

Pemetaan Polusi Udara di Kota Besar Menggunakan Sensor Berbasis IoT

1. Abstrak

Penelitian ini mengeksplorasi penggunaan [sensor berbasis Internet of Things \(IoT\)](#)^[1] untuk pemetaan polusi udara di kota besar. Sensor IoT ditempatkan di lokasi strategis untuk mengukur konsentrasi polutan seperti PM2.5, PM10, NO2, dan CO2 secara real-time. Data yang dikumpulkan dianalisis menggunakan [teknik interpolasi spasial](#)^[3] untuk memetakan distribusi polutan. Integrasi dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan visualisasi yang komprehensif, mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat dalam pengendalian polusi udara. Hasil menunjukkan variasi konsentrasi polutan yang signifikan di berbagai wilayah kota.

2. Pendahuluan

Pemetaan polusi udara di kota besar menjadi semakin penting seiring dengan meningkatnya urbanisasi dan aktivitas industri yang intensif. Polusi udara telah diakui sebagai salah satu ancaman utama terhadap kesehatan masyarakat dan lingkungan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan yang inovatif untuk memantau dan mengelola kualitas udara secara efektif. Teknologi Internet of Things (IoT) menawarkan solusi yang menjanjikan dengan memungkinkan pengumpulan data kualitas udara secara real-time melalui sensor yang terhubung ke jaringan internet. Pendekatan ini memberikan peluang untuk mendapatkan gambaran yang lebih akurat dan komprehensif mengenai distribusi polusi udara di berbagai wilayah kota.

Dalam konteks pemetaan polusi udara, penggunaan sensor IoT memungkinkan pengumpulan data yang lebih terperinci dan berkelanjutan. Sensor-sensor ini dapat ditempatkan di lokasi strategis, seperti kawasan industri dan jalan raya, untuk mengukur konsentrasi polutan seperti [PM2.5, PM10, NO2, dan CO2](#)^[2]. Data yang dikumpulkan dapat dianalisis untuk mengidentifikasi pola distribusi polusi udara dan faktor-faktor yang mempengaruhinya. Dengan demikian, teknologi IoT tidak hanya mendukung pemantauan kualitas udara, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih dalam untuk pengembangan strategi pengendalian polusi yang lebih efektif dan tepat sasaran.

Selain itu, integrasi data sensor IoT dengan Sistem Informasi Geografis (SIG) memungkinkan visualisasi polusi udara yang lebih komprehensif dan interaktif. Data kualitas udara yang dikumpulkan dapat dipetakan ke dalam platform SIG, memberikan gambaran spasial mengenai distribusi polutan di berbagai lokasi kota. Proses ini memfasilitasi identifikasi area dengan konsentrasi polutan tinggi dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat. Dengan visualisasi real-time, pihak berwenang dapat merespons perubahan kondisi udara dengan cepat, sementara masyarakat dapat memantau kualitas udara di lingkungan mereka secara

langsung, meningkatkan kesadaran dan partisipasi dalam upaya pengendalian polusi.

3. Landasan Teori

Dalam penelitian ini, teori yang digunakan adalah [teori Internet of Things \(IoT\)](#)^[5] yang menjelaskan bagaimana perangkat yang terhubung dapat saling berkomunikasi dan bertukar data. IoT memungkinkan pengumpulan data secara real-time melalui sensor yang terhubung ke jaringan internet. Dalam konteks pemetaan polusi udara, sensor IoT dapat ditempatkan di berbagai lokasi strategis di kota besar untuk mengumpulkan data kualitas udara. Data ini kemudian dapat dianalisis untuk memberikan gambaran yang akurat mengenai tingkat polusi di berbagai area.

Teori IoT juga mencakup konsep interoperabilitas, yang penting untuk memastikan bahwa berbagai jenis sensor dapat bekerja sama dalam satu sistem. Dalam pemetaan polusi udara, sensor yang berbeda mungkin mengukur parameter yang berbeda, seperti partikel debu, gas berbahaya, atau kelembaban. Dengan menggunakan [protokol komunikasi standar](#)^[6], data dari berbagai sensor dapat digabungkan untuk memberikan analisis yang komprehensif. Hal ini memungkinkan pengambilan keputusan yang lebih baik dalam mengatasi masalah polusi udara di kota besar.

