

BAB 1

USULAN GAGASAN

1.1 Deskripsi Umum Masalah

Pencemaran udara merupakan salah satu permasalahan lingkungan yang semakin mengkhawatirkan, khususnya di wilayah perkotaan di Indonesia. Laju urbanisasi yang tinggi, peningkatan aktivitas industri, serta pertumbuhan jumlah kendaraan bermotor telah menyebabkan peningkatan konsentrasi polutan di atmosfer. Beberapa polutan utama yang umum ditemukan meliputi ozon (O_3), nitrogen dioksida (NO_2), karbon monoksida (CO), amonia (NH_3), serta partikulat halus $PM_{2.5}$ dan PM_{10} .

Polutan tersebut dapat menurunkan kualitas udara dan memberikan dampak buruk terhadap kesehatan manusia. Paparan $PM_{2.5}$ yang berukuran sangat kecil memungkinkan partikel masuk hingga ke dalam alveolus paru-paru, sehingga dapat memicu gangguan pernapasan dan memperburuk kondisi penyakit kronis. Karbon monoksida (CO) dan nitrogen dioksida (NO_2) diketahui berperan dalam menurunkan kemampuan darah mengangkut oksigen dan menyebabkan peradangan saluran napas. Sementara itu, amonia (NH_3) dapat menyebabkan iritasi pada hidung, mata, dan tenggorokan, serta memperburuk gejala pada penderita gangguan paru-paru.

Indonesia termasuk dalam negara dengan tingkat pencemaran udara yang tinggi. Beberapa wilayah, seperti DKI Jakarta, kerap mencatatkan nilai Indeks Kualitas Udara (IKU) yang berada dalam kategori tidak sehat, baik akibat tingginya konsentrasi $PM_{2.5}$ maupun ozon troposferik[1]. Kondisi tersebut menimbulkan risiko kesehatan yang serius, terutama bagi kelompok rentan seperti anak-anak, lanjut usia, serta individu dengan penyakit bawaan.

Oleh karena itu, diperlukan suatu sistem pemantauan kualitas udara yang mampu menyajikan data secara akurat, dan berkelanjutan. Pemanfaatan teknologi Internet of Things (IoT) dapat menjadi solusi inovatif dalam memantau kondisi udara secara langsung. Dengan adanya informasi yang lebih cepat dan menyeluruh, diharapkan masyarakat, pemerintah, serta pemangku kepentingan lainnya dapat melakukan tindakan pencegahan dan pengendalian pencemaran udara secara lebih efektif.

1.2 Analisis Masalah

Infrastruktur pemantauan kualitas udara di Indonesia menghadapi beberapa keterbatasan signifikan yang menghambat upaya pengendalian polusi udara secara efektif. Pertama, distribusi stasiun pemantauan tidak merata secara geografis, dengan konsentrasi tinggi di wilayah perkotaan besar namun sangat minim di tingkat kecamatan. Kedua, stasiun pemantauan eksisting umumnya mengukur parameter terbatas, seperti PM_{2.5} saja, padahal evaluasi komprehensif kualitas udara memerlukan pengukuran simultan terhadap multiple parameter termasuk PM₁₀, O₃, NO₂, CO, dan NH₃. Ketiga, akses masyarakat terhadap informasi kualitas udara terhambat oleh minimnya infrastruktur pemantauan lokal dan sistem informasi yang mudah diakses. Kondisi ini mengakibatkan defisiensi data representatif kualitas udara di level lokal, sehingga menghambat implementasi strategi mitigasi polusi dan program peningkatan kesadaran masyarakat terhadap risiko kesehatan lingkungan.

1.2.1 Aspek Kesehatan

Polusi udara dapat memberikan dampak yang serius terhadap kesehatan manusia. Paparan jangka panjang terhadap polutan udara berpotensi menimbulkan berbagai gangguan kesehatan. Dampak polusi udara tidak hanya terbatas pada kesehatan manusia, tetapi juga mencakup kerusakan lingkungan dan berkontribusi terhadap perubahan iklim. Paparan berkelanjutan terhadap polutan udara dapat menyebabkan gangguan pernapasan, iritasi mata dan tenggorokan, penyakit kardiovaskular, serta peningkatan risiko kanker[2]. Untuk melindungi diri dari dampak buruk polusi udara, disarankan untuk menghindari atau meminimalkan paparan terhadap polutan, misalnya dengan tidak berada di area dengan tingkat polusi udara yang tinggi.

1.2.2 Aspek Teknis

Air Quality Monitoring System (AQMS) seringkali menghadapi masalah dengan titik data yang hilang atau salah. Hal ini dapat berasal dari kegagalan sensor, kesalahan transmisi data, atau gangguan lingkungan. Bahkan data dari stasiun pemantauan resmi dapat mengandung nilai yang hilang dan pembacaan yang salah secara tidak normal karena pemeliharaan, kegagalan sistem, atau masalah dalam publikasi data[3]. Kualitas data yang terganggu secara serius menghambat penilaian kualitas udara yang akurat dan kinerja analisis selanjutnya, termasuk model machine learning, yang dapat terpengaruh secara negatif oleh nilai yang hilang dan kemiringan data[4].

