



ALAT MONITORING KECEPATAN ANGIN, ARAH ANGIN, SUHU, TEKANAN UDARA DAN KELEMBAPAN BERBASIS IoT DENGAN INTEGRASI NOTIFIKASI WHATSAPP

Bernard Wahyu¹, Tri Hadi Prayitno², Ahmad Rosyadi Imawan², Albert Gunadhi¹, Andrew Joewono^{3a}

¹ Program Studi Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

² Bengkel Elektronika, Fasharkan, Lantamal V, Surabaya

³ Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya

Korespondensi:

^a Program Studi Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya
andrew_sby@ukwms.ac.id

ABSTRAK

Kondisi cuaca dan lingkungan memiliki peran yang sangat penting dalam berbagai aktivitas, khususnya dalam operasional di pangkalan kapal. Informasi yang akurat dan *real-time* mengenai parameter cuaca seperti kecepatan angin, arah angin, suhu, tekanan udara, dan kelembapan sangat dibutuhkan untuk mendukung efisiensi serta keselamatan kerja. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan alat monitoring cuaca berbasis *Internet of Things* (IoT) yang terintegrasi dengan fitur notifikasi WhatsApp guna memberikan informasi secara langsung kepada pengguna. Sistem ini menggunakan sensor FC-03 untuk mengukur kecepatan angin, sensor QMC5883L untuk mendeteksi arah angin, serta sensor BME280 untuk memperoleh data suhu, kelembapan, dan tekanan udara. Seluruh data dari sensor diolah oleh mikrokontroler ESP32 dan dikirimkan ke platform IoT “*ThingSpeak*” untuk dipantau secara daring melalui antarmuka web. Selain itu, sistem ini dilengkapi dengan fitur pengiriman notifikasi otomatis ke aplikasi WhatsApp apabila terjadi perubahan kondisi cuaca secara signifikan. Hasil pengujian

Terlihat pola variasi parameter cuaca yang konsisten selama pengujian 24 jam dalam ruangan dengan aliran angin terkontrol. Suhu menunjukkan tren peningkatan bertahap dari 30,4°C (pukul 08.00) mencapai puncak 32,2°C pada pukul 14.00, dengan kelembapan relatif memperlihatkan pola berlawanan dengan suhu, turun dari nilai awal 74,8% menjadi minimum 66,2% dengan tekanan atmosfer mengalami penurunan dari 1012 hPa di pagi hari menjadi 1007,7 hPa pada sore hari, kemudian kembali mendekati nilai awal di malam hari, serta kecepatan angin buatan bervariasi antara 1,43-2,87 m/s dengan fluktuasi tertinggi terjadi pada siang hari, diduga akibat interaksi antara aliran kipas dengan udara yang terpanaskan. Arah angin tetap stabil pada kisaran 285°-292°, menunjukkan konsistensi aliran udara selama pengujian. Pola variasi parameter yang teramati ini mengkonfirmasi kemampuan sistem dalam merekam dinamika kondisi cuaca terkendali dengan tingkat akurasi dan konsistensi yang memadai, sekaligus menunjukkan responsivitas sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Integrasi antara teknologi IoT dan notifikasi WhatsApp memungkinkan proses pemantauan data cuaca dilakukan secara fleksibel dan responsif. Implementasi alat ini diharapkan dapat menjadi solusi efektif dalam mendukung aktivitas operasional di pangkalan kapal maupun aplikasi lain yang memerlukan pemantauan cuaca secara *real-time*.

Kata kunci: Monitoring Cuaca; IoT; WhatsApp; ThingSpeak; Sensor Cuaca

ABSTRACT

Weather and environmental conditions play a vital role in various activities, particularly in port operations. Accurate and real-time information regarding weather parameters such as wind speed, wind direction, temperature, atmospheric pressure, and humidity is essential to ensure both operational efficiency and work safety. This study presents the design and implementation of a weather monitoring system based on the Internet of Things (IoT), integrated with a WhatsApp notification feature to deliver direct updates to users. The system employs the FC-03 sensor for wind speed measurement, the QMC5883L sensor for wind direction detection, and the BME280 sensor to obtain temperature, humidity, and air pressure data. All sensor data are processed by an ESP32 microcontroller and transmitted to the "ThingSpeak" IoT platform for real-time monitoring via a web interface. Additionally, the system features automated WhatsApp notifications when significant weather changes are detected. Experimental results demonstrated consistent weather parameter variations during a 24-hour indoor test under controlled airflow. Temperature increased gradually from 30.4°C at 08:00 to a peak of 32.2°C at 14:00. Relative humidity showed an inverse trend, decreasing from 74.8% to a minimum of 66.2%. Atmospheric pressure dropped from 1012 hPa in the morning to 1007.7 hPa in the afternoon and returned to near-initial values by night. Artificial wind speed ranged from 1.43 to 2.87 m/s, with peak fluctuations at midday, likely due to interactions between fan airflow and heated air. Wind direction remained stable between 285° and 292°, indicating consistent airflow. These findings confirm the system's capability to record dynamic weather conditions with sufficient accuracy and responsiveness. The integration of IoT and WhatsApp notifications enables flexible and responsive weather monitoring, making this system a potentially effective solution for supporting operational activities at ports and other real-time weather-dependent applications.

Keywords: Weather monitoring, Internet of Things (IoT), ESP32, WhatsApp notification, environmental sensing, ThingSpeak, real-time data.

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi *Internet of Things* (IoT) telah mengalami kemajuan pesat dan memberikan dampak signifikan di berbagai bidang, termasuk dalam pemantauan data lingkungan. IoT memungkinkan perangkat elektronik untuk saling berkomunikasi dan bertukar data melalui jaringan internet secara otomatis, sehingga informasi dapat diperoleh secara *real-time* tanpa campur tangan manusia secara langsung [1]. Fenomena ini meluas ke berbagai perangkat yang dikategorikan sebagai Internet of Things (IoT) [2]. Cuaca berkaitan dengan kondisi suhu, kelembapan, dan angin di suatu tempat dalam jangka waktu tertentu [3]. Dalam konteks pemantauan kondisi cuaca, IoT menjadi solusi yang relevan dan efisien untuk mengumpulkan serta menampilkan data dari berbagai sensor lingkungan.

Parameter cuaca seperti kecepatan angin, arah angin, suhu, tekanan udara, dan kelembapan merupakan indikator penting yang perlu dipantau secara berkelanjutan, terutama dalam lingkungan kerja yang sensitif terhadap perubahan cuaca seperti pangkalan kapal, industri logistik, dan pertanian. Sistem pemantauan cuaca konvensional yang masih bersifat manual atau semi-digital memiliki sejumlah keterbatasan, seperti keterlambatan dalam pengumpulan data, potensi kesalahan manusia (*human error*), serta tidak tersedianya data secara *real-time* dan terintegrasi [4]. Hal ini menjadi latar belakang perlunya pengembangan sistem yang lebih modern dan responsif terhadap perubahan kondisi lingkungan.

