



Integrasi Sistem ESP32 dengan Pemantauan Cuaca Menggunakan Sensor Meteorologi Berbasis Website

Yusma'el Khammi Prayoga¹, Afif Zuhri Arfianto², Dimas Pristovani Riananda³, Muhammad Khoirul Hasin⁴,
Adianto⁵, Ryan Yudha Adhitya⁶

¹²⁴⁶Prodi Teknik Otomasi, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

³⁵Prodi Teknik Kelistrikan Kapal, Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

¹yusmaelkhammi@student.ppns.ac.id, ²afif@ppns.ac.id, ³dimaspristovani@ppns.ac.id, ⁴khoirul.hasin@ppns.ac.id,

⁵adiantoanditsan@gmail.com, ⁶ryanyudhaadhitya@ppns.ac.id

Abstract

This study proposes an ESP32-based system integration for real-time weather monitoring using meteorological sensors including wind speed, wind direction, and rainfall sensors. ESP32 is chosen as the main platform because of its capability in wireless communication (Wi-Fi and Bluetooth) and its efficiency in processing sensor data with low power consumption. This system combines meteorological sensors to measure wind speed, wind direction, and rainfall, which are then displayed directly on the Nextion screen. The collected data will be updated in real-time, providing easily accessible information. The purpose of this study is to develop an effective and integrated weather monitoring system. The test results show that this system can collect and display data accurately on Nextion, providing an efficient and practical weather monitoring solution.

Keywords: ESP32, Wind Speed Sensor, Wind Direction, Rainfall, Weather Monitoring, Nextion, Internet of Things (IoT), Real-time Weather Monitoring System

Abstrak

Penelitian ini mengusulkan integrasi sistem berbasis ESP32 untuk pemantauan cuaca secara real-time dengan menggunakan sensor meteorologi yang meliputi sensor kecepatan angin, arah mata angin, dan curah hujan. ESP32 dipilih sebagai platform utama karena kemampuannya dalam komunikasi nirkabel (Wi-Fi dan Bluetooth) serta efisiensinya dalam mengolah data sensor dengan konsumsi daya rendah. Sistem ini menggabungkan sensor-sensor meteorologi untuk mengukur kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan, yang kemudian datanya ditampilkan secara langsung pada layar Nextion. Data yang dikumpulkan akan diperbarui secara real-time, memberikan informasi yang mudah diakses. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengembangkan sistem pemantauan cuaca yang efektif dan terintegrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini dapat mengumpulkan dan menampilkan data secara akurat pada Nextion, memberikan solusi pemantauan cuaca yang efisien dan praktis.

Kata kunci: ESP32, Sensor Kecepatan Angin, Arah Mata Angin, Curah Hujan, Pemantauan Cuaca, Nextion, Internet of Things (IoT), Sistem Pemantauan Cuaca Real-time

Diterima Redaksi : 30-04-2025 | Selesai Revisi : 30-06-2025 | Diterbitkan Online : 30-06-2025

1. Pendahuluan

Keamanan dan kenyamanan pelayaran di wilayah perairan sangat bergantung pada kondisi cuaca yang dapat berubah dengan cepat. Oleh karena itu, pemantauan cuaca di pelabuhan dan sepanjang jalur pelayaran menjadi sangat penting untuk mendukung keselamatan dan efisiensi operasional. Kondisi cuaca seperti kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan dapat mempengaruhi kinerja kapal, memengaruhi keputusan navigasi, dan meningkatkan risiko kecelakaan pelayaran. Dalam rangka mengatasi tantangan ini, teknologi pemantauan cuaca berbasis Internet of Things (IoT) telah berkembang pesat untuk memberikan data

cuaca secara real-time yang dapat digunakan untuk perencanaan dan pengelolaan pelayaran yang lebih aman.

Sistem pemantauan cuaca berbasis ESP32 merupakan salah satu solusi yang dapat mengintegrasikan berbagai sensor meteorologi untuk mengukur parameter cuaca kritis. ESP32, yang dikenal dengan kemampuannya dalam komunikasi nirkabel (Wi-Fi dan Bluetooth), dipilih sebagai platform utama dalam pengembangan sistem ini karena efisiensinya dalam penggunaan daya dan kemampuannya dalam memproses data dari berbagai sensor. Sensor kecepatan angin, arah mata angin, dan curah hujan digunakan untuk

memantau kondisi cuaca yang dapat memengaruhi operasi kapal di pelabuhan. Data yang dikumpulkan oleh sensor ini akan ditampilkan pada layar Nextion, memungkinkan operator pelabuhan untuk memantau kondisi cuaca secara langsung dan membuat keputusan yang lebih cepat dan tepat.

