

BAB V

PENGUJIAN DAN ANALISA ALAT

5.1 Hasil Pengujian Sistem

Pengujian sistem secara menyeluruh dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh bagian dari alat pendeteksi dapat dirancang bekerja sesuai dengan fungsinya. Pengujian ini meliputi pengecekan integrasi antara perangkat keras dan perangkat lunak, serta respons sistem terhadap kondisi lapangan.

Mencakup pengujian sensor BME280, yang berfungsi mengukur suhu, tekanan udara, dan kelembapan. Seluruh data hasil pembacaan ditampilkan secara bergiliran pada layar LCD. Pengujian juga dilakukan terhadap modul GPS NEO-6M. Pada tahap ini, sistem membutuhkan waktu sekitar 30 hingga 60 detik untuk mendapatkan sinyal satelit secara penuh. Setelah sinyal berhasil dikunci, koordinat lokasi lintang dan bujur dapat ditampilkan di LCD dan secara bersamaan juga dikirimkan ke platform ThingSpeak. Hasil koordinat menunjukkan lokasi perangkat yang sesuai dengan titik sebenarnya di lapangan.

Tahap penting lainnya adalah pengujian rangkaian pendeteksi petir berbasis gelombang amplitude modulation (AM). Untuk mensimulasikan adanya sambaran petir, digunakan sumber gangguan elektromagnetik yang menyerupai interferensi sinyal. Ketika sinyal tersebut diterima oleh rangkaian, sistem mampu mendeteksinya dan merespons secara lokal dengan menyalakan indikator LED serta buzzer. Secara bersamaan, nilai deteksi juga terekam dan ditampilkan dalam LCD serta dikirimkan ke database ThingSpeak.

5.2 Pengujian Sensor Buatan

Pengujian sensor buatan dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan rangkaian deteksi petir berbasis prinsip gelombang amplitude modulation (AM) yang dikembangkan dalam penelitian ini. Tujuan utama pengujian ini adalah untuk mengetahui sejauh mana sensor buatan mampu merespons adanya gangguan elektromagnetik yang berpotensi berasal dari sambaran petir.

Prosedur pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari simulasi sinyal gangguan menggunakan sumber interferensi buatan, seperti pemantik listrik atau peralatan rumah tangga yang menghasilkan lonjakan arus secara mendadak. Setiap kali sumber gangguan diaktifkan di sekitar antena, sistem akan memproses sinyal tersebut sebagai indikasi terjadinya sambaran petir.

Selanjutnya, pengujian lapangan dilakukan secara langsung pada kondisi atmosfer alami di area terbuka untuk mendeteksi aktivitas petir yang terjadi. Pada pengujian ini, alat diletakkan pada posisi yang aman dengan antena teleskopik terpasang, dan data hasil deteksi petir dibandingkan dengan kondisi cuaca aktual. Pengujian lapangan ini bertujuan untuk mengukur keandalan sensor buatan dalam kondisi sebenarnya serta membandingkan hasil deteksi dengan sensor komersial AS3935 sebagai alat pembanding. Hasil dari pengujian menunjukkan bahwa sensor buatan mampu mendeteksi sinyal gangguan secara konsisten. Nilai deteksi kemudian dikonversi menjadi data pulsa yang ditampilkan pada LCD dan dikirim ke database secara berkala.

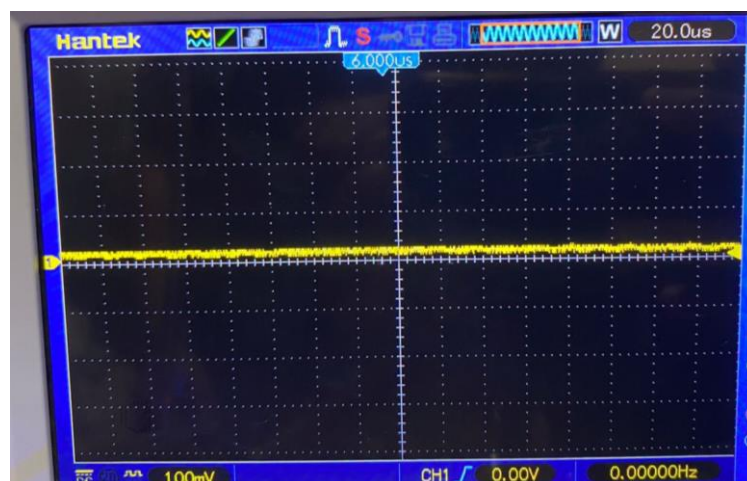
5.2.1 Pengujian Simulasi

Pengujian simulasi dilakukan untuk mengevaluasi sensitivitas sensor buatan terhadap gangguan elektromagnetik impulsif sebelum dilakukan pengujian lapangan. Sumber gangguan yang digunakan adalah percikan api dari korek gas karena percikan ini menghasilkan medan elektromagnetik sesaat yang menyerupai karakteristik sinyal gangguan akibat sambaran petir.

Dalam penelitian ini, pemantik korek api gas digunakan sebagai sumber simulasi karena mekanisme percikan (*spark gap*) pada pemantik menghasilkan pelepasan muatan listrik secara tiba-tiba. Proses ini menimbulkan medan elektromagnetik dalam spektrum frekuensi tertentu, yang secara prinsip dapat dideteksi oleh sensor elektromagnetik atau sensor deteksi petir. Percikan ini memiliki durasi sangat singkat dalam orde mikrodetik dan amplitudo yang relatif kecil dibandingkan fenomena sambaran petir sesungguhnya. Walaupun demikian, percikan dari pemantik tetap relevan sebagai sumber uji awal untuk memverifikasi

sensitivitas relatif sensor dalam kondisi laboratorium yang aman, terkontrol, dan berulang.

Sebelum dilakukan pengujian simulasi terlebih dahulu dilakukan pengujian menggunakan Osilloscope. Pengujian sinyal menggunakan osiloskop dilakukan untuk memverifikasi karakteristik keluaran rangkaian penerima berbasis IC TA7642 pada dua kondisi yaitu kondisi default tanpa gangguan dan kondisi terpicu. Pengukuran bertujuan menunjukkan kestabilan baseline pada kondisi idle, keberadaan lonjakan tegangan saat terjadi impuls, dan besaran lonjakan tersebut dalam satuan volt dan ADC count agar dapat dibandingkan dengan ambang (`deltaThreshold`) pada perangkat lunak.



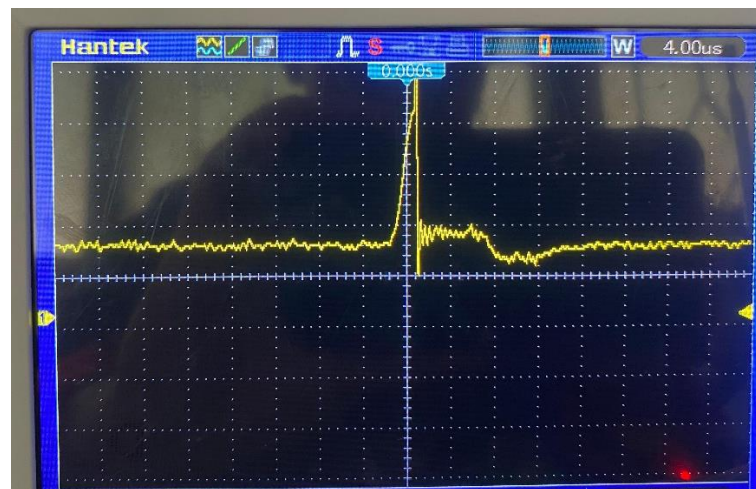
Gambar 5. 1 Hasil Osiloskop kondisi tanpa pemacu

Pada Gambar 5.1 ditampilkan hasil pengamatan osiloskop ketika rangkaian berada dalam kondisi normal tanpa adanya pemacu eksternal. Terlihat bahwa skala vertikal pada layar menunjukkan 100 mV/div, Timebase tampak 20.0 μ s/div.

Dari tampilan terlihat fluktuasi kecil pada trace ~ 0.20 div p-p $\rightarrow V_{pp} = 20$ mV, $V_{peak} = 10$ mV. Jika ADC di sistem menggunakan rentang 0–3.3 V, noise ini setara 3 counts, yaitu di bawah ambang `deltaThreshold = 5` sehingga tidak akan memicu deteksi.