Pada penelitian ini dibuat rancangan dan implementasi sistem pemantauan cuaca berbasis IoT menggunakan mikrokontroler ESP32 yang terhubung dengan sensor FC-03 untuk pengukuran kecepatan angin, QMC5883L untuk arah angin, serta BME280 untuk suhu, kelembapan, dan tekanan udara. Data yang diperoleh dikirimkan ke platform cloud *Thing Speak* untuk visualisasi dan penyimpanan. IoT memungkinkan data yang dikumpulkan ini diunggah ke server web dan ditampilkan melalui aplikasi seluler atau web dari mana saja di dunia, sehingga memudahkan otomatisasi berbagai tugas berdasarkan data yang diperoleh secara *real-time* [5]. Sistem ini juga dilengkapi dengan fitur notifikasi otomatis melalui aplikasi WhatsApp menggunakan API yang tersedia, sehingga memungkinkan pengguna mendapatkan informasi secara langsung melalui perangkat seluler [6]. Integrasi notifikasi ini merupakan salah satu kekuatan dari penelitian ini, karena memungkinkan respons cepat terhadap perubahan cuaca yang dapat mempengaruhi keselamatan dan produktivitas kerja.

Beberapa penelitian sebelumnya telah membahas tentang pemantauan cuaca berbasis IoT, terbatas pada pengumpulan dan visualisasi data tanpa fitur notifikasi atau komunikasi dua arah [7] [8]. Kelemahan Kelemahan

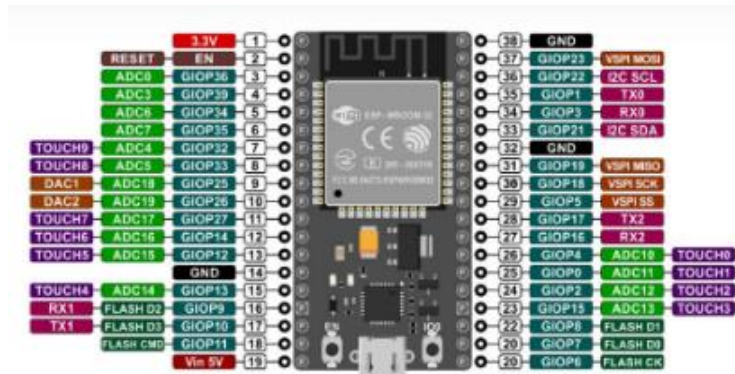
dari sistem pemantauan cuaca sebelumnya diisi dalam penelitian ini dengan menambahkan fitur peringatan dini melalui platform komunikasi yang populer, yaitu WhatsApp. Notifikasi dikirimkan secara otomatis untuk memberikan informasi cuaca terkini secara real-time kepada pengguna.

Meskipun WhatsApp menyediakan API resmi melalui WhatsApp Business API untuk keperluan pengembangan bot, layanan ini bersifat berbayar dan kurang cocok untuk penggunaan berskala kecil atau pendidikan [9]. Oleh karena itu, dalam penelitian ini digunakan alternatif API yang lebih terjangkau namun tetap andal untuk mengintegrasikan sistem notifikasi. Selain itu, sistem yang dirancang memiliki sifat modular dan fleksibel, sehingga mudah disesuaikan dengan kondisi serta kebutuhan di lapangan.

Untuk merealisasikan alat ini, diperlukan komponen-komponen seperti ESP32, FC-03, QMC5883L, BME280, dan LCD 16x2.

ESP32 merupakan mikrokontroler generasi lanjutan dari ESP8266 yang dikembangkan oleh perusahaan Espressif Systems Pte. Ltd., produsen komponen semikonduktor jaringan [10]. Mikrokontroler ini dirancang sebagai chip tunggal yang mengintegrasikan konektivitas Wi-Fi dan Bluetooth 2.4 GHz dengan teknologi ultra-low-power, sehingga sangat efisien dalam konsumsi daya. Berkat kemampuannya tersebut, ESP32 sangat cocok digunakan dalam pengembangan berbagai aplikasi berbasis Internet of Things (IoT). Selain itu, ESP32 juga dilengkapi dengan berbagai fitur antarmuka yang mendukung fleksibilitas dalam pengembangan sistem, antara lain:

1. Terdapat 18 pin ADC (*Analog to Digital Converter*) yang berguna untuk mengubah sinyal analog menjadi sinyal digital.
2. Tersedia 2 pin DAC (*Digital to Analog Converter*) yang berfungsi mengonversi sinyal digital menjadi sinyal analog.
3. Memiliki 16 pin PWM (*Pulse Width Modulation*) yang dapat digunakan untuk menghasilkan sinyal dengan lebar pulsa yang bervariasi.



Gambar 1. ESP32

QMC5883L merupakan sensor kompas digital tiga sumbu (3-axis magnetometer) yang digunakan untuk mendeteksi arah medan magnet bumi. Sensor ini sering digunakan dalam aplikasi navigasi, robotika, dan sistem orientasi arah.



Gambar 2. Sensor QMC5883L

QMC5883L merupakan versi pengembangan dari sensor HMC5883L dengan peningkatan performa dan konsumsi daya yang lebih rendah. Sensor ini berkomunikasi menggunakan antarmuka I2C sehingga mudah diintegrasikan dengan mikrokontroler seperti ESP32.

QMC5883L juga digunakan dalam penelitian [11] sebagai bagian dari sistem navigasi berbasis Arduino bersama sensor MPU6050. Sensor ini dimanfaatkan untuk mendeteksi medan magnet tiga sumbu dalam rangka meningkatkan akurasi sistem navigasi inersial ketika sinyal GPS terhalang. Dengan karakteristiknya yang berbiaya rendah dan mudah diintegrasikan, QMC5883L terbukti ideal untuk aplikasi portabel seperti perangkat navigasi kendaraan, terutama dalam kondisi lingkungan yang menantang terhadap sinyal satelit. Selain itu, dalam studi oleh Bricina et al. (2021)[12], QMC5883L digunakan untuk mengevaluasi kemampuan pendeteksian medan magnetik yang dihasilkan oleh tubuh manusia. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sensor ini cukup sensitif untuk menangkap variasi medan magnetik lemah tanpa kebutuhan akan pelindung medan (shielding), yang menegaskan kemampuannya dalam mengukur medan magnetik dalam kondisi lingkungan yang tidak ideal serta potensinya untuk aplikasi biomedis dan pemantauan fisiologis.