Selain itu, teori IoT menekankan pentingnya pengolahan data secara terdesentralisasi. Dalam konteks pemetaan polusi udara, data yang dikumpulkan oleh sensor IoT dapat diproses secara lokal sebelum dikirim ke pusat data. Pendekatan ini mengurangi beban jaringan dan memungkinkan respons yang lebih cepat terhadap perubahan kondisi udara. Dengan demikian, teori IoT tidak hanya mendukung pengumpulan data, tetapi juga pengolahan dan analisis data yang efisien dan efektif.

Teori IoT juga mencakup aspek keamanan dan privasi data, yang sangat penting dalam pengumpulan data lingkungan. Dalam pemetaan polusi udara, data yang dikumpulkan harus dilindungi dari akses yang tidak sah untuk menjaga integritas dan keandalan informasi. Teori ini menyediakan kerangka kerja untuk mengimplementasikan langkah-langkah keamanan yang diperlukan, seperti enkripsi data dan otentikasi perangkat, sehingga data yang dikumpulkan dapat dipercaya dan digunakan untuk analisis lebih lanjut.

Terakhir, teori IoT menyoroti pentingnya skalabilitas dalam sistem yang digunakan. Dalam pemetaan polusi udara di kota besar, jumlah sensor yang diperlukan mungkin sangat banyak dan tersebar luas. Teori ini menyediakan panduan untuk merancang sistem yang dapat dengan mudah ditingkatkan kapasitasnya tanpa mengorbankan kinerja. Dengan demikian, pemetaan polusi udara dapat dilakukan secara lebih luas dan mendetail, memberikan wawasan yang lebih baik untuk pengambilan kebijakan lingkungan.

4. Metodologi Penelitian

4.1. Desain dan Implementasi Jaringan Sensor IoT

Dalam desain dan implementasi jaringan sensor IoT untuk pemetaan polusi udara, langkah pertama adalah merancang arsitektur jaringan yang efisien. Arsitektur ini melibatkan pemilihan

protokol komunikasi yang sesuai, seperti MQTT atau CoAP, untuk memastikan transmisi data yang andal dan hemat energi. Selain itu, pemilihan perangkat keras yang tepat, termasuk sensor dan mikrokontroler, sangat penting untuk memastikan kompatibilitas dan kinerja optimal. Jaringan harus dirancang sedemikian rupa sehingga mampu menangani jumlah sensor yang besar dan tersebar luas di seluruh kota, dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti jangkauan sinyal dan potensi interferensi.

Setelah arsitektur jaringan ditetapkan, langkah berikutnya adalah mengimplementasikan jaringan sensor IoT di lapangan. Proses ini melibatkan instalasi fisik sensor di lokasi yang telah ditentukan, serta konfigurasi perangkat lunak untuk menghubungkan sensor ke jaringan. Setiap sensor harus dikalibrasi untuk memastikan akurasi pengukuran, dan perangkat lunak harus diatur untuk mengirim data secara berkala ke server pusat. Selain itu, pengujian jaringan dilakukan untuk memastikan bahwa semua sensor berfungsi dengan baik dan data dapat dikumpulkan tanpa gangguan.

Untuk memastikan keberhasilan implementasi, sistem pemantauan dan pemeliharaan jaringan harus diterapkan. Sistem ini melibatkan pemantauan kinerja jaringan secara real-time untuk mendeteksi dan mengatasi masalah yang mungkin timbul, seperti kegagalan sensor atau gangguan komunikasi. Pemeliharaan rutin, termasuk pemeriksaan dan kalibrasi ulang sensor, juga diperlukan untuk menjaga akurasi dan keandalan data yang dikumpulkan. Dengan demikian, desain dan implementasi jaringan sensor IoT yang efektif dapat mendukung pengumpulan data polusi udara yang akurat dan berkelanjutan.

4.2. Pemilihan dan Penempatan Sensor di Lokasi Strategis

Pemilihan dan penempatan sensor di lokasi strategis merupakan langkah krusial dalam pemetaan polusi udara menggunakan teknologi IoT. Proses ini dimulai dengan analisis geografis dan demografis kota untuk mengidentifikasi area dengan potensi polusi tinggi, seperti kawasan industri, jalan raya padat, dan daerah pemukiman padat penduduk. Selain itu, pertimbangan terhadap arah angin dominan dan topografi juga penting untuk memastikan cakupan pengukuran yang representatif. Setelah lokasi strategis ditentukan, dilakukan survei lapangan untuk menilai kondisi fisik dan infrastruktur yang tersedia, seperti sumber daya listrik dan konektivitas jaringan, guna mendukung instalasi sensor.

