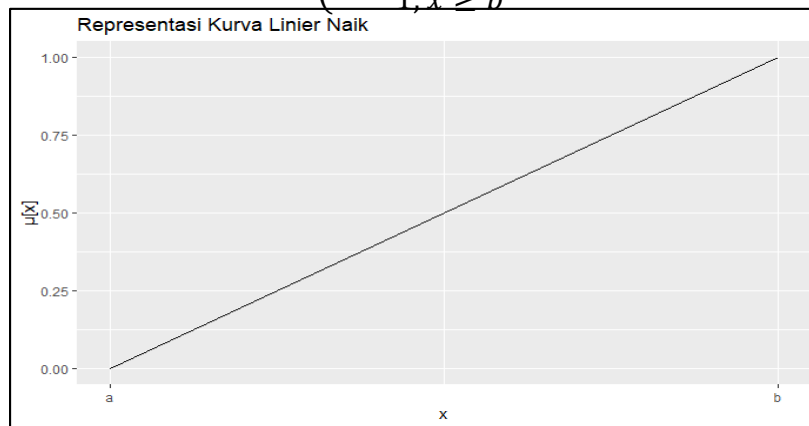
$$U = [D_{min}, D_{max}]$$

Dimana U merupakan semesta pembicaraan, D_{min} adalah nilai terkecil dari data, D_{max} nilai terbesar dari data.

3. Mendefinisikan himpunan fuzzy berdasarkan kategori Tingkat pencemaran dengan pendekatan fungsi keanggotaan naik, turun dan segitiga menggunakan persamaan sebagai berikut (Saputra, 2020):

a. Fungsi keanggotaan naik:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}; a \leq x \leq b \\ 1; x \geq b \end{cases}$$

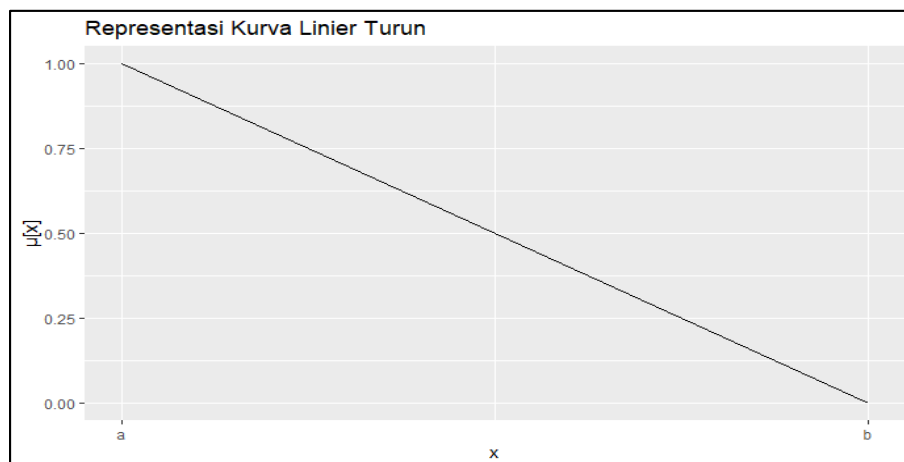


Sumber: Data diolah dengan Software R Studio

Gambar 3.15 Kurva Linier Naik

b. Fungsi keanggotaan turun:

$$\mu[x] = \begin{cases} 1; x \leq a \\ \frac{b-x}{b-a}; a \leq x \leq b \\ 0; x \geq b \end{cases}$$

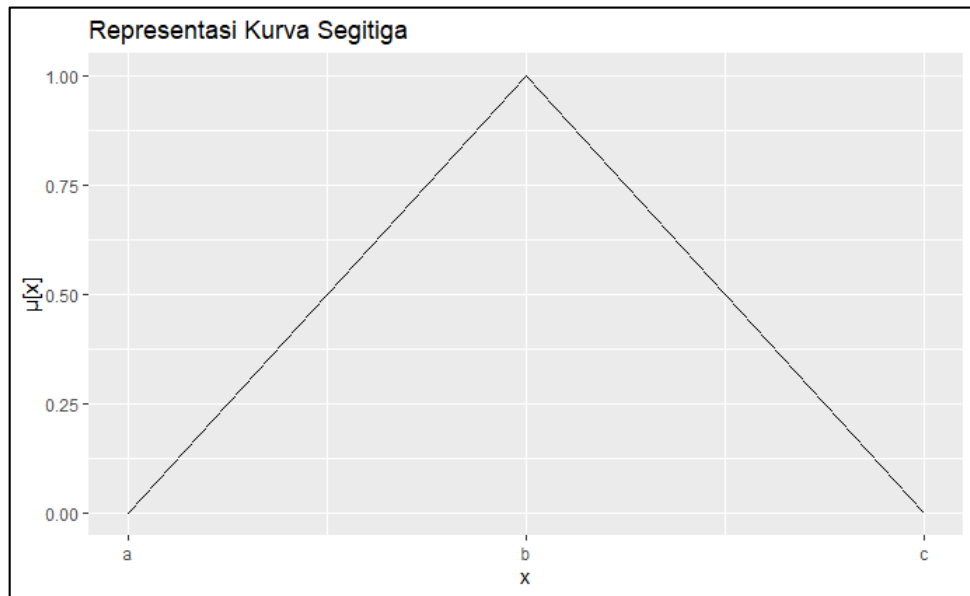


Sumber: Data diolah dengan Software R Studio

Gambar 3.16 Kurva Linier Turun

c. Fungsi keanggotaan segitiga:

$$\mu[x] = \begin{cases} 0; x \leq a \vee x \geq c \\ \frac{x-a}{b-a}: a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}: b \leq x \leq c \\ 1; a \leq x \leq c \end{cases}$$



Sumber: Data diolah dengan Software R Studio

Gambar 3.17 Kurva Segitiga

4. Melakukan perhitungan probabilitas (prior) untuk setiap kelas interval tingkat pencemaran udara menggunakan persamaan (Saputra, 2020):

$$P(S_i) = \frac{N(S_i)}{N(S)}$$

5. Menghitung nilai likelihood berdasarkan hasil fuzzyfikasi dan nilai probabilitas (prior) yang telah dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P(X|S_i) = \sum_{i=1}^n P(x_i | S_i) * \mu(x_i)$$

6. Melakukan perhitungan peluang variabel hasil keluaran alat deteksi yaitu gas CO dan CO2 dengan menggunakan persamaan:

$$P(X|S_i) = \sum_{i=1}^n P(x_i) * \mu(x_i)$$

Kemudian dilakukan pengelompokan masing-masing kelas yang menunjukkan kategori kualitas udara berdasarkan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang diperoleh dari website <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia> dengan kriteria sebagai berikut:

Tabel 3.4 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Skala	Kategori
0-50	Baik
51-100	Sedang
101-199	Tidak Sehat
200-299	Sangat Tidak Sehat
>300	Berbahaya

Berdasarkan Tabel 3.4 sampel udara yang didapat akan diklasifikasikan ke dalam tiap kelas dimana hal tersebut dihitung dengan menggunakan persamaan:

$$P(S_i|X) = \frac{P(X|S_i)P(S_i)}{P(X)}$$

Melakukan evaluasi hasil klasifikasi metode *Fuzzy Bayesian Classifier* yang dihasilkan dengan melihat tingkat akurasi yang dihasilkan.

4.2 Pembentukan Scenario

Pada pembahasan ini akan dilakukan proses simulasi dengan menggunakan data historis yang hasilnya akan dibandingkan dengan luaran alat berdasarkan konsep matematis . Langkah-langkah simulasi dilakukan dengan menggunakan scenario sebagai berikut:

Tabel 3.5 Skenario Simulasi Data Bangkitan

Kandungan Udara	Jumlah Sampel		
	n1	n2	n3
CO	1000	10000	100000
CO2	1000	10000	100000

Tabel 3.5 menampilkan skenario simulasi data bangkitan berdasarkan kandungan udara dan jumlah sampel yang digunakan. Tabel tersebut mencakup dua kategori kandungan udara, yaitu karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂), serta tiga skenario simulasi berbeda yang direpresentasikan oleh kolom n1, n2, dan n3. Pada skenario pertama (n1), jumlah sampel yang dihasilkan untuk masing-masing kandungan udara adalah 1000. Skenario kedua (n2) meningkatkan jumlah sampel menjadi 10000, sementara skenario ketiga (n3) lebih lanjut meningkatkan jumlah sampel menjadi 100000. Dengan berbagai skenario ini, tabel memberikan gambaran tentang bagaimana variasi jumlah sampel dapat mempengaruhi hasil analisis atau eksperimen yang dilakukan.

