

BAB IV

PENGUJIAN DAN HASIL ANALISA

4.1 Peralatan Pengujian

Untuk pengujian yang akan dilakukan dalam penelitian ini, penulis menggunakan peralatan pengukuran dengan alat ukur sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Tabel Peralatan Pengujian Yang Digunakan

Alat Ukur	Jumlah	Keterangan
Multimeter Digital	1 Buah	Pengukuran Tegangan Masuk dan Tegangan Komponen
Laptop	1 Buah	Menampilkan Data dari <i>Serial Monitor</i> Arduino IDE, dan Menampilkan Responsi Website.
GPS Handphone	1 Buah	Pembanding Lokasi dan Jarak terhadap sensor GPS
Stopwatch	1 Buah	Pengukur waktu <i>cold start</i> dan <i>warm start</i> Perangkat <i>Transmitter</i>

Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini akan dimanfaatkan untuk melakukan serangkaian pengujian yang telah dirancang sebelumnya. Fokus utama pengujian adalah pada sistem komunikasi data dan pemantauan posisi menggunakan sensor GPS Neo-6M dan Neo-M8N serta modul LoRa Ra-02 SX1278. Untuk mengukur tingkat akurasi dari sensor GPS, digunakan pembanding berupa data koordinat yang diperoleh dari perangkat smartphone, mengingat GPS pada ponsel umumnya memiliki akurasi yang lebih tinggi karena telah melewati proses kalibrasi sistemik oleh pabrikan.

Selain itu, laptop digunakan sebagai alat bantu untuk memantau keluaran data dari modul LoRa, mengolah data yang diterima, serta menganalisis efektivitas sistem dalam mengirim dan menerima data secara *real-time*. Data yang diperoleh dari sensor GPS akan diproses dan dianalisis menggunakan metode *Geofencing*,

yang akan mengklasifikasikan posisi objek ke dalam tiga klasifikasi keluaran: Aman, Waspada, dan Pelanggaran.

Dengan demikian, akurasi dari sensor GPS menjadi sangat penting, karena akan secara langsung memengaruhi hasil klasifikasi wilayah yang ditentukan oleh sistem. Jika data posisi dari GPS memiliki deviasi yang signifikan terhadap nilai pembanding, maka interpretasi posisi oleh sistem juga berisiko menghasilkan kesalahan klasifikasi. Oleh karena itu, pengujian akurasi sensor GPS merupakan bagian penting yang harus dilakukan secara menyeluruh sebelum data digunakan lebih lanjut dalam proses *Geofencing* dan pengambilan keputusan sistem alarm.

4.2 Prosedur Pengujian

Dalam pelaksanaan pengambilan data dan pengujian alat, akan ditetapkan prosedur yang terstruktur. Prosedur ini bertujuan untuk memastikan skema pengambilan data dapat dilaksanakan secara sistematis dan sesuai dengan kebutuhan analisis data dari ketiga perangkat yang digunakan. Berikut adalah prosedur dan langkah-langkah yang akan ditempuh untuk melaksanakan pengambilan data dan pengujian alat:

Tahap awal melibatkan persiapan seluruh perangkat yang akan digunakan dalam sistem ini. Perangkat tersebut meliputi *Transmitter* (berfungsi sebagai perangkat alarm berbasis GPS), *Repeater* (berfungsi sebagai penerus transmisi data), dan *Receiver* (berfungsi sebagai penerima data via LoRa yang selanjutnya diteruskan ke MQTT *Broker*). Secara operasional, perangkat yang akan digunakan meliputi *Transmitter*, *Repeater*, *Receiver*, Smartphone (sebagai mobile hotspot), dan Laptop (sebagai pengolah data akhir yang akan ditampilkan pada dashboard). Pengujian akan dilaksanakan di area terbuka dan pesisir pantai untuk mengoptimalkan penerimaan data oleh modul GPS. Dalam konteks pengujian ini, perangkat *Repeater* dan *Receiver* akan diletakkan secara statis dengan tujuan untuk meneruskan dan menerima data secara konsisten.

Pengujian dilakukan secara bertahap, dimulai dari pengujian parsial terhadap masing-masing komponen untuk memastikan performa individualnya. Contohnya, pengujian modul GPS dilakukan untuk mengevaluasi tingkat akurasi posisi, modul LoRa diuji untuk mengetahui jangkauan komunikasi, dan *buzzer* diuji untuk memastikan fungsi alarm bekerja sesuai perubahan status zona.

Setelah seluruh komponen dinyatakan berfungsi dengan baik, dilakukan pengujian integrasi sistem secara keseluruhan, termasuk *dashboard monitoring* berbasis web. Pengujian ini meliputi koneksi antara *receiver* dan *broker* MQTT, validasi tampilan data *real-time* pada *dashboard*, serta pengujian fitur-fitur tambahan seperti auto-refresh, keterangan zona, grafik sinyal RSSI dan SNR, serta sistem alarm berbasis status zona. Pengujian terhadap metode *Geofencing* dilakukan dengan menetapkan garis imajiner sebagai ilustrasi dari batas maritim. Posisi *transmitter* kemudian divariasikan melintasi batas tersebut untuk mengamati apakah sistem mampu mendeteksi perubahan status zona (Aman, Waspada, Pelanggaran) serta mengaktifkan alarm secara tepat. Seluruh hasil pengujian akan dikumpulkan untuk dianalisis lebih lanjut, mencakup aspek teknis dan fungsional dari sistem, sehingga dapat disimpulkan tingkat keberhasilan dan efektivitas penerapan sistem pemantauan berbasis GPS dan LoRa ini dalam konteks pengawasan batas maritim.

4.3 Pengukuran Dan Pengujian Komponen

Pengukuran dan pengujian komponen merupakan tahap penting dalam proses pengembangan sistem, terutama untuk memastikan bahwa setiap perangkat yang digunakan dapat berfungsi dengan baik secara individual sebelum diintegrasikan ke dalam sistem secara keseluruhan. Tahap ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja dasar dari masing-masing komponen, seperti modul GPS, modul komunikasi LoRa, *buzzer* sebagai indikator peringatan, serta catu daya sebagai sumber energi utama. Melalui serangkaian pengujian ini, penulis dapat mengidentifikasi dan mengatasi potensi permasalahan teknis sejak awal, sekaligus memperoleh data awal yang diperlukan sebagai dasar analisis pada tahap integrasi sistem. Dengan demikian,

pengujian komponen menjadi landasan utama dalam menjamin stabilitas, keandalan, dan akurasi sistem secara keseluruhan sebelum digunakan dalam pengambilan data lapangan.

4.3.1 Pengukuran Catu Daya

Pengukuran catu daya dilakukan untuk mengevaluasi performa sumber energi yang digunakan pada masing-masing perangkat, yaitu *transmitter*, *repeater*, dan *receiver*. Setiap perangkat memiliki karakteristik konsumsi daya yang berbeda, sehingga diperlukan pengujian untuk memastikan bahwa baterai mampu menyediakan tegangan dan arus yang stabil selama perangkat beroperasi. *Transmitter* menggunakan baterai 18650 yang dilengkapi modul *step-up converter* untuk menaikkan tegangan dari 3,7–4,2V menjadi 5V, guna memenuhi kebutuhan ESP32, GPS Neo-6M, dan *buzzer*. Sementara itu, *repeater* dan *receiver* masing-masing menggunakan catu daya langsung dari baterai 18650 tanpa konversi tegangan, karena komponen yang digunakan masih dapat beroperasi dalam rentang tegangan tersebut. Melalui pengukuran ini, penulis ingin mengetahui kestabilan tegangan, arus konsumsi masing-masing perangkat saat aktif, serta menilai daya tahan catu daya dalam kondisi operasi sebenarnya. Hasil pengujian ini akan menjadi acuan untuk menilai efisiensi konsumsi energi dan potensi kebutuhan penyesuaian kapasitas baterai.