FC-03 (Optocoupler) adalah modul sensor optocoupler berbasis inframerah yang digunakan untuk mendeteksi keberadaan objek atau perubahan cahaya di sekitarnya. Sensor ini bekerja dengan memanfaatkan pemancar inframerah (IR LED) dan penerima cahaya (phototransistor) yang dipasang sejajar. Ketika ada objek yang menghalangi atau memantulkan sinyal inframerah, sensor akan memberikan output digital yang dapat dibaca oleh mikrokontroler seperti ESP32. Prinsip kerja sensor ini sejalan dengan pendekatan yang digunakan dalam penelitian [13], di mana data logger dirancang untuk merekam sinyal dari sensor kecepatan guna mendukung sistem kontrol motor DC. Dengan demikian, FC-03 juga dapat dimanfaatkan dalam aplikasi serupa yang memerlukan deteksi gerakan atau kecepatan berbasis perubahan cahaya sebagai masukan untuk sistem monitoring atau pengendalian.



Gambar 3. Sensor Optocoupler (FC-03)

Penggunaan sensor FC-03 dalam penelitian Ali dan Kadhim (2019) [14], menunjukkan fleksibilitas modul ini dalam aplikasi lapangan. Dalam studi tersebut, FC-03 digunakan sebagai sensor inframerah untuk mendeteksi keberadaan logam dalam robot cerdas multifungsi yang dirancang untuk eksplorasi area berbahaya seperti gurun atau lahan pasca-konflik. Sensor ini menjadi bagian penting dari sistem navigasi robot dalam mendeteksi dan menghindari rintangan serta mengukur dimensi logam di medan deteksi. Mekanisme kerja FC-03 yang mengandalkan gangguan atau refleksi cahaya inframerah memungkinkan akurasi tinggi dalam sistem monitoring berbasis mikrokontroler, sejalan dengan konsep deteksi kecepatan dan posisi objek dalam berbagai skenario kendali otomatis.

BME280 adalah sensor meteorologi multifungsi yang dirancang oleh Bosch, dan mampu mengukur suhu, kelembapan, serta tekanan udara secara bersamaan. Sensor ini dikenal sebagai sensor yang andal dan serbaguna dalam aplikasi pemantauan lingkungan, cuaca, dan perangkat Internet of Things (IoT). Sebagai sensor meteorologi yang andal, BME280 mampu mengukur parameter-parameter penting seperti suhu, kelembapan, dan tekanan barometrik secara akurat dan konsisten [15]. Keandalan sensor BME280 dalam sistem pemantauan berbasis IoT juga dibuktikan oleh Ofomaja dan Azi (2024)[16], yang mengembangkan sistem pemantauan tekanan, suhu, dan kelembapan secara real-time menggunakan Raspberry Pi 4 dan BME280. Sensor ini mengirimkan data setiap dua detik ke *platform cloud* Corlysis dan divisualisasikan melalui Grafana, menunjukkan kestabilan kinerja sensor dalam pengukuran berfrekuensi tinggi. Selain itu, data tetap akurat meskipun ditransmisikan secara daring, sehingga mendukung efektivitas BME280 dalam sistem pemantauan lingkungan berskala luas dan jarak jauh.



Gambar 4. Sensor BME280

Dengan akurasi tinggi serta konsumsi daya yang rendah, BME280 sangat cocok untuk perangkat portabel maupun sistem berbasis baterai. Sensor ini mendukung antarmuka komunikasi I2C maupun SPI, sehingga memudahkan integrasinya dengan mikrokontroler seperti ESP32. Selain itu, ukurannya yang kecil dan kemampuannya untuk menggabungkan tiga jenis pengukuran dalam satu modul membuat BME280 sangat efisien dan praktis digunakan dalam berbagai proyek elektronik. Hal ini sejalan dengan temuan [17], yang menunjukkan bahwa BME280 dapat bekerja secara andal dalam sistem transmisi data nirkabel seperti LoRa, dengan kinerja sinyal dan kekuatan frekuensi radio yang stabil. Penelitian tersebut membuktikan bahwa integrasi BME280 dalam jaringan IoT jarak jauh tetap mempertahankan akurasi pembacaan sensor, menjadikannya pilihan ideal untuk sistem pemantauan lingkungan berskala luas.

LCD 16x2 adalah modul tampilan (displai) yang mampu menampilkan hingga 16 karakter dalam 2 baris [18]. Modul ini banyak digunakan dalam proyek-proyek elektronika untuk menampilkan informasi secara sederhana, seperti hasil pembacaan sensor atau status sistem.



Gambar 5. LCD 16x2

LCD 16x2 biasanya menggunakan kontroler HD44780 dan dapat dikendalikan melalui antarmuka paralel atau dengan bantuan modul I2C untuk menghemat jumlah pin yang digunakan pada mikrokontroler. Dengan konsumsi daya yang rendah dan kemudahan dalam pemrograman, LCD 16x2 sangat cocok digunakan bersama mikrokontroler seperti ESP32 untuk menampilkan data secara real-time dengan format teks.

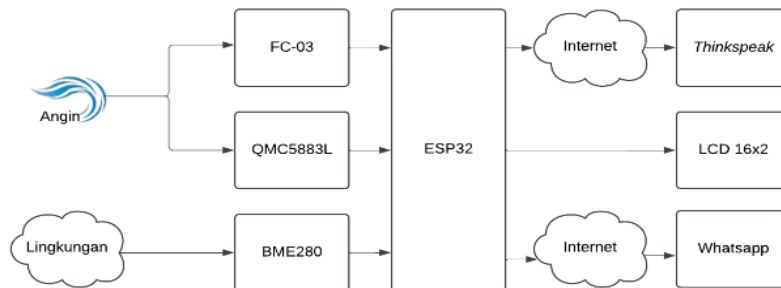
Dalam konteks komunikasi antar perangkat, penggunaan protokol I2C pada modul LCD 16x2 memberikan efisiensi tinggi dalam hal penggunaan pin dan keandalan transmisi data. Menurut [19], simulasi komunikasi serial menggunakan protokol I2C menunjukkan bahwa protokol ini mampu mentransmisikan data secara stabil dan konsisten dengan hanya menggunakan dua jalur utama, yaitu SDA (Serial Data) dan SCL (Serial Clock). Hal ini sangat menguntungkan dalam proyek berbasis mikrokontroler seperti ESP32, yang sering kali harus menangani banyak perangkat secara bersamaan. Implementasi I2C tidak hanya menyederhanakan skema rangkaian, tetapi juga mempercepat proses debugging dan pengembangan sistem karena struktur komunikasinya yang terstandarisasi dan mudah diintegrasikan melalui ESP32.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan pendekatan pengembangan prototipe, yang bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan sistem pemantauan cuaca berbasis

Internet of Things (IoT). Proses pengembangan dilakukan melalui beberapa tahapan, mulai dari identifikasi kebutuhan, perancangan sistem, implementasi perangkat keras dan lunak, hingga pengujian dan evaluasi sistem.