4.3 Hasil Simulasi data menggunakan Fuzzyfikasi

Proses simulasi diawali dengan menggunakan data yang dihasilkan secara acak untuk kadar CO₂ dan CO di atmosfer, seperti yang telah dibahas pada pembentukan skenario. Data ini kemudian diklasifikasikan berdasarkan ketetapan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) dari Kementerian Lingkungan Hidup tentang kategori tingkat kualitas udara. Pendekatan yang digunakan dalam proses klasifikasi adalah Model Bayesian Fuzzy Classifier, sesuai dengan langkah-langkah pada konsep teoretis. Proses fuzzyfikasi digunakan untuk melakukan kategorisasi tiap unsur kandungan udara berdasarkan level ISPU yang telah didefinisikan. Adapapun hasil dari fuzzyfikasi untuk masing-masing simulasi ditunjukkan pada tabel berikut:

Tabel 3.6 Hasil Fuzzyfikasi tiap Sampel

Kategori	n					
	1000		10000		100000	
	CO	CO ₂	CO	CO ₂	CO	CO ₂
Baik	100	105	997	1001	10046	10076
Sedang	98	91	1017	1044	10114	9991
Tidak Sehat	206	193	1936	1988	19967	19740
Sangat Tidak Sehat	202	224	2057	2017	19743	20045
Berbahaya	394	387	3993	3950	40130	40148
Total	1000	1000	10000	10000	100000	100000

Berdasarkan Tabel 3.6 diketahui bahwa hasil fuzzyfikasi dari sampel kualitas udara yang dibangkitkan menunjukkan hubungan yang signifikan antara konsentrasi karbon monoksida (CO) dan karbon dioksida (CO₂) dengan kategori kualitas udara. Pada sampel terkecil yaitu $n = 1000$, terdapat 100 sampel CO dan 105 sampel CO₂ yang dikategorikan sebagai "Baik". Jumlah ini relatif kecil dibandingkan dengan kategori "Berbahaya", yang memiliki 394 sampel CO dan 387 sampel CO₂. Ketika jumlah sampel meningkat menjadi 10000, terjadi peningkatan dalam kategori "Baik" dengan 997 sampel CO dan 1001 sampel CO₂, tetapi kategori "Berbahaya" juga meningkat tajam menjadi 3993 sampel CO dan 3950 sampel CO₂.

Pada sampel tertinggi yaitu $n = 100000$, kategori "Baik" sedikit meningkat menjadi 10046 sampel CO dan 10076 sampel CO₂. Namun, jumlah sampel dalam kategori "Berbahaya" melonjak drastis menjadi 40130 sampel CO dan 40148 sampel CO₂. Kategori "Sedang" menunjukkan peningkatan yang moderat dari 98 sampel CO dan 91 sampel CO₂ pada $n = 1000$ menjadi 10114 sampel CO dan 9991 sampel CO₂ pada $n = 100000$. Kategori "Tidak Sehat" dan "Sangat Tidak Sehat" juga menunjukkan peningkatan yang signifikan seiring dengan meningkatnya jumlah sampel, dari 206 sampel CO dan 193 sampel CO₂ pada $n = 1000$ menjadi 19967 sampel CO dan 19740 sampel CO₂ (Tidak Sehat) serta 19743 sampel CO dan 20045 sampel CO₂ (Sangat Tidak Sehat) pada $n = 100000$.

Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa peningkatan konsentrasi CO dan CO₂ berhubungan erat dengan penurunan kualitas udara. Kategori "Berbahaya" memiliki peningkatan paling signifikan, mengindikasikan risiko kesehatan yang lebih tinggi pada konsentrasi polutan yang lebih tinggi. Data ini menekankan pentingnya upaya pengendalian polusi udara untuk menjaga kualitas udara yang baik dan melindungi kesehatan masyarakat. Cara membangun Fuzzy Langkah kedua adalah membangun aturan fuzzy berdasarkan *prior probability* yang dihasilkan dari hasil fuzzyfikasi yang telah dijelaskan di tabel 3.6.

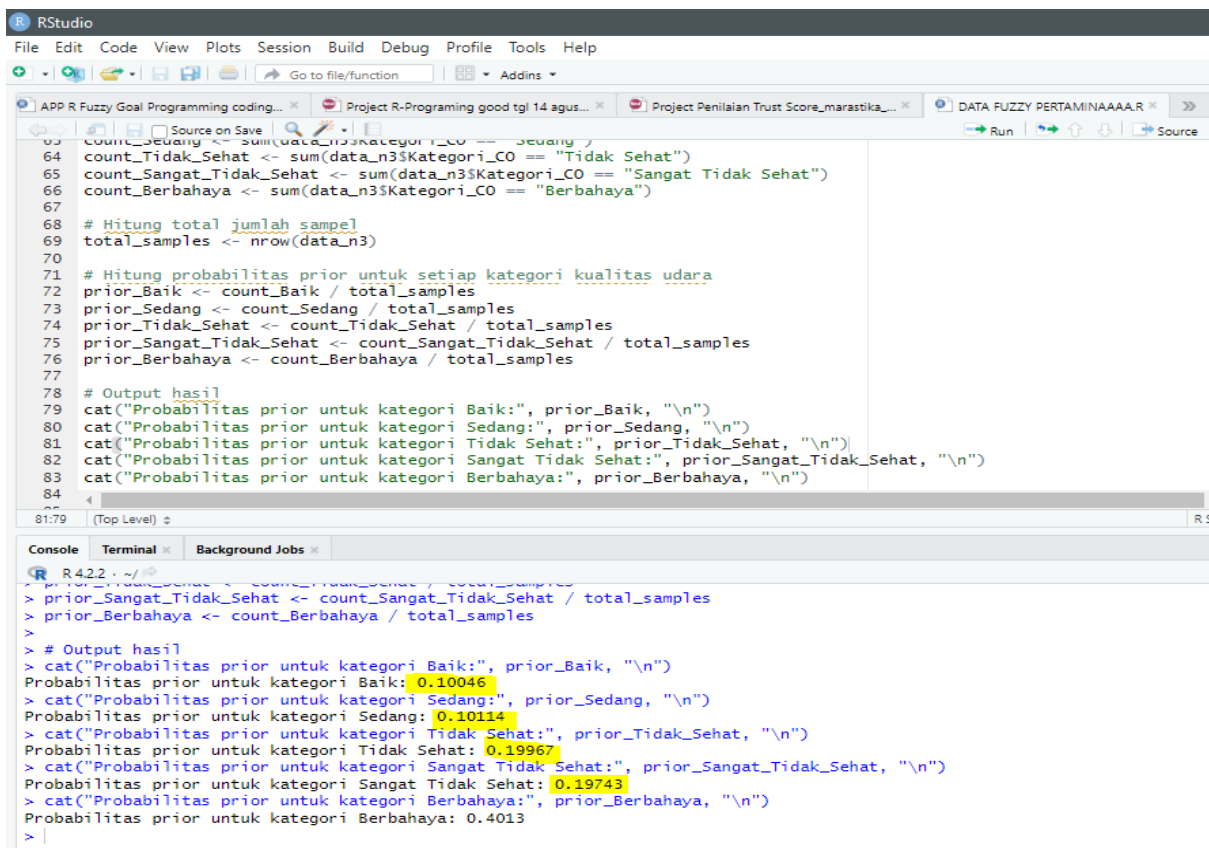
Adapun hasil dari perhitungan prior probability ditunjukkan sebagai berikut:

Tabel 3.7 Prior Probability tiap Kategori Kualitas Udara pada n=1000, n=10000, n=100000

Kategori	n					
	1000		10000		100000	
	CO	CO2	CO	CO2	CO	CO2
Baik	0.08	0.09	0.104	0.099	0.102	0.102
Sedang	0.097	0.11	0.095	0.100	0.099	0.101
Tidak Sehat	0.193	0.19	0.203	0.194	0.199	0.197
Sangat Tidak Sehat	0.211	0.2	0.204	0.205	0.201	0.2
Berbahaya	0.419	0.4	0.395	0.402	0.399	0.402
Total	1	1	1	1	1	1

Source google drive R-Programming :