Tabel 4. 2 Hasil Pengukuran Tegangan Pada Sistem Catu-Daya

Perangkat	Pengukuran	Hasil Pengukuran	Hasil Diharapkan	Kesalahan
<i>Transmitter</i>	2 x Baterai 18650 + <i>Step-Up Regulator 5V</i>		5V	1.8%

Perangkat	Pengukuran	Hasil Pengukuran	Hasil Diharapkan	Kesalahan
<i>Repeater</i>	2 x Baterai 18650		4.2V	0,71%
<i>Receiver</i>	2 x Baterai 18650			

Berdasarkan hasil pengukuran tegangan, tegangan output pada perangkat *Transmitter* menunjukkan nilai sebesar 5.09V, yang seharusnya berada pada 5.00V. Deviasi ini menghasilkan selisih sebesar 0.09V atau sekitar 1.8%, yang masih dapat ditoleransi untuk penggunaan mikrokontroler seperti ESP32 dan modul GPS. Hal ini menunjukkan bahwa step-up converter pada *Transmitter* telah bekerja dengan cukup baik dan tidak memerlukan penyesuaian lebih lanjut. Sementara itu, untuk perangkat *Repeater* dan *Receiver* yang menggunakan dua baterai 18650 tanpa step-up converter, hasil pengukuran menunjukkan tegangan sebesar 4.17V dari nilai yang diharapkan yaitu 4.2V pada kapasitas 100%. Selisih sebesar 0.03V ini setara dengan kesalahan 0.71%, yang juga berada dalam batas aman untuk operasi ESP32. Secara keseluruhan, sistem catu daya pada ketiga perangkat telah memenuhi kebutuhan operasional dengan tingkat deviasi yang masih dalam batas toleransi. Kondisi ini menunjukkan bahwa konfigurasi daya sudah cukup stabil dan layak untuk pengujian lapangan.

Tabel 4. 3 Hasil Pengukuran Arus, Daya, dan Ketahanan Baterai

Perangkat	Konsumsi Arus	Total Daya	Kapasitas Baterai	Ketahanan Baterai
<i>Transmitter</i>	0.38 A	1.9 W	2400 mAh	6.3 Jam
<i>Repeater</i>	0.14 A	0.58 W	2400 mAh	17.1 Jam
<i>Receiver</i>	0.15 A	0.63 W	2400 mAh	16 Jam



Gambar 4. 1 Hasil Pengukuran Arus Pada 3 Perangkat

Selanjutnya, berdasarkan hasil pada Tabel 4.3 yang merupakan pengukuran arus dan konsumsi daya pada ketiga perangkat tersebut. Konsumsi arus pada *transmitter* mencapai 0,38 A dengan daya 1,9 W. Dengan baterai berkapasitas 2400 mAh, ketahanan hanya sekitar 6,3 jam. Sementara itu, *repeater* dengan konsumsi arus 0,14 A (0,58 W) mampu bertahan hingga 17,1 jam, dan *receiver* dengan arus 0,15 A (0,63 W) bertahan sekitar 16 jam. Data ini memperlihatkan bahwa *transmitter* merupakan perangkat paling boros energi karena beban kerja GPS dan proses pengiriman data, sedangkan *repeater* dan *receiver* relatif lebih hemat. Hasil ini menegaskan bahwa kapasitas baterai sudah memadai untuk uji coba lapangan, tetapi untuk penggunaan jangka panjang perlu dipertimbangkan penggunaan baterai berkapasitas lebih besar atau strategi manajemen daya.

4.3.2 Pengujian Modul GPS

Pengujian modul GPS dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan tiap modul dalam memperoleh data lokasi secara real-time. Hasil dari pengujian ini akan dijadikan acuan dalam menentukan pilihan modul yang paling sesuai untuk mendukung kinerja sistem.

1. Modul GPS Neo-6M

Pengujian terhadap modul GPS Neo-6M dilakukan dengan mengukur waktu inisialisasi modul pada perangkat *transmitter*. Pengujian ini dibagi menjadi dua kondisi lingkungan, yaitu lokasi dengan banyak hambatan (seperti pepohonan) dan

lokasi terbuka tanpa halangan terhadap sinyal satelit GPS. Dari hasil pengujian tersebut, diperoleh waktu respons modul GPS dalam dua situasi, yaitu saat kondisi inisialisasi awal atau cold start (frozen time), serta saat kondisi warm start (modul sudah pernah aktif sebelumnya). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui seberapa cepat modul GPS mampu memperoleh sinyal dan menentukan posisi awal berdasarkan tingkat keterbukaan langit di sekitar perangkat.

Tabel 4. 4 Hasil Pengambilan Data Waktu Inisiasi Modul GPS Neo-6M

Kondisi Lingkungan	Jenis Inisiasi	Waktu Inisiasi	Keterangan
Banyak Halangan (pepohonan)	Cold Start	525 Detik	Posisi GPS saat pertama kali dihidupkan
Banyak Halangan (pepohonan)	Warm Start	85 Detik	GPS sudah sempat aktif
Langit Terbuka (Tanpa Halangan)	Cold Start	45 Detik	Posisi GPS saat pertama kali dihidupkan
Langit Terbuka (Tanpa Halangan)	Warm Start	21 Detik	GPS sudah sempat aktif





Gambar 4. 2 Pengambilan Data Waktu Inisiasi Modul GPS Neo-6M

Dari hasil pengujian, diperoleh bahwa waktu inisialisasi pada kondisi cold start (frozen time) membutuhkan waktu sekitar 8 menit 45 detik saat pengujian dilakukan di lokasi yang tertutup oleh pepohonan. Sementara itu, pada kondisi warm start di lokasi yang sama, modul GPS hanya membutuhkan waktu sekitar 1 menit 25 detik untuk mendapatkan posisi. Perbedaan ini menunjukkan bahwa keberadaan halangan fisik seperti pepohonan dapat secara signifikan memengaruhi waktu pencarian satelit oleh modul GPS, terutama pada saat awal inisialisasi. Semakin terbuka langit di sekitar modul, maka proses akuisisi sinyal dan penentuan lokasi akan semakin cepat dan stabil. Oleh karena itu, penting untuk mempertimbangkan kondisi lingkungan saat merancang sistem berbasis GPS, terutama jika dibutuhkan waktu akuisisi yang cepat untuk aplikasi waktu nyata (*real-time*).

Pengujian selanjutnya difokuskan pada evaluasi akurasi sensor GPS Neo-6M. Pengujian ini dilakukan dengan cara membandingkan hasil pembacaan posisi (koordinat) dari sensor GPS Neo-6M yang terpasang pada perangkat *transmitter* dengan data lokasi yang diperoleh dari GPS pada smartphone, yang dianggap sebagai referensi karena memiliki tingkat akurasi yang lebih tinggi di lingkungan umum. Selisih antara kedua hasil pembacaan tersebut kemudian dihitung untuk memperoleh nilai error atau deviasi posisi dari sensor GPS. Nilai error ini akan digunakan untuk menilai seberapa akurat sensor GPS Neo-6M dalam menentukan lokasi pada kondisi pengujian tertentu.

Tabel 4. 5 Pengujian Modul GPS Neo-6M

No	Koordinat Modul GPS Neo-6M		Koordinat GPS Smartphone Via Google Maps Ver		Selisih Jarak (meter)
	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	
1	-7.053127	110.437350	-7.053106	110.437365	2.86
2	-7.053130	110.437370	-7.053112	110.437352	2.81
3	-7.053122	110.437385	-7.053144	110.437399	2.89
4	-7.053132	110.437372	-7.053145	110.437345	3.31
5	-7.053125	110.437383	-7.053143	110.437359	3.31
Kesalahan Rata-Rata					3.04

Pada Tabel 4 ditampilkan lima data hasil pengujian yang mencakup koordinat dari modul GPS Neo-6M, koordinat referensi dari smartphone, serta hasil perhitungan kesalahan jarak berdasarkan selisih nilai *latitude* dan *longitude* keduanya. Dari lima sampel yang diuji, diperoleh perbedaan jarak antara pembacaan koordinat GPS Neo-6M dan smartphone yang berkisar antara 2,81 meter hingga 3,31 meter, dengan rata-rata kesalahan sebesar 3,04 meter.