Setelah lokasi strategis diidentifikasi, pemilihan jenis sensor yang tepat dilakukan berdasarkan parameter polusi yang akan diukur, seperti PM2.5, PM10, NO2, atau CO2. Sensor harus memiliki sensitivitas dan akurasi yang memadai untuk mendeteksi variasi konsentrasi polutan di lingkungan perkotaan. Selain itu, daya tahan sensor terhadap kondisi cuaca ekstrem dan polusi lingkungan juga menjadi pertimbangan penting. Sensor yang dipilih kemudian diuji di laboratorium untuk memastikan kinerjanya sesuai dengan spesifikasi teknis sebelum dipasang di lapangan. Pengujian ini meliputi kalibrasi dan verifikasi akurasi pengukuran.

Penempatan sensor di lapangan dilakukan dengan mempertimbangkan aksesibilitas untuk pemeliharaan dan keamanan dari potensi kerusakan atau pencurian. Sensor dipasang pada ketinggian yang sesuai untuk menghindari gangguan dari aktivitas manusia atau kendaraan, serta untuk mendapatkan sampel udara yang representatif. Instalasi dilakukan dengan memperhatikan orientasi sensor agar optimal dalam menangkap data polusi. Setelah pemasangan, dilakukan pengujian awal untuk memastikan sensor berfungsi dengan baik dan

data dapat dikirim ke pusat pengolahan secara real-time. Proses ini memastikan bahwa data yang dikumpulkan akurat dan dapat diandalkan untuk analisis lebih lanjut.

4.3. Pengumpulan dan Pengolahan Data Kualitas Udara

Pengumpulan data kualitas udara dimulai dengan konfigurasi perangkat lunak pada sensor IoT untuk mengukur parameter polusi tertentu, seperti PM2.5, PM10, NO2, dan CO2.

Sensor-sensor ini secara berkala mengirimkan data ke server pusat melalui protokol komunikasi yang telah ditentukan, seperti MQTT atau CoAP. Data yang diterima oleh server kemudian disimpan dalam basis data terstruktur untuk memudahkan pengolahan lebih lanjut. Proses pengumpulan data dilakukan secara real-time, memungkinkan pemantauan kondisi udara secara terus-menerus dan memberikan informasi yang up-to-date mengenai tingkat polusi di berbagai lokasi kota.

Setelah data terkumpul, langkah selanjutnya adalah pengolahan data untuk memastikan kualitas dan keakuratannya. Data mentah yang diterima dari sensor sering kali memerlukan pembersihan untuk menghilangkan anomali atau kesalahan pengukuran. Teknik statistik dan algoritma deteksi outlier digunakan untuk mengidentifikasi dan memperbaiki data yang tidak konsisten. Selain itu, data yang telah dibersihkan kemudian diolah menggunakan metode interpolasi untuk mengisi celah data yang mungkin terjadi akibat gangguan komunikasi atau kegagalan sensor. Proses ini memastikan bahwa data yang digunakan untuk analisis lebih lanjut adalah akurat dan dapat diandalkan.

Pengolahan data juga mencakup agregasi dan analisis awal untuk mendapatkan gambaran umum mengenai tren polusi udara. Data yang telah diolah diorganisir berdasarkan waktu dan lokasi untuk memudahkan analisis spasial dan temporal. Analisis statistik dasar, seperti perhitungan rata-rata, median, dan deviasi standar, dilakukan untuk mengidentifikasi pola polusi udara. Selain itu, data juga dapat diintegrasikan dengan informasi meteorologi, seperti kecepatan angin dan suhu, untuk memahami faktor-faktor yang mempengaruhi distribusi polusi. Hasil pengolahan ini kemudian disiapkan untuk tahap analisis dan visualisasi lebih lanjut.

4.4. Integrasi dan Interoperabilitas Sistem Sensor

Untuk mencapai integrasi dan interoperabilitas sistem sensor dalam pemetaan polusi udara, langkah pertama adalah memastikan bahwa semua sensor yang digunakan dapat berkomunikasi menggunakan protokol standar, seperti MQTT atau CoAP. Protokol ini memungkinkan pertukaran data yang efisien antara sensor dan server pusat. Selain itu, diperlukan middleware yang dapat menghubungkan berbagai jenis sensor, mengingat setiap sensor mungkin memiliki spesifikasi dan format data yang berbeda. Middleware ini berfungsi sebagai jembatan yang mengonversi data dari format asli sensor menjadi format yang dapat dipahami oleh sistem pusat, memastikan kompatibilitas dan konsistensi data.

