

Sistem Prediksi Cuaca Berbasis Wireless Sensor Network dan Teknologi IoT dengan Machine Learning

1st Dias Daffa Wiwaha
*Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia*
 diaswiwaha@student.telkomuniiversity.ac.id

2nd Dhoni Putra Setiawan
*Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia*
 setiawandhoni@student.telkomuniversity.ac.id

3rd Brahmantya Aji Pramudita
*Fakultas Teknik Elektro
 Universitas Telkom
 Bandung, Indonesia*
 brahmantiyaajip@telkomuniiversity.ac.id

Abstrak - Prediksi cuaca yang akurat dan tepat waktu kian penting seiring dengan meningkatnya insiden cuaca ekstrem yang membawa dampak signifikan terhadap kehidupan dan ekonomi. Penelitian ini mengembangkan sebuah sistem prediksi cuaca berbasis Wireless Sensor Network dan Teknologi Internet of Things (IoT) dengan penerapan machine learning untuk meningkatkan akurasi prediksi cuaca di daerah tertentu. Sistem ini memanfaatkan sensor-sensor cuaca yang terintegrasi melalui IoT untuk mengumpulkan data cuaca secara *real-time*, yang kemudian dianalisis menggunakan model machine learning, khususnya XGBoost, untuk memprediksi kondisi cuaca mendatang. Proses kalibrasi sensor dilakukan dengan metode regresi linear untuk menyesuaikan pembacaan sensor dengan nilai referensi yang akurat. Model XGBoost dilatih dengan data yang telah dikalibrasi dan diproses untuk menghasilkan prediksi yang lebih akurat. Evaluasi model menunjukkan hasil yang menggembirakan dengan nilai metrik yang tinggi dalam akurasi sebesar 98,62%, presisi sebesar 96,57%, recall sebesar 99,42%, dan F1-score sebesar 97,97%, menandakan keberhasilan model dalam mengidentifikasi pola cuaca yang kompleks. Sistem ini diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam peringatan dini dan mitigasi risiko bencana hidrometeorologi, memungkinkan masyarakat dan pelaku ekonomi mengambil keputusan yang lebih tepat dalam menghadapi perubahan cuaca.

Kata kunci: Prediksi Cuaca, IoT, Machine learning, XGBoost, Sensor Network, Wireless Sensor Network.

I. PENDAHULUAN

A. Latar belakang

Perubahan cuaca yang ekstrem sering kali sulit diprediksi dan dapat muncul tiba-tiba, menciptakan ancaman serius bagi kehidupan dan aset manusia. Dalam konteks ini, prediksi cuaca yang akurat dan spesifik untuk daerah tertentu sangat penting. Kemampuan untuk memahami dan meramalkan kondisi cuaca adalah hal yang krusial bagi masyarakat umum dan pelaku ekonomi, karena informasi ini memungkinkan mereka mengambil keputusan yang tepat waktu dan menghindari dampak moral dan kerugian materi yang dapat disebabkan oleh cuaca buruk.

Cuaca ekstrem, seperti banjir, tanah longsor, badai, kekeringan, dan suhu ekstrem, memiliki potensi untuk menyebabkan bencana hidrometeorologi di berbagai lokasi. Faktor-faktor cuaca seperti siklus hidrologi, curah hujan, suhu, angin, dan kelembaban dapat memicu bencana

tersebut[1]. Konsekuensi dari cuaca ekstrem ini termasuk kerusakan infrastruktur, kerugian dalam sektor pertanian, serta dampak negatif terhadap kesejahteraan sosial dan ekonomi.

Pentingnya prediksi cuaca yang akurat semakin terasa seiring dengan meningkatnya insiden cuaca ekstrem dalam beberapa tahun terakhir. Tingkat frekuensi dan intensitas cuaca ekstrem telah meningkat secara signifikan, mengancam ketahanan infrastruktur dan ketahanan pangan, serta mengganggu aktivitas ekonomi dan kesejahteraan masyarakat secara umum.

Dalam menghadapi tantangan ini, salah satu pendekatan yang menjanjikan adalah penggunaan teknologi machine learning. Dengan memanfaatkan machine learning, kita dapat menganalisis data cuaca historis dan saat ini untuk mengidentifikasi pola-pola cuaca yang kompleks. Hal ini memungkinkan kita untuk membuat prediksi cuaca yang lebih akurat dan juga untuk mengidentifikasi potensi bencana cuaca yang mungkin terjadi di masa depan.

Meskipun telah ada berbagai aplikasi cuaca dengan sistem deteksi, masih ada kebutuhan yang mendesak untuk perbaikan, terutama dalam menampilkan informasi cuaca yang akurat dan spesifik untuk wilayah tertentu. Oleh karena itu, dalam tugas akhir ini, kami akan mengembangkan sistem prediksi cuaca yang berfokus pada wilayah tertentu, dengan tujuan mendukung aktivitas masyarakat dan pelaku ekonomi serta membantu mengurangi dampak dari cuaca ekstrem. Dengan memanfaatkan teknologi machine learning, melengkapi data kuantitatif yang relevan, dan merujuk pada literatur ilmiah yang kuat, penelitian ini bertujuan memberikan kontribusi positif dalam mengatasi tantangan cuaca ekstrem yang semakin mendesak di era perubahan iklim ini.

B. Analisis Masalah

Dari latar belakang yang telah dijelaskan maka disusun beberapa rumusan masalah, diantaranya yaitu:

1. Apa yang menyebabkan membutuhkan prediksi cuaca yang lebih baik?
2. Bagaimana Integrasi machine learning dan teknologi Internet of Things (IoT) Dapat Meningkatkan Akurasi Prediksi Cuaca?