Sistem dirancang untuk memantau kondisi cuaca secara *real-time* menggunakan mikrokontroler ESP32 sebagai pusat kendali, serta modul BME280, untuk mengukur suhu, kelembaban, dan tekanan udara serta modul QMC5883L sebagai sensor kompas digital untuk menentukan arah angin atau orientasi alat dan modul FC-03, untuk mendeteksi kecepatan putar baling-baling. Tampilan displai data menggunakan LCD I2C untuk menampilkan informasi secara langsung dan buzzer sebagai indikator peringatan lokal, dengan blok diagram, terlihat pada gambar 6.

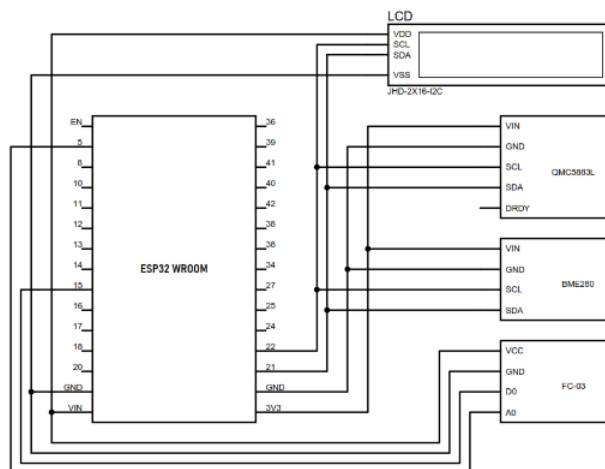


Gambar 6. Diagram Blok

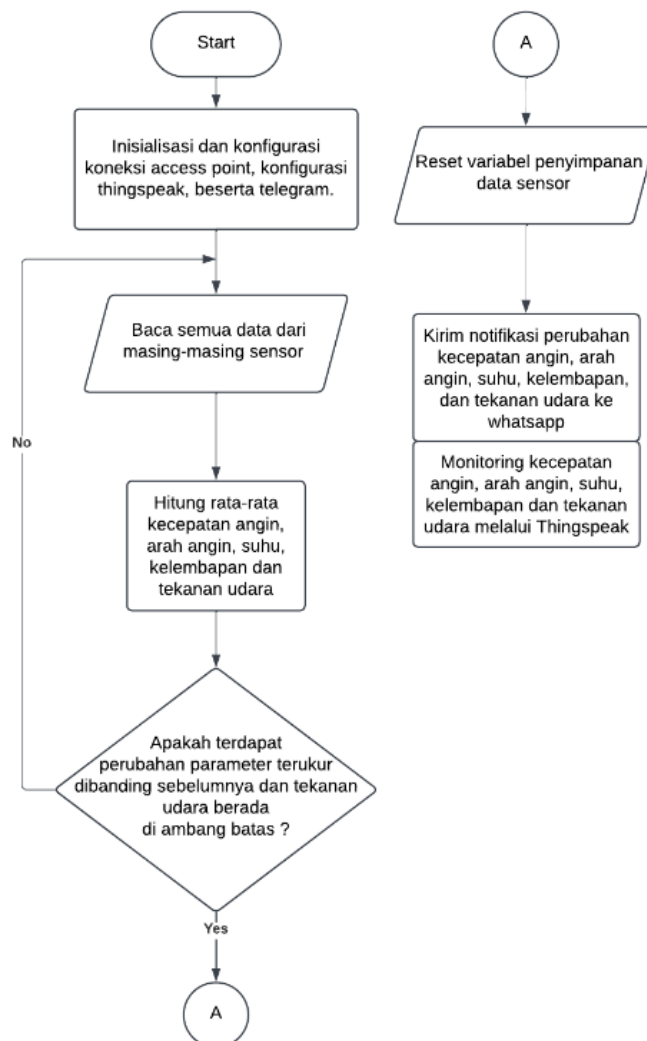
Sistem yang dikembangkan terdiri berpusat pada mikrokontroler ESP32 sebagai pengendali yang utami. Sistem menerima data dari lingkungan sekitar berupa suhu, kelembaban, tekanan udara, dan arah, yang dideteksi oleh modul sensor BME280 dan QMC5883L. Sensor BME280 berfungsi untuk mengukur parameter suhu, kelembaban, dan tekanan udara, sedangkan QMC5883L digunakan sebagai kompas digital untuk mengetahui arah atau orientasi alat serta modul sensor FC-03 yang mendeteksi kecepatan angin yang memutar baling-balik. Data-data tersebut diolah ESP32, dan ditampilkan secara langsung melalui LCD 16x2, dan dikirimkan ke platform ThingSpeak melalui koneksi internet untuk transmisi data pemantauan jarak jauh, dan terintegrasi dengan WhatsApp API, yang memungkinkan pengiriman notifikasi otomatis terkait data terukur.

Rangkaian skematik seperti terlihat pada gambar 7. yang dirancang terdiri atas mikrokontroler ESP32 WROOM sebagai pusat kendali yang terhubung dengan tiga modul sensor, yaitu BME280, QMC5883L, FC-03, dan satu modul tampilan LCD JHD-2X16 I2C. Sensor BME280 dan QMC5883L berkomunikasi dengan ESP32 melalui jalur komunikasi I2C, menggunakan pin SCL dan SDA. Jalur I2C digunakan secara bersamaan pada koneksi data modul LCD. Penggunaan jalur data secara bersamaan dapat dilakukan dengan adanya protokol I2C yang mendukung komunikasi *multimaster-multislave* dalam satu jalur bus. Sensor FC-03 dihubungkan ke pin digital ESP32, yaitu D0 dan A0. Pin D0 digunakan sebagai masukan data digital untuk mendeteksi keberadaan logam pada mekanis pengukuran putaran baling-baling, sedangkan pin A0 dapat digunakan sebagai informasi sistem aktif mengirimkan data. Modul LCD 16x2 I2C berfungsi sebagai tampilan dari hasil pengukuran sensor-sensor tersebut.

