

# Local Weather Monitoring using WSN and IoT as an Early Warning for Extreme Weather

**Article History:**

Received

11 December 2025

Revised

24 February 2026

Accepted

02 March 2026

**RAHMI HIDAYATI , KARTIKA SARI , IRMA NIRMALA**Universitas Tanjungpura  
Email: [rahmihidayati@siskom.untan.ac.id](mailto:rahmihidayati@siskom.untan.ac.id)**ABSTRAK**

Penelitian ini mengembangkan sistem pemantauan cuaca lokal berbasis Internet of Things (IoT) dan Wireless Sensor Network (WSN) dengan node sensor yang memantau suhu, kelembaban, tekanan udara, kecepatan angin, dan curah hujan secara real time. Node sensor mengirimkan data ke Firebase untuk ditampilkan pada dashboard web dan digunakan sebagai pemicu notifikasi dini melalui Telegram. Hasil pengujian menunjukkan sensor anemometer memiliki selisih rata-rata 0,33 km/jam, sementara BME280 mencatat akurasi tinggi pada tiga parameter: selisih 0,21°C (0,74%) untuk suhu, 0,83% (1,31%) untuk kelembaban, dan 0,28 hPa (0,02%) untuk tekanan udara. Sistem juga menunjukkan sinkronisasi data yang stabil serta respons peringatan yang cepat. Hasil pengujian menunjukkan potensi pendekatan multi-node dalam menangkap variasi mikroklimat lokal dan berpotensi dikembangkan lebih lanjut untuk model prediksi berbasis machine learning.

**Kata kunci:** IoT, WSN, pemantauan cuaca, peringatan dini, multi-node

**ABSTRACT**

This research develops a local weather-monitoring system based on the Internet of Things (IoT) and a Wireless Sensor Network (WSN), employing four nodes to collect real-time data on temperature, humidity, air pressure, wind speed, and rainfall. Each node transmits its data to Firebase, where it is displayed on a web dashboard and used to trigger early-warning notifications via Telegram. Testing results show that the anemometer recorded an average deviation of 0.33 km/h, while the BME280 demonstrated high accuracy across three parameters: a 0.21°C (0.74%) deviation for temperature, 0.83% (1.31%) for humidity, and 0.28 hPa (0.02%) for air pressure. The system also exhibited stable data synchronization and rapid alert response times. The testing results demonstrate the potential of a multi-node approach to capture local microclimate variability and indicate its suitability for further development in machine learning-based predictive models.

**Keywords:** IoT, WSN, weather monitoring, early warning, multi-node

This is an open access article under the [CC BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license



## 1. PENDAHULUAN

Perubahan iklim global meningkatkan frekuensi serta intensitas cuaca ekstrem di Indonesia, terutama di wilayah tropis yang memiliki variabilitas atmosfer tinggi. Kejadian angin puting beliung dan hujan lokal berintensitas tinggi dalam beberapa tahun terakhir menunjukkan kecenderungan tersebut. Di beberapa daerah seperti Tapanuli Utara, Sumedang, Pontianak, dan Singkawang, angin kencang menyebabkan kerusakan rumah dan memaksa warga mengungsi **(A'an, 2025) (Andriana & Miranti, 2025) (Rahyuni, 2025) (Wulandari, 2024)**. Fenomena ini memperlihatkan bahwa ancaman hidrometeorologi kini bersifat semakin lokal dan cepat berubah. Sistem peringatan dini nasional yang ada belum sepenuhnya mampu menangkap dinamika tersebut di tingkat masyarakat, sehingga diperlukan sistem pemantauan cuaca ekstrem skala mikro yang lebih lebih fleksibel dan tersebar.

Saat ini sistem pemantauan cuaca di Indonesia bergantung pada jaringan stasiun BMKG yang kepadatannya terbatas. Akibatnya, variasi iklim antarlokasi dalam satu kota sering tidak terpantau secara memadai. BMKG mencatat bahwa hujan lokal berintensitas tinggi dapat menyebabkan banjir meskipun wilayah sekitar tidak mengalami kondisi serupa **(Aditya & Ramadhan, 2025)**. Perbedaan kondisi atmosfer dalam radius beberapa kilometer saja dapat menghasilkan cuaca yang berbeda, sehingga pendekatan *single-station* menjadi tidak lagi memadai, terutama di kawasan perkotaan tropis yang dinamis. Tantangan tidak hanya terletak pada keterbatasan sensor, tetapi juga pada mekanisme pemrosesan dan penyebaran informasi agar masyarakat dapat menerima peringatan secara cepat dan mudah dipahami.

Perkembangan Internet of Things (IoT) dan Wireless Sensor Network (WSN) memberikan peluang besar untuk menjawab kebutuhan tersebut. IoT memungkinkan pengukuran parameter lingkungan secara berkala dan berjalan otomatis, serta mengirimkan data melalui jaringan nirkabel untuk dianalisis secara *real time*. WSN memungkinkan penyusunan beberapa node sensor dalam satu jaringan yang padat, fleksibel, dan mudah diperluas. Integrasi keduanya membuat sistem lebih mampu menangkap perubahan cuaca lokal dengan biaya operasional rendah, sekaligus memudahkan penerapan di wilayah perkotaan tropis. Meski pendekatan semacam ini semakin banyak digunakan di negara lain, adaptasinya pada kondisi iklim tropis Indonesia masih terbatas, sementara kondisi atmosfer di wilayah tropis berubah lebih cepat dan sulit diprediksi.

Sejumlah penelitian telah mengembangkan sistem pemantauan berbasis IoT dan WSN. **(Megantoro, dkk, 2021) (Simatupang, dkk, 2025)** merancang sistem pemantauan cuaca dan polutan berbasis IoT dan Firebase yang menampilkan data secara real-time, tetapi belum dilengkapi mekanisme peringatan dini. Penelitian **(Kokane, dkk, 2024)** memanfaatkan jaringan multi-node untuk analisis tren cuaca, namun belum terhubung dengan kanal komunikasi publik. Di sisi lain, **(Albuali, dkk, 2023)** menerapkan TinyML pada *edge device* untuk prediksi kecepatan angin, menandai arah pengembangan berbasis kecerdasan buatan. Namun, mayoritas penelitian tersebut berhenti pada pemantauan atau prediksi dan belum mengintegrasikan sistem dengan media komunikasi yang dapat memberikan manfaat langsung bagi masyarakat.