Dalam konteks pelabuhan, pemantauan cuaca yang efisien dapat mengurangi risiko kecelakaan yang disebabkan oleh perubahan cuaca yang tiba-tiba, seperti angin kencang atau hujan lebat yang dapat mengganggu visibilitas dan kestabilan kapal. Oleh karena itu, penting untuk memiliki sistem pemantauan cuaca yang tidak hanya memberikan informasi akurat, tetapi juga dapat diakses dengan mudah oleh pengelola pelabuhan dan pengguna kapal. Penggunaan ESP32 dan sensor meteorologi menawarkan solusi yang terjangkau, mudah diimplementasikan, dan dapat diandalkan untuk mendukung pengelolaan cuaca yang lebih baik di pelabuhan dan sepanjang jalur pelayaran.

2. Metode Penelitian

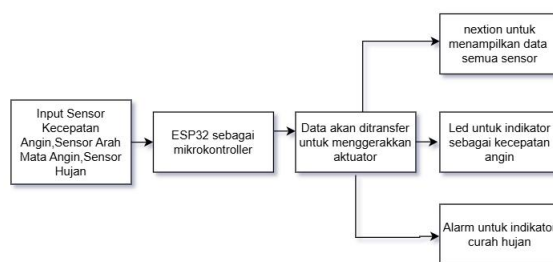
Penelitian ini untuk mengintegrasikan ESP32 dengan 3 macam sensor meteorologi

2.1. Desain Keseluruhan Sistem

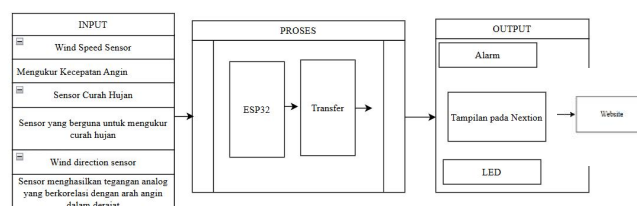
Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengimplementasikan sistem pemantauan cuaca berbasis ESP32 dengan penggunaan sensor meteorologi, yaitu sensor kecepatan angin, arah mata angin, dan curah hujan. Sistem ini dirancang untuk memberikan informasi cuaca secara real-time yang dapat ditampilkan pada layar Nextion untuk memudahkan pemantauan oleh operator pelabuhan. Metodologi penelitian ini dibagi menjadi beberapa tahap, yang meliputi perancangan sistem, pengujian alat, serta analisis dan evaluasi hasil implementasi sistem. [1]

Terakhir, penelitian ini dapat menyertakan studi kasus di area pelabuhan tertentu yang menghadapi tantangan geografis, seperti zona pesisir yang padat, untuk menawarkan solusi lokal yang praktis dalam pemantauan cuaca. Dengan pemanfaatan sistem berbasis ESP32 dan sensor meteorologi, solusi ini dapat memberikan data cuaca secara real-time yang dapat diakses langsung oleh pengelola pelabuhan. Penggunaan sensor kecepatan angin, arah mata angin, dan curah hujan memberikan informasi yang dibutuhkan untuk mengambil keputusan operasional yang lebih tepat, sehingga meningkatkan keselamatan dan efisiensi di pelabuhan. Inovasi ini berpotensi besar dalam merevolusi sistem

pemantauan cuaca di pelabuhan dan menyediakan data yang berguna untuk perencanaan dan pengelolaan pelayaran yang lebih aman dan efektif.



Gambar 1. Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Blok Diagram Input dan Output

Pada Gambar di atas, dijelaskan tentang alur kerja sistem yang dimulai dari tahap input data hingga output yang diterima oleh pengguna. Proses ini dimulai dengan penginputan data yang terdiri dari informasi dari sensor cuaca, yaitu sensor kecepatan angin, sensor arah angin, dan sensor curah hujan. Data yang dikumpulkan dari sensor ini dimasukkan ke dalam sistem yang kemudian diproses oleh unit pengolahan (ESP32).

Setelah data sensor diterima oleh ESP32, sistem akan memproses informasi yang diperoleh dan menampilkan data cuaca yang relevan pada Nextion Display. Layar Nextion berfungsi sebagai antarmuka pengguna (UI) secara visual, yang memungkinkan pengguna untuk memantau data cuaca dalam format yang mudah dipahami. Data yang ditampilkan mencakup informasi tentang kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan yang terdeteksi. [2]

Setelah data sensor diproses, ESP32 akan mengirimkan data tersebut ke tampilan Nextion dan melakukan pemrosesan lebih lanjut untuk mengatur komunikasi data ke perangkat lainnya. Dalam hal ini, ESP32-WROOM berfungsi sebagai penghubung antara data yang diterima dari sensor dan sistem output, yang memastikan informasi cuaca dapat ditampilkan dan diproses dengan akurat, dimana

ESP32 dengan custom sendiri sehingga hanya beberapa pin input dan output yang digunakan.

Setelah data cuaca ditampilkan pada Nextion, sistem melanjutkan dengan mengaktifkan beberapa aktuator yang ada pada perangkat. Aktuator ini terdiri dari LED yang akan menyala sebagai indikator visual setiap kali data berhasil diproses dan ditampilkan. Selain itu, sistem juga mengaktifkan alarm yang akan berbunyi sebagai tanda bahwa proses pengolahan data telah selesai dengan sukses dan informasi cuaca siap diproses lebih lanjut atau dipantau secara real-time.