Selanjutnya, untuk memastikan interoperabilitas, sistem harus dirancang agar dapat mengakomodasi penambahan sensor baru tanpa mengganggu operasi yang sudah ada. Hal ini dapat dicapai dengan menggunakan arsitektur modular yang memungkinkan penambahan atau penggantian komponen secara fleksibel. Setiap sensor baru yang ditambahkan ke sistem harus melalui proses registrasi, di mana identitas dan parameter pengukurannya dicatat dalam basis data pusat. Proses ini memastikan bahwa semua sensor yang terhubung dapat dikenali dan

dikelola dengan baik, serta data yang dihasilkan dapat diintegrasikan secara mulus ke dalam sistem.

Pengujian interoperabilitas dilakukan untuk memastikan bahwa data dari berbagai sensor dapat digabungkan dan dianalisis secara bersamaan. Pengujian ini melibatkan simulasi skenario di mana data dari berbagai sensor dikumpulkan dan diproses secara bersamaan untuk mengidentifikasi potensi konflik atau inkonsistensi. Selain itu, dilakukan evaluasi terhadap kemampuan sistem dalam menangani volume data yang besar dan beragam. Hasil pengujian ini digunakan untuk mengoptimalkan konfigurasi sistem dan memastikan bahwa integrasi dan interoperabilitas berjalan dengan lancar, mendukung analisis data polusi udara yang komprehensif dan akurat.

4.5. Analisis Data dan Visualisasi Peta Polusi Udara

Setelah data kualitas udara terkumpul dan diolah, langkah berikutnya adalah melakukan analisis data untuk mendapatkan wawasan mengenai distribusi polusi udara. Proses analisis dimulai dengan penerapan teknik statistik lanjutan untuk mengidentifikasi pola dan tren dalam data. Model statistik, seperti regresi linier atau analisis kluster, digunakan untuk mengevaluasi hubungan antara parameter polusi dan faktor lingkungan lainnya. Selain itu, analisis spasial dilakukan untuk memahami distribusi geografis polusi udara. Teknik geostatistik, seperti kriging atau interpolasi spasial, diterapkan untuk memetakan variasi konsentrasi polutan di seluruh kota, memberikan gambaran yang lebih rinci mengenai area yang terdampak.

Setelah analisis data selesai, hasilnya diintegrasikan ke dalam sistem visualisasi peta polusi udara. Proses ini melibatkan penggunaan perangkat lunak pemetaan geografis, seperti GIS, untuk membuat peta interaktif yang menampilkan tingkat polusi di berbagai lokasi kota. Data polusi udara yang telah dianalisis di-overlay dengan peta kota untuk memberikan konteks geografis yang jelas. Peta ini dirancang untuk menampilkan informasi secara real-time, memungkinkan pengguna untuk memantau perubahan kondisi udara secara langsung. Selain itu, peta ini dilengkapi dengan fitur interaktif, seperti zoom dan filter, untuk memudahkan eksplorasi data oleh pengguna.

Visualisasi peta polusi udara juga mencakup representasi grafis dari tren polusi dari waktu ke waktu. Grafik dan diagram, seperti grafik garis atau diagram batang, digunakan untuk menunjukkan perubahan konsentrasi polutan dalam periode tertentu. Informasi ini membantu dalam mengidentifikasi periode dengan tingkat polusi tinggi dan memahami faktor-faktor yang mempengaruhinya. Selain itu, visualisasi ini dapat digunakan untuk menyajikan skenario prediksi berdasarkan model analisis yang telah dibuat. Dengan demikian, analisis data dan visualisasi peta polusi udara memberikan alat yang efektif untuk mendukung pengambilan keputusan dan kebijakan lingkungan yang lebih baik.

5. Hasil dan Pembahasan

5.1. analisis distribusi spasial Polusi Udara Menggunakan Data Sensor IoT

analisis distribusi spasial polusi udara menggunakan data sensor IoT menunjukkan adanya

variasi konsentrasi polutan di berbagai wilayah kota. Data yang dikumpulkan dari sensor yang tersebar di lokasi strategis, seperti kawasan industri dan jalan raya, mengindikasikan bahwa area tersebut memiliki tingkat polusi yang lebih tinggi dibandingkan dengan daerah pemukiman. Penggunaan teknik interpolasi spasial, seperti kriging, memungkinkan pemetaan yang lebih akurat dari distribusi polutan, memberikan gambaran rinci mengenai area yang paling terdampak oleh polusi udara.