Upaya pengembangan sistem peringatan angin juga telah dilakukan, misalnya oleh **(Mardiyono, dkk, 2021)** yang menggunakan sensor kecepatan angin dan data prakiraan daring untuk menyalakan alarm lokal. Meski efektif, sistem tersebut hanya memberikan peringatan pada satu lokasi dan tidak dapat mengirim notifikasi ke pengguna di wilayah lain. **(Bestari & Wibowo, 2023)** memperluas pendekatan ini dengan memanfaatkan Telegram Bot untuk pengiriman data cuaca dan peringatan otomatis, tetapi penerapannya masih terbatas pada satu node dan belum mengoptimalkan analisis kestabilan atmosfer. Padahal,

perubahan kecil pada kombinasi suhu, tekanan, dan kelembaban sering kali menjadi indikator awal sebelum angin kencang atau hujan lebat berkembang.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa masih banyak yang berfokus pada pengukuran dan visualisasi data, sementara integrasi sistem multi-node, pemantauan indikasi awal ketidakstabilan atmosfer, dan penyebaran peringatan cuaca secara *real-time* masih jarang dieksplorasi. Hal ini menjadi penting karena sebagian besar sistem IoT cuaca dikembangkan di negara beriklim sedang dan belum banyak diuji di wilayah tropis yang sangat lembap. Keterlambatan informasi juga sering membuat masyarakat kurang siap, sehingga pemanfaatan platform seperti Telegram dapat mempercepat penyebaran peringatan dan mendorong partisipasi public (**Simatupang & Arrazaq, 2023**).

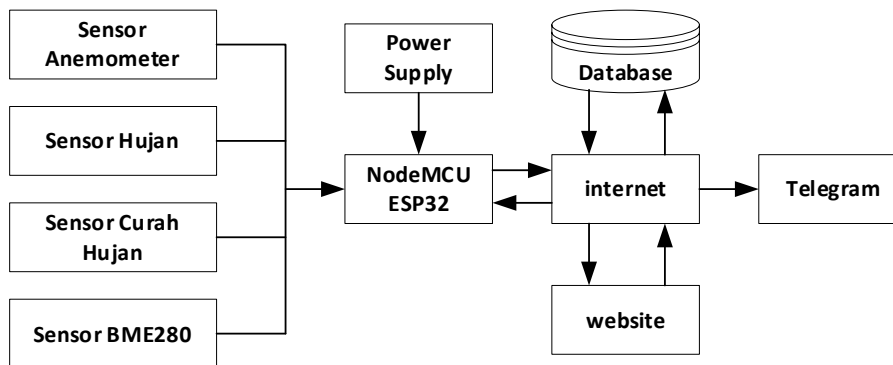
Dari sisi teknis, penggabungan IoT–WSN dengan platform komunikasi publik memungkinkan pemantauan cuaca lintas lokasi secara bersamaan, menghasilkan notifikasi otomatis dalam hitungan detik, dan mengurangi ketergantungan pada infrastruktur resmi. Jika dipadukan dengan analisis kestabilan atmosfer, sistem dapat memberi peringatan lebih dini dengan membaca pola perubahan sebelum parameter mencapai ambang bahaya.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini menegaskan bahwa sistem cuaca saat ini masih terbatas dalam menangkap variasi mikroklimat, jarang terhubung dengan platform komunikasi *real-time*, dan sering terlambat memberi informasi akurat. Penelitian ini berangkat dari asumsi bahwa IoT–WSN mampu mendeteksi perubahan parameter cuaca ekstrem, sementara notifikasi Telegram dapat meningkatkan kesiapsiagaan masyarakat. Sistem yang dikembangkan memantau parameter utama pada empat lokasi berbeda dan menyediakan visualisasi *real-time* berbasis web. Meskipun lingkungannya masih terbatas, pendekatan multi-node ini berpotensi diterapkan pada skala kota pintar dan diharapkan mampu mempercepat serta meningkatkan akurasi peringatan cuaca ekstrem di wilayah tropis Indonesia.

## 2. METODA

### 2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental terapan untuk merancang dan menguji sistem pemantauan cuaca lokal berbasis *Internet of Things* (IoT) dan *Wireless Sensor Network* (WSN). Sistem dibuat dalam bentuk jaringan multi-node agar dapat menangkap perbedaan kondisi mikroklimat antarlokasi dalam satu kota, pendekatan yang sebelumnya terbukti efektif pada studi WSN untuk kebutuhan lokasi spesifik (**Onofre, dkk, 2021**) maupun pada pengembangan *prototype* stasiun cuaca berbiaya rendah (**Blokhin, dkk, 2025**). Tahapan penelitian meliputi perancangan arsitektur perangkat keras dan perangkat lunak, kalibrasi dan konfigurasi sensor, serta pengambilan data berkala dengan interval yang disesuaikan dengan dinamika atmosfer tropis. Akurasi dan keandalan sistem kemudian divalidasi dengan membandingkan hasil pengukuran dengan data BMKG, sekaligus mengevaluasi aspek konektivitas, efisiensi energi, dan ketahanan jaringan sebagaimana disarankan dalam penelitian WSN terbaru (**Subburathinam, dkk, 2024**). Pemilihan komponen seperti Sensor hujan, BME280, anemometer, ESP32, Firebase, dan Telegram Bot mempertimbangkan keseimbangan antara biaya, kemudahan integrasi, dan kebutuhan pemantauan *real-time*, sesuai rekomendasi pada aplikasi IoT berskala kecil hingga menengah (**Mankar, 2025**). Gambaran umum sistem ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Rancangan Arsitektur Sistem

### 2.2 Material dan Peralatan

Sistem ini menggunakan sensor dan platform IoT yang umum untuk pemantauan lingkungan skala kecil. Pemilihan perangkat didasarkan pada akurasi, biaya, kemudahan integrasi, serta kebutuhan pemantauan *real-time* sesuai rekomendasi studi sebelumnya (Blokhin, dkk, 2025) (Tung, 2024). Node sensor disusun menggunakan sensor hujan, BME280, anemometer, dan ESP32. Data dikirim dari ESP32 ke *Firestore Realtime Database*, platform *cloud* yang mendukung sinkronisasi instan dan telah banyak digunakan dalam berbagai aplikasi IoT (Efendi, dkk, 2025). Untuk peringatan dini, sistem memanfaatkan Telegram Bot API yang memiliki latensi sangat rendah dan terbukti andal pada sistem peringatan lingkungan (Najmawatih, dkk, 2025) (Rakhman, dkk, 2025) (Wandi & Ashari, 2023). Data divisualisasikan melalui dashboard web berbasis PHP–JavaScript agar dapat dipantau secara langsung. Tabel 1 merangkum spesifikasi teknis setiap komponen.

