

**PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PEMANTAUAN UDARA
BERBASIS *WEBSITE REALTIME* UNTUK MENDUKUNG
IMPLEMENTASI *SMART CITY* DI KOTA SEMARANG**

TUGAS AKHIR



Ahmad Ghozali

NIM. 20106050036

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

PROGRAM STUDI INFORMATIKA

FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI

UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA

2025

HALAMAN PENGESAHAN



KEMENTERIAN AGAMA
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI SUNAN KALIJAGA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Marsda Adisucipto Telp. (0274) 540971 Fax. (0274) 519739 Yogyakarta 55281

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Nomor : B-1118/Un.02/DST/PP.00.9/06/2025

Tugas Akhir dengan judul : Pengembangan Teknologi Pemantauan Udara Berbasis Website Realtime untuk Mendukung Implementasi Smart City di Kota Semarang

yang dipersiapkan dan disusun oleh:

Nama : AHMAD GHOZALI
Nomor Induk Mahasiswa : 20106050036
Telah diujikan pada : Rabu, 11 Juni 2025
Nilai ujian Tugas Akhir : A

dinyatakan telah diterima oleh Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

TIM UJIAN TUGAS AKHIR



Ketua Sidang

Dr. Agus Mulyanto, S.Si., M.Kom., ASEAN Eng.
SIGNED

Valid ID: 684fa8310ad52



Penguji I

Ir. Muhammad Taufiq Nuruzzaman, S.T.
M.Eng., Ph.D.
SIGNED

Valid ID: 684f8e4669125



Penguji II

Dwi Otik Kurniawati, M.Eng.
SIGNED

Valid ID: 684f8ec71e85a



Yogyakarta, 11 Juni 2025
UIN Sunan Kalijaga
Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si.
SIGNED

Valid ID: 684fb8b5ac633

LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Ahmad Ghozali

NIM : 20106050036

Program Studi : Informatika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Dosen Pembimbing : Dr. Agus Mulyanto, S.Si., M.Kom., ASEAN Eng.

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa Tugas Akhir saya yang berjudul **“Pengembangan Teknologi Pemantauan Udara Berbasis Website Realtime untuk Mendukung Implementasi Smart City di Kota Semarang”** merupakan hasil karya saya sendiri, tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar akademik di perguruan tinggi mana pun, dan sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Berdasarkan pernyataan tersebut, Tugas Akhir ini saya ajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana bidang Informatika pada Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Yogyakarta, 1 Juni 2025

Yang menyatakan,



Ahmad Ghozali

NIM. 20106050036

LEMBAR PERSETUJUAN



Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga



FM-UINSK-BM-05-03/R0

SURAT PERSETUJUAN SKRIPSI/TUGAS AKHIR

Hal : Persetujuan Skripsi / Tugas Akhir

Lamp : -

Kepada

Yth. Dekan Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta

Di Yogyakarta

Assalammu'alaikum wr. wb.

Setelah membaca, meneliti, memberikan petunjuk dan mengoreksi serta mengadakan perbaikan seperlunya, maka saya selaku pembimbing berpendapat bahwa skripsi Saudari:

Nama : Ahmad Ghozali
NIM : 20106050036
Judul Skripsi : Pengembangan Teknologi Pemantauan Udara Berbasis Website Realtime Untuk Mendukung Implementasi Smart City Di Kota Semarang

Sudah dapat diajukan kembali kepada Program Studi Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata Satu dalam Program Studi Informatika.

Dengan ini kami mengharap agar skripsi/tugas akhir Saudari dapat segera dimunaqasyahkan. Atas perhatiannya saya ucapkan terima kasih.

Wassalammu'alaikum wr. wb.

Yogyakarta, 2 Juni 2025

Pembimbing

Dr. Agus Mulyanto, S.Si., M.Kom., ASEAN Eng.

NIP. 197108231999031003

PENGEMBANGAN TEKNOLOGI PEMANTAUAN UDARA BERBASIS WEBSITE REALTIME UNTUK Mendukung IMPLEMENTASI SMART CITY DI Kota SEMARANG

Ahmad Ghozali

20106050036

INTISARI

Polusi udara perkotaan menimbulkan tantangan lingkungan dan kesehatan yang signifikan, sehingga memerlukan sistem pemantauan *realtime* yang efektif. Penelitian ini bertujuan mengembangkan teknologi pemantauan kualitas udara berbasis *website realtime* untuk mendukung implementasi *Smart City* di Kota Semarang. Sistem ini dirancang untuk memantau parameter kualitas udara utama (PM_{2.5}, PM₁₀, CO, SO₂, NO₂, O₃) sebagai dasar perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) sesuai dengan Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan (Permen LHK) No. 14/2020.

Pengembangan sistem ini mengadopsi metode *Rapid Application Development* (RAD) untuk mempercepat proses iterasi dan implementasi. Arsitektur sistem dirancang untuk memproses data yang diasumsikan berasal dari sensor *IoT*, memanfaatkan API yang dikembangkan dengan *Next.js* untuk penanganan data dan komputasi ISPU. Komunikasi *realtime* difasilitasi oleh server *Express.js* (*Node.js*) khusus yang menggunakan *WebSocket*, sementara penyimpanan data historis dan parameter dilakukan menggunakan *database PostgreSQL*.

