

RANCANG BANGUN WEB-GIS UNTUK MONITORING JARINGAN ARG DAN AWS DENGAN INTEGRASI PROTOKOL MQTT DAN HTTP DI DKI JAKARTA

Dwi Agustian^{1*}, Muchammad Rizqy Nugraha², Nardi³, Anton Widodo⁴, Marzuki Sinambela⁵, Dyah Prihartini Djenal⁶

^{1,2,3,4,5}Program Studi Instrumentasi Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika, Sekolah Tinggi Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Meteorologi No. 5, Tangerang, Banten 15119.

⁶Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, Jl. Angkasa I, No.2 Kemayoran, Jakarta Pusat 10720.

Keywords:

Web-GIS, Sistem Monitoring, *Real-Time*, MQTT, HTTP.

Correspondent Email:

dwiagustian2003@gmail.com

Abstrak. Provinsi DKI Jakarta memiliki tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana hidrometeorologi sehingga membutuhkan sistem pemantauan data *Automatic Rain Gauge* (ARG) dan *Automatic Weather Station* (AWS) dengan pembaruan yang cepat dan konsisten. Pada sistem sebelumnya, sebagian akuisisi data masih menggunakan *File Transfer Protocol* (FTP) dengan interval sekitar 10 menit. Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem monitoring Web-GIS yang menggantikan mekanisme FTP tersebut melalui integrasi *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) dan *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). Data MQTT diterima secara *event-driven*, sedangkan data HTTP diambil secara periodik; keduanya dinormalisasi melalui Node-RED, disimpan pada MySQL, diproses melalui backend Laravel, dan divisualisasikan menggunakan Leaflet.js. Sistem dikembangkan dengan model Prototyping dan dievaluasi pada lingkungan pengembangan melalui pengujian *black-box* serta pengujian konsistensi pembaruan data. Seluruh 14 skenario fungsional berhasil dijalankan. Pengujian selama 24 jam terhadap 15 stasiun menghasilkan 21.476 interval dengan rata-rata 60,30 detik dan simpangan baku 5,22 detik. Sebanyak 99,16% interval berada dalam rentang toleransi operasional 56-65 detik, meskipun masih ditemukan 96 gap dan 52 data duplikat. Hasil tersebut menunjukkan bahwa integrasi MQTT-HTTP mampu menyediakan pembaruan sekitar satu menit dengan konsistensi tinggi, serta meningkatkan resolusi temporal berdasarkan perbandingan interval konfigurasi terhadap FTP sebelumnya, bukan berdasarkan pengujian performa langsung antarmekanisme.

Abstract. Jakarta Province has high vulnerability to hydrometeorological disasters, requiring rapid and consistent monitoring of *Automatic Rain Gauge* (ARG) and *Automatic Weather Station* (AWS) data. In the previous system, part of the data acquisition relied on *File Transfer Protocol* (FTP) with an interval of approximately 10 minutes. This study designs, implements, and evaluates a Web-GIS monitoring system that replaces the FTP mechanism through integration of *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) and *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). MQTT data are received via an *event-driven* mechanism, while HTTP data are retrieved periodically; both are normalized through Node-RED, stored in MySQL, processed via a Laravel backend, and visualized using Leaflet.js. The system was developed using the Prototyping model and evaluated in a development environment through *black-box* testing and data update consistency testing. All 14 functional scenarios were successfully executed. A 24-hour test on 15 stations produced 21,476 intervals, averaging 60.30 seconds with a standard deviation of 5.22



Copyright © 2026 The Author(s), Published by Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (CC BY-NC 4.0).

seconds. About 99.16% of intervals fell within the 56-65-second tolerance range, although 96 gaps and 52 duplicate records were found. These results indicate high-consistency, near one-minute updates, with temporal resolution improved through configuration-based comparison against the previous FTP interval rather than direct performance testing between protocols.

1. PENDAHULUAN

Provinsi DKI Jakarta merupakan wilayah dengan tingkat kerentanan tinggi terhadap bencana hidrometeorologi, khususnya banjir, genangan, dan cuaca ekstrem, sebagai konsekuensi dari kepadatan penduduk, kompleksitas sistem drainase perkotaan, serta pengaruh perubahan iklim [1]. Dalam mendukung kegiatan monitoring dan mitigasi bencana, ketersediaan data curah hujan dan parameter cuaca yang akurat, kontinu, dan dapat diperoleh dengan interval pembaruan yang rapat menjadi kebutuhan penting. Data tersebut dapat digunakan sebagai dasar pemantauan kondisi cuaca, sistem peringatan dini, dan pengambilan keputusan operasional [2].

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mengoperasikan jaringan *Automatic Rain Gauge* (ARG) dan *Automatic Weather Station* (AWS) untuk melakukan pengamatan curah hujan dan parameter cuaca secara otomatis [3]. Pada sistem sebelumnya, sebagian data stasiun masih dikirim menggunakan *File Transfer Protocol* (FTP) dengan interval sekitar 10 menit. Mekanisme tersebut belum memadai untuk kebutuhan monitoring yang memerlukan pembaruan data mendekati satu menit. Penggunaan protokol berbasis *Internet of Things* (IoT) dapat menjadi alternatif untuk meningkatkan efisiensi dan kerapatan interval transmisi data pada sistem pengamatan cuaca otomatis [4].

Dalam penelitian ini, mekanisme akuisisi berbasis FTP pada sebagian stasiun digantikan dengan integrasi *Message Queuing Telemetry Transport* (MQTT) dan *Hypertext Transfer Protocol* (HTTP). Data dari stasiun yang telah terhubung dengan infrastruktur MQTT diterima secara *event-driven*, sedangkan data dari stasiun lainnya diperoleh secara periodik melalui berkas log yang tersedia pada server menggunakan HTTP. Perbedaan mekanisme tersebut memerlukan arsitektur yang mampu menyeragamkan data dari kedua jalur sebelum

disimpan dan disajikan dalam satu sistem monitoring.

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan sistem monitoring meteorologi berbasis web dan IoT untuk mendukung akuisisi, penyimpanan, dan visualisasi data secara otomatis [3], [5], [6], [7]. Pada penelitian yang ditinjau, umumnya digunakan satu jalur akuisisi data, dan belum ditemukan evaluasi yang secara khusus mengukur konsistensi pembaruan hasil integrasi jalur akuisisi yang bersifat *event-driven* dan periodik dalam satu pipeline data yang seragam. Kesenjangan tersebut menjadi dasar pengembangan arsitektur monitoring yang mengintegrasikan MQTT dan HTTP pada jaringan ARG dan AWS dalam penelitian ini.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan Web-GIS yang mengintegrasikan jalur akuisisi MQTT dan HTTP melalui *middleware* Node-RED. Data dari kedua jalur dinormalisasi sebelum disimpan dalam satu struktur basis data MySQL, kemudian diakses melalui *backend* Laravel dan disajikan menggunakan antarmuka Web-GIS berbasis Leaflet.js. Kontribusi penelitian ini bersifat implementatif dan kontekstual, meliputi: (1) penerapan arsitektur akuisisi heterogen MQTT-HTTP pada jaringan pengamatan ARG dan AWS; (2) normalisasi data dari dua mekanisme akuisisi yang berbeda ke dalam struktur penyimpanan yang seragam; dan (3) evaluasi kuantitatif terhadap konsistensi interval pembaruan secara agregat dan per stasiun, termasuk identifikasi *gap* dan duplikasi data.

Penelitian ini bertujuan merancang, mengimplementasikan, dan mengevaluasi sistem pemantauan Web-GIS untuk jaringan ARG dan AWS di wilayah DKI Jakarta. Evaluasi dilakukan melalui pengujian fungsional menggunakan pendekatan *black-box testing* dan pengujian konsistensi pembaruan data dengan target interval sekitar satu menit. Evaluasi tersebut digunakan untuk menilai kemampuan arsitektur MQTT-HTTP dalam

menyediakan interval pembaruan yang lebih rapat dibandingkan konfigurasi FTP sebelumnya. Perbandingan ini didasarkan pada interval konfigurasi dan tidak dimaksudkan sebagai pengujian performa langsung antara kedua mekanisme akuisisi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Sistem Monitoring Cuaca Otomatis Berbasis IoT dan Web-GIS

Pemanfaatan *Internet of Things* (IoT) pada sistem pengamatan cuaca memungkinkan data dari perangkat lapangan dikirimkan dan diolah secara otomatis. Integrasi perangkat pengamatan, basis data, dan aplikasi berbasis web dapat mendukung penyajian informasi meteorologi secara terpusat serta mengurangi ketergantungan pada proses pencatatan manual.