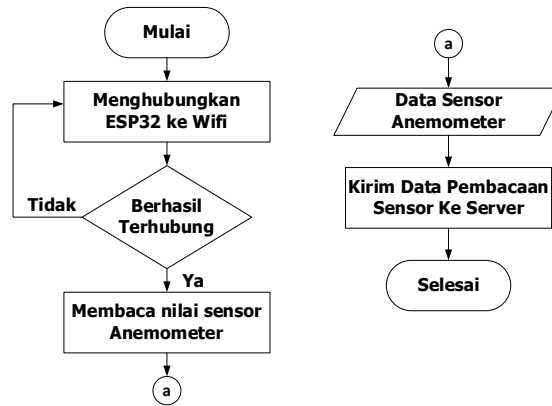
Tabel 1. Spesifikasi Perangkat

Perangkat	Fungsi	Rentang / Akurasi	Alasan Pemilihan
multisensor	Suhu, kelembaban, dan tekanan udara	Suhu: -40–85°C Kelembaban: 0–100% RH Tekanan: 300–1100 hPa	Presisi tinggi, <i>interface digital</i> I2C/SPI
Sensor kecepatan angin	Kecepatan angin		Indikator utama cuaca ekstrem
Sensor hujan ( <i>rain presence</i> )	Deteksi kejadian hujan	Logika biner	Identifikasi awal kejadian hujan
Sensor curah hujan ( <i>tipping bucket</i> )	Pengukuran intensitas hujan	1 jungkit $\approx$ 1,4 mm	Pengukuran kuantitatif curah hujan
NodeMCU	Mikrokontroler & Wi-Fi	80 MHz; Wi-Fi 802.11	Integrasi mudah & <i>widely used</i> dalam IoT
<i>Firestore</i>	<i>Database real-time</i>		Sinkronisasi instan, skalabilitas tinggi
Telegram API	Notifikasi otomatis	Latensi < 2 detik	Sangat cepat & <i>reliable</i>

### 2.3 Konfigurasi dan Pengumpulan data

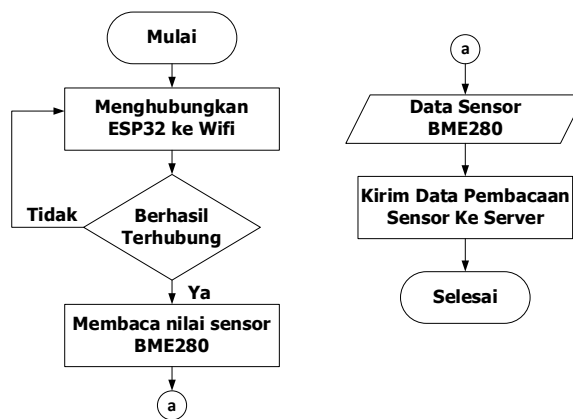
Node sensor ditempatkan di empat titik lokasi di berbagai titik di Kota Pontianak untuk menangkap variasi iklim secara lebih representatif. Node sensor dipasang pada ketinggian sekitar 10 meter untuk mengurangi turbulensi permukaan. Sebelum pemasangan, seluruh sensor dikalibrasi menggunakan alat referensi stasiun cuaca otomatis. Setiap node terdiri dari Sensor hujan, BME280, dan anemometer yang terhubung melalui ESP32. Node dikonfigurasi melakukan pengukuran setiap 5 menit, interval yang direkomendasikan (Petrović, dkk, 2021) untuk menangkap perubahan cepat pada cuaca tropis. Data suhu,

kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin dikirim otomatis ke Firebase Realtime Database melalui Wi-Fi. Firebase dipilih karena mendukung sinkronisasi instan sebagaimana ditunjukkan penelitian IoT sebelumnya (**Efendi, dkk, 2025**). Data diperbarui langsung pada dashboard web, dan bila parameter melewati ambang batas, sistem mengirim peringatan melalui Telegram API. Penggunaan Telegram didukung temuan (**Najmawatih, dkk, 2025**), yang mencatat latensi pesan kurang dari dua detik sehingga efektif untuk kondisi darurat.



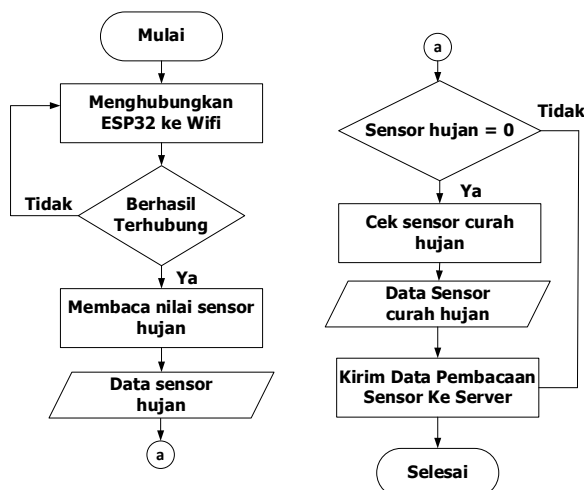
**Gambar 2. Diagram alir Sensor Anemometer**

Gambar 2, Gambar 3, dan Gambar 4 menunjukkan alur kerja dasar setiap node sensor dalam sistem pemantauan cuaca berbasis IoT. Setiap node memulai prosesnya dengan menghubungkan NodeMCU ESP32 ke jaringan Wi-Fi, yang menjadi langkah awal sebelum sensor dapat dibaca. Gambar 2 menunjukkan bagaimana node membaca data dari anemometer setelah koneksi terbentuk, lalu mengemas dan mengirimkan informasi kecepatan angin ke server. Gambar 3 menggambarkan proses serupa untuk sensor BME280, di mana node mengambil data suhu, kelembaban dan tekanan udara dan secara otomatis mengirimkannya ke basis data web setelah pembacaan selesai.



**Gambar 3. Diagram Alir Sensor BME280**

Gambar 4 menunjukkan alur kerja sensor hujan dan curah hujan. Sistem memeriksa kondisi awal sensor, lalu membaca dan mengirim data curah hujan ke server ketika hujan terdeteksi, jika tidak, node kembali memeriksa hingga ada perubahan. Diagram tersebut menegaskan bahwa tiap node bekerja mandiri dengan pola yang sama, memastikan koneksi, membaca sensor, memproses data, dan mengirimkan hasil, sehingga seluruh jaringan dapat berjalan selaras dan menyajikan informasi cuaca lokal secara *real time*.



