

**RANCANG BANGUN *BACKEND APLIKASI MOBILE MONITORING*
KUALITAS UDARA DENGAN METODE *DESIGN THINKING***

(Skripsi)

Oleh
ERIK PRAYOGA
NPM 1815061017



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

**RANCANG BANGUN *BACKEND* APLIKASI *MOBILE MONITORING*
KUALITAS UDARA DENGAN METODE *DESIGN THINKING***

Oleh

ERIK PRAYOGA

Skripsi

**Sebagai salah satu syarat untuk mendapat gelar
SARJANA TEKNIK**

**Program Studi Teknik Informatika
Jurusan Teknik Elektro
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
2025**

ABSTRAK

RANCANG BANGUN *BACKEND* APLIKASI *MOBILE MONITORING KUALITAS UDARA DENGAN METODE DESIGN THINKING*

Oleh
ERIK PRAYOGA

Kualitas udara merupakan faktor penting yang memengaruhi kesehatan dan kenyamanan manusia, khususnya di ruang tertutup seperti ruang kelas. Oleh karena itu diperlukan sistem *monitoring* kualitas udara dengan menggunakan sensor dan terintegrasi dengan aplikasi *mobile*, agar mudah diakses. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem backend dari aplikasi *mobile monitoring* kualitas udara dengan pendekatan *Design Thinking* yang berorientasi pada kebutuhan pengguna yang mendukung visualisasi data yang informatif dan mudah dipahami. Dalam pengembangannya, Sistem *backend* dikembangkan menggunakan Node.js dan Express.js sebagai kerangka kerja REST API, serta MongoDB sebagai basis data NoSQL untuk menyimpan data secara *real-time*. Sistem menyediakan sejumlah *endpoint* untuk menyimpan, mengambil, dan menyajikan data kualitas udara terkini maupun historis. Pengujian dilakukan menggunakan metode *black-box*, yang menunjukkan bahwa seluruh fungsi *endpoint* bekerja sesuai ekspektasi, dengan respon 200 dan tingkat keberhasilan pengambilan data mencapai 100% pada skenario pengujian normal. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem *backend* yang dikembangkan efisien, stabil, dan siap diintegrasikan dengan aplikasi *mobile*.

Kata Kunci: Kualitas udara, Backend, REST API, Node.js, MongoDB, *Design Thinking*, *AirVisual Pro*, *Cyber-Physical System*

ABSTRACT

***DESIGN AND DEVELOPMENT OF A MOBILE AIR QUALITY
MONITORING APPLICATION BACKEND USING THE DESIGN
THINKING METHOD***

By

ERIK PRAYOGA

Air quality is an important factor that affects human health and comfort, especially in enclosed spaces such as classrooms. Therefore, an air quality monitoring system is needed using sensors integrated with a mobile application to ensure accessibility. This study aims to design and develop the backend system of a mobile air quality monitoring application using a Design Thinking approach that focuses on user needs and supports informative and easy-to-understand data visualization. The backend system was developed using Node.js and Express.js as the REST API framework, and MongoDB as the NoSQL Database to store data in real time. The system provides several endpoints to store, retrieve, and present both real-time and historical air quality data. Testing was carried out using the black-box method, which showed that all endpoint functions performed as expected, returning HTTP 200 responses and achieving a 100% data retrieval success rate under normal test scenarios. These results indicate that the developed backend system is efficient, stable, and ready to be integrated with a mobile application.

Keywords: Air quality, Backend, REST API, Node.js, MongoDB, Design Thinking, AirVisual Pro, Cyber-Physical System

Judul : RANCANG BANGUN BACKEND APLIKASI
MOBILE MONITORING KUALITAS
UDARA DENGAN METODE DESIGN
THINKING

Nama Mahasiswa : Erik Prayoga

Nomor Pokok Mahasiswa : 1815061017

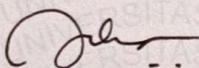
Program Studi : Teknik Informatika

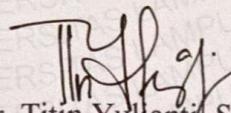
Jurusan : Teknik Elektro

Fakultas : Teknik

Pembimbing Utama : Pembimbing Pendamping



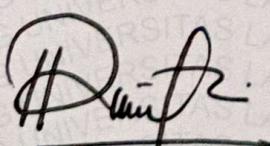

Ir. M. Komarudin, S.T., M.T
NIP. 196812071997031006

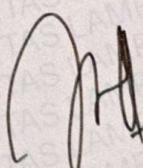

Ir. Titin Yullanti, S.T., M.Eng.
NIP. 198807092019032015

2. Mengetahui

Ketua Jurusan Teknik Elektro

Ketua Program studi Teknik Informatika


Herlinawati, S.T., M.T.
NIP. 197103141999032001


Yessi Mulyani, S.T., M.T.
NIP. 197312262000122001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua

: Ir. M. Komarudin, S.T., M.T.

Sekretaris

: Ir. Titin Yulianti, S.T., M.Eng.

Penguji

: Mona Arif Muda, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik



: Dr. Eng. Ir. Henny Fitriawan, S.T., M.Sc. }

NIP. 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi: 17 Juni 2025

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini, menyatakan bahwa skripsi yang berjudul "Rancang Bangun Backend Aplikasi Mobile Monitoring Kualitas Udara dengan Metode *Design Thinking*" merupakan hasil karya saya sendiri, bukan hasil jiplakan atau buatan pihak lain. Seluruh isi dari skripsi ini telah disusun sesuai dengan prinsip-prinsip penulisan karya ilmiah yang berlaku di Universitas Lampung. Saya menyadari dan bertanggung jawab penuh atas keaslian karya ini. Apabila di kemudian hari terbukti terdapat unsur plagiat atau keterlibatan pihak lain dalam penyusunan karya ini tanpa hak, maka saya siap menerima sanksi sesuai ketentuan hukum dan peraturan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 20 Juni 2025

Penulis,



Erik Prayoga

NPM 1815061017

RIWAYAT HIDUP



Penulis lahir di Way Kanan, pada tanggal 04 Oktober 2000, sebagai anak kedua dari tiga bersaudara dari Bapak Herman dan Ibu Emi Nursinah. Riwayat pendidikan penulis dimulai dari menyelesaikan pendidikan di RA Islami Muslimin (lembaga Pendidikan Anak Usia Dini) pada tahun 2006. Penulis Menyelesaikan pendidikan dasar di SD Negeri Taman

Asri pada tahun 2012. Menyelesaikan sekolah menengah pertama di SMP Negeri 1 Baradatu pada tahun 2015. Menyelesaikan sekolah menengah akhir di SMA Negeri 1 Baradatu pada tahun 2018 dengan nilai terbaik ke-2 dari kurang lebih 250 siswa. Pada tahun 2018 penulis terdaftar sebagai mahasiswa Program Studi Teknik Informatika, Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Sebuah pencapaian yang manis, buah hasil dari kerja keras dalam belajar dan dukungan moral serta doa dari kedua orang tua. Satu langkah baik untuk menciptakan peluang dalam mengangkat derajat martabat orang tua dan keluarga.

Selama masa pendidikan, penulis aktif berpartisipasi dalam beragam aktivitas, termasuk:

1. Anggota Divisi Kewirausahaan pada Departemen Sosial dan Kewirausahaan di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (2019).
2. Anggota Divisi Pendidikan pada Departemen Pendidikan dan Pengembangan Diri di Himpunan Mahasiswa Teknik Elektro Universitas Lampung (2019)
3. Anggota Departemen Kominfo pada UKM-U SAINTEK Universitas Lampung (2020).

4. Penerima Beasiswa Peningkatan Prestasi Akademik (PPA) Universitas Lampung (2019)
5. Anggota Bidang Kominfo pada Paguyuban Karya Salemba Empat Universitas Lampung (2021).
6. Penerima Beasiswa Karya Salemba Empat Universitas Lampung (2021).
7. Partisipasi dalam Kuliah Kerja Nyata di Desa Serupa Indah, Kecamatan Semaka, Kabupaten Tanggamus, Provinsi Lampung (Januari - Februari 2022).
8. Peserta MSIB Kampus Merdeka dalam Program Studi Independen UI/UX Bootcamp di PT. Createdu Global Mahardika (2022).

MOTTO

”Jangan biarkan dirimu berhenti terlau lama, kamu harus mulai kembali berjalan bersama waktu yang tidak pernah berhenti”

Penulis

“Sebaik-baik manusia adalah yang paling bermanfaat bagi orang lain.”

(HR. Ahmad, ath-Thabrani, ad-Daruqutni)

“Apabila engkau telah selesai (dengan suatu kebajikan), teruslah bekerja keras
(untuk kebajikan yang lain)”

(Q.S. Al-Insyirah : 7)

PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim,

Dengan mengharapkan ridho dari Allah Subhanahu wa Ta'ala,

Aku persesembahkan karyaku ini untuk orang-orang yang kucintai dengan sepenuh
hati:

Alm. Ibunda Tercinta

Ayah Terkasih

Kakakku

Adikku

Serta Keponakanku,

Terima kasih untuk segalanya,

Kalian adalah hartaku yang paling berharga.

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas segala limpahan rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan Skripsi/Tugas Akhir yang berjudul "*Rancang Bangun Backend Aplikasi Mobile Monitoring Kualitas Udara dengan Metode Design Thinking*" ini dengan baik.