Alur kerja sistem peralatan, Flowchart seperti terlihat pada gambar 8. Proses diawali dengan inisialisasi dan konfigurasi sistem, yang meliputi koneksi ke jaringan Wi-Fi, pengaturan platform ThingSpeak, serta konfigurasi API WhatsApp untuk kebutuhan notifikasi. Setelah proses inisialisasi, sistem akan membaca data dari sensor, yaitu BME280, QMC5883L, dan FC-03. Data yang diperoleh digunakan untuk menghitung nilai rata-rata dari parameter-parameter yang terukur, meliputi: kecepatan angin, arah angin, suhu, kelembaban, dan tekanan udara. Nilai-nilai tersebut dibandingkan dengan data sebelumnya untuk mendeteksi adanya perubahan signifikan, serta memeriksa apakah tekanan udara berada pada ambang batas tertentu, apabila terdeteksi perubahan parameter atau tekanan udara melebihi ambang batas yang telah ditentukan, sistem akan secara otomatis mengirimkan notifikasi melalui WhatsApp. Seluruh data yang diperoleh juga dikirimkan ke platform ThingSpeak untuk keperluan pemantauan secara online, setelah proses pengiriman selesai, sistem akan mereset variabel penyimpanan data, lalu kembali mengulangi proses secara berkala.



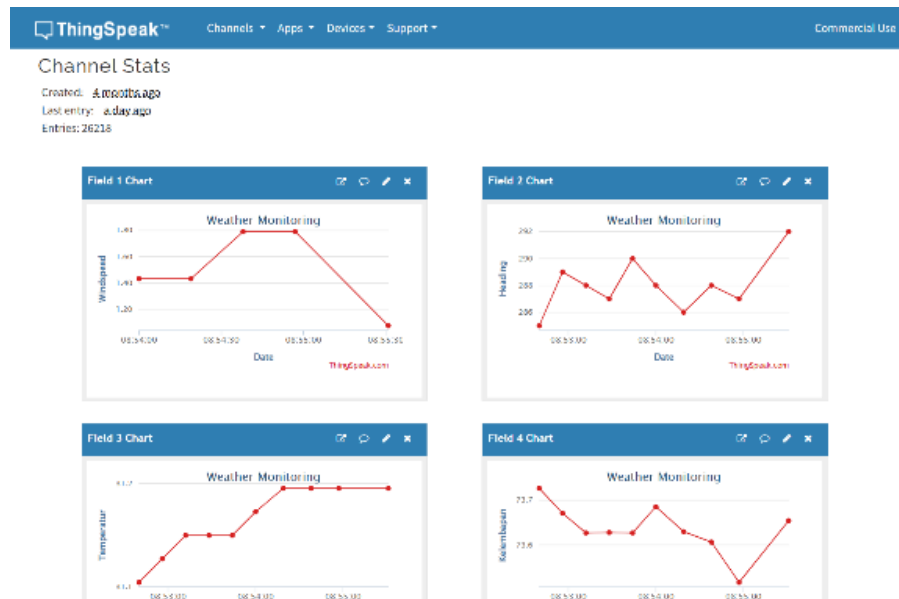
Gambar 7. Rangkaian skematik



Gambar 8. Diagram Alir Sistem

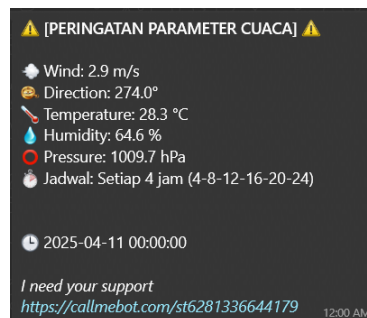
Sistem pemantauan cuaca yang dikembangkan mengimplementasikan teknologi *Internet of Things* (IoT) guna mendukung proses pemantauan dan penyampaian informasi secara real-time. Dalam sistem ini, mikrokontroler ESP32 berfungsi sebagai pusat kendali yang menghubungkan sensor-sensor fisik dengan platform digital berbasis internet.

Untuk pemantauan data cuaca secara daring, sistem ini memanfaatkan platform ThingSpeak, yaitu layanan IoT berbasis cloud yang memungkinkan penyimpanan, analisis, dan visualisasi data sensor [20]. Data yang diperoleh dari sensor BME280, QMC5883L, dan FC-03 dikirimkan secara berkala ke ThingSpeak melalui koneksi Wi-Fi internal dari modul ESP32. ThingSpeak memungkinkan penyimpanan data historis serta penyajian visual dalam bentuk grafik untuk parameter seperti suhu, kelembaban, tekanan udara, serta arah dan kecepatan angin. Seperti terlihat pada gambar 9.



Gambar 9. Tampilan ThingSpeak

Sistem juga dilengkapi dengan kemampuan pengiriman notifikasi otomatis menggunakan WhatsApp API. Tidak seperti sistem peringatan berbasis kondisi, dalam sistem ini notifikasi dikirimkan secara terjadwal, yaitu setiap 4 jam sekali dimulai dari pukul 04.00 WIB. Pesan notifikasi berisi informasi terkini mengenai kondisi cuaca dan dikirimkan ke nomor WhatsApp yang telah terdaftar, sehingga pengguna tetap mendapatkan pembaruan secara berkala tanpa harus memantau sistem secara langsung. Tampilan seperti terlihat pada gambar 10.

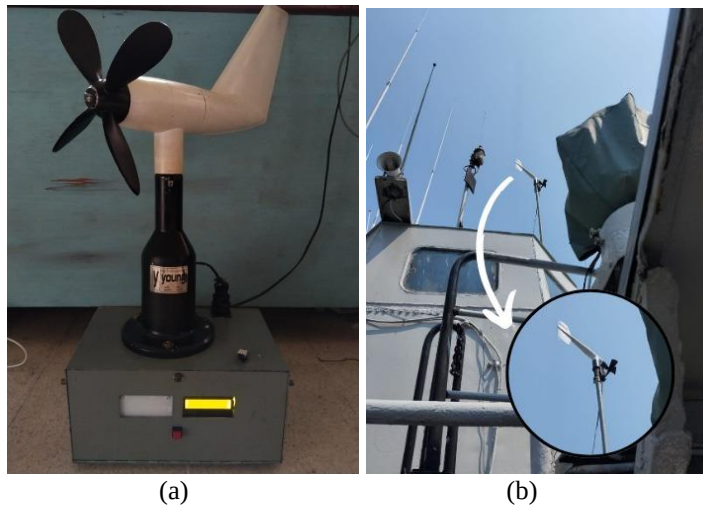


Gambar 10. Notifikasi Whatsapp API

Dengan integrasi ThingSpeak dan WhatsApp, sistem ini tidak hanya mampu memantau kondisi cuaca secara lokal, tetapi juga memberikan kemudahan akses jarak jauh serta pembaruan informasi secara rutin bagi pengguna.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Realisasi peralatan yang dibuat seperti terlihat pada gambar 11.