<https://drive.google.com/drive/folders/1988Bup8mzyRd7GFkC-RN6hxIGQXG7SEV?usp=sharing>



```

RStudio
File Edit Code View Plots Session Build Debug Profile Tools Help
APP R Fuzzy Goal Programming coding... Project R-Programming good tgl 14 agus... Project Penilaian Trust Score_marastika... DATA FUZZY PERTAMINAAAAA.R
63 count_Sedang <- sum(data_n3$Kategori_CO == "Sedang")
64 count_Tidak_Sehat <- sum(data_n3$Kategori_CO == "Tidak Sehat")
65 count_Sangat_Tidak_Sehat <- sum(data_n3$Kategori_CO == "Sangat Tidak Sehat")
66 count_Berbahaya <- sum(data_n3$Kategori_CO == "Berbahaya")
67
68 # Hitung total jumlah sampel
69 total_samples <- nrow(data_n3)
70
71 # Hitung probabilitas prior untuk setiap kategori kualitas udara
72 prior_Baik <- count_Baik / total_samples
73 prior_Sedang <- count_Sedang / total_samples
74 prior_Tidak_Sehat <- count_Tidak_Sehat / total_samples
75 prior_Sangat_Tidak_Sehat <- count_Sangat_Tidak_Sehat / total_samples
76 prior_Berbahaya <- count_Berbahaya / total_samples
77
78 # Output hasil
79 cat("Probabilitas prior untuk kategori Baik:", prior_Baik, "\n")
80 cat("Probabilitas prior untuk kategori Sedang:", prior_Sedang, "\n")
81 cat("Probabilitas prior untuk kategori Tidak Sehat:", prior_Tidak_Sehat, "\n")
82 cat("Probabilitas prior untuk kategori Sangat Tidak Sehat:", prior_Sangat_Tidak_Sehat, "\n")
83 cat("Probabilitas prior untuk kategori Berbahaya:", prior_Berbahaya, "\n")
84
85
86
87
88
89
90
91
92
93
94
95
96
97
98
99
100
101
102
103
104
105
106
107
108
109
110
111
112
113
114
115
116
117
118
119
120
121
122
123
124
125
126
127
128
129
130
131
132
133
134
135
136
137
138
139
140
141
142
143
144
145
146
147
148
149
150
151
152
153
154
155
156
157
158
159
160
161
162
163
164
165
166
167
168
169
170
171
172
173
174
175
176
177
178
179
180
181
182
183
184
185
186
187
188
189
190
191
192
193
194
195
196
197
198
199
200
201
202
203
204
205
206
207
208
209
210
211
212
213
214
215
216
217
218
219
220
221
222
223
224
225
226
227
228
229
230
231
232
233
234
235
236
237
238
239
240
241
242
243
244
245
246
247
248
249
250
251
252
253
254
255
256
257
258
259
260
261
262
263
264
265
266
267
268
269
270
271
272
273
274
275
276
277
278
279
280
281
282
283
284
285
286
287
288
289
290
291
292
293
294
295
296
297
298
299
300
301
302
303
304
305
306
307
308
309
310
311
312
313
314
315
316
317
318
319
320
321
322
323
324
325
326
327
328
329
330
331
332
333
334
335
336
337
338
339
340
341
342
343
344
345
346
347
348
349
350
351
352
353
354
355
356
357
358
359
360
361
362
363
364
365
366
367
368
369
370
371
372
373
374
375
376
377
378
379
380
381
382
383
384
385
386
387
388
389
390
391
392
393
394
395
396
397
398
399
400
401
402
403
404
405
406
407
408
409
410
411
412
413
414
415
416
417
418
419
420
421
422
423
424
425
426
427
428
429
430
431
432
433
434
435
436
437
438
439
440
441
442
443
444
445
446
447
448
449
450
451
452
453
454
455
456
457
458
459
460
461
462
463
464
465
466
467
468
469
470
471
472
473
474
475
476
477
478
479
480
481
482
483
484
485
486
487
488
489
490
491
492
493
494
495
496
497
498
499
500
501
502
503
504
505
506
507
508
509
510
511
512
513
514
515
516
517
518
519
520
521
522
523
524
525
526
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541
542
543
544
545
546
547
548
549
550
551
552
553
554
555
556
557
558
559
560
561
562
563
564
565
566
567
568
569
570
571
572
573
574
575
576
577
578
579
580
581
582
583
584
585
586
587
588
589
590
591
592
593
594
595
596
597
598
599
600
601
602
603
604
605
606
607
608
609
610
611
612
613
614
615
616
617
618
619
620
621
622
623
624
625
626
627
628
629
630
631
632
633
634
635
636
637
638
639
640
641
642
643
644
645
646
647
648
649
650
651
652
653
654
655
656
657
658
659
660
661
662
663
664
665
666
667
668
669
670
671
672
673
674
675
676
677
678
679
680
681
682
683
684
685
686
687
688
689
690
691
692
693
694
695
696
697
698
699
700
701
702
703
704
705
706
707
708
709
710
711
712
713
714
715
716
717
718
719
720
721
722
723
724
725
726
727
728
729
730
731
732
733
734
735
736
737
738
739
740
741
742
743
744
745
746
747
748
749
750
751
752
753
754
755
756
757
758
759
760
761
762
763
764
765
766
767
768
769
770
771
772
773
774
775
776
777
778
779
780
781
782
783
784
785
786
787
788
789
790
791
792
793
794
795
796
797
798
799
800
801
802
803
804
805
806
807
808
809
810
811
812
813
814
815
816
817
818
819
820
821
822
823
824
825
826
827
828
829
830
831
832
833
834
835
836
837
838
839
840
841
842
843
844
845
846
847
848
849
850
851
852
853
854
855
856
857
858
859
860
861
862
863
864
865
866
867
868
869
870
871
872
873
874
875
876
877
878
879
880
881
882
883
884
885
886
887
888
889
890
891
892
893
894
895
896
897
898
899
900
901
902
903
904
905
906
907
908
909
910
911
912
913
914
915
916
917
918
919
920
921
922
923
924
925
926
927
928
929
930
931
932
933
934
935
936
937
938
939
940
941
942
943
944
945
946
947
948
949
950
951
952
953
954
955
956
957
958
959
960
961
962
963
964
965
966
967
968
969
970
971
972
973
974
975
976
977
978
979
980
981
982
983
984
985
986
987
988
989
990
991
992
993
994
995
996
997
998
999
1000
1001
1002
1003
1004
1005
1006
1007
1008
1009
1010
1011
1012
1013
1014
1015
1016
1017
1018
1019
1020
1021
1022
1023
1024
1025
1026
1027
1028
1029
1030
1031
1032
1033
1034
1035
1036
1037
1038
1039
1040
1041
1042
1043
1044
1045
1046
1047
1048
1049
1050
1051
1052
1053
1054
1055
1056
1057
1058
1059
1060
1061
1062
1063
1064
1065
1066
1067
1068
1069
1070
1071
1072
1073
1074
1075
1076
1077
1078
1079
1080
1081
1082
1083
1084
1085
1086
1087
1088
1089
1090
1091
1092
1093
1094
1095
1096
1097
1098
1099
1100
1101
1102
1103
1104
1105
1106
1107
1108
1109
1110
1111
1112
1113
1114
1115
1116
1117
1118
1119
1120
1121
1122
1123
1124
1125
1126
1127
1128
1129
1130
1131
1132
1133
1134
1135
1136
1137
1138
1139
1140
1141
1142
1143
1144
1145
1146
1147
1148
1149
1150
1151
1152
1153
1154
1155
1156
1157
1158
1159
1160
1161
1162
1163
1164
1165
1166
1167
1168
1169
1170
1171
1172
1173
1174
1175
1176
1177
1178
1179
1180
1181
1182
1183
1184
1185
1186
1187
1188
1189
1190
1191
1192
1193
1194
1195
1196
1197
1198
1199
1200
1201
1202
1203
1204
1205
1206
1207
1208
1209
1210
1211
1212
1213
1214
1215