Dalam proses pelaksanaan dan penyusunan skripsi ini, penulis telah menerima banyak dukungan, baik secara moral maupun material, dari berbagai pihak. Untuk itu, penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah memberikan bantuan dan dukungan, terutama kepada:

1. Bapak Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Herlinawati, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.
3. Ibu Yessi Mulyani, S.T., M.T., selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Lampung, yang telah memfasilitasi dan mendukung jalannya penelitian ini.
4. Bapak Wahyu Eko Sulistiono, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Akademik, atas bimbingan dan nasihatnya selama penulis menjalani masa studi.
5. Bapak Ir. Muhamad Komarudin, S.T., M.T., selaku Pembimbing Utama, dan Ibu Ir. Titin Yulianti, S.T., M.Eng., selaku Pembimbing Pendamping, yang telah dengan sabar, penuh semangat, serta muncurahkan waktu dan perhatian dalam membimbing penulis hingga skripsi ini dapat terselesaikan.
6. Bapak Mona Arif Muda, S.T., M.T., selaku Dosen Penguji, atas saran dan kritik yang membangun dalam penyempurnaan penelitian ini

7. Seluruh dosen dan staf di lingkungan Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung, atas segala ilmu, bantuan, serta kemudahan yang diberikan selama proses penyusunan skripsi ini berlangsung.
8. Kedua orang tuaku, serta seluruh keluarga yang tak henti-hentinya memberikan doa, dorongan semangat, dan dukungan materi.
9. Teman-teman dari kos Silampari yang selalu ada dan sedia serta saling bahu-membahu.
10. Rekan-rekan assisten laboratorium Teknik Komputer yang selalu menemani setiap proses penelitian ini.

Sebagai penutup, penulis berharap laporan ini dapat memberikan kontribusi positif bagi perkembangan ilmu di bidang Teknik Informatika, serta menjadi sumber inspirasi dan manfaat bagi para pembaca.

Bandar Lampung, 20 Juni 2025

Penulis,

Erik Prayoga

NPM. 1815061017

Daftar Isi

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
MENGESAHKAN	iv
SURAT PERNYATAAN	v
RIWAYAT HIDUP	vi
MOTTO.....	viii
PERSEMBAHAN.....	ix
SANWACANA	x
Daftar Isi.....	xii
Daftar Gambar.....	xiv
Daftar Tabel.....	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	2
1.4 Manfaat Penelitian	2
1.5 Batasan Masalah.....	3
1.6 Sistematika Penulisan Skripsi	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Landasan Teori	5
2.1.1 Kualitas Udara.....	5
2.1.2 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)	5
2.1.3 Air Quality Index (AQI)	7
2.1.4 Rujukan Sistem.....	9

2.1.5 Backend Development.....	11
2.1.6 Testing	12
2.1.7 API.....	13
2.1.8 Design Thinking	14
2.2 Penelitian Terdahulu.....	15
III. METODOLOGI PENELITIAN.....	20
1.1 Waktu & Tempat.....	20
1.2 Alat dan bahan	20
1.2.1 Alat	21
1.2.2 Bahan.....	22
1.3 Tahapan penelitian	22
IV.HASIL DAN PEMBAHASAN	28
4.1 Hasil <i>Empathize</i>	28
4.2 Hasil <i>Define</i>	31
4.3 Hasil <i>Ideate</i>	32
4.4 Hasil <i>Prototype</i>	33
4.6 Hasil <i>Testing</i>	41
4.5 Hasil Development.....	54
V. KESIMPULAN DAN SARAN	56
5.1 Kesimpulan	56
5.2 Saran	57
DAFTAR PUSTAKA	58

Daftar Gambar

	Halaman
Gambar 1 Indeks kualitas udara (AQI ⁺) dan polusi udara PM2.5 di Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 16 April 2025 (pukul 05:00) [2]	1
Gambar 2 AirVisual Pro [6]	9
Gambar 3 Diagram Arsitektur Sistem	22
Gambar 4 Flowchart Tahapan Penelitian	25
Gambar 5 Frekuensi Kehadiran Mahasiswa di Gedung Teknik Elektro	28
Gambar 6 Penilaian Kualitas Udara oleh Mahasiswa	29
Gambar 7 Persentase Mahasiswa yang Merasa Tidak Nyaman	30
Gambar 8 Schema Mongoose	34
Gambar 9 Basis data.....	35
Gambar 10 Jenis Data	37
Gambar 11 Alur Data	40
Gambar 12 Ruang H5.....	42
Gambar 13 Pengujian Kualitas Udara Dengan Alat Sensor di Ruang H5	43
Gambar 14 Data Dari Alat Sensor.....	44
Gambar 15 Visualisasi Data Dari Alat Sensor	45
Gambar 16 Visualisasi Data Dari AirVisual Pro	46
Gambar 17 Pengujian endpoint GET /api/airquality/latest	48
Gambar 18 Pengujian endpoint GET https://api.airvisual.com/v2/city	49
Gambar 19 Pengujian endpoint POST api/airquality/.....	50
Gambar 20 Pengujian endpoint GET /api/airquality/history	52

Daftar Tabel

	Halaman
Tabel 1 Pengaruh ISPU	6
Tabel 2 Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU	7
Tabel 3 Parameter AQI Dan Dampak Kesehatan	8
Tabel 4 Konversi Nilai Konsentrasi Parameter AQI	8
Tabel 5 Penelitian Terdahulu.....	16
Tabel 6 Waktu Penelitian.....	20
Tabel 7 Daftar Alat Penelitian	21
Tabel 8 Daftar Bahan Penelitian	22
Tabel 9 Pembagian Tugas Penelitian.....	23
Tabel 10 Kuesioner Emphatize	26
Tabel 11 Normalisasi Berdasarkan Interpretasi Kualitatif Dari Skala Likert	29
Tabel 12 Basis Data.....	38
Tabel 13 Daftar endpoint.....	39
Tabel 14 Data input	51
Tabel 15 Tabel Pengujian Fungsionalitas API.....	53

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kualitas udara merupakan faktor krusial yang memengaruhi kesehatan dan kualitas hidup manusia. Menurut data *World Health Organization* (WHO), sekitar 7 juta orang meninggal setiap tahunnya akibat paparan polusi udara, baik di luar maupun di dalam ruangan [1]. Di Indonesia, tingkat polusi udara, khususnya di kota-kota besar seperti Jakarta, Bandung, dan Surabaya, cenderung tinggi akibat emisi kendaraan bermotor, industri, dan pembakaran terbuka [2].



Gambar 1 Indeks kualitas udara (AQI⁺) dan polusi udara PM2.5 di Daerah Khusus Ibukota Jakarta, 16 April 2025 (pukul 05:00) [2]

Dalam menghadapi permasalahan ini, pemanfaatan teknologi menjadi langkah strategis, salah satunya melalui sistem *monitoring* kualitas udara berbasis *Internet of Things* (*IoT*). Sistem ini memungkinkan pengumpulan data secara *real-time* menggunakan sensor, lalu diproses dan disajikan kepada pengguna melalui aplikasi *mobile* [3]. Untuk menjalankan sistem tersebut, dibutuhkan perancangan *Backend* yang mampu menangani proses penyimpanan, pengelolaan, dan distribusi data secara efisien dan andal.

Namun, dalam banyak pengembangan sistem teknologi, pendekatan yang berpusat pada pengguna (*user-centered*) sering kali terabaikan. Hal ini menyebabkan solusi yang dikembangkan tidak sepenuhnya menjawab kebutuhan pengguna. Oleh karena itu, metode *Design Thinking* hadir sebagai pendekatan iteratif yang mengutamakan pemahaman mendalam terhadap pengguna dalam setiap tahap pengembangan sistem[4].

Dengan pendekatan *Design Thinking*, proses pengembangan *Backend* sistem *monitoring* kualitas udara tidak hanya berorientasi pada aspek teknis, tetapi juga pada kenyamanan, efisiensi, dan kebutuhan nyata pengguna. Oleh karena itu, penelitian ini akan merancang dan membangun sistem *Backend* aplikasi *mobile monitoring* kualitas udara berbasis pendekatan *Design Thinking*, yang mendukung visualisasi data yang informatif dan mudah dipahami.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang, rumusan masalah yang mendasari penelitian ini sebagai berikut.

1. Bagaimana merancang sistem *Backend* yang dapat memproses data kualitas udara secara *real-time*?
2. Bagaimana menerapkan metode *Design Thinking* dalam perancangan sistem *Backend* untuk aplikasi *monitoring* kualitas udara?
3. Bagaimana memastikan integrasi antara *backend*, *frontend* dan perangkat sensor berjalan dengan baik dan stabil?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Membuat *backend* aplikasi *monitoring* kualitas udara dengan *metode Design Thinking* berbasis *mobile*.
2. Menguji fungsionalitas dari aplikasi tersebut menggunakan pengujian *Black Box*.
3. Menjamin konektivitas dan integrasi data antara perangkat sensor kualitas udara, sistem *backend* dan *frontend* secara *real-time*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi kelompok masyarakat berikut:

1. Civitas akademika Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung dalam memantau kualitas udara dalam ruang dan membantu pimpinan jurusan untuk menyusun kebijakan tentang lingkungan di Gedung Teknik Elektro Universitas Lampung
2. Bagi masyarakat bermanfaat untuk mendapatkan informasi kualitas udara secara aktual dan mudah diakses.
3. Bagi pengembang menjadi acuan dalam membangun sistem yang berfokus pada pengguna.
4. Bagi peneliti memberikan kontribusi terhadap pengembangan sistem berbasis *Cyber-Physical System*.

1.5 Batasan Masalah

Penelitian ini merupakan bagian dari proyek yang dikerjakan secara tim, yang bertujuan untuk membangun aplikasi *mobile monitoring* kualitas udara. Setiap anggota tim memiliki fokus penelitian yang berbeda sesuai dengan kompetensi dan ruang lingkup tugas masing-masing.

Penelitian ini secara khusus terbatas pada.