Hasil implementasi menunjukkan sistem berhasil menyajikan informasi kualitas udara secara *realtime* dan akurat melalui antarmuka *web* yang mudah diakses. *Website* menampilkan peta interaktif status kualitas udara, level ISPU, serta tren data historis untuk berbagai lokasi. Sistem ini berkontribusi sebagai komponen penting dalam inisiatif *Smart Environment*, mendukung pengambilan keputusan berbasis data untuk perencanaan kota, pengelolaan lingkungan, dan himbauan kesehatan masyarakat, yang pada akhirnya bertujuan mewujudkan lingkungan perkotaan yang lebih sehat dan berkelanjutan.

Kata Kunci : kualitas udara, *realtime*, *smart city*, *smart environment*

**DEVELOPMENT OF REALTIME WEBSITE-BASED AIR MONITORING
TECHNOLOGY TO SUPPORT SMART CITY IMPLEMENTATION IN
SEMARANG CITY**

Ahmad Ghozali

20106050036

ABSTRACT

Urban air pollution poses significant environmental and health challenges, necessitating effective realtime monitoring systems. This research aims to develop a realtime, website-based air quality monitoring technology to support the implementation of a Smart City in Semarang City. The system is designed to monitor key air quality parameters (PM_{2.5}, PM₁₀, CO, SO₂, NO₂, O₃) as a basis for calculating the Air Pollution Standard Index (ISPU) in accordance with the Minister of Environment and Forestry Regulation (Permen LHK) No. 14/2020.

The development of this system adopts the Rapid Application Development (RAD) method to accelerate the iteration and implementation process. The system architecture is designed to process data assumed to originate from IoT sensors, utilizing an API developed with Next.js for data handling and ISPU computation. Realtime communication is facilitated by a dedicated Express.js (Node.js) server using WebSockets, while historical data and parameter storage are managed using a PostgreSQL database.

The implementation results demonstrate that the system successfully presents realtime and accurate air quality information through an easily accessible web interface. The website displays an interactive map of air quality status, ISPU levels, and historical data trends for various locations. This system contributes as a crucial component in Smart Environment initiatives, supporting data-driven decision-making for urban planning, environmental management, and public health advisories, ultimately aiming to realize a healthier and more sustainable urban environment.

Keywords: Air Quality, Realtime, Smart City, Smart Environment

MOTTO

“Wong Liyo Ngerti Opo”

“Tetaplah sangar”



HALAMAN PERSEMBAHAN

Atas berkah dan rahmat Tuhan Yang Maha Esa tugas akhir ini penulis persembahkan kepada :

Alm. Waluyo Atmaja dan Ngatiyem

Orang tua penulis

Fia Fatimah dan Maya Ulfah

Kedua kakak penulis

Semua rekan Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, BRIN

Yang selalu memberikan dukungan dan masukan kepada penulis

Dan

Almamater Tercinta

Program Studi Informatika

Fakultas Sains dan Teknologi

UIN Sunan Kalijaga

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI

Tugas akhir ini tidak dipublikasikan, tetapi tersedia di perpustakaan dalam lingkungan UIN Sunan Kalijaga, diperkenankan dipakai sebagai referensi kepustakaan, namun pengutipan harus seizin penyusun, dan harus menyebutkan sumber sesuai dengan kaidah ilmiah. Dokumen tugas akhir ini merupakan milik UIN Sunan Kalijaga.



KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kepada Tuhan Yang Maha Esa Allah SWT, karena berkah rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir yang berjudul “Pengembangan Teknologi Pemantauan Udara Berbasis *Website Realtime* untuk Mendukung Implementasi *Smart City* di Kota Semarang”.

Tugas akhir ini dibuat untuk memenuhi salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar Sarjana Strata 1 di program studi Informatika, Fakultas Sains dan Teknologi, UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. Oleh sebab itu, penulis berharap dapat belajar banyak dalam menerapkan ilmu yang didapatkan. Tugas akhir ini tidak lepas dari bimbingan, masukan, dan arahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terima kasih sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Prof. Noorhaidi, S.Ag., M.A., M.Phil., Ph.D., selaku rektor Universitas Islam Negeri Sunan Kalijaga Yogyakarta.
2. Ibu Prof. Dr. Dra. Hj. Khurul Wardati, M.Si., selaku dekan Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta.
3. Bapak Mandahadi Kusuma, M.Eng., selaku dosen pembimbing akademik penulis.
4. Bapak Dr. Muhammad Mustakim, S.T. M.T., selaku ketua program studi Informatika Fakultas Sains dan Teknologi UIN Sunan Kalijaga.
5. Bapak Dr. Agus Mulyanto, S.Si., M.Kom., ASEAN Eng., selaku dosen pembimbing tugas akhir penulis.
6. Bapak Dr. Ir. Hunggul Yudono Setio Hadinugroho, M.Si., rekan Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi selaku pembimbing penulis.
7. Bapak R. Pamungkas Buana Putra, S.Hut., M.Sc., rekan Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi selaku pembimbing penulis
8. Bapak Dr. Ogi Setiawan, S.Hut., M.Sc., rekan Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi selaku pembimbing penulis.
9. Orang tua tercinta Bapak Alm. Waluyo Atmadja dan Ibu Ngatiyem.
10. Fia Fatimah dan Maya Ulfah selaku kakak penulis

