

Perancangan Sistem Pemantauan Cuaca dan EWS Banjir Berbasis Wireless Sensor Network

1st Faris Kautsar*School of Electrical Engineering**Telkom University*

Bandung, Indonesia

farisfrz@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Diki Rizki Maulana*School of Electrical Engineering**Telkom University*

Bandung, Indonesia

dikirizkim@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Rischazefaniya Br Sinulingga*School of Electrical Engineering**Telkom University*

Bandung, Indonesia

rischazefaniya@student.telkomuniversity.ac.id

4th Chantika Rahma Galih Abu A'syifa*School of Electrical Engineering**Telkom University*

Bandung, Indonesia

chantikaragaa@student.telkomuniversity.ac.id

5th Brahmantya Aji Pramudita*The University Center of Excellence for**Intelligent Sensing-IoT**Telkom University*

Bandung, Indonesia

brahmantyaajip@telkomuniversity.ac.id

6th Dhoni Putra Setiawan*School of Electrical Engineering**Telkom University*

Bandung, Indonesia

setiawandhoni@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Cuaca ekstrem yang sulit diprediksi menjadi tantangan serius dalam upaya mitigasi bencana, khususnya di wilayah rawan banjir seperti Dayeuhkolot, Kabupaten Bandung. Ketergantungan pada sistem peringatan dini manual dari BBWS terbukti belum mampu memberikan respons yang cepat dan terintegrasi. Untuk menjawab kebutuhan tersebut, dikembangkan sistem monitoring berbasis Wireless Sensor Network (WSN) dan Internet of Things (IoT) yang mampu mengumpulkan data cuaca secara real-time melalui sensor lingkungan. Data yang diperoleh dikalibrasi menggunakan regresi linear untuk meningkatkan akurasi pembacaan, dan selanjutnya digunakan dalam pelatihan model Machine Learning XGBoost untuk menghasilkan prakiraan cuaca lokal yang lebih akurat. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur Early Warning System (EWS) banjir yang bekerja berdasarkan tinggi muka air sungai secara real-time, tanpa bergantung pada prediksi. Implementasi dilakukan di dua lokasi, yaitu Teras Cikapundung dan Polder Cipalasari, serta terintegrasi dengan aplikasi seluler dan website We-Weather sebagai media pemantauan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa tinggi dalam prediksi cuaca dan kemudahan penggunaan, sehingga diharapkan dapat memperkuat sistem mitigasi bencana hidrometeorologi dan mendukung pengambilan keputusan oleh masyarakat serta pemangku kepentingan.

Kata kunci— Cuaca ekstrem, Early Warning System, banjir, Machine Learning, Wireless Sensor Network, XGBoost, Monitoring.

I. PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Cuaca ekstrem sering kali sulit diperkirakan dan bisa muncul tanpa diduga, sehingga dapat menimbulkan ancaman besar terhadap kehidupan manusia [1], [2]. Salah satu dampak signifikan dari cuaca ekstrem di Indonesia adalah banjir. Banjir merupakan bencana yang menjadi masalah bagi masyarakat yang tinggal di daerah dataran rendah maupun di bantaran sungai. Penyebab terjadinya banjir umumnya terdapat peningkatan volume air di bantaran sungai karena curah hujan yang tinggi [3]. Sehingga memungkinkan

terjadinya luapan yang tidak terkendali ke wilayah pemukiman sekitar.

Dayeuhkolot, Kabupaten Bandung, merupakan wilayah cekungan yang sangat rentan terhadap banjir. Lokasinya yang berada di pertemuan Sungai Cikapundung dan Sungai Citarum menyebabkan peningkatan risiko banjir saat curah hujan tinggi, karena volume air dari kedua sungai tersebut meningkat dan menyebabkan kenaikan muka air. Selain faktor alam, pertumbuhan penduduk yang pesat juga memperparah kondisi ini. Kepadatan bangunan menyebabkan berkurangnya area resapan air, sementara sedimentasi di sungai turut memicu penurunan muka tanah. Pada Januari 2024, banjir besar melanda Dayeuhkolot dan merendam sekitar 2.000 rumah. Ketinggian air bisa mencapai satu meter, memaksa ribuan warga mengungsi dan menimbulkan kerugian ekonomi yang signifikan, terutama di sektor pertanian, transportasi, dan kesehatan. Banjir di wilayah ini menjadi ancaman serius karena sering terjadi secara tiba-tiba dan sulit diprediksi.

Pencegahan banjir di wilayah Dayeuhkolot, Kabupaten Bandung, saat ini masih mengandalkan sistem manual yang djalankan oleh petugas Balai Besar Wilayah Sungai (BBWS). Informasi kondisi sungai disampaikan melalui aplikasi WhatsApp, di mana petugas BBWS Cikapundung mengirimkan laporan kepada petugas di Dayeuhkolot. Setelah menerima informasi, peringatan dini diberikan melalui sirine, dan kolam di Polder Cipalasari dikosongkan untuk menampung air. Meskipun prosedur ini telah berjalan, sistem tersebut belum terintegrasi secara otomatis dan responsif, sehingga berpotensi menghambat upaya mitigasi banjir. Untuk mengatasi keterbatasan tersebut, dibutuhkan sistem monitoring yang lebih modern dan terintegrasi, seperti aplikasi dan website yang mampu menampilkan data cuaca dan tinggi muka air secara real-time. Dengan dukungan sensor IoT dan teknologi cloud, sistem ini dapat memberikan peringatan dini secara otomatis kepada masyarakat, sehingga meningkatkan kesiapsiagaan dan efektivitas dalam menghadapi potensi banjir.