1. Pengujian hanya dilakukan pada ruang kelas Jurusan Teknik Elektro (JTE).
2. Penelitian hanya fokus pada pengembangan *Backend (server-side)*, tidak mencakup pengembangan *frontend* atau aplikasi *mobile* secara keseluruhan.
3. Data kualitas udara didapat dari alat *AirVisual Pro* dan dari alat sensor kualitas udara yang dikembangkan.

1.6 Sistematika Penulisan Skripsi

Sistematika penulisan skripsi / tugas akhir ini terdiri dari 5 (lima) bab sebagai berikut:

1) PENDAHULUAN

Bagian ini berisi tentang pembahasan latar belakang, rumusan masalah, dan tujuan penelitian terkait pentingnya perancangan *backend* kualitas udara dan pembahasan mengenai sistematika penulisan laporan penelitian.

2) TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini memuat landasan teori yang menjadi landasan rancang bangun *backend* berbasis *mobile* seperti kualitas udara, Indeks Standar Pencemaran Udara (ISPU), *Air Quality Index (AQI)*, *Backend*, *Design Thinking*, *Testing*, dan penelitian terdahulu yang mendukung perancangan *backend monitoring* kualitas udara berbasis *mobile*.

3) METODOLOGI PENELITIAN

Bagian ini memuat waktu dan tempat, alat dan bahan penelitian, tahapan penelitian, dan diagram alir dari tahapan dan metode pada aktivitas perancangan.

4) PEMBAHASAN

Bagian ini memuat pembahasan dari pelaksanaan tahapan rancang bangun *frontend* perancangan sistem, implementasi *backend*, integrasi data dari perangkat *AirVisual Pro*, visualisasi data kualitas udara, serta hasil pengujian sistem menggunakan metode *black-box*.

5) KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini memuat kesimpulan dan saran dari rancang bangun *backend* aplikasi *mobile monitoring* kualitas udara di gedung Jurusan Teknik Elektro Universitas Lampung.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

2.1.1 Kualitas Udara

Kualitas udara adalah ukuran untuk menilai tingkat kebersihan udara berdasarkan kandungan polutan di dalamnya. Udara dikatakan bersih jika tidak mengandung zat-zat yang dapat membahayakan kesehatan manusia, hewan, maupun tumbuhan dalam jangka pendek maupun panjang. Parameter utama yang digunakan untuk menilai kualitas udara meliputi PM2.5, PM10, CO (Karbon Monoksida), SO₂ (Sulfur Dioksida), NO₂ (Nitrogen Dioksida), dan O₃ (Ozon).

Kualitas udara yang buruk dapat memicu gangguan kesehatan seperti gangguan pernapasan, penyakit jantung, hingga kanker paru-paru. Anak-anak, lansia, dan penderita penyakit kronis menjadi kelompok paling rentan terhadap dampak polusi udara.

Menurut WHO, polusi udara menyumbang sekitar 7 juta kematian dini setiap tahun secara global [1].

2.1.2 Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU)

Keputusan Menteri Lingkungan Hidup No. 45 Tahun 1997 tentang Perhitungan dan Pelaporan serta Informasi ISPU telah digantikan oleh Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan No. 14 Tahun 2020 tentang ISPU. Dalam peraturan terbaru ini, terdapat beberapa perubahan penting, salah satunya adalah penambahan dua parameter untuk perhitungan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU), yaitu HC (Hidrokarbon) dan PM2.5.

Penambahan kedua parameter tersebut dilakukan karena dampak besar yang ditimbulkan oleh HC dan PM2.5 terhadap kesehatan manusia. Sebelumnya, hanya

enam parameter yang digunakan untuk menghitung ISPU, yaitu PM10, NO₂, SO₂, CO, O₃, dan HC. Dengan penambahan parameter tersebut, perhitungan ISPU kini lebih komprehensif dalam menggambarkan kualitas udara yang dapat memengaruhi kesehatan manusia, kualitas estetika, dan kelangsungan hidup makhluk hidup lainnya.

Kualitas udara menunjukkan tingkat kebersihan udara di suatu wilayah berdasarkan kandungan partikulat dan gas pencemar seperti PM2.5, PM10, CO, SO₂, dan lainnya. Untuk mengukur kualitas ini, pemerintah Indonesia menggunakan Indeks Standar Pencemar Udara (ISPU) yang diklasifikasikan dalam kategori mulai dari "Baik" hingga "Berbahaya" [5]. ISPU menjadi acuan penting dalam menilai dampak kualitas udara terhadap kesehatan masyarakat.

Tabel 1 Pengaruh ISPU

Rentang	Kategori	Status Warna	Penjelasan
0 - 50	Baik	Hijau	Tingkat mutu udara yang sangat baik, tidak memberikan efek negatif terhadap manusia, hewan, dan tumbuhan.
51 - 100	Sedang	Biru	Tingkat mutu udara masih dapat diterima pada kesehatan manusia, hewan, dan tumbuhan.
101 - 200	Tidak Sehat	Kuning	Tingkat mutu udara yang bersifat merugikan pada manusia, hewan, dan tumbuhan.
201 - 300	Sangat Tidak Sehat	Merah	Tingkat mutu udara yang dapat meningkatkan resiko kesehatan pada sejumlah segmen populasi yang terpapar.
301+	Berbahaya	Hitam	Tingkat mutu udara yang dapat merugikan kesehatan serius pada populasi dan perlu penanganan cepat.

Tabel konversi dari nilai konsentrasi parameter ISPU dapat dilihat pada Tabel 2 [5]

Tabel 2 Konversi Nilai Konsentrasi Parameter ISPU

ISPU	24 Jam PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam SO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam CO ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam O ₃ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam NO ₂ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24 Jam HC ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
0-50	50	15,5	52	4000	120	80	45
51-100	150	55,4	180	8000	235	200	100
101-200	350	150,4	400	15000	400	1130	215
201-300	420	250,4	800	30000	800	2260	432
>300	500	500	1200	45000	1000	3000	648

Keterangan :

Data pengukuran selama 24 jam secara terus-menerus.

Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM2.5) disampaikan tiap jam selama 24 jam.

Hasil perhitungan ISPU parameter partikulat (PM10), sulfur dioksida(SO₂), karbon monoksida (CO), ozon (O₃), nitrogen dioksida (NO₂) dan hidrokarbon (HC), diambil nilai ISPU parameter tertinggi dan paling sedikit disampaikan setiap jam 09.00 dan jam 15.00

2.1.3 Air Quality Index (AQI)

Air Quality Index (AQI) adalah sistem indeks numerik yang dikembangkan oleh United States Environmental Protection Agency (US EPA) untuk menyampaikan informasi kepada publik mengenai tingkat kualitas udara dan potensi dampaknya terhadap kesehatan. AQI mengintegrasikan konsentrasi beberapa polutan utama menjadi satu nilai indeks yang mudah dipahami oleh masyarakat umum.

Parameter dan Kategori AQI dihitung berdasarkan konsentrasi lima polutan utama yang diatur oleh Clean Air Act, yaitu:

- Ozon permukaan (O₃)
- Partikulat halus (PM2.5)
- Partikulat kasar (PM10)
- Karbon monoksida (CO)
- Sulfur dioksida (SO₂)
- Nitrogen dioksida (NO₂)

Setiap polutan memiliki ambang batas konsentrasi yang ditetapkan, dan nilai AQI dihitung menggunakan rumus interpolasi linier berdasarkan konsentrasi tersebut. Nilai AQI kemudian diklasifikasikan ke dalam enam kategori, masing-masing dengan warna dan tingkat risiko kesehatan yang berbeda:

Tabel 3 Parameter AQI Dan Dampak Kesehatan

Nilai AQI	Kategori	Warna	Dampak Kesehatan
0–50	Baik	Hijau	Kualitas udara dianggap memuaskan, risiko minimal
51–100	Sedang	Kuning	Kualitas udara dapat diterima; beberapa polutan mungkin menimbulkan risiko kesehatan ringan bagi individu yang sangat sensitif
101–150	Tidak Sehat untuk Kelompok Sensitif	Oranye	Anggota kelompok sensitif mungkin mengalami efek kesehatan; masyarakat umum tidak mungkin terpengaruh
151–200	Tidak Sehat	Merah	Setiap orang dapat mulai mengalami efek kesehatan; anggota kelompok sensitif mungkin mengalami efek yang lebih serius
201–300	Sangat Tidak Sehat	Ungu	Peringatan kesehatan: semua orang dapat mengalami efek kesehatan yang lebih serius
301–500	Berbahaya	Maroon	Peringatan kondisi darurat kesehatan; seluruh populasi lebih mungkin terpengaruh

Perhitungan AQI melibatkan pengubahan nilai konsentrasi polutan menjadi nilai AQI dengan menggunakan aturan konversi yang tercantum pada Tabel 4 [2].