11. Rekan-rekan Pusat Riset Ekologi dan Etnobiologi, Badan Riset dan Invoasi Nasional

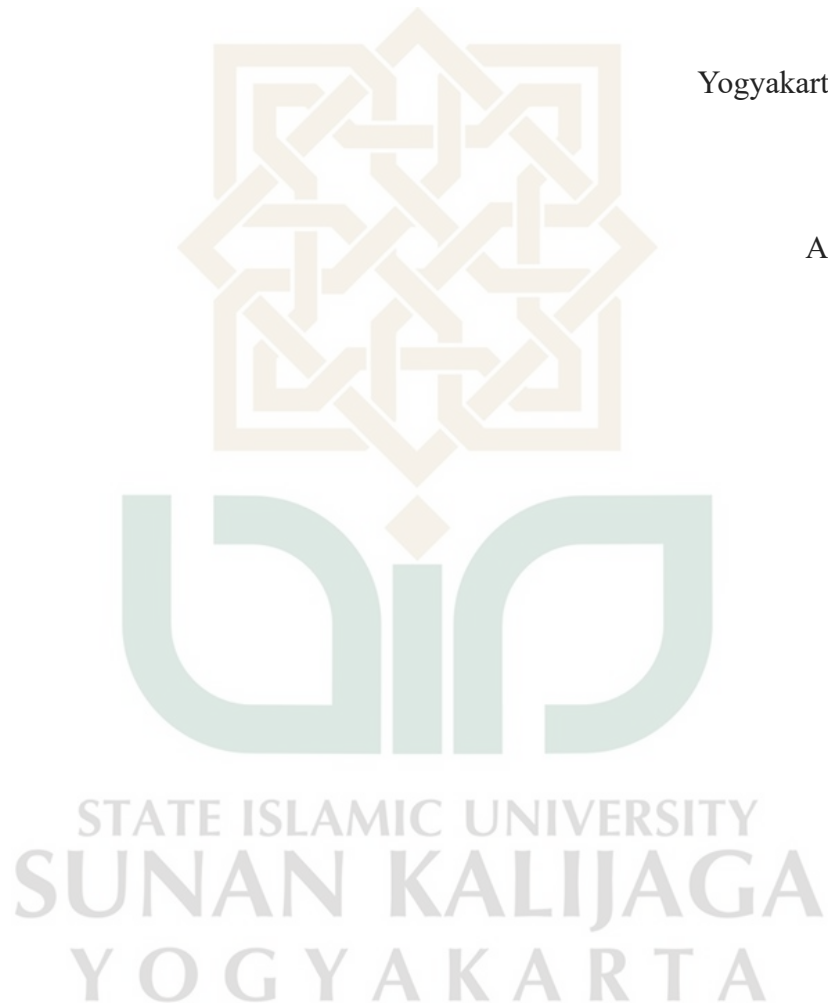
12. Semua pihak yang telah membantu yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Saya berharap semoga Tuhan Yang Maha Esa mengaruniakan rahmat dan hidayah-Nya kepada mereka semua. Semoga tugas akhir ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Yogyakarta, 2 Juni 2025

Penulis,

Ahmad Ghozali



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
LEMBAR PERNYATAAN KEASLIAN	iii
LEMBAR PERSETUJUAN	iv
INTISARI.....	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
MOTTO.....	vii
HALAMAN PERSEMBAHAN	viii
LEMBAR PEDOMAN PENGGUNAAN SKRIPSI.....	ix
KATA PENGANTAR.....	x
DAFTAR ISI	xii
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Batasan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Tujuan Penelitian.....	5
BAB II KAJIAN PUSTAKA DAN LANDASAN TEORI	6
2.1 Kajian Pustaka.....	6

2.2 Landasan Teori	9
2.2.1 <i>Smart City</i>	9
2.2.2 Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU)	10
2.2.3 <i>Software Development Life Cycle</i> (SDLC)	13
2.2.4 <i>Website</i>	13
2.2.5 <i>WebGIS</i>	15
2.2.6 <i>Websocket</i>	16
2.2.7 <i>Application Programming Interface</i> (API)	16
2.2.8 <i>Database</i>	17
2.2.9 <i>Cron</i>	17
BAB III METODE PENGEMBANGAN SISTEM	19
3.1 Perencanaan	19
3.1.1 <i>Hardware</i>	19
3.1.2 <i>Software</i>	20
3.1.3 Lokasi dan Waktu.....	20
3.2 Metode Pengembangan	21
3.3 Perancangan	22
3.3.1 Analisis Kebutuhan	23
3.3.2 Desain Sistem.....	24
3.3.3 Implementasi.....	28
3.4 Pengujian.....	41
3.4.1 Pengujian Fungsionalitas	41
3.4.1 <i>System Usability Scale</i> (SUS)	49
3.5 <i>Deployment</i>	50
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
4.1 Arsitektur Sistem.....	53
4.2 Penentuan Parameter dan Pengolahan Data	59