Gambar 4. Diagram Alir Sensor hujan dan Sensor curah hujan

## 2.4 Pengolahan data

Pengolahan data difokuskan untuk menghasilkan informasi cuaca yang akurat dan dapat dipantau secara real time. Sistem menggunakan metode berbasis ambang batas, pendekatan sederhana namun responsif yang umum dipakai pada stasiun cuaca IoT berbiaya rendah (Blokhin, dkk, 2025). Nilai yang menyimpang dari kisaran normal dan perubahan parameter yang drastic dalam rentang waktu tertentu ditandai sebagai indikasi awal ketidakstabilan atmosfer. Untuk menampilkan data secara halus di dashboard web, digunakan interpolasi linier yang ringan secara komputasi dan sesuai dengan keterbatasan perangkat IoT, sejalan dengan rekomendasi penelitian WSN tentang efisiensi pemrosesan (Subburathinam, dkk, 2024). Data yang telah diproses disinkronkan melalui *Firestore* sehingga perubahan kondisi langsung terlihat. Tahap terakhir adalah pemicu peringatan dini. Ketika parameter cuaca melewati ambang batas, sistem otomatis mengirim notifikasi melalui Telegram Bot API. Latensi pesan yang rendah, umumnya <2 detik, telah dibuktikan pada sistem peringatan bencana dan monitoring kualitas udara (Wandi & Ashari, 2023), sehingga informasi penting dapat diterima pengguna dengan cepat.

## 2.5 Validasi dan Evaluasi Sistem

Validasi dilakukan untuk memastikan sensor, alur data, dan mekanisme peringatan bekerja akurat dan stabil. Akurasi diuji dengan membandingkan suhu, kelembaban, tekanan, dan angin dengan data BMKG, sesuai praktik verifikasi stasiun cuaca IoT berbiaya rendah (Tung, 2024). Latensi notifikasi diukur dari deteksi di *Firestore* hingga pesan diterima, lalu dibandingkan dengan temuan sistem peringatan berlatensi <2 detik (Rakhman, dkk, 2025). Pengujian ini memastikan sistem mampu menyampaikan informasi kritis dengan cepat dan andal.

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

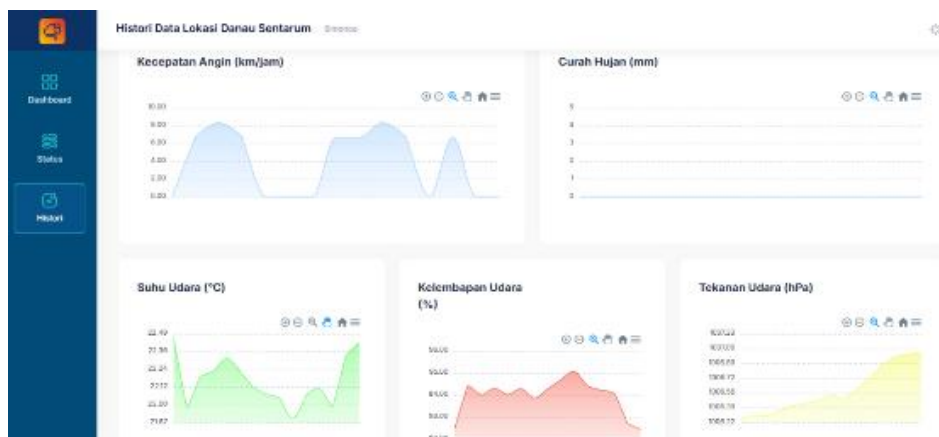
### 3.1 Implementasi Sistem

Implementasi sistem dilakukan dengan menempatkan node sensor pada empat lokasi berbeda di Kota Pontianak untuk menangkap variasi iklim antar lokasi. Empat lokasi pemantauan mencakup kawasan permukiman padat, area tepi jalan utama, serta wilayah yang berdekatan dengan perairan, sehingga merepresentasikan variasi lingkungan perkotaan di Kota Pontianak. Node sensor diprogram untuk mengukur suhu, kelembaban, tekanan udara, dan kecepatan angin secara berkala, lalu mengirimkan datanya ke *Firestore* melalui koneksi Wi-Fi. Gambar 5 memperlihatkan bentuk fisik node sensor yang digunakan.



**Gambar 5. Implementasi Node sensor**

Setelah perangkat keras dirakit, sistem dikonfigurasi untuk terhubung dengan Firebase Realtime Database. Setiap hasil pengukuran dikirim sebagai timestamped record, memanfaatkan kemampuan pembaruan *real-time Firebase*. Halaman status menjadi antarmuka utama bagi pengguna untuk melihat kondisi cuaca terkini di lokasi yang dipilih. Informasi yang ditampilkan meliputi kecepatan angin, status dan intensitas hujan, suhu dan kelembaban udara, tekanan atmosfer, serta peta lokasi node pemantauan. Seluruh data diperbarui secara real time berdasarkan kiriman dari node sensor.



**Gambar 6. Antarmuka Halaman Histori Grafik**

Halaman histori disiapkan untuk menampilkan rekaman data cuaca dalam bentuk grafik dan tabel, sehingga pengguna dapat meninjau pola perubahan kondisi atmosfer dari waktu ke waktu. Grafik menunjukkan tren kecepatan angin, curah hujan, suhu, kelembaban, dan tekanan udara, yang diperbarui sesuai data hasil pengukuran. Penyajian ini memudahkan pengguna melakukan analisis sederhana terhadap dinamika cuaca, termasuk melihat kecenderungan ekstrem atau anomali. Implementasi grafik pada halaman histori ditunjukkan pada Gambar 6, yang menampilkan bagaimana data divisualisasikan secara informatif dalam antarmuka sistem.

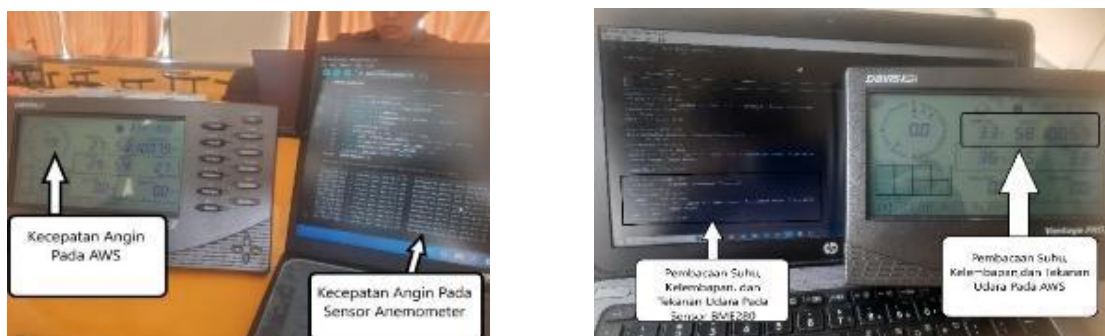
Pada halaman tabel, data historis dikelompokkan menjadi tiga bagian: kecepatan angin, data hujan, serta suhu, kelembaban, dan tekanan udara. Pembagian ini memudahkan pengguna meninjau setiap parameter secara lebih terfokus, terutama ketika ingin menelusuri kejadian cuaca tertentu pada periode waktu tertentu. Sistem peringatan dini diimplementasikan menggunakan Telegram Bot API, sehingga setiap anomali seperti lonjakan kecepatan angin

atau penurunan tekanan udara, dapat segera dikirimkan kepada pengguna. Notifikasi diberikan dalam format singkat yang mencantumkan lokasi node, waktu kejadian, dan nilai parameter yang melewati ambang batas. Keseluruhan proses implementasi ini memastikan seluruh komponen bekerja serempak sebagai satu sistem pemantauan cuaca berbasis IoT–WSN dan menjadi dasar bagi analisis kinerja pada bagian selanjutnya.