1216
1217
1218
1219
1220
1221
1222
1223
1224
1225
1226
1227
1228
1229
1230
1231
1232
1233
1234
1235
1236
1237
1238
1239
1240
1241
1242
1243
1244
1245
1246
1247
1248
1249
1250
1251
1252
1253
1254
1255
1256
1257
1258
1259
1260
1261
1262
1263
1264
1265
1266
1267
1268
1269
1270
1271
1272
1273
1274
1275
1276
1277
1278
1279
1280
1281
1282
1283
1284
1285
1286
1287
1288
1289
1290
1291
1292
1293
1294
1295
1296
1297
1298
1299
1300
1301
1302
1303
1304
1305
1306
1307
1308
1309
1310
1311
1312
1313
1314
1315
1316
1317
1318
1319
1320
1321
1322
1323
1324
1325
1326
1327
1328
1329
1330
1331
1332
1333
1334
1335
1336
1337
1338
1339
1340
1341
1342
1343
1344
1345
1346
1347
1348
1349
1350
1351
1352
1353
1354
1355
1356
1357
1358
1359
1360
1361
1362
1363
1364
1365
1366
1367
1368
1369
1370
1371
1372
1373
1374
1375
1376
1377
1378
1379
1380
1381
1382
1383
1384
1385
1386
1387
1388
1389
1390
1391
1392
1393
1394
1395
1396
1397
1398
1399
1400
1401
1402
1403
1404
1405
1406
1407
1408
1409
1410
1411
1412
1413
1414
1415
1416
1417
1418
1419
1420
1421
1422
1423
1424
1425
1426
1427
1428
1429
1430
1431
1432
1433
1434
1435
1436
1437
1438
1439
1440
1441
1442
1443
1444
1445
1446
1447
1448
1449
1450
1451
1452
1453
1454
1455
1456
1457
1458
1459
1460
1461
1462
1463
1464
1465
1466
1467
1468
1469
1470
1471
1472
1473
1474
1475
1476
1477
1478
1479
1480
1481
1482
1483
1484
1485
1486
1487
1488
1489
1490
1491
1492
1493
1494
1495
1496
1497
1498
1499
1500
1501
1502
1503
1504
1505
1506
1507
1508
1509
1510
1511
1512
1513
1514
1515
1516
1517
1518
1519
1520
1521
1522
1523
1524
1525
1526
1527
1528
1529
1530
1531
1532
1533
1534
1535
1536
1537
1538
1539
1540
1541
1542
1543
1544
1545
1546
1547
1548
1549
1550
1551
1552
1553
1554
1555
1556
1557
1558
1559
1560
1561
1562
1563
1564
1565
1566
1567
1568
1569
1570
1571
1572
1573
1574
1575
1576
1577
1578
1579
1580
1581
1582
1583
1584
1585
1586
1587
1588
1589
1590
1591
1592
1593
1594
1595
1596
1597
1598
1599
1600
1601
1602
1603
1604
1605
1606
1607
1608
1609
1610
1611
1612
1613
1614
1615
1616
1617
1618
1619
1620
1621
1622
1623
1624
1625
1626
1627
1628
1629
1630
1631
1632
1633
1634
1635
1636
1637
1638
1639
1640
1641
1642
1643
1644
1645
1646
1647
1648
1649
1650
1651
1652
1653
1654
1655
1656
1657
1658
1659
1660
1661
1662
1663
1664
1665
1666
1667
1668
1669
1670
1671
1672
1673
1674
1675
1676
1677
1678
1679
1680
1681
1682
1683
1684
1685
1686
1687
1688
1689
1690
1691
1692
1693
1694
1695
1696
1697
1698
1699
1700
1701
1702
1703
1704
1705
1706
1707
1708
1709
1710
1711
1712
1713
1714
1715
1716
1717
1718
1719
1720
1721
1722
1723
1724
1725
1726
1727
1728
1729
1730
1731
1732
1733
1734
1735
1736
1737
1738
1739
1740
1741
1742
1743
1744
1745
1746
1747
1748
1749
1750
1751
1752
1753
1754
1755
1756
1757
1758
1759
1760
1761
1762
1763
1764
1765
1766
1767
1768
1769
1770
1771
1772
1773
1774
1775
1776
1777
1778
1779
1780
1781
1782
1783
1784
1785
1786
1787
1788
1789
1790
1791
1792
1793
1794
1795
1796
1797
1798
1799
1800
1801
1802
1803
1804
1805
1806
1807
1808
1809
1810
1811
1812
1813
1814
1815
1816
1817
1818
1819
1820
1821
1822
1823
1824
1825
1826
1827
1828
1829
1830
1831
1832
1833
1834
1835
1836
1837
1838
1839
1840
1841
1842
1843
1844
1845
1846
1847
1848
1849
1850
1851
1852
1853
1854
1855
1856
1857
1858
1859
1860
1861
1862
1863
1864
1865
1866
1867
1868
1869
1870
1871
1872
1873
1874
1875
1876
1877
1878
1879
1880
1881
1882
1883
1884
1885
1886
1887
1888
1889
1890
1891
1892
1893
1894
1895
1896
1897
1898
1899
1900
1901
1902
1903
1904
1905
1906
1907
1908
1909
1910
1911
1912
1913
1914
1915
1916
1917
1918
1919
1920
1921
1922
1923
1924
1925
1926
1927
1928
1929
1930
1931
1932
1933
1934
1935
1936
1937
1938
1939
1940
1941
1942
1943
1944
1945
1946
1947
1948
1949
1950
1951
1952
1953
1954
1955
1956
1957
1958
1959
1960
1961
1962
1963
1964
1965
1966
1967
1968
1969
1970
1971
1972
1973
1974
1975
1976
1977
1978
1979
1980
1981
1982
1983
1984
1985
1986
1987
1988
1989
1990
1991
1992
1993
1994
1995
1996
1997
1998
1999
2000
2001
2002
2003
2004
2005
2006
2007
2008
2009
2010
2011
2012
2013
2014
2015
2016
2017
2018
2019
2020
2021
2022
2023
2024
2025
2026
2027
2028
2029
2030
2031
2032
2033
2034
2035
2036
2037
2038
2039
2040
2041
2042
2043
2044
2045
2046
2047
2048
2049
2050
2051
2052
2053
2054
2055
2056
2057
2058
2059
2060
2061
2062
2063
2064
2065
2066
2067
2068
2069
2070
2071
2072
2073
2074
2075
2076
2077
2078
2079
2080
2081
2082
2083
2084
2085
2086
2087
2088
2089
2090
2091
2092
2093
2094
2095
2096
2097
2098
2099
2100
2101
2102
2103
2104
2105
2106
2107
2108
2109
2110
2111
2112
2113
2114
2115
2116
2117
2118
2119
2120
2121
2122
2123
2124
2125
2126
2127
2128
2129
2130
2131
2132
2133
2134
2135
2136
2137
2138
2139
2140
2141
2142
2143
2144
2145
2146
2147
2148
2149
2150
2151
2152
2153
2154
2155
2156
2157
2158
2159
2160
2161
2162
2163
2164
2165
2166
2167
2168
2169
2170
2171
2172
2173
2174
2175
2176
2177
2178
2179
2180
2181
2182
2183
2184
2185
2186
2187
2188
2189
2190
2191
2192
2193
2194
2195
2196
2197
2198
2199
2200
2201
2202
2203
2204
2205
2206
2207
2208
2209
2210
2211
2212
2213
2214
2215
2216
2217
2218
2219
2220
2221
2222
2223
2224
2225
2226
2227
2228
2229
2230
2231
2232
2233
2234
2235
2236
2237
2238
2239
2240
2241
2242
2243
2244
2245
2246
2247
2248
2249
2250
2251
2252
2253
2254
2255
2256
2257
2258
2259
2260
2261
2262
2263
2264
2265
2266
2267
2268
2269
2270
2271
2272
2273
2274
2275
2276
2277
2278
2279
2280
2281
2282
2283
2284
2285
2286
2287
2288
2289
2290
2291
2292
2293
2294
2295
2296
2297
2298
2299
2300
2301
2302
2303
2304
2305
2306
2307
2308
2309
2310
2311
2312
2313
2314
2315
2316
2317
2318
2319
2320
2321
2322
2323
2324
2325
2326
2327
2328
2329
2330
2331
2332
2333
2334
2335
2336
2337
2338
2339
2340
2341
2342
2343
2344
2345
2346
2347
2348
2349
2350
2351
2352
2353
2354
2355
2356
2357
2358
2359
2360
2361
2362
2363
2364
2365
2366
2367
2368
2369
2370
2371
2372
2373
2374
2375
2376
2377
2378
2379
2380
2381
2382
2383
2384
2385
2386
2387
2388
2389
2390
2391
2392
2393
2394
2395
2396
2397
2398
2399
2400
2401
2402
2403
2404
2405
2406
2407
2408
2409
2410
2411
2412
2413
2414
2415
2416
2417
2418
2419
2420
2421
2422
2423
2424
2425
2426
2427
2428
2429
2430
2431
2432
2433
2434
2435
2436
2437
2438
2439
2440
2441
244
```