Hal ini mengindikasikan bahwa modul GPS Neo-6M memiliki tingkat akurasi yang cukup baik dan dapat digunakan untuk aplikasi pelacakan posisi di area terbuka, walaupun masih terdapat sedikit penyimpangan yang disebabkan oleh hambatan lingkungan. Oleh karena hal tersebut, peneliti mencoba untuk menggunakan modul GPS lain yang sekiranya lebih tahan terhadap gangguan dan hambatan lingkungan.

2. Modul GPS Neo-M8N

Selain GPS Neo-6M, peneliti juga mencoba untuk menggunakan sensor GPS Neo-M8N untuk uji coba dan mencari tau perbedaan performa yang di keluarkan

oleh masing masing sensor GPS. Hal ini dilakukan karena waktu inisiasi yang cukup memakan waktu, serta *noise* yang dihasilkan dari Neo-6M cukup besar sehingga pembacaan dan perhitungan lokasi kerap kali menjadi keliru.

Tabel 4. 6 Hasil Pengambilan Data Waktu Inisiasi Modul GPS Neo-M8N

Kondisi Lingkungan	Jenis Inisiasi	Waktu Inisiasi	Keterangan
Banyak Halangan (pepohonan)	Cold Start	45 Detik	Posisi GPS saat pertama kali dihidupkan
Banyak Halangan (pepohonan)	Warm Start	7 Detik	GPS sudah sempat aktif
Langit Terbuka (Tanpa Halangan)	Cold Start	5.7 Detik	Posisi GPS saat pertama kali dihidupkan
Langit Terbuka (Tanpa Halangan)	Warm Start	5.4 Detik	GPS sudah sempat aktif



Gambar 4. 3 Pengambilan Data Waktu Inisiasi Modul GPS Neo-M8N

Selain GPS Neo-6M, peneliti juga mencoba untuk menggunakan sensor GPS Neo-M8N untuk mencari tau perbedaan performa yang di keluarkan oleh masing masing sensor GPS. Hal ini dilakukan karena *noise* yang dihasilkan dari Neo-6M cukup besar sehingga pembacaan dan perhitungan lokasi kerap kali menjadi keliru.

Tabel 4. 7 Pengujian Modul GPS Neo-M8N

No	Koordinat Modul GPS Neo-M8N		Koordinat GPS Smartphone Via Google Maps Ver		Selisih Jarak (meter)
	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	
1	-6.905402	110.498549	-6.905390	110.498549	1.88
2	-6.905401	110.498548	-6.905388	110.498559	1.88
3	-6.905399	110.498551	-6.905392	110.498563	1.53
4	-6.905398	110.498550	-6.905391	110.498560	1.35
5	-6.905394	110.498553	-6.905389	110.498565	1.43
Kesalahan Rata-Rata					1.62

Pada Tabel 4.7 ditampilkan lima data hasil pengujian yang mencakup koordinat dari modul GPS Neo-M8N, koordinat referensi dari smartphone, serta hasil perhitungan kesalahan jarak berdasarkan selisih nilai *latitude* dan *longitude* keduanya menggunakan rumus (2.7). Dari lima sampel yang diuji, diperoleh perbedaan jarak antara pembacaan koordinat GPS Neo-M8N dan smartphone yang berkisar antara 1,35 meter hingga 1,88 meter, dengan rata-rata kesalahan sebesar 1,62 meter.

Hal ini mengindikasikan bahwa modul GPS Neo-M8N memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi sehingga menjadi opsi yang layak untuk dipertimbangkan mengingat bahwa sensor GPS Neo-6M kerap mengalami lost signal di tempat tempat yang kurang memadai. Oleh karena itu, peneliti memutuskan untuk menggunakan sensor GPS Neo-M8N sebagai perangkat utama yang akan beroperasi dalam sistem ini.

4.3.3 Pengujian Modul LoRa Ra-02 SX1278

Pengujian modul LoRa RA-02 SX1278 dilakukan dengan metode pencatatan data melalui serial monitor pada Arduino IDE. Berdasarkan kode program yang telah disusun untuk masing-masing perangkat *Transmitter*, *Repeater*, dan *Receiver*. Pengujian ini bertujuan untuk mengamati serta mencatat performa komunikasi antar perangkat, termasuk parameter penting seperti kekuatan sinyal (RSSI), kualitas sinyal (SNR), latensi, dan *packet loss*. Dengan pendekatan ini, penulis dapat memperoleh data komunikasi secara *real-time* yang mencerminkan efisiensi sistem LoRa dalam skenario berantai (*multi-hop*) dari *Transmitter* ke *Repeater*, kemudian diteruskan ke *Receiver*.

```
Received: <F:R1 T:RX|data:-7.12345,110.12345,Aman,12:34:56,200,400200|rssi_tx:-33|snr_tx:9.50>
===== ANALISIS =====
SEQ           : 200
Latency       : 150 ms
RSSI TX→R1    : -33 | SNR TX→R1    : 9.50
RSSI R1→RX    : -33 | SNR R1→RX    : 9.50
Total Lost    : 1
=====
```

Gambar 4. 4 Keluaran Serial Monitor Uji Coba LoRa

Gambar 4.4 merupakan contoh keluaran dari serial monitor pada saat dilakukan percobaan komunikasi LoRa dengan jarak pemisah antar perangkat sejauh 10 meter. Berdasarkan uji coba pertama, terdapat 200 data sequence yang dikirimkan oleh *transmitter* dan diteruskan oleh *repeater* lalu di terima oleh *receiver*. Didapatkan latency sejumlah 150 ms dengan memanfaatkan fungsi millis pada perangkat *transmitter* dan juga *receiver*.

Data yang diuji meliputi RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) dan SNR (*Signal to Noise Ratio*) sebagai parameter utama kualitas komunikasi. RSSI menunjukkan kekuatan sinyal yang diterima, sedangkan SNR menggambarkan perbandingan antara sinyal dengan gangguan di lingkungan komunikasi. Kedua parameter ini diukur menggunakan fungsi bawaan modul LoRa Ra-02 SX1278. Data kemudian divariasikan berdasarkan jarak komunikasi antar perangkat untuk mengetahui pengaruhnya terhadap performa sistem, khususnya dalam hal kekuatan sinyal, keberhasilan pengiriman paket, dan latensi.

Sistem komunikasi yang diuji terdiri dari tiga perangkat utama, yaitu *transmitter*, *repeater*, dan *receiver*, dengan jalur komunikasi terbagi dalam dua hop. Pengujian dilakukan pada jarak 10 meter hingga 3 kilometer dengan jumlah komunikasi minimal 50 paket data pada setiap jarak untuk mengukur keberhasilan transmisi dan *packet loss*. Data hasil pengujian dicatat secara otomatis melalui *script Python* yang berfungsi sebagai *data logger*, sehingga hasil yang diperoleh dapat digunakan untuk mengevaluasi stabilitas, efektivitas, dan efisiensi komunikasi *multi-hop* dalam berbagai kondisi jarak.

Tabel 4. 8 Pengujian Komunikasi LoRa pada 2 HOP

Jarak	Rata - Rata RSSI (dBm)		Latency	<i>Packet loss</i> Per Data	Presentase Keberhasilan
	Hop 1	Hop 2			
10 m	-39	-28	1510 ms	0/50	100%
250 m	-65	-69.7	1558 ms	0/55	100%
500 m	-71.6	-71.9	1560 ms	0/80	100%
750 m	-84.3	-84	1573 ms	1/85	98.82%
1000 m	-85	-84.5	1558 ms	0/55	100%
2000 m	-94.8	-96	1591 ms	0/53	100%
3000 m	-95.4	-102.3	1614 ms	13/63	79.37%

Tabel 4.8 menunjukkan data hasil komunikasi yang dilakukan pada Pantai Utara. Ketiga indikator yang diambil dari pengujian tersebut digunakan untuk mengetahui bagaimana kualitas komunikasi berubah seiring dengan bertambahnya jarak antara perangkat, serta untuk mengidentifikasi titik-titik kritis di mana komunikasi mulai mengalami penurunan. Hasil dari pengujian ini sangat penting

untuk menilai kemampuan jangkauan sistem, kestabilan komunikasi antar perangkat, dan efektivitas penggunaan *repeater* dalam memperluas cakupan komunikasi.