### **3.2 Data**

Bagian ini menyajikan hasil pengujian sensor, kinerja sistem peringatan dini, dan evaluasi keseluruhan sistem sebagai dasar analisis pada bagian berikutnya. Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen, mulai dari sensor hujan, sensor curah hujan, anemometer, sensor BME280, hingga mekanisme pengiriman pesan Telegram, bekerja sesuai fungsi dan mampu menghasilkan data yang layak digunakan untuk pemantauan cuaca lokal secara real time. Pengujian pertama dilakukan pada sensor hujan yang dirancang untuk membedakan kondisi hujan dan tidak hujan melalui keluaran logika biner. Hasilnya menunjukkan respon yang konsisten: ketika permukaan sensor kering, keluaran bernilai 1 (tidak hujan), dan ketika diberi tetesan air, keluaran berubah menjadi 0 (hujan). Perubahan nilai ini sesuai dengan rancangan logika yang diharapkan dan menunjukkan bahwa sensor dapat mendeteksi keberadaan air dengan baik.

Pengujian berikutnya dilakukan pada sensor curah hujan tipe tipping bucket. Sensor ini bekerja dengan mekanisme sederhana, yaitu air hujan mengisi wadah kecil hingga mencapai batas tertentu, kemudian wadah menjungkit dan menghasilkan satu hitungan. Satu jungkit setara dengan sekitar 1,4 mm curah hujan atau 3 ml volume air. Untuk menguji performanya, sensor disiram dengan volume air yang berbeda-beda sehingga respon jungkit dapat diamati secara langsung. Hasil uji menunjukkan bahwa jumlah jungkit yang tercatat konsisten dengan perhitungan teoritis berdasarkan volume air yang diberikan. Nilai curah hujan yang dihasilkan sensor sesuai dengan kategori intensitas hujan yang umum digunakan, mulai dari hujan ringan, sedang, lebat, hingga sangat lebat. Konsistensi ini menunjukkan bahwa sensor mampu bekerja stabil dan akurat dalam berbagai tingkat intensitas air, serta dapat diandalkan sebagai instrumen pemantauan curah hujan dalam sistem ini.

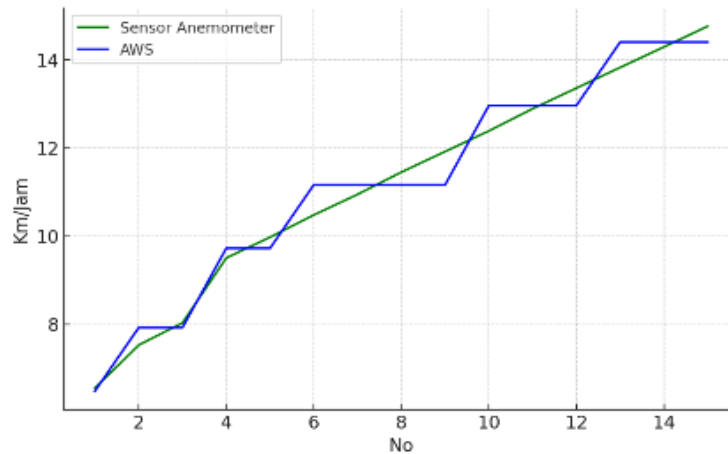


**(a) Sensor anemometer**

**(b) Sensor BME280**

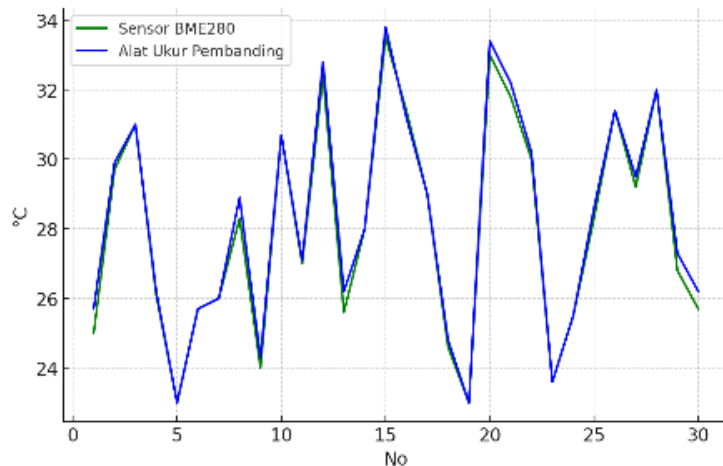
**Gambar 7. Pengujian Sensor**

Pengujian sensor anemometer dilakukan dengan membandingkan hasil pembacaannya dengan anemometer referensi pada Automatic Weather Station (AWS). Sebanyak 15 kali pengukuran dilakukan menggunakan kipas angin sebagai sumber aliran udara. Hasilnya menunjukkan bahwa nilai kecepatan angin dari sistem berada cukup dekat dengan alat referensi, dengan selisih rata-rata sekitar 0,33 km/jam. Kedekatan pembacaan ini terlihat jelas pada Gambar 8, yang menampilkan seluruh pasangan data sensor dan AWS.



**Gambar 8. Hasil Pengujian Sensor Anemometer**

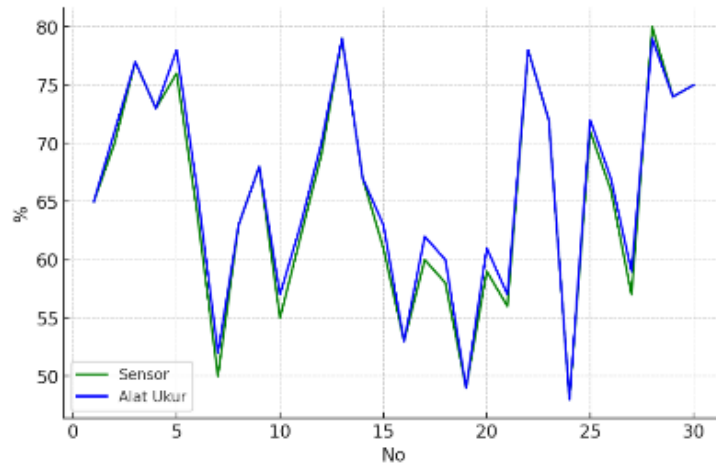
Pengujian sensor BME280 untuk suhu udara juga menunjukkan hasil yang sangat baik. Pada Gambar 9 terlihat bahwa kurva sensor mengikuti pola alat referensi secara konsisten selama 30 kali pengukuran. Selisih yang muncul relatif kecil dan stabil, menandakan bahwa sensor cukup akurat dalam menangkap perubahan suhu lingkungan.