C. Tujuan

Cuaca ekstrim dapat menyebabkan bencana bagi masyarakat yang terkena dampaknya, yang menekankan pentingnya pemberian peringatan mengenai kondisi cuaca di area atau wilayah tertentu. Berdasarkan latar belakang dan rumusan masalah tersebut, tujuan penelitian pada bab pendahuluan penelitian ini adalah:

1. Mengembangkan perangkat yang mampu memberikan informasi cuaca dan memprediksi kondisi cuaca di daerah tertentu. Sehingga, perangkat ini diharapkan mereka dapat dengan lebih siap menghadapi perubahan cuaca dan mengurangi potensi dampak negatifnya.
2. Mengintegrasikan model pembelajaran mesin dan teknologi Internet of Things (IoT) dalam sistem peringatan cuaca untuk meningkatkan akurasi prediksi cuaca

II. KAJIAN TEORI

Dalam merancang sebuah stasiun pendekripsi cuaca (weather station), dua komponen kunci yang perlu dipertimbangkan adalah microcontroller dan sensor-sensor yang dapat mengidentifikasi berbagai aspek cuaca. Salah satu aspek penting dalam prediksi cuaca adalah sistem deteksi curah hujan. Deteksi curah hujan menjadi suatu proses krusial dalam mengenali dan memberikan peringatan terkait kondisi hujan yang mungkin terjadi[2].

Selain deteksi curah hujan, aspek lain yang signifikan adalah kecepatan dan kelembapan angin. Perubahan tiba-tiba dalam arah dan kecepatan angin dapat menjadi indikator adanya perubahan cuaca dalam suatu wilayah. Misalnya, perubahan arah angin dari kering ke lembab dapat menjadi petunjuk potensi hujan. Kecepatan angin yang tinggi juga dapat mengindikasikan aktivitas hujan yang dekat. Angin berhembus dengan kecepatan lebih tinggi seringkali terkait dengan kondisi cuaca yang lebih tidak stabil dan basah.

Dengan memilih sensor-sensor yang mampu mengukur dengan akurat parameter-parameter seperti curah hujan, kecepatan, dan kelembapan angin, serta memanfaatkan microcontroller yang efisien, stasiun cuaca dapat memberikan data yang handal dan relevan untuk keperluan pemantauan dan prediksi cuaca. Perpaduan teknologi ini memungkinkan pengguna untuk mendapatkan informasi yang lebih akurat dan cepat terkait kondisi cuaca, membantu dalam pengambilan keputusan yang lebih baik terkait aktivitas sehari-hari atau mitigasi risiko terkait perubahan cuaca. Batasan dan Spesifikasi

A. Daftar Batasan dan Spesifikasi

Dalam meningkatkan ketepatan prediksi cuaca, metode standar mengandalkan observasi terhadap variabel kunci seperti suhu, curah hujan, dan kecepatan angin [3]. Oleh karena itu, peningkatan akurasi prediksi membutuhkan implementasi sensor-sensor Internet of Things (IoT) yang ditempatkan strategis untuk memantau secara *real-time* variabilitas cuaca. Adapun beberapa parameter yang digunakan untuk mendapatkan ketepatan prediksi cuaca:

1. Parameter Suhu
2. Parameter Tekanan Udara
3. Parameter Intensitas Cahaya
4. Parameter Deteksi Hujan
5. Parameter Volume Hujan

6. Parameter Kecepatan Angin

7. Arah Angin

Dari parameter tersebut dapat diasumsikan bahwa titik kefokusannya prediksi cuaca berdasarkan pengamatan kondisi lingkungan. Selain itu tingkat akurasi dari prediksi cuaca minimal 80 - 85 % sesuai dengan tingkat akurasi cuaca yang diperoleh dari website BMKG. Detail teknis ini memberikan pandangan umum tentang kemampuan yang diintegrasikan dalam sistem weather station IoT.

B. Metode Pengukuran Spesifikasi

TABEL 1
Metode Pengukuran Spesifikasi

Variabel Respon	Kategori
$Y = \text{Deskripsi}$	0 : cerah 1 : gerimis 2 : hujan
Variabel Prediksi	Kategori
$X_1 : \text{hujan}$	0: cerah 1-10: gerimis 11-55: hujan
$X_2 : \text{kelembapan}$	67-98: hujan 50-98: gerimis 17-98: cerah
$X_3 : \text{suhu}$	22-32: hujan ($22 \leq \text{suhu} \leq 32$) 21-34: gerimis ($21 \leq \text{suhu} \leq 34$) 21-42: cerah ($21 \leq \text{suhu} \leq 42$)
$X_4 : \text{tingkat cahaya}$	0 – 30: hujan 0 – 255: cerah / gerimis

Metode pengukuran spesifikasi dalam sistem ini melibatkan pengumpulan data dari sejumlah parameter sensor perangkat IoT yang dipasang di lokasi tertentu. Setiap interval 3 detik, data yang terkumpul dikirimkan ke database SQL dan Firebase untuk penyimpanan sementara sebelum diproses dan disimpan secara aman di database SQL. Proses klasifikasi dilakukan setiap 5 menit, menganalisis 100 data terakumulasi untuk menghasilkan hasil klasifikasi. Jika persentase klasifikasi hujan mencapai setidaknya 80%, sistem secara otomatis mengirimkan notifikasi sebagai peringatan terhadap potensi hujan kepada pengguna. Selain itu, sistem memiliki kemampuan untuk menentukan apakah hujan tersebut masuk dalam kategori badai atau tidak, memberikan informasi yang lebih rinci kepada pengguna.

Pemanfaatan teknologi sensor IoT dan penggunaan database SQL dan Firebase dalam proses pengukuran spesifikasi ini menciptakan sistem yang terintegrasi dan efisien. Sistem ini mampu memprediksi kondisi cuaca berdasarkan data yang terkumpul, memberikan tingkat keandalan yang tinggi dalam memberi tahu pengguna tentang potensi hujan dan karakteristik cuaca yang mungkin terjadi[14].

C. Batasan dan Spesifikasi

Batasan penempatan untuk alat ini adalah sekitar kampus Telkom University. Hal ini dikarenakan alat weather station memerlukan izin untuk diimplementasikan di suatu tempat, terutama jika menggunakan alat IoT. Izin tersebut harus dikeluarkan oleh instansi terkait. Selain itu, kampus Telkom University merupakan lokasi yang ideal untuk penempatan

alat ini karena dapat dikontrol dengan mudah, baik dari sistem alat maupun jaringannya.