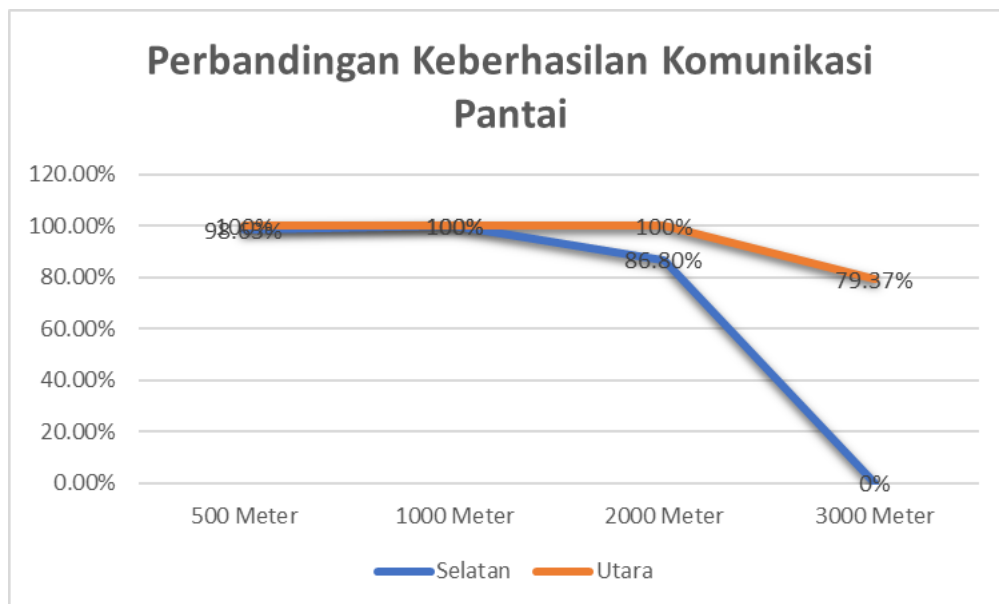
Dari data tersebut, dapat ditampilkan bahwa latency pengiriman dari komunikasi *multi-hop* ada di sekitar 1,5 sampai 1,6 detik. Dengan nilai RSSI serta SNR yang bervariasi pada tiap jarak komunikasi. Dari data tersebut juga didapatkan bahwa komunikasi pada Hop 1 memiliki nilai RSSI yang lebih baik dibandingkan dengan komunikasi pada Hop 2. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena penggunaan variasi antenna dengan kekuatan yang berbeda. Selain itu, pada nilai keberhasilan komunikasi, terdapat satu paket data yang hilang pada komunikasi dengan jarak 750 m. Hal tersebut kemungkinan terjadi karena pada pengujian, perangkat sempat terhalang dengan benda lain seperti pohon dan kapal nelayan lainnya. Adapun kemampuan komunikasi dapat dilakukan hingga jarak 3 km dengan konfigurasi *multi-hop* dengan tingkat keberhasilan komunikasi sekitar 79,37%.

Selain itu, peneliti juga melakukan pengujian di kawasan pantai selatan yang dikenal memiliki kondisi lingkungan dengan tingkat *noise* tinggi, ditandai oleh ombak yang relatif besar serta hembusan angin yang cukup kencang. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi ketahanan serta stabilitas komunikasi sistem ketika dihadapkan pada gangguan alamiah yang berpotensi memengaruhi kualitas transmisi data. Hasil pengujian di pantai selatan ini kemudian akan dibandingkan dengan pengujian di pantai utara yang umumnya lebih tenang, sehingga dapat memberikan gambaran mengenai perbedaan performa komunikasi pada dua karakteristik lingkungan perairan yang berbeda.

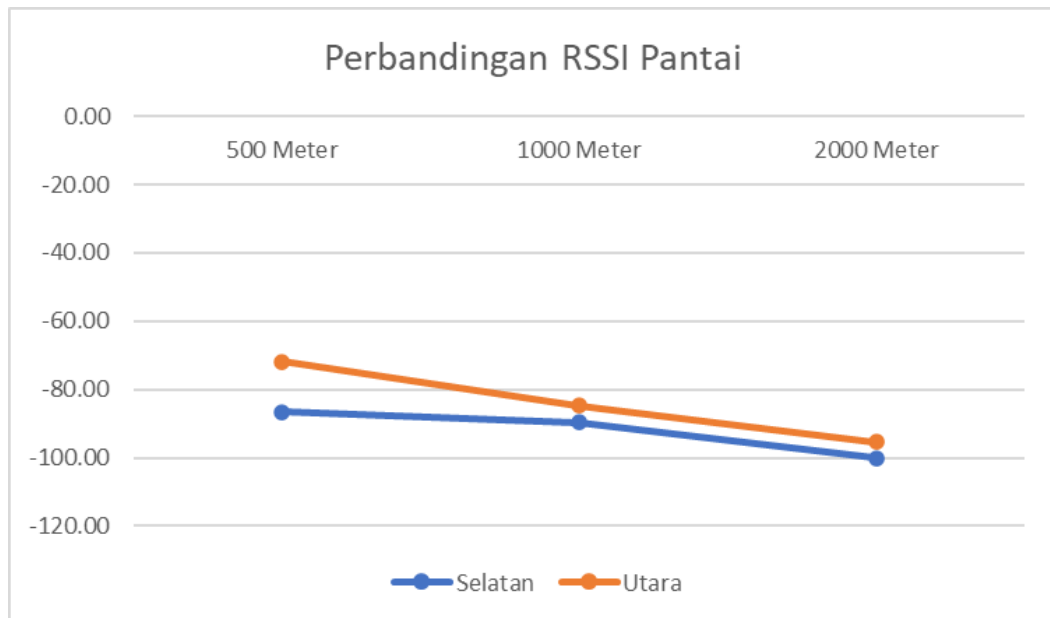
Tabel 4. 9 Pengujian Komunikasi LoRa pada Kondisi Banyak *Noise*

Jarak	Rata - Rata RSSI (dBm)		Latency	<i>Packet loss</i> Per Data	Presentase Keberhasilan
	Hop 1	Hop 2			
500 m	-79.87	-93.08	1512 ms	1/61	98.36%
1000 m	-84.85	-94.5	1545 ms	0/69	100%
2000 m	-94.42	-105.6	1626 ms	14/106	86.8%

Tabel 4.9 menunjukkan hasil pengambilan data komunikasi pada pantai selatan. Indikator komunikasi yang diambil pada pengujian ini kurang lebih sama dengan pantai utara. Berdasarkan data komunikasi yang telah di ambil di dua Pantai dengan kondisi *noise* berbeda, peneliti membuat Langkah visualisasi yang dapat menunjukkan perbandingan antara komunikasi di daerah Pantai yang minim *noise* dan Pantai yang memiliki banyak *noise*. Berikut merupakan grafik visualisasi nya.