**Gambar 7. Hasil Pengujian Sensor BME280 untuk Parameter Suhu**

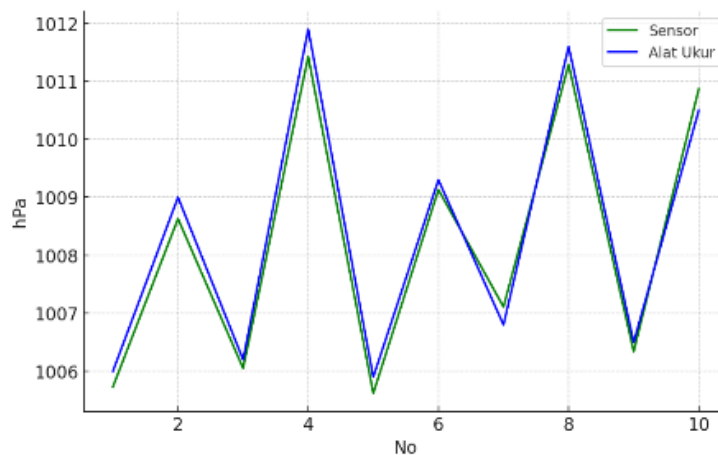
Hal serupa terlihat pada parameter kelembaban udara. Gambar 10 menunjukkan pergerakan kurva sensor dan alat referensi yang hampir identik. Meski pada beberapa titik terdapat sedikit deviasi, besarnya tidak signifikan dan tidak memengaruhi interpretasi data secara keseluruhan. Hasil ini menunjukkan bahwa BME280 mampu mengukur kelembaban dengan baik di kondisi lapangan.

Untuk tekanan udara, hasil pengujian pada Gambar 11 menampilkan kesesuaian nilai antara sensor dan alat referensi di hampir seluruh sesi pengukuran. Kedua kurva bergerak dengan pola yang sangat mirip, dengan perbedaan yang hanya muncul dalam skala sangat kecil. Konsistensi ini menunjukkan bahwa BME280 mampu memberikan pembacaan tekanan yang stabil dan dapat diandalkan dalam konteks pemantauan skala lokal.



**Gambar 10. Hasil Pengujian Sensor BME280 untuk Parameter Kelembaban Udara**

Dari hasil pengujian kuantitatif sensor, didapat bahwa parameter suhu memiliki selisih rata-rata  $0,21^{\circ}\text{C}$  dengan galat  $0,74\%$ . Untuk kelembaban, selisih yang dicatat adalah  $0,83\%$  dengan error  $1,31\%$ , yang masih tergolong stabil untuk pemantauan lingkungan. Sementara itu, tekanan udara merupakan parameter paling presisi, dengan selisih rata-rata hanya  $0,28$  hPa dan error  $0,02\%$  dibandingkan alat AWS. Nilai-nilai ini menunjukkan bahwa BME280 memberikan performa yang baik di ketiga parameter dan layak digunakan dalam sistem pemantauan atmosfer berskala mikro.



**Gambar 11. Hasil Pengujian Sensor BME280 untuk Parameter Tekanan Udara**

Pengujian selanjutnya dilakukan pada mekanisme pengiriman peringatan melalui Telegram. Sistem diprogram untuk mengirim notifikasi ketika kecepatan angin mencapai atau melewati  $30$  km/jam, lengkap dengan lokasi node, waktu kejadian, nilai angin dan kategorinya, serta data pendukung seperti suhu, kelembaban, dan tekanan. Uji lapangan menunjukkan pesan terkirim tepat saat kondisi angin masuk kategori waspada dan status di Telegram menandakan pengiriman berjalan normal. Contoh notifikasi ditampilkan pada Gambar 12. Mekanisme peringatan *real-time* melalui Telegram ini efektif menyampaikan informasi kondisi waspada segera setelah parameter melampaui ambang batas, sehingga mendukung sistem peringatan dini berbasis IoT.



**Gambar 82. Pesan Peringatan Dini di Telegram**

Pengujian dilakukan dengan menjalankan seluruh sensor selama satu hari penuh. Sistem merekam hujan, curah hujan, kecepatan angin, serta suhu, kelembaban, dan tekanan, sekaligus memantau status pengiriman pesan Telegram tiap jam. Hasilnya menunjukkan sistem mampu mengikuti perubahan cuaca harian: sebagian besar waktu cerah dan berangin tenang, lalu mencatat hujan dan variasi angin dari lemah hingga sedang. Hanya satu kali angin mencapai ambang potensi angin kencang, dan sistem segera mengirimkan peringatan melalui Telegram. Secara keseluruhan, hasil ini menggambarkan kinerja sistem dalam kondisi operasional nyata.

**Tabel 2. Contoh Data Hasil Pengujian Sistem pada Satu titik Lokasi**

No	Waktu	Status Hujan	Curah Hujan (mm)	Kecepatan Angin (km/jam)	Suhu Udara (°C)	Kelembaban Udara (%)	Tekanan Udara (hPa)	Telegram
1	18.00	Tidak Hujan	0	0 (Tenang)	27,02	68,96	1006,49	Tidak
2	21.00	Tidak Hujan	0	8,36 (Angin Lemah)	22,68	85,81	1009,41	Tidak
3	00.00	Hujan	0 (Hujan Rintik)	0 (Tenang)	21,03	89,82	1009,11	Tidak
4	13.00	Tidak Hujan	0	14,78 (Angin Sedang)	28,74	59,12	1005,44	Tidak
5	14.00	Hujan	1,4 (Hujan Rintik)	32,19 (Berhati-hati Terhadap Potensi Angin Kencang)	23,61	84,81	1005,2	Terkirim
6	17.00	Hujan	5,6 (Hujan Sedang)	6,72 (Angin Lemah)	22,8	90,3	1006,33	Tidak

Selain data rinci yang ditampilkan pada Tabel 2, hasil pengamatan di empat lokasi pemantauan menunjukkan adanya perbedaan kondisi cuaca antarlokasi. Selama periode pengujian, suhu udara berada pada kisaran 21–30°C dengan kelembaban relatif berkisar antara 55–95%. Tekanan udara tercatat pada rentang 1004–1010 hPa, sedangkan kecepatan angin bervariasi mulai dari kondisi tenang hingga mencapai lebih dari 30 km/jam pada lokasi tertentu. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa dalam satu wilayah perkotaan, kondisi atmosfer dapat berubah secara lokal, sehingga pemantauan menggunakan beberapa titik pengamatan menjadi lebih representatif dibandingkan satu titik saja. Pengamatan di beberapa titik menunjukkan bahwa sistem mampu menangkap perbedaan kondisi cuaca antar lokasi, yang menjadi karakteristik utama dari pendekatan multi-node.

