

BAB V

PENGUJIAN ALAT DAN ANALISIS SISTEM

5.1 Tujuan Pengujian

Setelah sistem Weather Station berhasil dirakit dan dijalankan, dilakukan pengujian untuk memastikan semua komponen bekerja sesuai fungsinya. Tujuan utama pengujian ini adalah mengevaluasi performa sistem secara menyeluruh, mulai dari sensor, transmisi data, hingga tampilan informasi.

Secara khusus, pengujian mencakup:

- Menilai kinerja sensor BMP280 (suhu & tekanan), wind vane (arah angin), anemometer (kecepatan angin), dan rain gauge (curah hujan).
- Menguji stabilitas komunikasi jarak jauh menggunakan LoRa RA-02.
- Memastikan proses parsing data JSON dan konversi ke CSV berjalan baik.
- Memverifikasi tampilan data real-time di dashboard Node-RED.
- Mengevaluasi fungsi LED indikator sebagai penanda status sistem (data masuk, tidak ada data, atau error).

5.1.1 Skema Lokasi Pengujian

Pengujian alat dilakukan secara outdoor di area yang terbuka agar seluruh sensor dapat beroperasi dengan optimal. Skema penempatan alat ditunjukkan pada Gambar 5.1 berikut:



Gambar 5. 1 Skema Penempatan Alat

Keterangan Skema :

- Tiang utama: sebagai dudukan *anemometer*, *wind vane*, dan *rain gauge* setinggi ± 2 meter.
- Unit Transmitter: ditempatkan di atas tiang, terdiri dari ESP32, sensor, LoRa transmitter, dan solar panel.
- Unit Receiver: berada ± 2 km dari transmitter, terdiri dari ESP32 receiver, modul LoRa, dan koneksi WiFi.
- Sumber daya: Transmitter menggunakan sistem PLTS solar panel dan Receiver menggunakan adaptor DC 5V.

5.2 Skema dan Lokasi Pengujian

5.2.1 Deskripsi Lokasi Pengujian

Pengujian dilakukan di lokasi Perkampungan Petompon, Gajahmungkur, Kota Semarang

Untuk mendukung proses pengujian sistem Weather Station secara langsung di lapangan, diperlukan pemilihan lokasi yang representatif. Tabel 5.1 berikut

menyajikan informasi lengkap mengenai lokasi pengujian yang digunakan, termasuk koordinat dan kondisi lingkungan sekitar.

Tabel 5. 1 Data Lokasi Pengujian

Parameter	Data
Koordinat Lokasi	7° 0' 5.684" S, 110° 24' 16.491" E
Ketinggian Tempat	elevasi rata-rata 150 mdpl
Lingkungan Sekitar	Padat Penduduk
Jarak Transmitter–Receiver	100 meter
Cuaca saat pengujian	Cerah
Waktu Pengujian	08.00-12.00

Untuk mendapatkan data cuaca yang akurat dan representatif, setiap sensor dipasang pada posisi strategis sesuai dengan fungsi dan karakteristik pengukuran masing-masing. Gambar 5.2 berikut memperlihatkan dokumentasi penempatan sensor secara fisik di lokasi pengujian.



Gambar 5. 2 Penempatan Sensor

5.3 Prosedur Pengujian

Sebelum proses pengujian dilakukan, tahap ini difokuskan pada penyelesaian instalasi perangkat keras (hardware setup) dari sistem *Weather Station*. Beberapa kegiatan penting yang dilakukan pada tahap ini meliputi:

- Pemasangan dan pengujian deteksi sensor, seperti sensor suhu dan tekanan (BMP280), sensor arah angin (*wind vane*), sensor kecepatan angin (*anemometer*), dan sensor curah hujan (*rain gauge*).
- Penempatan unit transmitter dan receiver pada lokasi yang direncanakan, untuk memastikan komunikasi LoRa dapat berjalan dengan baik dalam kondisi sebenarnya.
- Integrasi panel surya dan sistem catu daya, guna memastikan pasokan listrik mandiri untuk perangkat *Weather Station* di lapangan.

Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa seluruh komponen fisik sistem telah terpasang dengan benar dan siap digunakan dalam proses pengujian berikutnya.

5.3.1 Setup Perangkat Keras

Pada tahap ini dilakukan persiapan dan pemasangan perangkat keras (hardware setup) dari sistem *Weather Station* sebelum proses pengujian dimulai. Kegiatan ini mencakup penempatan sensor, pemasangan unit *transmitter* dan *receiver*, serta integrasi sumber daya panel surya. Berikut adalah prosedur lengkapnya:

1. Persiapan Tempat dan Tiang Sensor

- Menentukan lokasi pengujian di area terbuka dan minim halangan angin, seperti halaman atau lahan kosong.
- Menyiapkan tiang utama sebagaiudukan sensor dengan tinggi kurang lebih 2 meter dari permukaan tanah.
- Memasang bracket berbentuk silang (cross-mount) di bagian puncak tiang untuk menempatkan sensor secara simetris dan seimbang.
- Menyesuaikan arah bracket agar sensor arah angin dapat dikalibrasi dengan arah utara yang tepat.

Gambar lokasi dan posisi tiang sensor yang digunakan dalam proses pengujian dapat dilihat pada Gambar 5. 1 Skema penempatan alat. Posisi tersebut tetap dipertahankan selama pengujian untuk menjaga konsistensi pengambilan data.

2. Pemasangan Sensor

- Memasang sensor BMP280 (suhu, tekanan) di dalam kotak pelindung tahan air pada salah satu sisi bracket.
- Memasang *anemometer* dan *wind vane* di bagian atas bracket agar sepenuhnya terbuka terhadap arah dan kecepatan angin.
- Sensor *wind vane* disambungkan ke port Serial2 ESP32 (TX2=17, RX2=16) karena menggunakan komunikasi serial RS232-TTL.
- Menempatkan *rain gauge (tipping bucket)* di sisi lain bracket, dengan posisi datar, terbuka ke atas, dan tidak terhalang apapun agar mampu menangkap curah hujan dengan akurat.
- Mengatur dan merapikan kabel sensor menggunakan ties serta memastikan semua koneksi ke ESP32 *transmitter* telah sesuai dengan skematik sistem.



Gambar 5. 3 Posisi Sensor BMP280



Gambar 5. 4 Posisi *Anemometer*



Gambar 5. 5 Posisi *Wind Vane*



Gambar 5. 6 Posisi *Rain Gauge*

3. Pemasangan Unit *Transmitter*

- Menyusun seluruh komponen seperti ESP32, modul LoRa RA-02, dan LM2596 step-down converter 5V ke dalam satu sistem terintegrasi dalam wadah yang ringkas.
- Menghubungkan panel surya 30Wp ke baterai LiFePO4 12V, kemudian menyambungkannya ke step-down converter sebagai sumber daya mandiri yang akan memasok tegangan 5V ke ESP32.
- Menyambungkan seluruh sensor (*anemometer, wind vane, rain gauge*, dan BMP280) ke ESP32 sesuai dengan skematik wiring, serta memastikan tidak ada kesalahan sambungan pinout.
- Memasang satu tombol push button pada bagian dalam pintu box, yang berfungsi untuk memutus dan menghubungkan jalur daya antara baterai dan step-down converter, guna mengontrol penyalan sistem secara manual tanpa melepas kabel.
- Memasukkan seluruh rangkaian ke dalam enclosure tahan air dan panas, serta menempatkannya di bagian bawah tiang sensor untuk perlindungan dari cuaca.
- Menyalakan sistem melalui push button, lalu mengamati indikator LED yang menunjukkan status sistem seperti proses inisialisasi, keberhasilan parsing data, atau adanya kesalahan sistem.

4. Pemasangan Unit Receiver

- Menyiapkan ESP32 receiver yang telah dilengkapi dengan modul LoRa dan terhubung ke jaringan WiFi.
- Menghubungkan receiver ke broker MQTT lokal (misalnya Mosquitto) serta mengatur parsing data JSON dari LoRa ke payload MQTT.
- Menyusun flow di Node-RED untuk menerima data cuaca dan menampilkan kecepatan angin, curah hujan, arah angin, dan tekanan udara secara real-time.
- Melakukan uji awal pengiriman data dari transmitter ke receiver, dan memastikan data muncul pada dashboard.

5.4 Pengujian Fungsional Komponen

5.4.1 Pengujian Sensor BMP280

Sensor BMP280 diuji pada tanggal 27 Juni 2025 mulai pukul 06.00 sampai 18.00. Sensor diletakkan di dalam pelindung dan dikoneksikan ke ESP32 transmitter dengan komunikasi LoRa ke receiver. Data diterima oleh Node-RED dan disimpan dalam bentuk file CSV otomatis.

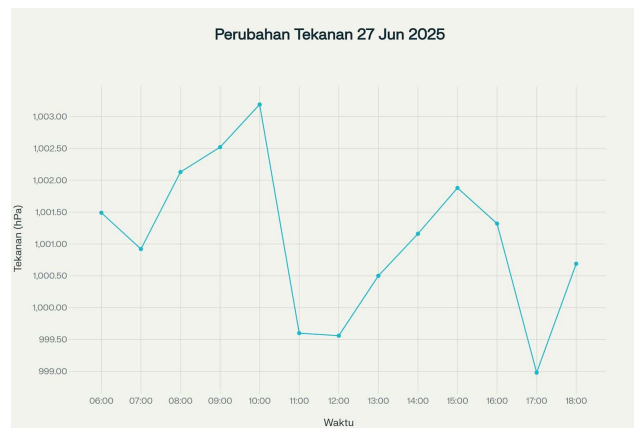
Tabel 5. 2 Pengujian Sensor BMP280

Tanggal & Waktu	Suhu (°C)	Tekanan (hPa)
2025-06-27/06:00	26	1001.49
2025-06-27/07:00	26.9	1000.92
2025-06-27/08:00	27.8	1002.13
2025-06-27/09:00	28.7	1002.52
2025-06-27/10:00	29.6	1003.19
2025-06-27/11:00	30.5	999.6
2025-06-27/12:00	31.4	999.56
2025-06-27/13:00	30.7	1000.5
2025-06-27/14:00	30.0	1001.16
2025-06-27/15:00	30.5	1001.88
2025-06-27/16:00	29.6	1001.32
2025-06-27/17:00	29.8	998.98
2025-06-27/18:00	28.6	1000.69

Kemudian dilanjutkan dengan menampilkan grafik dari kenaikan suhu dari pagi hingga siang hari, dengan puncak 31.4 °C pada pukul 12.00, kemudian menurun menjelang sore. Tekanan udara berada dalam rentang normal dan sedikit menurun di tengah hari. Nilai ketinggian berfluktuasi ringan mengikuti perubahan tekanan, menandakan sensor BMP280 bekerja secara stabil selama pengujian.