Spesifikasi dari sensor-sensor yang akan digunakan dalam proyek ini mencakup parameter teknis yang mencerminkan keandalan dan akurasi dalam pengukuran cuaca.

1. Sensor suhu harus memiliki ketelitian yang tinggi, dengan rentang pengukuran yang mencakup variabilitas suhu yang mungkin terjadi di lokasi penempatan. Untuk parameter suhu membutuhkan data dari daerah di telkom dengan rentang suhu di udara dari rentang perkiraan 0°C hingga 50°C dan kelembapan dalam rentang 20% hingga 80% sebagai indikasi suhu[4] .
2. Sensor curah hujan perlu memiliki sensitivitas yang baik, mampu mendeteksi intensitas hujan dengan presisi, dan dapat memberikan data akurat terkait jumlah curah hujan[5].
3. Sensor kecepatan angin harus dapat mengukur dengan tepat kecepatan dan arah angin, memberikan gambaran yang akurat tentang kondisi atmosfer. Adapun nilai kecepatan angin dimulai dari 0 m/s[6]
4. Sensor tekanan udara harus dapat mengukur tekanan udara yang ada di lingkungan tempat kita mengimplementasikannya, parameter tekanan udara yang harus dibaca dimulai dari nilai 300 hingga 1100 hPa[4].
5. Sensor intensitas cahaya dapat menilai intensitas cahaya langit sehingga dapat menjadi suatu indikasi adanya cuaca mendung (Gelap) sebagai salah satu bentuk awalnya turun hujan. Nilai yang dapat diukur dapat dilihat dari terbitnya matahari hingga terbenam. Adapun nilai yang harus diproyeksikan yaitu dari 0 hingga 350 lux (satuan cahaya)[7].
6. Sensor deteksi hujan harus menilai mulainya rintisan gerimis. Ini menjadi salah satu titik awal mulainya hujan sehingga kita dapat merekam permulaan rintik hujan turun[8].
7. Sensor arah angin untuk mengukur pergerakan angin, ini digunakan sebagai bentuk penilaian prediksi hujan. Hubungan dari sensor arah angin ini dapat dilihat dari kelembapan udara, sehingga kita bisa melihat pergerakan angin yang membawa angin lembab atau angin kering ke suatu daerah atau daerah angin ini berasal[9].

Ketujuh sensor tersebut harus saling terintegrasi dengan baik untuk memastikan keterkaitan data dan mengurangi potensi kesalahan pengukuran. Selain itu, kehandalan koneksi sensor-sensor tersebut dengan perangkat IoT dan database perlu menjadi fokus, memastikan bahwa data dapat dikirim dan disimpan dengan efisien. Aspek ekonomi juga menjadi pertimbangan dalam pemilihan sensor, dengan memastikan bahwa sensor yang dipilih memberikan nilai tambah yang optimal dalam kaitannya dengan biaya dan keberlanjutan proyek. Dengan memperhatikan spesifikasi ini, diharapkan proyek dapat menghasilkan data cuaca yang akurat dan dapat diandalkan untuk mendukung prediksi cuaca yang lebih baik.

D. Verifikasi Spesifikasi

Pengukuran dan verifikasi spesifikasi merupakan tahap kritis dalam proyek ini, di mana secara rinci memaparkan setiap spesifikasi yang telah ditentukan sebelumnya. Setiap spesifikasi menjelaskan prosedur pengukuran atau verifikasi yang benar. Dua elemen kunci yang perlu ada pada setiap pengukuran spesifikasi adalah alat ukur atau verifikasi yang digunakan dan mekanisme pengukuran yang diterapkan.

Untuk memastikan akurasi yang baik dari alat prediksi cuaca maka diperlukan perbandingan nilai parameter yang dihasilkan alat prediksi cuaca dengan nilai batasan yang sudah ada di industri atau badan penyedia data cuaca seperti BMKG. Berikut merupakan perbandingan yang mahasiswa lakukan untuk mengukur tingkat akurasi alat prediksi cuaca.

TABEL 2
Spesifikasi setiap sensor

Parameter	Sistem Prediksi Cuaca Berbasis Wireless Sensor Network Dan Teknologi IoT dengan Machine learning	Pembanding
Deteksi Hujan	<p>Output yang dihasilkan oleh sensor berkisar 1023 - 0. untuk mempermudah pembacaan data yang dihasilkan oleh sensor mahasiswa melakukan penambahan rumus pada nilai sensor yang dihasilkan.</p> <p>Nilai sensor = $100 - ((\text{nilai yang dihasilkan sensor}/1023) \times 100)$</p> <p>Sehingga nilai yang akan dihasilkan sensor berkisar 0 - 100.</p>	<p>Hasil yang diperoleh dari pengukuran menggunakan sensor raindrop modul diperoleh sebagai berikut.</p> <p>nilai sensor :</p> <ul style="list-style-type: none"> ¤ Nilai sensor < 500 = Peringatan hujan ¤ Nilai sensor > 500 = Tidak hujan [21]
Curah Hujan	<p>Pada sensor ini mahasiswa menggunakan tip (wadah kolektor) dengan luas 19,25 cm². koleksi per ujung tip (wadah kolektor) mahasiswa dapat dengan cara menuangkan 100 ml air ke dalam kolektor kemudian menghitung berapa kali air terbuang dari tip (wadah kolektor).</p> <p>Dalam perhitungan yang mahasiswa lakukan air terbuang sebanyak 70 kali. $100\text{ml}/70 = 1,42\text{ ml per tip}$. Jadi 1</p>	<p>Satu milimeter hujan berarti air hujan yang turun di wilayah seluas satu meter persegi akan memiliki ketinggian satu milimeter jika air hujan tidak meresap, mengalir, atau menguap.</p> <p>Ambang batas nilai yang digunakan untuk menentukan intensitas hujan sebagai berikut:</p> <p>0 mm/hari : Berawan</p> <p>0.5 – 20 mm/hari : Hujan ringan</p> <p>20 – 50 mm/hari : Hujan sedang</p> <p>50 – 100 mm/hari :</p>