Dari hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem IoT–WSN yang dikembangkan dapat memantau perubahan parameter cuaca utama yang menggambarkan kestabilan atmosfer secara umum. Sensor hujan, tipping bucket, anemometer, dan BME280 bekerja dengan akurasi yang wajar untuk pemantauan skala lokal, dengan galat rendah dan respons yang mampu membedakan kondisi hujan, angin, serta perubahan dasar atmosfer. Perubahan tekanan udara yang relatif cepat, disertai variasi suhu dan kecepatan angin, digunakan sebagai indikator awal kondisi atmosfer yang lebih labil.

Dari sisi sensor, kinerja yang diperoleh berada pada tingkat yang wajar untuk pemantauan lingkungan skala lokal. Sensor hujan dan tipping bucket mampu membedakan dengan jelas antara kondisi hujan dan tidak hujan, sekaligus mengubah jumlah jungkit menjadi nilai curah hujan. Ini penting karena intensitas hujan adalah indikator utama dalam banyak kejadian hidrometeorologis. Untuk angin, selisih rata-rata anemometer sekitar 0,33 km/jam terhadap AWS masih cukup kecil untuk keperluan pengelompokan angin lemah, sedang, dan potensi angin kencang. Sensor BME280 juga menunjukkan galat yang rendah, yaitu di bawah 1% untuk suhu dan kelembaban, dan jauh lebih kecil lagi untuk tekanan udara. Angka-angka ini sesuai dengan karakteristik sensor kelas menengah yang lazim dipakai pada stasiun cuaca IoT berbiaya rendah, dan sudah cukup untuk memantau perubahan kecenderungan atmosfer dari waktu ke waktu. Sistem juga mampu mengikuti perubahan cuaca sepanjang hari tanpa gangguan berarti pada alur data. Integrasi Firebase dan Telegram memastikan pemantauan *real time*, dengan dashboard yang menampilkan pembaruan hampir seketika. Mekanisme berbasis ambang batas memungkinkan notifikasi dikirim cepat dan waktu terima pesan masih relevan untuk kewaspadaan dini. Meskipun hasilnya positif, jumlah node yang terbatas dan durasi uji yang singkat membuat gambaran cuaca kota belum sepenuhnya terlihat. Pengamatan lebih panjang dan penambahan node diperlukan, termasuk penyempurnaan ambang batas yang saat ini masih statis.

Secara keseluruhan, kombinasi IoT–WSN dan Telegram menunjukkan potensi nyata sebagai dasar sistem peringatan cuaca ekstrem berskala lokal di wilayah tropis. Sistem telah mampu mengumpulkan data secara akurat, menampilkan kondisi terkini, dan mengirim peringatan otomatis. Dengan perluasan jaringan sensor dan pengamatan lebih panjang, pendekatan ini dapat berkembang menjadi sistem peringatan dini yang lebih adaptif dan bermanfaat bagi masyarakat.

#### **4. KESIMPULAN**

Penelitian ini berhasil merancang dan menguji sistem pemantauan cuaca lokal berbasis Internet of Things (IoT) dan Wireless Sensor Network (WSN) dengan mempatkan node sensor di empat titik di Kota Pontianak. Sistem ini memantau suhu, kelembaban, tekanan udara, curah hujan, dan kecepatan angin secara real time, sekaligus menyediakan visualisasi melalui web

dan peringatan otomatis lewat Telegram. Dari pengujian yang dilakukan, seluruh komponen dapat berfungsi sebagaimana direncanakan dan menghasilkan data yang cukup stabil untuk kebutuhan pemantauan cuaca skala mikro. Dari sisi akurasi, sensor BME280 menunjukkan selisih kecil terhadap alat referensi, yaitu 0,21°C untuk suhu, 0,83% untuk kelembaban, dan 0,28 hPa untuk tekanan, sedangkan anemometer memiliki selisih rata-rata 0,33 km/jam terhadap AWS. Temuan ini menegaskan bahwa sensor berbiaya rendah tetap reliabel bila dikalibrasi dengan benar. Pendekatan multi-node memberikan gambaran iklim mikro yang lebih lengkap, karena tiap lokasi menunjukkan variasi suhu, kelembaban, tekanan, dan angin yang cukup signifikan. Integrasi Firebase menjaga sinkronisasi data, sementara Telegram Bot memungkinkan pengiriman peringatan cepat saat parameter melewati ambang batas. Secara keseluruhan, sistem ini menawarkan solusi pemantauan cuaca yang hemat biaya, mudah diperluas, dan sesuai kebutuhan wilayah tropis berskala mikro. Dengan pengembangan lanjutan, seperti penerapan model pembelajaran mesin di tiap node, sistem berpotensi memantau sekaligus memprediksi perubahan cuaca jangka pendek secara lebih adaptif.

### UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Dana DIPA Universitas Tanjungpura berdasarkan kontrak nomor SP-DIPA-023.17.2.677517/2024 tanggal 24 November 2023. Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada FMIPA dan Universitas Tanjungpura atas dukungan dana dan fasilitas yang telah diberikan sehingga penelitian ini dapat terlaksana dengan baik

### DAFTAR RUJUKAN

- A'an. (2025, January 17). *Banjir dan Puting Beliung di Singkawang Kembali Melanda, 46 Jiwa Dievakuasi*. Pontianak Post.  
<https://pontianakpost.jawapos.com/singkawang/1465537123/banjir-dan-puting-beliung-di-singkawang-kembali-melanda-46-jiwa-dievakuasi>
- Albuali, A., Srinivasagan, R., Aljughaiman, A., & Alderazi, F. (2023). Scalable Lightweight IoT-Based Smart Weather Measurement System. *Sensors*, 23(12).  
<https://doi.org/10.3390/s23125569>
- Andriana, K., & Miranti, A., S. (2025, April 21). *Puting Beliung Terjang Pamulihan Sumedang, Sejumlah Rumah dan Bangunan Sekolah Rusak*. Tribun Jabar.  
<https://jabar.tribunnews.com/2025/04/21/breaking-news-puting-beliung-terjang-pamulihan-sumedang-sejumlah-rumah-dan-bangunan-sekolah-rusak>
- Bestari, D. N., & Wibowo, A. (2023). An IoT-Based Real-Time Weather Monitoring System Using Telegram Bot and Thingsboard Platform. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 17(6), 4–19. <https://doi.org/10.3991/ijim.v17i06.34129>
- Blokhin, Y., Cheryaev, A. S., & Blokhina, S. Yu. (2025). Developing and Testing of a Hardware and Software Complex With a Web Interface for Displaying Local Meteorological