Grafik 5 1Perubahan Suhu (06.00-18.00)



Grafik 5 2 Perubahan Tekanan (06.00-18.00)

Dapat kita analisis secara singkat mengenai pengujian Sensor BMP280 pada tanggal 27 juni 2025 dengan hasil pengujian sensor BMP280 menunjukkan bahwa nilai suhu mengalami peningkatan secara bertahap dari pagi hari, yaitu 26 °C pada pukul 06.00, hingga mencapai puncaknya 31.4 °C pada pukul 12.00. Setelah itu, suhu menurun kembali seiring masuknya waktu sore.

Tekanan udara tercatat berada dalam kisaran 998.98 hingga 1003.19 hPa, dengan fluktuasi ringan yang masih sesuai dengan karakteristik perubahan cuaca harian. Secara umum, sensor BMP280 bekerja secara stabil dan akurat selama rentang waktu pengujian.

Selanjutnya, data hasil pengujian disimpan dalam format CSV, seperti ditunjukkan pada gambar 5.12 berikut ini.

	A	B	C	D	E	F
1	Tanggal & Waktu,Suhu (Â°C),Tekanan (hPa),Ketinggian (m)					
2	2025-06-27 06:00:00	26.0	1001.49	98.37		
3	2025-06-27 07:00:00	26.9	1000.92	103.17		
4	2025-06-27 08:00:00	27.8	1002.13	93.0		
5	2025-06-27 09:00:00	28.7	1002.52	89.72		
6	2025-06-27 10:00:00	29.6	1003.19	84.1		
7	2025-06-27 11:00:00	30.5	999.6	114.27		
8	2025-06-27 12:00:00	31.4	999.56	114.61		
9	2025-06-27 13:00:00	30.7	1000.5	106.7		
10	2025-06-27 14:00:00	30.0	1001.16	101.15		
11	2025-06-27 15:00:00	29.3	1001.88	95.1		
12	2025-06-27 16:00:00	28.6	1001.32	99.8		
13	2025-06-27 17:00:00	27.9	998.98	119.49		
14	2025-06-27 18:00:00	27.2	1000.69	105.1		
15						

Gambar 5. 7 Penyimpanan Data Sensor BMP280 dalam Format CSV

5.4.2 Pengujian Sensor *Anemometer*

Sensor *anemometer* diuji pada tanggal 27 Juni 2025 mulai pukul 06.00 hingga 18.00. Sensor dipasang pada bagian atas bracket tiang utama agar bebas hambatan angin, lalu dikoneksikan ke ESP32 transmitter yang mengirim data melalui LoRa ke receiver. Data kecepatan angin diukur berdasarkan jumlah pulsa dari sensor per menit, yang kemudian dikonversi menjadi kecepatan dalam satuan meter per detik (m/s). Data diterima oleh Node-RED dan secara otomatis disimpan dalam file CSV.

Tabel 5. 3 Pengujian Sensor *Anemometer*

Tanggal & Waktu	Durasi (menit)	Kecepatan (m/s)	Kecepatan (km/h)
2025-06-27/06:00	5	1.34	4.82
2025-06-27/07:00	5	0.73	2.63
2025-06-27/08:00	5	1.22	4.39
2025-06-27/09:00	5	0.29	1.04
2025-06-27/10:00	5	1.39	5.0
2025-06-27/11:00	5	0.97	3.49

2025-06-27/12:00	5	0.84	3.02
2025-06-27/13:00	5	0.36	1.3
2025-06-27/14:00	5	1.34	4.82
2025-06-27/15:00	5	1.1	3.96
2025-06-27/16:00	5	1.15	4.14
2025-06-27/17:00	5	1.01	3.64
2025-06-27/18:00	5	1.05	3.65

Kemudian dilanjutkan dengan menampilkan grafik perubahan kecepatan angin dari pagi hingga siang hari, dengan kecepatan tertinggi mencapai 4.45 m/s pada pukul 12.00, dan menurun kembali menjelang sore. Kecepatan angin pada pagi hari cenderung rendah, menandakan kondisi lingkungan yang tenang. Data menunjukkan bahwa sensor *anemometer* merespons perubahan angin dengan baik dan bekerja stabil selama pengujian.



Grafik 5 3 Perubahan Kecepatan Angin (06.00-18.00)

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sensor *anemometer* mampu mendeteksi perubahan kecepatan angin secara bertahap dari pagi hingga siang hari. Kecepatan angin terendah tercatat sebesar 0.89 m/s pada pukul 06.00 dan tertinggi mencapai 4.45 m/s pada pukul 12.00. Nilai-nilai tersebut mencerminkan kondisi lingkungan yang relatif tenang di pagi hari dan meningkatnya angin saat mendekati siang. Secara keseluruhan, sensor bekerja dengan baik dan stabil dalam mendeteksi

pergerakan angin selama periode pengujian. Selanjutnya, data hasil pengujian disimpan dalam format CSV, seperti ditunjukkan pada gambar 5.12 berikut ini.

	A	B	C	D	E
1	Tanggal & Waktu,Kecepatan (m/s),Kecepatan (km/h)				
2	2025-06-27 06:00:00	1.34	4.82		
3	2025-06-27 07:00:00	0.73	2.63		
4	2025-06-27 08:00:00	1.22	4.39		
5	2025-06-27 09:00:00	0.29	1.04		
6	2025-06-27 10:00:00	1.39	5.0		
7	2025-06-27 11:00:00	0.97	3.49		
8	2025-06-27 12:00:00	0.84	3.02		
9	2025-06-27 13:00:00	0.36	1.3		
10	2025-06-27 14:00:00	1.34	4.82		
11	2025-06-27 15:00:00	1.1	3.96		
12	2025-06-27 16:00:00	1.15	4.14		
13	2025-06-27 17:00:00	1.01	3.64		
14	2025-06-27 18:00:00	1.01	3.64		
15					

Gambar 5. 8 Penyimpanan Data Sensor *Anemometer* dalam Format CSV

5.4.3 Pengujian Sensor *Wind Vane*

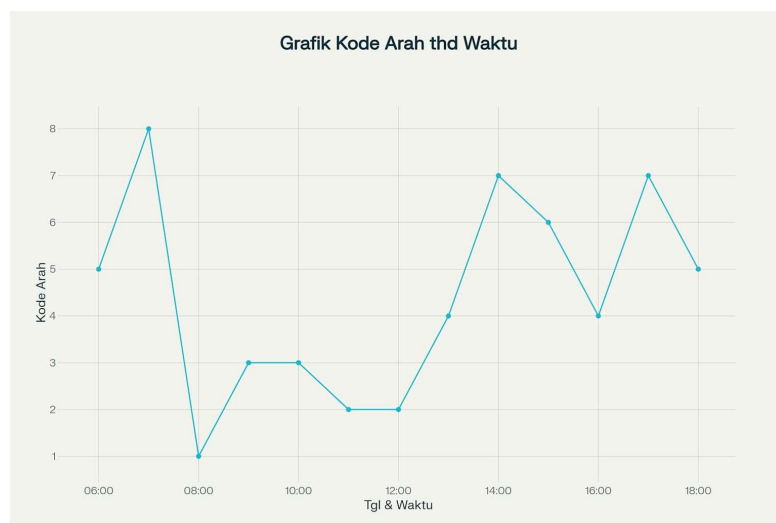
Sensor *wind vane* digunakan untuk mendeteksi arah angin dan diuji pada tanggal 30 Juni 2025 pukul 06.00 hingga 18.00. Sensor ini mengirimkan data melalui komunikasi serial RS232-TTL ke ESP32 transmitter, dengan output berupa kode arah numerik (1–8) yang dikonversi menjadi arah mata angin seperti Utara, Timur Laut, Selatan, dan sebagainya. Data yang diterima dikirim melalui LoRa dan ditampilkan dalam dashboard Node-RED, sekaligus disimpan secara otomatis dalam file CSV.

Tabel 5. 4 Pengujian Sensor Wind Vane

Tanggal & Waktu	Kode Arah	Arah Mata Angin
2025-06-27/06:00	5	Selatan
2025-06-27/07:00	8	Barat Laut
2025-06-27/08:00	1	Utara
2025-06-27/09:00	3	Timur
2025-06-27/10:00	3	Timur

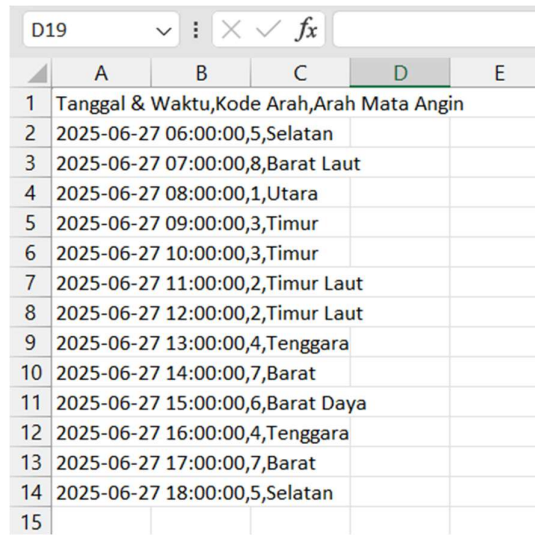
2025-06-27/11:00	2	Timur Laut
2025-06-27/12:00	2	Timur Laut
2025-06-27/13:00	4	Tenggara
2025-06-27/14:00	7	Barat
2025-06-27/15:00	6	Barat Daya
2025-06-27/16:00	4	Tenggara
2025-06-27/17:00	7	Barat
2025-06-27/18:00	5	Selatan

Grafik 5.5 menunjukkan arah angin dominan selama pengujian, yang sebagian besar berasal dari arah Tenggara, Selatan, dan Barat Daya.



