



Rancang Bangun *Transmitter Automatic Identification System (AIS)* Menggunakan Long Range (*LORA*)

Risma Dwi Anggita Sari¹, Diana Alia², Henna Nurdiansari³

^{1,2,3}Politeknik Pelayaran Surabaya, Indonesia

Abstract. *The Automatic Identification System (AIS) is a maritime identification and tracking system that must be implemented on certain vessels in accordance with the regulations of the International Maritime Organization (IMO). One of the ways to enhance maritime safety on ships is by utilizing AIS. This research aims to develop a low-cost AIS intended for use on small vessels such as fishing boats. This study utilizes hardware components such as the GPS M8N, Arduino Nano, and LoRa RA-02 module. The LoRa module is chosen for its ability to transmit data over long distances with low power consumption, making it ideal for maritime applications. The Arduino microcontroller is responsible for controlling the entire system, while the GPS M8N is highly effective in achieving accurate positioning within meter-level precision. The Arduino Nano serves as the main component for receiving and processing data from the GPS M8N and LoRa RA-02, then transmitting the data to the receiver. The methodology and system design in this research follow an experimental approach, where at least one variable is manipulated to study cause-and-effect relationships. The test results of the AIS transmitter device indicate that it can successfully transmit call sign, latitude, and longitude data, with a maximum transmission range of 15 meters on land and 13 meters at sea.*

Keywords: *Arduino Nano, GPS M8N, LoRa RA-02, Transmitter.*

Abstrak. *Sistem Automatic Identification System (AIS) merupakan sistem identifikasi dan pelacakan maritim yang wajib diterapkan pada kapal-kapal tertentu sesuai dengan peraturan Organization Maritim Internasional (IMO). Salah satu cara untuk meningkatkan keselamatan pelayaran pada kapal dengan menggunakan Automatic Identification System (AIS). Penelitian ini bertujuan untuk menciptakan AIS dengan low coast yang bertujuan untuk digunakan pada kapal-kapal kecil seperti kapal nelayan. penelitian ini menggunakan perangkat keras seperti GPS M8N arduino nano, modul Lora RA-02, Modul LoRa dipilih karena mampu mengirimkan data dalam jarak jauh dengan konsumsi daya yang rendah, sehingga ideal untuk aplikasi di lingkungan maritim. Mikrokontroler Arduino bertugas mengendalikan seluruh sistem, sementara Gps M8N sangat efektif dalam mencapai akurasi posisi dan tingkat meter. Sistem kerja arduino nano sebagai komponen utama penerima dan pembaca dari GPS M8N dan Lora RA-02, Arduino nano mengirimkan data Receiver (penerima). Metodologi dan perancangan sistem ini akan dilakukan dengan metode penelitian eksperimental dimana pada metode ini paling tidak ada satu variabel yang dimanipulasi guna mempelajari hubungan sebab-akibat. Hasil dari pengujian alat Transmitter AIS menunjukkan bahwa transmitter mampu mengirim data call sign, latitude, longitude dengan jarak maksimal pengujian didarat 15m dan pengujian di laut 13 m.*

Kata Kunci: *Arduino Nano, GPS M8N, Lora RA-02, Transmitter.*

1. PENDAHULUAN

Sistem *Automatic Identification System (AIS)* merupakan sistem identifikasi dan pelacakan maritim yang wajib diterapkan pada kapal-kapal tertentu sesuai dengan peraturan *Organization Maritim Internasional (IMO)*. AIS memungkinkan kapal untuk saling bertukar informasi penting seperti identitas, posisi, kecepatan, dan arah, sehingga meningkatkan keselamatan navigasi dan membantu mencegah tabrakan.

Salah satu cara untuk meningkatkan keselamatan pelayaran pada kapal dengan menggunakan *Automatic Identification System (AIS)*, sesuai rekomendasi dari International

Maritime Organization (IMO) dan Peraturan Menteri Perhubungan Republik Indonesia Nomor (PM) 7 Tahun 2019. Kapal penumpang dan Kapal barang Non Konvensi ukuran >GT35 dan kapal penangkap ikan >GT60 wajib memiliki perangkat AIS minimal kelas B. Namun, dalam pelayaran tidak bisa dimungkiri bahwa kapal dibawah ukuran tersebut yang tidak memasang perangkat AIS. Dari 51194 kapal penangkap ikan yang terdaftar di Departemen Perhubungan, 54,4% kapal memiliki ukuran kapal di bawah GT30. Hal ini dapat menggugurkan kewajiban pemasangan AIS.