4.2.1 Penentuan Parameter Kualitas Udara.....	59
4.2.2 Pengolahan Data	60
4.3 Implementasi <i>Website</i> Pemantauan Kualitas Udara <i>Realtime</i>	63
4.3.1 Antarmuka Pengguna atau <i>User Interface</i>	63
4.3.2 <i>Backend</i> dan <i>Database</i>	73
4.3.3 Implementasi Fitur Utama	75
4.4 Integrasi Sistem Pemantauan Kualitas Udara ke dalam Konsep <i>Smart City</i>	77
BAB V PENUTUP.....	76
5.1 Kesimpulan	76
5.2 Saran.....	77
DAFTAR PUSTAKA.....	78
LAMPIRAN.....	81

STATE ISLAMIC UNIVERSITY
SUNAN KALIJAGA
YOGYAKARTA

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Konversi Nilai ISPU.....	11
Tabel 2. 2 Kategori ISPU dan Dampak Kesehatan	12
Tabel 3. 1 Analisis Kebutuhan Sistem.....	23
Tabel 3. 2 Fungsionalitas User Visitor	29
Tabel 3. 3 Fungsionalitas User Visitor Account.....	30
Tabel 3. 4 Fungsionalitas User Owner	30
Tabel 3. 5 Fungsionalitas User Admin	30
Tabel 3. 6 Fungsionalitas User Stakeholder	31
Tabel 3. 7 Hasil Pengujian Fungsionalitas	41
Tabel 3. 8 Blackbox Testing.....	43
Tabel 3. 9 Hasil Penilaian Responden SUS	49

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Alur Metode Rapid Application Development (RAD).....	23
Gambar 3. 2 Langkah Pengaturan Lingkungan Pengembangan	25
Gambar 3. 3 Use Case Diagram.....	29
Gambar 3. 4 Entity Relationship Diagram (ERD)	32
Gambar 3. 5 Sequence Diagram - Melihat Data	34
Gambar 3. 6 Sequence Diagram - Registrasi	35
Gambar 3. 7 Sequence Diagram - Download Data	35
Gambar 3. 8 Sequence Diagram - Login dan Logout	36
Gambar 3. 9 Sequence Diagram - Edit Profile.....	37
Gambar 3. 10 Sequence Diagram - User Management.....	38
Gambar 3. 11 Sequence Diagram - Device Monitoring.....	38
Gambar 3. 12 Sequence Diagram - Live Tracking.....	39
Gambar 3. 13 Sequence Diagram - Log Activity	39
Gambar 3. 14 Sequence Diagram - Smart Alert Management.....	40
Gambar 3. 15 Sequence Diagram - Log Data Device	41
Gambar 3. 16 SUS Score Grade.....	50
Gambar 4. 1 Arsitektur Sistem	53
Gambar 4. 2 Struktur Database	55
Gambar 4. 3 Alur Pengiriman Data.....	61
Gambar 4. 4 Halaman Landing Page - Hero Section.....	63
Gambar 4. 5 Halaman Landing Page - About and Features.....	64
Gambar 4. 6 Halaman Login.....	64
Gambar 4. 7 Halaman Register	65
Gambar 4. 8 Halaman Device Monitoring.....	65
Gambar 4. 9 Halaman Pengelolaan Perangkat - Utama.....	66
Gambar 4. 10 Halaman Pengelolaan Perangkat - CRUD bagian 1	66
Gambar 4. 11 Halaman Pengelolaan Perangkat - CRUD Bagian 2	67
Gambar 4. 12 Halaman Pengelolaan Device.....	67
Gambar 4. 13 Halaman Pengelolaan Alert - Utama	68

Gambar 4. 14 Halaman Pengelolaan Alert - Penentuan Ambang Batas Parameter	68
Gambar 4. 15 Halaman Pengelolaan Alert - Penambahan Kontak	69
Gambar 4. 16 Halaman Download Data	69
Gambar 4. 17 Hasil Download Data	70
Gambar 4. 18 Halaman Pengelolaan User	70
Gambar 4. 19 Halaman Pengelolaan User - Mengganti User Role.....	71
Gambar 4. 20 Halaman Visualisasi - Circular	71
Gambar 4. 21 Halaman Visualisasi - Detail Data	72
Gambar 4. 22 Halaman Visualisasi - Heatmap	72
Gambar 4. 23 Edit Profile	73
Gambar 4. 24 Visualisasi Server Backend dan Websocket	73
Gambar 4. 25 Penyajian Data Kualitas Udara	76
Gambar 4. 26 Pesan Alert Melalui Email.....	77

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkotaan merupakan pusat pertumbuhan ekonomi yang terus berkembang pesat dengan urbanisasi yang signifikan. Dengan populasi yang terus meningkat, perkotaan menghadapi berbagai tantangan kompleks, termasuk masalah lingkungan. Sebagai daerah dengan aktivitas industri dan transportasi yang tinggi, perkotaan tidak hanya dihadapkan pada peningkatan volume kendaraan bermotor, tetapi juga polusi udara yang berasal dari berbagai sumber. Selain itu, kondisi geografis dan faktor lingkungan lainnya, menyebabkan kualitas udara semakin buruk dan mengancam kesehatan masyarakat.