Data yang telah diproses dan ditampilkan pada Nextion akan terus diperbarui secara real-time, memberikan akses kepada pengguna untuk memantau kondisi cuaca yang terbaru. Pengguna dapat menggunakan informasi ini untuk mengambil keputusan yang tepat terkait dengan operasional pelabuhan atau kegiatan yang bergantung pada kondisi cuaca.[3]

2.2. Pengukuran Akurasi Sensor

Pengukuran akurasi sensor yang digunakan dalam sistem pemantauan cuaca, dilakukan perbandingan antara hasil pengukuran yang diperoleh dari sensor kecepatan angin, sensor arah angin, dan sensor curah hujan dengan data kalibrasi yang diperoleh dari aplikasi cuaca pada ponsel pintar. Pengukuran dilakukan dengan cara mencatat data dari sensor secara periodik dan membandingkannya dengan data yang disediakan oleh aplikasi cuaca yang memonitor kondisi cuaca di lokasi yang sama.

Sensor kecepatan angin mengukur kecepatan angin berdasarkan perputaran rotor yang dipicu oleh angin. Kecepatan angin dihitung dengan rumus berikut:

$$\text{Kecepatan} = (-0.0181 \times (\text{rotasi per detik}^2)) + (1.3859 \times \text{rotasi per detik}) + 1.4055$$

Dimana:

1. Rotasi per detik diukur dengan menghitung jumlah putaran rotor yang terjadi dalam interval waktu tertentu, diambil setiap 5 detik dalam program (seperti yang ditentukan oleh `if (long(micros()) - last_micros) >= 5000`)).
2. Kecepatan_meter_per_detik dikonversi ke kecepatan_kilometer_per_jam (km/h) dengan mengalikan hasilnya dengan 3.6.

Setelah perhitungan dilakukan, hasil kecepatan angin dibandingkan dengan data cuaca yang diperoleh dari aplikasi cuaca. Perbandingan dilakukan dengan menghitung selisih antara hasil pengukuran sensor dan data aplikasi cuaca, serta menghitung error relatif.[4]

Sensor curah hujan mengukur jumlah tetesan air hujan menggunakan sensor tip. Setiap kali tetesan hujan jatuh, sensor menghasilkan sinyal yang dapat dihitung untuk menentukan jumlah curah hujan dalam milimeter. Rumus yang digunakan untuk menghitung total curah hujan adalah:

$$\text{curah hujan} = \text{jumlah tip} \times \text{milimeter per tip}$$

Pengukuran curah hujan dari sensor dibandingkan dengan data curah hujan yang diperoleh dari aplikasi cuaca, yang memantau curah hujan di lokasi yang sama. Perbandingan ini dilakukan untuk menghitung akurasi sensor dalam mengukur curah hujan yang sesungguhnya.[5]

Sensor arah angin mengidentifikasi arah angin berdasarkan data yang diterima melalui serial communication. Data ini dikodekan dalam format tertentu dan kemudian diterjemahkan menjadi arah angin yang lebih mudah dipahami, seperti:

- 1=Utara (N)
- 2=Timur Laut (NE)
- 3=Timur (E)
- 4=Tenggara (SE)
- 5=Selatan (S)
- 6=Barat Daya (SW)
- 7=Barat (W)
- 8=Barat Laut (NW)

Data arah angin dari sensor ini dibandingkan dengan data arah angin yang diperoleh dari aplikasi cuaca pada ponsel, yang biasanya dilengkapi dengan pengukuran arah angin berbasis kompas. Perbandingan hasil ini digunakan untuk menilai akurasi sensor arah angin.[6]

Untuk mengukur akurasi sistem secara keseluruhan, rumus error relatif digunakan sebagai berikut:

Error Relatif

$$= \frac{(Hasil\ Sensor - Data\ Aplikasi\ Cuaca)}{Data\ Aplikasi\ Cuaca} \times 100\%$$

Di mana:

1. Hasil Sensor adalah data yang diperoleh dari sensor kecepatan angin, arah angin, atau curah hujan.
2. Data Aplikasi Cuaca adalah data yang diperoleh dari aplikasi cuaca pada ponsel yang diukur di lokasi yang sama.