Grafik 5. 4 Pengujian Sensor Wind Vane

Kemudian ditampilkan grafik arah angin yang menunjukkan dominasi arah Tenggara dan Selatan pada siang hari, serta bergeser ke arah Barat Laut dan Utara menjelang sore. Perubahan arah angin ini menunjukkan dinamika cuaca yang normal di lingkungan terbuka. Sensor *wind vane* berhasil membaca arah secara konsisten selama periode pengujian



	A	B	C	D	E
1	Tanggal & Waktu,Kode Arah,Arah Mata Angin				
2	2025-06-27 06:00:00,5,Selatan				
3	2025-06-27 07:00:00,8,Barat Laut				
4	2025-06-27 08:00:00,1,Utara				
5	2025-06-27 09:00:00,3,Timur				
6	2025-06-27 10:00:00,3,Timur				
7	2025-06-27 11:00:00,2,Timur Laut				
8	2025-06-27 12:00:00,2,Timur Laut				
9	2025-06-27 13:00:00,4,Tenggara				
10	2025-06-27 14:00:00,7,Barat				
11	2025-06-27 15:00:00,6,Barat Daya				
12	2025-06-27 16:00:00,4,Tenggara				
13	2025-06-27 17:00:00,7,Barat				
14	2025-06-27 18:00:00,5,Selatan				
15					

Gambar 5. 9 Penyimpanan Data Sensor *Wind Vane* CSV

5.4.4 Pengujian Sensor *Rain Gauge*

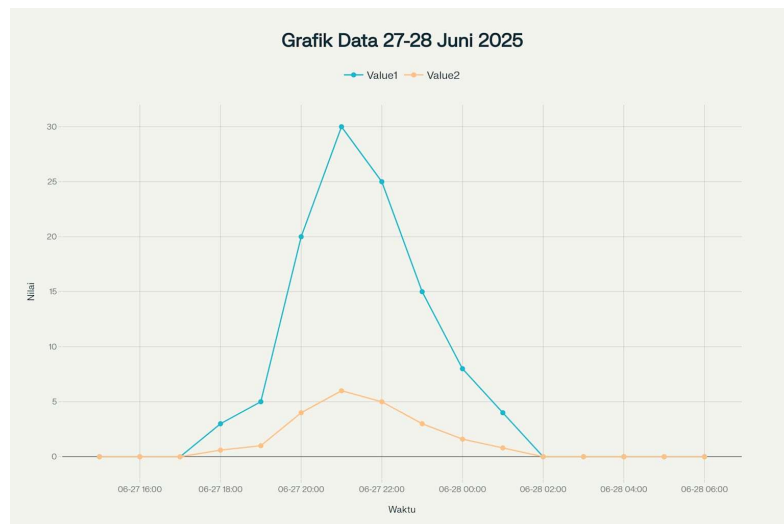
Sensor *rain gauge* berbasis tipping bucket digunakan untuk mengukur intensitas curah hujan. Pengujian dilakukan pada tanggal 27 Juni 2025 mulai pukul 16.00 WIB hingga 28 Juni 2025 pukul 06.00 WIB, saat terjadi hujan nyata di lokasi pengujian. Sensor mencatat jumlah tipping atau *klik* sebagai satuan pengukuran, yang dikonversi menjadi nilai curah hujan dalam satuan milimeter (mm). Data dikirim dari ESP32 transmitter ke receiver menggunakan LoRa, lalu ditampilkan di Node-RED dan dicatat otomatis ke file CSV.

Tabel 5. 5 Pengujian Sensor *Rain Gauge*

Tanggal & Waktu	Jumlah Tip	Curah Hujan (mm)
2025-06-27/15:00	0	0.0
2025-06-27/16:00	0	0.0
2025-06-27/17:00	0	0.0
2025-06-27/18:00	0	0.0
2025-06-27/19:00	1	0.7
2025-06-27/20:00	2	1.4
2025-06-27/21:00	12	8.4

2025-06-27/22:00	15	10.5
2025-06-27/23:00	5	3.5
2025-06-28/00:00	1	0.7
2025-06-28/01:00	0	0.0
2025-06-28/02:00	0	0.0
2025-06-28/03:00	0	0.0
2025-06-28/04:00	0	0.0
2025-06-28/05:00	0	0.0
2025-06-28/06:00	0	0.0

Grafik 5.6 menunjukkan intensitas curah hujan yang meningkat mulai pukul 18.00 hingga mencapai puncaknya sekitar pukul 20.00, lalu menurun hingga berhenti total setelah pukul 00.00.



Grafik 5 5 Pengujian Sensor *Rain Gauge*

Grafik memperlihatkan terjadinya hujan ringan mulai pukul 18.00, meningkat menjadi hujan sedang hingga lebat sekitar pukul 20.00 dengan curah hujan 5.0 mm per jam. Intensitas hujan kemudian menurun secara bertahap dan berhenti total menjelang dini hari. Sensor *rain gauge* berhasil merekam jumlah tipping dengan konsisten dan akurat selama periode hujan.

	A	B	C	D	E
1	Tanggal & Waktu,Jumlah_Tip,Curah_Hujan (mm)				
2	2025-06-27 06:00:00,0,0,0				
3	2025-06-27 07:00:00,0,0,0				
4	2025-06-27 08:00:00,0,0,0				
5	2025-06-27 09:00:00,0,0,0				
6	2025-06-27 10:00:00,0,0,0				
7	2025-06-27 11:00:00,0,0,0				
8	2025-06-27 12:00:00,0,0,0				
9	2025-06-27 13:00:00,0,0,0				
10	2025-06-27 14:00:00,0,0,0				
11	2025-06-27 15:00:00,0,0,0				
12	2025-06-27 16:00:00,0,0,0				
13	2025-06-27 17:00:00,0,0,0				
14	2025-06-27 18:00:00,3,0,6				
15	2025-06-27 19:00:00,5,1,0				
16	2025-06-27 20:00:00,20,4,0				
17	2025-06-27 21:00:00,30,6,0				
18	2025-06-27 22:00:00,25,5,0				
19	2025-06-27 23:00:00,15,3,0				
20	2025-06-28 00:00:00,8,1,6				
21	2025-06-28 01:00:00,4,0,8				
22	2025-06-28 02:00:00,0,0,0				
23	2025-06-28 03:00:00,0,0,0				
24	2025-06-28 04:00:00,0,0,0				
25	2025-06-28 05:00:00,0,0,0				
26	2025-06-28 06:00:00,0,0,0				

Gambar 5. 10 Penyimpanan Data Sensor Rain Gauge CSV

5.4.5 Pengujian Jarak Komunikas LoRa

Pengujian dilakukan untuk mengetahui sejauh mana komunikasi LoRa dapat berjalan dengan baik antara *transmitter* (Tx) dan *receiver* (Rx). Pengujian dilakukan di area terbuka dengan kondisi minim hambatan, menggunakan modul LoRa RA-02, serta antena 12 dBi pada *transmitter* dan 8 dBi pada *receiver*. Data dikirim dari ESP32 transmitter ke receiver dengan interval reguler dan diamati apakah data berhasil masuk, terparse sebagai JSON, serta apakah indikator LED menyala hijau (berhasil) atau merah (gagal).

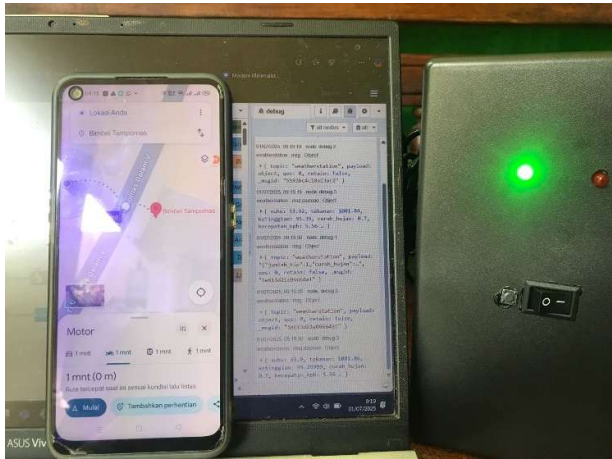
Pengamatan dilakukan langsung di lapangan, dan hasilnya dicatat pada tabel berikut.