Polusi udara di perkotaan tidak hanya mengancam kualitas hidup, tetapi juga meningkatkan risiko gangguan kesehatan, terutama Infeksi Saluran Pernapasan Akut (ISPA) dan penyakit kardiovaskular. Paparan jangka panjang terhadap polusi udara dapat menyebabkan penyakit kronis seperti kanker paru-paru, asma, hingga gangguan pada sistem kardiovaskular. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh *World Health Organization (WHO)*, polusi udara merupakan salah satu penyebab utama kematian dini di seluruh dunia, dengan lebih dari 7 juta kematian setiap tahunnya yang berkaitan dengan kualitas udara yang buruk[1]. Oleh karena itu, pemantauan kualitas udara secara *realtime* menjadi penting guna mengidentifikasi pola pencemaran serta menekan dampaknya terhadap kesehatan manusia dan lingkungan.

Pertumbuhan kota yang masif tidak hanya mendorong pembangunan infrastruktur, tetapi juga menuntut solusi inovatif untuk menjaga keseimbangan antara kemajuan ekonomi dan keberlanjutan lingkungan. Seiring dengan meningkatnya kepadatan penduduk di wilayah perkotaan, terjadi peningkatan konsumsi energi, pemakaian kendaraan bermotor, serta aktivitas industri yang menghasilkan emisi berbahaya [2]. Faktor-faktor ini berkontribusi terhadap peningkatan konsentrasi polutan di udara seperti karbon monoksida (CO), nitrogen dioksida (NO₂), sulfur dioksida (SO₂), amonia (NH₃), serta partikel halus seperti PM₁, PM_{2.5}, dan PM₁₀.

[1]. Konsentrasi polutan yang tinggi dapat menurunkan kualitas udara secara signifikan, menyebabkan visibilitas yang buruk, serta meningkatkan potensi efek rumah kaca yang mempercepat perubahan iklim global.

Data dari *IQAir* menyebutkan bahwa beberapa kota besar di Indonesia menduduki peringkat atas dalam daftar wilayah dengan polusi udara tertinggi pada tahun 2024[3]. Menurut laporan *IQAir* tahun 2023, beberapa kota juga tercatat memiliki kualitas udara yang buruk [4]. Salah satu faktor utama yang menyebabkan tingginya tingkat polusi udara di perkotaan adalah ketidakseimbangan antara pembangunan infrastruktur dan kebijakan lingkungan yang efektif. Banyak daerah perkotaan yang mengalami deforestasi besar-besaran untuk pembangunan permukiman, sehingga mengurangi daya dukung lingkungan dalam menyerap polutan. Selain itu, sistem transportasi yang belum sepenuhnya ramah lingkungan juga memperburuk kondisi kualitas udara di perkotaan.

Konsep *smart city* hadir sebagai jawaban atas tantangan perkotaan modern, di mana integrasi teknologi seperti *Internet of Things (IoT)* dan analisis data *realtime* menjadi kunci untuk meningkatkan kualitas hidup masyarakat. *Smart city* merupakan konsep pengembangan kota dengan memanfaatkan dan mengimplementasikan teknologi secara inovatif, efektif, dan efisien dengan cara menghubungkan infrastruktur fisik dalam suatu wilayah [5]. Dalam penerapannya, konsep *smart city* tidak hanya berfokus pada peningkatan efisiensi layanan publik, tetapi juga mencakup pengelolaan lingkungan yang berkelanjutan melalui pendekatan berbasis data.

Menurut *IBM (International Business Machine)*, *smart environment* merupakan salah satu pedoman yang mendukung konsep *smart city* [5]. *Smart environment* menjadi salah satu dimensi pada *smart city* yang berfokus pada bagaimana menciptakan lingkungan yang cerdas. *Smart environment* dapat terwujud dengan penerapan aplikasi dalam bentuk sensor maupun beragam teknologi lainnya untuk mendukung pengelolaan lingkungan [5]. Salah satu implementasi utama dari *smart environment* adalah sistem pemantauan kualitas udara yang memungkinkan deteksi dini terhadap peningkatan polusi serta membantu perencanaan kebijakan berbasis data yang lebih efektif.

Penerapan sistem pemantauan kualitas udara di perkotaan menjadi langkah strategis untuk mengatasi polusi udara yang mengancam kesehatan dan ekosistem. Dengan adanya sistem ini, pemerintah dan masyarakat dapat memperoleh informasi *realtime* mengenai tingkat polusi di berbagai lokasi secara lebih akurat. Data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk menganalisis tren polusi udara, mengidentifikasi sumber utama emisi, serta merancang strategi mitigasi yang lebih optimal. Partikel halus seperti PM1, PM2.5, PM10 serta gas beracun seperti CO, NO2, SO2, NH3, dan O3 dapat berdampak signifikan pada kesehatan masyarakat.