Sugiarto dkk. [5] mengembangkan stasiun cuaca maritim otomatis berbasis *webserver* dengan antarmuka peta interaktif untuk menampilkan data pengamatan; penelitian tersebut berkontribusi pada penyajian data spasial melalui antarmuka web, tetapi menggunakan satu jalur akuisisi data dan tidak membahas konsistensi interval pembaruan. Pada sisi komunikasi dan pengolahan data, Nugroho dkk. [3] mengembangkan sistem monitoring curah hujan menggunakan MQTT, Node-RED, MySQL, dan Grafana untuk menyajikan data secara *real-time*; sistem tersebut menunjukkan kelayakan MQTT dan Node-RED untuk akuisisi data cuaca, namun berfokus pada satu jalur komunikasi tanpa evaluasi kuantitatif terhadap keteraturan interval pembaruan. Penerapan serupa dilakukan oleh Darmawan [7], serta Fikhri dan Nurdin [6], yang masing-masing mengintegrasikan MQTT dan Node-RED untuk meneruskan data sensor ke antarmuka monitoring berbasis web; kedua penelitian tersebut menunjukkan penerapan MQTT-Node-RED yang berhasil, tetapi juga tidak menyertakan pengukuran konsistensi pembaruan data maupun identifikasi gap dan duplikasi.

Penelitian-penelitian tersebut secara umum menunjukkan bahwa integrasi perangkat pengamatan, basis data, dan antarmuka berbasis web dapat meningkatkan kemudahan akses terhadap data meteorologi. Meskipun demikian, seluruh penelitian yang ditinjau menggunakan satu jalur akuisisi data (MQTT atau HTTP saja)

dan belum membahas penggabungan dua mekanisme akuisisi yang berbeda ke dalam satu *pipeline*, maupun evaluasi kuantitatif terhadap keteraturan pembaruan data yang dihasilkan.

2.2. Protokol Komunikasi Data pada Sistem Monitoring Real-Time

Message Queuing Telemetry Transport (MQTT) merupakan protokol komunikasi ringan yang bekerja menggunakan model *publish-subscribe* [8]. Pada mekanisme ini, perangkat sebagai *publisher* mengirimkan pesan berdasarkan topik tertentu menuju broker, sedangkan aplikasi sebagai *subscriber* menerima pesan dari topik yang diikuti. Pemisahan antara pengirim dan penerima memungkinkan proses komunikasi berlangsung secara *event-driven*, sehingga data dapat diterima ketika perangkat memublikasikan hasil pengamatan baru. Karakteristik tersebut menjadikan MQTT sesuai digunakan pada sistem *Internet of Things* yang memerlukan pertukaran data dengan interval rapat dan penggunaan sumber daya komunikasi yang relatif rendah [8], [9].

Hypertext Transfer Protocol (HTTP) bekerja melalui mekanisme *request-response*, yaitu klien mengirimkan permintaan kepada *server* dan menerima respons berdasarkan sumber daya yang diminta [10]. Dalam sistem monitoring, HTTP dapat digunakan untuk memperoleh data yang tersedia melalui layanan web, API, maupun berkas pada *server*. Mekanisme ini relatif mudah diintegrasikan dengan aplikasi dan basis data, sedangkan keberhasilan atau kegagalan permintaan dapat diketahui melalui kode status respons [11], [12].

MQTT dan HTTP memiliki pola akuisisi yang berbeda. Data MQTT diterima berdasarkan kedatangan pesan, sedangkan data HTTP diperoleh melalui permintaan yang dijalankan secara periodik. Perbedaan pola tersebut dapat menghasilkan struktur *payload* dan waktu pemrosesan yang tidak seragam. Oleh karena itu, diperlukan *middleware* yang mampu melakukan penguraian, transformasi, dan normalisasi data sebelum diteruskan ke basis data. Node-RED merupakan platform berbasis *flow-based programming* yang dapat digunakan untuk menghubungkan protokol komunikasi, perangkat, serta sistem penyimpanan melalui alur pemrosesan yang dapat dikonfigurasi [13].

Berdasarkan karakteristik tersebut, MQTT mendukung penerimaan data secara reaktif, sedangkan HTTP memberikan mekanisme alternatif untuk mengakses sumber data yang belum terhubung dengan broker MQTT. Integrasi keduanya memerlukan penyeragaman struktur data agar lapisan penyimpanan dan aplikasi dapat memproses data tanpa bergantung pada protokol asalnya.

2.3. Web-GIS sebagai Antarmuka Monitoring

Web Geographic Information System (Web-GIS) merupakan penerapan sistem informasi geografis melalui teknologi web untuk menyajikan data spasial secara interaktif [14]. Dalam sistem monitoring jaringan pengamatan, Web-GIS dapat digunakan untuk menampilkan lokasi stasiun berdasarkan koordinat geografis dan menghubungkan setiap lokasi dengan informasi hasil pengamatan maupun kondisi operasionalnya [15].

Leaflet.js merupakan salah satu pustaka JavaScript yang dapat digunakan dalam pengembangan Web-GIS. Aini dan Pribadi [16] menerapkan Leaflet.js untuk menampilkan persebaran objek geografis melalui peta berbasis web. Pustaka ini mendukung penyajian *marker*, *popup*, dan lapisan peta yang dapat digunakan untuk membedakan informasi berdasarkan kategori atau kondisi tertentu.

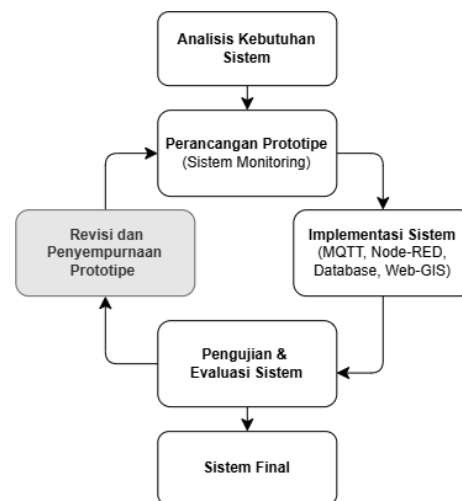
Berdasarkan karakteristik tersebut, Web-GIS dapat mendukung penyajian data monitoring secara spasial sehingga pengguna tidak hanya memperoleh informasi parameter, tetapi juga dapat mengetahui lokasi dan kondisi setiap stasiun melalui satu antarmuka peta interaktif.

3. METODE PENELITIAN

3.1. Metode Pengembangan Sistem

Pengembangan sistem monitoring dilakukan menggunakan model *Prototyping*, yaitu pendekatan pengembangan perangkat lunak yang diawali dengan pembuatan prototipe untuk merepresentasikan fungsi utama sistem sebelum diterapkan dalam bentuk akhir [17]. Model ini dipilih karena sistem mengintegrasikan dua jalur akuisisi data dengan format dan mekanisme yang berbeda, yaitu MQTT yang bekerja secara *event-driven* dan HTTP yang bekerja secara periodik, sehingga diperlukan penyesuaian bertahap pada proses

penerimaan, penguraian, penyimpanan, dan penyajian data.



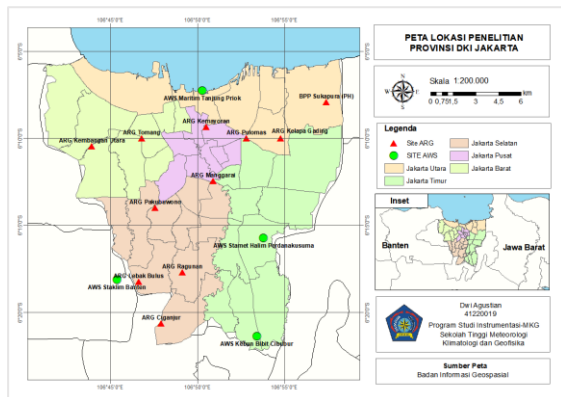
Gambar 1. Metode Pengembangan Sistem

Tahapan pengembangan diawali dengan identifikasi kebutuhan fungsional sistem, meliputi akuisisi data MQTT dan HTTP, normalisasi data melalui Node-RED, penyimpanan pada basis data MySQL, serta penyajian data melalui antarmuka Web-GIS. Berdasarkan kebutuhan tersebut, prototipe awal dibangun dan dievaluasi pada lingkungan pengembangan. Hasil evaluasi digunakan untuk melakukan penyempurnaan, terutama pada proses *parsing* parameter dari jalur HTTP dan tampilan antarmuka monitoring. Proses perancangan, implementasi, dan evaluasi dilakukan secara iteratif hingga fungsi utama sistem dapat berjalan sesuai rancangan. Sistem hasil pengembangan selanjutnya dievaluasi melalui pengujian fungsionalitas dan pengujian konsistensi pembaruan data.

3.2. Prosedur dan Objek Penelitian

Objek penelitian berupa jaringan pengamatan meteorologi yang terdiri atas 15 stasiun di wilayah Provinsi DKI Jakarta, meliputi 11 ARG dan 4 AWS. Berdasarkan jalur akuisisi datanya, sebanyak 13 stasiun mengirimkan data melalui protokol MQTT, sedangkan 2 stasiun AWS diakuisisi melalui protokol HTTP, yaitu STA2172 AWS Maritim Tanjung Priok dan STA2065 AWS Stasiun Meteorologi Halim Perdanakusuma. Data koordinat, identitas, jenis stasiun, dan parameter pengamatan digunakan sebagai dasar

penyusunan struktur basis data dan penempatan *marker* pada antarmuka Web-GIS.