II. KAJIAN TEORI

A. Banjir

Banjir merupakan fenomena alam yang dapat berubah menjadi bencana ketika wilayah dataran banjir dan daerah tangkapan air dimanfaatkan untuk pemukiman dan pembangunan. Pertumbuhan populasi yang pesat telah mengubah pola pengelolaan sumber daya alam, sehingga meningkatkan risiko banjir. Perubahan tutupan lahan dari hutan menjadi lahan pertanian dan permukiman mengurangi kemampuan daerah tangkapan air dalam menyerap dan menahan air, serta memperbesar aliran permukaan [4].

B. Internet of Things

Internet of Things (IoT) adalah konsep teknologi yang memungkinkan perangkat fisik seperti sensor, aktuator dan mikrokontroler untuk saling terhubung melalui jaringan internet [5]. Melalui koneksi ini, perangkat-perangkat tersebut dapat secara otomatis mengumpulkan, mengirimkan dan memproses data tanpa intervensi manusia secara langsung. IoT menggabungkan kemampuan komputasi, komunikasi data, dan sensorik dalam satu sistem yang terintegrasi, sehingga memungkinkan pemantauan dan pengendalian lingkungan secara efisien dan real-time.

C. Early Warning System

Early Warning System (EWS) merupakan sistem yang dirancang untuk mendeteksi potensi bencana secara dini dan memberikan peringatan kepada masyarakat serta pihak berwenang sebelum dampak yang lebih besar terjadi. Dalam konteks banjir sebagai bagian dari bencana hidrometeorologi, EWS berfungsi sebagai alat mitigasi yang menggabungkan teknologi pemantauan lingkungan berbasis Internet of Things (IoT), analisis data real-time, dan komunikasi risiko. Sistem ini bekerja dengan mengumpulkan data seperti curah hujan, tinggi muka air sungai, dan kecepatan aliran air melalui sensor, yang kemudian dianalisis menggunakan model hidrologi dan algoritma prediktif berbasis machine learning untuk memperkirakan potensi banjir. Jika terdeteksi ancaman, sistem akan menyampaikan peringatan dini melalui berbagai saluran komunikasi seperti sirine, SMS, aplikasi seluler, media sosial, dan pengeras suara lokal, sehingga masyarakat dan instansi terkait memiliki waktu yang cukup untuk melakukan evakuasi atau tindakan pencegahan [6].

D. Machine Learning

Machine Learning adalah teknologi yang memungkinkan komputer untuk belajar dari data dan membuat keputusan atau prediksi tanpa diprogram secara langsung. ML bekerja dengan mengenali pola dalam data, lalu menggunakan pola tersebut untuk memecahkan masalah atau memprediksi hasil di masa depan [7]. Dalam sistem cuaca dan peringatan dini banjir, ML digunakan untuk menganalisis data sensor secara otomatis dan mendeteksi potensi bahaya lebih cepat dan akurat.

XGBoost merupakan pengembangan dari metode Gradient Boosting yang dilengkapi dengan berbagai fitur untuk meningkatkan efisiensi komputasi dan mengurangi risiko overfitting [1]. Berbeda dengan versi standar Gradient Boosting yang memiliki kontrol *overfitting* terbatas, XGBoost menawarkan mekanisme regularisasi yang lebih

kuat. Dengan optimasi penggunaan memori dan pemanfaatan cache, algoritma ini mampu bekerja secara cepat dan efisien. Dalam pendekatannya, XGBoost menggunakan fungsi objektif yang menggabungkan fungsi loss dan komponen regularisasi untuk menyeimbangkan antara akurasi dan kompleksitas model.

$$Objective = Loss + Regularization \quad (1)$$

Pada pembelajaran mesin, fungsi objektif dirancang untuk meminimalkan nilai total yang terdiri dari fungsi kerugian dan komponen regularisasi, karena fokus penelitian ini adalah pada proses minimisasi, bukan maksimisasi.

$$L(\emptyset) = \Sigma l(\hat{y}_i, y_i) + \Sigma k \Omega(f_k) \quad (2)$$

$$\Sigma l(\hat{y}_i, y_i) = loss\ function \quad (3)$$

$$\Sigma k \Omega(f_k) = Regularization \quad (4)$$

E. Wireless Sensor Network

Wireless Sensor Network (WSN) merupakan jaringan yang terdiri dari sejumlah node sensor kecil yang saling terhubung secara nirkabel dan berfungsi untuk memantau serta mengumpulkan data dari lingkungan sekitar [8]. Setiap node sensor dalam WSN memiliki kemampuan untuk mendeteksi parameter fisik seperti suhu, kelembapan, tekanan udara, getaran dan tinggi muka air, tergantung pada jenis sensor yang digunakan. Data yang dikumpulkan oleh sensor-sensor ini dikirimkan secara otomatis ke pusat pengolahan atau server melalui jaringan komunikasi tanpa kabel, seperti ZigBee, LoRa, Wi-Fi, atau GSM.