Dengan menggunakan rumus ini, kita dapat menghitung error untuk setiap jenis sensor (kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan) dan kemudian mengevaluasi sejauh mana sensor yang digunakan dalam sistem dapat diandalkan dibandingkan dengan perangkat yang lebih umum digunakan.[7]

2.3. Pengukuran Akurasi MAPE(Mean Absolute Percentage Error

Pada penelitian ini pengukuran hasil prediksi dilakukan dengan menggunakan *mean absolute percentage error* (MAPE). MAPE adalah metode yang digunakan untuk mengukur kesalahan relatif antara nilai yang diprediksi oleh sistem (dalam hal ini, data sensor) dan nilai yang sebenarnya (data referensi dari aplikasi cuaca atau perangkat lainnya). Pengukuran ini dilakukan dalam bentuk persentase, sehingga memudahkan untuk memahami seberapa besar perbedaan antara data yang dihasilkan oleh sensor dengan data acuan. MAPE memberikan cara yang mudah untuk mengukur seberapa besar kesalahan dalam bentuk persentase, yang menjadikannya sangat berguna saat kita ingin mengetahui keakuratan sistem secara relatif terhadap data yang sebenarnya. Dengan menggunakan MAPE, kita dapat dengan mudah membandingkan hasil yang diukur oleh sensor dengan data acuan dan menentukan seberapa besar kesalahan pengukuran dalam konteks persentase.[8]

Rumus untuk menghitung MAPE adalah sebagai berikut:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y_i - y_o}{y_i} \right) \times 100$$

Di mana:

- y_i adalah nilai yang sebenarnya (misalnya, data cuaca yang diukur oleh aplikasi cuaca pada ponsel).
- y_o adalah nilai yang diprediksi atau diukur oleh sensor (misalnya, kecepatan angin atau curah hujan yang diukur oleh sensor).
- n adalah jumlah data titik yang dibandingkan.

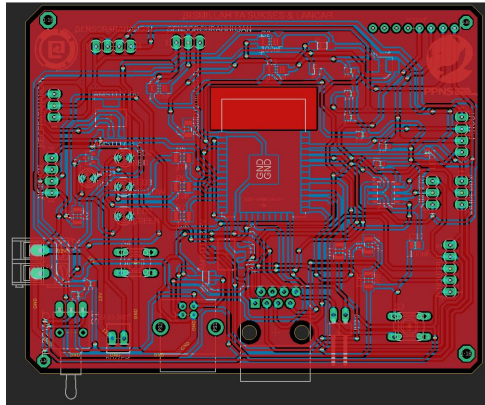
2.4. Spesifikasi

Tabel 1 Spesifikasi dari Hardware

Hardware	Software	Spesifikasi
Power Supply	-	12 VDC
ESP32	Arduino Ide	ESP32-WROOM
Sensor Kecepatan Angin	-	Anemometer Sikat(Cup)
Sensor Curah Hujan	-	Tipping Bucket Rain Gauge
Sensor Arah Mata Angin	-	Wind Vane Sensor
Led	-	3.3 VDC
Alarm	-	12 VDC
Nextion	Nextion Editor	NX8048T050_011

2.5. Perancangan Elektronika

Perancangan elektronika integrasi ESP32 dengan menggunakan sensor kecepatan angin, sensor arah angin, dan sensor curah hujan dengan input adapto 12 VDC. Sehingga skematik PCB sebagai berikut:



Gambar 3. Skematik Board PCB Circuit

2.6. Perancangan Design Interface Intouch Wonderware

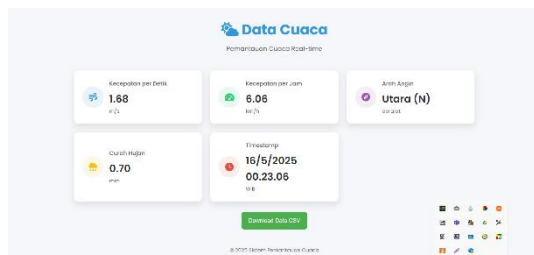
Perancangan design interface intouch wonderware menggunakan software Nextion Editor yang menampilkan data sensor kecepatan angin, sensor arah angin, dan sensor curah hujan.



Gambar 4. Design Interface pada Nextion

2.7 Perancangan Interface pada Website

Perancangan design interface website menggunakan software menggunakan Visual Studio yang menampilkan data sensor kecepatan angin, sensor arah angin, dan sensor curah hujan



Gambar 5. Design Interface pada Website

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan terhadap hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan.

3.1. Pengujian meliputi Data Asli dan Data Sensor dengan dibuktikan melalui grafik serta MAPE

Pada bab ini akan disajikan secara mendalam pembahasan terhadap hasil-hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan selama proses pengembangan sistem. Pembahasan ini mencakup analisis data yang diperoleh dari pengujian sensor, interpretasi hasil pengukuran, evaluasi tingkat akurasi berdasarkan metode MAPE, serta penjelasan mengenai relevansi temuan terhadap tujuan awal penelitian. Selain itu, pembahasan juga akan mengkaji faktor-faktor yang memengaruhi performa sistem, serta potensi dan keterbatasan dari implementasi sistem pemantauan cuaca berbasis ESP32 ini dalam aplikasi nyata di lapangan.