Gelombang yang muncul relatif stabil dengan amplitudo yang rendah. Pola sinyal didominasi oleh noise kecil yang masih berada di bawah batas threshold

deteksi yang telah ditentukan dalam sistem perangkat lunak. Hal ini menunjukkan bahwa rangkaian memiliki kemampuan untuk meredam gangguan acak dari lingkungan sehingga tidak memicu deteksi palsu. Dengan demikian, kondisi default dapat dikategorikan sebagai keadaan idle yang stabil dan siap untuk mendeteksi sinyal lonjakan kuat dari aktivitas petir.



Gambar 5. 2 Hasil Osiloskop kondisi terdapat lonjakan

Pada Gambar 5.2 diperlihatkan hasil pengamatan osiloskop ketika pemantik korek api digunakan di dekat antena penerima. Terlihat bahwa skala vertikal pada layar menunjukkan 100 mV/div, Timebase tampak 4,00 μ s/div.

Tercatat lonjakan puncak sekitar 6.0 div atau 600 mV terhadap baseline noise 10 mV. Besaran lonjakan relatif (ΔV) = 590 mV, lebar puncak utama = 2.4 μ s, dan residual ringing teramati hingga = 20 μ s. Konversi ΔV ke pembacaan ADC menunjukkan perubahan = 183 counts pada rentang 0–3.3 V, jauh melebihi ambang $\Delta V_{\text{Threshold}} = 5$ yaitu 16.13 mV pada 3.3 V FS. Oleh karena itu lonjakan yang dihasilkan oleh pemantik jelas memicu deteksi pada sistem.

Terdapat adanya lonjakan amplitudo yang signifikan dengan bentuk gelombang yang lebih tajam dibandingkan dengan noise pada kondisi default. Lonjakan ini merupakan indikasi adanya pelepasan gelombang elektromagnetik akibat proses ionisasi udara dari pemantik.

Hasil pengujian osiloskop ini menjadi dasar bahwa sistem mampu membedakan sinyal default dengan sinyal lonjakan. Dengan adanya validasi dari sisi hardware menggunakan pengamatan langsung pada osiloskop, maka pada tahap berikutnya dilakukan pengujian simulasi berbasis perangkat lunak untuk menganalisis respon ESP8266 dalam membaca, memproses, dan mengirim data deteksi lonjakan ke platform ThingSpeak.

Langkah-langkah pengujian simulasi adalah sebagai berikut:

1. Siapkan perangkat sistem pendeteksi petir yang telah terpasang lengkap
2. Pastikan sistem dalam kondisi menyala dan terhubung ke platform monitoring ThingSpeak.
3. Atur antenna teleskopik dalam posisi 10 cm 25cm dan 50 cm vertikal untuk meningkatkan sensitivitas terhadap gangguan.
4. Pegang korek gas sejauh 2cm, dan 4 cm dari antenna, kemudian nyalakan korek gas sehingga percikan api muncul.
5. Amati respons alat terhadap percikan api, baik indikator buzzer dan LED.

Pengujian dilakukan dalam tiga sesi berbeda untuk memverifikasi konsistensi sistem deteksi sensor buatan berbasis TA7642. Data hasil deteksi diamati dari tiga indikator:

1. Aktivasi buzzer & LED,
2. Tampilan “PETIR TERDETEKSI” pada LCD,
3. Kenaikan nilai Pulse di platform ThingSpeak.



Gambar 5. 3 Tampilan LCD saat sistem mendeteksi simulasi petir



Gambar 5. 4 Dokumentasi pengambilan data untuk pengujian deteksi petir

Tabel 5 - 1 Hasil Pengujian Simulasi 1

No	Jarak Pemantik (cm)	Tinggi Antena (cm)	Sensor AS3935	Sensor Buatan
1	2	10	Terdeteksi	Tidak
2			Terdeteksi	Tidak
3			Terdeteksi	Tidak
4			Terdeteksi	Tidak

5			Terdeteksi	Tidak
6			Terdeteksi	Tidak
7			Terdeteksi	Tidak
8			Terdeteksi	Tidak
9			Terdeteksi	Tidak
10			Terdeteksi	Tidak
11		25	Terdeteksi	Terdeteksi
12			Terdeteksi	Tidak
13			Terdeteksi	Tidak
14			Terdeteksi	Terdeteksi
15			Tidak	Tidak
16			Tidak	Tidak
17			Terdeteksi	Tidak
18			Terdeteksi	Tidak
19			Terdeteksi	Terdeteksi
20			Terdeteksi	Terdeteksi
21		50	Tidak	Terdeteksi
22			Terdeteksi	Tidak
23			Tidak	Tidak
24			Tidak	Tidak
25			Terdeteksi	Tidak
26			Tidak	Tidak
27			Terdeteksi	Tidak
28			Terdeteksi	Tidak
29			Tidak	Tidak
30			Terdeteksi	Tidak

Tabel 5 - 2 Hasil Pengujian Simulasi 2

No	Jarak Pemantik (cm)	Tinggi Antena (cm)	Sensor AS3935	Sensor Buatan
1	4	10	Terdeteksi	Tidak
2			Terdeteksi	Tidak
3			Terdeteksi	Tidak
4			Terdeteksi	Tidak
5			Tidak	Tidak
6			Terdeteksi	Terdeteksi
7			Tidak	Tidak
8			Terdeteksi	Terdeteksi
9			Tidak	Tidak

10		25	Terdeteksi	Tidak
11			Terdeteksi	Tidak
12			Terdeteksi	Tidak
13			Terdeteksi	Terdeteksi
14			Terdeteksi	Tidak
15			Terdeteksi	Tidak
16			Terdeteksi	Terdeteksi
17			Terdeteksi	Tidak
18			Terdeteksi	Terdeteksi
19			Terdeteksi	Tidak
20			Terdeteksi	Tidak
21		50	Tidak	Tidak
22			Tidak	Tidak
23			Tidak	Tidak
24			Tidak	Tidak
25			Terdeteksi	Tidak
26			Tidak	Terdeteksi
27			Terdeteksi	Tidak
28			Tidak	Terdeteksi
29			Tidak	Tidak
30			Tidak	Tidak

Pada simulasi tersebut dapat diolah sehingga mengetahui probabilitas keberhasilan deteksi dengan perhitungan sebagai berikut.

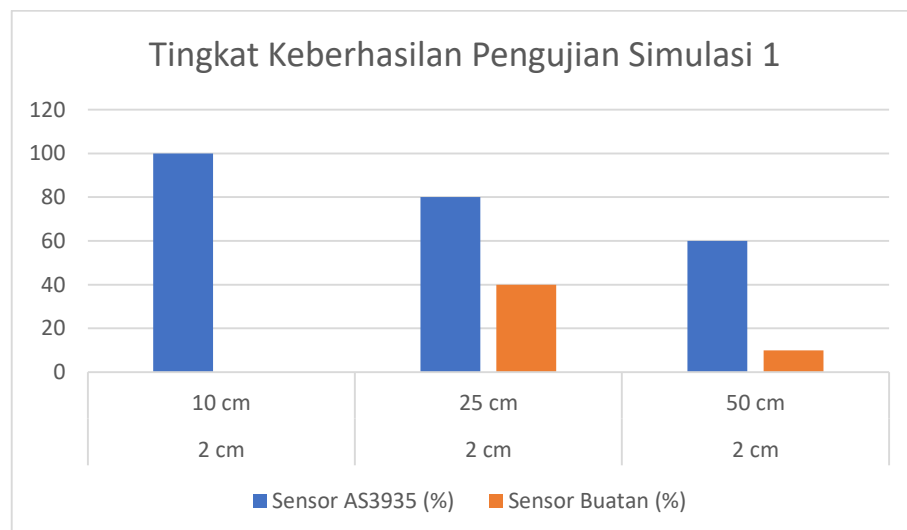
$$P_{deteksi} = \frac{N_{terdeteksi}}{N_{total}} \times 100\% \quad (5.1)$$