Sebagai bagian dari transformasi menuju *smart city*, berbagai kota telah berupaya memanfaatkan teknologi informasi untuk meningkatkan kualitas pelayanan publik, termasuk dalam hal pemantauan lingkungan. Salah satu elemen penting dalam *smart city* adalah pengumpulan data berbasis sensor yang kemudian dapat digunakan untuk mendukung kebijakan pemerintah yang lebih efektif dan berbasis data (*data-driven policy*) [5]. Kelemahan sistem tradisional membuka peluang untuk memanfaatkan *Internet of Things* sebagai media penyebaran data kualitas udara yang transparan dan mudah diakses. Platform seperti *IQAir* dan *Airly* telah membuktikan bahwa visualisasi data interaktif melalui peta digital dapat meningkatkan kesadaran masyarakat. Di sisi lain, integrasi sistem pemantauan udara ke dalam kerangka *smart city* memungkinkan sinergi dengan sektor lainnya, seperti pengaturan ruang terbuka hijau dan penentuan lokasi zona industri.

Meski demikian, implementasi teknologi pemantauan kualitas udara ini masih menghadapi berbagai tantangan, seperti kalibrasi sensor, validasi data, dan kesiapan infrastruktur jaringan. Akurasi data yang diperoleh dari sensor udara bergantung pada keandalan perangkat yang digunakan, serta metode validasi yang diterapkan. Oleh karena itu, keberhasilan sistem pemantauan kualitas udara *realtime* juga bergantung pada pengembangan infrastruktur yang memadai, seperti ketersediaan jaringan 4G atau 5G yang dapat mendukung kecepatan dalam transmisi data antara perangkat *IoT* dengan server. Selain itu, sinergi antara pemerintah daerah, sektor swasta, dan lembaga riset sangat diperlukan dalam membangun sistem pemantauan kualitas udara yang dapat dipertanggungjawabkan terkait dengan validitas datanya.

Penelitian ini bertujuan untuk merancang sistem pemantauan kualitas udara berbasis *website realtime* yang mampu menganalisis pola polusi dan mengintegrasikannya ke dalam platform *smart city*. Manfaat dari penelitian ini adalah memberikan informasi preventif bagi masyarakat serta rekomendasi kebijakan pemerintah yang berbasis data, seperti pengoptimalan tata ruang dan pengendalian emisi. Dengan adanya sistem ini, diharapkan masyarakat dapat lebih sadar terhadap pentingnya menjaga kualitas udara serta dapat mengambil langkah mitigasi yang lebih proaktif.

Secara keseluruhan, upaya pemantauan udara *realtime* tidak hanya menjadi kebutuhan teknis, tetapi juga komitmen terhadap pembangunan berkelanjutan. Dengan menggabungkan teknologi *IoT*, keterbukaan data, dan partisipasi publik, dapat menjadi contoh keberhasilan dalam menyeimbangkan perkembangan teknologi dan kesehatan lingkungan. Penelitian ini diharapkan menjadi langkah awal untuk mewujudkan visi tersebut, sekaligus memperkuat fondasi *smart city* menuju Indonesia yang lebih hijau dan inklusif.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, rumusan masalah pada penelitian ini adalah :

1. Apa saja parameter kualitas udara yang perlu dipantau agar data yang dihasilkan akurat dan dapat dipertanggungjawabkan?
2. Bagaimana perancangan *website* agar informasi kualitas udara dapat diakses secara mudah, cepat, dan terbuka oleh masyarakat serta pemerintah kota?
3. Bagaimana sistem ini dapat diintegrasikan ke dalam konsep *Smart City*, sehingga bermanfaat dalam pengambilan keputusan dan kebijakan kota?

1.3 Batasan Penelitian

Pengembangan Teknologi Pemantauan Udara Berbasis *Website Realtime* untuk Mendukung Implementasi *Smart City* memiliki batasan penelitian yaitu :

1. Proyek hanya berfokus pada pengolahan data yang sudah didapatkan dari perangkat *IoT*. Dari mulai menyiapkan protokol pengiriman data dari perangkat *IoT* dengan server sampai dengan menyajikan data secara *realtime* pada aplikasi.
2. Lingkungan proyek adalah wilayah pemerintah Kota Semarang.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Dengan adanya sistem pemantauan kualitas udara *realtime* dapat membantu pemerintah kota dalam pengambilan keputusan dalam bidang pengelolaan tata ruang terbuka hijau.
2. Sistem pemantauan kualitas udara *realtime* dan keterbukaan data dapat meningkatkan kesadaran masyarakat kota terkait dengan kualitas udara dan dapat melakukan upaya preventif untuk menghindari kualitas udara yang buruk.

1.5 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan parameter dan metode pengukuran kualitas udara yang sesuai, serta mengimplementasikan sensor dan perangkat *Internet of Things (IoT)* untuk pengumpulan data yang akurat.
2. Menyajikan data kualitas udara pada beberapa jalan protokol kota.
3. Mengembangkan sistem pemantauan udara berbasis *website realtime* yang handal, responsif, serta mudah diakses oleh seluruh pemangku kepentingan.
4. Mewujudkan integrasi sistem pemantauan kualitas udara ke dalam kerangka *smart city* sehingga dapat mendukung pemerintah dalam pengambilan kebijakan berbasis data (*data-driven policy*).