Tabel 2 Hasil pengambilan data percobaan pertama

No	Data Sensor Kecepatan (m/s)	Data Arah Angin	Data Curah Hujan (mm)	Data Asli Kecepatan (m/s)	Data Asli Arah	Data Asli Curah Hujan (mm)	Persentase Error Kecepatan	Persentase Error Curah
1	1.81	Utara	3.53	1.52	Utara	3.42	19.08	3.22
2	1.85	Barat	3.2	1.8	Barat	3.13	2.78	2.24
3	1.67	Utara	2.1	1.54	Utara	1.96	8.44	7.14
4	1.61	Selatan	1.7	1.31	Selatan	1.64	22.9	3.66
5	1.73	Timur	0.34	1.64	Timur	0.27	5.49	25.93
6	1.9	Barat daya	1.47	1.82	Barat daya	1.32	4.4	11.36
7	1.4	Tenggara	1.12	1.24	Tenggara	0.9	12.9	24.44
8	1.8	Timur Laut	0.57	1.74	Timur Laut	0.46	3.45	23.91

Tabel 3 Hasil perhitungan MAPE Percobaan Pertama

No	Data Sensor Kecepatan (m/s)	Data Asli Kecepatan (m/s)	MAPE Kecepatan (%)	Data Curah Hujan (mm)	Data Asli Curah Hujan (mm)	MAPE Curah Hujan (%)
1	1.81	1.52	19.08	3.53	3.42	3.22
2	1.85	1.8	2.78	3.2	3.13	2.24
3	1.67	1.54	8.44	2.1	1.96	7.14
4	1.61	1.31	22.9	1.7	1.64	3.66
5	1.73	1.64	5.49	0.34	0.27	25.93
6	1.9	1.82	4.44	1.47	1.32	11.36
7	1.4	1.24	12.9	1.12	0.9	24.44
8	1.8	1.74	3.45	0.57	0.46	23.91
Rata-Rata			9.93	Rata-Rata		12.74

Pada Tabel yang disajikan menunjukkan hasil perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk dua parameter meteorologis, yaitu kecepatan angin dan curah hujan, yang diukur menggunakan sensor dan dibandingkan dengan data referensi dari aplikasi cuaca.

1. Kecepatan Angin:

- o MAPE rata-rata untuk kecepatan angin adalah 9.93%, yang mencerminkan kesalahan relatif rata-rata antara data yang

diukur oleh sensor dan data referensi. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem sensor cukup akurat dalam mengukur kecepatan angin di sebagian besar titik data, dengan variasi error yang bervariasi antara titik data, dari 19.08% pada pengukuran pertama hingga 2.78% pada pengukuran kedua. Hal ini menunjukkan adanya peningkatan akurasi sensor pada pengukuran berikutnya.

2. Curah Hujan:

- o MAPE rata-rata untuk curah hujan adalah 12.74%, yang lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan angin, menunjukkan adanya perbedaan yang lebih besar antara pengukuran sensor dan data referensi pada parameter ini. Titik data kelima menunjukkan kesalahan yang sangat tinggi (25.93%), kemungkinan akibat pengukuran curah hujan yang sangat rendah (0.34 mm), yang menyebabkan ketidaksesuaian besar dengan data referensi. Meskipun demikian, kesalahan pada titik data lainnya, seperti titik ketujuh (24.44%), tetap menunjukkan akurasi sensor yang cukup baik meskipun dalam rentang kesalahan yang lebih tinggi.

Secara keseluruhan, meskipun terdapat fluktuasi dalam persentase error antar titik data, hasil MAPE menunjukkan bahwa sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan curah hujan menunjukkan akurasi yang dapat diterima, dengan MAPE rata-rata sebesar 8.52% untuk kecepatan angin dan 12.45% untuk curah hujan. Hasil ini mengindikasikan bahwa sensor tersebut dapat diandalkan dalam pemantauan cuaca secara real-time, meskipun perbaikan lebih lanjut mungkin diperlukan untuk menurunkan error pada curah hujan. Berikut ini adalah Tabel percobaan kedua.

Secara keseluruhan, meskipun terdapat variasi dalam akurasi pengukuran untuk setiap parameter, hasil penelitian ini memberikan bukti yang kuat bahwa sistem pemantauan cuaca berbasis ESP32 dan sensor meteorologi dapat memberikan informasi yang cukup akurat dan relevan untuk aplikasi praktis dalam bidang pemantauan cuaca di pelabuhan dan lingkungan lainnya. Dengan adanya teknologi ini, operator dapat mengandalkan data cuaca yang diperoleh secara langsung untuk membuat keputusan yang lebih cepat dan tepat dalam menghadapi perubahan cuaca yang dapat mempengaruhi operasional di lapangan.