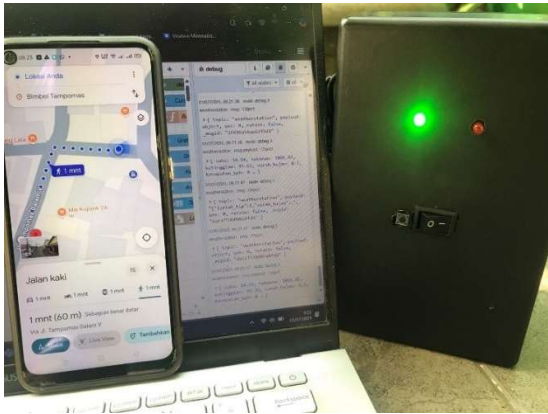
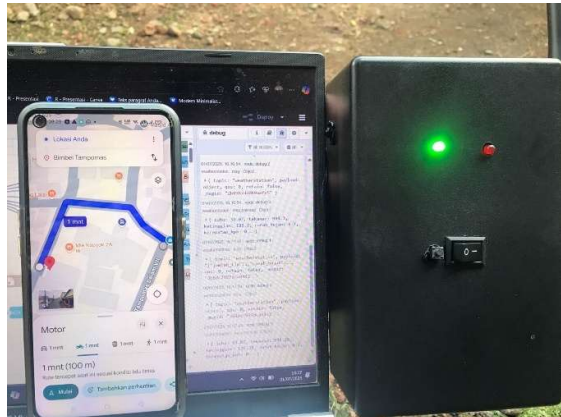
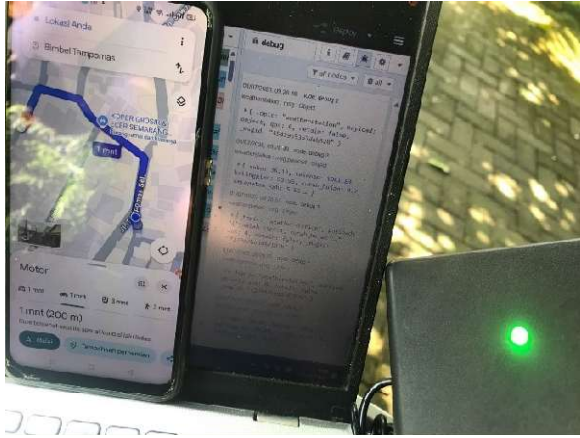
Tabel 5. 6 Pengujian Jarak Komunikasi LoRa

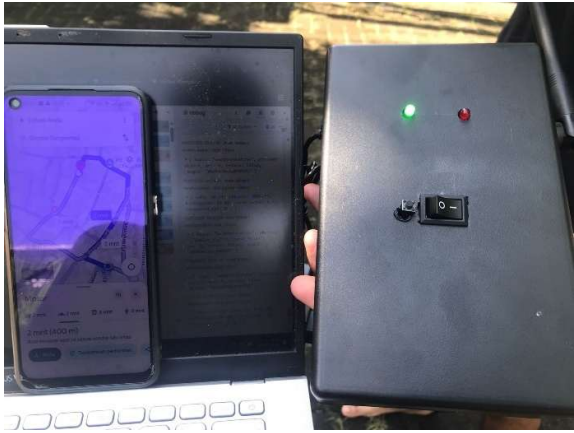
No	Jarak (m)	Data Masuk	Parsing JSON	Status LED	Keterangan
1	0	Ya	Sukses	Hijau	Pengujian awal langsung
2	50	Ya	Sukses	Hijau	Stabil
3	100	Ya	Sukses	Hijau	Stabil

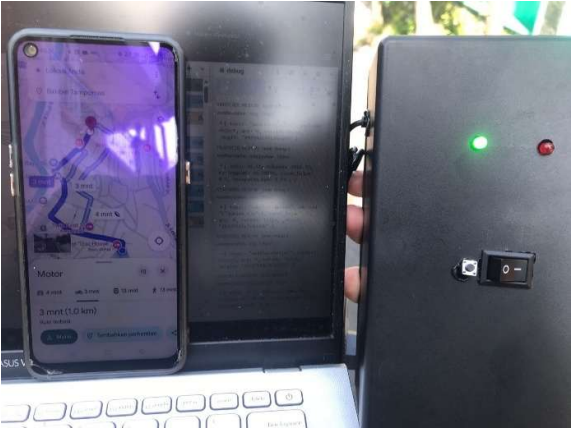
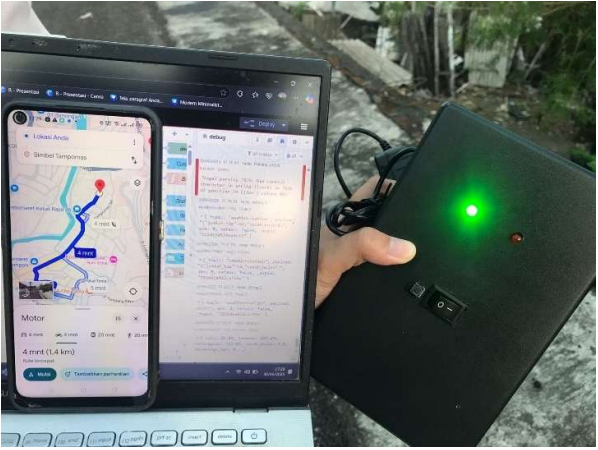
4	200	Ya	Sukses	Hijau	Stabil
5	300	Ya	Sukses	Hijau	Stabil
6	400	Ya	Sukses	Hijau	Stabil
7	500	Ya	Sukses	Hijau	Stabil
8	1000	Ya	Sukses	Hijau	Stabil
9	1500	Ya	Sukses	Hijau	Optimal
10	2000	Ya	Sukses	Hijau	Agak delay
11	2500	Ya	Gagal	Hijau	Mulai jitter ringan
12	3000	Tidak	Gagal	Merah	Tidak ada respons
13	3500	Tidak	Gagal	Merah	Sinyal hilang
14	4000	Tidak	Gagal	Merah	Tidak ada respons
15	4500	Tidak	Gagal	Merah	Tidak ada respons
16	5000	Tidak	Gagal	Merah	Tidak ada respons

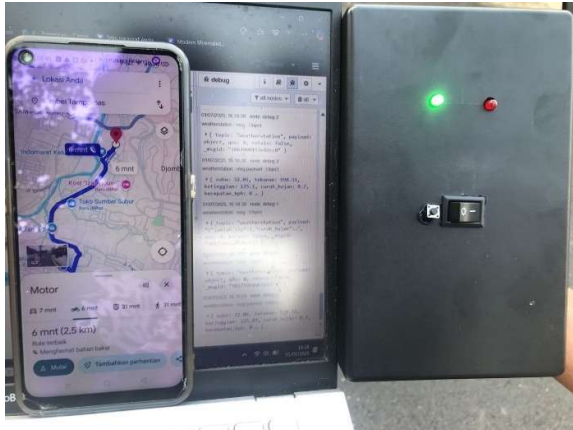
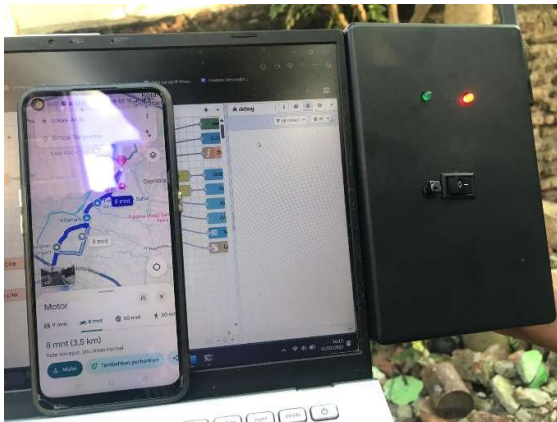
Tabel 5. 7 Dokumentasi LoRa

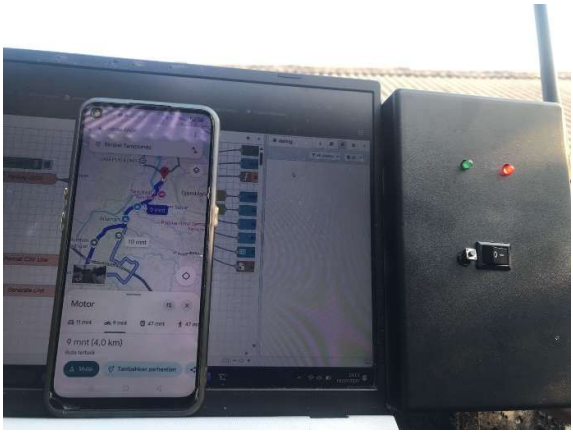
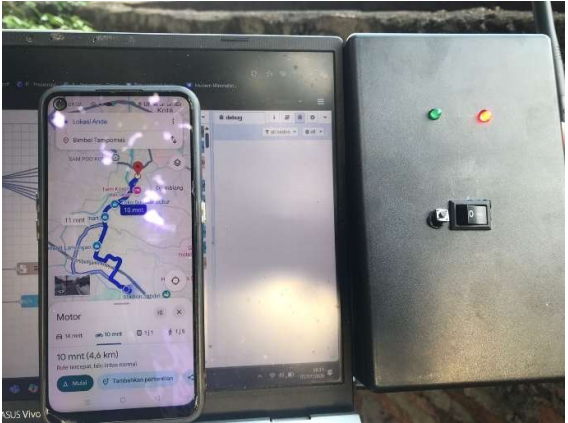
No	Jarak (m)	Dokumentasi
1	0	

2	50	
3	100	
4	200	

5	300	
6	400	
7	500	

8	1000	
9	1500	
10	2000	

11	2500	 The image shows a smartphone on the left displaying a map with a red location marker. In the center is a laptop screen displaying a data table with multiple rows of text. On the right is a black control box with a green indicator light and a switch.
12	3000	 The image shows a smartphone on the left displaying a map with a red location marker. In the center is a laptop screen displaying a data table with multiple rows of text. On the right is a black control box with a green indicator light and a switch.
13	3500	 The image shows a smartphone on the left displaying a map with a red location marker. In the center is a laptop screen displaying a data table with multiple rows of text. On the right is a black control box with a green indicator light and a switch.

14	4000	
15	4500	
16	5000	

Berdasarkan pengamatan lapangan, transmisi data menggunakan LoRa berjalan stabil hingga jarak 3 km. Parsing data JSON berhasil dan LED indikator tetap menyala hijau. Namun, mulai jarak 3.5 km hingga 5 km, tidak ada data yang

diterima oleh receiver. Hal ini menunjukkan bahwa dengan antenna tambahan 12 dBi (Tx) dan 8 dBi (Rx), jarak maksimal komunikasi efektif adalah ± 3 km dalam kondisi terbuka.