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan analisis yang telah dilakukan dalam penelitian ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Sistem berhasil dirancang untuk mengolah data parameter kualitas udara utama yang krusial bagi kesehatan masyarakat dan lingkungan perkotaan, yaitu *Partikulat Matter* (PM₁₀ dan PM_{2.5}), Karbon Monoksida (CO), Sulfur Dioksida (SO₂), Nitrogen Dioksida (NO₂), dan Ozon (O₃), dengan mengacu pada Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Nomor 14 Tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU). Alur pengolahan data yang diimplementasikan, mulai dari penerimaan data melalui *API Next.js*, validasi berlapis (*header*, kelengkapan JSON, autentikasi perangkat), hingga perhitungan ISPU dan penentuan status ambang batas, telah berjalan sesuai dengan rancangan.
2. Sistem ini berhasil dikembangkan dalam pemantauan kualitas udara berbasis *website realtime* menggunakan *Next.js* untuk layanan *API*, *Express.js (Node.js)* khusus untuk server *WebSocket*, dan *database PostgreSQL*. Antarmuka pengguna *website* dirancang untuk menyajikan informasi kualitas udara (termasuk nilai parameter, ISPU, dan peta sebaran) secara mudah, cepat, dan terbuka bagi masyarakat serta pemerintah kota.
3. Sistem pemantauan kualitas udara yang dikembangkan ini memiliki potensi besar untuk diintegrasikan ke dalam kerangka *Smart City*. Dengan menyediakan data yang akurat dan *realtime*, sistem dapat mendukung dimensi *Smart Environment* dan menjadi landasan bagi pemerintah kota dalam pengambilan keputusan serta perumusan kebijakan berbasis data (*data-driven policy*) terkait pengelolaan tata ruang, optimalisasi ruang terbuka hijau, manajemen lalu lintas, dan perlindungan kesehatan masyarakat.

5.2 Saran

Untuk pengembangan sistem yang lebih komprehensif dan pemanfaatan yang lebih optimal di masa mendatang, beberapa saran yang dapat dipertimbangkan adalah sebagai berikut:

1. Perluasan jaringan sensor dan validasi data dengan mengintegrasikan sistem dengan jaringan sensor *IoT* yang lebih luas dan beragam di seluruh wilayah. Perlu adanya mekanisme kalibrasi dan validasi data sensor secara berkala untuk menjamin akurasi data jangka panjang.
2. Pengembangan fitur prediksi dengan menambahkan modul prediksi kualitas udara menggunakan teknik *machine learning* berdasarkan data historis dan data cuaca, sehingga dapat memberikan peringatan dini yang lebih proaktif.
3. Aplikasi berbasis mobile dengan mengembangkan aplikasi mobile (Android/iOS) untuk memperluas jangkauan akses informasi kualitas udara dan memungkinkan pengiriman notifikasi *push* secara langsung ke perangkat pengguna.
4. Analitik data lanjutan dengan mengembangkan *dashboard* analitik yang lebih canggih untuk pemerintah, yang mampu menampilkan korelasi antara polusi udara dengan faktor lain (misalnya, lalu lintas, kegiatan industri, cuaca) dan mengevaluasi dampak kebijakan.
5. Keamanan sistem dengan terus meningkatkan aspek keamanan sistem, baik pada level API, server *websocket*, maupun *database*, untuk melindungi dari potensi ancaman siber.
6. Penerapan *schema caching* data di *local browser* atau penggunaan *redis* untuk mempercepat *load* data pada saat melihat data di peta.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] World Health Organization, *WHO Global Air Quality Guidelines*. World Health Organization, 2021.
- [2] F. Amato *et al.*, “Urban air quality: The challenge of traffic non-exhaust emissions,” *J Hazard Mater*, vol. 275, pp. 31–36, Jun. 2014, doi: 10.1016/j.jhazmat.2014.04.053.
- [3] P. Febriana Sulistya, “8 Kota Indonesia dengan Polusi Udara Tertinggi, Semarang Teratas (19 Maret 2024),” <https://dataindonesia.id/varia/detail/8-kota-indonesia-dengan-polusi-udara-tertinggi-semarang-teratas-19-maret-2024>. Accessed: Mar. 03, 2025. [Online]. Available: <https://dataindonesia.id/varia/detail/8-kota-indonesia-dengan-polusi-udara-tertinggi-semarang-teratas-19-maret-2024>
- [4] IQAir, “World Air Quality Report Region & City PM2.5 Ranking,” 2023.
- [5] F. N. Izzuddin, “KONSEP SMART CITY DALAM PEMBANGUNAN BERKELANJUTAN,” *Citizen : Jurnal Ilmiah Multidisiplin Indonesia*, vol. 2, no. 3, pp. 376–382, Jul. 2022, doi: 10.53866/jimi.v2i3.96.
- [6] H. Karnati, “IoT-Based Air Quality Monitoring System with Machine Learning for Accurate and Realtime Data Analysis,” Jul. 2023.
- [7] A. A. Aserkar, S. R. Godla, Y. A. Baker El-Ebiary, Krishnamoorthy, and J. V. N. Ramesh, “Realtime Air Quality Monitoring in Smart Cities using IoT-enabled Advanced Optical Sensors,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 15, no. 4, pp. 840–848, 2024, doi: 10.14569/IJACSA.2024.0150487.
- [8] T. Kumar and A. Doss, “AIRO: Development of an Intelligent IoT-based Air Quality Monitoring Solution for Urban Areas,” in *Procedia Computer Science*, Elsevier B.V., 2022, pp. 262–273. doi: 10.1016/j.procs.2023.01.008.
- [9] D. Múnera, V. Diana, J. Aguirre, and N. G. Gómez, “IoT-based air quality monitoring systems for smart cities: A systematic mapping study,” *International*