III. METODE

A. Batasan dan Spesifikasi

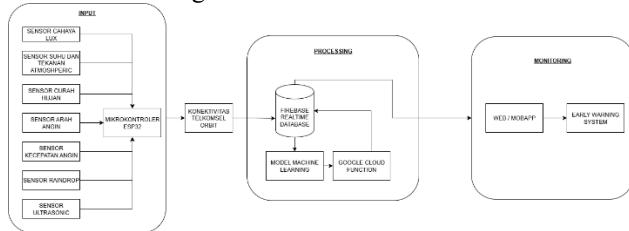
Perencanaan pemasangan perangkat untuk sistem prediksi cuaca dan peringatan dini banjir akan dilakukan di wilayah BBWS Cikapundung dan BBWS Cipalasari. Lokasi ini dipilih karena memiliki posisi strategis sebagai pusat informasi penting dalam upaya mitigasi banjir, serta dikenal sebagai salah satu daerah dengan kontribusi debit air tertinggi, khususnya menuju kawasan Dayeuhkolot. Mengacu pada studi sebelumnya, sistem pemantauan cuaca berbasis teknologi Internet of Things (IoT) dirancang untuk mengukur berbagai parameter seperti suhu, kelembapan udara, intensitas cahaya, arah dan kecepatan angin, deteksi hujan, serta volume curah hujan, dengan tingkat akurasi minimal 80–85% [9], [10]. Sistem ini juga dikembangkan lebih lanjut dengan kemampuan untuk memantau tinggi muka air sungai [11], [12].

Detail mengenai batasan dan spesifikasi produk telah dijelaskan dalam Tabel 1, dimana mencakup parameter-parameter penting untuk menjamin kinerja sistem sesuai dengan kebutuhan alat:

Tabel 1. Batasan dan Spesifikasi

No	Batasan	Spesifikasi	No	Batasan	Spesifikasi
1.	Produk dapat mendeteksi beberapa parameter untuk memprediksi cuaca	<ul style="list-style-type: none"> - Spesifikasi 1 : Mendeteksi suhu dari rentang 15°C - 38°C dan memiliki akurasi $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ [13]. - Spesifikasi 2 : Mendeteksi kelembaban dari rentang 20%RH – 98%RH dengan akurasi $\pm 2\%$RH [13]. - Spesifikasi 3 : Mendeteksi tekanan udara di rentang 940hPa – 1040hPa (kelipatan 100x pascal, yang merupakan satuan SI untuk tekanan) dan memiliki akurasi $\pm 0,12$ hPa [13]. - Spesifikasi 4 : Mendeteksi intensitas cahaya matahari luar ruangan dengan rentang maksimal 0 - 65535 Lux. - Spesifikasi 5 : Mendeteksi apabila mulai terjadi hujan. - Spesifikasi 6 : Mendeteksi curah hujan dengan rentang minimal 0.5mm/hari dan maksimal $>150\text{mm}/\text{hari}$ [13], [14] - Spesifikasi 7 : Mendeteksi pergerakan angin dari berbagai arah 			<ul style="list-style-type: none"> - Spesifikasi 8 : Menghitung kecepatan angin dengan rentang 0 ms – 4,5 ms [13]. - Spesifikasi 9 : Mampu memantau tinggi muka air sungai. Dengan jarak penempatan alat maksimal 4 meter dari permukaan air [15].
			2.	Produk dapat mengirim data parameter cuaca ke Database	Memiliki sistem komunikasi yang mampu mengirim data ke database dengan $delay < 5\text{s}$ [16].
			3.	Produk memiliki sistem pemantauan untuk prediksi cuaca dan peringatan dini	<ul style="list-style-type: none"> - Spesifikasi 1 : Menggunakan Model <i>Machine Learning</i> yang dapat memprediksi cuaca berdasarkan pola data historis dan menghasilkan akurasi minimal 80-85%. - Spesifikasi 2 : Sistem pemantauan yang mudah digunakan oleh pengguna dengan menampilkan informasi cuaca, prediksi cuaca dan peringatan dini banjir secara tepat dan akurat.

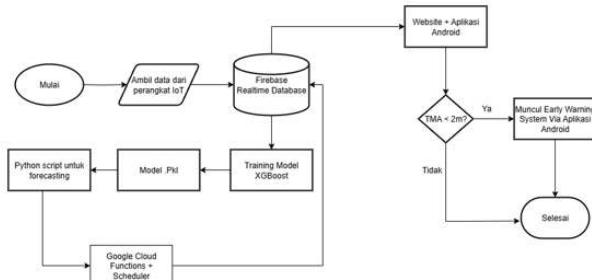
B. Blok Diagram



Gambar 1. Blok Diagram Sistem

Blok diagram sistem yang ditujukan pada Gambar 1 merupakan Gambaran secara keseluruhan yang terdiri dari tiga tahapan utama: Input, Processing, dan Monitoring. Pada tahap Input, mikrokontroler mengumpulkan data dari sensor dan mengirimkannya ke tahap berikutnya melalui koneksi seluler. Selanjutnya, pada tahap Processing, data tersebut disimpan dalam Realtime Database dan digunakan untuk melatih model Machine Learning. Setelah model berhasil dilatih, ia akan di-deploy ke platform Google Cloud dan berjalan secara otomatis, dengan hasil prediksi disimpan kembali ke Firebase Realtime Database. Pada tahap Monitoring, data cuaca real-time dan hasil prediksi ditampilkan melalui website dan aplikasi Android, yang juga dilengkapi dengan fitur *Early Warning System* (EWS) yang aktif ketika tinggi muka air melebihi ambang batas yang telah ditentukan.