Gambar 11. Tampak peralatan yang dibuat
(a) Tampak peralatan yang dibuat
(b) Tampak implementasi peralatan

Pengukuran dan pengujian dilakukan kalibrasi dimulai dengan menyiapkan setiap sensor (BME280, QMC5883L, dan FC-03) pada suhu ruang (26°C) untuk stabilisasi selama 30 menit.

- BME280: Data terukur dibandingkan dengan termohigrometer digital dan barometer referensi pada rentang suhu $20\text{--}40^{\circ}\text{C}$, kelembaban $40\text{--}90\%$, dan tekanan $950\text{--}1050\text{ hPa}$. Data dikumpulkan setiap 5°C dan 10% RH.
- QMC5883L: Data terukur dikalibrasi menggunakan kompas standar, dengan rotasi 360° pada sumbu vertikal, setiap 30° diambil satu pembacaan arah.
- FC-03: Operasi sensor ini sebagai detektor logika, kalibrasi dilakukan dengan meletakkan objek logam pada jarak $0\text{--}10\text{ cm}$ dari sensor dan mencatat respons digital (HIGH/LOW).

Hasil pengukuran sensor BME280, data suhu, kelembapan dan tekanan udara, seperti terlihat pada tabel 1,2,3

Tabel 1. Pengujian Suhu

No	Termometer Referensi ($^{\circ}\text{C}$)	Suhu BME280 ($^{\circ}\text{C}$)	Deviasi Suhu
1	29°C	$29,9^{\circ}\text{C}$	0.9°C
2	30°C	$30,1^{\circ}\text{C}$	0.1°C
3	30°C	$30,4^{\circ}\text{C}$	0.4°C
4	30°C	$30,4^{\circ}\text{C}$	0.4°C
5	31°C	$30,5^{\circ}\text{C}$	-0.5°C
6	30°C	$30,5^{\circ}\text{C}$	0.5°C
7	31°C	$30,6^{\circ}\text{C}$	-0.4°C
8	31°C	$30,7^{\circ}\text{C}$	-0.3°C
9	30°C	$30,8^{\circ}\text{C}$	0.8°C
10	30°C	$30,9^{\circ}\text{C}$	0.9°C
Persentase error			0.856%

Tabel 2. Pengujian Kelembapan

No	Kelembapan Referensi	Kelembapan BME280	Deviasi Kelembapan
1	75%	75,9%	-0.10%
2	75%	75,3%	0.30%
3	74%	75,8%	1.80%
4	76%	74,8%	-1.20%
5	75%	74,8%	-0.20%
6	74%	73,6%	-0.40%
7	75%	74%	-1.00%
8	73%	73,2%	0.20%
9	74%	72,7%	-1.30%
10	73%	71,9%	-1.10%
<i>Persentase error</i>			1.02%

Tabel 3. Pengujian Tekanan Udara

No	Tekanan Udara Referensi (hPa)	Tekanan Udara BME280 (hPa)	Deviasi Tekanan
1	1012.3	1010.5	-1.8
2	1012.1	1010.2	-1.9
3	1011.8	1009.9	-1.9
4	1011.5	1009.7	-1.8
5	1011.2	1009.4	-1.8
6	1010.9	1009.1	-1.8
7	1010.6	1008.8	-1.8
8	1010.4	1008.6	-1.8
9	1010	1008.3	-1.7
10	1009.7	1008	-1.7
<i>Persentase error</i>			0.176%

Berdasarkan hasil pengukuran suhu (Tabel 1.), deviasi pembacaan berkisar antara $-0,5^{\circ}\text{C}$ hingga $0,9^{\circ}\text{C}$ dengan rata-rata kesalahan sebesar 0,856%. Hasil pengukuran kelembapan (Tabel 2) menunjukkan deviasi antara $-1,30\%$ hingga $1,80\%$ dengan rata-rata kesalahan 1,02%, data tersebut mengindikasikan akurasi yang memadai.

Pada pengujian tekanan udara (Tabel 3), deviasi pembacaan stabil pada rentang $-1,7\text{ hPa}$ hingga $-1,9\text{ hPa}$ dengan rata-rata kesalahan sebesar 0,176%. Secara keseluruhan, verifikasi kinerja menegaskan bahwa sensor BME280 memberikan hasil yang konsisten.

Pengukuran sensor FC-03 dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sensor dalam membaca kecepatan angin. Proses pengukuran dibandingkan antara hasil pembacaan sensor dengan alat referensi anemometer standar. Pengukuran dilakukan pada rentang kecepatan angin 1m/s hingga 5m/s, dengan interval 1m/s, Hasil pembacaan sensor FC-03 dibandingkan dengan anemometer standar.

Tabel 4. Pengujian FC-03

Kecepatan Kipas	Anemometer Standar	Sensor (FC-03)	Deviasi
Mode 1	3.5	3.6	-0.1
	3.4	3.24	0.16
	3.2	3.24	-0.04
	3.4	3.0	0.4
	3.3	2.9	0.4
	3.1	2.55	0.55
	3.2	3.8	-0.6
	2.9	3.24	-0.34
	2.8	3.3	-0.5
	3.0	2.9	0.1

<i>Kecepatan Kipas</i>	<i>Anemometer Standar</i>	<i>Sensor (FC-03)</i>	<i>Deviasi</i>
	3.2	2.8	0.4
	2.9	3.24	-0.34
	3.0	2.8	0.2
	2.8	2.88	-0.08
	3.1	3.24	-0.14
	2.4	2.52	-0.12
	3.3	3.24	0.06
	3.2	3.24	-0.04
	2.8	2.88	-0.08
	2.9	2.52	0.38
<i>Persentase rata-rata kesalahan</i>			<i>0.0135 = 1,35%</i>
Mode 2	4.25	4.1	-0.15
	4.23	4	-0.23
	3.53	3.7	0.17
	3.96	3.7	-0.26
	3.96	3.9	-0.06
	3.62	3.7	0.08
	3.82	3.7	-0.12
	3.9	3.7	-0.2
	4.01	3.9	-0.11
	3.96	3.7	-0.26
	3.85	3.7	-0.15
	3.26	3.3	0.04
	3.82	3.7	-0.12
	4.25	3.9	-0.35
	3.82	3.5	-0.32
	3.63	3.5	-0.13
	3.52	3.6	0.08
	3.75	3.6	-0.15
	3.84	3.7	-0.14
<i>Persentas rata-rata kesalahan</i>			<i>3.68 %</i>

Hasil pengukuran menunjukkan sensor FC-03 memiliki performa yang konsisten dalam mendeteksi kecepatan angin, khususnya pada rentang rendah hingga menengah. Pada Mode 1 (kecepatan angin 2.4-3.5 m/s), deviasi pembacaan terhadap anemometer standar berkisar antara -0.6 hingga 0.55 m/s dengan rata-rata kesalahan 1,35%. Tingkat akurasi ini mengindikasikan bahwa sensor dapat diandalkan untuk aplikasi pemantauan kecepatan angin.