Tabel 5 - 3 Hasil Tingkat Keberhasilan Pengujian Simulasi

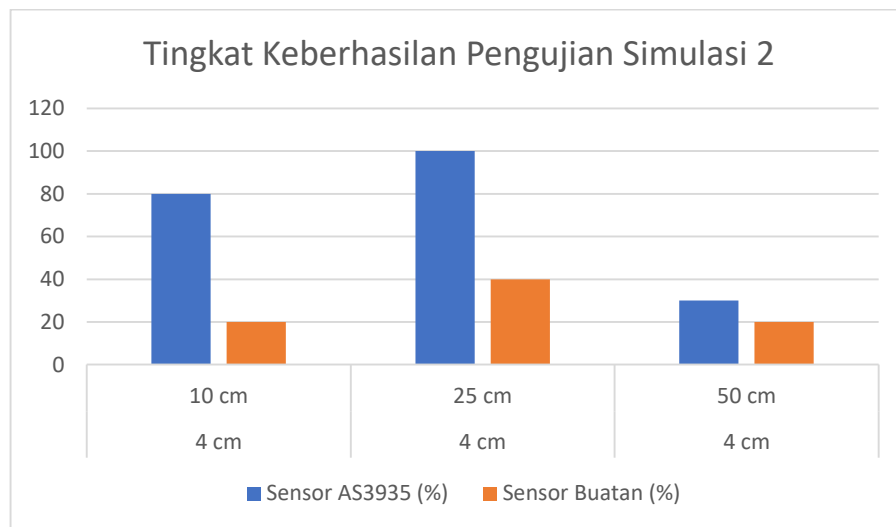
Jarak Pemantik	Ketinggian Antena	Sensor AS3935 (%)	Sensor Buatan (%)
2 cm	10 cm	100	0
	25 cm	80	40
	50 cm	60	10
4 cm	10 cm	80	20
	25 cm	100	40
	50 cm	30	20

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat bahwa sensor AS3935 memiliki performa deteksi yang lebih tinggi pada seluruh skenario dibandingkan sensor buatan. Nilai tertinggi AS3935 mencapai 100% pada antenna 10 cm (jarak 2 cm) dan antenna 25 cm (jarak 4 cm), sedangkan sensor buatan hanya mencapai maksimum 40% pada antenna 25 cm untuk kedua jarak pemantik.

Untuk memvisualisasikan perbandingan performa kedua sensor, dibuat grafik batang tingkat keberhasilan deteksi yang dipisahkan berdasarkan jarak pemantik. Gambar 5.3 menunjukkan hasil pengujian pada jarak 2 cm, sedangkan Gambar 5.4 menunjukkan hasil pengujian pada jarak 4 cm.



Gambar 5. 5 Grafik tingkat keberhasilan pengujian simulasi 1



Gambar 5. 6 Grafik tingkat keberhasilan pengujian simulasi 2

Hasil pengujian simulasi ini memberikan gambaran awal mengenai kemampuan deteksi sensor buatan dibandingkan sensor komersial AS3935. Meskipun kinerja sensor buatan masih jauh di bawah AS3935, hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa sensor buatan mampu merespon sinyal elektromagnetik pada kondisi tertentu, khususnya pada ketinggian antena 25 cm. Temuan ini menjadi dasar untuk evaluasi desain rangkaian, pemilihan komponen, dan optimasi panjang antena pada tahap pengembangan selanjutnya.

Penggunaan pemantik korek tidak sepenuhnya dapat mewakili karakteristik fisik dan elektromagnetik sambaran petir alami. Perbedaan utama meliputi:

1. Kekuatan dan Skala Energi, Petir memiliki tegangan puncak ratusan juta volt dan arus puluhan ribu ampere, menghasilkan medan elektromagnetik yang jauh lebih kuat dibanding percikan pemantik.
2. Spektrum Frekuensi Sambaran petir menghasilkan spektrum frekuensi yang luas (dari VLF hingga UHF), sementara percikan pemantik memiliki spektrum yang lebih sempit dan amplitudo lebih rendah.
3. Pola Gelombang dan Durasi Petir alami berlangsung dalam beberapa fase (pra-peluncuran, sambaran utama, sambaran susulan) dengan total durasi beberapa milidetik, sedangkan percikan pemantik terjadi hanya sekali dengan durasi mikrodetik.

4. Jarak dan Penyebaran Pada kondisi lapangan, sinyal petir akan dipengaruhi oleh jarak, perambatan gelombang, dan interferensi lingkungan, sedangkan uji pemantik dilakukan pada jarak sangat dekat.

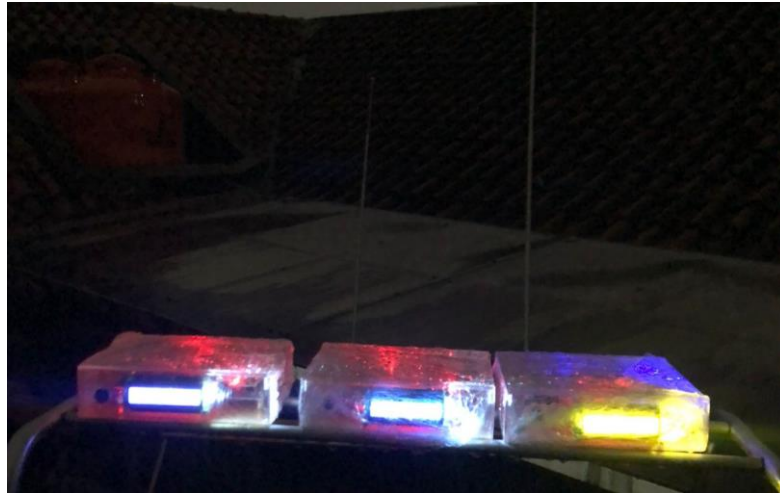
Sensitivitas sensor buatan yang cenderung rendah pada pengujian simulasi dapat dijelaskan oleh perbedaan energi dan spektrum sinyal yang dihasilkan pemantik dibanding petir sesungguhnya. Sensor mungkin dirancang atau dioptimalkan untuk mendeteksi sinyal dengan karakteristik amplitudo atau frekuensi tertentu yang tidak sepenuhnya dihasilkan oleh pemantik.

Selanjutnya, pengujian akan dilakukan pada kondisi lapangan untuk mengevaluasi performa sensor dalam mendeteksi sinyal elektromagnetik sambaran petir yang sebenarnya, serta membandingkan hasilnya dengan pengujian simulasi ini.

5.2.2 Pengujian Lapangan

Setelah dilakukan simulasi menggunakan pemantik sebagai sumber impuls elektromagnetik, pengujian selanjutnya dilakukan dalam kondisi nyata di lingkungan terbuka untuk menguji kinerja sistem dalam mendeteksi aktivitas petir sesungguhnya. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sensor buatan berbasis rangkaian penerima sinyal AM dengan IC TA7642 dapat mendeteksi lonjakan elektromagnetik akibat sambaran petir di lingkungan alami.

Pengujian lapangan dilakukan pada 3 Agustus 2025, pukul 18.15 WIB hingga 19.00 WIB, bertempat di kawasan terbuka di Kota Semarang, Jawa Tengah. Pemilihan waktu didasarkan pada prakiraan cuaca dari AccuWeather dan BMKG yang menunjukkan adanya potensi badai petir pada rentang waktu tersebut.



Gambar 5. 7 Pengujian Lapangan

MINGGU, 3 AGUSTUS 2025 STANDAR WAKTU INDONESIA

 **BADAN METEOROLOGI
KLIMATOLOGI, DAN GEOFISIKA**

[Profil](#)
[Cuaca](#)
[Iklim](#)
[Kualitas Udara](#)
[Gempa Bumi](#)
[Geofisika](#)

SAAT INI ●



24 °C

Hujan Ringan • di Tembalang

Kelembapan: **90%**

Kecepatan Angin: **9 km/jam**

Arah Angin dari: **Barat Laut** ↘

Jarak Pandang: **< 7 km**

Gambar 5. 8 Ramalan Cuaca BMKG

 **AccuWeather** Semarang, Jawa Tengah 24°C Cari

Malam 3/8



22°_{Re}

RealFeel® 25°

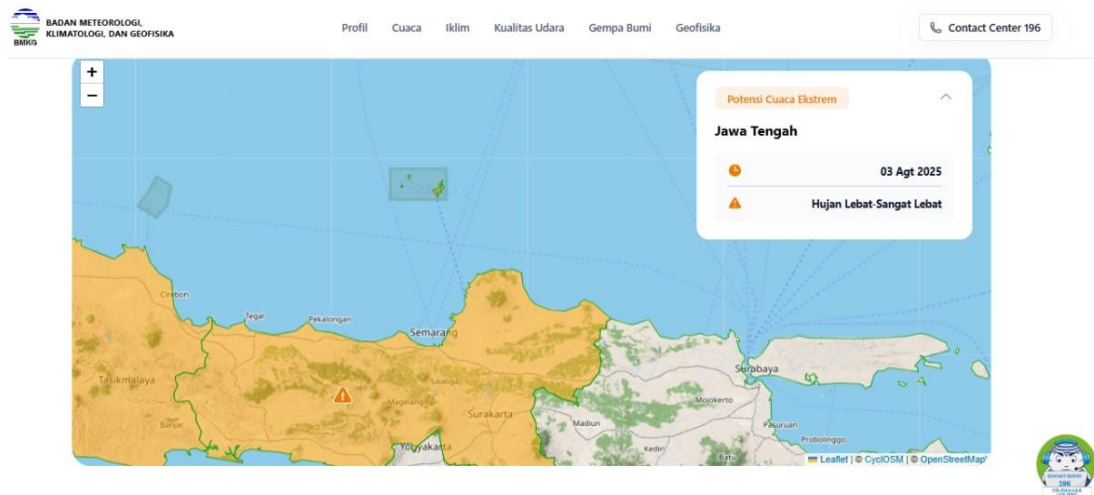
Badai petir

Angin	SBD 7 km/j	Hujan	2.0 mm
Angin Kencang	20 km/j	Lama Presipitasi	2
Probabilitas Presipitasi	65%	Lama Hujan	2
Probabilitas Badai Petir	39%	Tutupan Awan	72%
Presipitasi	2.0 mm		