Hasil analisis menunjukkan bahwa konsentrasi polutan, seperti PM_{2.5} dan NO₂, cenderung lebih tinggi di pusat kota dan menurun seiring dengan jarak dari pusat aktivitas industri dan transportasi. Data sensor IoT memberikan informasi real-time yang memungkinkan identifikasi area dengan tingkat polusi tinggi secara cepat. Hal ini penting untuk mengarahkan upaya mitigasi polusi udara ke lokasi yang paling membutuhkan intervensi. Selain itu, analisis spasial membantu dalam memahami pola penyebaran polutan yang dipengaruhi oleh faktor geografis dan aktivitas manusia.

Distribusi spasial polusi udara juga menunjukkan adanya pengaruh topografi terhadap konsentrasi polutan. Area dengan elevasi lebih rendah atau yang terletak di lembah cenderung memiliki akumulasi polutan yang lebih tinggi. Data sensor IoT mengungkapkan bahwa angin dan kondisi cuaca lainnya turut mempengaruhi distribusi polusi, dengan polutan yang terbawa angin ke area yang lebih jauh dari sumber emisi. Informasi ini penting untuk perencanaan tata ruang kota dan pengembangan strategi pengendalian polusi yang efektif.

Analisis spasial juga mengidentifikasi adanya hotspot polusi yang konsisten di beberapa lokasi, yang dapat menjadi fokus utama dalam pengendalian polusi udara. Penggunaan data sensor IoT memungkinkan pemantauan berkelanjutan dan penyesuaian strategi mitigasi berdasarkan perubahan kondisi udara. Dengan demikian, [analisis distribusi spasial](#)^[8] tidak hanya memberikan gambaran mengenai situasi saat ini, tetapi juga mendukung pengambilan keputusan yang lebih baik dalam jangka panjang untuk meningkatkan kualitas udara di kota besar.

Keseluruhan, analisis distribusi spasial polusi udara menggunakan data sensor IoT memberikan wawasan yang mendalam mengenai pola dan faktor yang mempengaruhi konsentrasi polutan di kota besar. Data yang dihasilkan membantu dalam mengidentifikasi area yang paling terdampak dan mendukung pengembangan kebijakan lingkungan yang lebih tepat sasaran. Dengan integrasi teknologi IoT, pemantauan kualitas udara menjadi lebih efisien dan responsif terhadap dinamika lingkungan, memungkinkan tindakan yang lebih cepat dan efektif dalam mengatasi masalah polusi udara.

5.2. Evaluasi Akurasi dan Keandalan Data Sensor IoT dalam Pemantauan Kualitas Udara

Evaluasi akurasi dan keandalan data sensor IoT dalam pemantauan kualitas udara merupakan aspek krusial dalam penelitian ini. Sensor IoT yang digunakan telah melalui proses [kalibrasi dan pengujian laboratorium](#)^[7] untuk memastikan bahwa hasil pengukuran sesuai dengan standar yang ditetapkan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor memiliki tingkat akurasi yang tinggi dalam mendeteksi konsentrasi polutan seperti PM_{2.5} dan NO₂. Namun, variasi lingkungan, seperti suhu dan kelembaban, dapat mempengaruhi kinerja sensor, sehingga perlu

dilakukan penyesuaian berkala.

Keandalan data sensor IoT juga diuji melalui pemantauan jangka panjang di berbagai kondisi cuaca dan lokasi. Data yang dikumpulkan menunjukkan konsistensi yang baik, dengan sedikit anomali yang terdeteksi. Anomali ini umumnya disebabkan oleh gangguan komunikasi atau kegagalan sensor, yang dapat diatasi dengan pemeliharaan rutin dan penggunaan algoritma deteksi outlier. Dengan demikian, keandalan data dapat dipertahankan, memungkinkan pemantauan kualitas udara yang berkelanjutan dan akurat.

Selain itu, evaluasi dilakukan dengan membandingkan data sensor IoT dengan data dari stasiun pemantauan kualitas udara konvensional. Hasil perbandingan menunjukkan korelasi yang kuat antara kedua sumber data, menegaskan validitas data sensor IoT. Perbedaan kecil yang ditemukan dapat diatribusikan pada perbedaan lokasi dan metode pengukuran. Meskipun demikian, data sensor IoT tetap memberikan gambaran yang akurat dan real-time mengenai kondisi kualitas udara di berbagai lokasi.

Penggunaan protokol komunikasi standar, seperti MQTT, juga berkontribusi pada keandalan data sensor IoT. Protokol ini memastikan bahwa data dapat ditransmisikan dengan efisien dan aman ke server pusat, mengurangi risiko kehilangan data. Selain itu, implementasi langkah-langkah keamanan, seperti enkripsi data, memastikan bahwa data yang dikumpulkan terlindungi dari akses yang tidak sah, menjaga integritas dan keandalan informasi yang diperoleh.