C. Flowchart Alur Kerja Sistem



Gambar 2. Flowchart Alur Kerja Sistem

Flowchart pada Gambar 2 menggambarkan alur sistem pengumpulan, pemrosesan, penyimpanan, dan penerapan klasifikasi machine learning untuk data cuaca dalam sistem peringatan dini banjir (EWS). Proses dimulai saat perangkat IoT aktif dan mulai mengirimkan data cuaca secara berkala ke Firebase Realtime Database. Data tersebut kemudian diekspor untuk melatih model Machine Learning menggunakan algoritma XGBoost, dan hasil model disimpan dalam format .pkl. Sebuah script Python mengambil data terbaru dari Firebase untuk melakukan prediksi, lalu hasilnya dikirim kembali ke Firebase. Script ini dijalankan otomatis melalui Google Cloud Functions dan dijadwalkan dengan Cloud Scheduler. Pemantauan dilakukan melalui website dan aplikasi Android, yang akan menampilkan notifikasi peringatan dini jika tinggi muka air melebihi 2 meter.

D. Prototipe Design Aplikasi



Gambar 3. Prototipe Desain Aplikasi

Pada Gambar 3 terdapat tampilan dari aplikasi seluler yang akan digunakan oleh pengguna. Terdapat 2 Halaman yaitu halaman awal dan halaman utama. Pada halaman awal aplikasi "We Weather", pengguna disambut oleh tampilan yang sederhana dan interaktif. Terdapat tombol yang berfungsi sebagai penghubung antara halaman awal dan halaman utama, dimana informasi detail mengenai cuaca tersedia yang disimbolkan dengan 'A'. Kemudian pada halaman utama aplikasi "We Weather" pengguna akan disambut dengan tampilan informatif dan interaktif. Fitur 'B' akan menampilkan lokasi pemantauan cuaca. Fitur 'C' akan menampilkan suhu terkini dan ikon yang menggambarkan situasi tersebut akan direpresentasikan oleh fitur 'D', dalam contoh yaitu mostly cloudy.

Informasi *realtime* parameter cuaca seperti kelembapan, kecepatan angin, suhu, curah hujan, cahaya dan tekanan udara disediakan oleh fitur 'F'. Pengguna dapat melihat prakiraan cuaca dalam 24 jam kedepan pada fitur 'G'. Fitur ini memberikan visualisasi yang mudah untuk pengguna mengetahui kondisi cuaca, seperti kapan hujan turun dengan mudah. Untuk prediksi cuaca 10 hari kedepan direpresentasikan dengan simbol 'H'. Notifikasi peringatan dini banjir untuk pengguna akan direpresentasikan oleh fitur 'I'.

E. Prototipe Tampilan Website



Gambar 4. Tampilan Desain Website

Pada Gambar 3.6 terdapat tampilan dari website yang akan digunakan oleh pengguna. Pada halaman awal website "We Weather", pengguna disambut oleh tampilan yang sederhana dan interaktif. Pengguna dapat melihat prakiraan cuaca dengan meng-klik tombol "cek cuaca" yang ada pada fitur 'A'. Pada halaman utama, pengguna akan melihat

tampilan "Today's Weather". Fitur 'B' menampilkan *navigation bar* yang memudahkan pengguna untuk melihat berbagai informasi, seperti prakiraan cuaca hari ini (*today*), prakiraan cuaca setiap jam (*hourly*) dan prakiraan cuaca dalam 10 hari (*10 days*). Pengguna dapat melihat kondisi cuaca saat ini, seperti suhu dan keterangan cuaca di dua lokasi berbeda, yaitu Cikapundung dan Cipalasari pada fitur 'C'. Fitur 'D' akan menampilkan nilai dari berbagai parameter cuaca, seperti tekanan udara, tinggi muka air, kecepatan angin, arah angin, kelembapan udara dan intensitas cahaya.

Pada fitur 'E', pengguna dapat melihat prakiraan cuaca selama 24 jam ke depan yang akan menampilkan beberapa parameter cuaca, seperti suhu, kelembapan, curah hujan dan keterangan kondisi cuaca. Pada fitur 'G', pengguna dapat melihat prakiraan cuaca selama 10 hari ke depan dalam bentuk tabel yang interaktif. Pada halaman yang sama, pengguna akan mendapatkan link untuk dapat melihat catatan kondisi cuaca selama 10 hari terakhir. Hal ini ditunjukkan oleh fitur 'F'. Tampilan kondisi cuaca selama 10 hari terakhir ditunjukkan pada fitur 'H'.

F. Backend System

Seluruh fungsi backend dalam sistem ini dijalankan menggunakan layanan cloud, yaitu Firebase Realtime Database dan Google Cloud Platform, khususnya Google Cloud Functions dan Cloud Scheduler. Firebase Realtime Database berfungsi sebagai tempat penyimpanan data, mulai dari data yang dikirim oleh perangkat IoT hingga hasil forecasting dari model Machine Learning, dengan format penyimpanan berupa JSON. Untuk proses pengambilan dan pengolahan data, sistem menggunakan script Python yang bertugas mengambil data terbaru dari Firebase sebagai input untuk model prediksi cuaca, lalu mengirimkan hasilnya kembali ke Firebase. Agar proses ini berjalan otomatis, script Python tersebut dideploy ke Google Cloud Functions dan dijalankan secara berkala menggunakan Cloud Scheduler sesuai waktu yang telah ditentukan.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skenario Umum Pengujian

Berdasarkan permasalahan yang timbul akibat perubahan cuaca yang tidak menentu dan potensi banjir yang dapat merugikan masyarakat, telah dirancang sebuah sistem pemantauan dan peringatan dini berbasis stasiun cuaca. Sistem ini bertujuan untuk menyediakan informasi meteorologi yang akurat guna mendukung pengambilan keputusan dalam menghadapi risiko bencana hidrometeorologi. Dengan mengintegrasikan teknologi Internet of Things (IoT) dan algoritma pembelajaran mesin XGBoost, sistem ini mampu memprediksi kondisi cuaca dalam jangka waktu 24 jam hingga sepuluh hari ke depan. Untuk mengevaluasi efektivitas dan akurasi sistem, akan dilakukan serangkaian uji coba yang mencakup aspek teknis dan fungsional secara menyeluruh:

1. Pengujian Akurasi Sensor IoT: Melakukan perbandingan hasil pengukuran sensor dengan alat standar industri serta menerapkan metode regresi linear, guna memastikan bahwa data yang dihasilkan memiliki tingkat akurasi dan keandalan yang tinggi.