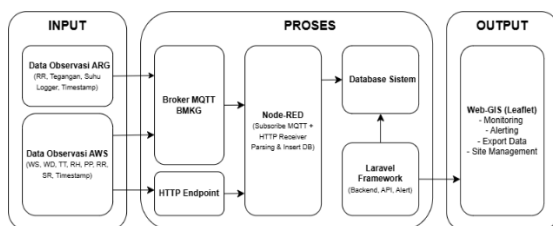


Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian dan Sebaran ARG & AWS

Penelitian dilaksanakan pada lingkungan pengembangan melalui beberapa tahapan, yaitu identifikasi kondisi sistem sebelumnya, perancangan arsitektur sistem usulan, implementasi jalur akuisisi data, normalisasi dan penyimpanan data, pengembangan antarmuka Web-GIS, serta pengujian sistem. Pada sistem yang dikembangkan, akuisisi berbasis FTP tidak digunakan dan digantikan dengan integrasi MQTT dan HTTP untuk menghasilkan pembaruan data dengan target interval sekitar satu menit.

3.3. Arsitektur Sistem

Sistem monitoring yang dikembangkan pada penelitian ini dirancang dengan arsitektur yang mengintegrasikan dua jalur akuisisi data, yaitu MQTT dan HTTP, ke dalam satu alur pemrosesan yang seragam. Secara umum, arsitektur sistem terdiri atas lapisan akuisisi data, pemrosesan, penyimpanan, *backend*, dan antarmuka pengguna, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.



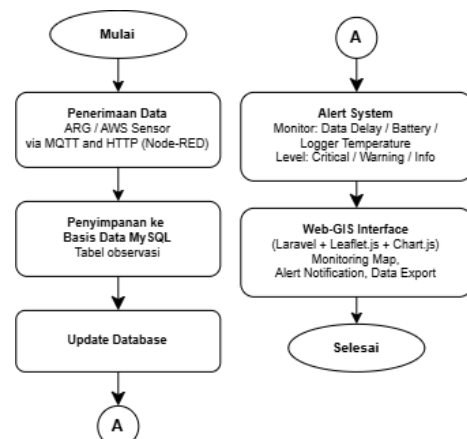
Gambar 3. Diagram Blok Sistem

Pada lapisan akuisisi, data dari 13 stasiun ARG dan AWS diterima melalui broker MQTT internal BMKG, sedangkan data dari 2 stasiun

AWS lainnya diperoleh melalui berkas log yang tersedia pada server menggunakan protokol HTTP. Kedua jalur tersebut diteruskan ke Node-RED sebagai *middleware* yang mengatur aliran penerimaan, pengolahan, dan penyimpanan data. Penggunaan Node-RED memungkinkan sumber data dengan mekanisme komunikasi yang berbeda diproses dalam satu lingkungan berbasis *flow-based programming* [13].

Data yang telah diproses kemudian disimpan pada basis data MySQL menggunakan struktur tabel yang seragam. Dengan struktur tersebut, data dari jalur MQTT dan HTTP dapat diakses melalui mekanisme yang sama tanpa memerlukan pemisahan proses pada lapisan aplikasi. Basis data juga menyimpan metadata stasiun dan informasi peringatan yang digunakan untuk mendukung fungsi monitoring operasional.

Data pada basis data selanjutnya diakses oleh *backend* berbasis Laravel. *Backend* berfungsi mengelola permintaan data, autentikasi pengguna, informasi stasiun, peringatan, serta proses ekspor data. Informasi tersebut kemudian disajikan melalui antarmuka Web-GIS berbasis Leaflet.js dalam bentuk peta interaktif, data parameter terkini, status pengiriman data, dan informasi peringatan stasiun. Arsitektur ini memungkinkan seluruh data pengamatan ditampilkan melalui satu sistem monitoring meskipun berasal dari jalur akuisisi yang berbeda.

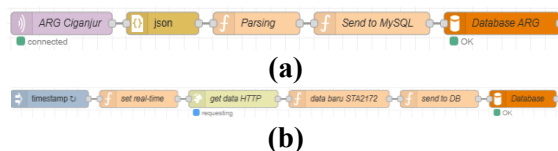


Gambar 4. Diagram Alir Sistem

3.4. Perancangan Integrasi Data MQTT dan HTTP

Integrasi data pada sistem monitoring dirancang untuk menggantikan mekanisme

akuisisi berbasis FTP yang digunakan pada sebagian stasiun dengan dua jalur komunikasi, yaitu MQTT dan HTTP. Kedua jalur memiliki mekanisme penerimaan data yang berbeda, tetapi diarahkan pada target pembaruan sekitar satu menit sebelum disimpan ke dalam basis data yang sama.



Gambar 5. Rancangan Alur Node-RED: (a) alur MQTT, (b) alur HTTP.

Pada jalur MQTT, data dari 13 stasiun ARG dan AWS diterima melalui broker MQTT internal BMKG. Jalur ini bekerja mengikuti mekanisme *publish-subscribe*. Node-RED melakukan *subscribe* pada broker dan menerima data setiap kali stasiun memublikasikan pesan baru [8]. Data yang diterima dalam format JSON kemudian diuraikan untuk memperoleh identitas stasiun, waktu observasi, dan nilai parameter meteorologi sebelum diteruskan ke proses normalisasi.

Pada jalur HTTP, data dari STA2172 AWS Maritim Tanjung Priok dan STA2065 AWS Stasiun Meteorologi Halim Perdanakusuma diperoleh dari berkas log yang tersedia pada server internal BMKG. Pengambilan data dilakukan menggunakan mekanisme *request-response* [11] yang dipicu secara periodik dengan interval sekitar satu menit. Pada setiap siklus, sistem membentuk alamat berkas berdasarkan tanggal berjalan, mengirimkan permintaan HTTP, dan menguraikan berkas yang diterima untuk memperoleh baris observasi terbaru.

Data dari kedua jalur memiliki struktur awal yang berbeda sehingga dilakukan proses normalisasi melalui *function node* pada Node-RED. Node-RED merupakan platform berbasis *flow-based programming* yang dapat digunakan untuk menghubungkan perangkat, protokol komunikasi, dan sistem backend [13]. Normalisasi dilakukan dengan menyesuaikan susunan parameter dan format waktu. Waktu observasi perangkat disimpan sebagai *device_timestamp*, sedangkan waktu data

diterima oleh sistem dicatat sebagai *received_at*. Data hasil normalisasi selanjutnya disimpan pada tabel observasi dalam basis data MySQL menggunakan struktur kolom yang seragam.

Dengan rancangan tersebut, perbedaan protokol komunikasi dan format data ditangani pada lapisan middleware. *Backend* dan antarmuka Web-GIS dapat mengakses seluruh data observasi melalui struktur yang sama tanpa memerlukan proses terpisah berdasarkan protokol asal data.

3.5. Perancangan Basis Data

Basis data MySQL dirancang dengan pendekatan relasional untuk mendukung penyimpanan data observasi serta metadata stasiun secara terstruktur. Tabel utama menyimpan informasi identitas dan lokasi setiap stasiun, sedangkan tabel observasi menyimpan hasil pengamatan yang diterima dari kedua jalur akuisisi data dalam format yang seragam. Selain itu, disediakan pula tabel pendukung untuk menyimpan status peringatan operasional stasiun. Struktur data dirancang agar dapat diakses secara efisien oleh *backend*, baik untuk kebutuhan visualisasi pada antarmuka Web-GIS maupun untuk keperluan pemrosesan lain yang berjalan pada arsitektur sistem.

Tabel 1. Ringkasan Tabel Basis Data

No.	Nama Tabel	Fungsi
1	stations	Menyimpan informasi identitas dan lokasi stasiun pengamatan ARG dan AWS, termasuk jenis stasiun, koordinat geografis, elevasi, wilayah, dan klaster spasial.
2	observations	Menyimpan data hasil pengamatan dari perangkat ARG dan AWS secara terintegrasi, termasuk waktu pengamatan dan waktu data diterima oleh sistem.
3	alerts	Menyimpan informasi peringatan yang

		dihasilkan sistem berdasarkan kondisi data atau perangkat, meliputi tingkat peringatan, parameter pemicu, status penanganan, dan jumlah kejadian.
--	--	---

3.6. Perancangan Antarmuka Web-GIS

Antarmuka Web-GIS dikembangkan menggunakan Laravel sebagai kerangka kerja *backend* dan Leaflet.js sebagai pustaka visualisasi data spasial. Leaflet.js dipilih karena memiliki karakteristik ringan dan dapat diintegrasikan dengan aplikasi berbasis web untuk menampilkan data geografis secara interaktif [16].