Secara keseluruhan, evaluasi akurasi dan keandalan data sensor IoT menunjukkan bahwa teknologi ini dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas udara di kota besar. Meskipun terdapat tantangan teknis, seperti gangguan komunikasi dan pengaruh lingkungan, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat memastikan bahwa data yang dikumpulkan tetap akurat dan dapat diandalkan. Dengan demikian, sensor IoT menjadi alat yang efektif dalam mendukung pengambilan keputusan dan kebijakan lingkungan yang lebih baik.

5.3. Pengaruh Faktor Lingkungan terhadap Variasi Konsentrasi Polutan di Kota Besar

Analisis data sensor IoT menunjukkan bahwa faktor lingkungan, seperti suhu dan kelembaban, memiliki pengaruh signifikan terhadap variasi konsentrasi polutan di kota besar. Suhu yang lebih tinggi cenderung meningkatkan reaksi kimia di atmosfer, yang dapat meningkatkan konsentrasi ozon dan polutan lainnya. Sebaliknya, kelembaban yang tinggi dapat menyebabkan partikel polutan menempel pada tetesan air, mengurangi konsentrasi polutan di udara. Pemahaman tentang pengaruh ini penting untuk menginterpretasikan data polusi udara secara akurat dan mengembangkan strategi mitigasi yang efektif.

Selain suhu dan kelembaban, angin juga memainkan peran penting dalam distribusi polutan di kota besar. Data menunjukkan bahwa angin dapat menyebarkan polutan ke area yang lebih jauh dari sumber emisi, mengakibatkan variasi konsentrasi polutan di berbagai lokasi. Arah dan kecepatan angin yang konsisten dapat menyebabkan akumulasi polutan di area tertentu, menciptakan hotspot polusi. Oleh karena itu, analisis data angin bersama dengan data polusi udara dapat memberikan wawasan yang lebih komprehensif tentang pola penyebaran polutan.

Topografi kota juga mempengaruhi variasi konsentrasi polutan. Area dengan elevasi lebih rendah atau yang terletak di lembah cenderung memiliki konsentrasi polutan yang lebih tinggi karena polutan dapat terperangkap di daerah tersebut. Data sensor IoT menunjukkan bahwa area ini sering mengalami akumulasi polutan, terutama pada kondisi cuaca yang tenang. Pemahaman tentang pengaruh topografi ini penting untuk perencanaan tata ruang kota dan pengembangan strategi pengendalian polusi yang lebih efektif.

Kondisi cuaca, seperti hujan, juga dapat mempengaruhi konsentrasi polutan. Hujan dapat membersihkan udara dari partikel polutan, mengurangi konsentrasi polutan secara signifikan. Data sensor IoT menunjukkan penurunan konsentrasi polutan setelah hujan, yang mengindikasikan bahwa curah hujan dapat menjadi faktor penting dalam pengendalian polusi udara. Namun, efek ini bersifat sementara, dan konsentrasi polutan dapat meningkat kembali setelah hujan berhenti.

Faktor lingkungan lainnya, seperti sinar matahari, juga berkontribusi terhadap variasi konsentrasi polutan. Sinar matahari dapat memicu reaksi fotokimia yang menghasilkan ozon troposferik, meningkatkan konsentrasi polutan di udara. Data sensor IoT menunjukkan bahwa konsentrasi ozon cenderung lebih tinggi pada hari-hari cerah dengan sinar matahari yang kuat. Oleh karena itu, pemantauan kondisi cuaca dan sinar matahari penting untuk memahami dinamika polusi udara dan mengembangkan strategi mitigasi yang lebih efektif.

5.4. Integrasi Data Sensor IoT dengan Sistem Informasi Geografis untuk Visualisasi Polusi Udara

Integrasi data sensor IoT dengan [Sistem Informasi Geografis \(SIG\)](#)^[4] memungkinkan visualisasi polusi udara yang lebih komprehensif dan interaktif. Data kualitas udara yang dikumpulkan dari sensor IoT dipetakan ke dalam platform SIG, memberikan gambaran spasial mengenai distribusi polutan di berbagai lokasi kota. Proses ini melibatkan overlay data polusi dengan peta geografis, memungkinkan identifikasi area dengan konsentrasi polutan tinggi secara visual. Dengan demikian, integrasi ini memfasilitasi pemahaman yang lebih baik tentang pola distribusi polusi udara dan mendukung pengambilan keputusan yang lebih tepat.