**Gambar 4. 5** Grafik Perbandingan Keberhasilan Pengiriman Data

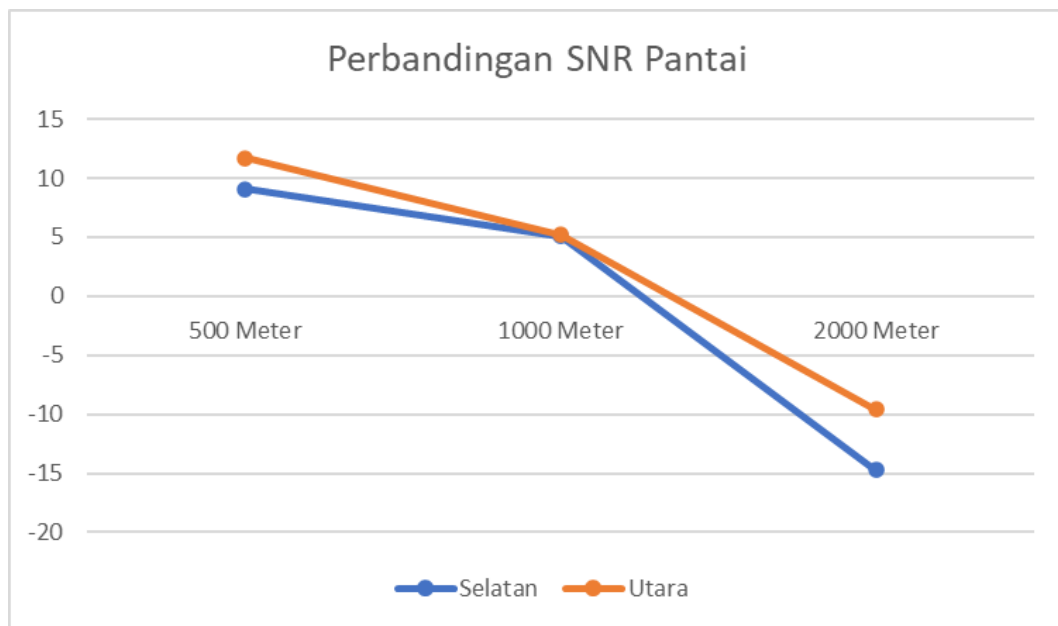
Gambar 4.5 memperlihatkan grafik perbandingan rata-rata keberhasilan pengiriman data menggunakan protokol komunikasi LoRa di Pantai Selatan dan Pantai Utara. Hasil pengujian menunjukkan bahwa Pantai Utara memiliki tingkat keberhasilan komunikasi yang lebih tinggi dan stabil dibandingkan dengan Pantai Selatan. Pada area Pantai Selatan, terdeteksi kehilangan data (*data lost*) sekitar 13,2% pada jarak 2 km akibat efisiensi komunikasi LoRa yang menurun di lingkungan dengan tingkat gangguan (*noise*) tinggi. Faktor utama yang memengaruhi kondisi ini adalah kontur wilayah serta kondisi iklim di Pantai Selatan yang ditandai dengan angin kencang dan ombak besar. Sebaliknya, Pantai Utara yang relatif lebih tenang mampu mempertahankan tingkat keberhasilan pengiriman data secara konsisten hingga 100% pada jarak maksimal 2 KM. Sedangkan pada jarak 3 km, komunikasi di pantai selatan sudah benar-benar tidak dapat dilakukan karena noise yang begitu tinggi. Sementara pada pantai utara, komunikasi masih dapat berlangsung dengan data lost sebanyak 20.63%.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan RSSI

Gambar 4.6 menampilkan grafik perbandingan nilai total RSSI (*Received Signal Strength Indicator*) dari komunikasi dua hop di Pantai Selatan dan Pantai Utara. Hasil pengujian memperlihatkan bahwa Pantai Utara memiliki rata-rata nilai RSSI yang lebih tinggi dibandingkan dengan Pantai Selatan. Dimana pada jarak

500 m terdapat perbedaan sekitar 14,73 dBi, 1 km sebesar 5,11 dBi, dan pada jarak 2 km sebesar 4,61 dBi. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa kualitas sinyal komunikasi antar perangkat di Pantai Utara lebih baik dan stabil. Nilai RSSI sendiri berfungsi sebagai indikator kuat atau lemahnya sinyal yang diterima, sehingga semakin tinggi nilainya maka semakin baik pula kualitas komunikasi LoRa yang terjadi. Kondisi di Pantai Selatan, yang memiliki angin lebih kencang dan ombak lebih tinggi yang diduga menjadi penyebab turun nya kualitas sinyal sehingga menghasilkan nilai RSSI yang lebih rendah. Sementara itu, Pantai Utara yang relatif lebih tenang mampu menjaga kestabilan komunikasi, sehingga nilai RSSI lebih baik sekitar 9,11%.



Gambar 4. 7 Grafik Perbandingan SNR

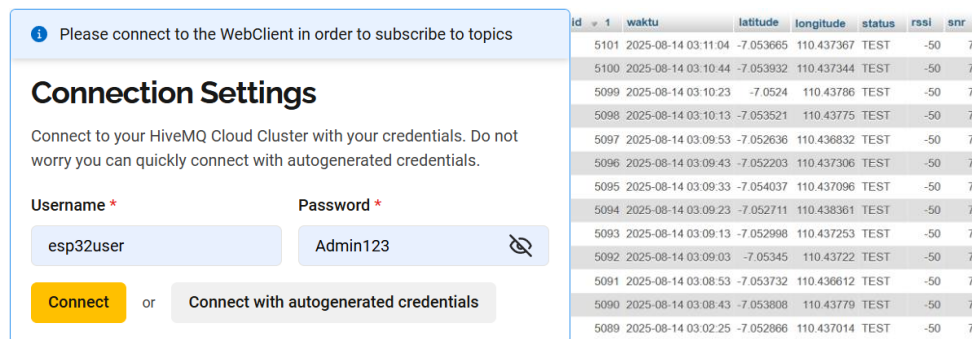
Gambar 4.7 menampilkan grafik nilai SNR (*Signal to Noise Ratio*) yang merepresentasikan kualitas sinyal pada proses transmisi data antarperangkat melalui komunikasi dua hop. Berdasarkan hasil pengujian, nilai rata-rata SNR di Pantai Utara lebih tinggi dibandingkan dengan Pantai Selatan. Dimana pada jarak 500 m terdapat perbedaan sekitar 2,61 dB, 1 km sebesar 0,14 dB, dan pada jarak 2 km sebesar 5,17 dB. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas komunikasi di Pantai Utara lebih jernih dan stabil, dengan tingkat gangguan (*noise*) yang relatif rendah. Sebaliknya, Pantai Selatan memiliki nilai SNR yang lebih rendah, yang

menandakan adanya lebih banyak gangguan selama proses transmisi. Faktor lingkungan seperti angin kencang, ombak tinggi, serta kondisi geografis pantai berperan dalam meningkatnya *noise* sehingga menurunkan kualitas komunikasi LoRa di wilayah tersebut. Sementara itu berdasarkan grafik pada gambar 4.7, nilai SNR pada Pantai Utara lebih baik sekitar 22,18%.

4.3.4 Pengujian Responsi *Software* Terhadap Data

1. Pengujian MQTT dan *Database*

Pengujian dilakukan dengan mengirimkan data dari ESP32 pada *receiver* yang dalam hal ini adalah publisher MQTT. Lalu menggunakan *script* python sebagai *subscriber* dari MQTT.