2. Pengujian Aplikasi seluler dan Website We-Weather: Melakukan pengujian dengan metode *System Usability Scale*. Kuesioner ini berfungsi untuk mendapatkan umpan balik dari pengguna agar mengetahui kepuasan dan kebergunaan dari aplikasi seluler dan website We-Weather.

Proses implementasi stasiun cuaca ini berlangsung pada bulan Juni, dimana ditempatkan di dua lokasi yakni polder Cipalasari, yang difokuskan untuk prediksi cuaca, serta Cikapundung, yang selain memantau cuaca juga dilengkapi sensor ketinggian air untuk mendeteksi potensi banjir.

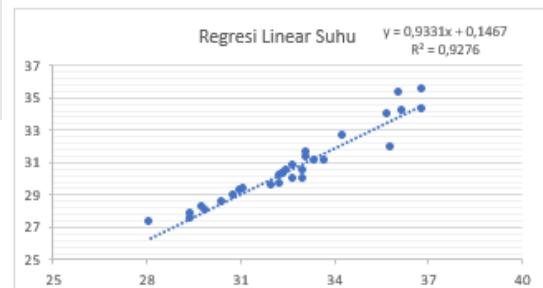


Gambar 5. Tampilan Alat Cikapundung

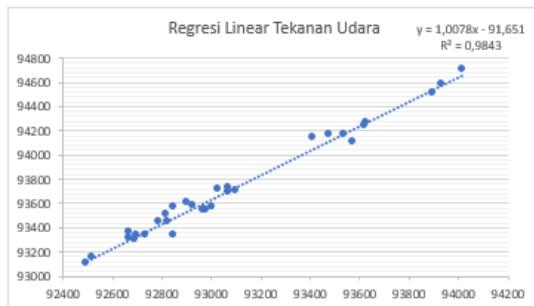


Gambar 6. Tampilan Alat Cipalasari

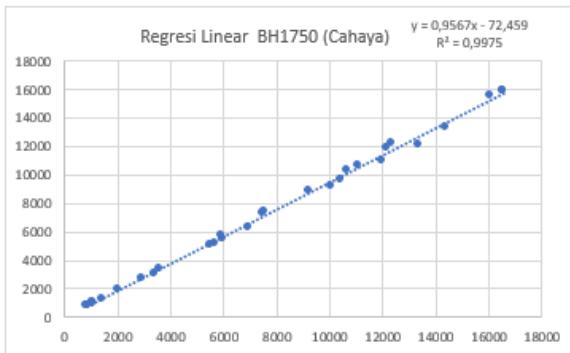
B. Pengukuran Sensor IoT



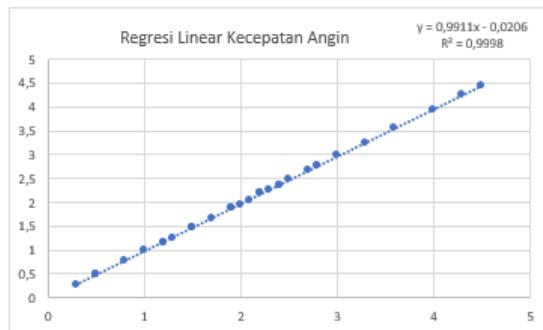
Gambar 7. Regresi Linear Suhu



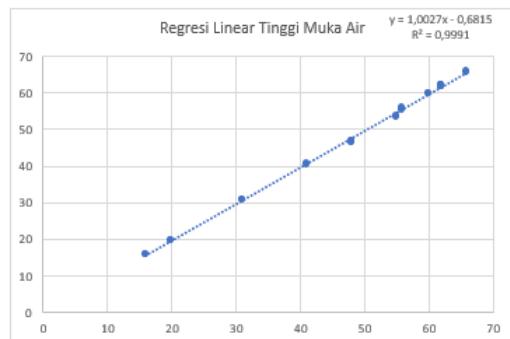
Gambar 8. Regresi Linear Tekanan Udara



Gambar 9. Regresi Linear Cahaya



Gambar 10. Regresi Linear Kecepatan Angin



Gambar 11. Regresi Linear Tinggi Muka Air

Pengujian akurasi sensor dilakukan dengan metode regresi linear, di mana data dikumpulkan secara simultan dari sensor IoT dan alat ukur anemometer multi fungsi dalam berbagai kondisi cuaca dan lingkungan. Data tersebut kemudian dianalisis untuk memperoleh koefisien regresi linear yang digunakan untuk menyesuaikan hasil pembacaan sensor agar lebih akurat. Analisis ini mencakup perhitungan standar error, nilai koefisien determinasi (R^2), serta evaluasi

residu guna memastikan bahwa model regresi linear benar-benar merepresentasikan hubungan antara data sensor dan data referensi.