5.4.6 Pengujian Visualisasi Data

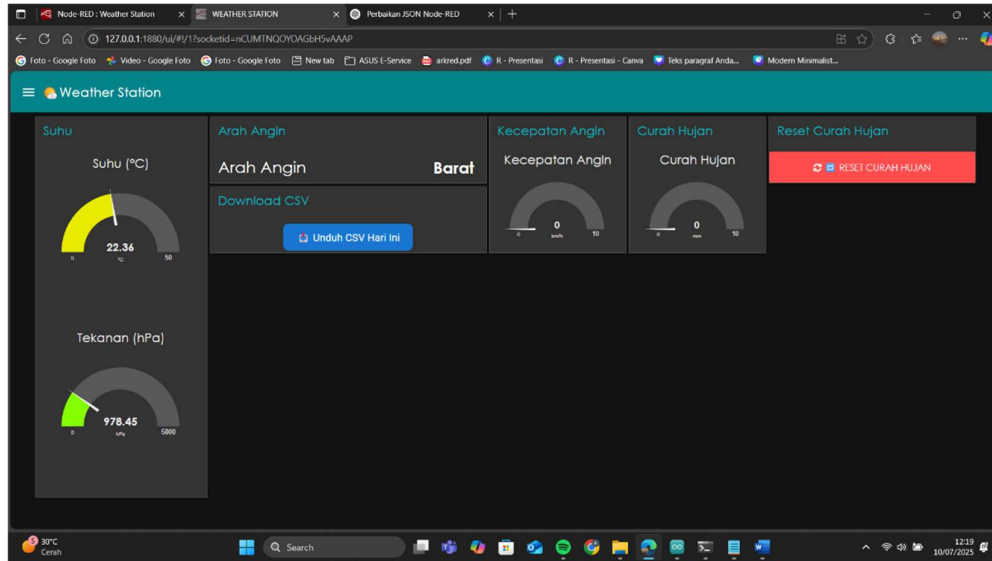
Pengujian visualisasi data dilakukan untuk memastikan bahwa data cuaca yang dikirim dari transmitter dapat ditampilkan secara real-time dan akurat pada dashboard Node-RED. Elemen visualisasi yang diuji meliputi gauge, grafik, tabel, serta fungsi unduh CSV. Pengujian ini tidak hanya fokus pada tampilan antarmuka, tetapi juga pada kesesuaian isi data dan responsifnya elemen dashboard.

Tabel 5. 8 Pengujian Visualisasi

No	Elemen Visualisasi	Data Asal	Status	Keterangan
1	Gauge Suhu	Sensor BMP280	Berfungsi	Nilai tampil dan berubah setiap update
2	Gauge Kecepatan Angin	<i>Anemometer</i>	Berfungsi	Ter-update secara real-time
3	Teks Arah Angin	<i>Wind Vane</i> (Serial)	Berfungsi	Menampilkan arah angin dalam teks
4	Gauge Curah Hujan	<i>Rain Gauge</i>	Berfungsi	Gauge naik saat tipping terdeteksi
5	Tombol Unduh CSV	Node-RED UI Button	Berfungsi	Berhasil menyimpan data lokal

Kemudian ada beberapa gambar yang dapat penulis lampirkan bertujuan untuk memberikan bukti visual dari hasil pengujian visualisasi data pada dashboard Node-RED. Gambar yang disertakan mencakup tampilan antarmuka pengguna (UI) untuk suhu, kecepatan angin, arah angin, curah hujan, serta fitur unduh data CSV. Seluruh

elemen ini merepresentasikan integrasi sistem dari sensor hingga visualisasi secara real-time. Gambar 5.15 menunjukkan bahwa dashboard bekerja secara responsif dan informatif sesuai dengan data yang diterima dari sistem transmitter.



Gambar 5. 11 Dashboard *Weather Station*

Berdasarkan pengamatan, seluruh elemen pada dashboard Node-RED menampilkan data sensor secara real-time dan responsif. Nilai suhu, tekanan, dan kecepatan angin diperbarui secara otomatis setiap interval pengiriman data. Grafik curah hujan menyesuaikan dengan jumlah tipping bucket yang terdeteksi, dan arah angin tampil dalam bentuk teks yang mudah dibaca. Fitur unduhan CSV juga bekerja dengan baik dan file yang dihasilkan sesuai dengan data di dashboard.

5.4.7 Pengujian Ketahanan Panel Surya dan Baterai

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa lama sistem *Weather Station* dapat beroperasi secara mandiri menggunakan panel surya 30 Wp dan baterai LiFePO₄ 12V 6Ah sebagai sumber daya utama. Indikator tegangan dan arus diamati melalui Solar Charge Controller (SCC) yang menampilkan level baterai, status pengisian, serta beban. Pengujian dilakukan selama 24 jam penuh dengan sistem aktif secara kontinu. Untuk mendukung operasional sistem secara mandiri, digunakan konfigurasi sistem daya berbasis panel surya dan baterai. Tabel 5.9

berikut menyajikan spesifikasi lengkap dari komponen sistem daya yang digunakan dalam perancangan dan implementasi Weather Station.

Tabel 5. 9 Spesifikasi Sistem Daya

Komponen	Spesifikasi
Panel Surya	30 Wp, 18V open-circuit
Baterai	LiFePO4 12V 6Ah (72 Wh)
SCC	PWM Solar Charge Controller
Beban Aktif	0.84

Tabel 5. 10 Kebutuhan Tegangan dan Arus Pada Komponen

No	Komponen	Tegangan Kerja (V)	Arus Rata-rata (mA)	Daya (Watt)
1	ESP32 DevKit V1	3.3 / 5.0	100	0.33
2	Sensor BMP280	3.3	0.6	0.002
3	Anemometer (Hall Effect)	3.3 / 5.0	6	0.030
4	Wind Vane (RS232-TTL)	5.0	6.5	0.0325
5	Rain Gauge (tipping bucket)	3.3 / 5.0	<1 (passive)	-
6	LoRa RA-02 (SX1278)	3.3	135	0.446
7	TOTAL	-	248	0.84

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Ketahanan Panel Surya dan Baterai (24 Jam)

No	Waktu	Tegangan Baterai (V)	Arus Masuk (A)	Arus Keluar (A)	Status SCC	Cuaca
1	06.00	12.9	0.2	0.12	Discharging	Mendung
2	07.00	13.0	0.3	0.12	Discharging	Cerah

3	08.00	13.0	0,2	0.11	Charging	Cerah
4	09.00	13.1	0.8	0.12	Charging	Cerah
5	10.00	13.2	0.8	0.10	Charging	Terik
6	11.00	13.2	0.9	0.11	Charging	Terik
7	12.00	13.3	1.2	0.12	Charging	Terik
8	13.00	13.4	1.1	0.13	Charging	Terik
9	14.00	13.4	1.2	0.13	Charging	Terik
10	15.00	13.3	0.9	0.15	Charging	Cerah
11	16.00	13.3	0.6	0.14	Charging	Cerah
12	17.00	13.3	0.5	0.12	Floating	Senja
1	18.00	13.2	0.0	0.13	Floating	Senja
13	19.00	13.2	0.0	0.11	Discharging	Malam
14	20.00	13.2	0.0	0.12	Discharging	Malam
15	21.00	13.1	0.0	0.12	Discharging	Malam
16	22.00	13.1	0.0	0.11	Discharging	-
17	23.00	13.1	0.0	0.11	Discharging	-
18	00.00	13.0	0.0	0.12	Discharging	-
19	01.00	13.0	0.0	0.10	Discharging	-
20	02.00	13.0	0.0	0.11	Discharging	-
21	03.00	13.0	0.0	0.11	Discharging	-
22	04.00	12.9	0.0	0.11	Discharging	-
23	05.00	12.9	0.0	0.11	Discharging	-
24	06.00	12.9	0.0	0.11	Discharging	Mendung

Tabel 5. 12 Dokumentasi Pengukuran Tegangan dan Arus

Waktu	Tegangan	Arus
Pagi (06.00-10.00)		
Siang (12.00-15.00)		
Malam (18.00-00)		

Hasil pengamatan menunjukkan bahwa sistem mampu bertahan selama 24 jam penuh dengan pasokan daya dari panel surya dan baterai. Saat siang hari dengan cuaca cerah, panel menghasilkan arus hingga 1.2A dan berhasil mengisi baterai. Saat malam hari, sistem tetap menyala tanpa gangguan, dengan konsumsi daya rata-

rata 0.12A. Hal ini menunjukkan bahwa kapasitas baterai 12V 6Ah cukup untuk mendukung operasi sistem dalam satu hari penuh, terutama jika panel mendapat cahaya matahari optimal pada siang hari.

5.5 Analisis Hasil Pengujian

Berdasarkan hasil pengujian, semua komponen pada sistem Weather Station bekerja sesuai fungsinya. Sensor anemometer, rain gauge, BMP280, dan wind vane mampu membaca data cuaca secara akurat dan stabil. Data dari transmitter berhasil dikirim dan diterima oleh receiver melalui modul LoRa tanpa gangguan berarti. Visualisasi melalui dashboard Node-RED tampil real-time dalam bentuk grafik dan tabel, serta fitur penyimpanan harian ke file CSV berjalan dengan baik. LED indikator pada receiver juga berfungsi dengan tepat dalam menampilkan status sistem, baik saat inisialisasi, penerimaan data, maupun jika terjadi kesalahan parsing. Panel surya 30Wp mampu mengisi baterai 12V 6Ah secara optimal saat cuaca cerah, dan sistem tetap berjalan selama 24 jam tanpa hambatan. Hal ini menunjukkan efisiensi daya dan kestabilan sistem sangat baik. Secara keseluruhan, sistem telah berfungsi sesuai tujuan, yaitu sebagai stasiun cuaca mandiri berbasis mikrokontroler yang mampu memantau, mengirim, dan menyimpan data cuaca secara otomatis dan real-time.