Dashboard menampilkan ringkasan kondisi jaringan pengamatan, jumlah stasiun, status pembaruan data, dan informasi peringatan operasional. Data pada antarmuka diperbarui secara otomatis dengan interval sekitar satu menit agar informasi yang ditampilkan mengikuti data terbaru pada basis data tanpa memerlukan pemuatan ulang halaman secara manual.

Peta monitoring dirancang untuk menampilkan lokasi 15 stasiun berdasarkan koordinat geografis yang tersimpan pada tabel *stations*. Setiap stasiun direpresentasikan dalam bentuk marker yang dapat dipilih untuk menampilkan informasi identitas stasiun, waktu observasi, waktu penerimaan, nilai parameter terkini, dan status keterlambatan data. Tampilan peta menyediakan beberapa lapisan visualisasi, meliputi lapisan parameter terkini, status pembaruan data, dan peringatan operasional. Perbedaan kondisi pada setiap lapisan ditampilkan melalui perubahan atribut visual marker agar pengguna dapat mengenali kondisi stasiun secara langsung.

Selain fungsi pemetaan, antarmuka menyediakan halaman pengelolaan peringatan yang menampilkan tingkat peringatan, parameter pemicu, waktu kejadian, jumlah kemunculan, dan status penanganan. Peringatan dapat dinyatakan selesai secara otomatis ketika parameter kembali berada pada kondisi normal atau diselesaikan secara manual oleh pengguna. Sistem juga menyediakan fungsi pratinjau dan ekspor data observasi ke dalam format Microsoft Excel (.xlsx) berdasarkan stasiun dan

periode yang dipilih, serta fungsi pengelolaan metadata stasiun untuk menambah, mengubah, dan menghapus data stasiun.

3.7. Perancangan Pengujian Sistem

Pengujian sistem dirancang untuk mengevaluasi keberhasilan implementasi berdasarkan aspek fungsionalitas dan konsistensi pembaruan data. Pengujian dilaksanakan pada lingkungan pengembangan menggunakan perangkat dengan prosesor Intel Core i5-12450H, RAM 8 GB DDR5, penyimpanan SSD NVMe 512 GB, dan peramban Google Chrome.

a. Pengujian Fungsionalitas

Pengujian fungsionalitas dilakukan oleh peneliti menggunakan metode *black-box testing* untuk mengevaluasi kesesuaian fungsi sistem berdasarkan masukan dan keluaran yang dihasilkan tanpa meninjau struktur internal program [18]. Pengujian mencakup fungsi autentikasi, penampilan data dan *marker* stasiun, perpindahan lapisan peta, pengelolaan peringatan, pratinjau dan ekspor data, serta pengelolaan metadata stasiun. Setiap skenario dinyatakan berhasil apabila keluaran aktual sesuai dengan keluaran yang diharapkan. Pengujian ini dilakukan oleh peneliti berdasarkan skenario yang telah ditentukan dan belum merupakan pengujian penerimaan pengguna (*user acceptance testing*) oleh operator sebagai pengguna akhir, sehingga hasil yang diperoleh membuktikan kesesuaian fungsi terhadap skenario uji, bukan kesiapan sistem untuk operasional produksi.

b. Pengujian Konsistensi Pembaruan Data

Pengujian konsistensi pembaruan dilakukan terhadap data dari 15 stasiun selama 24 jam, yaitu pada 21 Juli 2026 pukul 00.00 sampai 22 Juli 2026 pukul 00.00. Periode 24 jam dipilih sebagai evaluasi awal untuk memperoleh data pembaruan selama satu siklus harian penuh, dan belum dimaksudkan untuk merepresentasikan keandalan operasional jangka panjang maupun variasi kondisi jaringan pada periode yang lebih luas. Interval dihitung berdasarkan selisih *received_at* antara

dua record berurutan pada setiap `station_id`.

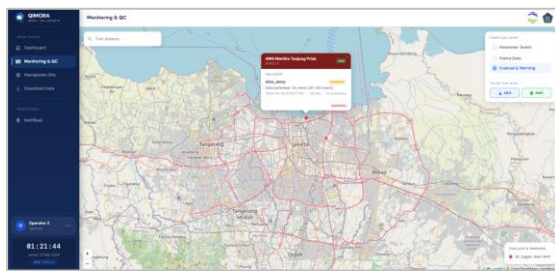
Data dinyatakan duplikat apabila terdapat lebih dari satu record dengan kombinasi `station_id` dan `device_timestamp` yang sama. Sebelum perhitungan interval, hanya record dengan waktu penerimaan paling awal yang digunakan. Parameter pengujian meliputi jumlah interval, nilai minimum, maksimum, rata-rata, simpangan baku, persentase interval dalam toleransi, jumlah *gap*, dan jumlah duplikasi. Rentang 56-65 detik digunakan sebagai toleransi operasional terhadap target pembaruan 60 detik, sedangkan interval lebih dari 90 detik dikategorikan sebagai *gap*.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

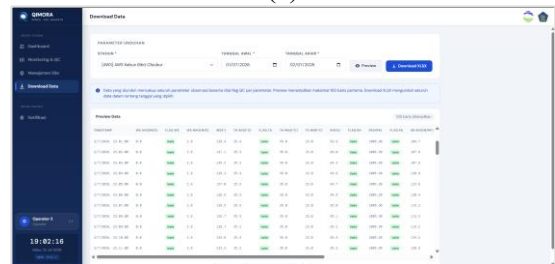
4.1. Implementasi Arsitektur dan Integrasi Data

Implementasi sistem menghasilkan satu pipeline monitoring yang mampu menerima dan menyimpan data dari jalur MQTT dan HTTP secara bersamaan. Hasil pemeriksaan pada basis data menunjukkan bahwa data dari kedua jalur berhasil masuk ke tabel `observations` dengan struktur kolom yang sama, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