- Journal of Electrical and Computer Engineering*, vol. 11, no. 4, pp. 3470–3482, Aug. 2021, doi: 10.11591/ijece.v11i4.pp3470-3482.
- [10] A. Boukhalfa, M. Benslimane, and L. Ghemri, “Development of a Realtime Air Quality Monitoring System Using IoT and Data Analytics,” *Int J Sci Math Educ*, vol. 1, no. 2, 2024, doi: 10.62951/ijsme.v1i2.55.
- [11] A. Dwiyanto Nurlukman and A. Basit, “IMPLEMENTASI SMART ENVIRONMENT CITY DALAM TATA KELOLA LINGKUNGAN DI KOTA TANGERANG,” *Jurnal Ilmiah Ilmu Pemerintahan*, 2023.
- [12] Nasir and Yuslinaini, “Membangun Smart City di Indonesia Tantangan dan Peluang,” *Jurnal Manajemen dan Teknologi (JMT)*, vol. 1, no. 1, 2024, doi: 10.35870/jmt.vxix.774.
- [13] A. A. Wahyudi, Y. R. Widowati, A. A. Nugroho, P. Stia, and L. Jakarta, “STRATEGI IMPLEMENTASI SMART CITY KOTA BANDUNG,” *Jurnal Good Governance*, vol. 18, Mar. 2022.
- [14] T. Seesaard, K. Kamjornkittikoon, and C. Wongchoosuk, “A comprehensive review on advancements in sensors for air pollution applications,” *Science of The Total Environment*, vol. 951, p. 175696, Nov. 2024, doi: 10.1016/j.scitotenv.2024.175696.
- [15] A. Boukhalfa, M. Benslimane, and L. Ghemri, “Development of a Realtime Air Quality Monitoring System Using IoT and Data Analytics,” *Int J Sci Math Educ*, vol. 1, no. 2, 2024, doi: 10.62951/ijsme.v1i2.55.
- [16] C. Falzone and A. C. Romain, “Establishing an Air Quality Index Based on Proxy Data for Urban Planning Part 1: Methodological Developments and Preliminary Tests,” *Atmosphere (Basel)*, vol. 13, no. 9, Sep. 2022, doi: 10.3390/atmos13091470.
- [17] Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan Republik Indonesia, *Indeks Standar Pencemaran Udara*. Indonesia, 2020.
- [18] Y. Wahyudin and D. N. Rahayu, “Analisis Metode Pengembangan Sistem Informasi Berbasis Website: A Literatur Review,” *Jurnal Interkom: Jurnal*

- Publikasi Ilmiah Bidang Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 15, no. 3, pp. 26–40, Oct. 2020, doi: 10.35969/interkom.v15i3.74.
- [19] M. Fariz, S. Lazuardy, and D. Anggraini, “Modern Front End Web Architectures with React.Js and Next.Js,” *International Research Journal of Advanced Engineering and Science*, vol. 7, no. 1, pp. 132–141, 2022.
- [20] A. Mubariz *et al.*, “Perancangan Back-End Server Menggunakan Arsitektur Rest dan Platform Node.JS (Studi Kasus: Sistem Pendaftaran Ujian Masuk Politeknik Negeri Ujung Pandang),” 2020.
- [21] L. Zahara, I. R. Munthe, and A. A. Ritonga, “SISTEM INFORMASI GEOGRAFIS PEMETAAN SEKOLAH MENENGAH KEJURUAN DI KABUPATEN LABUHANBATU MENGGUNAKAN WEBGIS,” *JURTEKSI (Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi)*, vol. 7, no. 2, pp. 187–194, Apr. 2021, doi: 10.33330/jurteksi.v7i2.1079.
- [22] L. Alviando, A. Bhawiyuga, and D. P. Kartikasari, “Penerapan Websocket pada Sistem Live Chat berbasis Web (Studi Kasus Website Kwikku.com),” 2023. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [23] A. Barra Al-Ilman and T. Astoto Kurniawan, “Implementasi Teknologi Websocket dalam Pengembangan Sistem Berbagi Lokasi Berbasis Web,” 2017. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [24] G. Pujianto *et al.*, “PENGEMBANGAN WEB SERVICE PADA SISTEM INFORMASI JAHE MENGGUNAKAN METODE REST API,” 2024.
- [25] A. Wibowo, A. Fathimah, D. Waskito, and R. A. Aprilianto, “Cron Job Implementation for Automated Data Processing and Transfer in Cloud Infrastructure,” 2025. [Online]. Available: <https://journal.unnes.ac.id/journals/sainteknol>
- [26] J. Chigwada, F. Mazunga, C. Nyamhere, V. Mazheke, and N. Taruvinga, “Remote poultry management system for small to medium scale producers using IoT,” *Sci Afr*, vol. 18, Nov. 2022, doi: 10.1016/j.sciaf.2022.e01398.