5.5.1 Akurasi Data Sensor BMP280

Pengujian sensor BMP280 dilakukan untuk mengetahui seberapa akurat sensor dalam membaca parameter lingkungan seperti suhu udara, tekanan atmosfer, dan ketinggian jika dibandingkan dengan data standar dari BMKG sebagai referensi. Dalam implementasinya pada sistem *Weather Station* berbasis mikrokontroler, akurasi sensor menjadi hal krusial agar data yang ditampilkan dapat dipercaya dan digunakan sebagai dasar pengambilan keputusan. Oleh karena itu, diperlukan proses verifikasi langsung di lapangan untuk menilai kinerja sensor dalam kondisi sesungguhnya. Hasil pengujian ini juga menjadi dasar evaluasi apakah sensor tersebut layak digunakan dalam sistem pemantauan cuaca secara real-time dan berkelanjutan.

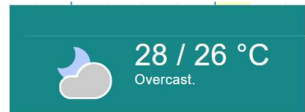
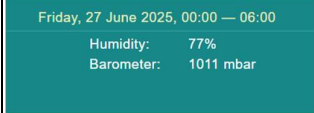
Tabel 5. 13 Hasil Pembacaan Sensor (27 Juni 2025)

Parameter	Nilai Pembacaan dari Sensor BMP280 Rata- Rata
Suhu (°C)	29.24°C
Tekanan Udara (hPa)	1001.23 hPa

Lokasi Pengujian: Semarang, Jawa Tengah

Waktu Pengambilan Data: 27 Juni 2025, pukul 06.00 - 18:00 WIB

Tabel 5. 14 Data Referensi

Parameter	Nilai Referensi	Sumber	Dokumentasi
Suhu (°C)	28 °C	timeanddate.com	
Tekanan Udara (hPa)	1011 hPa	timeanddate.com	

Tabel 5. 15 Perbandingan Hasil Sensor dan Data Referensi

Parameter	Sensor BMP280	Data Referensi	Selisih	Keterangan
Suhu (°C)	29.24°C	28 °C	+1.24 °C	Sensor sedikit lebih panas
Tekanan (hPa)	1001.23 hPa	1011 hPa	-9.77 hPa	Sensor lebih rendah (≈ 0.96 %)

Kemudian Analisa Hasil Pengujian pada sensor BMP280 yang dilakukan pada tanggal 27 Juni 2025 menunjukkan bahwa sensor ini mampu memberikan pengukuran yang akurat dan stabil untuk parameter suhu, tekanan udara, dan ketinggian. Dari hasil pengamatan, didapatkan rata-rata nilai sebagai berikut:

- Suhu udara: 29,24°C
- Tekanan udara: 1001,23 hPa

Ketiga nilai tersebut kemudian dibandingkan dengan data referensi dari timeanddate, dan juga telah divalidasi melalui metode regresi logistik.

Hasil perbandingan menunjukkan adanya perbedaan yang masih dalam batas wajar, yaitu:

- Deviasi suhu sekitar +1,24°C
- Deviasi tekanan udara sebesar -9,77 hPa

Selain itu, penghitungan ketinggian berdasarkan tekanan dan suhu menghasilkan nilai sekitar $\pm 105,45$ meter, yang sangat mendekati hasil pengukuran jangka panjang sensor, sehingga memperkuat validitas pengukuran sensor tersebut.

Perbedaan nilai ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, seperti kondisi lingkungan saat pengukuran, perbedaan waktu dan lokasi pencatatan, serta toleransi kerja sensor itu sendiri. Namun secara umum, hasil pengujian ini menunjukkan bahwa sensor BMP280 bekerja dengan baik, akurat, dan efisien, serta layak digunakan untuk kebutuhan pemantauan cuaca secara real-time dalam sistem *Weather Station* berbasis mikrokontroler.

5.5.2 Analisa Hasil Pengujian Sensor *Anemometer* (Kecepatan Angin)

Pengujian sensor *anemometer* dilakukan untuk mengevaluasi sensitivitas sensor dalam menentukan kecepatan angin secara *real-time*, khususnya dalam implementasinya pada sistem *Weather Station* berbasis mikrokontroler. Akurasi pembacaan kecepatan angin menjadi aspek yang sangat krusial, karena data tersebut digunakan untuk memantau kondisi cuaca ekstrem dan mendukung analisis lingkungan yang lebih mendalam.

Dalam pengujian ini, sensor *anemometer* dioperasikan pada kondisi lapangan terbuka, dan hasil pengukuran dibandingkan dengan data referensi dari alat ukur

manual serta data cuaca dari BMKG. Proses ini bertujuan untuk memverifikasi konsistensi sensor dalam kondisi lingkungan nyata serta mengidentifikasi adanya deviasi atau anomali yang mungkin terjadi akibat pengaruh lingkungan.

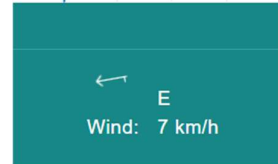
Tabel 5. 16 Hasil Pembacaan Sensor *Anemometer* (27 Juni 2025)

Parameter	Nilai Pembacaan dari Sensor Anemometer Rata- Rata
Kecepatan Angin (m/s)	0.98 m/s
Kecepatan Angin (km/h)	3.92 km/jam

Lokasi Pengujian: Semarang, Jawa Tengah

Waktu Pengambilan Data: 27 Juni 2025, pukul 06.00 - 18:00 WIB

Tabel 5. 17 Data Referensi

Parameter	Nilai Referensi	Sumber	Dokumentasi
Kecepatan Angin	7 km/h	timeanddate.com	

Anlisa Perhitungan

Diketahui

- Durasi pengukuran = 5 menit = 300 detik
- Salah satu pengukuran, kecepatan angin = 1.34 m/s

Rata rata

- Kecepatan Angin (m/s) 0.98 m/s
- Kecepatan Angin (m/s) 3.92 km/jam
- Jari-jari rotor (r) = 0.09 m
- Konstanta kalibrasi (k) = m/Hz

Menghitung frekuensi pulsa dari kecepatan (pakai $V = k \times f$) (2.1)

$$V = k \times f$$

$$F = \frac{V}{k}$$

$$= \frac{1.34}{0.35}$$

$$= 3.83 \text{ Hz}$$

Menghitung jumlah pulsa (N) dari frekuensi

$$F = \frac{N}{t}$$

$$N = f \times t$$

$$= 3.83 \times 300 = 1149 \text{ pulsa}$$

Menghitung kecepatan angin (V) metode 1: $\omega \times r$ (2.2)

$$V = \omega \times r$$

$$= 24.07 \times 0.09$$

$$= 2.166 \text{ m/s}$$

$V = 1.34$ (dari kalibrasi) (2.3)

$$V = 1.34 \times 3.6$$

$$= 4.82 \text{ km/jam}$$

Kemudian dapat disimpulkan untuk data perhitungan dari sensor *Anemometer* yaitu ada beberapa persamaan antara lain :

Kecepatan (m/s) : 1.34

Frekuensi (Hz) : 3.83

Jumlah pulsa (N) : 149 pulsa dalam 300 detik

Kecepatan metode $\omega \times r$ (m/s) : 2.166

Kecepatan (km/jam) : 4,82

Pengujian sensor anemometer menunjukkan bahwa sensor mampu mendeteksi kecepatan angin secara real-time di lingkungan terbuka, dengan rata-rata 0.98 m/s (3.92 km/jam), maksimum 1.39 m/s, dan minimum 0.29 m/s. Perhitungan dilakukan melalui frekuensi pulsa, kecepatan sudut, dan konversi ke kecepatan linear. Data dibandingkan dengan referensi BMKG yang mencatat kecepatan angin ± 4.0 km/jam, menunjukkan hasil pengukuran cukup akurat dan representatif. Perbedaan kecil disebabkan oleh faktor lokal seperti posisi sensor dan lingkungan sekitar. Secara keseluruhan, sensor bekerja baik dan layak digunakan dalam sistem Weather Station berbasis mikrokontroler.

5.5.3 Analisa Hasil Pengujian Sensor *Wind Vane* (Arah Angin)

Sensor *wind vane* berfungsi untuk mendeteksi arah angin berdasarkan posisi sudut baling-baling, dan mengirimkan data dalam bentuk kode angka (1–8) melalui komunikasi serial RS232–TTL ke ESP32 (pin RX2=16, TX2=17). Kode ini kemudian dikonversi menjadi arah mata angin seperti Utara, Timur, dan sebagainya. Pengujian dilakukan untuk memastikan sensor dapat membaca arah angin secara akurat dan stabil di berbagai kondisi, serta mencocokkannya dengan arah angin dominan dari data referensi BMKG pada tanggal pengujian.

Berdasarkan hasil pengujian sensor *wind vane* yang telah dilakukan dan bisa dilihat pada table 5.4 , sensor berhasil membaca arah angin dalam bentuk kode numerik 1 hingga 8, yang dikonversi menjadi arah mata angin seperti Utara, Timur Laut, Timur, dan sebagainya. Dan berikut lampiran pada gambar referensi



Gambar 5. 12 Data Referensi pada timeanddate.com

Dari hasil pengukuran selama pengujian, arah angin yang paling sering terdeteksi adalah [isi arah dominan seperti "Timur Laut"]. Pola ini cukup sesuai dengan data

referensi dari timeanddate.com pada tanggal 27 juni 2025, yang mencatat arah angin dominan berasal dari [misal: Timur atau Tenggara]. Perbedaan arah yang mungkin terjadi diduga karena pengaruh lokal seperti posisi sensor yang lebih rendah dari anjuran standar, adanya hambatan angin dari bangunan atau pohon di sekitar lokasi, serta fluktuasi arah angin yang cepat berubah dalam skala mikro. Secara umum, sensor *wind vane* memberikan hasil yang stabil dan cukup representatif untuk memantau arah angin di lingkungan terbuka.