Pada Mode 2 (kecepatan 3.5-4.25 m/s), sensor tetap menunjukkan kinerja yang memadai meskipun cenderung menghasilkan nilai yang sedikit lebih rendah (underestimate) dibanding referensi. Deviasi yang teramati berada pada rentang -0.35 hingga 0.17 m/s dengan rata-rata kesalahan 3,68%. Nilai ini masih dapat diterima untuk aplikasi pemantauan non-kritis, terutama jika mempertimbangkan faktor ekonomis dan kesederhanaan desain sensor.

Pengujian sensor QMC5883L bertujuan untuk membandingkan hasil pembacaan sensor dengan kompas analog sebagai acuan utama, dengan hasil seperti pada tabel 5.

Tabel 5. Pengujian QMC5883L

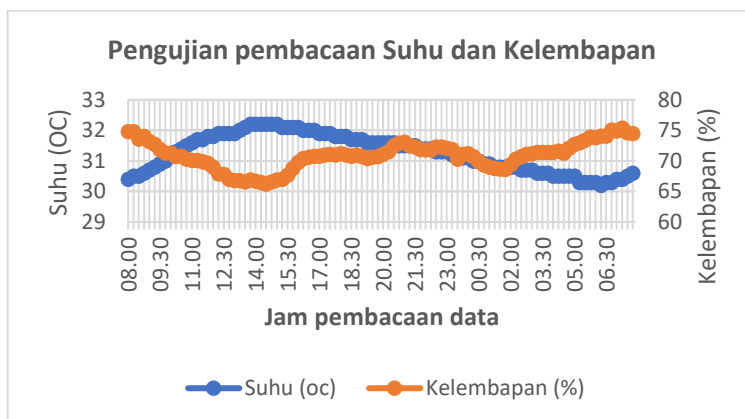
<i>Kompas (°)</i>	<i>Sensor (°)</i>	<i>Error (°)</i>
0°	0°	0°
30°	31°	+1°
60°	59°	-1°
90°	89°	-1°
120°	118°	-2°
150°	151°	+1°

Kompas (°)	Sensor (°)	Error (°)
180°	182°	+2°
210°	209°	-1°
240°	238°	-2°
270°	271°	+1°
300°	299°	-1°
330°	329°	-1°
360°	360°	0°

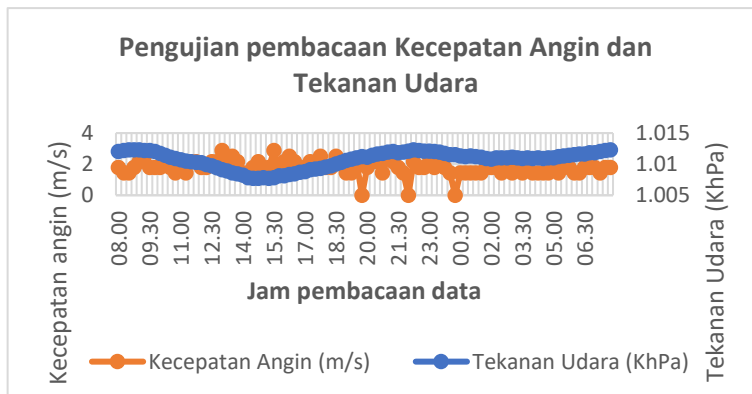
Hasil pengukuran sensor QMC5883L menunjukkan konsistensi dalam pembacaan arah magnetik di seluruh kuadran. Pada Kuadran I (0° - 90°), deviasi yang teramati tidak melebihi $\pm 1^{\circ}$. Di Kuadran II (90° - 180°), deviasi maksimum sebesar -2° terjadi pada sudut 120° . Untuk Kuadran III (180° - 270°), deviasi tertinggi tercatat sebesar -2° pada sudut 240° , sedangkan di Kuadran IV (270° - 360°) deviasi relatif kecil dengan nilai maksimum -1° pada sudut 330° .

Secara keseluruhan, kesalahan maksimum yang teramati sebesar $\pm 2^{\circ}$ masih berada dalam batas toleransi.

Untuk mengevaluasi kinerja sistem secara komprehensif, dilakukan pengujian selama 24 jam dalam lingkungan terkendali dengan simulasi aliran angin menggunakan sumber angin tetap, dengan hasil ditunjukkan pada gambar 12, 13. analisis statistik deskriptif terhadap seluruh parameter yang diukur (meliputi suhu, kelembaban relatif, tekanan atmosfer, kecepatan angin, dan arah angin) mencakup nilai minimum, maksimum, mean, dan standar deviasi.



Gambar 12. Hasil pengujian pembacaan data Suhu dan Kelembapan



Gambar 13. Hasil pengujian pembacaan data Kecepatan Angin dan Tekanan Udara

Data dari gambar 12, 13 mengungkapkan pola variasi parameter cuaca yang konsisten selama pengujian 24 jam dalam ruangan dengan aliran angin terkontrol. Suhu menunjukkan tren peningkatan bertahap dari 30,4°C (pukul 08.00) mencapai puncak 32,2°C pada pukul 14.00, kemudian mengalami penurunan gradual ke kisaran 30,6-31,0°C di akhir pengamatan. Kelembaban relatif memperlihatkan pola berlawanan dengan suhu, turun dari nilai awal 74,8% menjadi minimum 66,2% di siang hari sebelum kembali meningkat pada periode sore hingga malam. Tekanan atmosfer mengalami penurunan dari 1012 hPa di pagi hari menjadi 1007,7 hPa pada sore hari, kemudian kembali mendekati nilai awal di malam hari. Kecepatan angin buatan bervariasi antara 1,43-2,87 m/s dengan fluktuasi tertinggi terjadi pada siang hari, diduga akibat interaksi antara aliran kipas dengan udara yang terpanaskan. Arah angin tetap stabil pada kisaran 285°-292°, menunjukkan konsistensi aliran udara selama pengujian. Pola variasi parameter yang teramati ini mengkonfirmasi kemampuan sistem dalam merekam dinamika kondisi cuaca terkendali dengan tingkat akurasi dan konsistensi yang memadai, sekaligus menunjukkan responsivitas sistem terhadap perubahan kondisi lingkungan.