PETANG →

SEMALAM →

Gambar 5. 9 Peringatan Cuaca AccuWeather



Gambar 5. 10 Peringatan Cuaca BMKG Jawa Tengah

Berdasarkan tangkapan layar dari AccuWeather dan BMKG pada waktu pengujian, kondisi cuaca menunjukkan indikator aktivitas atmosfer yang mendukung terjadinya petir, seperti:

1. Suhu udara: 24°C dengan RealFeel® mencapai 22°C
2. Kelembapan: 80%
3. Kecepatan angin: 20 km/jam
4. Ketinggian awan: 9100 meter
5. Hujan: 0.7 mm
6. Tutupan awan: 72%
7. Aktivitas petir terdeteksi pada radar BMKG sekitar lokasi

Berikut merupakan hasil pengujian lapangan alat terhadap aktivitas petir pada saat kondisi hujan.

Tabel 5 - 4 Hasil Pengujian Lapangan

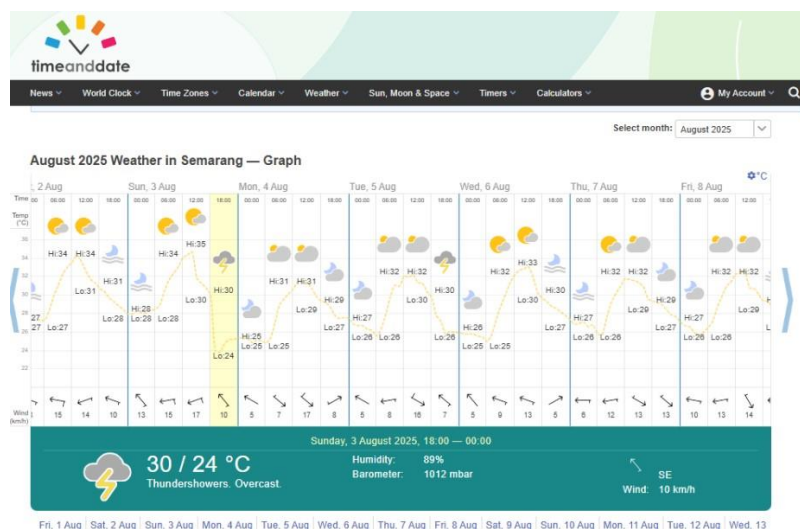
Time	Pulse	Suhu	Tekanan Udara	Latitude	Longitude	Kelembaban
18:16:11	2	29	986	-7.060.858	110.441.101	77
18:17:39	3	30	987	-7.060.855	110.441.116	77
18:21:54	4	30	987	-7.060.792	110.441.139	88
18:23:09	5	30	987	-7.060.802	110.441.170	90

Time	Pulse	Suhu	Tekanan Udara	Latitude	Longitude	Kelembaban
18:31:10	6	26	986	-7.060.815	110.441.193	77
18:36:54	8	25	987	-7.060.802	110.441.208	84
18:38:54	9	25	987	-7.060.822	110.441.193	85
18:39:54	10	25	987	-7.060.799	110.441.193	85
18:41:54	11	26	987	-7.060.771	110.441.177	86
18:46:09	12	22	986	-7.060.778	110.441.177	86
18:51:24	13	25	986	-7.060.811	110.441.193	87
18:54:09	14	22	987	-7.060.813	110.441.193	87
19:00:54	15	22	987	-7.060.813	110.441.216	88

Pengujian sensor BME280 dan modul GPS NEO-6MV2 dilakukan bersamaan dengan uji lapangan sistem deteksi sambaran petir pada 3 Agustus 2025 di Tembalang, Kota Semarang. Tujuan pengujian ini adalah untuk memvalidasi akurasi pembacaan parameter lingkungan suhu, kelembapan, dan tekanan udara serta kestabilan koordinat lokasi deteksi.

Hasil pengukuran BME280 menunjukkan suhu berada pada rentang 22–30 °C, kelembapan 77–90 %RH, dan tekanan udara 986–987 hPa. Koordinat GPS tercatat stabil dengan pergeseran hanya beberapa meter antar pencatatan, tanpa adanya lonjakan lokasi yang signifikan.

Untuk memvalidasi hasil pengukuran tersebut, digunakan data cuaca referensi dari Time and Date pada tanggal dan waktu yang sama, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.9.



Gambar 5. 11 Data cuaca Semarang pada 3 Agustus 2025 dari Time and Date

Berdasarkan Gambar 5.15, suhu udara pada pukul 18:00 tercatat 30 °C dan menurun menjadi 24–25 °C pada pukul 19:00–23:00. Kelembapan udara berada pada kisaran 76–93 %RH, sedangkan tekanan udara tercatat 1009–1013 mbar selama periode pengujian. Perbandingan ini menunjukkan bahwa pembacaan suhu dan kelembapan BME280 konsisten dengan data referensi, dengan deviasi suhu ± 1 °C dan kelembapan ± 3 %.

Perbedaan pada tekanan udara sekitar 22–26 hPa lebih rendah dari referensi diduga disebabkan oleh perbedaan kalibrasi sensor atau faktor lokal seperti ketinggian lokasi dan kondisi cuaca mikro di sekitar titik pengujian..

Selama pengujian lapangan, modul GPS NEO-6MV2 mencatat koordinat lokasi yang konsisten di sekitar titik pengujian di Tembalang, Kota Semarang. Hasil analisis menunjukkan pergeseran posisi antar pencatatan berada pada rentang 0,22–7,42 meter dengan rata-rata sekitar 3 meter. Nilai ini sesuai dengan kisaran akurasi modul GPS kelas konsumen (2–10 meter) pada kondisi penerimaan sinyal optimal di area terbuka.



Gambar 5. 12 Titik Koordinat Lokasi

Sebaran titik koordinat yang diplot pada peta Gambar 5.10 menunjukkan bahwa semua titik berada dalam radius kurang dari 10 meter dari lokasi pengujian. Tidak ditemukan outlier atau loncatan koordinat yang signifikan, sehingga data GPS dapat diandalkan untuk pemetaan lokasi sambaran petir.

Berdasarkan hasil ini, dapat disimpulkan bahwa sensor BME280 dan modul GPS NEO-6MV2 bekerja dengan baik pada kondisi lapangan. Data yang dihasilkan layak digunakan dalam analisis hubungan kondisi lingkungan dengan aktivitas petir, serta pemetaan lokasi kejadian.

5.2.3 Pengujian Lapangan Sensor AS3935

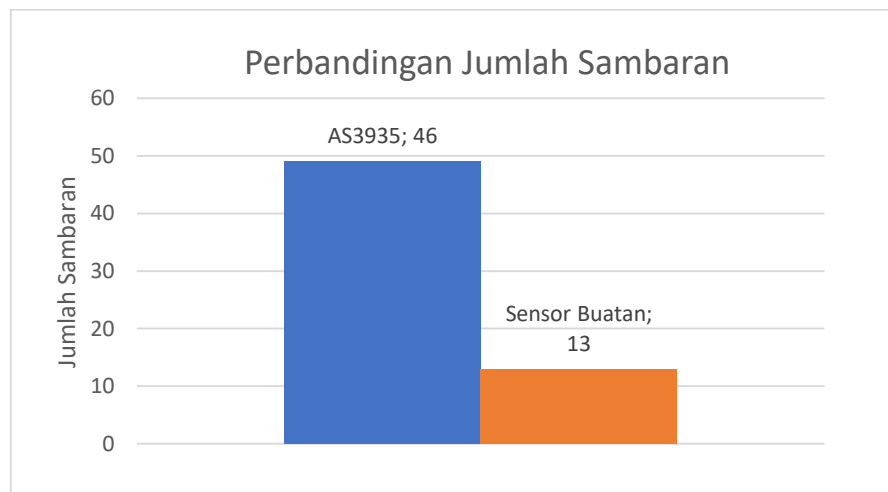
Sebagai pembandingan dalam sistem deteksi petir, digunakan data estimasi jarak sambaran dari sensor AS3935. Data ini merepresentasikan jarak sambaran petir dari lokasi alat dalam satuan kilometer. Estimasi ini digunakan untuk memvalidasi apakah aktivitas petir terdeteksi oleh alat buatan memiliki korelasi terhadap kejadian aktual sambaran petir.