Hasil analisis prior probability dari kategori kualitas udara menunjukkan perubahan probabilitas kategori pada berbagai tingkat konsentrasi CO dan CO₂ untuk $n = 1000$, $n = 10000$, dan $n = 100000$. Pada $n = 1000$, kategori "Baik" memiliki probabilitas 0.08 untuk CO dan 0.09 untuk CO₂, sementara kategori "Berbahaya" menunjukkan probabilitas tertinggi dengan 0.419 untuk CO dan 0.4 untuk CO₂. Ketika jumlah sampel meningkat menjadi 10000, probabilitas kategori "Baik" sedikit meningkat menjadi 0.104 untuk CO dan 0.099 untuk CO₂, sementara kategori "Berbahaya" mengalami sedikit penurunan menjadi 0.395 untuk CO dan peningkatan menjadi 0.402 untuk CO₂. Pada tingkat konsentrasi tertinggi ($n = 100000$), kategori "Baik" memiliki probabilitas stabil di sekitar 0.102 untuk CO dan CO₂, sedangkan kategori "Berbahaya" tetap tinggi dengan probabilitas 0.399 untuk CO dan 0.402 untuk CO₂.

Kategori "Sedang" menunjukkan sedikit fluktuasi dengan probabilitas yang bervariasi antara 0.095 hingga 0.11, sementara kategori "Tidak Sehat" dan "Sangat Tidak Sehat" menunjukkan probabilitas yang relatif stabil meskipun sedikit fluktuasi terjadi dengan nilai sekitar 0.19 hingga 0.203 dan 0.2 hingga 0.205. Secara keseluruhan, data ini menunjukkan bahwa kategori "Berbahaya" mendominasi probabilitas tertinggi pada setiap tingkat konsentrasi, mengindikasikan bahwa pada konsentrasi CO dan CO₂ yang lebih tinggi, udara cenderung masuk ke dalam kategori yang paling berisiko bagi kesehatan.

Probabilitas kategori "Baik" dan "Sedang" tetap rendah, menggarisbawahi perlunya kontrol polusi yang lebih ketat untuk meningkatkan kualitas udara. Selanjutnya dari perhitungan prior pada Tabel 3.7 kemudian dilanjutkan dengan membentuk aturan fuzzy untuk menghasilkan output sebagai bentuk generalisasi kualitas udara yang terpantau berdasarkan simulasi yang ditentukan. Keterangan. B= Baik, S=Sedang, TS=Tidak Sehat, STS=Sangat Tidak Sehat, dan Berbahaya = BH maka, Adapun aturan fuzzy yang digunakan untuk masing-masing simulasi adalah:

A. Sampel $n = 1000$

1. $(CO = B) \wedge (CO_2 = B) \rightarrow B$
2. $(CO = B) \wedge (CO_2 = S) \rightarrow S$
3. $(CO = B) \wedge (CO_2 = TS) \rightarrow TS$
4. $(CO = B) \wedge (CO_2 = STS) \rightarrow STS$

5. $(CO = B) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
6. $(CO = S) \wedge (CO2 = B) \rightarrow S$
7. $(CO = S) \wedge (CO2 = S) \rightarrow S$
8. $(CO = S) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
9. $(CO = S) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
10. $(CO = S) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
11. $(CO = TS) \wedge (CO2 = B) \rightarrow TS$
12. $(CO = TS) \wedge (CO2 = S) \rightarrow TS$
13. $(CO = TS) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
14. $(CO = TS) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
15. $(CO = TS) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
16. $(CO = STS) \wedge (CO2 = B) \rightarrow STS$
17. $(CO = STS) \wedge (CO2 = S) \rightarrow STS$
18. $(CO = STS) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow STS$
19. $(CO = STS) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
20. $(CO = STS) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
21. $(CO = BH) \wedge (CO2 = B) \rightarrow BH$
22. $(CO = BH) \wedge (CO2 = S) \rightarrow BH$
23. $(CO = BH) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow BH$
24. $(CO = BH) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow BH$
25. $(CO = BH) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$

B. Sampel $n = 10000$

1. $(CO = B) \wedge (CO2 = B) \rightarrow B$
2. $(CO = B) \wedge (CO2 = S) \rightarrow S$
3. $(CO = B) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
4. $(CO = B) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
5. $(CO = B) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
6. $(CO = S) \wedge (CO2 = B) \rightarrow S$
7. $(CO = S) \wedge (CO2 = S) \rightarrow S$
8. $(CO = S) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
9. $(CO = S) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$

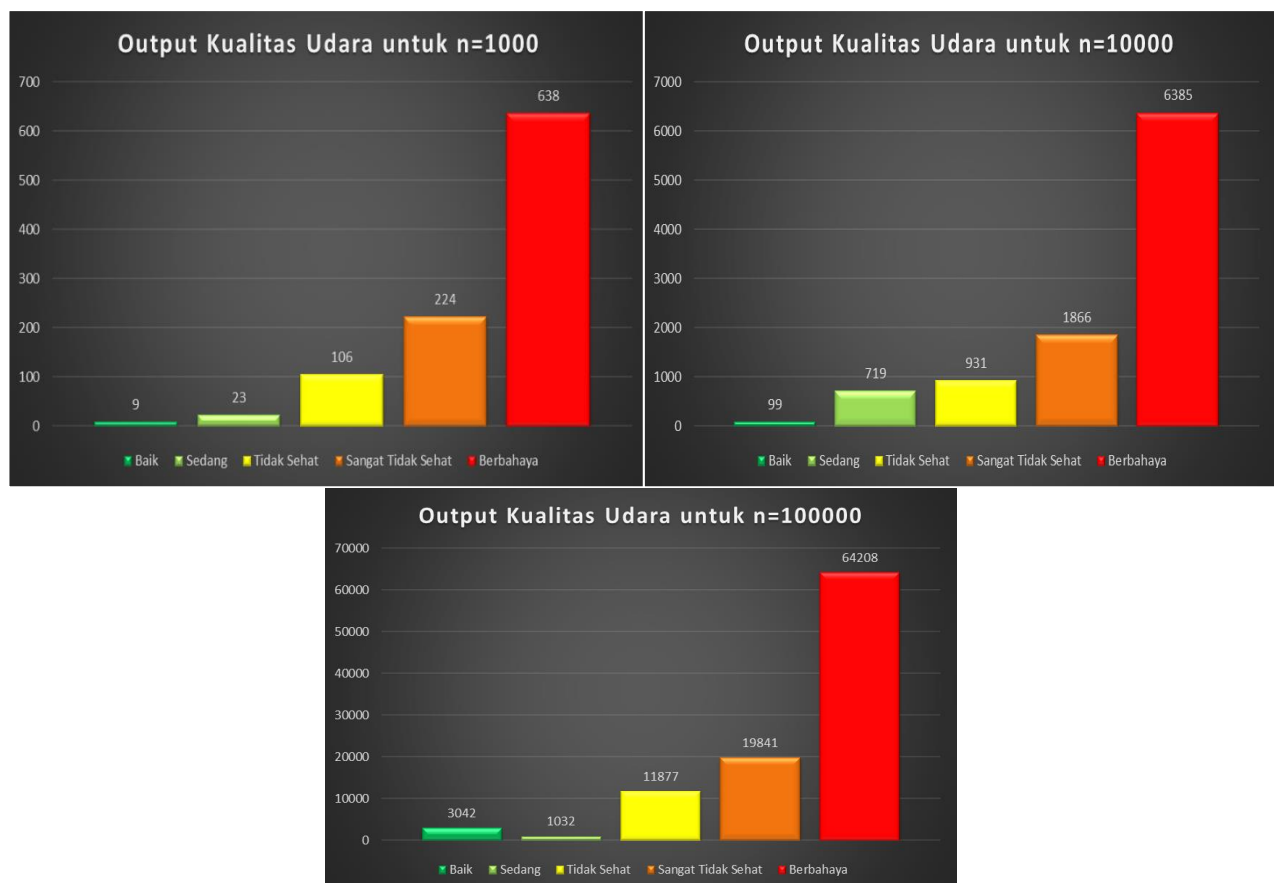
10. $(CO = S) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
11. $(CO = TS) \wedge (CO2 = B) \rightarrow TS$
12. $(CO = TS) \wedge (CO2 = S) \rightarrow S$
13. $(CO = TS) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
14. $(CO = TS) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
15. $(CO = TS) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
16. $(CO = STS) \wedge (CO2 = B) \rightarrow STS$
17. $(CO = STS) \wedge (CO2 = S) \rightarrow S$
18. $(CO = STS) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow STS$
19. $(CO = STS) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
20. $(CO = STS) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
21. $(CO = BH) \wedge (CO2 = B) \rightarrow BH$
22. $(CO = BH) \wedge (CO2 = S) \rightarrow S$
23. $(CO = BH) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow BH$
24. $(CO = BH) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow BH$
25. $(CO = BH) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$