Hasil pengujian menunjukkan peningkatan signifikan dalam akurasi pengukuran sensor. Keberhasilan ini didukung oleh ketelitian alat ukur anemometer sebagai acuan, kemampuan pengumpulan data dalam berbagai kondisi cuaca, serta penerapan metode regresi linear yang sesuai untuk menyesuaikan output sensor. Meski demikian, penelitian ini juga menemukan beberapa kendala, seperti fluktuasi kondisi lingkungan yang memengaruhi konsistensi data sensor, serta keterbatasan dalam melakukan kalibrasi pada kondisi cuaca ekstrem. Untuk mengatasi hal tersebut, disarankan adanya pengembangan prosedur kalibrasi dengan memperluas cakupan kondisi pengujian dan mempertimbangkan penggunaan metode kalibrasi lanjutan, seperti algoritma regresi non-linear atau teknik kalibrasi adaptif, agar pembacaan sensor lebih sesuai dengan kondisi cuaca aktual.

C. Cara kerja dan Implementasi Aplikasi

We-Weather merupakan aplikasi seluler berbasis Android yang dikembangkan sebagai platform pemantauan dan visualisasi data prediksi cuaca. Dalam sistem ini, digunakan mikrokontroler ESP32 untuk menerima data dari berbagai sensor lingkungan. Data yang diperoleh kemudian dikirimkan ke Firebase sebagai cloud database untuk disimpan dan diolah sebelum ditampilkan kepada pengguna. Desain antarmuka aplikasi dibuat menggunakan Figma, dengan fokus pada kemudahan penggunaan dan pengalaman pengguna yang menarik. Pengembangan aplikasi dilakukan di Visual Studio Code menggunakan framework Flutter, yang memungkinkan proses pembuatan aplikasi menjadi lebih cepat, responsif, dan kompatibel dengan berbagai perangkat Android.

- Halaman Utama



Gambar 12. Tampilan Utama Aplikasi

Gambar 12 menampilkan antarmuka halaman utama aplikasi. Pada halaman ini, pengguna dapat mulai memantau kondisi cuaca dengan menekan tombol "Pantau Cuaca". Setelah tombol ditekan, akan muncul panel navigasi "Pilih

Lokasi" yang meminta pengguna untuk menentukan lokasi pemantauan, seperti Cikapundung atau Cipalasari. Setelah lokasi dipilih, pengguna akan diarahkan ke dashboard utama aplikasi We-Weather untuk melihat informasi cuaca secara lebih detail.

- Halaman Dashboard



Gambar 13. Dashboard Aplikasi

Gambar 13 menampilkan antarmuka halaman dashboard pada aplikasi. Di halaman ini, pengguna dapat memantau informasi cuaca terkini serta prediksi untuk wilayah Cikapundung. Informasi yang disajikan mencakup berbagai parameter meteorologis utama seperti suhu, kelembapan, curah hujan, kecepatan angin, tekanan udara, dan tinggi muka air di lokasi pemantauan. Status cuaca saat ini ditampilkan secara visual melalui ikon dan deskripsi teks, misalnya "Berawan – Tidak Berangin". Selain itu, pengguna juga dapat melihat prakiraan cuaca per jam dan prediksi harian hingga 10 hari ke depan, yang disajikan secara interaktif dan mudah dipahami.

- Notifikasi Peringatan Dini Banjir



Gambar 14. Notifikasi EWS

Gambar 14 menunjukkan notifikasi peringatan dini banjir yang dirancang untuk memberikan informasi secara real-time kepada pengguna. Notifikasi ditampilkan secara visual mencolok dalam bentuk pop-up dengan latar merah, ikon peringatan, serta pesan teks yang berisi status dan level ketinggian air. Hal ini bertujuan agar pengguna dapat segera memahami situasi dan mengambil langkah mitigasi lebih awal.

D. Cara Kerja dan Implementasi pada Website

Website *We-Weather* dikembangkan menggunakan Visual Studio Code, dirancang sebagai platform untuk menyajikan informasi cuaca secara terstruktur dan mudah diakses.

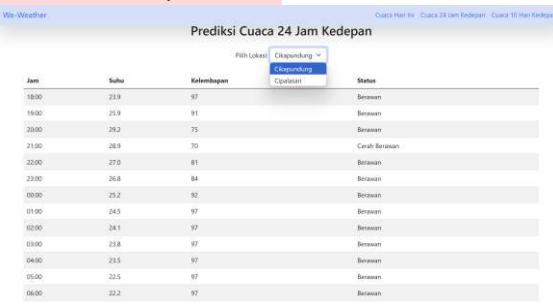
- Halaman Dashboard



Gambar 15. Dashboard Website

Gambar 15 memperlihatkan antarmuka halaman "Today" dalam aplikasi. Pada halaman ini, pengguna dapat melihat data cuaca terkini dari dua lokasi spesifik, yaitu Cikapundung dan Cipalasari. Informasi yang ditampilkan mencakup parameter cuaca utama seperti suhu, kelembapan, kecepatan dan arah angin, tekanan udara, serta tinggi muka air Sungai Cikapundung. Penyajian data secara real-time memungkinkan pengguna untuk memantau kondisi lingkungan secara akurat dan terkini.

- Halaman Hourly



Gambar 16. Prediksi per Jam

Gambar 16 menampilkan antarmuka halaman "Prediksi Cuaca 24 Jam Ke Depan". Halaman ini menyajikan prakiraan cuaca selama satu hari penuh, dengan opsi pemilihan lokasi seperti Cikapundung atau Cipalasari melalui label "Pilih Lokasi". Pengguna dapat melihat parameter cuaca seperti suhu, kelembapan, curah hujan, dan kondisi cuaca terkini, sehingga membantu dalam merencanakan aktivitas harian.

