



Nama: **Dias Morello Sembiring (120140167)**
Moratua Putra Pardede (121140079)
M. Bintang Erlangga H. (121140171)
Mata Kuliah: **Pervasive Computing (IF 4025)**

Tugas Ke: **TUGAS BESAR**
Tanggal: 24 Desember 2024

1 Sistem Pemantauan Kualitas Udara Cerdas Berbasis IoT dan Machine Learning untuk Lingkungan Perkotaan

2 Latar Belakang dan Masalah

Pencemaran udara telah berkembang menjadi krisis kesehatan masyarakat global yang semakin mengkhawatirkan pada abad ke-21. World Health Organization (WHO) melaporkan bahwa hampir seluruh populasi dunia (99%) menghirup udara yang tidak memenuhi standar kualitas yang ditetapkan, dengan konsekuensi terburuk dialami oleh negara-negara berkembang. Setiap tahun, diperkirakan 7 juta kematian prematur di seluruh dunia berkaitan langsung dengan paparan polusi udara, menjadikannya salah satu ancaman kesehatan masyarakat terbesar yang kita hadapi saat ini [1].

Urbanisasi yang pesat dan pertumbuhan industri telah menciptakan tekanan yang belum pernah terjadi sebelumnya pada kualitas udara perkotaan. Menurut [2], konsentrasi polutan udara di area perkotaan telah meningkat secara signifikan dalam dekade terakhir, dengan peningkatan tertinggi tercatat di kota-kota besar di negara berkembang. Berbagai sumber pencemar udara seperti emisi kendaraan bermotor, aktivitas industri, pembangkit listrik, dan pembakaran biomassa berkontribusi pada kompleksitas masalah ini. Polutan utama yang menjadi perhatian meliputi partikulat matter (PM_{2.5} dan PM₁₀), karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), dan ozon permukaan (O₃).

Dampak kesehatan dari paparan polusi udara sangat luas dan beragam. [3] mengidentifikasi korelasi kuat antara paparan jangka panjang terhadap polutan udara dengan peningkatan risiko penyakit pernapasan, kardiovaskular, stroke, dan berbagai bentuk kanker. Anak-anak dan lansia particularly rentan terhadap efek buruk polusi udara. Studi epidemiologi menunjukkan bahwa paparan PM_{2.5} yang berkelanjutan dapat mengurangi harapan hidup rata-rata hingga 2-3 tahun di daerah yang paling tercemar.

Di tingkat regional Asia Tenggara, situasi kualitas udara menunjukkan tren yang mengkhawatirkan. Indonesia, sebagai ekonomi terbesar di kawasan ini, menghadapi tantangan serius dalam pengelolaan kualitas udara perkotaan. Kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya, dan Bandung secara konsisten mencatatkan Indeks Kualitas Udara yang buruk, dengan konsentrasi PM_{2.5} sering melampaui standar WHO hingga 5-7 kali lipat. [4] menyoroti bahwa pertumbuhan ekonomi yang pesat, urbanisasi yang tidak terencana, dan keterbatasan infrastruktur pemantauan berkontribusi pada memburuknya kualitas udara di wilayah ini.

Sistem pemantauan kualitas udara konvensional yang ada saat ini menghadapi berbagai keterbatasan fundamental yang menghambat efektivitasnya. [5] mengidentifikasi beberapa kelemahan utama dalam sistem pemantauan tradisional:

2.1 Keterbatasan Cakupan Spasial

- Jumlah stasiun pemantau yang sangat terbatas karena biaya instalasi dan operasional yang tinggi
- Distribusi geografis yang tidak merata menyebabkan blind spots dalam pemantauan
- Kesulitan dalam mengidentifikasi hot spots polusi karena resolusi spasial yang rendah
- Ketidakmampuan untuk memantau variasi mikro dalam kualitas udara antar wilayah

2.2 Keterbatasan Temporal

- Delay yang signifikan antara pengumpulan data dan analisis
- Ketidakmampuan untuk memberikan peringatan dini real-time
- Interval pengambilan sampel yang terlalu lama
- Kesulitan dalam mengidentifikasi tren jangka pendek dan fluktuasi