station_id	station_name	device_timestamp	1. rainfall	2. air_temp	3. soil_moist	4. air_hum	5. soil_hum	6. air_pres	7. soil_pres	8. air_qual	9. soil_qual	10. air_hum	11. soil_hum	12. air_qual	13. soil_qual	14. air_hum	15. soil_hum	16. air_qual	17. soil_qual	18. air_hum	19. soil_hum	20. air_qual	21. soil_qual	22. air_hum	23. soil_hum	24. air_qual	25. soil_qual	26. air_hum	27. soil_hum	28. air_qual	29. soil_qual	30. air_hum	31. soil_hum	32. air_qual	33. soil_qual	34. air_hum	35. soil_hum	36. air_qual	37. soil_qual	38. air_hum	39. soil_hum	40. air_qual	41. soil_qual	42. air_hum	43. soil_hum	44. air_qual	45. soil_qual	46. air_hum	47. soil_hum	48. air_qual	49. soil_qual	50. air_hum	51. soil_hum	52. air_qual	53. soil_qual	54. air_hum	55. soil_hum	56. air_qual	57. soil_qual	58. air_hum	59. soil_hum	60. air_qual	61. soil_qual	62. air_hum	63. soil_hum	64. air_qual	65. soil_qual	66. air_hum	67. soil_hum	68. air_qual	69. soil_qual	70. air_hum	71. soil_hum	72. air_qual	73. soil_qual	74. air_hum	75. soil_hum	76. air_qual	77. soil_qual	78. air_hum	79. soil_hum	80. air_qual	81. soil_qual	82. air_hum	83. soil_hum	84. air_qual	85. soil_qual	86. air_hum	87. soil_hum	88. air_qual	89. soil_qual	90. air_hum	91. soil_hum	92. air_qual	93. soil_qual	94. air_hum	95. soil_hum	96. air_qual	97. soil_qual	98. air_hum	99. soil_hum	100. air_qual	101. soil_qual	102. air_hum	103. soil_hum	104. air_qual	105. soil_qual	106. air_hum	107. soil_hum	108. air_qual	109. soil_qual	110. air_hum	111. soil_hum	112. air_qual	113. soil_qual	114. air_hum	115. soil_hum	116. air_qual	117. soil_qual	118. air_hum	119. soil_hum	120. air_qual	121. soil_qual	122. air_hum	123. soil_hum	124. air_qual	125. soil_qual	126. air_hum	127. soil_hum	128. air_qual	129. soil_qual	130. air_hum	131. soil_hum	132. air_qual	133. soil_qual	134. air_hum	135. soil_hum	136. air_qual	137. soil_qual	138. air_hum	139. soil_hum	140. air_qual	141. soil_qual	142. air_hum	143. soil_hum	144. air_qual	145. soil_qual	146. air_hum	147. soil_hum	148. air_qual	149. soil_qual	150. air_hum	151. soil_hum	152. air_qual	153. soil_qual	154. air_hum	155. soil_hum	156. air_qual	157. soil_qual	158. air_hum	159. soil_hum	160. air_qual	161. soil_qual	162. air_hum	163. soil_hum	164. air_qual	165. soil_qual	166. air_hum	167. soil_hum	168. air_qual	169. soil_qual	170. air_hum	171. soil_hum	172. air_qual	173. soil_qual	174. air_hum	175. soil_hum	176. air_qual	177. soil_qual	178. air_hum	179. soil_hum	180. air_qual	181. soil_qual	182. air_hum	183. soil_hum	184. air_qual	185. soil_qual	186. air_hum	187. soil_hum	188. air_qual	189. soil_qual	190. air_hum	191. soil_hum	192. air_qual	193. soil_qual	194. air_hum	195. soil_hum	196. air_qual	197. soil_qual	198. air_hum	199. soil_hum	200. air_qual	201. soil_qual	202. air_hum	203. soil_hum	204. air_qual	205. soil_qual	206. air_hum	207. soil_hum	208. air_qual	209. soil_qual	210. air_hum	211. soil_hum	212. air_qual	213. soil_qual	214. air_hum	215. soil_hum	216. air_qual	217. soil_qual	218. air_hum	219. soil_hum	220. air_qual	221. soil_qual	222. air_hum	223. soil_hum	224. air_qual	225. soil_qual	226. air_hum	227. soil_hum	228. air_qual	229. soil_qual	230. air_hum	231. soil_hum	232. air_qual	233. soil_qual	234. air_hum	235. soil_hum	236. air_qual	237. soil_qual	238. air_hum	239. soil_hum	240. air_qual	241. soil_qual	242. air_hum	243. soil_hum	244. air_qual	245. soil_qual	246. air_hum	247. soil_hum	248. air_qual	249. soil_qual	250. air_hum	251. soil_hum	252. air_qual	253. soil_qual	254. air_hum	255. soil_hum	256. air_qual	257. soil_qual	258. air_hum	259. soil_hum	260. air_qual	261. soil_qual	262. air_hum	263. soil_hum	264. air_qual	265. soil_qual	266. air_hum	267. soil_hum	268. air_qual	269. soil_qual	270. air_hum	271. soil_hum	272. air_qual	273. soil_qual	274. air_hum	275. soil_hum	276. air_qual	277. soil_qual	278. air_hum	279. soil_hum	280. air_qual	281. soil_qual	282. air_hum	283. soil_hum	284. air_qual	285. soil_qual	286. air_hum	287. soil_hum	288. air_qual	289. soil_qual	290. air_hum	291. soil_hum	292. air_qual	293. soil_qual	294. air_hum	295. soil_hum	296. air_qual	297. soil_qual	298. air_hum	299. soil_hum	300. air_qual	301. soil_qual	302. air_hum	303. soil_hum	304. air_qual	305. soil_qual	306. air_hum	307. soil_hum	308. air_qual	309. soil_qual	310. air_hum	311. soil_hum	312. air_qual	313. soil_qual	314. air_hum	315. soil_hum	316. air_qual	317. soil_qual	318. air_hum	319. soil_hum	320. air_qual	321. soil_qual	322. air_hum	323. soil_hum	324. air_qual	325. soil_qual	326. air_hum	327. soil_hum	328. air_qual	329. soil_qual	330. air_hum	331. soil_hum	332. air_qual	333. soil_qual	334. air_hum	335. soil_hum	336. air_qual	337. soil_qual	338. air_hum	339. soil_hum	340. air_qual	341. soil_qual	342. air_hum	343. soil_hum	344. air_qual	345. soil_qual	346. air_hum	347. soil_hum	348. air_qual	349. soil_qual	350. air_hum	351. soil_hum	352. air_qual	353. soil_qual	354. air_hum	355. soil_hum	356. air_qual	357. soil_qual	358. air_hum	359. soil_hum	360. air_qual	361. soil_qual	362. air_hum	363. soil_hum	364. air_qual	365. soil_qual	366. air_hum	367. soil_hum	368. air_qual	369. soil_qual	370. air_hum	371. soil_hum	372. air_qual	373. soil_qual	374. air_hum	375. soil_hum	376. air_qual	377. soil_qual	378. air_hum	379. soil_hum	380. air_qual	381. soil_qual	382. air_hum	383. soil_hum	384. air_qual	385. soil_qual	386. air_hum	387. soil_hum	388. air_qual	389. soil_qual	390. air_hum	391. soil_hum	392. air_qual	393. soil_qual	394. air_hum	395. soil_hum	396. air_qual	397. soil_qual	398. air_hum	399. soil_hum	400. air_qual	401. soil_qual	402. air_hum	403. soil_hum	404. air_qual	405. soil_qual	406. air_hum	407. soil_hum	408. air_qual	409. soil_qual	410. air_hum	411. soil_hum	412. air_qual	413. soil_qual	414. air_hum	415. soil_hum	416. air_qual	417. soil_qual	418. air_hum	419. soil_hum	420. air_qual	421. soil_qual	422. air_hum	423. soil_hum	424. air_qual	425. soil_qual	426. air_hum	427. soil_hum	428. air_qual	429. soil_qual	430. air_hum	431. soil_hum	432. air_qual	433. soil_qual	434. air_hum	435. soil_hum	436. air_qual	437. soil_qual	438. air_hum	439. soil_hum	440. air_qual	441. soil_qual	442. air_hum	443. soil_hum	444. air_qual	445. soil_qual	446. air_hum	447. soil_hum	448. air_qual	449. soil_qual	450. air_hum	451. soil_hum	452. air_qual	453. soil_qual	454. air_hum	455. soil_hum	456. air_qual	457. soil_qual	458. air_hum	459. soil_hum	460. air_qual	461. soil_qual	462. air_hum	463. soil_hum	464. air_qual	465. soil_qual	466. air_hum	467. soil_hum	468. air_qual	469. soil_qual	470. air_hum	471. soil_hum	472. air_qual	473. soil_qual	474. air_hum	475. soil_hum	476. air_qual	477. soil_qual	478. air_hum	479. soil_hum	480. air_qual	481. soil_qual	482. air_hum	483. soil_hum	484. air_qual	485. soil_qual	486. air_hum	487. soil_hum	488. air_qual	489. soil_qual	490. air_hum	491. soil_hum	492. air_qual	493. soil_qual	494. air_hum	495. soil_hum	496. air_qual	497. soil_qual	498. air_hum	499. soil_hum	500. air_qual	501. soil_qual	502. air_hum	503. soil_hum	504. air_qual	505. soil_qual	506. air_hum	507. soil_hum	508. air_qual	509. soil_qual	510. air_hum	511. soil_hum	512. air_qual	513. soil_qual	514. air_hum	515. soil_hum	516. air_qual	517. soil_qual	518. air_hum	519. soil_hum	520. air_qual	521. soil_qual	522. air_hum	523. soil_hum	524. air_qual	525. soil_qual	526. air_hum	527. soil_hum	528. air_qual	529. soil_qual	530. air_hum	531. soil_hum	532. air_qual	533. soil_qual	534. air_hum	535. soil_hum	536. air_qual	537. soil_qual	538. air_hum	539. soil_hum	540. air_qual	