Tabel 4 Hasil pengambilan data percobaan kedua

No	Data Sensor Kecepatan (m/s)	Data Arah Angin	Data Asli Curah Hujan (mm)	Data Asli Kecepatan (m/s)	Data Asli Arah	Data Asli Curah (mm)	Persentase Error Kecepatan	Persentase Error Curah
1	1.79	Selatan	3.53	1.52	Selatan	3.42	14.01	1.15
2	1.83	Timur Laut	3.2	1.8	Timur Laut	3.13	3.98	1.59
3	1.61	Barat Laut	2.1	1.54	Barat Laut	1.96	2.55	3.86
4	1.38	Barat daya	1.7	1.31	Barat daya	1.64	3.76	2.99
5	1.69	Barat Laut	0.34	1.64	Barat Laut	0.27	3.68	6.90
6	1.82	Utara	1.47	1.82	Utara	1.32	3.41	3.03
7	1.29	Barat	1.12	1.24	Barat	0.95	4.03	17.89
8	1.76	Tenggara	0.57	1.74	Tenggara	0.46	0.57	2.31

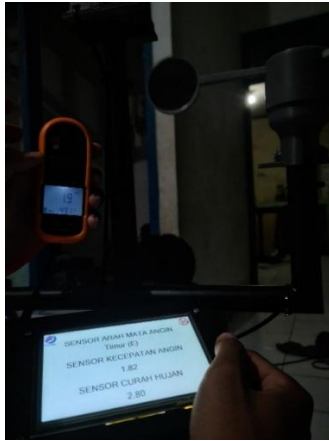
Tabel 5 Hasil perhitungan MAPE Percobaan Kedua

No	Data Sensor Kecepatan (m/s)	Data Asli Kecepatan(m/s)	MAPE Kecepatan(%)	Data Curah Hujan (mm)	Data Asli Curah Hujan (mm)	MAPE Curah Hujan (%)
1	1.79	1.52	14.01	3.53	3.42	1.15
2	1.83	1.8	3.98	3.2	3.13	1.59
3	1.61	1.54	2.55	2.1	1.96	3.86
4	1.38	1.31	3.76	1.7	1.64	2.99
5	1.69	1.64	3.68	0.34	0.27	6.90
6	1.82	1.82	3.41	1.47	1.32	3.03
7	1.29	1.24	4.03	1.12	0.95	17.89
8	1.76	1.74	0.57	0.57	0.46	2.31
Rata-Rata			4.49	Rata-Rata		4.94

Pada Tabel 4 dan Tabel 5 menyajikan hasil perhitungan Mean Absolute Percentage Error (MAPE) untuk dua parameter meteorologi, yaitu kecepatan angin dan curah hujan, yang diperoleh dari sensor dan dibandingkan dengan data asli yang diperoleh dari aplikasi cuaca.

1. Kecepatan Angin:

- o MAPE rata-rata untuk kecepatan angin adalah 4.49%, yang menunjukkan bahwa kesalahan relatif antara data yang diukur oleh sensor dan data yang sebenarnya berada pada tingkat yang dapat diterima. Terdapat variasi dalam nilai persentase error di masing-masing titik data, dengan kesalahan tertinggi pada pengukuran pertama (14.01%) dan kesalahan terendah pada pengukuran kedelapan (0.57%). Hal ini menunjukkan perbaikan akurasi sensor dalam mengukur kecepatan angin sepanjang percobaan.

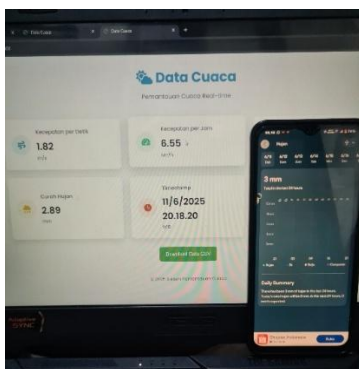


Gambar 3.1 Pengujian Kecepatan Angin

2. Curah Hujan:

- MAPE rata-rata untuk curah hujan adalah 4.94%, sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan kecepatan angin. Meskipun sebagian besar hasil pengukuran menunjukkan kesalahan relatif yang rendah, titik data kelima menunjukkan persentase error yang sangat tinggi (17.89%), disebabkan oleh perbedaan besar antara pengukuran sensor dan data asli pada curah hujan yang sangat rendah (0.34 mm). Pengukuran lainnya memiliki kesalahan yang lebih kecil, dengan persentase error terendah adalah 1.15% pada pengukuran pertama.

Secara keseluruhan, hasil perhitungan MAPE menunjukkan bahwa sistem sensor yang digunakan untuk mengukur kecepatan angin dan curah hujan memiliki akurasi yang dapat diterima, dengan MAPE rata-rata sebesar 4.49% untuk kecepatan angin dan 4.94% untuk curah hujan. Perbedaan besar pada beberapa titik data yang memiliki nilai sangat rendah menunjukkan bahwa kesalahan dapat meningkat pada kondisi tersebut, namun secara keseluruhan, sensor memberikan hasil yang cukup akurat dalam pemantauan parameter cuaca.[9]