Tabel 5 - 5 Hasil Pengujian Sensor AS3935

Date	Time	Jarak
03/08/2025	18:15:59	5Km
03/08/2025	18:17:13	8Km

Date	Time	Jarak
03/08/2025	18:17:25	8Km
03/08/2025	18:23:05	4Km
03/08/2025	18:23:15	3Km
03/08/2025	18:23:25	9Km
03/08/2025	18:23:35	9Km
03/08/2025	18:29:21	9Km
03/08/2025	18:30:56	2Km
03/08/2025	18:36:32	1Km
03/08/2025	18:38:23	3Km
03/08/2025	18:39:12	1Km
03/08/2025	18:39:31	3Km
03/08/2025	18:39:46	1Km
03/08/2025	18:41:34	3Km
03/08/2025	18:45:51	4Km
03/08/2025	18:50:07	3Km
03/08/2025	18:50:13	5Km
03/08/2025	18:50:25	7Km
03/08/2025	18:50:37	10Km
03/08/2025	18:50:50	11Km
03/08/2025	18:51:04	10Km
03/08/2025	18:51:16	1Km
03/08/2025	18:51:39	10Km
03/08/2025	18:51:59	10Km
03/08/2025	18:52:14	10Km
03/08/2025	18:52:34	10Km
03/08/2025	18:52:43	10Km
03/08/2025	18:54:43	10Km
03/08/2025	18:56:04	5Km
03/08/2025	18:56:18	6Km
03/08/2025	18:56:24	9Km

Date	Time	Jarak
03/08/2025	18:56:32	11Km
03/08/2025	18:56:40	13Km
03/08/2025	18:56:57	16Km
03/08/2025	18:57:13	10Km
03/08/2025	18:57:54	10Km
03/08/2025	18:58:08	23Km
03/08/2025	18:58:18	23Km
03/08/2025	18:59:10	25Km
03/08/2025	18:59:20	21Km
03/08/2025	18:59:41	20Km
03/08/2025	18:59:54	30Km
03/08/2025	19:00:01	20Km
03/08/2025	19:00:50	7Km
03/08/2025	19:00:57	2Km



Gambar 5. 13 Grafik Perbandingan jumlah sambaran sensor buatan terhadap aktivitas petir

Berdasarkan grafik tersebut, sensor AS3935 mencatat sebanyak 46 sambaran, sedangkan sensor buatan berbasis TA7642 mencatat 13 sambaran. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui kemampuan masing-masing sensor.

5.2.4 Frekuensi Deteksi Sensor AS3935 dan Sensor Buatan

Analisis frekuensi deteksi diperlukan untuk memahami karakteristik kerja masing-masing sensor dalam menangkap gelombang elektromagnetik sambaran petir. Hal ini penting karena setiap sensor memiliki rentang penerimaan frekuensi yang berbeda, yang akan memengaruhi sensitivitas dan jarak deteksinya. Sensor AS3935 dirancang untuk bekerja optimal pada frekuensi sekitar 500 kHz dengan filter pita sempit, sehingga mampu mengurangi noise dan memberikan estimasi jarak sambaran secara langsung. Sementara itu, sensor buatan berbasis IC TA7642 bekerja pada rentang yang lebih lebar 150 kHz–3 MHz, memungkinkan deteksi komponen sinyal lain seperti gelombang awal (*pre-flash*), namun tidak memiliki kemampuan estimasi jarak bawaan.

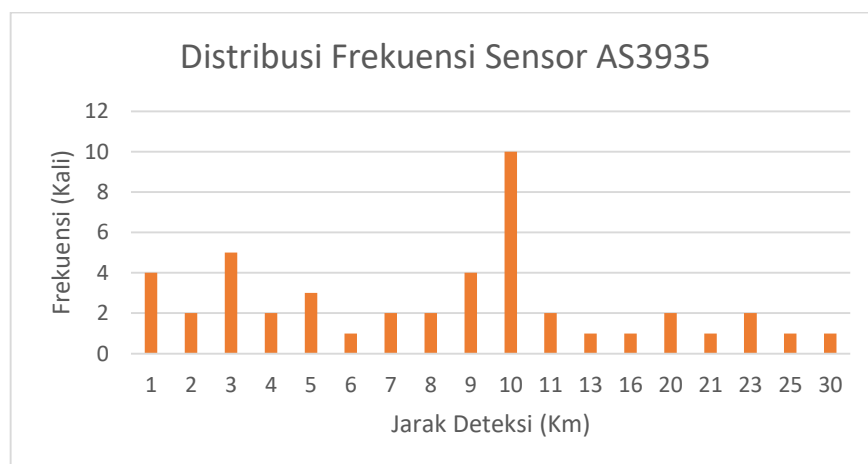
Berdasarkan hasil pengujian lapangan, jarak deteksi yang tercatat oleh AS3935 bervariasi antara 1 km hingga 10 km tergantung pada intensitas sambaran petir. Sensor buatan tidak dapat memberikan jarak, sehingga perbandingan dilakukan berdasarkan waktu deteksi terhadap sambaran yang sama. Data hasil pengamatan disajikan pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5 - 6 Distribusi frekuensi jarak deteksi oleh AS3935

Jarak (Km)	Frekuensi (kali)	Persentase (%)
1	4	8,7
2	2	4,35
3	5	10,87
4	2	4,35
5	3	6,52
6	1	2,17
7	2	4,35
8	2	4,35
9	4	8,7
10	10	21,74
11	2	4,35

Jarak (Km)	Frekuensi (kali)	Persentase (%)
13	1	2,17
16	1	2,17
20	2	4,35
21	1	2,17
23	2	4,35
25	1	2,17
30	1	2,17
Total	46	100

Berdasarkan tabel tersebut terlihat bahwa jarak deteksi yang paling sering terjadi adalah 10 km dengan frekuensi 10 kali (21,74%), diikuti jarak 3 km (10,87%), 1 km (8,70%), dan 9 km (8,70%). Mayoritas sambaran petir terdeteksi pada jarak menengah, khususnya sekitar 10 km, yang menunjukkan sensitivitas optimal AS3935 pada kisaran tersebut. Deteksi jarak jauh hingga 30 km tetap dimungkinkan, meskipun frekuensinya rendah (2,17%) karena melemahnya intensitas sinyal.



Gambar 5. 14 Grafik Distribusi frekuensi jarak deteksi oleh AS3935

5.2.5 Analisis Hasil Sensor AS3935 dan Sensor Buatan

Untuk menilai kinerja sensor buatan berbasis Rangkaian Penerima Sinyal AM IC TA7642, diperlukan analisis momen deteksi yang terjadi secara bersamaan antara kedua sensor. Analisis ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana sinyal yang diterima oleh sensor buatan memiliki keterkaitan waktu dan kejadian yang sama dengan sinyal yang terdeteksi oleh AS3935, sehingga dapat memberikan gambaran tingkat kesesuaian performa kedua sensor tersebut dalam kondisi lapangan.

Analisis kecocokan deteksi dilakukan dengan mencocokkan waktu kejadian yang tercatat oleh kedua sensor.