541. soil_qual	542. air_hum	543. soil_hum	544. air_qual	545. soil_qual	546. air_hum	547. soil_hum	548. air_qual	549. soil_qual	550. air_hum	551. soil_hum	552. air_qual	553. soil_qual	554. air_hum	555. soil_hum	556. air_qual	557. soil_qual	558. air_hum	559. soil_hum	560. air_qual	561. soil_qual	562. air_hum	563. soil_hum	564. air_qual	565. soil_qual	566. air_hum	567. soil_hum	568. air_qual	569. soil_qual	570. air_hum	571. soil_hum	572. air_qual	573. soil_qual	574. air_hum	575. soil_hum	576. air_qual	577. soil_qual	578. air_hum	579. soil_hum	580. air_qual	581. soil_qual	582. air_hum	583. soil_hum	584. air_qual	585. soil_qual	586. air_hum	587. soil_hum	588. air_qual	589. soil_qual	590. air_hum	591. soil_hum	592. air_qual	593. soil_qual	594. air_hum	595. soil_hum	596. air_qual	597. soil_qual	598. air_hum	599. soil_hum	600. air_qual	601. soil_qual	602. air_hum	603. soil_hum	604. air_qual	605. soil_qual	606. air_hum	607. soil_hum	608. air_qual	609. soil_qual	610. air_hum	611. soil_hum	612. air_qual	613. soil_qual	614. air_hum	615. soil_hum	616. air_qual	617. soil_qual	618. air_hum	619. soil_hum	620. air_qual	621. soil_qual	622. air_hum	623. soil_hum	624. air_qual	625. soil_qual	626. air_hum	627. soil_hum	628. air_qual	629. soil_qual	630. air_hum	631. soil_hum	632. air_qual	633. soil_qual	634. air_hum	635. soil_hum	636. air_qual	637. soil_qual	638. air_hum	639. soil_hum	640. air_qual	641. soil_qual	642. air_hum	643. soil_hum	644. air_qual	645. soil_qual	646. air_hum	647. soil_hum	648. air_qual	649. soil_qual	650. air_hum	651. soil_hum	652. air_qual	653. soil_qual	654. air_hum	655. soil_hum	656. air_qual	657. soil_qual	658. air_hum	659. soil_hum	660. air_qual	661. soil_qual	662. air_hum	663. soil_hum	664. air_qual	665. soil_qual	666. air_hum	667. soil_hum	668. air_qual	669. soil_qual	670. air_hum	671. soil_hum	672. air_qual	673. soil_qual	674. air_hum	675. soil_hum	676. air_qual	677. soil_qual	678. air_hum	679. soil_hum	680. air_qual	681. soil_qual	682. air_hum	683. soil_hum	684. air_qual	685. soil_qual	686. air_hum	687. soil_hum	688. air_qual	689. soil_qual	690. air_hum	691. soil_hum	692. air_qual	693. soil_qual	694. air_hum	695. soil_hum	696. air_qual	697. soil_qual	698. air_hum	699. soil_hum	700. air_qual	701. soil_qual	702. air_hum	703. soil_hum	704. air_qual	705. soil_qual	706. air_hum	707. soil_hum	708. air_qual	709. soil_qual	710. air_hum	711. soil_hum	712. air_qual	713. soil_qual	714. air_hum	715. soil_hum	716. air_qual	717. soil_qual	718. air_hum	719. soil_hum	720. air_qual	721. soil_qual	722. air_hum	723. soil_hum	724. air_qual	725. soil_qual	726. air_hum	727. soil_hum	728. air_qual	729. soil_qual	730. air_hum	731. soil_hum	732. air_qual	733. soil_qual	734. air_hum	735. soil_hum	736. air_qual	737. soil_qual	738. air_hum	739. soil_hum	740. air_qual	741. soil_qual	742. air_hum	743. soil_hum	744. air_qual	745. soil_qual	746. air_hum	747. soil_hum	748. air_qual	749. soil_qual	750. air_hum	751. soil_hum	752. air_qual	753. soil_qual	754. air_hum	755. soil_hum	756. air_qual	757. soil_qual	758. air_hum	759. soil_hum	760. air_qual	761. soil_qual	762. air_hum	763. soil_hum	764. air_qual	765. soil_qual	766. air_hum	767. soil_hum	768. air_qual	769. soil_qual	770. air_hum	771. soil_hum	772. air_qual	773. soil_qual	774. air_hum	775. soil_hum	776. air_qual	777. soil_qual	778. air_hum	779. soil_hum	780. air_qual	781. soil_qual	782. air_hum	783. soil_hum	784. air_qual	785. soil_qual	786. air_hum	787. soil_hum	788. air_qual	789. soil_qual	790. air_hum	791. soil_hum	792. air_qual	793. soil_qual	794. air_hum	795. soil_hum	796. air_qual	797. soil_qual	798. air_hum	799. soil_hum	800. air_qual	801. soil_qual	802. air_hum	803. soil_hum	804. air_qual	805. soil_qual	806. air_hum	807. soil_hum	808. air_qual	809. soil_qual	810. air_hum	811. soil_hum	812. air_qual	813. soil_qual	814. air_hum	815. soil_hum	816. air_qual	817. soil_qual	818. air_hum	819. soil_hum	820. air_qual	821. soil_qual	822. air_hum	823. soil_hum	824. air_qual	825. soil_qual	826. air_hum	827. soil_hum	828. air_qual	829. soil_qual	830. air_hum	831. soil_hum	832. air_qual	833. soil_qual	834. air_hum	835. soil_hum	836. air_qual	837. soil_qual	838. air_hum	839. soil_hum	840. air_qual	841. soil_qual	842. air_hum	843. soil_hum	844. air_qual	845. soil_qual	846. air_hum	847. soil_hum	848. air_qual	849. soil_qual	850. air_hum	851. soil_hum	852. air_qual	853. soil_qual	854. air_hum	855. soil_hum	856. air_qual	857. soil_qual	858. air_hum	859. soil_hum	860. air_qual	861. soil_qual	862. air_hum	863. soil_hum	864. air_qual	865. soil_qual	866. air_hum	867. soil_hum	868. air_qual	869. soil_qual	870. air_hum	871. soil_hum	872. air_qual	873. soil_qual	874. air_hum	875. soil_hum	876. air_qual	877. soil_qual	878. air_hum	879. soil_hum	880. air_qual	881. soil_qual	882. air_hum	883. soil_hum	884. air_qual	885. soil_qual	886. air_hum	887. soil_hum	888. air_qual	889. soil_qual	890. air_hum	891. soil_hum	892. air_qual	893. soil_qual	894. air_hum	895. soil_hum	896. air_qual	897. soil_qual	898. air_hum	899. soil_hum	900. air_qual	901. soil_qual	902. air_hum	903. soil_hum	904. air_qual	905. soil_qual	906. air_hum	907. soil_hum	908. air_qual	909. soil_qual	910. air_hum	911. soil_hum	912. air_qual	913. soil_qual	914. air_hum	915. soil_hum	916. air_qual	917. soil_qual	918. air_hum	919. soil_hum	920. air_qual	921. soil_qual	922. air_hum	923. soil_hum	924. air_qual	925. soil_qual	926. air_hum	927. soil_hum	928. air_qual	929. soil_qual	930. air_hum	931. soil_hum	932. air_qual	933. soil_qual	934. air_hum	935. soil_hum	936. air_qual	937. soil_qual	938. air_hum	939. soil_hum	940. air_qual	941. soil_qual	942. air_hum	943. soil_hum	944. air_qual	945. soil_qual	946. air_hum	947. soil_hum	948. air_qual	949. soil_qual	950. air_hum	951. soil_hum	952. air_qual	953. soil_qual	954. air_hum	955. soil_hum	956. air_qual	957. soil_qual	958. air_hum	959. soil_hum	960. air_qual	961. soil_qual	962. air_hum	963. soil_hum	964. air_qual	965. soil_qual	966. air_hum	967. soil_hum	968. air_qual	969. soil_qual	970. air_hum	971. soil_hum	972. air_qual	973. soil_qual	974. air_hum	975. soil_hum	976. air_qual	977. soil_qual	978. air_hum	979. soil_hum	980. air_qual	981. soil_qual	982. air_hum	983. soil_hum	984. air_qual	985. soil_qual	986. air_hum	987. soil_hum	988. air_qual	989. soil_qual	990. air_hum	991. soil_hum	992. air_qual	993. soil_qual	994. air_hum	995. soil_hum	996. air_qual	997. soil_qual	998. air_hum	999. soil_hum	1000. air_qual	1001. soil_qual	1002. air_hum	1003. soil_hum	1004. air_qual	1005. soil_qual	1006. air_hum	1007. soil_hum	1008. air_qual	1009. soil_qual	1010. air_hum	1011. soil_hum	1012. air_qual	1013. soil_qual	1014. air_hum	1015. soil_hum	1016. air_qual	1017. soil_qual	1018. air_hum	1019. soil_hum	1020. air_qual	1021. soil_qual	1022. air_hum	1023. soil_hum	1024. air_qual	1025. soil_qual	1026. air_hum	1027. soil_hum	1028. air_qual	1029. soil_qual	1030. air_hum	1031. soil_hum	1032. air_qual	1033. soil_qual	1034. air_hum	1035. soil_hum	1036.
------------	--------------	------------------	-------------	-------------	---------------	------------	-------------	-------------	--------------	-------------	--------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	--------------	---------------	-------------	--------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	---------------	----------------	--------------	---------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	----------------	-----------------	---------------	----------------	-------