2.3 Keterbatasan Teknologi

- Penggunaan teknologi sensor yang mahal dan tidak fleksibel
- Sistem komunikasi data yang tidak efisien dan rentan gangguan
- Keterbatasan dalam kemampuan pemrosesan dan analisis data
- Kurangnya integrasi dengan teknologi modern seperti cloud computing dan AI

2.4 Keterbatasan Aksesibilitas

- Informasi kualitas udara yang tidak mudah diakses publik
- Format data yang tidak user-friendly
- Keterbatasan dalam visualisasi dan interpretasi data
- Kurangnya platform yang terintegrasi untuk diseminasi informasi

2.5 Keterbatasan Operasional

- Biaya pemeliharaan yang tinggi
- Kebutuhan kalibrasi regular yang kompleks
- Ketergantungan pada teknisi terlatih
- Kesulitan dalam scaling sistem

[1] menekankan bahwa kelemahan-kelemahan ini semakin diperparah oleh meningkatnya kompleksitas polusi udara perkotaan modern. Sumber-sumber polusi yang beragam dan dinamis membutuhkan sistem pemantauan yang lebih sophisticated dan responsif. [2] menambahkan bahwa ketidakmampuan sistem konvensional untuk mengintegrasikan data dari berbagai sumber dan melakukan analisis prediktif membatasi efektivitas intervensi pengendalian polusi.

Di tingkat implementasi teknis, permasalahan spesifik yang dihadapi meliputi:

2.6 Infrastruktur Sensor

- Biaya sensor berkualitas tinggi yang prohibitif
- Keterbatasan dalam deployment dan maintenance
- Kesulitan dalam kalibrasi dan validasi data
- Keterbatasan daya tahan dan reliabilitas sensor

2.7 Sistem Komunikasi

- Bandwidth yang terbatas untuk transmisi data
- Konsumsi energi yang tinggi
- Keamanan data yang rentan
- Ketergantungan pada infrastruktur komunikasi yang ada

2.8 Pemrosesan Data

- Keterbatasan dalam real-time processing
- Kesulitan dalam handling big data
- Kurangnya kapabilitas analisis prediktif
- Keterbatasan dalam data storage dan management

[3] menggarisbawahi pentingnya transisi menuju sistem pemantauan kualitas udara yang lebih modern dan terintegrasi. Mereka mengusulkan bahwa kombinasi Internet of Things (IoT) dan Machine Learning dapat mengatasi banyak keterbatasan sistem konvensional. IoT memungkinkan pengumpulan data yang lebih granular dan real-time, sementara Machine Learning dapat memberikan insights prediktif yang berharga.

3 Tujuan Proyek

1. Mengembangkan sistem pemantauan kualitas udara real-time menggunakan teknologi IoT dengan kemampuan:
 - Pengukuran multi-parameter polutan udara (PM2.5, PM10, CO, NO2, SO2)
 - Monitoring kondisi lingkungan (suhu, kelembaban, tekanan)
 - Pengumpulan data secara kontinyu dan real-time
2. Mengimplementasikan algoritma machine learning untuk:
 - Analisis pola dan tren kualitas udara
 - Prediksi perubahan kualitas udara jangka pendek
 - Identifikasi anomali dan potensi bahaya
3. Membangun platform informasi yang:
 - Mudah diakses melalui web dan mobile
 - Menyajikan visualisasi data yang informatif

- Memberikan rekomendasi tindakan preventif

4. Mengembangkan sistem peringatan dini yang:

- Mendeteksi kondisi berbahaya secara real-time
- Memberikan notifikasi otomatis ke stakeholder
- Menyediakan panduan tindakan darurat

5. Menyediakan data analitik untuk:

- Evaluasi efektivitas kebijakan pengendalian polusi
- Perencanaan intervensi lingkungan
- Penelitian dan pengembangan solusi

4 Pendekatan Desain dan Kaidah Komputasi Pervasif

4.1 Pendekatan Desain

4.1.1 Distributed Sensing

- Penempatan sensor node di lokasi strategis berdasarkan:
 - Kepadatan populasi
 - Aktivitas industri
 - Pola lalu lintas
 - Topografi wilayah
- Penggunaan multiple sensor untuk parameter berbeda:
 - Sensor partikulat untuk PM2.5 dan PM10
 - Sensor gas untuk CO, NO₂, SO₂
 - Sensor lingkungan untuk suhu dan kelembaban