	tip bernilai $1.42 / 19.25 = 0,07\text{cm}$ atau 0.70 mm curah hujan. Sehingga: Curah Hujan = Jumlah tip x $0,70 \text{ mm}$	Hujan lebat $100 - 150 \text{ mm/hari}$: Hujan sangat lebat $>150 \text{ mm / hari}$: Hujan ekstrem		SI) yang dapat mengukur minimal 1 lux dan maksimal 65535 lux[10].	dengan alat ukur cahaya yaitu Luxmeter LX-1108.
Kecepatan Angin	Pada sensor Anemometer menggunakan tipe sensor <i>Hall Effect</i> dengan menggunakan 2 magnet. Untuk memperoleh nilai, sensor menggunakan perhitungan putaran pada baling-baling. Berikut perhitungan yang dilakukan: <ul style="list-style-type: none">• time measure = 25.00 sec• rpm count = *jumlah putaran baling baling• calibration value = 2.0• PI = 3.14 rps = rpm count / time measure // rotations per second rpm = $60 \times \text{rps}$ // rotations per minute $\omega = 2 \times \text{PI} \times \text{rps}$ // rad/s ms = $\omega \times \text{radius}$ x calibration value // kecepatan m/s kmh = $ms \times 3.6$ //kecepatan km/h	Untuk mengukur akurasi pada sensor mahasiswa melakukan perbandingan dengan alat ukur kecepatan angin yang sudah ada di industri seperti Anemometer Benetech GM8910.	Tekanan Udara	Range output yang dihasilkan oleh sensor yaitu berkisar 300 - 1100 hPa (1 hPa= seratus Pa) dengan akurasi $\pm 1,0 \text{ hPa}$	Untuk mengukur tingkat akurasi dari nilai sensor mahasiswa melakukan perbandingan dengan data BMKG terkait informasi nilai tekanan udara di Kota Bandung. Range data yang diperoleh yaitu tekanan udara di Kota Bandung berkisar 1000 - 1040 hPa
Suhu dan Kelembapan	Output yang dihasilkan oleh sensor yaitu: Suhu = -20°C hingga 50°C Kelembapan = 20% hingga 80%	Untuk mengukur akurasi hasil dari sensor DHT mahasiswa melakukan perbandingan dengan alat ukur yang sudah ada di industri yaitu Humidity Temperature Meter	Arah Angin	Pada sensor wind direction menggunakan tipe sensor <i>Hall Effect</i> . Sinyal input pada sensor hall effect ini adalah densitas medan magnet disekitar sensor tersebut, apabila densitas medan magnet melebihi batas ambang yang ditentukan maka sensor akan mendeteksi dan menghasilkan tegangan output[11]. Sehingga output yang dihasilkan yaitu utara, selatan, timur, barat, timur laut, tenggara, barat daya, dan barat laut.	Untuk mengukur akurasi pada sensor mahasiswa melakukan perbandingan dengan alat ukur berupa kompas.
Tingkat Cahaya	BH1750 ini menghasilkan pengukuran luminositas dalam lux (satuan iluminasi turunan	Untuk mengukur akurasi tingkat cahaya pada sensor mahasiswa melakukan perbandingan		Dalam pemodelan klasifikasi, terdapat dua langkah utama yang melibatkan pembelajaran atau pelatihan model dan langkah klasifikasi itu sendiri. Proses pembelajaran melibatkan evaluasi data latih yang diberi label kelas, sementara langkah klasifikasi menggunakan model yang telah dibuat untuk mengestimasi kelas data uji. Penelitian ini menggunakan metode SMOTE[12] untuk meningkatkan jumlah sampel pada kelas minoritas, memberikan ketahanan pada model pembelajaran mesin terhadap ketidakseimbangan kelas. Proses eksperimen diimplementasikan melalui langkah-langkah yang melibatkan studi perangkat dan ketahanan, desain perangkat, pemasangan di lokasi optimal, pengumpulan dan pengiriman data ke basis data Firebase dan MySQL, serta proses pelatihan dan evaluasi model menggunakan metode pembelajaran mesin seperti Artificial Neural Network, XGBoost, Support Vector Machine, dan	

Logistic Regression. Akhirnya, hasil klasifikasi dalam persentase label hujan, tidak hujan, dan badai memberikan gambaran terinci tentang kondisi cuaca yang dapat memberikan manfaat dalam prediksi cuaca yang akurat[13].

TABEL 3
Confusion Matrix

		Predicted	
		Negative (N)	Positive (P)
Actual	Negative (N)	True Negative (TN)	False Positive (FP)
	Positive (P)	False Negative (FN)	True Positive (TP)

Akurasi adalah metrik dasar yang mengukur jumlah prediksi yang benar yang dibuat oleh sebuah model pada seluruh dataset uji. Ini berfungsi sebagai ukuran yang dapat diandalkan untuk menilai kinerja model.[14]

$$\text{Akurasi} = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (1)$$

Presisi memberikan informasi tentang proporsi kasus positif yang diprediksi dengan benar di antara semua kasus yang diprediksi sebagai positif. Ini adalah metrik penting untuk menilai keandalan sebuah model. Presisi sangat berharga ketika fals positif lebih menjadi perhatian daripada false negatif.

$$\text{Presisi} = \frac{TP}{TP + TN} \quad (2)$$

Recall mengukur kemampuan sebuah model untuk mengidentifikasi sebagian besar kasus positif sebenarnya. Ini adalah metrik berharga di mana meminimalkan fals negatif lebih penting daripada positif. Recall yang lebih tinggi menunjukkan bahwa sebagian besar kasus positif (*true positives* dan *false negatives*) akan benar-benar diberi label sebagai positif (*true positives*), yang dapat mengakibatkan peningkatan false positif dan potensial menurunkan akurasi keseluruhan.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN} \quad (3)$$

Skor F1 adalah kombinasi dari presisi dan recall menggunakan mean harmonik. Ini memberikan ukuran bersatu yang mempertimbangkan kedua metrik secara simultan. Skor F1 mencapai nilai tertinggi ketika presisi sama dengan recall[13].