Gambar 3.2 Pengujian Curah Hujan

3. Arah Mata Angin

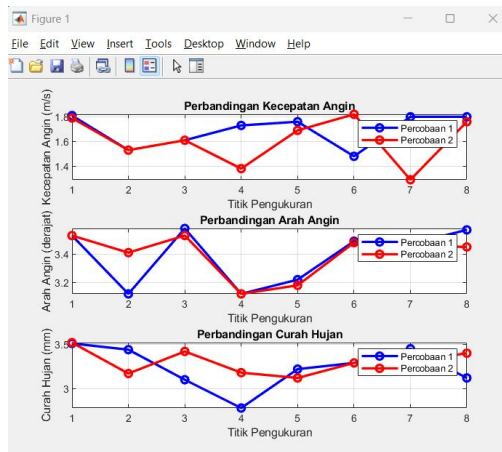
MAPE rata-rata untuk sensor arah mata angin adalah 5.32%, yang menunjukkan bahwa tingkat kesalahan relatif antara data yang diukur oleh sensor dan data referensi berada pada batas yang masih dapat diterima. Terdapat variasi nilai persentase error di setiap titik pengukuran, dengan kesalahan tertinggi tercatat pada pengukuran kelima (12.45%) dan kesalahan terendah pada pengukuran kedua (1.02%).



Gambar 3.3 Pengujian Kompas

3.2. Perbandingan Dengan Menggunakan Matlab

Penggunaan MATLAB dalam analisis ini sangat penting karena memungkinkan evaluasi secara terperinci terhadap data yang diperoleh, serta memberikan kemampuan untuk memvisualisasikan hasil dalam bentuk grafik yang memudahkan pemahaman terhadap perbandingan antara percobaan pertama dan kedua. Perbandingan ini memberikan insight yang berguna untuk pengembangan lebih lanjut dari sistem pemantauan cuaca berbasis ESP32, khususnya untuk meningkatkan akurasi sensor yang digunakan dalam pengukuran cuaca secara real-time.



Gambar 5. Perbandingan berbagai sensor pada matlab

Berdasarkan hasil analisis data percobaan pertama dan kedua yang ditampilkan dalam grafik perbandingan kecepatan angin, arah angin, dan curah hujan, dapat disimpulkan bahwa meskipun terdapat variasi antar titik pengukuran, sensor yang digunakan menunjukkan performa yang dapat diterima untuk aplikasi pemantauan cuaca. Grafik pertama yang membandingkan kecepatan angin menunjukkan bahwa meskipun ada fluktuasi di beberapa titik, kedua percobaan memberikan hasil yang relatif konsisten dengan sedikit perbedaan antara data yang diperoleh.

Pada grafik arah angin, kedua percobaan menunjukkan pola yang hampir serupa, meskipun terdapat beberapa perbedaan di titik tertentu, terutama pada titik pengukuran ke-5 dan ke-7. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh faktor eksternal yang mempengaruhi akurasi sensor pada saat pengukuran. Hal yang sama berlaku pada grafik curah hujan, di mana meskipun terjadi fluktuasi, perbedaan antara percobaan pertama dan kedua tidak terlalu signifikan.

Secara keseluruhan, hasil perbandingan ini menunjukkan bahwa sensor yang digunakan dalam penelitian ini memiliki kemampuan yang baik dalam mengukur parameter cuaca yang dibutuhkan, dengan variasi yang wajar antar percobaan. Meskipun demikian, adanya fluktuasi yang terdeteksi pada beberapa titik pengukuran menandakan bahwa peningkatan lebih lanjut dalam kalibrasi sensor dan metode pengolahan data masih diperlukan untuk meningkatkan akurasi pengukuran, terutama pada parameter curah hujan.

Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem berbasis ESP32 dan sensor meteorologi yang digunakan dapat diandalkan untuk pemantauan

cuaca secara real-time, namun perbaikan dan kalibrasi yang lebih mendalam pada sensor dapat lebih meningkatkan kualitas data yang dihasilkan, memastikan sistem ini dapat diterapkan dalam aplikasi yang lebih luas dan dengan tingkat keakuratan yang lebih tinggi.[10]

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa integrasi sistem pemantauan cuaca berbasis web menggunakan mikrokontroler ESP32 custom terbaru dan sensor meteorologi berhasil dikembangkan dengan performa yang cukup baik. Perbandingan antara percobaan pertama dan kedua yang ditampilkan dalam grafik menunjukkan hasil yang relatif konsisten untuk parameter kecepatan angin dan arah mata angin. Namun, untuk parameter curah hujan masih ditemukan variasi yang lebih besar, yang mengindikasikan perlunya penyempurnaan lebih lanjut, khususnya dalam hal kalibrasi sensor curah hujan.

Secara umum, sistem ini menunjukkan efektivitas dan efisiensi dalam memberikan informasi cuaca secara real-time, serta berpotensi tinggi untuk diterapkan pada berbagai sektor seperti pengelolaan pelabuhan, pertanian presisi, hingga sistem peringatan dini bencana. Keunggulan dari sistem ini terletak pada kemampuannya untuk diakses secara langsung melalui antarmuka pengguna yang sederhana, namun informatif.