Tabel 4 Konversi Nilai Konsentrasi Parameter AQI

O ₃ (ppm) 8-jam	O ₃ (ppm) 1-jam	PM _{2.5} (µg/m ³) 24-jam	PM ₁₀ (µg/m ³) 24-jam	CO (ppm) 8-jam	SO ₂ (ppb) 1-jam	NO ₂ (ppb) 1-jam	AQI	Kategori
0.000 - 0.054	-	0.0 – 9.0	0 - 54	0.0 – 4.4	0 - 35	0 - 53	0 - 50	Baik
0.055 - 0.070	-	9.1 – 35.4	55 - 154	4.5 – 9.4	36 - 75	54 - 100	51 - 100	Sedang

O ₃ (ppm) 8-jam	O ₃ (ppm) 1-jam	PM _{2.5} ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24-jam	PM ₁₀ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) 24-jam	CO (ppm) 8-jam	SO ₂ (ppb) 1-jam	NO ₂ (ppb) 1-jam	AQI	Kategori
0.071 - 0.085	0.125 - 0.164	35.5 – 55.4	155 - 254	9.5 – 12.4	76 - 185	101 - 360	101 - 150	Tidak sehat untuk kelompok sensitif
0.086 - 0.105	0.165 - 0.204	55.5 – 125.4	255 - 354	12.5 – 15.4	186 - 304	361 - 649	151 - 200	Tidak sehat
0.106 - 0.200	0.205 - 0.404	125.5 – 225.4	355 - 424	15.5 – 30.4	305 - 604	650 - 1249	201 -300	Sangat tidak sehat
0.201+	0.405+	225.5+	425+	30.5+	605+	1250+	301+	Berbahaya

2.1.4 Rujukan Sistem

AirVisual Pro adalah salah satu perangkat monitor kualitas udara berbasis IoT yang dikembangkan oleh IQAir, perusahaan yang bergerak di bidang teknologi lingkungan. Alat ini dapat mengukur berbagai parameter polusi udara secara *real-time* dan menyajikan datanya melalui layar digital serta aplikasi berbasis web maupun *mobile* [6].



Gambar 2 *AirVisual Pro* [6]

Adapun fitur utama dari *AirVisual Pro* adalah sebagai berikut:

1. Sensor Multi-Pollutant

AirVisual Pro mampu mengukur partikel halus PM2.5, karbon dioksida (CO₂), suhu, dan kelembaban. Sensor PM2.5 yang dimilikinya dapat mendeteksi partikel mikroskopis yang berbahaya bagi kesehatan pernapasan [7].

2. Konektivitas dan Integrasi Data

Perangkat ini terhubung melalui Wi-Fi dan dapat mengunggah data secara otomatis ke cloud. Data dapat diakses melalui API yang disediakan oleh platform IQAir, memudahkan integrasi ke dalam sistem informasi atau aplikasi pihak ketiga [8].

3. Akurasi dan Kalibrasi

AirVisual Pro melakukan kalibrasi silang dan validasi data dengan stasiun pemantauan udara resmi terdekat. Data yang dikumpulkan dibandingkan dengan tren umum dari stasiun referensi untuk memastikan konsistensi dan keakuratan. Jika terdapat anomali, sistem akan mengidentifikasi dan menghapus data tersebut sebelum dipublikasikan, memastikan bahwa hanya data yang valid yang disajikan kepada pengguna [9].

4. Visualisasi Langsung

Layar LED pada perangkat dapat menampilkan AQI secara *real-time* dengan indikator warna sesuai standar internasional, memudahkan pengguna dalam membaca dan memahami kondisi udara secara cepat.

AirVisual Pro mampu mengukur beberapa indikator kualitas udara, yaitu:

1. PM2.5 (Particulate Matter 2.5)

Partikel halus dengan diameter ≤ 2.5 mikrometer. Sangat berbahaya karena dapat menembus jauh ke dalam paru-paru dan bahkan masuk ke aliran darah [7].

2. CO₂ (Karbondioksida)

Mengukur kadar karbon dioksida dalam ruangan, yang penting untuk menentukan sirkulasi udara dan kenyamanan pernapasan [8].

3. Suhu UdaraMemberikan informasi temperatur lingkungan sekitar dalam derajat Celsius atau Fahrenheit.

4. Kelembaban Relatif (Humidity)

Mengukur kadar kelembaban udara (%RH), yang memengaruhi kenyamanan dan kesehatan, serta tingkat penyebaran polutan.

5. AQI (Air Quality Index)

Menampilkan skor kualitas udara berdasarkan kombinasi parameter yang terukur, terutama PM2.5, dalam format numerik dan visual.

AirVisual Pro dilengkapi dengan fitur multi-sensor dan konektivitas terbuka, menjadikannya ideal sebagai sumber data utama dalam sistem pemantauan kualitas udara. Perangkat ini dapat diintegrasikan ke dalam aplikasi melalui API, memungkinkan pengambilan data secara *real-time* untuk disimpan di *backend* dan divisualisasikan di *frontend* [10].

2.1.5 *Backend Development*

Backend Development merupakan proses pengembangan bagian *server* dari sebuah aplikasi yang bertugas untuk menangani logika bisnis, penyimpanan data, dan komunikasi antar komponen sistem. *Backend* berbeda dari *frontend*, karena tidak langsung terlihat oleh pengguna, tetapi memiliki peran penting dalam mengelola dan menyediakan data serta layanan yang dibutuhkan oleh antarmuka pengguna [11].

Dalam pengembangan perangkat lunak modern, *Backend* umumnya terdiri dari *server*, basis data, dan API (*Application Programming Interface*). API menjadi jembatan antara *frontend* dan *Backend*, memungkinkan pertukaran data secara efisien. *Backend* juga menangani autentikasi pengguna, proses data *real-time*, hingga manajemen trafik data [12].

Komponen Utama *Backend Development* adalah sebagai berikut:

1. *Server*: Platform tempat kode *Backend* dijalankan. Bisa berbasis *cloud* seperti AWS, Google Cloud, atau *server* lokal.
2. *Database*: Penyimpanan terstruktur yang menampung data mentah dari sensor, seperti MongoDB (NoSQL) atau POSTgreSQL (relasional).
3. *Framework Backend*: Alat bantu untuk mempercepat pengembangan, seperti Express.js untuk Node.js, Laravel untuk PHP, atau Django untuk Python[13].
4. API: Antarmuka komunikasi yang digunakan *frontend* untuk mengambil dan menampilkan data dari *Backend*. RESTful API adalah salah satu standar yang paling umum digunakan[14].

Dalam aplikasi *monitoring* kualitas udara, *Backend* memiliki fungsi utama dalam mengelola data sensor, melakukan konversi nilai polutan menjadi AQI (*Air Quality Index*), menyimpan histori data, serta menyajikannya dalam bentuk API untuk ditampilkan di sisi *frontend*. *Backend* juga dapat menyediakan fitur seperti notifikasi peringatan kualitas udara yang buruk dan analisis tren polusi[15].

2.1.6 Testing

Pengujian perangkat lunak (*software Testing*) adalah proses penting dalam pengembangan sistem untuk memastikan bahwa perangkat lunak berjalan sesuai dengan kebutuhan dan bebas dari kesalahan (*bugs*). Tujuan utama pengujian adalah untuk mengevaluasi fungsionalitas, keandalan, performa, dan keamanan dari sistem yang dikembangkan [16].

Dalam pengembangan *Backend* dan integrasi sensor seperti *AirVisual Pro*, pengujian dapat dilakukan dengan berbagai metode. Dua pendekatan yang umum digunakan adalah *Black Box Testing*.

Black Box Testing adalah metode pengujian yang berfokus pada pengujian fungsionalitas perangkat lunak tanpa melihat struktur internal kode. Pengujii hanya berinteraksi melalui antarmuka dan mengevaluasi *output* berdasarkan *input* yang diberikan [17].

Karakteristik:

- Pengujian tidak perlu menGETahui kode sumber (*source code*).
- Fokus pada spesifikasi fungsional: apakah sistem bekerja sesuai yang diharapkan?
- Cocok untuk menguji API *endpoint*, *input-output* form, tampilan user interface, dan validasi sistem.

2.1.7 API

Application Programming Interface atau API adalah seperangkat protokol dan antarmuka yang memungkinkan satu aplikasi berinteraksi dengan aplikasi lainnya. API memungkinkan dua sistem perangkat lunak yang berbeda untuk saling bertukar data dan perintah secara terstruktur tanpa harus menGETahui bagaimana sistem internal masing-masing bekerja. Dalam praktiknya, API menjadi fondasi penting dalam pengembangan aplikasi modern, terutama dalam integrasi layanan dan sistem yang kompleks seperti cloud computing, layanan mikro (microservices), dan aplikasi *mobile* [18].

API digunakan karena mampu mempercepat pengembangan perangkat lunak, meningkatkan efisiensi kerja tim *developer*, serta memungkinkan adanya keterhubungan antar sistem yang heterogen. Sebagai contoh, dalam aplikasi pemantauan kualitas udara, API dapat digunakan untuk mengambil data dari sensor polusi, mengirimkannya ke *server backend*, dan menyajikannya ke antarmuka pengguna secara *real-time*. Pendekatan ini memungkinkan desain sistem yang modular, terdistribusi, dan mudah diperluas [19].

API umumnya digunakan ketika terdapat kebutuhan komunikasi antar komponen aplikasi yang berbeda, seperti antara *frontend* dan *backend*, atau antara *server* dengan layanan eksternal. Misalnya, saat *frontend* aplikasi ingin mengambil data historis dari *server*, maka permintaan dikirim melalui API, dan hasilnya dikembalikan dalam bentuk data JSON. Hal ini lazim terjadi dalam arsitektur RESTful, yang merupakan salah satu bentuk API paling populer [20].

Penggunaan API tidak terbatas hanya pada aplikasi web, namun juga meluas ke perangkat IoT, sistem enterprise seperti ERP dan CRM, bahkan perangkat pintar di

rumah. Para pengembang perangkat lunak, khususnya *backend developer*, merupakan pihak yang paling sering berinteraksi langsung dengan API, baik sebagai pengguna maupun penyedia. Mereka merancang *endpoint API*, mengatur autentikasi, serta memastikan keamanan dan efisiensi pertukaran data.

Cara kerja API didasarkan pada sistem *request* dan *response*: aplikasi klien mengirimkan permintaan (biasanya menggunakan protokol HTTP), dan *server* memberikan respons berupa data atau tindakan tertentu. Format data yang umum digunakan dalam komunikasi API adalah JSON dan XML. Di sisi lain, API juga sering dilengkapi dengan dokumentasi yang menjelaskan struktur data, metode yang tersedia, serta cara penggunaannya secara lengkap [19].