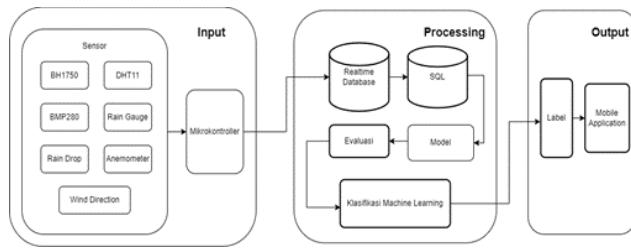
$$\text{F1-Score} = \frac{2 \cdot \text{Presisi} \cdot \text{Recall}}{\text{Presisi} + \text{Recall}} \quad (4)$$

III. METODE

Setelah dilakukannya proses penyeleksian solusi berdasarkan kriteria yang dibutuhkan, maka peneliti memilih solusi sistem sebagai berikut dalam proses pembuatan Sistem Prediksi Cuaca Berbasis Wireless Sensor Network Dan Teknologi IoT dengan Machine learning.

Memberikan gambaran rancangan penelitian yang meliputi prosedur atau langkah-langkah penelitian, waktu penelitian, sumber data, cara perolehan data dan menjelaskan metode yang akan digunakan dalam penelitian.

A. Blok Diagram Sistem



GAMBAR 1
Diagram Blok Sistem

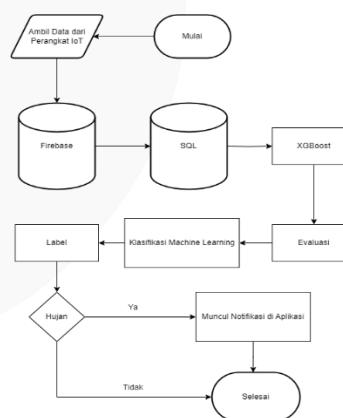
Pada gambar 1 merupakan diagram blok sistem keseluruhan, terdapat 3 tahapan utama yang berlangsung yaitu Input, Processing dan Output. Pada tahapan input sistem menerima data nilai parameter dari setiap sensor, kemudian seluruh data nilai disalurkan menuju

mikrokontroler. Setelah semua data nilai sensor terkumpul oleh mikrokontroler, mikrokontroler akan mengirimkan data tersebut ke tahap pemrosesan dengan menggunakan koneksi WiFi.

Pada tahapan processing, setelah mikrokontroler mengirimkan nilai data kemudian telah diterima. maka data tersebut akan masuk menuju Firebase *real-time* Database sebagai tempat penyimpanan sementara sebelum data diproses. Kemudian data yang tersimpan akan ditarik menuju SQL yang menjadi awal data akan diproses menjadi sebuah prediksi menggunakan model machine learning XGBOOST hingga menghasilkan suatu hasil klasifikasi. Hasil klasifikasi model akan dikirimkan menuju proses output.

Pada proses output hasil klasifikasi akan dilakukan labeling yang digunakan sebagai hasil prediksi terhadap cuaca yang akan datang. kemudian data labeling tersebut akan dikirimkan atau ditampilkan dalam mobile application pengguna untuk dilakukan keputusan dari hasil prediksi cuaca.

B. Flowchart sistem keseluruhan

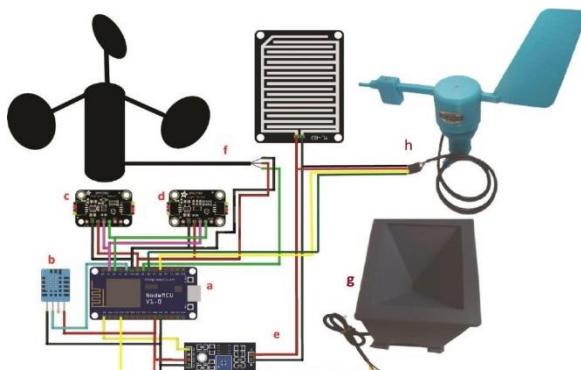


GAMBAR 2
Flowchart Machine learning

Pada gambar 2 flowchart diatas menggambarkan proses pengumpulan dan pemrosesan data cuaca menggunakan IoT weather station, penyimpanannya, penerapan klasifikasi machine learning, dan pengiriman notifikasi berdasarkan hasilnya. Proses dimulai dengan memulai dan mengumpulkan data dari IoT weather station. Data kemudian disimpan dalam database Firebase dan MySQL sebelum diproses oleh model machine learning XGBoost untuk klasifikasi. Jika terdeteksi

hujan, notifikasi muncul di aplikasi namun jika tidak, proses berakhir.

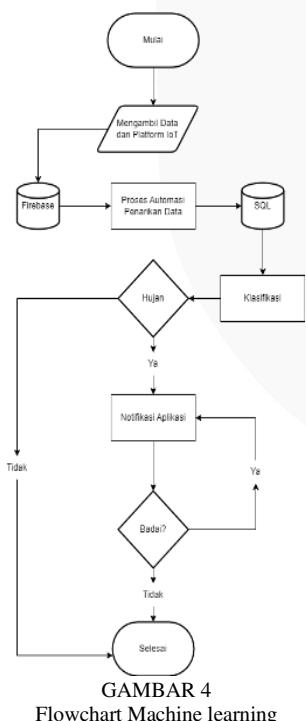
C. Design Sistem Perangkat Keras



GAMBAR 3
Sistem perangkat keras

Pada gambar 3 desain sistem perangkat keras menunjukkan beberapa simbol yang merepresentasikan komponen-komponen dalam sebuah sistem elektronik. Simbol 'a' merepresentasikan mikrokontroler, sedangkan simbol 'b','c','d','e','f','g', dan 'h' merepresentasikan sensor-sensor yang berbeda. Sensor 'b' merupakan sensor DHT11, sensor 'c' merupakan sensor BH1750, sensor 'd' merupakan sensor BMP280, sensor 'e' merupakan sensor Raindrop YL 83, sensor 'f' merupakan sensor kecepatan angin, sensor 'h' merupakan sensor arah angin, dan sensor g merupakan sensor rain gauge/curah hujan.