4. KESIMPULAN

Sistem yang dirancang dapat berfungsi sesuai dengan tujuan untuk mengukur, suhu, kelembapan, tekanan angin serta arah mata angin, dan dapat dikomunikasi menggunakan pemantauan IoT serta pengiriman notifikasi melewati whatsapp, dengan akurasi masing-masing sensor yang mentransmisikan data pengukuran yang stabil, dengan batasan rata-kesalahan pengukuran dibawah 10%, serta komunikasi data yang dapat dilakukan menggunakan protocol Thingspeak serta notifikasi Whatsapp. Dengan performa yang stabil, akurasi yang memadai, dan biaya pengembangan yang rendah, sistem ini layak dijadikan solusi pemantauan cuaca lokal dan memiliki potensi dikembangkan lebih lanjut untuk aplikasi yang lebih kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

- TNI Angkatan Laut – Lantamal V – Fasharkan, yang memberikan kesempatan mencoba modifikasi peralatan yang dirancang
- Laboratorium Otomasi Industri dan Robotika, Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Katolik Widya Mandala Surabaya, yang memberikan tempat serta peralatan yang digunakan dalam pembuatan peralatan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] G. Lampropoulos, K. Siakas, and T. Anastasiadis, "Internet of Things in the Context of Industry 4.0: An Overview," *Int. J. Entrep. Knowl.*, vol. 7, no. 1, pp. 4–19, Jul. 2019, doi: 10.2478/ijek-2019-0001.
- [2] R. Budjač and G. Gašpar, "Proposal for a weather monitoring system utilizing IoT technologies," pp. 67–74, 2024.
- [3] L. T. P. Y. P. B. Tushar Chaudhari, "LoRa Based Wireless Weather Station," *Interantional J. Sci. Res. Eng. Manag.*, vol. 06, no. 04, pp. 2170–2174, 2022, doi: 10.55041/ijrsrem12424.
- [4] S. Girish, B. Gagan, B. Vasavi, B. Ankitha, and S. Fathima, "IoT BASED LIVE WEATHER STATION MONITORING SYSTEM," vol. 23, no. 05, 2024.
- [5] S. Dutta, "IoT-Based Weather Tracker with Data Logging Systems," vol. 8, no. 6, pp. 871–885, 2024.
- [6] M. D. Fadhillah, I. H. Santoso, and S. Astuti, "Rancang bangun alat penyiraman otomatis berbasis Internet of Things dengan Notifikasi Whatsapp," *J. Eng.*, vol. 8, no. 6, pp. 11816–11828, 2021.
- [7] B. Satria, M. E. Dalimunthe, M. Iqbal, and S. Berthauli, "A Development IOT Based Real-Time Weather Monitoring System Using NodeMCU ESP32 and BMP280-DHT11 Sensor," vol. 13, no. 03, pp. 698–710, 2025, doi: 10.58471/infokum.v13i03.
- [8] P. N. Padang, C. Author, W. Station, and C. C. Attribution-, "IMPLEMENTATION OF THE INTERNET OF THINGS (IOT) ON AN AUTOMATIC WEATHER STATION (AWS) WEATHER MONITORING TOOL TO SUPPORT FISHERMAN ACTIVITIES ON," vol. 1, no. 2, pp. 1–9, 2024.
- [9] A. M. Nur, "Penggunaan Aplikasi Whatsapp Dalam Media Komunikasi di Perguruan Tinggi Pada Masa Pandemi Covid-19 (Studi Kasus: Universitas Al-Wasliyah Labuhan Batu)," *Commun. Soc. Media*, vol. 1, no. 2, pp. 42–48, 2021, doi: 10.57251/csm.v1i2.318.
- [10] H. Hermansyah, K. Kasim, and I. K. Yusri, "Solar Panel Remote Monitoring and Control System on Miniature Weather Stations Based on Web Server and ESP32," *Int. J. Recent Technol. Appl. Sci.*, vol. 2,

- no. 1, pp. 1–24, 2020, doi: 10.36079/lamintang.ijortas-0201.56.
- [11] G. S. Huang, Y. F. Wu, and M. C. Kao, “Inertial Sensor Error Compensation for Global Positioning System Signal Blocking -Extended Kalman Filter vs Long- and Short-term Memory,” *Sensors Mater.*, vol. 34, no. 6, pp. 2427–2445, 2022, doi: 10.18494/SAM3790.
 - [12] K. A. Ofomaja and O. S. Azi, “The Nigerian Association of Mathematical Physics A PORTABLE EASY TO USE PRESSURE , TEMPERATURE AND HUMIDITY REAL- TIME SENSING SYSTEM,” vol. 2, pp. 113–124, 2024.
 - [13] R. Setiadi, D. H. Al-janan, W. Sumbodo, and D. E. Firmansyah, “Design and construction of a data logger based on a speed sensor for DC motor control,” vol. 6, no. 1, pp. 121–130, 2025.
 - [14] N. S. Ali, H. A. Kadhim, and D. M. Abdulsahib, “Multi-function intelligent robotic in metals detection applications,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 17, no. 4, pp. 2058–2069, 2019, doi: 10.12928/TELKOMNIKA.V17I4.11822.
 - [15] S. A. Akinwumi, O. Okey-Amadi, W. A. Ayara, and O. A. Akinwumi, “Eco-friendly Weather Monitoring Device using Arduino Mega and Sensor Integration,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 1428, no. 1, 2024, doi: 10.1088/1755-1315/1428/1/012006.
 - [16] N. Bricina, J. Dehtjars, and K. Ja, “Human magnetic field registration capability using low-field magnetic sensors,” pp. 1–6, 2021.
 - [17] P. D. P. Adi and A. Kitagawa, “A performance of radio frequency and signal strength of LoRa with BME280 sensor,” *Telkomnika (Telecommunication Comput. Electron. Control.*, vol. 18, no. 2, pp. 649–660, 2020, doi: 10.12928/telkomnika.v18i2.14843.
 - [18] R. M. Abdurrohman, “Prototipe Monitoring Suhu Dan Kelembapan Secara Realtime,” *J. ICTEE*, vol. 4, no. 2, p. 29, 2023, doi: 10.33365/jictee.v4i2.3158.
 - [19] Pradhana Candra and Sulaiman Mochamad, “Simulasi Komunikasi Serial Dengan Protokol I2C Menggunakan Arduino IDE dan Proteus 8,” *Semin. Nas. Fortei Reg.* 7, pp. 1–6, 2020.
 - [20] E. Sorongan, Q. Hidayati, and K. Priyono, “ThingSpeak sebagai Sistem Monitoring Tangki SPBU Berbasis Internet of Things,” *JTERA (Jurnal Teknol. Rekayasa)*, vol. 3, no. 2, p. 219, 2018, doi: 10.31544/jtera.v3.i2.2018.219-224.