Keandalan transmisi juga menjadi perhatian. Komunikasi nirkabel, yang banyak digunakan dalam AQMS, rentan terhadap interferensi dari kebisingan lingkungan dan sinyal frekuensi yang sama, yang dapat menyebabkan kehilangan data, terutama dalam jaringan perangkat heterogen. Masalah kualitas data ini bukan peristiwa terisolasi tetapi masalah yang meluas yang dapat berasal dari berbagai titik: malfungsi sensor, interferensi lingkungan, atau kegagalan transmisi. Kualitas data yang buruk secara langsung menyebabkan keputusan kebijakan yang cacat dan upaya mitigasi yang tidak efektif. Ketidakandalan transmisi nirkabel karena interferensi semakin memperburuk hal ini, yang berarti data dapat hilang atau rusak bahkan jika sensor akurat[3]. Memastikan integritas data memerlukan pendekatan holistik, menerapkan validasi, imputasi, dan mekanisme deteksi anomali yang kuat di setiap tahap pipeline data, mulai dari akuisisi hingga transmisi dan penyimpanan. Ini membuat manajemen data menjadi tantangan teknis yang kompleks dan beragam.

1.2.3 Aspek Lingkungan

Polusi udara tidak hanya berdampak pada kesehatan manusia, tetapi juga memiliki pengaruh yang signifikan terhadap lingkungan. Partikel halus (PM2.5 dan PM10), gas rumah kaca seperti karbon dioksida dan metana, serta senyawa berbahaya lainnya merupakan faktor penyebab terjadinya hujan asam, penipisan lapisan ozon, dan kerusakan ekosistem. Dalam jangka panjang, polusi udara dapat merusak tanaman, mengganggu pertumbuhan dan reproduksi flora serta fauna, serta menurunkan kualitas air dan tanah. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara yang tepat dan akurat sangat penting untuk mengetahui tingkat polusi serta dampaknya terhadap lingkungan. Langkah ini akan mendukung upaya dalam pengendalian pencemaran udara dan perlindungan ekosistem secara berkelanjutan.

1.3 Analisis Solusi yang Ada

Polusi udara merupakan salah satu masalah lingkungan yang signifikan di kota-kota besar dan kawasan industri. Kualitas udara yang buruk dapat memberikan dampak negatif terhadap kesehatan masyarakat dalam jangka panjang, seperti gangguan pernapasan serta memperburuk penyakit kronis yang telah diderita.

Di Indonesia, pemantauan kualitas udara telah dilakukan melalui beberapa titik stasiun pemantauan yang dipasang di berbagai kota besar oleh Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK)[1]. Stasiun-stasiun tersebut, yang dikenal dengan nama *Air Quality Monitoring Station (AQMS)*, memantau tingkat polusi udara dengan mengukur parameter

seperti PM2.5, PM10, O₃, CO, NO₂, dan NH₃[1]. Data yang diperoleh kemudian disajikan kepada publik melalui situs web dan aplikasi, antara lain:

1. IQAir, sebuah perusahaan teknologi asal Swiss yang memberdayakan individu, organisasi, dan pemerintah untuk meningkatkan kualitas udara melalui penyediaan informasi dan kolaborasi.

Namun demikian, sistem ini masih memiliki kendala, salah satunya adalah jumlah stasiun pemantauan yang terbatas. Akibatnya, banyak wilayah yang belum terpantau secara efektif, sehingga menyulitkan pengambilan keputusan berbasis data di tingkat lokal.

1.4 Tujuan Tugas Akhir

Tujuan dari tugas akhir ini adalah untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan kualitas udara berbasis sensor yang mampu mendeteksi berbagai jenis polutan udara secara waktu berkala, seperti ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂), karbon monoksida (CO), amonia (NH₃), serta partikel PM2.5 dan PM10. Sistem ini diharapkan dapat memberikan solusi pemantauan yang efisien dan terjangkau melalui pemanfaatan sensor berbasis mikrokontroler yang terintegrasi dengan teknologi Internet of Things (IoT), serta dilengkapi dengan mekanisme kalibrasi menggunakan algoritma pembelajaran mesin (machine learning) untuk meningkatkan akurasi data.

1.5 Batasan Tugas Akhir

Agar ruang lingkup penelitian ini lebih terfokus dan sesuai dengan waktu serta sumber daya yang tersedia, maka tugas akhir ini memiliki beberapa batasan sebagai berikut:

1. Mikrokontroler yang digunakan dalam sistem adalah *ESP32*, yang berfungsi sebagai pusat pengolahan data dan pengirim data ke platform digital.
2. Data pemantauan dikirimkan secara *berkala* melalui koneksi *Wi-Fi* ke platform *cloud* (seperti ThingSpeak), dan ditampilkan dalam bentuk antarmuka web atau *dashboard* sederhana.
3. Sistem hanya difokuskan untuk pemantauan kualitas udara skala kecil di lingkungan terbuka (*outdoor*) dan tidak dirancang untuk pemantauan di dalam ruangan (*indoor*) atau area industri berskala besar.
4. Pengujian sistem dilakukan dalam kondisi lingkungan terbatas, yaitu di area tertentu yang mewakili lingkungan dengan tingkat polusi ringan hingga sedang.