(c)



(d)

Gambar 7. Tampilan Antarmuka Web-GIS: (a). *Layer* Parameter Terkini, (b) *Layer* Status Data, (c) *Layer* Alert, (d) *Export* Data

4.3. Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

Pengujian fungsionalitas dengan pendekatan *black-box* menunjukkan seluruh fungsi utama sistem dapat dijalankan sesuai dengan keluaran yang diharapkan. Pengujian mencakup autentikasi pengguna, penyajian data monitoring, perpindahan lapisan peta, pengelolaan peringatan, pratinjau dan ekspor data, serta pengelolaan metadata stasiun.

Sebanyak 14 skenario pengujian memperoleh status berhasil. Marker seluruh stasiun dapat ditampilkan sesuai koordinat, informasi parameter dan status data dapat diakses melalui peta, serta jumlah peringatan yang ditampilkan sesuai dengan data pada basis data. Fungsi penyelesaian peringatan, ekspor data, serta penambahan, perubahan, dan penghapusan metadata stasiun juga dapat dijalankan sesuai rancangan. Rekapitulasi hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Pengujian Fungsionalitas Sistem

No	ID	Skenario	Hasil	Status
1	F-01	Login valid	Dashboard tampil	Berhasil
2	F-02	Login tidak valid	Pesan kesalahan tampil	Berhasil

3	F-03	Akses tanpa login	Dialihkan ke halaman login	Berhasil
4	F-04	Marker stasiun	15 stasiun tampil sesuai koordinat	Berhasil
5	F-05	Popup status data	Data terkini dan status keterlambatan tampil	Berhasil
6	F-06	Popup peringatan	Alert aktif tampil sesuai data	Berhasil
7	F-07	Layer parameter	Warna marker berubah sesuai nilai parameter	Berhasil
8	F-08	Counter alert	Jumlah alert sesuai basis data	Berhasil
9	F-09	Filter alert	Alert tampil sesuai level	Berhasil
10	F-10	Resolve alert	Status dan counter diperbarui	Berhasil
11	F-11	Preview data	Data tampil sesuai filter	Berhasil
12	F-12	Ekspor XLSX	File berhasil diunduh	Berhasil
13	F-13	Tambah stasiun	Data dan marker baru tampil	Berhasil
14	F-14	Edit/hapus stasiun	Perubahan tersinkronisasi	Berhasil

Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi yang dirancang untuk mendukung kegiatan monitoring telah terimplementasi dengan benar pada lingkungan pengembangan.

4.4. Hasil Pengujian Konsistensi Pembaruan Data

Pengujian konsistensi pembaruan data dilakukan selama 24 jam terhadap data dari 15 stasiun pengamatan. Berdasarkan hasil pengolahan, diperoleh 21.476 interval pembaruan dengan rata-rata sebesar 60,30 detik dan simpangan baku 5,22 detik. Interval minimum yang tercatat sebesar 4 detik,

sedangkan interval maksimum mencapai 300 detik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Konsistensi Pembaruan Data pada Pipeline Monitoring

Parameter Pengujian	Hasil
Periode pengujian	24 jam
Jumlah stasiun	15
Jumlah interval	21.476
Interval minimum	4 detik
Interval maksimum	300 detik
Interval rata-rata	60,30 detik
Simpangan baku	5,22 detik
Interval dalam toleransi	21.295
Persentase dalam toleransi	99,16%
Interval di luar toleransi	181
Jumlah gap	96
Interval nonpositif	0
Jumlah duplikasi	52

Sebanyak 21.295 interval atau 99,16% berada dalam rentang toleransi operasional 56-65 detik. Sementara itu, sebanyak 181 interval berada di luar rentang toleransi, termasuk 96 interval yang dikategorikan sebagai *gap* karena melebihi 90 detik. Pengujian juga mengidentifikasi 52 data duplikat berdasarkan kesamaan *station_id* dan *device_timestamp*. Tidak ditemukan interval bernilai nol atau negatif. Ringkasan hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 4. Konsistensi Pembaruan Data per Stasiun

Stasiun	Rerat a (s)	SD (s)	Tol. (%)	Gap	Dup.
30009	60,13	2,80	99,37	4	0
30013	60,17	3,57	98,33	4	0
STA0026	60,13	2,01	99,58	3	0
STA0027	60,13	2,24	99,44	3	0
STA0028	60,08	2,26	99,58	2	0
STA0029	60,17	3,21	99,72	4	0
STA0030	60,08	4,47	99,65	2	0
STA0031	60,13	2,27	99,44	3	0

STA2062	60,08	2,37	99,03	2	0
STA2065	62,34	12,53	96,25	50	51
STA2172	60,17	4,04	99,65	3	1
STA9001	60,17	3,01	99,09	4	0
STG1011	60,08	2,25	99,37	2	0
STG1012	60,25	4,70	99,30	6	0
STW1031	60,50	11,14	99,44	4	0
Total	60,30	5,22	99,16	96	52

Keterangan: SD = simpangan baku; Tol. = persentase interval dalam toleransi 56-65 detik; Gap = interval lebih dari 90 detik; Dup. = jumlah data duplikat.

Berdasarkan Tabel 4, sebanyak 13 dari 15 stasiun memiliki persentase interval dalam toleransi di atas 99%. Ketidakteraturan terbesar ditemukan pada STA2065, yang menghasilkan rata-rata interval 62,34 detik, simpangan baku 12,53 detik, dan persentase interval dalam toleransi sebesar 96,25%. Stasiun tersebut menyumbang 50 dari 96 gap atau 52,08% dari keseluruhan gap serta 51 dari 52 data duplikat atau 98,08% dari keseluruhan duplikasi. Temuan ini menunjukkan bahwa anomali pembaruan sebagian besar terkonsentrasi pada STA2065.

Anomali lain ditemukan pada STW1031 dengan interval maksimum 300 detik dan STA0030 dengan interval minimum 4 detik. Meskipun demikian, kedua stasiun tersebut masing-masing masih menghasilkan 99,44% dan 99,65% interval dalam rentang toleransi. Hasil ini menunjukkan bahwa penyimpangan pembaruan tidak terjadi secara merata pada seluruh jaringan, tetapi lebih banyak terkonsentrasi pada stasiun tertentu. Perbedaan antarstasiun pada penelitian ini dianalisis secara deskriptif berdasarkan rata-rata, simpangan baku, persentase toleransi, jumlah gap, dan jumlah duplikasi, dan belum diuji menggunakan statistik inferensial.

4.5. Pembahasan

Secara keseluruhan, hasil implementasi dan pengujian menunjukkan bahwa arsitektur yang dikembangkan mampu menyatukan jalur akuisisi MQTT dan HTTP ke dalam satu pipeline monitoring. Keberhasilan seluruh skenario fungsional menunjukkan bahwa hasil integrasi dapat digunakan oleh lapisan aplikasi untuk mendukung visualisasi data, pengelolaan peringatan, ekspor data, dan manajemen stasiun. Penyeragaman data pada lapisan *middleware* juga menyebabkan perbedaan protokol sumber tidak memerlukan penanganan terpisah pada basis data maupun antarmuka Web-GIS.

Hasil pengujian interval menunjukkan bahwa *pipeline* monitoring mampu mempertahankan kadensi pembaruan yang mendekati target satu menit. Rata-rata interval sebesar 60,30 detik dan persentase interval dalam toleransi sebesar 99,16% menunjukkan bahwa sebagian besar data diterima secara teratur selama periode pengujian. Dibandingkan konfigurasi sistem sebelumnya yang menggunakan FTP dengan interval sekitar 10 menit pada sebagian stasiun, penerapan MQTT dan HTTP memberikan resolusi temporal pembaruan yang lebih rapat. Perbandingan tersebut menunjukkan peningkatan resolusi temporal berdasarkan interval konfigurasi, bukan hasil pengujian performa langsung antara protokol FTP dan arsitektur MQTT-HTTP; penelitian ini tidak melakukan pengujian langsung terhadap *throughput*, *latency*, *bandwidth*, *packet loss*, atau *reliability* FTP.

Meskipun konsistensi pembaruan secara umum tergolong tinggi, masih ditemukan interval di luar toleransi, *gap*, dan data duplikat. Sebagian besar anomali terkonsentrasi pada STA2065, yang menghasilkan rata-rata interval 62,34 detik dengan simpangan baku 12,53 detik, persentase interval dalam toleransi 96,25%, serta menyumbang 50 dari 96 *gap* dan 51 dari 52 data duplikat. Karena STA2065 merupakan salah satu stasiun yang diakuisisi melalui jalur HTTP, pola tersebut diduga berkaitan dengan proses pengambilan baris observasi terbaru pada jalur tersebut, tetapi keterkaitan ini memerlukan pemeriksaan lebih lanjut. Penyebab pasti anomali belum dapat dipastikan berdasarkan pengujian ini, karena analisis belum mencakup log eksekusi Node-RED maupun ketersediaan berkas pada server

sumber; keterbatasan ini dibahas lebih lanjut pada Subbab 4.6.

Interval minimum sebesar 4 detik dan maksimum sebesar 300 detik menunjukkan bahwa pada beberapa kejadian data dapat diterima dalam waktu yang terlalu berdekatan atau mengalami keterlambatan beberapa siklus. Temuan tersebut memperlihatkan bahwa nilai rata-rata tidak dapat digunakan sebagai satu-satunya ukuran konsistensi. Persentase interval dalam toleransi, simpangan baku, jumlah *gap*, dan jumlah duplikasi diperlukan untuk memberikan gambaran yang lebih menyeluruh mengenai perilaku pipeline monitoring.

Hasil penelitian ini sejalan dengan penggunaan MQTT untuk transmisi data pada interval pengamatan yang rapat [4], sedangkan HTTP tetap dapat digunakan sebagai jalur alternatif melalui mekanisme pengambilan data secara periodik [11]. Node-RED berperan dalam menjembatani perbedaan mekanisme kedua protokol melalui alur pemrosesan yang dapat disesuaikan [13]. Meskipun demikian, hasil penelitian belum dapat digunakan untuk menyatakan keandalan sistem pada kondisi operasional secara menyeluruh karena pengujian hanya dilakukan selama 24 jam terhadap 15 stasiun pada lingkungan pengembangan.