2.1.8 *Design Thinking*

Design Thinking adalah pendekatan sistematis untuk memecahkan masalah dengan berfokus pada pemahaman mendalam terhadap pengguna. Pendekatan ini menekankan proses iteratif, kolaboratif, dan berbasis empati, yang sangat cocok untuk pengembangan aplikasi berbasis kebutuhan nyata pengguna [21].

Metode ini terdiri dari lima tahapan utama yang saling terhubung, namun tidak harus dilakukan secara linear. Setiap tahap memiliki tujuan dan pendekatan yang berbeda:

1. Empathize

Tahap pertama bertujuan untuk memahami kebutuhan, perilaku, dan tantangan yang dihadapi pengguna melalui observasi langsung, wawancara, atau studi lapangan. Pada tahap ini, pengembang berusaha melihat masalah dari sudut pandang pengguna untuk menciptakan solusi yang benar-benar relevan.

2. Define

Hasil dari tahap empati dirangkum dan dianalisis untuk merumuskan *problem statement* atau pernyataan masalah yang jelas. Pernyataan ini akan menjadi dasar arah pengembangan solusi.

3. Ideate

Pada tahap ini, tim pengembang menghasilkan sebanyak mungkin ide solusi, tanpa memikirkan kelayakan teknis terlebih dahulu. Teknik yang umum digunakan adalah *brainstorming* atau SCAMPER. Tujuannya adalah mengeksplorasi berbagai kemungkinan.

4. Prototype

Ide-ide yang dipilih kemudian diwujudkan dalam bentuk *Prototype* bisa berupa sketsa, *mock-up*, atau sistem awal dengan fungsionalitas terbatas. *Prototyping* memungkinkan visualisasi cepat dan pengujian awal.

5. Test

Tahap terakhir adalah menguji *Prototype* kepada pengguna yang sebenarnya untuk mendapatkan umpan balik. Hasil pengujian ini digunakan untuk memperbaiki desain secara berulang (iterasi). Pengujian ini penting untuk memastikan bahwa solusi benar-benar efektif dan sesuai kebutuhan pengguna.

2.2 Penelitian Terdahulu

Berikut adalah beberapa penelitian terdahulu yang relevan dengan pengembangan aplikasi *monitoring* kualitas udara berbasis *mobile* dan *Backend* system, serta penerapan metode *Design Thinking* dalam pengembangan perangkat lunak.

Penelitian oleh Regina Rahardjo (2024) [22] menunjukkan penerapan metode *Design Thinking* dalam merancang infografis untuk menyampaikan informasi mengenai dampak polusi udara terhadap kesehatan. Melalui tahapan *Empathize* hingga *Test*, hasilnya membuktikan bahwa infografis yang dibuat mampu meningkatkan kesadaran masyarakat secara signifikan terhadap isu kualitas udara. Ini memperlihatkan bahwa komunikasi visual dapat menjadi alat edukasi yang efektif dalam isu lingkungan.

Penelitian oleh Caselles Nuñez dkk. (2022) [23] mengombinasikan pendekatan *Design Thinking* dengan integrasi sensor elektronik seperti CO, NO₂, O₃, PM2.5, PM10 untuk menciptakan perangkat pengukur kualitas udara *indoor* dan *outdoor*. Hasilnya, perangkat mampu menyediakan data *real-time* yang akurat, yang berguna

untuk meningkatkan kesadaran masyarakat dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data.

Penelitian oleh Hendi Budianto & Budi Sumanto (2024) [24] mengembangkan sistem *monitoring* dalam ruangan berbasis web menggunakan sensor DHT22 dan MQ135, serta NodeMCU sebagai *mikrokontroler*. Data ditampilkan secara *real-time* melalui web *interface* berbasis PHP & MySQL, menunjukkan efektivitas kombinasi perangkat keras dan lunak dalam pemantauan lingkungan mikro.

Penelitian oleh Raken Putra Athallah dkk. (2024) [25] fokus pada *backend* aplikasi IoT untuk *air purifier*, menggunakan RESTful API (Node.js) dan *Database* MongoDB. Hasil *load Test* memperlihatkan bahwa sistem mampu menangani hingga 100 *request/detik* tanpa *error*, menunjukkan kestabilan dan skalabilitas sistem untuk skenario penggunaan riil.

Putri Imas Agista dkk. (2020) [26] menganalisis data ISPU di lima kota DKI Jakarta selama lima tahun menggunakan metode deskriptif kuantitatif. Hasil analisis menunjukkan peningkatan polusi saat musim kemarau, dengan PM10 sebagai polutan dominan, memberi dasar penting dalam memahami pola pencemaran.

Penelitian dengan fokus pemantauan berbasis lokasi, Arief Budi Pratomo dkk. (2023) [27] menerapkan sensor IoT untuk memantau polusi udara di Jakarta serta mengaitkan hasilnya dengan dampak kesehatan, memperkuat urgensi sistem *monitoring real-time*.

Evy Kusumaningrum dkk. (2023) [28] memanfaatkan analisis spasial untuk mengamati kualitas udara di sekitar perlintasan kereta api. Sistem mendekripsi fluktuasi gas berbahaya akibat aktivitas transportasi, menyoroti pentingnya pemantauan berbasis lokasi spesifik.

Tabel 5 Penelitian Terdahulu

Peneliti	Objek Penelitian	Alat/Metode	Hasil
Regina Rahardjo (2024)[22]	Desain infografis dampak polusi udara terhadap kesehatan	<i>Design Thinking (Empathize, Define, Ideate, Prototype, Test)</i>	Infografis yang dirancang lebih efektif dalam menyampaikan pesan kepada masyarakat dan meningkatkan

Peneliti	Objek Penelitian	Alat/Metode	Hasil
			kesadaran terhadap kualitas udara dan dampaknya terhadap kesehatan
Caselles Nuñez, J.G.; Contreras Negrette, O.A.; dkk. (2022)[23]	Perangkat pengukur kualitas udara <i>indoor & outdoor</i>	<i>Design Thinking</i> + Sensor elektronik (CO, NO ₂ , O ₃ , PM2.5, PM10)	Perangkat mampu memberikan data <i>real-time</i> yang akurat, mendukung kesadaran lingkungan dan pengambilan keputusan berbasis data
Putri Imas Agista, Ninin Gusdini, Maya Dewi Dyah Maharani (2020) [26]	Analisis kualitas udara di lima kota administrasi DKI Jakarta menggunakan data ISPU	Metode deskriptif kuantitatif; data ISPU 5 tahun terakhir	Polusi udara meningkat pada musim kemarau; PM10 merupakan kontributor utama pencemaran.
Hendi Budianto; Budi Sumanto (2024) [24]	Sistem <i>monitoring</i> kualitas udara dalam ruangan berbasis web	Sensor DHT22, MQ135, dan NodeMCU; tampilan web berbasis PHP & MySQL	Sistem berhasil menampilkan data suhu, kelembaban, dan gas secara <i>real-time</i> melalui antarmuka web.
Raken Putra Athallah; Astri Novianty; Faisal Candrasyah Hasibuan (2024) [25]	<i>Backend</i> aplikasi IoT untuk kontrol dan <i>monitoring air purifier</i>	RESTful API dengan Node.js, <i>Database</i> MongoDB, dan pengujian load <i>Test</i>	<i>Backend</i> mampu menangani 100 <i>request</i> per detik tanpa <i>error</i> ; sistem stabil dalam skenario penggunaan harian.
Arief Budi Pratomo, Hanifah Nurul Muthmainah, dkk (2023) [27]	Pemantauan polusi udara di Jakarta	Sensor IoT, analisis data polusi, studi dampak kesehatan	IoT efektif memantau perubahan polusi udara secara <i>real-time</i> ; hasil digunakan untuk mitigasi dampak kesehatan
Evy Kusumaningrum; Heru Bagus Hermawan; Dedy Hariyadi, dkk (2023) [28]	Kualitas udara di perlintasan kereta api	Sensor MQ135, NodeMCU, IoT, analisis spasial	Sistem mampu mendeteksi fluktuasi gas berbahaya akibat lalu lintas dan kereta api.
Fariani, S. Sumarlin, dkk (2023) [29]	Pemantauan PM10 di lingkungan kampus	IoT berbasis ESP32, sensor PM10, <i>dashboard monitoring</i>	Sistem berhasil mengukur partikel PM10 dan menampilkan data ke <i>dashboard</i> dengan

Peneliti	Objek Penelitian	Alat/Metode	Hasil
			akurasi yang dapat diterima
Muhammad Fajar Laksana (2024) [30]	Kualitas udara di Student Corner UPT TIK Universitas Lampung	<i>AirVisual Pro</i> , <i>POST man</i> , On-Premises Data Gateway (Personal Mode), Microsoft Power BI	Aplikasi web <i>dashboard</i> kualitas udara yang digunakan untuk pengambilan keputusan
Cahaya Tidiazmara Dahana (2024) [31]	Kualitas udara dilingkungan Teknik Elektro Universitas Lampung	<i>AirVisual Pro</i> , On-Premises Data Gateway, Microsoft Power BI	Aplikasi <i>mobile dashboard</i> yang berfokus pada visualisasi data kualitas udara terkait beberapa polutan yang memengaruhi kesehatan

Berdasarkan tabel 5, Penelitian-penelitian terdahulu menunjukkan kecenderungan yang kuat terhadap pemanfaatan Internet of Things (IoT) dan visualisasi data dalam upaya memantau kualitas udara secara *real-time*. Beberapa penelitian menggunakan sensor spesifik seperti MQ135 dan PM10, sementara yang lain memanfaatkan perangkat komersial seperti *AirVisual Pro*. Sebagian besar sistem ini menyajikan data dalam bentuk *dashboard* untuk mempermudah pengguna dalam memahami kondisi udara di sekitarnya.