Tabel 5 - 7 Hasil Pencatatan Waktu Kedua Sensor

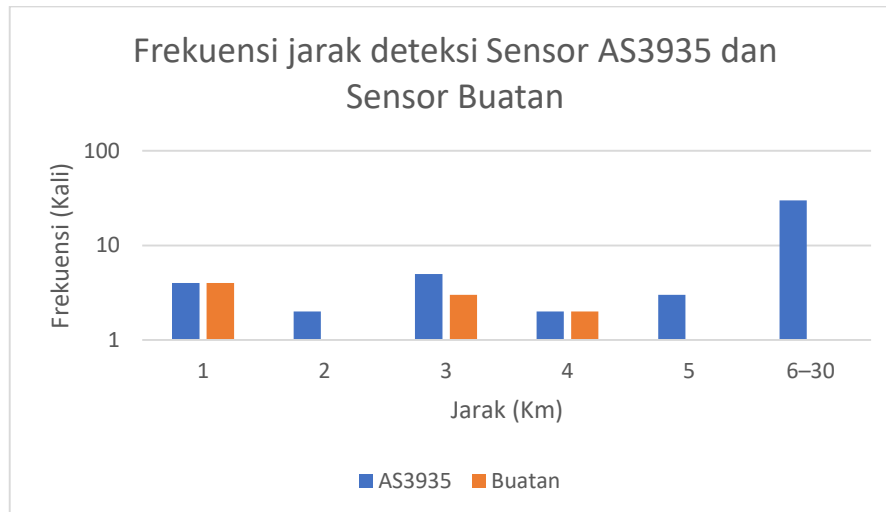
Date	Sensor AS3935	Sensor Buatan	Estimasi Jarak
03/08/2025	18:15:59	18:16:11	5 Km
03/08/2025	18:17:25	18:17:39	4 Km
03/08/2025	18:23:05	18:23:09	3 Km
03/08/2025	18:30:56	18:31:10	1 Km
03/08/2025	18:36:32	18:36:54	3 Km
03/08/2025	18:38:23	18:38:54	1 Km
03/08/2025	18:39:31	18:39:54	1 Km
03/08/2025	18:41:34	18:41:54	4 Km
03/08/2025	18:45:51	18:46:09	3 Km
03/08/2025	18:51:16	18:51:24	1 Km
03/08/2025	19:00:50	19:00:54	2 Km

Tabel 5 - 8 Hasil Keberhasilan Deteksi Kedua Sensor

Jarak (Km)	Sensor AS3935	Sensor Buatan
1	4	4
2	2	1
3	5	3
4	2	2

Jarak (Km)	Sensor AS3935	Sensor Buatan
5	3	1
6–30	30	0

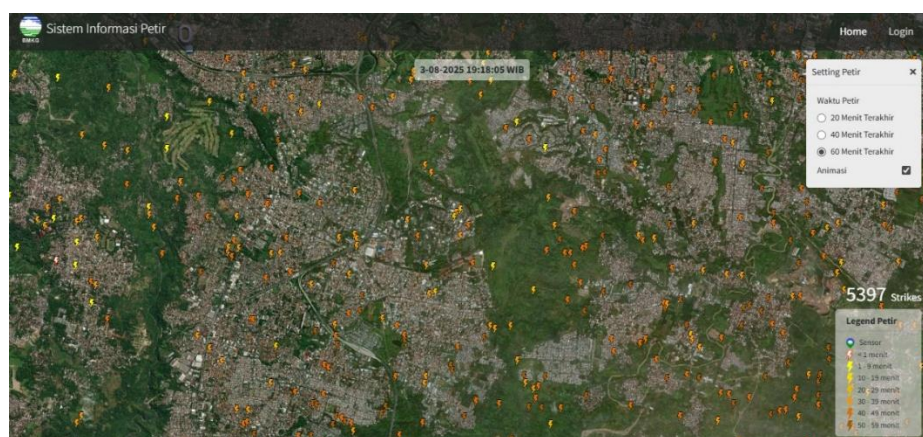
Berdasarkan data pada Tabel 5-7, terlihat bahwa sensor AS3935 berhasil mendeteksi sambaran petir pada seluruh rentang jarak pengujian, mulai dari 1 km hingga lebih dari 30 km, dengan total 46 kejadian terdeteksi. Distribusi jarak menunjukkan bahwa deteksi terbanyak terjadi pada jarak 6–30 km dengan 30 kali deteksi (65,21% dari total), diikuti jarak 3 km (10,87%) dan 1 km (8,70%). Sementara itu, sensor buatan berbasis TA7642 hanya mencatat deteksi pada jarak dekat hingga menengah, yaitu 1–5 km, dan tidak mencatat deteksi pada jarak di atas 6 km. Total deteksi yang diperoleh sensor buatan juga lebih sedikit dibandingkan AS3935 pada hampir semua kategori jarak. Sehingga dapat divisualisasikan menjadi diagram batang berikut.



Gambar 5. 15 Grafik Frekuensi jarak deteksi Sensor AS3935 dan Sensor Buatan

Sebagai bentuk validasi eksternal terhadap hasil pengujian lapangan, dilakukan perbandingan visual dengan data real-time sebaran petir dari Sistem Informasi Petir BMKG. Pada tanggal 3 Agustus 2025 pukul 19.18 WIB, sistem BMKG menunjukkan adanya sebaran petir dengan intensitas tinggi di sekitar lokasi

pengujian, yaitu wilayah Semarang dengan koordinat sekitar -7.060 dan 110.441 derajat bujur timur. Warna sebaran yang ditampilkan kuning hingga merah oranye menunjukkan bahwa sambaran petir terpantau dalam kurun waktu 0–59 menit sebelumnya, bertepatan dengan rentang waktu pengujian alat dari pukul 18.00 hingga 19.10 WIB. Hal ini memperkuat validitas bahwa sambaran petir memang terjadi selama periode uji coba berlangsung, sehingga keberhasilan deteksi alat yang diuji dapat dianggap representatif.



Gambar 5. 16 Aktivitas Petir Live BMKG Semarang

5.3 Pengujian Monitoring

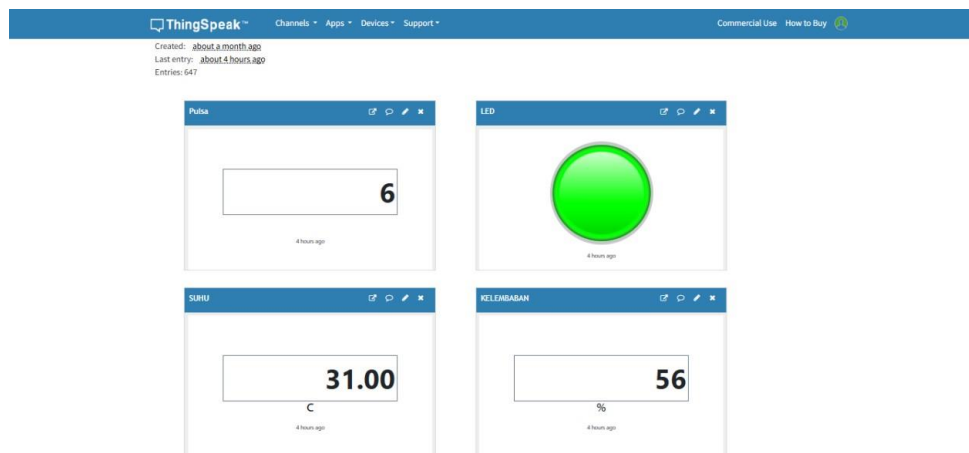
Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kemampuan sistem dalam melakukan pengiriman dan penampilan data secara real-time melalui platform monitoring berbasis website, yaitu ThingSpeak. Data yang dikirim meliputi jumlah sambaran petir (*pulse*), suhu, tekanan, dan kelembaban udara. Dengan pengujian ini, diharapkan dapat diketahui keandalan koneksi, latensi pengiriman, serta konsistensi tampilan data pada dashboard ThingSpeak.

Pengujian monitoring dilakukan bersamaan dengan mengoperasikan perangkat deteksi petir berbasis ESP8266 yang terhubung ke sensor buatan (IC TA7642) serta sensor BME280. Data dikirimkan secara berkala ke ThingSpeak dengan interval 15 detik.

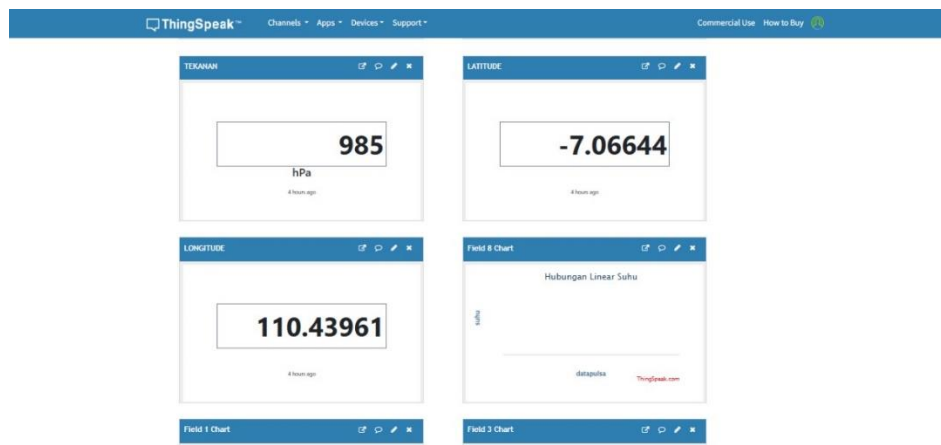
Tahapan pengujian:

1. Setiap kali terjadi trigger deteksi, buzzer dan LED aktif, LCD 16x2 menampilkan pesan “PETIR TERDETEKSI”, dan nilai Pulse terkirim ke ThingSpeak.
2. Parameter suhu, tekanan, dan kelembaban dibaca sensor BME280 dan dikirim secara periodik.
3. Hasil pengiriman diverifikasi dengan dashboard ThingSpeak dan dibandingkan dengan catatan waktu lokal pada perangkat

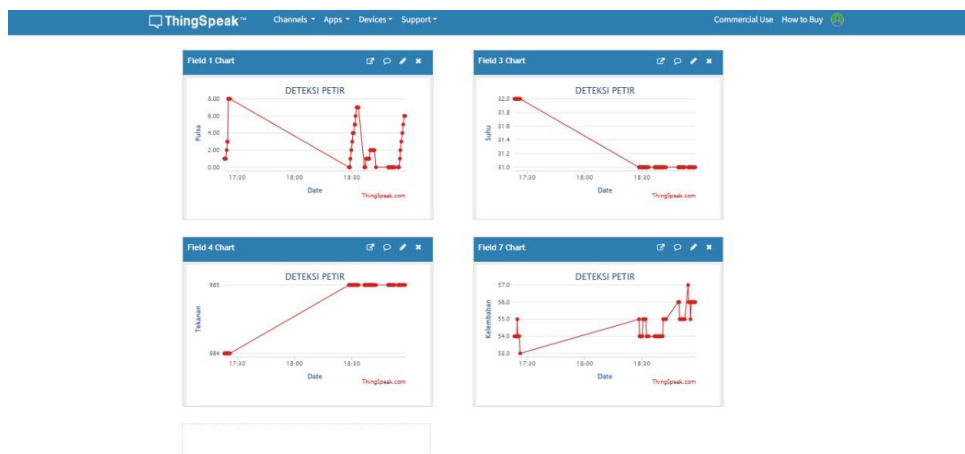
Berdasarkan hasil pengujian, sistem monitoring berbasis ESP8266 dan ThingSpeak mampu mengirimkan data deteksi petir serta parameter lingkungan secara konsisten dengan interval pengiriman 15 detik. Interval ini berarti setiap pembaruan data pada dashboard terjadi secara periodik setiap 15 detik, sesuai pengaturan di mikrokontroler. Deteksi lokal oleh buzzer, LED, dan LCD tetap berlangsung secara real-time, sedangkan nilai Pulse yang ditampilkan di ThingSpeak mencerminkan jumlah trigger kumulatif dalam setiap periode pengiriman. Jika dalam satu interval terdapat lebih dari satu trigger, nilai Pulse akan melonjak pada pembaruan berikutnya, memberikan gambaran jelas mengenai intensitas aktivitas petir.



Gambar 5. 17 Hasil Monitoring ThingSpeak 1

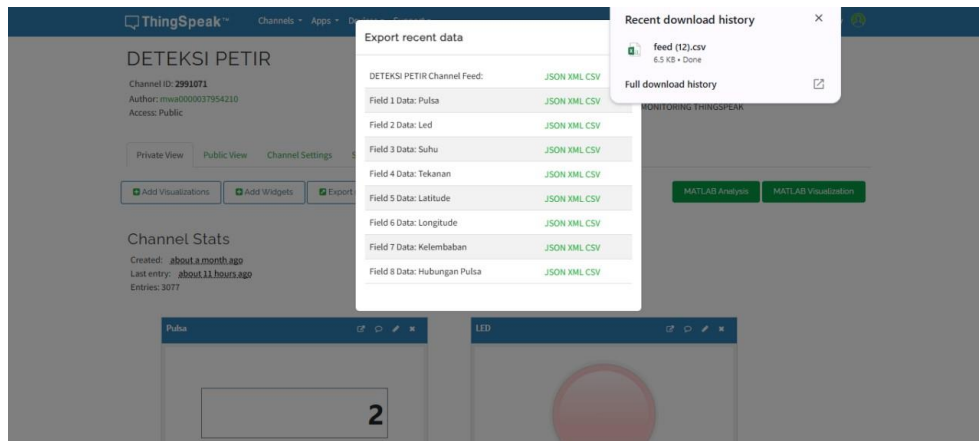


Gambar 5. 18 Hasil Monitoring ThingSpeak 2



Gambar 5. 19 Hasil Monitoring Grafik

Selain pengujian *dashboard* ThingSpeak dilakukan pengujian penyimpanan data hasil, dimana data hasil dapat tersimpan pada *database* ThingSpeak dengan baik juga dapat di export dengan baik sesuai dengan fitur standar dari platform ThingSpeak.



Gambar 5. 20 Pengujian fitur Export Data

	created_at	entry_id	field1	field2	field3	field4	field5	field6	field7	field8
1	created_at	entry_id	field1	field2	field3	field4	field5	field6	field7	field8
2	2025-08-03 11:25:24 UTC	2978	5.1	29.987	-7.060806	110.441208	88			
3	2025-08-03 11:25:42 UTC	2979	5.1	28.987	-7.060808	110.441208	88			
4	2025-08-03 11:26:09 UTC	2980	5.1	28.987	-7.060805	110.441193	88			
5	2025-08-03 11:26:24 UTC	2981	5.1	28.987	-7.060804	110.441193	88			
6	2025-08-03 11:26:54 UTC	2982	5.1	28.987	-7.060803	110.441208	88			
7	2025-08-03 11:27:24 UTC	2983	5.1	28.987	-7.060805	110.441208	87			
8	2025-08-03 11:27:39 UTC	2984	5.1	27.987	-7.060807	110.441216	87			
9	2025-08-03 11:28:09 UTC	2985	5.1	27.987	-7.060814	110.441216	87			
10	2025-08-03 11:28:28 UTC	2986	5.1	27.987	-7.060816	110.441216	87			
11	2025-08-03 11:28:57 UTC	2987	5.1	26.987	-7.060810	110.441208	88			
12	2025-08-03 11:29:12 UTC	2988	5.1	26.987	-7.060808	110.441208	88			
13	2025-08-03 11:29:39 UTC	2989	5.1	26.986	-7.060824	110.441208	88			
14	2025-08-03 11:29:54 UTC	2990	5.1	26.987	-7.060831	110.441208	88			
15	2025-08-03 11:30:10 UTC	2991	5.1	26.987	-7.060827	110.441208	88			
16	2025-08-03 11:30:39 UTC	2992	5.1	25.986	-7.060814	110.441208	91			
17	2025-08-03 11:31:10 UTC	2993	5.1	183	-181	-7.060815	110.441193	100		
18	2025-08-03 11:32:11 UTC	2994	5.1	183	-181	-7.060815	110.441193	100		
19	2025-08-03 11:32:41 UTC	2995	5.1	183	-181	-7.060815	110.441177	100		
20	2025-08-03 11:33:39 UTC	2996	7.1	183	-181	-7.060797	110.441193	100		
21	2025-08-03 11:34:09 UTC	2997	7.1	183	-181	-7.060799	110.441208	100		
22	2025-08-03 11:34:39 UTC	2998	7.1	183	-181	-7.060804	110.441208	100		
23	2025-08-03 11:34:54 UTC	2999	7.1	183	-181	-7.060804	110.441208	100		

Gambar 5. 21 Data hasil Export ThingSpeak

Selama pengujian, tidak ditemukan *packet loss*, dan data suhu, tekanan, serta kelembaban dari sensor BME280 ditampilkan secara akurat di dashboard ThingSpeak. Selain itu, platform ini menyediakan fitur ekspor data ke format CSV namun karena batas tampilan data di platform hanya sekitar 3–4 hari terakhir, maka penting untuk secara berkala mengekspor data ke format .csv agar data pengujian tidak hilang. yang mempermudah analisis lanjutan, pembuatan tabel hasil pengujian, atau integrasi data ke dalam laporan penelitian.

5.4 Konsumsi Daya Sistem

Pada alat sistem deteksi petir dirancang menggunakan sumber daya utama dari baterai 18650 Lithium-Ion berkapasitas masing-masing 3,7 V dan 2000 mAh, yang disusun secara seri. Penyusunan tersebut menghasilkan tegangan total sebesar 7,4 V. Menggunakan modul *Battery Management System* (BMS) TP5100 yang berfungsi untuk mengatur pengisian ulang baterai secara aman dan efisien, serta memberikan perlindungan terhadap kondisi overcharge, overdischarge, dan arus pendek.