- Monitoring Data. *Engineering Technologies and Systems*, 35(3), 230–258. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.035.202503.230-258>
- Efendi, A., Ammarullah, M. I., Isa, I. G. T., Sari, M. P., Izza, J. N., Nugroho, Y. S., Nasrullah, H., & Alfian, D. (2025). IoT-Based Elderly Health Monitoring System Using Firebase Cloud Computing. *Health Science Reports*, 8(3). <https://doi.org/10.1002/hsr2.70498>
- Fahim, M. A., Mhouti, A. E., Boudaa, T., & Jakimi, A. (2023). Modeling and Implementation of a Low-Cost IoT-smart Weather Monitoring Station and Air Quality Assessment Based on Fuzzy Inference Model and MQTT Protocol. *Modeling Earth Systems and Environment*, 9(4), 4085–4102. <https://doi.org/10.1007/s40808-023-01701-w>
- Kokane, K. G., Kharat, G. U., & Bankhele, N. B. (2024). IoT Based Weather Monitoring System with Data Logger System. *International Journal of Advanced Research in Science, Communication and Technology*, 482–486. <https://doi.org/10.48175/ijarsct-18760>
- Mankar, C. R. (2025). Implementing and Exploring the WSN Based Smart Home Weather Monitoring System Using IOT. *Interantional Journal of Scientific Research in Engineering and Management*, 09(07), 1–9. <https://doi.org/10.55041/ijrsrem51141>
- Mardiyono, M., Sari, R. E., & Dini, O. N. (2021). Wind speed monitoring and alert system using sensor and weather forecast. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 1108(1), 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899x/1108/1/012029>
- Megantoro, P., Pramudita, B. A., Vigneshwaran, P., Yurianta, A., & Winarno, H. A. (2021). Real-time monitoring system for weather and air pollutant measurement with html-based ui application. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 10(3), 1669–1677. <https://doi.org/10.11591/eei.v10i3.3030>
- Najmawatih, Taufik, I., Supriadi, S., & Christensen, A. T. (2025). Internet of Things (IoT) Based Air Pollution Detector for Baby Rooms. *Ceddi Journal of Information System and Technology (Jst)*, 4(1), 40–51. <https://doi.org/10.56134/jst.v4i1.111>
- Onofre, T. B., Fraisse, C. W., McNair, J., Judge, J., Zotarelli, L., & Peres, N. A. (2021). A Design and Development Experience of an Internet of Things Platform to Monitor Site-Specific Weather Conditions at the Farm Level. *Applied Engineering in Agriculture*, 37(4), 691–700. <https://doi.org/10.13031/aea.14005>
- Petrović, R., Simić, D., Čiča, Z., Drajić, D., Nerandzic, M., & Nikolić, D. (2021). IoT OTH Maritime Surveillance Service Over Satellite Network in Equatorial Environment: Analysis, Design and Deployment. *Electronics*, 10(17), 2070. <https://doi.org/10.3390/electronics10172070>

- Rahyuni, F. (2025, April 25). *Hujan-Angin Puting Beliung Terjang Taput, 20 Rumah Warga Rusak*. Detik.Com. <https://www.detik.com/sumut/berita/d-7879545/hujan-angin-puting-beliung-terjang-taput-20-rumah-warga-rusak>
- Rakhman, A., Somawirata, I. K., & Ardita, M. (2025). Flood Early Warning System With Notification Using Telegram Bot Based on IoT System. *Jeecom Journal of Electrical Engineering and Computer*, 7(1), 206–216. <https://doi.org/10.33650/jeecom.v7i1.10850>
- Aditya, N. R., & Ramadhan, A. (2025, March 5). *BMKG Ungkap Banjir Bekasi Disebabkan Hujan Lokal dan Kiriman dari Hulu*. Kompas.Com. <https://nasional.kompas.com/read/2025/03/05/14292801/bmkg-ungkap-banjir-bekasi-disebabkan-hujan-lokal-dan-kiriman-dari-hulu>
- Simatupang, J. W., Swastika, I. V., Hakiki, R., & Sidjabat, F. M. (2025). Design Implementation of Integrated Sensors for Weather Detection and Monitoring Systems. *Journal of Mechanical Engineering and Mechatronics*, 10(2).
- Simatupang, J. W., & Arrazaq, T. A. (2023). Design Implementation of Flood Early Warning System for Residential Monitoring. *In Proceedings of the 2023 International Conference on Radar, Antenna, Microwave, Electronics, and Telecommunications (ICRAMET)*, (pp. 158–163). IEEE.
- Subburathinam, K., Bakthavatchalam, V., Pandian, R. K. C., & Subramaniam, K. M. (2024). Enhancing Wireless Sensor Network Connectivity and Coverage Using Hybrid GWO-HSA Algorithm. *International Journal of Communication Systems*, 37(14). <https://doi.org/10.1002/dac.5858>
- Sung, W., Isa, I. G. T., & Hsiao, S. (2023a). An IoT-Based Aquaculture Monitoring System Using Firebase. *Computers Materials & Continua*, 76(2), 2179–2200. <https://doi.org/10.32604/cmc.2023.041022>
- Tung, C.-L. (2024). IoT Data Collection and Short-Term Solar Power Forecasting Using Stacked Generalization Ensemble Model. *Sensors and Materials*, 36(1), 67. <https://doi.org/10.18494/sam4530>
- Wandi, I. A., & Ashari, A. (2023). Monitoring Ketinggian Air Dan Curah Hujan Dalam Early Warning System Bencana Banjir Berbasis IoT. *Ijeis (Indonesian Journal of Electronics and Instrumentation Systems)*, 13(1). <https://doi.org/10.22146/ijeis.83569>

Wulandari. (2024, August 9). *Belasan Rumah Rusak di Pontianak Akibat Puting Beliung* . Suara Kalbar. <https://www.suarakalbar.co.id/2024/08/belasan-rumah-rusak-di-pontianak-akibat-puting-beliung/>