Penelitian oleh Pratomo et al. dan Kusumaningrum et al. lebih berfokus pada aspek *pengukuran dan akuisisi data*, dengan analisis yang diarahkan pada dampak pencemaran udara dan deteksi fluktuasi gas berbahaya. Sedangkan penelitian Fariani et al. telah melangkah lebih jauh dengan menampilkan hasil pengukuran secara visual menggunakan *dashboard* digital.

Pada penelitian oleh Muhammad Fajar Laksana (2024), sistem *monitoring* memanfaatkan *AirVisual Pro* untuk pengukuran kualitas udara dan Microsoft Power BI untuk menyajikan data dalam bentuk web *dashboard*. Fokusnya terletak pada pengolahan dan penyajian data secara visual guna mendukung pengambilan keputusan. Penelitian ini menonjol dari sisi integrasi alat siap pakai dengan

platform visualisasi modern, namun tidak mengembangkan sistem *backend* sendiri, melainkan lebih banyak mengandalkan tools bawaan dari Power BI.

Sedangkan penelitian oleh Cahaya Tidiazmara Dahana (2024) mengarah pada pengembangan aplikasi *mobile* berbasis visualisasi data yang juga menggunakan *AirVisual Pro* dan Power BI, namun ditujukan untuk perangkat seluler. Fokusnya berada pada aksesibilitas data kualitas udara secara praktis di lingkungan kampus, namun tidak membahas pengembangan sistem *backend* secara eksplisit, melainkan hanya sisi *frontend* dan koneksi ke alat.

Penelitian ini befokus mengembangkan struktur logika, API, dan manajemen data di sisi *server* secara mandiri, berbeda dengan penelitian Fajar dan Cahaya yang hanya menggunakan tools visualisasi bawaan. Penelitian ini menerapkan metode *Design Thinking* yang menekankan pada empati terhadap kebutuhan pengguna, iterasi desain, dan validasi dari solusi.

III. METODOLOGI PENELITIAN

1.1 Waktu & Tempat

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Komputer Jurusan Teknik Elektro fakultas Teknik Universitas Lampung, dimulai dari bulan Januari 2025 hingga bulan Mei 2025.

Tabel 6 Waktu Penelitian

No	Aktivitas	2025															
		Maret				April				Mei				Juni			
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1.	Studi Literatur																
2.	Tahap <i>Emphasize</i>																
3.	Tahap <i>Define</i>																
4.	Tahap <i>Ideate</i>																
5.	Tahap <i>Prototype</i>																
6.	Tahap <i>Development</i>																
7.	Tahap <i>Testing</i>																
8.	Analisis hasil penelitian																

1.2 Alat dan bahan

Dalam proses perancangan dan pengembangan sistem *Backend* pemantauan kualitas udara ini, digunakan beberapa perangkat keras dan perangkat lunak sebagai alat bantu, serta berbagai komponen pendukung sebagai bahan pengembangan sistem. Alat berfungsi sebagai sarana teknis yang menunjang pelaksanaan

penelitian, sedangkan bahan merupakan komponen utama dalam pembangunan aplikasi. Berikut adalah daftar alat dan bahan yang digunakan:

1.2.1 Alat

Dalam penelitian ini, alat yang digunakan terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu *hardware* (perangkat keras) dan *software* (perangkat lunak). Perangkat keras merujuk pada alat fisik yang digunakan untuk mengumpulkan data atau mendukung pengujian sistem. Perangkat lunak merupakan alat digital yang digunakan untuk merancang, mengembangkan, dan menguji sistem aplikasi. Alat yang digunakan dalam penelitian ini antara lain Tabel berikut menunjukkan alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini beserta fungsi dan spesifikasinya:

Tabel 7 Daftar Alat Penelitian

No	Perangkat	Spesifikasi	Kegunaan
1	Komputer (<i>hardware</i>)	12th Gen Intel(R) Core(TM) i7-12700 2.10 GHz 3.0GHz,memori 8 GB, penyimpanan 512 GB	Perangkat membuat aplikasi.
2	<i>Postman</i> (<i>software</i>)	Aplikasi desktop/API client untuk <i>Testing</i> RESTful API	Alat untuk melakukan pengujian terhadap API yang dikembangkan
3	VS Code (<i>software</i>)	VS Code Versi 1.99	Editor kode utama dalam pengembangan <i>Backend</i>
4	Node.js dan Express (<i>software</i>)	v22.14.0 (LTS)	<i>Platform</i> untuk menjalankan <i>backend</i> aplikasi dan membangun RESTful API
5	MongoDB (<i>software</i>)	MongoDB Versi 6.0	Sistem manajemen basis data untuk menyimpan data kualitas udara

Selain dari alat pada Tabel 7, karena penelitian ini merupakan kolaborasi dalam pengembangan sistem monitoring kualitas udara, maka diperlukan juga *frontend* dan sistem tertanam yang dikembangkan oleh tim untuk menguji funsionalitas dari *backend* dan API yang dibuat.

1.2.2 Bahan

Berikut adalah bahan yang digunakan dalam proses pengembangan sistem:

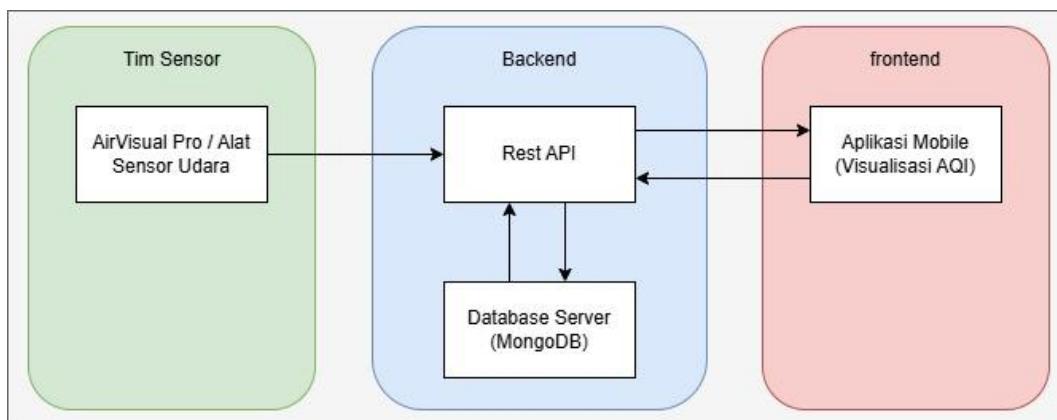
Tabel 8 Daftar Bahan Penelitian

No.	Nama Bahan	Deskripsi
1	Data kualitas udara	Data kualitas udara berdasarkan jumlah karbon dioksida di udara yang diambil dari alat <i>AirVisual Pro</i>

Bahan adalah segala sumber daya dan materi pendukung yang digunakan selama penelitian, baik dalam bentuk data, literatur, maupun layanan eksternal yang menunjang proses pengumpulan, pengolahan, dan penyajian data kualitas udara. Data kualitas udara terkait CO₂ (karbon dioksida) sangat penting sebagai bahan kajian untuk menilai tingkat pencemaran udara dan dampaknya terhadap lingkungan serta kesehatan manusia

1.3 Tahapan penelitian

Penelitian ini dilaksanakan melalui beberapa tahapan metode *Design Thinking*, yang berfokus pada pemahaman mendalam terhadap masalah, eksplorasi ide, serta iterasi untuk menemukan solusi yang tepat. Karena proyek ini dikerjakan secara tim, maka pembagian tugas dilakukan sebagai berikut:



Gambar 3 Diagram Arsitektur Sistem

Gambar 3 menampilkan diagram arsitektur sistem secara keseluruhan. Diagram arsitektur sistem adalah gambaran visual yang menunjukkan struktur dan hubungan antar komponen utama dalam sebuah sistem, seperti *frontend*, *backend*, *Database*,

dan perangkat keras. Diagram ini membantu memahami bagaimana data mengalir dan bagaimana tiap bagian saling berinteraksi dalam sistem yang dibangun.

Penelitian ini focus bertanggung jawab pada tahap rancang bangun *backend* aplikasi, meliputi desain API, pengelolaan *Database*, serta integrasi data sensor ke *server*. Anggota tim lain bertugas mengembangkan *frontend* aplikasi *mobile* dan menangani pengolahan data dari perangkat keras sensor.