D. Model Machine Learning



GAMBAR 4
Flowchart Machine learning

Pada penelitian ini akan menggunakan algoritma machine learning jenis klasifikasi yaitu model XGBoost. XGBoost adalah pengembangan dari algoritma Gradient Boosting dengan beberapa fitur tambahan untuk mempercepat proses komputasi dan mencegah

overfitting. Fitur Fitur kontrol *overfitting* menyebabkan XGBoost berkinerja lebih baik daripada Gradient Boosting. XGBoost memiliki kecepatan komputasi yang sangat tinggi kecepatan komputasi karena terdapat optimalisasi penggunaan memori dan cache pada komputer, yang menyebabkan XGBoost bekerja secara efisien[15]. XGBoost mendefinisikan fungsi objektif sebagai jumlah dari fungsi kerugian dan istilah regularisasi:

$$\text{Objective} = \text{Loss} + \text{Regularization} \quad (5)$$

Dalam pembelajaran mesin, fungsi objektif bertujuan untuk meminimalkan nilai gabungan yang terdiri dari fungsi kerugian dan istilah regularisasi, karena penelitian ini berusaha untuk meminimalkan daripada memaksimalkannya.

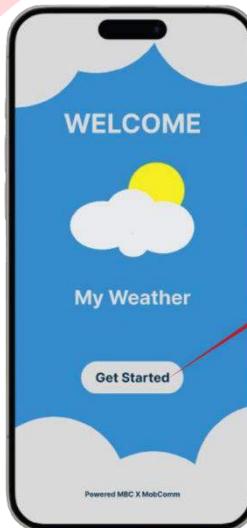
$$L(\Phi) = \sum_i l(\hat{y}_i, y_i) + \sum_k \Omega(f_k) \quad (6)$$

$$\sum_i l(\hat{y}_i, y_i) = \text{Loss Function} \quad (7)$$

$$\sum_k \Omega(f_k) = \text{Regularization} \quad (8)$$

E. Tampilan Aplikasi

Halaman Awal



Halaman Utama



Gambar 5
Prototype design aplikasi

Pada Gambar 5 terdapat 2 tampilan halaman yang akan ditampilkan ke pengguna terdiri dari halaman awal dan halaman utama. Pada halaman awal aplikasi "My Weather", pengguna disambut dengan tampilan yang sederhana dan interaktif. Terdapat tombol interaktif yang berfungsi sebagai penghubung antara halaman awal dan halaman utama, di mana informasi cuaca lebih detail tersedia. Kemudian Pada halaman utama aplikasi "My Weather", pengguna disambut dengan tampilan yang informatif dan interaktif. Fitur B menampilkan hari saat ini, "SUNDAY", memberikan informasi cepat tentang hari apa sekarang. Lokasi pengguna ditampilkan oleh fitur C, dalam contoh ini adalah "Telkom University". Fitur D menyajikan ikon yang menggambarkan situasi cuaca terkini di lokasi tersebut, yaitu hujan lebat. Keterangan jenis hujan lebih lanjut dijelaskan oleh fitur E sebagai "Heavy Rain". Suhu terkini di lokasi ditunjukkan oleh fitur F, yaitu 20°C.

Grafik prediksi hujan dalam 24 jam ke depan dapat dilihat pada fitur G, memberikan visualisasi mudah tentang kapan

hujan akan turun dan seberapa intensitasnya. Prediksi cuaca untuk dua hari ke depan disajikan oleh fitur H; pengguna dapat melihat prakiraan cuaca untuk hari Senin dan Selasa dengan suhu masing-masing 28°C. Informasi *real-time* terkini seperti kelembapan, intensitas cahaya, arah angin, kecepatan angin, tekanan udara, dan curah hujan disediakan oleh fitur I. Dalam contoh ini, kelembapan adalah 78%, intensitas cahaya 2559 lux, arah angin dari barat laut dengan kecepatan 80 km/jam; tekanan udara adalah 99293.21 hPa dan curah hujannya adalah 17.12 mm.

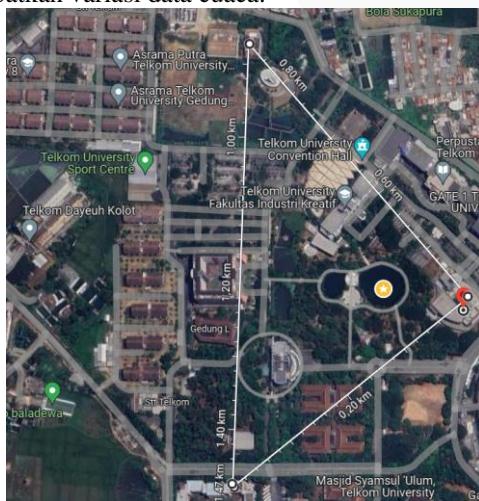
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Skenario Umum Pengujian

Dengan latar belakang permasalahan yang dihadapi, yaitu fluktuasi cuaca yang sering kali tidak terduga dan dapat berdampak negatif pada berbagai sektor kehidupan, maka dirancang sebuah sistem pendekripsi cuaca berbasis stasiun cuaca (weather station). Sistem ini menggabungkan teknologi Internet of Things (IoT) sederhana dengan model pembelajaran mesin XGBoost untuk memprediksi cuaca hingga dua hari ke depan. Tujuannya adalah untuk mengurangi atau bahkan menghindari dampak negatif dari kondisi cuaca ekstrem, terutama di area penelitian, yaitu Telkom University Bandung. Untuk mengevaluasi efektivitas dan akurasi dari sistem ini, akan dilakukan serangkaian pengujian, mencakup aspek-aspek berikut:

1. Kalibrasi Sensor IoT: Menggunakan teknik regresi linear untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan oleh sensor akurat dan dapat diandalkan.
2. Pengujian Akurasi Machine learning dengan XGBoost: Mengevaluasi seberapa akurat model XGBoost dapat memprediksi kondisi cuaca, berdasarkan data yang dikumpulkan oleh sensor.
3. Sistem Pengolahan Data: Memastikan bahwa sistem dapat mengolah dan menganalisis data cuaca secara efisien dan tepat waktu.
4. Aplikasi Weather station: Menilai kegunaan dan keandalan aplikasi dalam menyajikan prediksi cuaca kepada pengguna.