Penggunaan SIG dalam visualisasi data polusi udara juga memungkinkan analisis spasial yang lebih mendalam. Dengan memanfaatkan fitur analisis spasial dari SIG, seperti analisis buffer dan analisis kedekatan, dapat diidentifikasi faktor-faktor lingkungan yang mempengaruhi distribusi polutan. Misalnya, analisis ini dapat mengungkapkan hubungan antara konsentrasi polutan dengan kedekatan terhadap sumber emisi, seperti jalan raya atau kawasan industri. Hasil analisis ini memberikan wawasan yang lebih rinci untuk pengembangan strategi mitigasi polusi udara yang lebih efektif.

Integrasi data sensor IoT dengan SIG juga mendukung pemantauan polusi udara secara real-time. Data yang diperbarui secara berkala dari sensor IoT memungkinkan peta polusi udara untuk menampilkan kondisi terkini, memberikan informasi yang up-to-date kepada pengguna. Hal ini penting untuk respons cepat terhadap perubahan kondisi udara, seperti peningkatan mendadak konsentrasi polutan. Dengan visualisasi real-time, pihak berwenang dapat mengambil tindakan segera untuk mengurangi dampak polusi udara, seperti mengeluarkan

peringatan kesehatan kepada masyarakat.

Selain itu, integrasi ini memungkinkan analisis temporal dari data polusi udara. Dengan memanfaatkan kemampuan SIG untuk menyimpan dan memproses data historis, dapat dilakukan analisis tren polusi udara dari waktu ke waktu. Hal ini memungkinkan identifikasi pola musiman atau harian dalam konsentrasi polutan, serta evaluasi efektivitas kebijakan pengendalian polusi yang telah diterapkan. Dengan demikian, integrasi data sensor IoT dengan SIG tidak hanya memberikan visualisasi spasial, tetapi juga analisis temporal yang mendalam.

Terakhir, integrasi ini meningkatkan aksesibilitas informasi polusi udara kepada publik. Dengan memanfaatkan platform SIG yang dapat diakses secara online, masyarakat dapat memantau kualitas udara di lingkungan mereka secara langsung. Informasi ini dapat digunakan untuk meningkatkan kesadaran publik tentang isu polusi udara dan mendorong partisipasi aktif dalam upaya pengendalian polusi. Dengan demikian, [integrasi data sensor IoT dengan SIG^{\[9\]}](#) tidak hanya bermanfaat bagi pihak berwenang, tetapi juga bagi masyarakat luas dalam meningkatkan kualitas hidup di kota besar.

5.5. Perbandingan Tren Polusi Udara Berdasarkan Data Historis dan Prediksi Model IoT

Analisis perbandingan tren polusi udara berdasarkan data historis dan prediksi model IoT menunjukkan adanya kesesuaian yang signifikan antara data masa lalu dan proyeksi masa depan. Data historis yang dikumpulkan dari sensor IoT selama beberapa tahun terakhir memberikan gambaran yang jelas tentang pola polusi udara di berbagai wilayah kota. Model prediksi IoT, yang memanfaatkan algoritma pembelajaran mesin, mampu memproyeksikan tren polusi dengan tingkat akurasi yang tinggi. Hasil ini menunjukkan potensi besar penggunaan model IoT dalam perencanaan kebijakan lingkungan.

Dalam analisis ini, model prediksi IoT menggunakan data historis untuk melatih algoritma dan menghasilkan proyeksi polusi udara di masa depan. Algoritma yang digunakan mempertimbangkan berbagai faktor, termasuk kondisi cuaca, aktivitas industri, dan lalu lintas kendaraan. Hasil prediksi menunjukkan bahwa tren polusi udara cenderung mengikuti pola historis, dengan peningkatan konsentrasi polutan pada periode tertentu, seperti musim kemarau. Hal ini menunjukkan bahwa model IoT dapat diandalkan untuk memprediksi tren polusi udara di masa depan.

Selain itu, perbandingan antara data historis dan prediksi model IoT mengungkapkan adanya perubahan pola polusi udara yang dipengaruhi oleh faktor eksternal. Misalnya, peningkatan regulasi emisi dan perubahan kebijakan transportasi dapat mempengaruhi konsentrasi polutan di udara. Model IoT mampu mendeteksi perubahan ini dan menyesuaikan prediksinya sesuai dengan kondisi terkini. Dengan demikian, model ini tidak hanya berguna untuk memprediksi tren polusi, tetapi juga untuk mengevaluasi dampak kebijakan lingkungan.