- Halaman Weather Prediction in 10 Days



Gambar 17. Prediksi 10 Hari

Gambar 17 menampilkan antarmuka halaman "Prediksi Cuaca 10 Hari Ke Depan". Halaman ini menyajikan prakiraan cuaca untuk sepuluh hari mendatang, dengan opsi pemilihan lokasi seperti Cikapundung atau Cipalasari. Selain prediksi jangka menengah, pengguna juga dapat melihat riwayat cuaca selama 10 hari terakhir melalui tombol "Lihat Riwayat 10 Hari Terakhir".

- Halaman Data Cuaca 10 Hari Ke belakang



Gambar 18. Data Cuaca 10 Hari Kebelakang

Pengguna dapat memilih lokasi pemantauan terlebih dahulu dengan menekan tombol 'Pilih Lokasi'. Halaman ini menampilkan rekaman data cuaca dalam sepuluh hari terakhir, yang dapat pengguna gunakan untuk analisis *trend* cuaca.

E. Pengujian SUS pada Aplikasi dan Website

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui kuesioner yang diisi oleh 30 responden. 25 diantaranya adalah mahasiswa dan masyarakat umum sedangkan 5 responden terakhir adalah pegawai BBWS. Skor rata-rata kegunaan dari aplikasi seluler dan website diperoleh dalam analisis tersebut. Nilai rata-rata dihitung dari total skor seluruh responden lalu dibagi dengan jumlah responden. Setelah menghitung skor kegunaan untuk masing-masing responden, diperoleh skor rata-rata untuk website menurut masyarakat umum dan mahasiswa sebesar 86,6 dan menurut pegawai BBWS sebesar 77,5. Skor rata-rata untuk aplikasi seluler menurut masyarakat dan mahasiswa adalah 88,7 dan menurut pegawai BBWS adalah 77.

Skor SUS kemudian dianalisis dan diinterpretasikan menggunakan kategori penerimaan, skala nilai, dan penilaian adjektif dengan skala 10 poin. SUS juga menyediakan metode lain dalam menentukan hasil penilaian melalui rentang persentil skor SUS yang dapat dilihat pada Tabel 3. Berdasarkan Tabel website We-Weather menurut masyarakat umum dan mahasiswa dengan nilai 86,6, masuk dalam kategori "Acceptable" dan menurut pegawai BBWS sebesar 77,5, masuk dalam kategori "Acceptable". Skor rata-rata untuk aplikasi seluler menurut masyarakat dan mahasiswa adalah 88,7, masuk dalam kategori "Acceptable" dan menurut pegawai BBWS adalah 77, masuk dalam kategori "Acceptable".

Tabel 2. Skor SUS

Grade	Score
A	$x > 80,3$
B	$74 \leq x < 80,3$
C	$68 \leq x < 74$
D	$51 \leq x < 68$
E	$x < 51$

Hal ini menandakan bahwa penggunaan website dan aplikasi seluler We-Weather mendapatkan penilaian yang positif dari pengguna. Hal tersebut menunjukkan bahwa

sistem dapat memenuhi harapan dan kebutuhan pengguna, serta memberikan pengalaman yang memuaskan bagi pengguna.

Tabel 3. Tabel Persentil SUS

Skor SUS	Kesimpulan
0-50,9	<i>Not Acceptable</i>
51-70,9	<i>Marginal</i>
71-100	<i>Acceptable</i>

Dari hasil pengujian ini, dapat disimpulkan bahwa website dan aplikasi seluler We-Weather memiliki tingkat kegunaan yang baik, informatif, dan relatif mudah digunakan. Namun, pengembangan lebih lanjut masih diperlukan, terutama dalam peningkatan fitur dan desain tampilan, agar skor kegunaan website dan aplikasi seluler dapat meningkat.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem monitoring cuaca dan peringatan dini banjir berbasis IoT yang terintegrasi dengan aplikasi seluler dan website We-Weather. Sistem ini memanfaatkan mikrokontroler ESP32 dan sensor lingkungan untuk mengumpulkan data real-time, yang kemudian dianalisis menggunakan algoritma XGBoost untuk prediksi cuaca dan klasifikasi potensi banjir. Integrasi sistem ke dalam platform digital memungkinkan pengguna untuk mengakses informasi cuaca harian dan mingguan secara akurat, serta menerima peringatan dini banjir secara cepat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem memiliki performa prediksi yang tinggi dan antarmuka yang mudah digunakan, sebagaimana dibuktikan melalui skor usability yang sangat baik. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya meningkatkan efektivitas pemantauan lingkungan, tetapi juga memperkuat kesiapsiagaan masyarakat dan pemangku kepentingan terhadap bencana hidrometeorologi.

REFERENSI

- [1] D. D. Wiwaha, D. A. Gafyunedi, Z. M. Mahdi, I. W. Putro, B. A. Pramudita, and D. P. Setiawan, "Enhancing Rainfall Prediction Accuracy through XGBoost Model with Data Balancing Techniques," *2024 20th IEEE International Colloquium on Signal Processing and Its Applications, CSPA 2024 - Conference Proceedings*, pp. 120–125, 2024, doi: 10.1109/CSPA60979.2024.10525558.
- [2] I. A. Wandi and A. Ashari, "Monitoring Ketinggian Air dan Curah Hujan Dalam Early Warning System Bencana Banjir Berbasis IoT," *IJEIS (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, vol. 13, no. 1, Apr. 2023, doi: 10.22146/ijeis.83569.
- [3] D. B. M. Arya, F. Dewanta, and S. Astuti, "Analisis Perbandingan Algoritma Decision Tree, Random Forest, dan Naïve Bayes untuk Prediksi Banjir di Desa Dayeuhkolot," *TELKA*, vol. 9, no. 1, pp. 52–61, 2023.