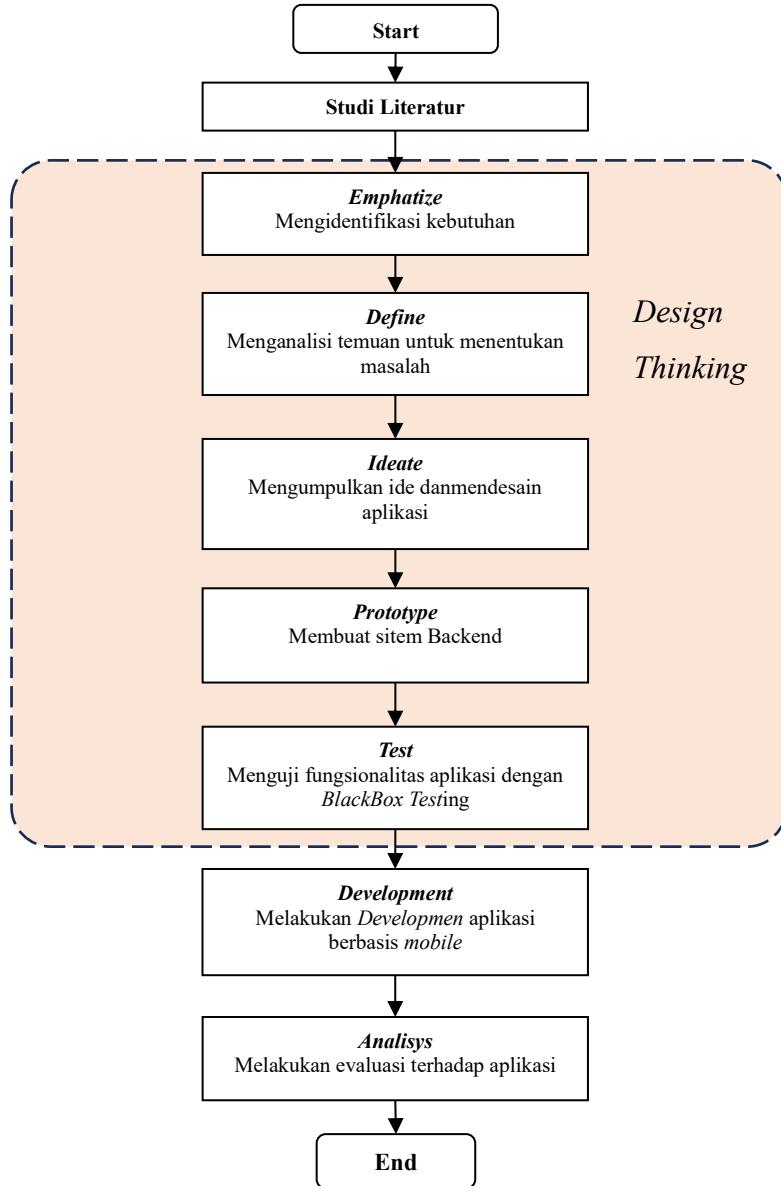
Tabel 9 Pembagian Tugas Penelitian

No	Tim	Fokus	Tugas Utama
1	Nama: Erik Prayoga Judul penelitian: “Rancang Bangun <i>Backend</i> Aplikasi <i>Mobile Monitoring</i> Kualitas Udara Dengan Metode <i>Design Thinking</i> ”	<i>Backend</i> (<i>Server & Database</i>)	Mendesain dan membangun API
			Mengelola <i>Database</i>
			Integrasi data alat ke <i>server</i> dan dari <i>server</i> ke <i>frontend</i>
2	Nama: Angga Arria Finalda Judul penelitian: “Rancang Bangun <i>Frontend</i> Aplikasi <i>Mobile Monitoring</i> Kualitas Udara Dengan Metode <i>Design Thinking</i> ”	<i>Frontend</i> (<i>Aplikasi Mobile</i>)	Mendesain UI/UX aplikasi
			Mengimplementasikan aplikasi <i>mobile</i>
			Membuat tampilan <i>dashboard monitoring</i> kualitas udara
3	Nama: Bambang Heryanto Judul penelitian: “ <i>Monitoring</i> kualitas udara dalam ruangan dengan sensor co2 berbasis non-dispersive infrared (ndir)”	Alat Sensor	Merancang alat menggunakan sensor dht (suhu dan kelembaban) dan sensor anu (CO ₂)
			Membangun program perekaman kualitas udara
			Mengirim data ke <i>Database</i> dengan menggunakan API

Tabel 9 menjelaskan pembagian tugas dalam tim penelitian yang terdiri dari tiga orang anggota. Masing-masing anggota memiliki fokus penelitian yang berbeda namun saling melengkapi dalam proses pengembangan sistem *monitoring* kualitas udara berbasis aplikasi *mobile*.

Penelitian ini berfokus pada pengembangan sisi backend, yang dikerjakan oleh Erik Prayoga. Tanggung jawab mencakup perancangan dan implementasi API, pengelolaan *Database*, serta integrasi data dari sensor ke *server*. Angga Arria Finalda menangani sisi *frontend*, termasuk perancangan antarmuka pengguna (UI/UX), pengembangan aplikasi *mobile*. Sementara itu, Bambang Heryanto merancang alat sensor dan membuat program perekaman yang mengirim langsung ke *Database* menggunakan API. Pembagian tugas ini dilakukan untuk meningkatkan efisiensi kerja dan memperjelas ruang lingkup masing-masing penelitian, namun tetap dilakukan dalam koordinasi yang terintegrasi untuk mencapai tujuan sistem secara keseluruhan.

Adapun tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini dirpresentasikan melalui bagan alir berikut:



Gambar 4 Flowchart Tahapan Penelitian

1. *Empathize*

Tahap pertama adalah *Empathize*, yang bertujuan untuk memahami kebutuhan pengguna secara mendalam dan mengidentifikasi masalah terkait dengan kualitas udara. Di tahap ini, dilakukan identifikasi kebutuhan dengan menggunakan kuesioner yang diberikan kepada mahasiswa teknik elektro yang telah menggunakan ruang kelas di JTE. Tujuan dari penggunaan kuesioner ini adalah untuk mengevaluasi dampak yang dirasakan oleh para mahasiswa akibat kualitas udara dalam ruangan tersebut. Berikut adalah pertanyaan yang digunakan dalam tahap *Emphatize*.

Tabel 10 Kuesioner *Emphatize*

No	Pertanyaan	Skor
1	Nama	Teks jawaban singkat
2	NPM	Teks jawaban singkat
3	Seberapa sering Anda menghabiskan waktu di dalam gedung Jurusan Teknik Elektro (per hari)?	Pilihan ganda (Kurang dari 2 jam, 2-4 jam, 4-6 jam, Lebih dari 6 jam)
4	Bagaimana Anda menilai kualitas udara di dalam gedung jurusan Teknik Elektro?	Skala Likert (1-5)
5	Apakah Anda pernah merasakan ketidaknyamanan (seperti batuk, sesak napas, sakit kepala, iritasi mata) yang mungkin disebabkan oleh kualitas udara di dalam gedung?	Pilihan ganda (Ya, Tidak)
6	Jika ya, sebutkan ketidaknyamanan yang Anda rasakan!	Narasi (Opsional)

2. Define

Pada tahap ini, berdasarkan hasil empati yang didapat, masalah yang lebih jelas dan terfokus akan didefinisikan. Pengguna utama dari aplikasi *mobile monitoring* kualitas udara ini adalah masyarakat umum yang membutuhkan informasi *real-time* mengenai kondisi udara di sekitar mereka. Fokus utama adalah memastikan data yang diberikan akurat, mudah diakses, dan informatif.

3. Ideate

Pada tahap *Ideate*, berbagai solusi atau ide untuk sistem *Backend* aplikasi akan dieksplorasi. Di sini, berbagai teknik kreatif seperti brainstorming dan mind mapping akan digunakan untuk merancang konsep sistem yang dapat memenuhi kebutuhan pengguna. Beberapa ide yang akan dieksplorasi mencakup pengembangan API yang efisien dan pemilihan basis data yang tepat untuk penyimpanan data kualitas udara secara *real-time*.

4. *Prototype*

Setelah ide-ide terkumpul, tahap *Prototype* dilakukan dengan membuat prototipe sistem *Backend* menggunakan Node.js dan Express.js untuk API, serta MySQL untuk basis data. Prototipe ini berfungsi untuk menguji asumsi dan solusi yang telah dirancang. Dalam tahap ini, juga dilakukan pembuatan antarmuka API untuk pengambilan data kualitas udara dari perangkat *AirVisual Pro*.

5. *Test*

Pada tahap *Test*, prototipe yang telah dibuat diuji dengan melibatkan pengguna atau pihak terkait untuk mendapatkan umpan balik. Pengujian dilakukan dengan menggunakan metode *Black-box Testing* untuk mengevaluasi fungsionalitas sistem. Hasil dari pengujian ini akan digunakan untuk melakukan iterasi dan penyempurnaan pada prototipe.

6. *Development*

Setelah sistem *Backend* dinyatakan berfungsi dengan baik melalui tahap pengujian, dilakukan proses *Development* ke *server* atau platform produksi. Tahap ini mencakup konfigurasi *server*, pengunggahan API *Backend*, pengelolaan environment variables, serta pengujian konektivitas dengan aplikasi *mobile* secara langsung.

7. Evaluasi

Tahap akhir dilakukan dengan mengevaluasi performa sistem *Backend* pasca-*Development*. Evaluasi mencakup respons API, kestabilan *server*, serta integrasi dengan aplikasi *frontend/mobile*. Umpan balik dari pengguna dan stakeholder akan digunakan sebagai dasar untuk iterasi dan perbaikan sistem secara berkelanjutan.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan mengenai perancangan dan pengembangan sistem *backend* aplikasi pemantauan kualitas udara berbasis metode *Design Thinking*, dapat disimpulkan hal-hal sebagai berikut:

1. Sistem *backend* berhasil dikembangkan menggunakan Node.js, Express.js, dan MongoDB. Sistem ini mampu menangani penyimpanan dan pengambilan data kualitas udara dari sensor melalui beberapa *endpoint API*, antara lain *endpoint GET /api/airquality/latest*, *GET https://api.airvisual.com/v2/city*, *POST /api/airquality/*, *GET /api/airquality/history*
2. Pengujian terhadap *endpoint API* menunjukkan bahwa sistem dapat menerima dan mengelola data kualitas udara sesuai dengan skenario yang dirancang, baik untuk data *real-time* maupun *historis*. Data yang tersimpan mencakup parameter penting seperti PM1.0, PM2.5, PM10, suhu, kelembaban, CO₂, dan AQI.
3. Sistem *backend* yang telah dirancang dapat diintegrasikan dengan baik ke aplikasi *mobile (frontend)* melalui REST API yang tersedia. *Endpoint* yang disediakan memungkinkan aplikasi frontend menampilkan data kualitas udara secara *real-time*. Hal ini membuktikan bahwa *backend* mampu menjadi jembatan yang efektif antara sensor dan antarmuka pengguna, sehingga informasi dapat diakses dengan mudah dan cepat melalui perangkat *mobile*.