Output dari BMS kemudian dimasukkan ke dalam modul step-down DC-DC converter LM2596 yang menurunkan tegangan menjadi 5 V, sesuai dengan kebutuhan sebagian besar komponen dalam sistem. Jalur 5 V ini digunakan untuk menyuplai daya ke ESP8266 sebagai mikrokontroler utama, LCD 16x2 I2C untuk tampilan data dan serta buzzer aktif sebagai alarm lokal saat sambaran petir terdeteksi. Sedangkan pada komponen lain sensor BME280, modul GPS NEO6MV2, dan rangkaian deteksi petir berbasis IC TA7642 mendapatkan pasokan daya sebesar 3,3 V dari pin regulator internal ESP8266. Berikut adalah estimasi Daya dan Arus pada setiap komponen.

Tabel 5 - 9 Estimasi arus dan daya komponen

No	Komponen	Tegangan	Arus	Daya
1	ESP8266 NODEMCU	5V	0,120 A	0,6000 W
2	Sensor BME280	3,3V	0,0005 A	0,00165 W
3	Modul GPS NEO6MV2	3,3V	0,035 A	0,1155 W
4	LCD 16 x 2	5V	0,030 A	0,1500 W
5	Buzzer 5V	5 V	0,002 A	0,0100 W
6	Rangkaian TA 7642	1,3 V	0,0002 A	0,00169 W
	Total			0,87741

Perhitungan daya untuk masing-masing komponen dihitung menggunakan rumus $P = V \times I$ dan nilai arus yang digunakan adalah estimasi rata-rata berdasarkan datasheet.

Apabila kapasitas baterai 2000 mAh diserikan maka terlebih dahulu menghitung Energi Total (Wh) dengan perhitungan sebagai berikut.

$$V_{baterai} = \text{Jumlah Baterai} \times \text{Tegangan Kerja} \quad (5.2)$$

$$V_{baterai} = 2 \times 3,7V = 7,4V$$

Kapasitas Energi Total :

$$E = V \times Q \quad (5.3)$$

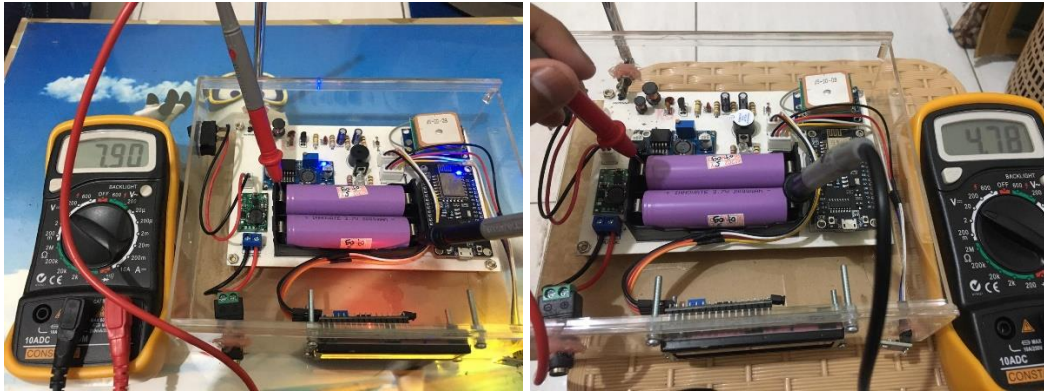
$$E = V \times Q = 7,4 V \times 2 Ah = 14,8 Wh$$

Setelah mendapatkan Kapasitas Energi Total, maka dapat dihitung estimasi waktu operasi dengan perhitungan sebagai berikut.

$$t = \frac{E}{P_{input}} \quad (5.4)$$

$$t = \frac{E}{P_{input}} = \frac{14,8 Wh}{0,87741 W} = 16,86 h$$

Dengan demikian, secara teoritis perangkat dapat bekerja selama hampir 16,86 jam atau 16 jam 51 menit 54 detik dalam kondisi semua komponen aktif secara simultan. Namun Untuk membandingkan hasil teoretis tersebut dengan kondisi nyata, dilakukan pengujian konsumsi daya secara langsung di lapangan. Perangkat mulai dioperasikan pada pukul 19:54 WIB dengan tegangan awal baterai sebesar 7,90 V. Setelah dijalankan secara terus-menerus, perangkat mengalami penurunan performa dan akhirnya mati total pada pukul 05:41 WIB, dengan tegangan akhir terukur sebesar 4,78 V.



Gambar 5. 22 Pengujian Konsumsi Daya

Dengan demikian, waktu operasi aktual yang tercatat:

$$t_{\text{aktual}} = 05:41 - 19:54 = 9 \text{ jam } 47 \text{ menit}$$

$$t = 9 \text{ jam } 47 \text{ menit} = 9,7833 \text{ jam.}$$

Jika diasumsikan alat berjalan sampai baterai terpakai mendekati habis (mengonsumsi hampir seluruh 14,8 Wh), maka:

1. Energi yang dikonsumsi selama pengujian

$$E_{\text{cons}} = P_{\text{total}} \times t \quad (5.5)$$

$$0,87741 \times 9,78333 \text{ jam} = 8,5836 \text{ Wh}$$

2. Persentase energi baterai yang terpakai

$$\%_{\text{terpakai}} = \frac{E_{\text{cons}}}{E_{\text{batt}}} \times 100\% \quad (5.6)$$

$$\%_{\text{terpakai}} = \frac{8,5836 \text{ Wh}}{14,8} \times 100\% = 58,05\%$$

3. Energi tersisa pada baterai (teoritis)

$$E_{\text{sis}} = E_{\text{batt}} - E_{\text{cons}} = \quad (5.7)$$

$$E_{\text{sis}} = 14,8 \text{ Wh} - 8,5836 \text{ Wh} = 6,2164 \text{ Wh}$$

4. Sisa kapasitas pada baterai

$$Q_{\text{sis}} = \frac{E_{\text{sis}}}{V_{\text{batt}}} = \quad (5.8)$$

$$Q_{\text{sis}} = \frac{6,2164}{7,4} = 0,840 \text{ Ah} = 840 \text{ mAh}$$

5. Rata-rata arus yang terpakai

$$I_{\text{batt}} = \frac{P_{\text{total}}}{V_{\text{batt}}} = \quad (5.9)$$

$$I_{\text{batt}} = \frac{0,87741}{7,4} = 0,11856 = 118,6 \text{ mA}$$

Berdasarkan pengujian nyata dengan tegangan awal 7,90 V dan akhir 4,78 V, alat beroperasi selama ±9 jam 47 menit dan mengonsumsi sekitar 8,5836 Wh ($\approx 57,99$ % kapasitas baterai 2 Ah). Tegangan akhir sebesar 4,78 V, atau sekitar 2,39 V per sel, menunjukkan bahwa baterai dikosongkan melebihi batas aman (*over-discharge*), yang dapat memperpendek umur pakai sel. Oleh karena itu, disarankan penggunaan batas putus (*cutoff voltage*) pada tegangan lebih dari 6,0–6,6 V total (3,0–3,3 V per sel) serta penerapan pemantauan arus dan tegangan secara berkala untuk validasi hasil dan menjaga keandalan sistem.

Berdasarkan perhitungan estimasi konsumsi daya, sistem memiliki total kebutuhan daya sebesar ±0,877 W dengan arus kerja rata-rata dari baterai sebesar ±118,6 mA. Nilai ini didapat dari asumsi arus rata-rata tiap komponen berdasarkan datasheet masing-masing, sehingga sudah mewakili kondisi operasi normal tanpa memperhitungkan beban puncak (*peak load*) dan efisiensi rangkaian catu daya.

Dengan kapasitas energi baterai 14,8 Wh (2 sel Li-ion 2000 mAh seri), waktu operasi teoretis sistem diperoleh sebesar ±16,86 jam. Namun, pada pengujian lapangan, sistem hanya beroperasi selama ±9,78 jam sebelum daya baterai turun signifikan, dengan estimasi konsumsi energi aktual sebesar 8,58 Wh atau 58,05% dari total kapasitas baterai.

Sistem memiliki performa kerja yang mendekati estimasi, namun masih terdapat selisih antara waktu operasi teoretis dan aktual sebesar $\pm 41\%$. Selisih ini dapat disebabkan oleh beberapa faktor, antara lain rugi daya pada regulator step-down dan step-up, arus puncak (peak current) saat modul seperti ESP8266 dan GPS melakukan transmisi data, serta penurunan kapasitas baterai akibat faktor usia dan suhu lingkungan. Selain itu, konsumsi daya komponen tidak selalu konstan, melainkan fluktuatif mengikuti beban kerja masing-masing modul.