Pengujian sistem ini akan dilaksanakan selama dua minggu bulan Januari, di tiga lokasi yang strategis untuk mendapatkan variasi data cuaca:



GAMBAR 6
Lokasi penempatan alat weather station



GAMBAR 7
Bentuk alat weather station

1. Rooftop Gedung P Telkom University
2. Rooftop Gedung Fakultas Ilmu Terapan Telkom University
3. Rooftop Gedung Bandung Techno Park (BTP).

Dengan mengimplementasikan strategi pengujian yang komprehensif ini, bertujuan untuk memverifikasi keandalan dan efektivitas sistem pendekripsi cuaca, sehingga dapat diandalkan dalam memberikan prediksi cuaca yang akurat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam menghadapi cuaca ekstrem.

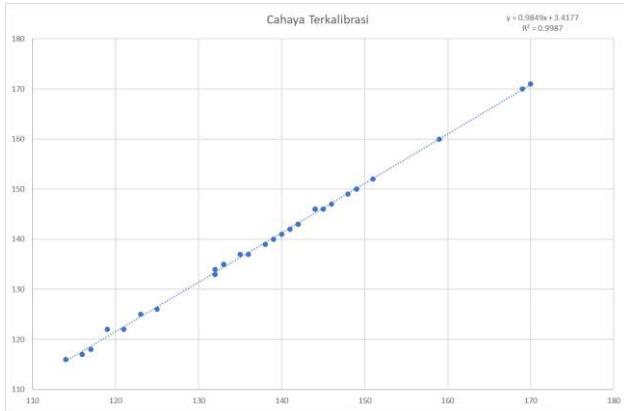
B. Kalibrasi IoT



GAMBAR 8
Kalibrasi anemometer



GAMBAR 9
Kalibrasi DHT11

GAMBAR 10
Kalibrasi BMP280GAMBAR 11
Kalibrasi BH1750

Pengujian kalibrasi melalui regresi linear ini dilakukan dengan mengumpulkan data secara bersamaan dari sensor-sensor IoT dan alat ukur multi purpose anemometer di berbagai kondisi cuaca dan lingkungan. Data yang dikumpulkan tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan koefisien regresi linear, yang akan digunakan untuk menyesuaikan pembacaan sensor sehingga lebih akurat. Proses ini melibatkan penghitungan kesalahan standar, koefisien determinasi (R^2), dan analisis residu untuk memastikan bahwa model regresi linear mencerminkan hubungan antara data sensor dengan data referensi secara akurat.

Hasil dari proses kalibrasi ini menunjukkan peningkatan yang signifikan dalam akurasi pengukuran sensor-sensor yang digunakan. Faktor-faktor yang mendukung keberhasilan kalibrasi meliputi keakuratan alat ukur multi purpose anemometer sebagai standar referensi, kemampuan untuk mengumpulkan data di berbagai kondisi cuaca, serta penerapan metode regresi linear yang tepat dalam menyesuaikan output sensor.

Namun, penelitian ini juga mengidentifikasi beberapa tantangan, seperti variabilitas kondisi lingkungan yang dapat mempengaruhi konsistensi data sensor dan keterbatasan dalam mengkalibrasi sensor-sensor di kondisi cuaca ekstrem. Untuk mengatasi tantangan ini, disarankan peningkatan pada prosedur kalibrasi dengan memperluas rentang kondisi pengujian dan menerapkan metode kalibrasi lanjutan yang mungkin melibatkan algoritme regresi non-linear atau teknik kalibrasi adaptif, untuk memperbaiki kesesuaian antara pembacaan sensor dengan kondisi cuaca sebenarnya.

C. Performa Machine Learning

Tabel evaluasi performa menunjukkan akurasi dari algoritma klasifikasi *machine learning* XGBoost. Model XGBoost memiliki nilai *accuracy* sebesar 98,62%, *precision* sebesar 96,57%, *recall* sebesar 99,42%, dan *f1-score* sebesar 97,97%. Evaluasi dilakukan menggunakan data sekunder yang telah disiapkan dari database local dan tidak digunakan sebagai data pelatihan, sehingga proses validasi terhadap nilai *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *f1-score* tidak menggunakan data yang sama seperti yang digunakan pada proses pelatihan *machine learning*.

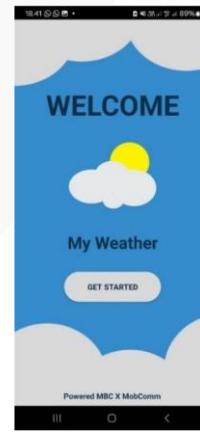
TABEL 4

Komparasi Kinerja Model Machine Learning

Method	Accuracy	Precision	Recall	F1-Score
Logistic Regression	94,663%	88,485%	96,61%	92,37%
Support Vector Machine	96,124%	91,294%	97,728%	94,401%
XGBoost	98,627 %	96,570 %	99,424 %	97,977 %

D. Aplikasi "MyWeather"

Setelah melewati serangkaian uji coba yang teliti dan mendalam, perangkat lunak inovatif yang diberi nama "MyWeather" telah berhasil mempersembahkan layanan informasi cuaca *realtime* yang sangat interaktif dan informatif. Dengan keandalan dan kemudahan penggunaan yang menjadi prioritas utama, "MyWeather" mampu memberikan akses cepat dan akurat terhadap berbagai parameter cuaca, seperti kecepatan angin, intensitas sinar matahari, suhu udara, kelembaban, tekanan udara, serta mendeteksi dan melacak kehadiran hujan serta curah hujan di berbagai lokasi penempatan perangkat tersebut. Kemampuan untuk menampilkan data secara *realtime* dari tiga lokasi penempatan alat cuaca membuat pengguna dapat memantau kondisi cuaca secara tepat waktu dan akurat di berbagai area yang relevan bagi mereka.