C. Sampel $n = 100000$

1. $(CO = B) \wedge (CO2 = B) \rightarrow B$
2. $(CO = B) \wedge (CO2 = S) \rightarrow B$
3. $(CO = B) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
4. $(CO = B) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
5. $(CO = B) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
6. $(CO = S) \wedge (CO2 = B) \rightarrow B$
7. $(CO = S) \wedge (CO2 = S) \rightarrow S$
8. $(CO = S) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
9. $(CO = S) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
10. $(CO = S) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
11. $(CO = TS) \wedge (CO2 = B) \rightarrow TS$
12. $(CO = TS) \wedge (CO2 = S) \rightarrow TS$
13. $(CO = TS) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow TS$
14. $(CO = TS) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$

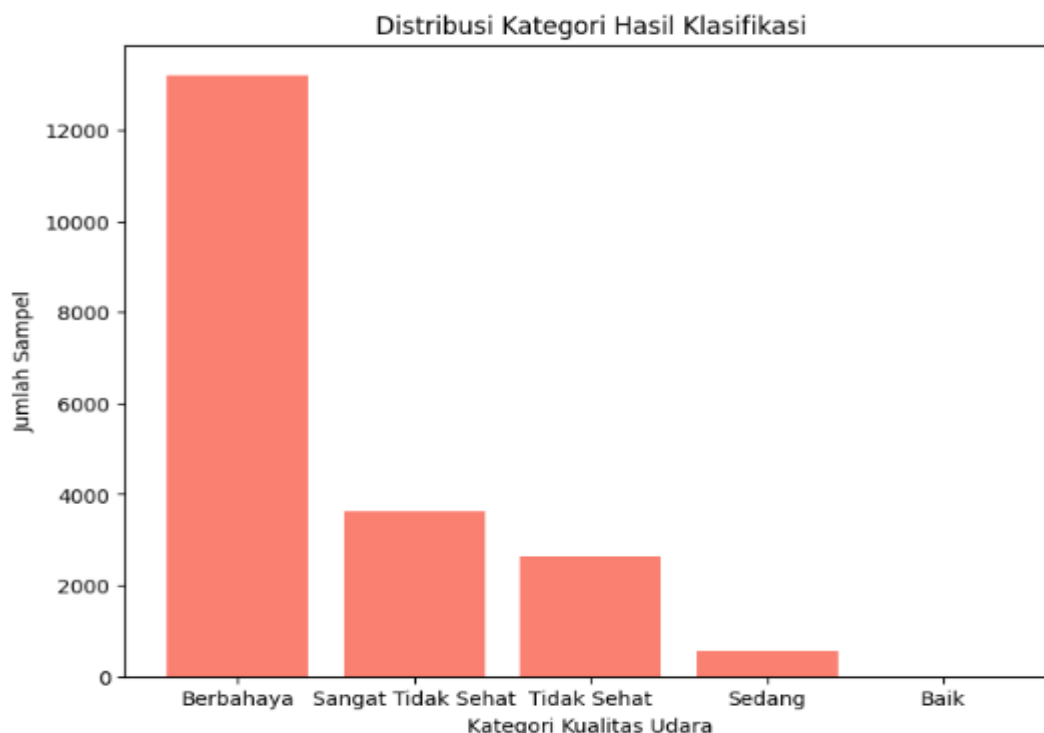
15. $(CO = TS) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
16. $(CO = STS) \wedge (CO2 = B) \rightarrow STS$
17. $(CO = STS) \wedge (CO2 = S) \rightarrow STS$
18. $(CO = STS) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow STS$
19. $(CO = STS) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow STS$
20. $(CO = STS) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$
21. $(CO = BH) \wedge (CO2 = B) \rightarrow BH$
22. $(CO = BH) \wedge (CO2 = S) \rightarrow BH$
23. $(CO = BH) \wedge (CO2 = TS) \rightarrow BH$
24. $(CO = BH) \wedge (CO2 = STS) \rightarrow BH$
25. $(CO = BH) \wedge (CO2 = BH) \rightarrow BH$

Berdasarkan Aturan Fuzzy yang telah dibentuk maka selanjutnya dilakukan klasifikasi menggunakan metode Bayes yang hasilnya ditunjukkan sebagai berikut:



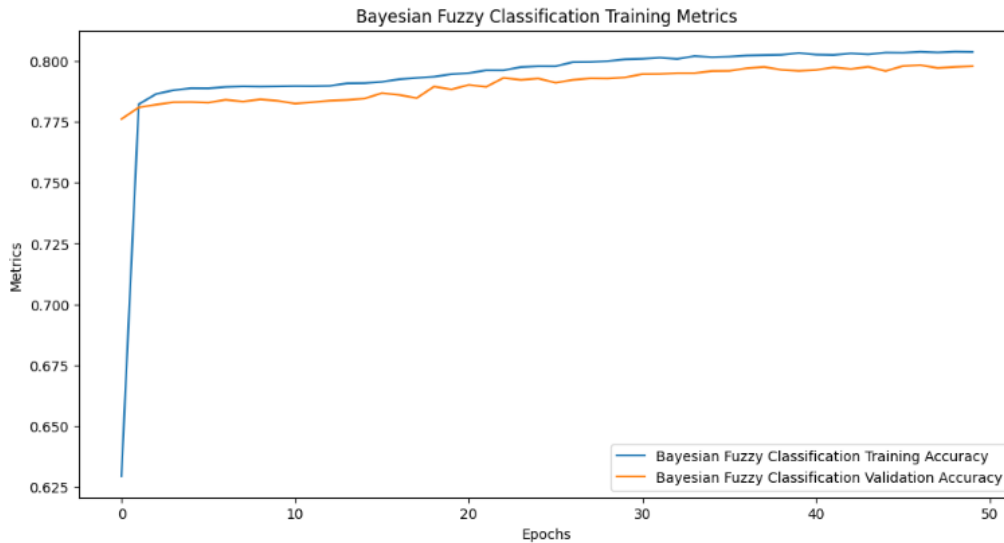
Gambar 3.19 Klasifikasi bayes fuzzy kualitas udara pada n=1000, n=10000, n=100000

Berdasarkan Gambar 3.18 dapat di lihat bahwa setiap sampel data bangkitan yang telah dibuat menunjukkan konsistensi dalam hasil klasifikasinya. Secara khusus, kategori "Berbahaya" terlihat memiliki proporsi yang lebih tinggi dibandingkan dengan kategori kualitas udara lainnya. Hal ini konsisten dengan temuan pada Tabel 1, di mana kandungan udara pada setiap tingkatan ($n=1000$, $n=10000$, $n=100000$) menunjukkan bahwa kategori "Berbahaya" memiliki nilai yang lebih tinggi daripada kategori lainnya. Ini menunjukkan bahwa dalam berbagai skenario pengukuran, kualitas udara cenderung lebih sering diklasifikasikan sebagai "Berbahaya," mengindikasikan tingkat polusi yang signifikan dan risiko kesehatan yang lebih tinggi



Gambar 3.20 Machine learning IOT monitoring polusi

Pada gambar 3.20 data yang di dapat hasil pengukuran IOT monitoring polusi udara di dapatkan polusi udara yang berada di daerah Jakarta mengalami peningkatan polusi serta masuk ke dalam kategori berbahaya. Pada training loss merupakan nilai kesalahan (error) yang dihitung pada data pelatihan selama proses pelatihan model. tujuannya untuk mengukur seberapa baik model mempelajari pola dari data pelatihan. Validation loss yang menurun pada awal pelatihan tetapi kemudian stabil atau meningkat menunjukkan bahwa model mungkin overfitting, yaitu model terlalu menyesuaikan diri dengan data pelatihan dan tidak bekerja dengan baik pada data baru.