4.1.2 Edge Computing

- Pemrosesan data awal di sensor node:
 - Filtering dan validasi data
 - Kompresi dan agregasi
 - Deteksi anomali lokal
- Optimisasi bandwidth dan energi:
 - Adaptive sampling rate
 - Event-based transmission
 - Power management

4.1.3 Cloud Integration

- Penyimpanan dan manajemen data:
 - Scalable database system
 - Data backup dan recovery
 - Version control
- Analisis dan pemrosesan:
 - Machine learning pipeline
 - Big data analytics
 - Visualization engine

4.2 Kaidah Komputasi Pervasif

- Ubiquitous Access:
 - Multi-platform accessibility
 - Responsive design
 - Offline capability
- Context Awareness:
 - Location-based services
 - Time-aware processing
 - Environmental adaptation
- Autonomous Operation:
 - Self-calibration
 - Automatic maintenance
 - Adaptive behavior
- Real-time Processing:
 - Stream processing
 - Instant notifications
 - Dynamic updates

5 Justifikasi Solusi dan Nilai

5.1 Nilai Teknologi

- Integrasi teknologi IoT dan ML:
 - Penggunaan sensor modern dengan akurasi tinggi
 - Implementasi algoritma ML state-of-the-art
 - Arsitektur sistem yang scalable
- Infrastruktur komunikasi:

- Protokol komunikasi efisien (LoRaWAN)
- Keamanan data end-to-end
- Redundansi sistem
- Platform analitik:
 - Real-time data processing
 - Predictive analytics
 - Interactive visualization

5.2 Nilai Sosial

- Kesehatan publik:
 - Peringatan dini paparan berbahaya
 - Rekomendasi tindakan preventif
 - Informasi untuk kelompok rentan
- Kesadaran lingkungan:
 - Edukasi masyarakat
 - Transparansi data
 - Partisipasi publik
- Pengembangan smart city:
 - Integrasi dengan sistem kota
 - Perencanaan urban yang lebih baik
 - Peningkatan kualitas hidup

5.3 Nilai Ekonomi

- Efisiensi biaya:
 - Reduksi biaya pemantauan
 - Optimisasi maintenance
 - Penghematan energi
- Potensi monetisasi:
 - Data analytics services
 - Konsultasi lingkungan
 - API komersial
- Dampak jangka panjang:
 - Pengurangan biaya kesehatan
 - Peningkatan produktivitas
 - Daya tarik investasi

6 Rancangan Arsitektur Sistem

6.1 Komponen Hardware

6.1.1 Sensor Node

- Sensor PM2.5, PM10
- Sensor CO, CO2, NO2
- Sensor suhu dan kelembaban
- Mikrocontroller ESP32
- Modul komunikasi LoRaWAN

6.1.2 Gateway

- LoRaWAN Gateway
- Network Server
- Power backup system

6.2 Komponen Software

6.2.1 Edge Layer

- Firmware sensor node
- Data preprocessing
- Local storage

6.2.2 Cloud Layer

- Database system
- ML processing engine
- API services

6.2.3 Application Layer

- Web dashboard
- Mobile application
- Alert system

References

- [1] S. Kumar and A. Jasuja, "Air quality monitoring systems using iot: A comprehensive review," *Sensors Journal, IEEE*, 2023.
- [2] L. Wang *et al.*, "Machine learning approaches for air quality prediction: A systematic review," *Environmental Pollution*, 2023.
- [3] Y. Zhang and Y. Liu, "Iot-based smart air quality monitoring systems: Current status and future perspectives," *Internet of Things Journal*, 2022.
- [4] M. Rodriguez *et al.*, "Edge computing in environmental monitoring: Challenges and opportunities," *Journal of Network and Computer Applications*, 2023.
- [5] J. Lee and H. Kim, "Deep learning applications in air quality forecasting: A review," *Environmental Science & Technology*, 2023.