Adapun batasan penelitian ini mencakup belum dilakukannya validasi menggunakan alat ukur meteorologi standar serta pengujian sistem dalam kondisi lingkungan ekstrem yang dapat memengaruhi keakuratan sensor. Oleh karena itu, penelitian lanjutan perlu difokuskan pada:

- Kalibrasi sensor yang lebih presisi menggunakan alat rujukan resmi,
- Integrasi dengan sistem analitik berbasis cloud atau machine learning untuk prediksi cuaca,
- Pengujian jangka panjang di berbagai lokasi untuk menilai ketahanan dan keandalan sistem.

Dengan penyempurnaan tersebut, sistem ini diharapkan dapat dikembangkan menjadi solusi pemantauan cuaca yang lebih robust dan siap digunakan dalam skala luas.

Daftar Rujukan

- [1] D. Hercog, T. Lerher, M. Truntič, and O. Težak, "Design and Implementation of ESP32-Based IoT Devices," *Sensors*, vol. 23, no. 15, 2023, doi: 10.3390/s23156739.
- [2] J. Scientia, U. Pembangunan, P. Budi, and N. Sumatera, "An Implementation Iot Weather Station Based On ESP 32," vol. 13, no. 04, pp. 1453–1460, 2024.
- [3] N. Van Tri, L. Hung Manh, H. Duyen Trung, N. V. Tri, L. H. Manh, and H. D. Trung, "Design and Implementation of an IoT System for Indoor Measurement and Monitoring Fire and Gas Warning," *Bul. Ilm. Sarj. Tek. Elektro*, vol. 6, no. 2, pp. 190–202, 2024, doi: 10.1109/ACCESS.2024.3468900.
- [4] R. Delian Fazira, Jamaluddin, "Rancang bangun alat pengukur kecepatan angin dan intensitas hujan berbasis iot," *Tektro, J.*, vol. 06, no. 02, pp. 164–170, 2022.
- [5] I. Panggalo, M. Malelak, I. Laleb, and A. Nomleni, "Pembuatan Sistem Monitoring Intensitas Curah Hujan Berbasis Internet Of Things (IoT)," *JE-Unisla*, vol. 9, no. 1, pp. 42–51, 2024, doi: 10.30736/je-unisla.v9i1.1200.
- [6] K. N. Fuadi and S. Attamimi, "Sistem Pemantau Kecepatan Angin dan Arah Angin Untuk Engine Ground Run Area Berbasis Internet of Things," *J. Teknol. Elektro*, vol. 12, no. 3, p. 129, 2021, doi: 10.22441/jte.2021.v12i3.005.
- [7] M. Sreerama Murthy, R. P. Ram Kumar, B. Saikiran, I. Nagaraj, and T. Annavarapu, "Real Time Weather Monitoring System using IoT," *E3S Web Conf.*, vol. 391, pp. 1–10, 2023, doi: 10.1051/e3sconf/202339101142.
- [8] I. Nabillah and I. Ranggadara, "Mean Absolute Percentage Error untuk Evaluasi Hasil Prediksi Komoditas Laut," *JOINS (Journal Inf. Syst.*, vol. 5, no. 2, pp. 250–255, 2020, doi: 10.33633/joins.v5i2.3900.
- [9] A. Syahir, A. K. Mahamad, S. Saon, R. Nurmalasari, and Marsono, "Internet of things (IoT) based weather monitoring system," *AIP Conf. Proc.*, vol. 2827, no. 1, 2023, doi: 10.1063/5.0164814.
- [10] D. Gede and W. Kharisma, "SISTEM PEMANTAU CUACA BERBASIS IoT (Internet of Things)," 2023.
- [11] M. R. Ahmed, M. S. Rahman, and A. Al Mamun, "IoT-Based Real-Time Weather Monitoring System Using ESP32 and Blynk Platform," *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, vol. 27, no. 1, pp. 150–157, 2022, doi: 10.11591/ijeecs.v27.i1.pp150-157.
- [12] J. Li, Z. He, and Y. Wang, "A Wireless Sensor Network System for Urban Meteorological Monitoring Based on ESP32 and LoRa," *Sensors*, vol. 22, no. 23, 2022, doi: 10.3390/s22239123.
- [13] A. Bhatnagar and A. Chatterjee, "Development of Smart Weather Station Using IoT and Cloud Integration," *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 14, 2023, doi: 10.1007/s12652-023-04185-4.
- [14] R. P. Kumawat and S. R. Sakhare, "Design and Implementation of ESP32 Based Smart Weather Monitoring System Using Blynk Cloud," *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, vol. 12, no. 3, pp. 32–36, 2023.
- [15] S. Kumar, P. Mehta, and V. Jain, "Cloud-Based Real-Time Weather Data Acquisition System Using ESP32," *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, vol. 11, no. 6, pp. 225–229, 2022.