Gambar 3.21 Training dan validation accuracy

Training loss yang menurun selama pelatihan menunjukkan bahwa model sedang belajar dan semakin baik dalam memprediksi data pelatihan. Jika training loss tidak menurun atau berfluktuasi, itu bisa menunjukkan masalah seperti learning rate yang tidak tepat atau data yang tidak sesuai.

```

Bayesian Fuzzy Classification Accuracy on Test Data: 0.80275

Classification Report for Bayesian Fuzzy Classification:
      precision    recall  f1-score   support

     0       0.89       0.93       0.91     12675
     1       0.59       0.53       0.56      4065
     2       0.69       0.75       0.72      2405
     3       0.57       0.50       0.53       635
     4       1.00       0.00       0.00        220

 accuracy          0.80     20000
  macro avg       0.75     0.54     0.54     20000
 weighted avg     0.80     0.80     0.79     20000
  
```

Gambar 3.22 hasil bayesian accuracy

Pada gambar 3.22 di dapat dari hasil epoch training di dapatkan 0,80 menggunakan metode Bayesian fuzzy classification.

Tabel 4.6 Rencana Anggaran Biaya (RAB) pembuatan IOT Monitoring polusi

NO	NAMA BARANG	JUMLAH	HARGA
1.	Box Hitam UK6x	1	35.000
2.	Spaser	4	4.000
3.	Resistor (10K&300 Ohm) & Lampu Led	3 & 2	3.000
4.	Modul Power Suplay 5V 700mA	1	25.000
5.	LCD 20x4	1	58.000
6.	Pcb lubang	2	13.000
7.	Sensor DHT 22	1	27.000
8.	Sensor MQ-135	1	24.000
9.	Pin Header	2	9.000
10.	ESP 32	1	70.000
11.	Buzzer	1	9.000
12.	Harga adaptor listrik	1	36.000
12.	Biaya pemasaran iklan, sosial media,youtube dan website	1	3.313.000
	TOTAL		3.313.000

Pada Tabel 4.6 didapatkan harga 1 perangkat IOT monitoring polusi udara dengan harga Rp.3.313.000 dengan komponen yang sudah tersebar di jabodetabek yaitu Jakarta selatan, Jakarta barat, Jakarta timur, Jakarta utara, bogor, bekasi, depok, tangerang dengan total 5 lokasi dengan harga Rp.26.504.000



Gambar 3.17 Business model canvas untuk pemasaran IOT

Business Model Canvas (BMC) untuk sistem IoT yang memonitor kualitas udara menggunakan pendekatan Fuzzy Bayesian bisa membantu memvisualisasikan elemen-elemen penting dari bisnis ini. Berikut adalah contoh BMC yang mungkin sesuai:

1. Key Partners (Mitra Kunci)

- Penyedia sensor dan perangkat IoT: Produsen sensor kualitas udara, penyedia perangkat IoT.
- Pengembang perangkat lunak: Tim pengembang aplikasi dan sistem backend.
- Penyedia layanan cloud: Amazon Web Services, Google Cloud, atau penyedia layanan cloud lainnya.
- Universitas dan lembaga penelitian: Untuk penelitian lanjutan dan validasi data.
- Pemerintah dan organisasi lingkungan: Kolaborasi dalam inisiatif lingkungan dan regulasi.

2. Key Activities (Aktivitas Kunci)

- Pengembangan perangkat keras: Desain dan produksi sensor kualitas udara dan perangkat IoT.
- Pengembangan perangkat lunak: Pengembangan aplikasi pemantauan dan analisis data.
- Pemeliharaan dan dukungan: Pemeliharaan perangkat keras dan perangkat lunak serta dukungan pelanggan.
- Analisis data: Pengumpulan, analisis, dan interpretasi data kualitas udara.
- Riset dan pengembangan: R&D untuk peningkatan akurasi model Fuzzy Bayesian dan pengembangan fitur baru.

3. Key Resources (Sumber Daya Kunci)

- Perangkat keras: Sensor kualitas udara dan perangkat IoT.
- Perangkat lunak: Aplikasi pemantauan dan analisis data.
- Data: Data kualitas udara yang dikumpulkan dari sensor.
- Tim teknis: Insinyur perangkat keras, pengembang perangkat lunak, dan ilmuwan data.
- Layanan cloud: Infrastruktur untuk penyimpanan dan pemrosesan data.

4. Value Propositions (Proposisi Nilai)

- Pemantauan real-time: Pengguna dapat memantau kualitas udara secara real-time.
- Prediksi dan analisis: Model Fuzzy Bayesian menyediakan prediksi yang lebih akurat dan analisis risiko.
- Peningkatan kesehatan dan keselamatan: Memberikan informasi yang dapat digunakan untuk mengurangi risiko kesehatan terkait kualitas udara buruk.
- Kemudahan penggunaan: Aplikasi yang user-friendly untuk pengguna individu dan organisasi.

5. Customer Relationships (Hubungan Pelanggan)

- Dukungan pelanggan: Dukungan teknis melalui call center, email, dan live chat.
- Pembaruan berkala: Pembaruan perangkat lunak dan firmware secara rutin.

- Komunitas dan forum: Platform untuk berbagi pengalaman dan solusi.

6. Channels (Saluran)

- Website dan aplikasi mobile: Platform utama untuk pemantauan dan analisis.
- Media sosial: Untuk pemasaran dan edukasi pengguna.
- Kemitraan dengan organisasi: Distribusi melalui kolaborasi dengan pemerintah, lembaga lingkungan, dan perusahaan.

7. Customer Segments (Segmen Pelanggan)

- Individu: Pengguna yang peduli dengan kualitas udara di sekitar mereka.
- Perusahaan: Industri yang perlu memonitor kualitas udara untuk kepatuhan regulasi.
- Pemerintah dan lembaga lingkungan: Untuk inisiatif lingkungan dan kesehatan publik.
- Institusi pendidikan: Untuk tujuan penelitian dan edukasi.

8. Cost Structure (Struktur Biaya)

- Pengembangan perangkat keras dan perangkat lunak: Biaya riset, pengembangan, dan produksi.
- Pemeliharaan dan dukungan: Biaya operasional untuk pemeliharaan dan dukungan pelanggan.
- Infrastruktur cloud: Biaya penggunaan layanan cloud untuk penyimpanan dan pemrosesan data.
- Pemasaran dan penjualan: Biaya pemasaran dan distribusi produk.

9. Revenue Streams (Sumber Pendapatan)

Penjualan perangkat keras: Penjualan sensor dan perangkat IoT.

- Langganan layanan: Model berlangganan untuk akses ke fitur premium dan analisis lanjutan.
- Layanan tambahan: Konsultasi, integrasi khusus, dan layanan dukungan premium.
- Kemitraan dan kolaborasi: Pendapatan dari kolaborasi dengan pemerintah dan organisasi.

Dengan Business Model Canvas ini, Anda dapat memiliki gambaran yang jelas tentang elemen-elemen penting dari bisnis IoT untuk monitoring kualitas udara menggunakan pendekatan Fuzzy Bayesian. Untuk pemasaran sistem IoT yang memonitor kualitas udara dengan pendekatan Fuzzy Bayesian, target pemasaran yang tepat harus dipilih untuk memaksimalkan adopsi dan manfaat dari teknologi ini. Berikut adalah beberapa target pemasaran potensial:

1. Individu yang Peduli dengan Kesehatan dan Lingkungan

- Strategi Pemasaran:

Edukasi tentang dampak kualitas udara terhadap kesehatan melalui blog, media sosial, dan webinar.

Penawaran khusus untuk rumah tangga, seperti diskon pembelian pertama atau paket langganan bulanan.

Kampanye pemasaran digital yang menargetkan komunitas dan grup yang peduli terhadap kesehatan dan lingkungan.

2. Perusahaan dan Industri

- Strategi Pemasaran:

Menyediakan studi kasus tentang bagaimana sistem membantu perusahaan mematuhi regulasi dan meningkatkan produktivitas karyawan.

Penawaran demo gratis dan konsultasi untuk menunjukkan nilai dan ROI (Return on Investment).

Menghadiri pameran dagang dan konferensi industri untuk mempromosikan produk secara langsung kepada pengambil keputusan.

2 Pemerintah dan Lembaga Lingkungan

Strategi Pemasaran:

Kolaborasi dalam proyek-proyek lingkungan dan kesehatan masyarakat untuk meningkatkan kesadaran dan pengumpulan data.

Menyediakan laporan dan data analisis yang dapat digunakan untuk inisiatif kebijakan publik.

3 Institusi Pendidikan dan Penelitian

Strategi Pemasaran:

Menawarkan program kemitraan dan diskon untuk pembelian dalam jumlah besar.