Gambar 4. 8 Konfigurasi MQTT *Broker* dan Tabel *Database* MySQL

Tabel 4. 10 Tabel *Payload* Data MQTT Publisher dan *Subscriber*

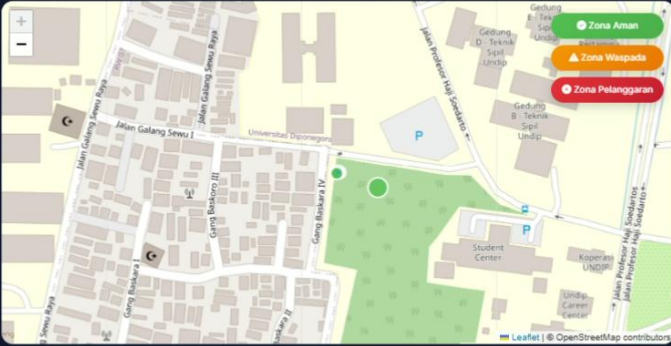
MQTT Publisher		MQTT <i>Subscriber</i>
Mengirim	payload: DATA,-6.720000,110.388000,Aman,17:00:54,-89,9	Data diterima dari MQTT: DATA,-6.720000,110.388000,Aman,17:00:54,-89,9 Data masuk ke MySQL: ('2025-08-24 17:00:54', -6.72, 110.388, 'Aman', -89.0, 9.0)
Mengirim	payload: DATA,-6.728000,110.406998,Aman,17:01:04,-86,14	Data diterima dari MQTT: DATA,-6.728000,110.406998,Aman,17:01:04,-86,14 Data masuk ke MySQL: ('2025-08-24

MQTT Publisher	MQTT <i>Subscriber</i>
	17:01:04', -6.728, 110.406998, 'Aman', -86.0, 14.0)
Mengirim payload: DATA,-6.722000,110.428001,Aman,17:01:14,-90,8	Data diterima dari MQTT: DATA,-6.722000,110.428001,Aman,17:01:14,-90,8 Data masuk ke MySQL: ('2025-08-24 17:01:14', -6.722, 110.428001, 'Aman', -90.0, 8.0)
Mengirim payload: DATA,-6.723000,110.350998,Pelanggaran,17:01:24,-82,6	Data diterima dari MQTT: DATA,-6.723000,110.350998,Pelanggaran,17:01:24,-82,6 Data masuk ke MySQL: ('2025-08-24 17:01:24', -6.723, 110.350998, 'Pelanggaran', -82.0, 6.0)
Mengirim payload: DATA,-6.697000,110.393997,Pelanggaran,17:01:34,-75,13	Data diterima dari MQTT: DATA,-6.697000,110.393997,Pelanggaran,17:01:34,-75,13 Data masuk ke MySQL: ('2025-08-24 17:01:34', -6.697, 110.393997, 'Pelanggaran', -75.0, 13.0)

Pengujian integrasi komunikasi data melalui MQTT ditunjukkan pada Tabel 4.10. Data yang dikirimkan dari *receiver* berhasil diterima *subscriber* dengan format yang identik dengan payload yang dikirim oleh publisher. Proses ini berulang pada data berikutnya, baik pada status Aman maupun Pelanggaran. Misalnya, pada data keempat sistem mencatat koordinat (-6.723, 110.350998)

dengan status Pelanggaran, waktu 17:01:24, RSSI -82 dBm, dan SNR 6 dB. Seluruh data berhasil masuk tanpa kehilangan paket (*packet loss*).

Tabel 4. 11 Tampilan *Dashboard* Pemantauan

Keterangan	Tampilan <i>Dashboard</i>																																																																		
<i>Real-time Monitoring</i>	 Dashboard Monitoring Batas Maritim Dibuat Oleh : Putu Satiya Wirananda MODE LELAP Real-time Monitoring Auto Update: ☒ STATUS AMAN WAKTU TERAKHIR 28/08/2025, 01.40.30 LOKASI -7.053241 110.437583 RSSI -67 dBm SNR 10.88 dB 																																																																		
<i>Monitoring 10 Data Terakhir</i>	Filter Status: SemuaEXPORT CSV <table><tr><th>WAKTU</th><th>LATITUDE</th><th>LONGITUDE</th><th>STATUS</th><th>RSSI</th><th>SNR</th></tr><tr><td>2025-08-28 01:58:13</td><td>-7.053188</td><td>110.437517</td><td>AMAN</td><td>-67 dBm</td><td>13 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:58:08</td><td>-7.053189</td><td>110.437525</td><td>AMAN</td><td>-65.5 dBm</td><td>13.75 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:58:06</td><td>-7.05319</td><td>110.437525</td><td>AMAN</td><td>-65.5 dBm</td><td>12.5 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:58:02</td><td>-7.053192</td><td>110.437516</td><td>AMAN</td><td>-67 dBm</td><td>12.13 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:58:00</td><td>-7.053193</td><td>110.437508</td><td>AMAN</td><td>-65.5 dBm</td><td>12.88 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:57:55</td><td>-7.053197</td><td>110.437483</td><td>AMAN</td><td>-65.5 dBm</td><td>12.88 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:57:53</td><td>-7.053198</td><td>110.437477</td><td>AMAN</td><td>-65.5 dBm</td><td>13.13 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:57:48</td><td>-7.053205</td><td>110.437466</td><td>AMAN</td><td>-65.5 dBm</td><td>12.75 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:57:46</td><td>-7.053208</td><td>110.437464</td><td>AMAN</td><td>-66 dBm</td><td>13.25 dB</td></tr><tr><td>2025-08-28 01:57:40</td><td>-7.053224</td><td>110.437453</td><td>AMAN</td><td>-65.5 dBm</td><td>13.75 dB</td></tr></table>	WAKTU	LATITUDE	LONGITUDE	STATUS	RSSI	SNR	2025-08-28 01:58:13	-7.053188	110.437517	AMAN	-67 dBm	13 dB	2025-08-28 01:58:08	-7.053189	110.437525	AMAN	-65.5 dBm	13.75 dB	2025-08-28 01:58:06	-7.05319	110.437525	AMAN	-65.5 dBm	12.5 dB	2025-08-28 01:58:02	-7.053192	110.437516	AMAN	-67 dBm	12.13 dB	2025-08-28 01:58:00	-7.053193	110.437508	AMAN	-65.5 dBm	12.88 dB	2025-08-28 01:57:55	-7.053197	110.437483	AMAN	-65.5 dBm	12.88 dB	2025-08-28 01:57:53	-7.053198	110.437477	AMAN	-65.5 dBm	13.13 dB	2025-08-28 01:57:48	-7.053205	110.437466	AMAN	-65.5 dBm	12.75 dB	2025-08-28 01:57:46	-7.053208	110.437464	AMAN	-66 dBm	13.25 dB	2025-08-28 01:57:40	-7.053224	110.437453	AMAN	-65.5 dBm	13.75 dB
WAKTU	LATITUDE	LONGITUDE	STATUS	RSSI	SNR																																																														
2025-08-28 01:58:13	-7.053188	110.437517	AMAN	-67 dBm	13 dB																																																														
2025-08-28 01:58:08	-7.053189	110.437525	AMAN	-65.5 dBm	13.75 dB																																																														
2025-08-28 01:58:06	-7.05319	110.437525	AMAN	-65.5 dBm	12.5 dB																																																														
2025-08-28 01:58:02	-7.053192	110.437516	AMAN	-67 dBm	12.13 dB																																																														
2025-08-28 01:58:00	-7.053193	110.437508	AMAN	-65.5 dBm	12.88 dB																																																														
2025-08-28 01:57:55	-7.053197	110.437483	AMAN	-65.5 dBm	12.88 dB																																																														
2025-08-28 01:57:53	-7.053198	110.437477	AMAN	-65.5 dBm	13.13 dB																																																														
2025-08-28 01:57:48	-7.053205	110.437466	AMAN	-65.5 dBm	12.75 dB																																																														
2025-08-28 01:57:46	-7.053208	110.437464	AMAN	-66 dBm	13.25 dB																																																														
2025-08-28 01:57:40	-7.053224	110.437453	AMAN	-65.5 dBm	13.75 dB																																																														

Keterangan	Tampilan <i>Dashboard</i>
Grafik RSSI dan SNR	

Tampilan *dashboard* seperti ditunjukkan pada Tabel 4.11 memperlihatkan bahwa data hasil pengukuran dari perangkat *receiver* dapat ditampilkan secara *real-time* tanpa keterlambatan yang signifikan. Setiap kali *transmitter* mengirim data posisi, payload yang berisi informasi koordinat (*latitude*, *longitude*), status zona, waktu pengiriman, serta parameter komunikasi (RSSI dan SNR) langsung diterima oleh *broker* MQTT, diproses oleh *subscriber*, kemudian tersimpan di dalam *database* MySQL.