GAMBAR 12
Tampilan Awal aplikasi

GAMBAR 13
Tampilan informasi cuaca

Namun, tidak hanya menyajikan data cuaca saat ini, "MyWeather" juga menampilkan fitur prediksi cuaca yang telah diperkuat dengan teknologi *machine learning*. Dengan menggunakan algoritma canggih, perangkat lunak ini mampu menganalisis data historis cuaca untuk memberikan prediksi cuaca yang akurat untuk dua hari ke depan. Fitur ini memberikan nilai tambah yang signifikan bagi pengguna, karena mereka dapat merencanakan aktivitas mereka dengan lebih baik, mengantisipasi perubahan cuaca, dan membuat keputusan yang lebih cerdas berdasarkan informasi yang diberikan oleh "MyWeather".

V. KESIMPULAN

Berdasarkan proses perancangan, pengujian, dan analisis yang dilakukan pada tahapan sebelumnya, kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini dapat diambil. Pembuatan stasiun cuaca menggunakan IoT dan integrasi machine learning dalam PCB telah berhasil dilakukan dengan tingkat akurasi yang tinggi dan kalibrasi sensor yang baik. Algoritma machine learning XGBoost terbukti efektif dalam mendeteksi kondisi cuaca dengan nilai *accuracy* 96,124%, *precision* 96,570%, recall 99,424%, F1-Score 97,977% dan kalibrasi keakuratan pada sensor memiliki nilai R^2 yang mendekati nilai 1 pada sensor Anemometer, DHT11, BMP280, BH1750, Arah mata angin, rain drop module, and rain gauge dengan proses *preprocessing* data yang optimal. Pengujian aplikasi juga berhasil memperlihatkan kemampuan dalam memonitor kondisi lingkungan secara efektif dan efisien. Keseksian ini menandai keberhasilan desain yang telah diimplementasikan, menunjukkan potensi besar dalam pengembangan stasiun cuaca yang dapat diandalkan dan akurat untuk pemantauan lingkungan di masa depan.

REFERENSI

- [1] R. Meenal, K. Kailash, P. A. Michael, J. J. Joseph, F. T. Josh, and E. Rajasekaran, "Machine learning based smart weather prediction," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 28, no. 1, pp. 508–515, Oct. 2022, doi: 10.11591/ijeeecs.v28.i1.pp508-515.
- [2] D. S. Rani, G. N. Jayalakshmi, and V. P. Baligar, "Low Cost IoT based Flood Monitoring System Using Machine Learning and Neural Networks: Flood Alerting and Rainfall Prediction," in *2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, IEEE, Mar. 2020, pp. 261–267. doi: 10.1109/ICIMIA48430.2020.9074928.
- [3] M. Biswas, T. Dhoom, and S. Barua, "Weather Forecast Prediction: An Integrated Approach for Analyzing and Measuring Weather Data," *Int J Comput Appl*, vol. 182, no. 34, pp. 20–24, Dec. 2018, doi: 10.5120/ijca2018918265.
- [4] S. Ifrianti, W. Anggraini, M. R. Syarilisjiwan, D. S. I. Aflaha, R. N. Wakidah, and Y. Sastika, "The measurement of temperature, humidity, and air pressure to determine weather forecasts based on microcontroller," 2024, p. 030006. doi: 10.1063/5.0206026.
- [5] P. Rohith, S. Datta, and J. M. Kumar, "IoT-based Weather Forecasting System." [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/370273485>
- [6] M. Caporin and J. Preś, "Modelling and forecasting wind speed intensity for weather risk management," *Comput Stat Data Anal*, vol. 56, no. 11, pp. 3459–3476, Nov. 2012, doi: 10.1016/j.csda.2010.06.019.
- [7] N. Kumari, Sakshi, S. Gosavi, and S. S. Nagre, "Real-Time Cloud based Weather Monitoring System," in *2020 2nd International Conference on Innovative Mechanisms for Industry Applications (ICIMIA)*, IEEE, Mar. 2020, pp. 25–29. doi: 10.1109/ICIMIA48430.2020.9074848.
- [8] Q. Zhao, Y. Liu, X. Ma, W. Yao, Y. Yao, and X. Li, "An Improved Rainfall Forecasting Model Based on GNSS Observations," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 58, no. 7, pp. 4891–4900, Jul. 2020, doi: 10.1109/TGRS.2020.2968124.
- [9] L. Donadio, J. Fang, and F. Porté-Agel, "Numerical Weather Prediction and Artificial Neural Network Coupling for Wind Energy Forecast," *Energies (Basel)*, vol. 14, no. 2, p. 338, Jan. 2021, doi: 10.3390/en14020338.
- [10] A. Khuriati, "SISTEM PEMANTAU INTENSITAS CAHAYA AMBIEN DENGAN SENSOR BH1750 BERBASIS MIKROKONTROLER ARDUINO NANO," 2022.
- [11] M. Fernando, L. Jasa, and R. S. Hartati, "Monitoring System Kecepatan dan Arah Angin Berbasis Internet of Things (IoT) Menggunakan Raspberry Pi 3," *Majalah Ilmiah Teknologi Elektro*, vol. 21, no. 1, p. 135, Jul. 2022, doi: 10.24843/mite.2022.v21i01.p18.
- [12] D. Daffa Wiwaha, I. Wahno Putro, D. Adha Gafyunedi, B. Aji Pramudita, Z. Muhammad Mahdi, and D. Putra Setiawan, "Enhancing Rainfall Prediction Accuracy through XGBoost Model with Optimized Data Balancing Techniques."
- [13] Z. Muhammad Mahdi, G. Mahesa Aditya, I. Wahno Putro, B. Aji Pramudita, and D. Putra Setiawan, "Internet of Things-based Rain Detection Device"

- using Machine Learning Classification for Rain Prediction at Telkom University.”
- [14] H. Mehmet Tanrikulu and H. Pabuccu, “The Effect of Data Types’ on the Performance of Machine Learning Algorithms for Financial Prediction,” 2024.
- [15] C. Bentéjac, A. Csörgő, and G. Martínez-Muñoz, “A Comparative Analysis of XGBoost,” Nov. 2019, doi: 10.1007/s10462-020-09896-5.