Mengadakan workshop dan seminar untuk mendemonstrasikan penggunaan dan manfaat teknologi.

Memberikan akses ke data dan alat analisis untuk mendukung proyek penelitian dan pengajaran.

4 Pengembang Real Estate dan Properti

Strategi Pemasaran:

Menawarkan integrasi sistem sebagai bagian dari paket smart home untuk perumahan baru.

Menyediakan solusi pemantauan kualitas udara untuk bangunan komersial guna meningkatkan daya tarik properti.

Berkolaborasi dengan pengembang untuk memasukkan sistem dalam desain bangunan yang ramah lingkungan.

5 Penyedia Layanan Kesehatan

Strategi Pemasaran:

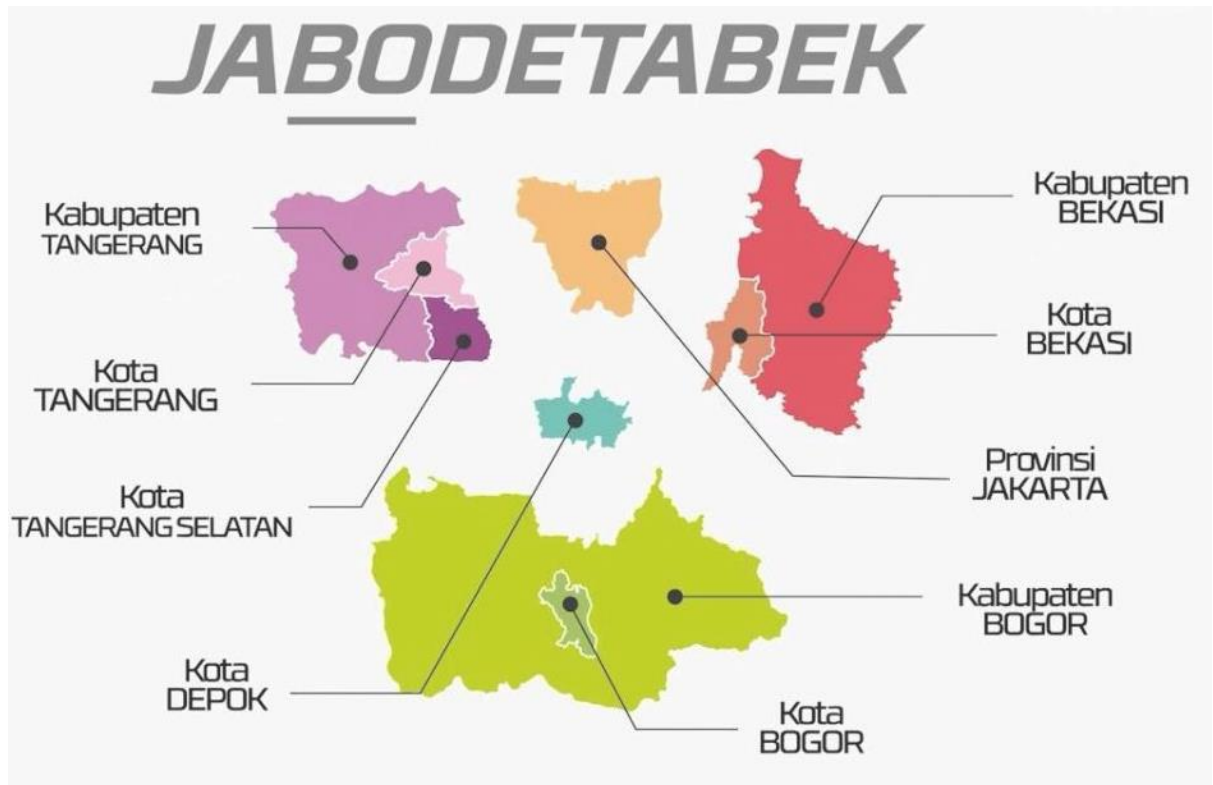
Menyediakan solusi pemantauan kualitas udara untuk ruang rawat dan ruang tunggu.

Menawarkan data analisis untuk mendukung penelitian kesehatan dan inisiatif pencegahan penyakit.

Mempromosikan manfaat sistem melalui kemitraan dengan dokter dan spesialis kesehatan pernapasan.

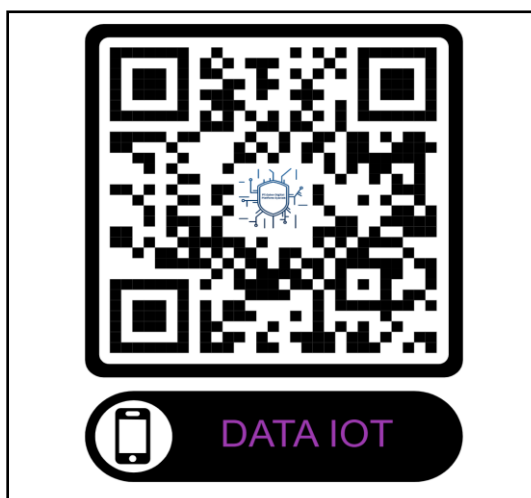
4.4 Implementasi strategi pemasaran

Pemasaran dan pengujian di lakukan di lokasi jabodetabek yaitu Jakarta selatan, Jakarta barat, Jakarta timur, Jakarta utara, bogor, bekasi, depok, tangerang dengan total 5 lokasi



Gambar 3.17 Peta Jabodetabek

4.5 Hasil pengeolahan data IOT monitoring udara metode Bayesian fuzzyfikasi dengan R-Programming dan google collabs



Gambar 3.18 Hasil data IOT monitoring polusi udara

Referensi

- [1] Maulidar, P., Fitriyani, F., Sasmita, N. R., Hardi, I., & Idroes, G. M. (2024). Exploring Indonesia's CO₂ Emissions: The Impact of Agriculture, Economic Growth, Capital and Labor. *Grimsa Journal of Business and Economics Studies*, 1(1), 43-55.
- [2] Lismiyah, E., & Marselina, A. R. T. Causality Between Carbon Dioxide (CO₂) Emissions and Economic Growth in Indonesia.(2024)
- [3] Lestari, P., Khafid Arrohman, M., Damayanti, S., & Klimont, Z. (2023, May). Emissions Inventory of Air Pollutants from Anthropogenic Sources in Jakarta. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* (pp. EGU-6686).
- [3] Ginanjar, Syuhada., Adhadian, Akbar., Donny, Hardiawan., Vivian, C., Pun., Aditya, Rizqi, Darmawan., Sri, Heryati., Adiatma, Y., M., Siregar., Ririn, Radiawati, Kusuma., Raden, Driejana., Vijendra, Ingole., Daniel, Kass., Sumi, Mehta. (2023). Impacts of Air Pollution on Health and Cost of Illness in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, doi: 10.3390/ijerph20042916
- [4] Simonsen, K. R., Hansen, D. S., & Pedersen, S. (2024). Challenges in CO₂ transportation: Trends and perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 191, 114149.
- [5] Rista, Hernandi, Virgianto., Rayhan, Rivaniputra., Nanda, Putri, Kinanti., Agung, Hari, Saputra., Aulia, Khoir. (2022). A numerical simulation of PM_{2.5} concentration using the WRF-Chem model during a high air pollution episode in 2019 in Jakarta, Indonesia. *International Journal of Advances in Applied Sciences*, doi: 10.11591/ijaas.v11.i4.pp335-344
- [5] Teny, Handhayani. (2023). An integrated analysis of air pollution and meteorological conditions in Jakarta. *Dental science reports*, doi: 10.1038/s41598-023-32817-9
- [6] Balasubramaniyan, C., & Manivannan, D. (2016). Iot enabled air quality monitoring system (AQMS) using raspberry Pi. *Indian Journal of Science and Technology*.

[7] Zhao, Y. L., Tang, J., Huang, H. P., Wang, Z., Chen, T. L., Chiang, C. W., & Chiang, P. C. (2020). Development of iot technologies for air pollution prevention and improvement. *Aerosol and Air Quality Research*, 20(12), 2874-2888.

[8] Ayele, T. W., & Mehta, R. (2018). Air pollution monitoring and prediction using IoT. In 2018 second international conference on inventive communication and computational technologies (ICICCT) (pp. 1741-1745). IEEE.

[9] Putra, P. A. D., Purnawan, I. A., & Putri, D. P. S. (2018). Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Mata dengan Fuzzy Logic dan Naïve Bayes. *J. Ilm. Merpati (Menara Penelit. Akad. Teknol. Informasi)*, 6(1), 35.