Hasil analisis juga menunjukkan bahwa model prediksi IoT dapat digunakan untuk mengidentifikasi potensi hotspot polusi di masa depan. Dengan memanfaatkan data historis dan tren yang terdeteksi, model ini dapat memproyeksikan area yang kemungkinan besar akan mengalami peningkatan polusi. Informasi ini penting untuk perencanaan mitigasi polusi udara

yang lebih efektif, memungkinkan pihak berwenang untuk mengambil tindakan pencegahan sebelum kondisi memburuk. Dengan demikian, model IoT memberikan alat yang berharga untuk pengelolaan kualitas udara.

Secara keseluruhan, perbandingan tren polusi udara berdasarkan data historis dan prediksi model IoT menunjukkan bahwa teknologi ini dapat diandalkan untuk mendukung pengambilan keputusan lingkungan. Dengan kemampuan untuk memproyeksikan tren polusi dan mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhinya, model IoT memberikan wawasan yang mendalam untuk pengembangan kebijakan yang lebih efektif. Integrasi data historis dengan prediksi model IoT memungkinkan pemantauan kualitas udara yang lebih proaktif dan responsif terhadap perubahan lingkungan.

6. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan sensor berbasis IoT untuk pemetaan polusi udara di kota besar memberikan hasil yang signifikan dalam memahami distribusi dan konsentrasi polutan. Data yang dikumpulkan dari sensor yang ditempatkan di lokasi strategis, seperti kawasan industri dan jalan raya, menunjukkan variasi konsentrasi polutan yang signifikan di berbagai wilayah. Penggunaan teknik interpolasi spasial memungkinkan pemetaan yang lebih akurat, memberikan gambaran rinci mengenai area yang paling terdampak oleh polusi udara. Temuan ini penting untuk mengarahkan upaya mitigasi polusi ke lokasi yang membutuhkan intervensi segera.

Dalam konteks ini, penting untuk mempertimbangkan bagaimana teknologi IoT dapat diintegrasikan dengan sistem peringatan dini untuk mendeteksi lonjakan polusi secara real-time. Dengan adanya sistem peringatan dini, pemerintah dan masyarakat dapat mengambil tindakan preventif lebih cepat untuk mengurangi dampak kesehatan dari polusi udara. Misalnya, ketika tingkat polusi mencapai ambang batas tertentu, sistem dapat memberikan peringatan kepada penduduk untuk mengurangi aktivitas luar ruangan atau menggunakan masker pelindung. Selain itu, data real-time ini dapat digunakan oleh pihak berwenang untuk mengatur lalu lintas atau menutup sementara area industri yang berkontribusi besar terhadap polusi. Integrasi ini tidak hanya meningkatkan responsivitas terhadap masalah polusi, tetapi juga meningkatkan kesadaran masyarakat akan pentingnya menjaga kualitas udara.

Selain itu, analisis data sensor IoT mengungkapkan bahwa faktor lingkungan, seperti suhu, kelembaban, dan angin, memiliki pengaruh signifikan terhadap distribusi polutan. Suhu tinggi dan kelembaban dapat mempengaruhi konsentrasi polutan, sementara angin dapat menyebarkan polutan ke area yang lebih jauh dari sumber emisi. Topografi kota juga berperan dalam akumulasi polutan di area tertentu. Pemahaman tentang pengaruh faktor-faktor ini penting untuk pengembangan strategi pengendalian polusi yang efektif dan perencanaan tata ruang kota yang lebih baik.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa teknologi IoT dapat diandalkan untuk pemantauan kualitas udara di kota besar. Meskipun ada tantangan teknis, seperti gangguan komunikasi dan pengaruh lingkungan, langkah-langkah mitigasi yang tepat dapat memastikan bahwa data yang dikumpulkan tetap akurat dan dapat diandalkan. Dengan integrasi data sensor IoT dengan Sistem Informasi Geografis (SIG), pemantauan kualitas udara menjadi lebih efisien

dan responsif, memungkinkan tindakan yang lebih cepat dan efektif dalam mengatasi masalah polusi udara. Temuan ini mendukung pengembangan kebijakan lingkungan yang lebih tepat sasaran.

Related links:

- [1] <https://ieeexplore.ieee.org/document/10349082/>
- [2] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10647557/>
- [3] <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8309582/>
- [4] <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC10820565/>
- [5] <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935121018752>
- [6] <https://www.mdpi.com/1996-1073/16/8/3465>
- [7] <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405959520300862>
- [8] https://www.researchgate.net/publication/352157547_Spatial_Interpolation_Techniques_For_innovative_Air_Quality_Monitoring_Systems
- [9] <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03098265.2021.1900083>