Dashboard kemudian menampilkan data tersebut melalui beberapa fitur utama:

1. Monitoring 10 Data Terakhir

Dashboard secara otomatis menampilkan 10 data terbaru yang masuk ke *database*. Sebagai contoh, data dengan status Aman tercatat pada koordinat (-6.720000, 110.388000) pukul 17:00:54, dengan RSSI -89 dBm dan SNR 9 dB. Pada data berikutnya, sistem mencatat status Pelanggaran di koordinat (-6.723000, 110.350998) pukul 17:01:24, dengan RSSI -82 dBm dan SNR 6 dB. Dengan tampilan ini, operator dapat memantau perubahan posisi dan status kapal secara berurutan dari data paling baru.

2. Grafik RSSI dan SNR

Dashboard dilengkapi grafik yang menampilkan tren RSSI (kekuatan sinyal) dan SNR (kualitas sinyal) dari data terbaru. Misalnya, pada saat data dengan status Aman diterima, RSSI tercatat lebih rendah (-90 dBm) namun masih cukup stabil dengan SNR 8 dB. Sebaliknya, pada saat kapal memasuki zona

Pelanggaran, nilai RSSI meningkat ke sekitar -82 dBm dengan SNR yang menurun ke 6 dB. Grafik ini memudahkan analisis kondisi komunikasi LoRa, terutama untuk menilai pengaruh jarak dan kondisi lingkungan terhadap kualitas sinyal.

3. Peta Interaktif dengan Marker Status

Data koordinat dari GPS divisualisasikan pada peta menggunakan marker berwarna yang sesuai dengan status zona: hijau untuk Aman, kuning untuk Waspada, dan merah untuk Pelanggaran. Sebagai contoh, data pada pukul 17:01:14 dengan status Aman ditampilkan dengan marker hijau, sedangkan data pada pukul 17:01:34 dengan status Pelanggaran ditampilkan dengan marker merah. Dengan adanya visualisasi ini, posisi kapal dapat dipantau secara geografis sekaligus dikaitkan dengan status zona yang terdeteksi.

Secara keseluruhan, kombinasi fitur ini membuktikan bahwa alur komunikasi ESP32 → LoRa → MQTT → *Database* → *Dashboard* berjalan stabil dan konsisten. Tidak ditemukan adanya kehilangan paket pada data yang diuji, dan tampilan *dashboard* selalu terbaru sesuai waktu sebenarnya. Dengan demikian, sistem ini tidak hanya berfungsi sebagai pengirim data posisi, tetapi juga memberikan alat pemantauan interaktif dan analitis yang mendukung pengawasan kapal di batas maritim.

4.4 Pengujian Sistem

Setelah seluruh komponen diuji secara individual (GPS, LoRa, *buzzer*, dan catu daya) dan sistem berhasil diintegrasikan dengan MQTT serta *dashboard*, tahap berikutnya adalah pengujian sistem secara menyeluruh. Tujuan pengujian ini adalah mengevaluasi efektivitas sistem dalam mengklasifikasikan posisi kapal berdasarkan metode *Geofencing line crossing detection*. Pada tahap ini, data GPS yang dikirimkan *transmitter* melalui *repeater* ke *receiver* diproses untuk menghitung nilai D (determinan titik terhadap garis) dan S (jarak titik terhadap garis). Kedua parameter ini menjadi dasar untuk menentukan status kapal dalam tiga kategori: Aman, Waspada, dan Pelanggaran. Dengan demikian, tahap

pengujian sistem berfungsi sebagai validasi utama efektivitas sistem dalam mendeteksi pelanggaran batas maritim.

4.4.1 Metode *Geofencing*

Pengujian metode *Geofencing* ini bertujuan untuk menilai sejauh mana metode ini dapat diimplementasikan sebagai bagian dari sistem pemantauan berbasis GPS. Prinsip kerja *Geofencing* yang digunakan mengacu pada pendekatan geometri dua dimensi, di mana posisi kapal diklasifikasikan berdasarkan hasil perhitungan nilai matematis.

```
String classifyZoneByDands(double lat, double lon, double &S_out, double &D_out) {
    double x = lon, y = lat;
    double x1 = lon1, y1 = lat1, x2 = lon2, y2 = lat2;

    // Calculate which side of line point is on
    double D = (x2 - x1) * (y - y1) - (y2 - y1) * (x - x1);
    D_out = D;

    // Calculate perpendicular distance to line
    double num = abs((x2 - x1) * (y1 - y) - (x1 - x) * (y2 - y1));
    double den = sqrt(pow(x2 - x1, 2) + pow(y2 - y1, 2));
    double S = (num / den) * EARTH_RADIUS_M;
    S_out = S;

    // Zone classification logic
    if (D < 0) return "Pelanggaran";
    else if (S >= 1000) return "Aman";
    else return "Waspada";
}
```

Gambar 4. 9 *Script Code Perhitungan dan Klasifikasi Metode Geofencing*

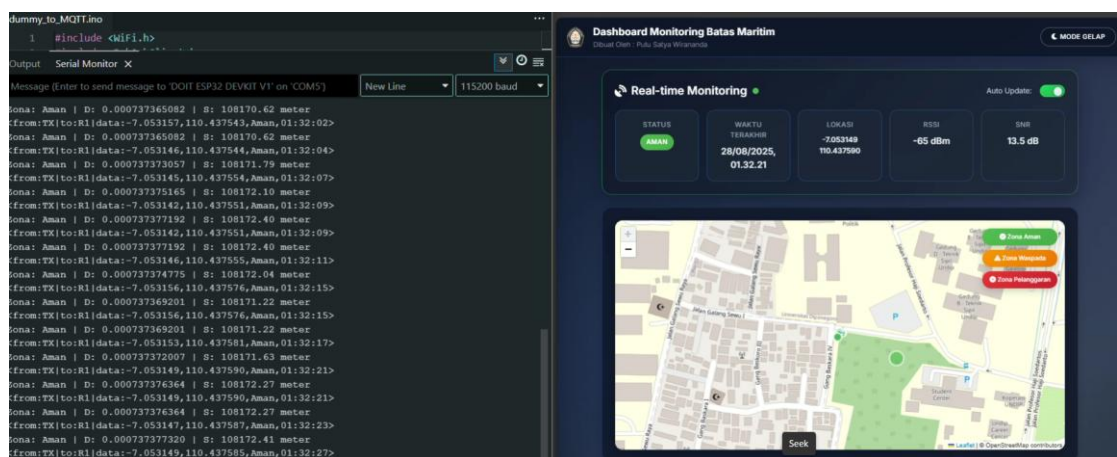
Pada Gambar 4, ditunjukkan penerapan rumus line crossing detection pada *script* Arduino IDE yang dibentuk dari dua titik koordinat yang menjadi garis batas maritim. Proses pengujian dilakukan dengan cara membandingkan nilai perhitungan D (determinan titik terhadap garis) dan S (jarak titik terhadap garis) yang diperoleh secara aktual dari data modul GPS dengan hasil klasifikasi zona yang telah ditentukan sebelumnya. Kesesuaian antara nilai perhitungan tersebut dengan kategori klasifikasi kondisi (zona aman, waspada, atau pelanggaran) kemudian menjadi indikator keberhasilan dari metode ini dalam mengidentifikasi pelanggaran batas maritim.

Pengujian dilakukan dengan memberikan garis imajiner di sekitar pesisir pantai. Dimana garis imajiner tersebut terhubung melalui dua titik. Yaitu titik A (-8.0140577, 110.2929872), dan titik B (-8.0141685, 110.2937379) Garis imajiner tersebut akan menjadi patokan perhitungan dari pengujian metode *Geofencing* yang akan dijalankan.