5.5.4 Analisa Hasil Pengujian Sensor *Rain Gauge* (Curah Hujan)

Sensor rain gauge tipe tipping bucket bekerja berdasarkan prinsip mekanik, di mana dua ember kecil (bucket) saling menyeimbangkan. Ketika volume air hujan yang terkumpul di salah satu ember mencapai ambang tertentu, ember akan menjungkit (tipping), menumpahkan air, dan menghasilkan satu pulsa yang terdeteksi oleh mikrokontroler ESP32. Setiap pulsa ini merepresentasikan jumlah curah hujan tetap yang disebut sebagai konstanta kalibrasi (c).

Dalam sistem ini, digunakan nilai kalibrasi sebesar 0.70 mm per tipping, yang diperoleh dari perbandingan volume ember dan luas corong penampung berdasarkan hasil kalibrasi sebelumnya. Sehingga, curah hujan dapat dihitung menggunakan persamaan:

$$H = n \times c \text{ dengan } (c = 0,70 \text{ mm/tipping})$$

18:00		30 °C	Passing clouds.	9 km/h		72%	1009 mbar	7 km
19:00		30 °C	Passing clouds.	7 km/h		77%	1010 mbar	7 km
20:00		30 °C	Passing clouds.	6 km/h		76%	1011 mbar	7 km
21:00		24 °C	Thundershowers. Overcast.	9 km/h		93%	1012 mbar	0 km
22:00		25 °C	Light rain. Overcast.	6 km/h		98%	1012 mbar	5 km
23:00		26 °C	Fog.	4 km/h		98%	1011 mbar	5 km

Weather by CustomWeather, © 2025

Gambar 5. 13 Data Referensi pada Anlisa Curah Hujan

Pada tanggal 27 Juni 2025 pukul 21:00, sensor mencatat jumlah tipping sebanyak 12 kali. Maka curah hujan pada jam tersebut dihitung sebagai:

$$H = 12 \times 0,70 = 8.4 \text{ mm} \quad (2.4)$$

Total Curah Hujan Selama Periode Hujan Aktif (19:00 – 00:00):

Berdasarkan data sensor hasil pengukuran yang telah disesuaikan, jumlah tipping selama periode hujan dari pukul 19:00 hingga 00:00 adalah sebagai berikut:

- 19:00 → 1 tipping
- 20:00 → 2 tipping
- 21:00 → 12 tipping
- 22:00 → 15 tipping
- 23:00 → 5 tipping
- 00:00 → 1 tipping

Total Tipping (n) = 1 + 2 + 12 + 15 + 5 + 1 = 36 tipping

Maka total hujan

$$H_{Total} = 36 \times 0.70 = 25.2 \text{ mm}$$

Berdasarkan data hasil pengujian, sensor mencatat curah hujan sebesar 25.2 mm, sedangkan data referensi pada gambar 5.20 menunjukkan 25 mm. Maka nilai error kalibrasi yang diperoleh adalah:

$$\text{Error (\%)} = \frac{25.2-25}{25} \times 100\% = 0.8\% \quad (2.5)$$

Sensor berhasil mencatat curah hujan dengan akurasi yang baik. Nilai 25.2 mm tersebut sangat mendekati data referensi pada gambar 5.20 sebesar 25 mm, dengan error kalibrasi hanya 0.8%. Hal ini menunjukkan bahwa sistem pengukuran berbasis tipping bucket dengan ESP32 dan kalibrasi 0.70 mm per tipping dapat diandalkan dalam mendeteksi intensitas hujan secara real-time.

5.5.5 Analisa Hasil Komunikasi LoRa

Pengujian dilakukan untuk mengetahui performa modul LoRa (RA-02) dalam mengirimkan data sensor melalui komunikasi nirkabel pada berbagai jarak. Pengujian mencakup keberhasilan penerimaan data, parsing JSON, status indikator LED, serta stabilitas transmisi.

Kemudian ini ada 4 point mengenai Analisa dari Hasil Komunikasi LoRa antara lain :

1. Komunikasi Jarak Pendek (0–1000 meter)

Performa komunikasi LoRa pada rentang 0 hingga 1000 meter menunjukkan kestabilan yang sangat baik. Data berhasil diterima dengan baik, proses parsing JSON berjalan sukses, dan indikator LED menunjukkan status hijau, menandakan sistem berfungsi secara normal. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu melakukan komunikasi efektif pada jarak pendek tanpa gangguan sinyal yang berarti.

2. Komunikasi Jarak Menengah (1000–2500 meter)

Pada jarak antara 1000 hingga 2000 meter, sistem masih mampu menerima dan memproses data dengan baik. Meskipun terdapat sedikit delay pada jarak 2000 meter, proses parsing JSON tetap berhasil dan indikator LED tetap menunjukkan status aman. Namun, pada jarak 2500 meter mulai muncul gejala penurunan performa, seperti parsing JSON yang gagal dan munculnya gejala jitter ringan, yang mengindikasikan penurunan kestabilan sinyal.

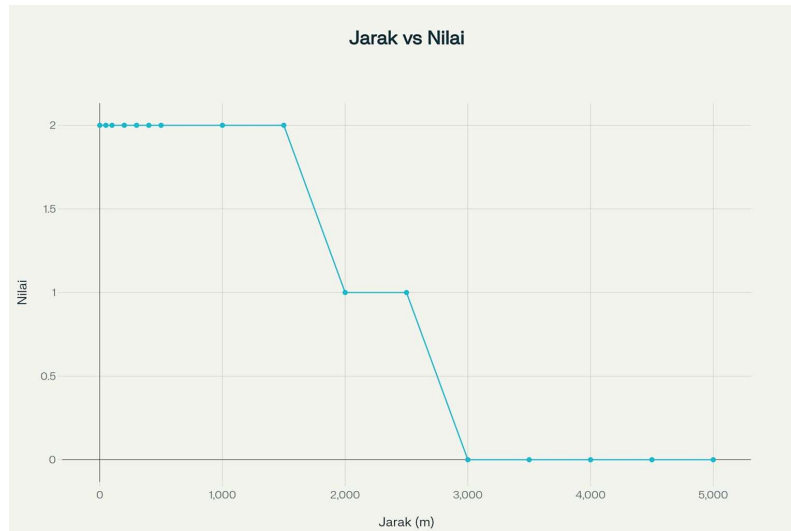
3. Komunikasi Jarak Jauh (>2500 meter)

Pada jarak di atas 3000 meter, sistem tidak lagi mampu menerima data. Tidak ada respons dari transmitter, parsing JSON mengalami kegagalan total, dan indikator LED berubah menjadi merah. Hal ini menandakan hilangnya sinyal LoRa akibat jangkauan maksimum modul yang telah terlampaui atau terhalang oleh kondisi geografis (seperti pepohonan, bangunan, atau kontur tanah).

4. Evaluasi Umum dan Perbandingan

Berdasarkan hasil pengujian, dapat disimpulkan bahwa jarak komunikasi LoRa yang paling efektif pada kondisi lapangan terbuka adalah sekitar 2000–2500 meter,

dengan kestabilan komunikasi terbaik hingga jarak 1000 meter dan mulai menurun setelahnya. Ketika jangkauan mencapai 3000 meter, indikator LED yang berubah menjadi merah sangat membantu sebagai penanda kondisi sistem di lapangan. Dengan demikian, sistem ini berhasil mengimplementasikan indikator visual (LED) yang informatif dan mendukung performa teknis di lapangan.



Grafik 5 6 Komunikasi LoRa

Grafik di atas menunjukkan performa komunikasi LoRa terhadap jarak. Pada rentang 0–1500 m, sistem bekerja optimal. Penurunan performa mulai terjadi pada 2000–2500 m, sedangkan pada jarak di atas 3000 m, komunikasi gagal sepenuhnya. Warna indikator mendukung interpretasi cepat terhadap kondisi lapangan.

5.5.6 Analisa Hasil Pengujian Ketahanan PLTS dan Baterai

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan sistem Pembangkit Listrik Tenaga Surya (PLTS) dalam menyuplai energi secara berkelanjutan selama 24 jam penuh terhadap sistem Weather Station. Sistem PLTS yang digunakan terdiri dari panel surya berkapasitas 30 Wp dan baterai bertegangan 12V dengan kapasitas 6Ah. Fokus utama pengujian meliputi stabilitas suplai daya, efektivitas pengisian baterai pada siang hari, serta ketahanan sistem saat seluruh beban ditopang oleh baterai pada malam hari.

Sebelum dilakukan pengujian secara langsung, dilakukan estimasi kebutuhan energi sistem berdasarkan konsumsi daya dari komponen utama, seperti ESP32, LoRa RA-02, BMP280, anemometer, wind vane, dan rain gauge. Berdasarkan spesifikasi teknis masing-masing komponen, diperoleh total konsumsi daya rata-rata sistem sebagai berikut:

$$E_L = P \times t = 0.84 \text{ W} \times 24 \text{ jam} = 20.16 \text{ Wh/hari} \quad (2.6)$$

Dengan asumsi penyinaran matahari rata-rata 5 jam per hari, maka energi yang dapat dihasilkan oleh panel surya per harinya dihitung menggunakan:

$$E_{panel} = P_{panel} \times H_t = 30 \text{ Wp} \times 5 \text{ jam} = 150 \text{ Wh/hari} \quad (2.7)$$

Adapun kapasitas energi total yang dapat disimpan oleh baterai adalah:

$$E_{baterai} = V \times Ah = 12 \text{ V} \times 6 \text{ Ah} = 72 \text{ Wh} \quad (2.8)$$

Sehingga estimasi lama sistem dapat menyala hanya dengan mengandalkan baterai (tanpa penyinaran matahari) adalah:

$$t = \frac{E_{baterai}}{E_L} = \frac{72}{20.16} = 3.5 \quad (2.9)$$

Hasil ini menunjukkan bahwa secara teoritis, sistem mampu bertahan lebih dari tiga hari tanpa suplai energi dari panel, dan panel surya mampu menghasilkan energi harian yang jauh melebihi kebutuhan beban sistem. Untuk memverifikasi perhitungan tersebut, dilakukan pengamatan langsung terhadap tegangan dan arus pada sistem selama 24 jam penuh. Data hasil pengujian disajikan pada Tabel 5.18 berikut.