5.2 Saran

Sebagai tindak lanjut dari hasil penelitian yang telah dilaksanakan, penulis menyampaikan beberapa saran yang diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan dan penyempurnaan sistem pada tahap selanjutnya. Berikut Saran-saran yang disusun guna meningkatkan nilai fungsional, keamanan, serta jangkauan pemanfaatan sistem secara lebih optimal.:

1. Disarankan untuk menambahkan fitur analisis data seperti visualisasi tren kualitas udara, deteksi anomali, atau prediksi kondisi udara menggunakan algoritma machine learning. Fitur ini akan meningkatkan *value* dari sistem karena tidak hanya menyajikan data mentah, tetapi juga memberikan wawasan yang lebih bermakna bagi pengguna dalam mengambil keputusan.
2. Sistem *backend* sebaiknya dikembangkan lebih lanjut dengan mekanisme keamanan seperti otentikasi pengguna, pembatasan akses API, serta enkripsi data. Keamanan sangat penting untuk menjaga integritas dan kerahasiaan data, terutama jika sistem ini digunakan secara luas atau terhubung dengan data sensitif dari institusi atau publik.
3. Pengembangan lebih lanjut yang disarankan agar sistem *backend* dilengkapi dengan fitur notifikasi berbasis ambang batas kualitas udara (misalnya AQI > 150), sehingga pengguna dapat segera memperoleh peringatan apabila kondisi udara berada pada level yang tidak sehat. Fitur ini dapat meningkatkan kesadaran pengguna dan mendukung tindakan pencegahan dini terhadap risiko kesehatan akibat polusi udara.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] AirVisual, “Air pollution.” Diakses: 30 April 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.who.int/health-topics/air-pollution>
- [2] AirVisual, “2024 World Air Quality Report | IQAir.” Diakses: 30 April 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.iqair.com/world-air-quality-report>
- [3] R. Muttaqin, W. S. W. Prayitno, N. E. Setyaningsih, dan U. Nurbaiti, “Rancang Bangun Sistem Pemantauan Kualitas Udara Berbasis Iot (Internet Of Things) dengan Sensor DHT11 dan Sensor MQ135,” 2024.
- [4] D. A. Norman, The Design of Everyday Things. dalam The MIT Press. MIT Press, 2013. [Daring]. Tersedia pada: <https://books.google.co.id/books?id=heCtnQEACAAJ>
- [5] D. Chaniago, A. Zahara, dan I. Suci Ramadhani, “Peraturan Menteri Lingkungan Hidup dan Kehutanan nomor 14 tahun 2020 tentang Indeks Standar Pencemar Udara,” Portal Direktorat Pengendalian Pencemaran Udara Ditjen PPKL KLHK. Diakses: 5 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://ditppu.menlhk.go.id/portal/read/indeks-standar-pencemar-udara-ispu-sebagai-informasi-mutu-udara-ambien-di-indonesia>
- [6] AirVisual, “IQAir | Yang Pertama dalam Kualitas Udara.” Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.iqair.com/id/>
- [7] I. Taufik dan A. Christensen, “Internet of Things (IoT) Based Air Pollution Detector for Baby Rooms,” 2025.
- [8] AirVisual, “AirVisual API,” AirVisual API. Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://api-docs.iqair.com>

- [9] AirVisual, “Teknologi apa yang berkontribusi untuk membuat sensor AirVisual menjadi yang paling akurat di antara monitor berbiaya rendah? | Pusat Dukungan AirVisual.” Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <http://support.iqair.com/id/articles/3562521-teknologi-apa-yang-berkontribusi-untuk-membuat-sensor-airvisual-menjadi-yang-paling-akurat-di-antara-monitor-berbiaya-rendah>
- [10] H. Assistant, “AirVisual Cloud,” Home Assistant. Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.home-assistant.io/integrations/airvisual/>
- [11] GeeksforGeeks, “Backend Development,” GeeksforGeeks. Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.geeksforgeeks.org/backend-development/>
- [12] Azura Team, “Best Practices dalam Backend Development : Memahami Framework, Konsep dan Tantangannya,” Azura Labs. Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://azuralabs.id/blog-programming/best-practices-dalam-backend-development>
- [13] M. A. Ramdhan, “Implementasi Back-End Sistem Otomasi Pendataan Mahasiswa Pada Food Truck Undip Menggunakan Framework Express.js,” J. Tek. Komput., vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Mei 2023, doi: 10.14710/jtk.v2i2.38527.
- [14] Hasanuddin, H. Asgar, dan B. Hartono, “Rancang Bangun REST API Aplikasi Weshare Sebagai Upaya Mempermudah Pelayanan Donasi Kemanusiaan,” J. Inform. Teknol. Dan Sains, vol. 4, no. 1, hlm. 8–14, Feb 2022, doi: 10.51401/jinteks.v4i1.1474.
- [15] E. U. Oyo-Ita, U. J. Ekah, P. Ana, dan I. O. Ewona, “Development of a Smart Air Quality Monitoring System Using Wireless Sensors.” Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/publication/374001722_Development_of_a_Smart_Air_Quality_Monitoring_System_Using_Wireless_Sensors

- [16] D. A. Y. Putri, N. C. Wibowo, dan P. K. F. Ananto, “Implementasi Pengujian Blackbox Menggunakan Automation Testing Tools Pada Website Monitoring Balita,” vol. 9, no. 3, 2025.
- [17] B. Beizer, Black-box testing: techniques for functional testing of software and systems. USA: John Wiley & Sons, Inc., 1995.
- [18] L. Gupta, “What is REST?,” REST API Tutorial. Diakses: 6 Mei 2025. [Daring]. Tersedia pada: <https://restfulapi.net/>
- [19] J. Geewax, API Design Patterns, 1st edition. Erscheinungsort nicht ermittelbar: Manning Publications, 2021.
- [20] L. Richardson, M. Amundsen, dan S. Ruby, RESTful Web APIs: Services for a Changing World, 1st edition. Beijing Cambridge Farnham Köln Sebastopol Tokyo: O'Reilly Media, 2013.
- [21] A. Oktavia, “Design thinking dalam penelitian epistemologi perpustakaan dan sains informasi,” vol. 45, no. 2, 2024.
- [22] R. Rahardjo, “Analisis Desain Infografis Mengenai Dampak Polusi Udara Di Indonesia Dari Sudut Pandang Publik,” Tuturupa, vol. 6, no. 2, hlm. 86–90, Apr 2024, doi: 10.24167/tuturupa.v6i2.11289.
- [23] J. G. Caselles Nuñez, O. A. Contreras Negrette, K. de Jesús Beleño Sáenz, dan C. G. Díaz Sáenz, “Design and Implementation of an Indoor and Outdoor Air Quality Measurement Device for the Detection and Monitoring of Gases with Hazardous Health Effects,” Eng. Proc., vol. 83, no. 1, Art. no. 1, 2025, doi: 10.3390/engproc2025083013.
- [24] H. Budianto dan B. Sumanto, “Perancangan Sistem Monitoring Kualitas Udara dalam Ruangan Berbasis Internet of Things,” J. List. Instrumentasi Dan Elektron. Terap., vol. 5, no. 1, hlm. 9, Apr 2024, doi: 10.22146/juliet.v5i1.87423.
- [25] R. P. Athallah, A. Novianty, dan F. C. Hasibuan, “Pengembangan Backend Untuk Aplikasi Monitoring dan Kontrol Air Purifier Berbasis IoT dan Sistem Cerdas”.

- [26] P. Agista, N. Gusdini, dan M. Maharani, “Analisis Kualitas Udara Dengan Indeks Standar Pencemar Udara (Ispu) Dan Sebaran Kadar Polutannya Di Provinsi Dki Jakarta,” *Sustain. Environ. Optim. Ind. J.*, vol. 2, no. 2, hlm. 39–57, Sep 2020, doi: 10.36441/seoi.v2i2.491.
- [27] A. B. Pratomo, H. N. Muthmainah, N. Kristiono, dan G. C. Setyawan, “Implementation of Internet of Things (IoT) Technology in Air Pollution Monitoring in Jakarta: Quantitative Analysis of the Influence of Air Quality Change and Its Impact on Public Health in Jakarta,” *West Sci. Nat. Technol.*, vol. 1, no. 01, Art. no. 01, Sep 2023, doi: 10.58812/wsnt.v1i01.225.
- [28] E. Kusumaningrum, H. B. Hermawan, Sumarsono, dan D. Hariyadi, “Analisis kualitas udara menggunakan internet of things di pintu perlintasan kereta api,” *J. CoSciTech Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 4, no. 3, Art. no. 3, Des 2023, doi: 10.37859/coscitech.v4i3.6219.
- [29] Fariani, Husein, L. Hasanudin, dan L. Sukariasih, “Rancang Bangun Sistem Pemantau/Monitoring Kualitas Udara PM10 Berbasis IoT (Internet of Things),” *Resist. J. Pendidik. Vokasional Tek.*, vol. 1, no. 2, Art. no. 2, Nov 2023, doi: 10.36709/resistor.v1i2.21.
- [30] M. F. Laksana, “Rancang Bangun Dashboard Visualisasi Data Kualitas Udara Sebagai Penunjang Keputusan Untuk Kebijakan Lingkungan Dalam Organisasi,” Bachelor’s thesis, Universitas Lampung, 2024.
- [31] C. Tidiazmara Dahana, “Sistem Informasi Pendukung Keputusan Berdasarkan Dashboard Untuk Monitoring Kualitas Udara Dalam Ruang Berbasis *Mobile*,” Bachelor’s thesis, Universitas Lampung, 2024.