4.6. Keterbatasan Penelitian

Beberapa keterbatasan perlu diperhatikan dalam menafsirkan hasil penelitian ini. Pertama, pengujian konsistensi pembaruan hanya dilakukan selama 24 jam terhadap 15 stasiun pada lingkungan pengembangan, sehingga hasil yang diperoleh belum dapat merepresentasikan keandalan sistem pada kondisi operasional jangka panjang maupun pada lingkungan produksi. Kedua, pengujian fungsionalitas dengan pendekatan *black-box* dilakukan oleh peneliti sendiri berdasarkan skenario yang telah ditentukan, dan belum melibatkan operator sebagai pengguna akhir melalui pengujian penerimaan pengguna. Ketiga, penelitian ini belum mencakup pengujian terhadap kondisi kegagalan, seperti terputusnya broker MQTT, *server*, *endpoint* HTTP, maupun mekanisme pemulihan koneksi. Keempat, penyebab pasti anomali interval dan duplikasi pada STA2065 belum dapat dikonfirmasi karena analisis belum mencakup log eksekusi Node-RED dan ketersediaan

berkas pada *server* sumber. Kelima, ketergantungan pada infrastruktur internal BMKG, yaitu broker MQTT dan server penyedia berkas log, membatasi replikasi penuh penelitian ini oleh pihak di luar institusi. Keterbatasan-keterbatasan tersebut menjadi dasar arahan penelitian selanjutnya.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

- a. Sistem monitoring Web-GIS berhasil dikembangkan dengan mengintegrasikan jalur akuisisi data MQTT dan HTTP melalui *middleware* Node-RED, basis data MySQL, backend Laravel, dan antarmuka berbasis Leaflet.js. Integrasi tersebut memungkinkan data dari sumber dengan format dan mekanisme komunikasi yang berbeda disimpan dan diakses melalui struktur yang seragam.
- b. Seluruh skenario pengujian fungsionalitas dengan pendekatan *black-box testing* memperoleh hasil sesuai dengan keluaran yang diharapkan. Hasil tersebut menunjukkan bahwa fungsi autentikasi, visualisasi data, perpindahan lapisan peta, pengelolaan peringatan, ekspor data, dan manajemen stasiun telah terimplementasi dengan baik pada lingkungan pengembangan.
- c. Pengujian konsistensi pembaruan selama 24 jam terhadap 15 stasiun menghasilkan 21.476 interval dengan rata-rata 60,30 detik dan simpangan baku 5,22 detik. Sebanyak 99,16% interval berada dalam rentang toleransi operasional 56-65 detik. Meskipun demikian, masih ditemukan 96 gap dan 52 data duplikat, yang sebagian besar terkonsentrasi pada STA2065. Dengan demikian, sistem mampu menyediakan pembaruan data sekitar satu menit dengan tingkat konsistensi yang tinggi, dan menunjukkan peningkatan resolusi temporal pemantauan berdasarkan interval konfigurasi dibandingkan mekanisme FTP sebelumnya, bukan berdasarkan pengujian performa langsung antara kedua mekanisme. Sistem ini masih memerlukan penyempurnaan dalam penanganan keterlambatan dan duplikasi

data, khususnya pada stasiun dengan pola anomali seperti STA2065, serta pengujian lebih lanjut pada lingkungan produksi dan periode operasional yang lebih panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Ir. Muchammad Rizqy Nugraha, S.Tr., M.T. selaku pembimbing atas arahan dan masukan yang diberikan selama penelitian, serta kepada Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) atas dukungan dan penyediaan data yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Jannah, J. Sujono, D. Adam, and P. Rahardjo, "Kajian perubahan iklim di DKI Jakarta berdasarkan data curah hujan," *Teknisia*, vol. 28, no. 01, 2023.
- [2] D. Chitwatkulsiri and H. Miyamoto, "Real-Time Urban Flood Forecasting Systems for Southeast Asia—A Review of Present Modelling and Its Future Prospects," Jan. 01, 2023, *MDPI*. doi: 10.3390/w15010178.
- [3] K. Nugroho, A. Afandi, W. Rokhayadi, I. Budiarto, and T. Hermawan, "Rainfall Monitoring Using Aloptama Automatic Rain Gauge And The Network Development Life Cycle Method," *sinkron*, vol. 8, no. 4, pp. 2429-2438, Oct. 2024, doi: 10.33395/sinkron.v8i4.13908.
- [4] Ariffudin and P. Musa, "Analisa Sistem Komunikasi Data Berbasis Internet Of Things (Iot) Menggunakan Metode Pieces Pada Sistem Pengamatan Cuaca Otomatis Di Badan Meteorologi Klimatologi Dan Geofisika (BMKG)," *Open MenuJurnal Meteorologi dan Geofisika*, vol. 23, 2022, doi: <https://doi.org/10.31172/jmg.v23i2.831>.
- [5] Sugiarto, M. Putra, G. Budhi Dharmawan, and Z. Maulana Akram, "Development of Marine Automatic Weather Station Based on Webserver," in *SENTER*, Sep. 2019, pp. 68-76.
- [6] A. A. Fikhri and N. Nurdin, "Implementasi Algoritma K-Nearest Neighbor Pada Sistem Pemantau Suhu Dan Kelembapan Ruang Server Menggunakan Protokol MQTT Berbasis IoT," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 12, no. 3S1, Oct. 2024, doi: 10.23960/jitet.v12i3s1.5422.
- [7] M. F. Y. Darmawan, "Rancang Bangun Alat Monitor Kualitas Udara Berbasis Web Pada Kamar Mesin Kapal MT. Harsanadi," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol.

- 13, no. 2, Apr. 2025, doi: 10.23960/jitet.v13i2.6334.
- [8] Z. B. Abilovani, W. Yahya, and F. A. Bakhtiar, "Implementasi Protokol MQTT Untuk Sistem Monitoring Perangkat IoT," 2018. [Online]. Available: <http://j-ptiik.ub.ac.id>
- [9] M. A. Khan *et al.*, "A deep learning-based intrusion detection system for mqtt enabled iot," Nov. 01, 2021, *MDPI*. doi: 10.3390/s21217016.
- [10] A. A. Zabar and F. Novianto, "Keamanan Http Dan Https Berbasis Web Menggunakan Sistem Operasi Kali Linux," *Jurnal Ilmiah Komputer dan Informatika (KOMPUTA)*, vol. 69, no. 2, 2015.
- [11] G. A. Mutiara, Periyadi, M. R. Alfarisi, M. A. Rifqi Zain, M. G. Rijali, and F. N. Rochim, "Design and implementation of a REST API-based client-server architecture for multi-sensor IoT monitoring," *International Journal of Advanced Technology and Engineering Exploration*, vol. 12, no. 124, pp. 426-449, 2025, doi: 10.19101/IJATEE.2024.111101934.
- [12] R. Rizal and A. Rahmatulloh, "RESTful Web Service untuk Integrasi Sistem Akademik dan Perpustakaan Universitas Perjuangan," 2019.
- [13] E. H. Wiguna and A. Subari, "Rancang Bangun Sistem Monitoring Ketinggian Air Dan Kelembaban Tanah Pada Penyiram Tanaman Otomatis Dengan Hmi (Human Machine Interface) Berbasis Raspberry Pi Menggunakan Software Node-Red," 2017.
- [14] J. Vinueza-Martinez, M. Correa-Peralta, R. Ramirez-Anormaliza, O. Franco Arias, and D. Vera Paredes, "Geographic Information Systems (GISs) Based on WebGIS Architecture: Bibliometric Analysis of the Current Status and Research Trends," Aug. 01, 2024, *Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI)*. doi: 10.3390/su16156439.
- [15] N. Rosyida, L. Dinira, A. N. Rusydi, A. D. Saputra, and G. Setiabudi, "Development of Web-based Geographic Information System for Water Quality Monitoring of Watershed in Malang," *INTENSIF: Jurnal Ilmiah Penelitian dan Penerapan Teknologi Sistem Informasi*, vol. 6, no. 2, pp. 184-197, Aug. 2022, doi: 10.29407/intensif.v6i2.17514.
- [16] N. K. Aini and C. B. P. Pribadi, "WebGIS Berbasis Leaflet JS untuk Pemetaan Persebaran Usaha Mikro di Kabupaten Nganjuk," *TEKNIK ITS*, vol. 10, No. 2, 2021.
- [17] T. Pricillia and Zulfachmi, "Survey Paper: Perbandingan Metode Pengembangan Perangkat Lunak (Waterfall, Prototype, RAD)," *Bangkit Indonesia*, vol. X, No.10, Mar. 2021.
- [18] S. Febrianti, M. Komarudin, H. D. Septama, and M. Mardiana, "Pengembangan Aplikasi Monitoring Pengecekan Suhu Tubuh Dengan Menggunakan Kamera AMG8833 Berbasis IoT Untuk Meminimalisir Penyebaran COVID-19," *Jurnal Informatika dan Teknik Elektro Terapan*, vol. 11, no. 2, Apr. 2023, doi: 10.23960/jitet.v11i2.3006.