1. Kondisi AMAN

Tabel 4. 12 Hasil data Metode *Geofencing* pada kondisi AMAN

<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	Nilai D	Nilai S (Jarak)	Kondisi	Kondisi Alarm
-7.053149	110.437590	0.000737376364	108172.27	Aman	Mati
-7.053157	110..437543	0.000737365082	108170.62	Aman	Mati
-7.053146	110.437555	0.000737374775	108172.04	Aman	Mati



Gambar 4. 10 Tampilan *dashboard* dan hasil perhitungan Metode *Geofencing* pada kondisi AMAN

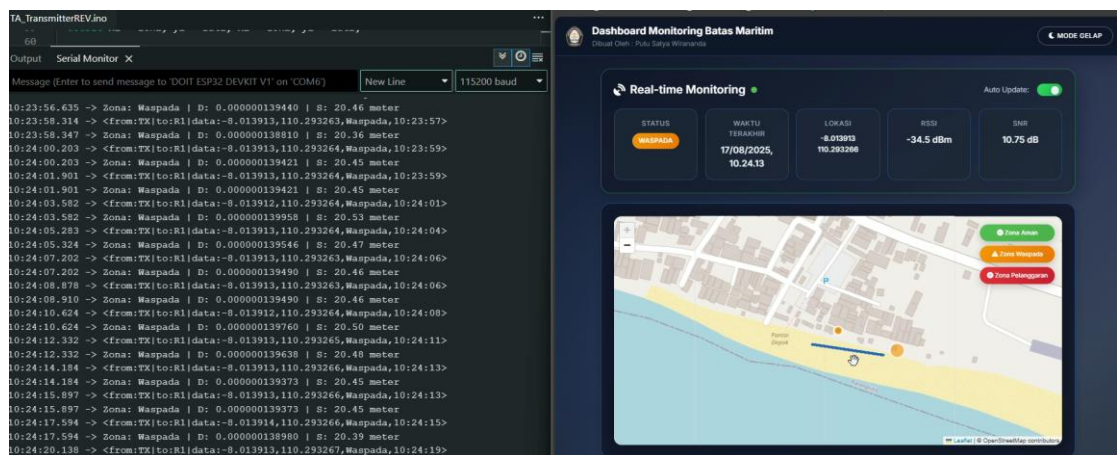
Tabel 4.12 dan Gambar 4.12 merupakan hasil pengambilan data pada kondisi Aman dimana seluruh titik uji menunjukkan nilai D positif dengan jarak S sangat besar, yaitu lebih dari 1.000 meter dari garis batas. Sebagai contoh, pada koordinat (-7.053149, 110.437590) diperoleh nilai $D = 0.000737376$ dan $S = 108.172,27$ m.

Jarak yang sangat besar ini menandakan bahwa posisi kapal masih berada jauh di dalam wilayah yang aman. Karena nilai D positif dan S lebih dari 1000 meter, sistem mengklasifikasikan posisi ini sebagai Aman, dengan kondisi *buzzer* tidak aktif. Pola yang sama juga terlihat pada data lain, seperti koordinat (-7.053157, 110.437543) dan (-7.053146, 110.437555), yang semuanya menghasilkan klasifikasi Aman.

2. Kondisi WASPADA

Tabel 4. 13 Hasil data Metode *Geofencing* pada kondisi WASPADA

<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	Nilai D	Nilai S (Jarak)	Kondisi	Kondisi Alarm
-8.013913	110.293266	0.000000139373	20.45	Waspada	Nyala Berkedip
-8.013912	110.293264	0.000000139760	20.5	Waspada	Nyala Berkedip
-8.013913	110.293263	0.000000138810	20.36	Waspada	Nyala Berkedip



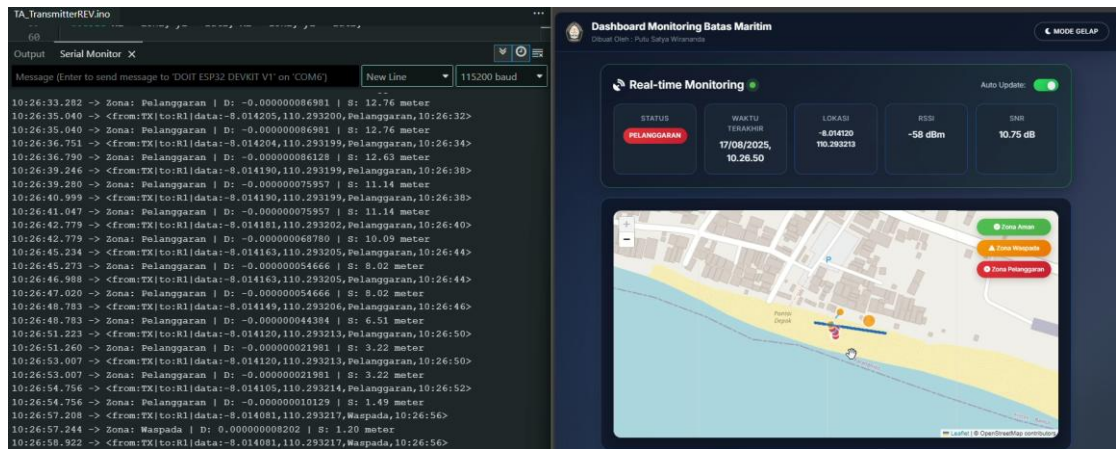
Gambar 4. 11 Tampilan *dashboard* dan hasil perhitungan Metode *Geofencing* pada kondisi WASPADA

Pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.13 merupakan hasil pengambilan data pada kondisi Waspada, dimana nilai D tetap positif, namun besarnya semakin mendekati nol dan kurang dari 1000 meter. Hal ini menunjukkan bahwa posisi kapal berada dekat dengan garis batas, meskipun belum melewatinya. Sebagai contoh, pada koordinat (-8.013913, 110.293266) diperoleh nilai $D = 0.000000139$ dan $S = 20,45$ m. Jarak 20 meter dari garis batas dianggap sebagai area rawan karena lebih kecil dari 1000 meter, sehingga sistem mengklasifikasikan posisi ini sebagai Waspada. Sesuai rancangan sistem, kondisi ini memicu *buzzer* untuk menyala berkedip sebagai tanda peringatan dini kepada operator kapal. Data lain pada koordinat (-8.013912, 110.293264) dan (-8.013913, 110.293263) menunjukkan pola yang sama, dengan nilai D lebih dari nol dan nilai S sekitar 20 meter, sehingga seluruhnya diklasifikasikan sebagai Waspada.

3. Kondisi PELANGGARAN

Tabel 4. 14 Hasil data Metode *Geofencing* pada kondisi PELANGGARAN

<i>Latitude</i>	<i>Longitude</i>	Nilai D	Nilai S (Jarak)	Kondisi	Kondisi Alarm
-8.014120	110.293213	-0.000000021981	3.22	Pelanggaran	Nyala Kencang
-8.014149	110.293206	-0.000000044384	6.51	Pelanggaran	Nyala Kencang
-8.014205	110.293200	-0.000000086981	12.76	Pelanggaran	Nyala Kencang



Gambar 4. 12 Tampilan *dashboard* dan hasil perhitungan Metode *Geofencing* pada kondisi PELANGGARAN

Tabel 4.14 dan Gambar 4.14 merupakan hasil pengambilan data pada kondisi Pelanggaran, dimana nilai D berubah menjadi negatif, yang menandakan bahwa posisi kapal telah melewati garis batas yang ditentukan. Selain itu, nilai S semakin kecil, yaitu dalam rentang 3–12 meter, yang menunjukkan kapal sudah melewati garis pembatas sejauh jarak tersebut. Sebagai contoh, pada koordinat (-8.014120, 110.293213) diperoleh nilai D = -0.000000021 dan S = 3,22 m. Kondisi ini jelas dikategorikan sebagai Pelanggaran, dengan *buzzer* menyala terus-menerus sebagai alarm keras. Data lain, seperti (-8.014149, 110.293206) dengan S = 6,51 m dan (-8.014205, 110.293200) dengan S = 12,76 m, juga memperlihatkan hasil serupa, yaitu D negatif dengan jarak yang semakin menjauh dari garis. Semua titik pada kondisi ini diklasifikasikan secara konsisten sebagai Pelanggaran.