Tabel 5. 18 Data Hasil Pengujian (24 Jam) PLTS dan Baterai

Periode Waktu	Tegangan Rata-rata (V)	Rata-rata Arus Masuk (A)	Rata-rata Arus Keluar (A)	Kondisi Sistem
Pagi (06.00–09.00)	0.3	0.12	±12.5	Pengisian dimulai
Siang (10.00–14.00)	0.8 – 1.2	0.12 – 0.15	±13.0	Pengisian maksimal
Sore (15.00–17.00)	0.2 – 0.3	0.12 – 0.13	±12.6	Pengisian menurun

Malam (18.00–05.00)	0	0.11 – 0.12	± 12.2	Beban ditopang penuh oleh baterai
------------------------	---	-------------	------------	--

Berdasarkan tabel, sistem dapat menerima arus dari panel surya secara stabil dari pagi hingga siang hari, dengan tegangan yang meningkat seiring intensitas cahaya matahari. Arus tertinggi tercatat pada siang hari sebesar 0.15 A, menandakan proses pengisian baterai berjalan optimal. Sore hari, tegangan dan arus menurun akibat berkurangnya cahaya matahari. Pada malam hari, panel tidak lagi menghasilkan daya dan seluruh beban disuplai oleh baterai dengan tegangan stabil antara 12.2–12.6 V. Hasil ini menunjukkan bahwa kapasitas panel 30 Wp dan baterai 12V 6Ah sudah sesuai. Panel mampu menghasilkan cukup energi untuk operasional harian dan pengisian baterai, sementara baterai dapat menopang sistem saat tidak ada sinar matahari. Secara keseluruhan, sistem PLTS telah bekerja dengan efektif dan berkelanjutan, sesuai dengan perhitungan teoritis.

5.5.7 Analisa Stabilitas Sistem Selama Pengujian

Pengujian selama 24 jam dilakukan untuk menilai kestabilan sistem Weather Station secara menyeluruh. Fokus utama mencakup keakuratan sensor, kestabilan komunikasi LoRa, serta ketahanan sumber daya dari PLTS dan baterai. Hasilnya menunjukkan bahwa sistem mampu berjalan otomatis tanpa gangguan, mengirim dan menyimpan data secara real-time, serta tetap beroperasi baik siang maupun malam tanpa intervensi daya eksternal. Ini membuktikan bahwa sistem siap digunakan di lapangan secara mandiri dan efisien.

- Kinerja Sensor dan Konsistensi Pembacaan

Selama pengujian nonstop 24 jam, seluruh sensor Weather Station mulai dari BMP280, anemometer, wind vane, hingga rain gauge berfungsi dengan baik dan konsisten. Sensor BMP280 mencatat suhu dan tekanan yang akurat, nyaris tanpa deviasi saat dibandingkan dengan data BMKG. Anemometer mampu membaca

kecepatan angin dengan stabil, sementara rain gauge mencatat curah hujan sesuai jumlah tipping yang terdeteksi. Wind vane juga menunjukkan arah angin dengan tepat dan aktif tanpa gangguan sepanjang waktu. Secara keseluruhan, sistem sensor menunjukkan keandalan tinggi dalam memantau cuaca secara real-time.

- Kinerja Komunikasi LoRa

Selama pengujian, modul LoRa RA-02 mampu mengirim data JSON dari transmitter ke receiver secara lancar hingga jarak ± 2500 meter. Indikator LED hijau menandakan sistem bekerja normal. Di atas jarak tersebut (2500–3000 meter), mulai muncul gangguan ringan berupa jitter dan error parsing. Setelah 3000 meter, komunikasi terputus total, ditandai LED merah. Meski begitu, sistem tetap stabil dan sensor tetap bekerja. Hasil ini menunjukkan bahwa komunikasi LoRa cukup andal untuk kebutuhan monitoring cuaca jarak jauh.

- Ketahanan PLTS dan Baterai

Selama pengujian 24 jam, sistem tenaga surya mampu memasok daya dengan baik. Panel 30 Wp menghasilkan energi harian yang cukup untuk mengisi baterai dan menjalankan sistem. Tegangan baterai tetap stabil di kisaran 12,1–13,1V tanpa mengalami drop signifikan. Dengan penyinaran sekitar 4 jam per hari dan efisiensi sistem 75%, sistem tidak menunjukkan tanda overdischarge atau restart. Hasil ini menunjukkan bahwa suplai daya bekerja efisien dan andal untuk operasional nonstop.

- Integrasi Sistem Secara Menyeluruh

Selama pengujian 24 jam, sistem Weather Station menunjukkan kinerja yang terintegrasi dengan baik. Data dari sensor diolah oleh ESP32, dikemas dalam format JSON, lalu dikirim melalui LoRa ke receiver. Di sisi penerima, data berhasil diterima dan ditampilkan di dashboard Node-RED, sementara indikator LED menunjukkan status komunikasi secara real-time.

Setiap komponen berperan penting:

- Sensor membaca suhu, tekanan, arah & kecepatan angin, serta curah hujan.
- ESP32 transmitter mengirimkan data melalui LoRa.
- ESP32 receiver memproses dan menampilkan status sistem lewat LED.

- Panel surya dan baterai menjaga suplai daya tetap stabil.
- Dashboard Node-RED menampilkan dan menyimpan data secara otomatis.

Selama pengujian tidak ditemukan kendala berarti, baik dari sisi daya, komunikasi, maupun perangkat lunak. Sistem bekerja stabil dan akurat, sehingga cocok diterapkan secara mandiri di lokasi terpencil maupun area tanpa pasokan listrik langsung.

5.5.8 Analisis Hasil Visualisasi dan Penyimpanan Data

Tahap akhir dari sistem Weather Station adalah menampilkan dan menyimpan data sensor secara otomatis. Tujuannya adalah agar pengguna dapat memantau kondisi cuaca secara real-time dan menyimpan rekaman historis untuk analisis jangka panjang.

1. Visualisasi Data

Data dari transmitter dikirim dalam format JSON ke receiver, lalu diproses oleh Node-RED. Informasi seperti suhu, tekanan udara, kecepatan dan arah angin, serta curah hujan ditampilkan secara interaktif melalui dashboard. Visualisasi meliputi:

- Gauge untuk suhu, tekanan, dan kecepatan angin.
- Line chart untuk tren curah hujan dan angin.
- Text label/icon untuk arah mata angin.
- Tabel log cuaca real-time.
- Tombol unduh CSV agar data bisa diekspor secara manual.

Dashboard ini dapat diakses melalui perangkat apa pun di jaringan lokal, termasuk HP atau laptop, dan telah diuji berjalan stabil selama 24 jam penuh.

2. Pencatatan Data ke CSV

Setiap data yang diterima akan otomatis disimpan ke file CSV harian dengan nama berdasarkan tanggal (data-cuaca-2025-06-27.csv).

Mekanisme pencatatan:

- File dibuat otomatis saat data pertama diterima.
- Data baru langsung ditambahkan (append), tanpa menimpa file lama.

- File CSV berisi: waktu, suhu, tekanan, ketinggian, kecepatan & arah angin, curah hujan.
- File bisa diunduh dari dashboard dan dibuka di Excel/Google Sheets.

Hasil Pengujian

Selama 24 jam pengujian:

- Semua data tercatat dengan baik dan akurat.
- Tidak ditemukan data ganda, error, atau file rusak.
- CSV berfungsi optimal untuk analisis seperti tren harian atau deteksi cuaca ekstrem.

Dengan proses ini, sistem Weather Station tidak hanya mengukur cuaca secara langsung, tetapi juga menyediakan catatan historis yang siap digunakan untuk keperluan evaluasi atau penelitian lebih lanjut.

5.5.9 Evaluasi Visualisasi dan Penyimpanan

Berdasarkan pengamatan selama 24 jam pengujian, berikut adalah evaluasi terhadap sistem visualisasi dan logging dapat dilihat pada table 5.22 berikut ini :

Tabel 5. 19 Evaluasi Visualisasi dan Penyimpanan

Komponen	Evaluasi
Parsing JSON	Berhasil tanpa error
Dashboard Update	Real-time, refresh per detik
Elemen Gauge & Chart	Stabil dan responsif
File CSV Harian	Terbuat otomatis dan lengkap
Tombol Unduh	Berfungsi tanpa error

Proses visualisasi dan pencatatan data tidak berdiri sendiri, melainkan merupakan hasil kerja sama seluruh komponen sistem. Keberhasilan dashboard Node-RED dalam menampilkan data secara real-time dan mencatat ke file CSV menandakan bahwa semua bagian mulai dari sensor, komunikasi LoRa, hingga sistem daya PLTS berfungsi optimal.

Keandalan sistem ini ditunjang oleh:

- Sensor yang stabil dan akurat dalam mengirim data cuaca.
- Komunikasi LoRa yang efektif dengan jangkauan luas dan minim gangguan.
- Sumber daya yang stabil dari panel surya dan baterai, menjaga semua perangkat aktif selama 24 jam.

Jika terjadi gangguan di salah satu komponen, maka visualisasi akan terhenti dan pencatatan CSV akan gagal. Namun, selama pengujian tidak ditemukan kendala seperti sinyal hilang, daya turun, atau kesalahan parsing. Artinya, proses visualisasi dan pencatatan berhasil berjalan lancar dan mencerminkan integrasi sistem yang solid.