- [4] M. Ridwan and J. Sarjito, "Studi Kajian Dampak Perubahan Tutupan Lahan terhadap Kejadian Banjir di Daerah Aliran Sungai," *ENVIRO: Journal of Tropical Environmental Research*, vol. 26, no. 1, p. 38, 2024, doi: 10.20961/enviro.v26i1.93145.
- [5] H. S. Destian Setiyo Anggoro, "SISTEM MONITORING CUACA DAN PERINGATAN BANJIR BERDASARKAN KETINGGIAN AIR DENGAN BERBASIS INTERNET OF THINGS (IOT)," vol. 3, no. 1, pp. 1–15, 2024, [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1016/j.bpj.2015.06.056%0Ahttp://academic.oup.com/bioinformatics/article-abstract/34/13/2201/4852827%0Ainternal-pdf://semisupervised-3254828305/semisupervised.ppt%0Ahttp://dx.doi.org/10.1016/j.str.2013.02.005%0Ahttp://dx.doi.org/10.10>
- [6] N. Dina Adharina and D. Lukmanur Hakim, "Faktor-Faktor Masyarakat Tetap Tinggal di Kawasan Rawan Bencana Banjir, Desa Dayeuhkolot, Kabupaten Bandung Factors for Community Remaining Living in Areas Prone to Flood Disasters, Dayeuhkolot Village, Bandung Regency," *Journal of Urban and Regional Spatial*, vol. 4, no. 3, pp. 199–205, 2024, [Online]. Available: <https://ejournalfakultasteknikunibos.id/index.php/jusps>
- [7] A. Roihan, P. A. Sunarya, and A. S. Rafika, "Pemanfaatan Machine Learning dalam Berbagai Bidang: Review paper," *IJCIT (Indonesian Journal on Computer and Information Technology)*, vol. 5, no. 1, pp. 75–82, 2020, doi: 10.31294/ijcit.v5i1.7951.
- [8] R. D. Prasetya and I. R. Widiasari, "Perancangan IoT Monitoring Lingkungan Berbasis Wireless Sensor Network (WSN) Dengan Menerapkan Multi Sensor Network (MSN)," *JIPI (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, vol. 10, no. 1, pp. 652–666, 2025, doi: 10.29100/jipi.v10i1.6040.
- [9] Z. M. Mahdi, G. M. Aditya, I. W. Putro, B. A. Pramudita, and D. P. Setiawan, "Internet-of-Things-Based Rain Detection Device Using Machine Learning Classification for Rain Prediction at Telkom University," *2023 International Conference on Data Science and Its Applications, ICoDSA 2023*, pp. 449–453, 2023, doi: 10.1109/ICoDSA58501.2023.10277315.
- [10] A. Sumardiono, E. Alimudin, Z. Zaenurrohman, and H. Susanti, "Rancang Bangun Monitoring Early Warning System Bencana Banjir Berdasarkan Ketinggian Aliran Sungai Menggunakan Modem SIM900 dan Internet of Things," *Infotekmesin*, vol. 13, no. 1, pp. 112–117, 2022, doi: 10.35970/infotekmesin.v13i1.1019.
- [11] Y. Abdan Syakur, E. Padang, B. Afkirl, J. Gunung Salju, M. Barat, and P. Barat, "Rancang Bangun Alat Ukur Ketinggian Permukaan Air Sungai Menggunakan Sensor Ultrasonik Aj-Sr04M," *Jurnal Natural*, vol. 19, no. 1, pp. 1412–1328, 2023.
- [12] M. Hardjianto, D. Ariyanto, and A. Aryasanti, "Penerapan Sensor Ultrasonik HC-SR04 dan Hujan untuk Memantau Ketinggian Air dan Pendekripsi Hujan," *Jurnal Media Informatika Budidarma*, vol. 6, no. 1, p. 251, 2022, doi: 10.30865/mib.v6i1.3486.
- [13] Badan Pusat Statistik Kota Bandung, "Parameter Cuaca rata-rata di Kota Bandung." Accessed: Nov. 16, 2024. [Online]. Available: <https://bandungkota.bps.go.id/id>
- [14] Badan Meteorologi Klimatologi dan Geofisika, "Prosedur Standar Operasi Pelaksanaan Peringatan Dini Pelaporan dan Diseminasi Informasi Cuaca Ekstrim," pp. 1–16, 2010.
- [15] U. Niswatal Khasanah, "Aplikasi Sensor Ultrasonik Sebagai Alat Ukur Jarak Digital Berbasis Arduino Application of Ultrasonic Sensors As Arduino-Based Digital Distance Measuring Instruments," *JSNu : Journal of Science Nusantara*, vol. 3, no. 4, pp. 135–140, 2023.
- [16] N. Jumisa and P. Jaya, "Sistem Monitoring dan Kontrol Tegangan PLTA Berbasis Internet Of Things (IoT)," *Voteteknika (Vocational Teknik Elektronika dan Informatika)*, vol. 11, no. 3, p. 335, 2023, doi: 10.24036/voteteknika.v11i3.124739.