Automatic Identification System (AIS) Kelas B merupakan teknologi yang berperan penting dalam meningkatkan keselamatan navigasi, terutama bagi kapal kecil, kapal nelayan, dan kapal rekreasi. AIS B memungkinkan kapal untuk mengirim dan menerima data navigasi secara otomatis menggunakan frekuensi VHF, sehingga informasi mengenai posisi, kecepatan, dan arah kapal dapat diketahui oleh kapal lain maupun stasiun pantai. Berbeda dengan AIS Kelas A yang digunakan oleh kapal komersial besar, AIS B memiliki daya pancar lebih rendah, yaitu 2W, dengan interval pengiriman data yang lebih jarang. Meskipun demikian, penggunaan AIS B tetap memberikan manfaat signifikan dalam mencegah tabrakan dan meningkatkan kesadaran situasional di jalur pelayaran yang tidak terlalu padat. Selain itu, AIS B dapat diintegrasikan dengan perangkat navigasi lain seperti GPS dan chartplotter, sehingga memberikan solusi yang efisien dan terjangkau bagi pemilik kapal kecil dalam upaya meningkatkan keselamatan pelayaran.

Teknologi LoRa (*Long Range Wide Area Network*) menawarkan solusi komunikasi nirkabel yang hemat daya dan jangkauan jauh, membuatnya cocok untuk aplikasi AIS. LoRa beroperasi pada pita frekuensi ISM (*Industrial, Scientific, and Medical*) yang tidak berlisensi, sehingga tidak memerlukan izin khusus untuk digunakan.

Beberapa alasan utama untuk merancang dan membangun transmitter AIS menggunakan LoRa:

- 1) Jangkauan luas: LoRa mampu mencapai jarak transmisi hingga 100 m (atau lebih) dalam kondisi ideal, memungkinkan AIS untuk beroperasi di area maritim yang luas.
- 2) Hemat daya: LoRa menggunakan daya yang sangat rendah untuk transmisi, sehingga memungkinkan transmitter AIS beroperasi dengan baterai kecil selama berminggu-minggu atau bahkan berbulan-bulan.
- 3) Keandalan: LoRa menawarkan keandalan komunikasi yang tinggi, bahkan di lingkungan yang bising dan penuh rintangan.
- 4) Biaya rendah: Modul LoRa dan komponen elektronik lainnya relatif murah, sehingga memungkinkan pembangunan transmitter AIS dengan biaya yang terjangkau.

- 5) Kemudahan implementasi: LoRa mudah diimplementasikan dan diintegrasikan dengan sistem AIS lainnya.

Oleh karena itu, penulis membuat sistem yang dapat mencakup semua tingkatan dalam pemasangan AIS. Terdapat 3 node, 1 menggunakan LoRa untuk low level Ship <GT35, Node 2 menggunakan AIS transmitter untuk middle level ship GT35-GT60, dan Node 3 menggunakan LoRa AIS transponder untuk high level ship >GT60. Pada tugas akhir ini penulis membuat sistem transponder, yang menggabungkan AIS dengan LoRa. Pesan AIS yang digunakan dalam metode carrier sense berupa pesan 18 untuk data dinamis berupa *latitude*, *longitude*, waktu (UTC), *Couse of Ground* (COG), dan *Speed of Ground* (SOG). 24 untuk data statis berupa MMSI, Nama Kapal, Jenis Kapal, Vendor ID, Call Sign dan dimensi kapal. Pesan 24 berupa. Dari pengujian yang sudah dilakukan, didapatkan hasil dari *encoding* dan *decoding* melalui Frekuensi 915MHz berupa pesan 18 dan 24. Pengujian jarak menghasilkan jarak $\pm 2.2\text{km}$ dengan output power 0.1Watt menghasilkan RSSI - 83dBm dan pengujian jarak pada VHF didapat jarak $\pm 6.6\text{km}$ dengan output power 5Watt. (Catur Setiawan, Yoga)

2. TINJAUAN PUSTAKA

AIS

Menurut Bailey dkk fungsi mendasar dari AIS adalah transmisi informasi secara otomatis melalui Radio VHF antar kapal dan antara kapal dan stasiun pantai. Saat sebuah kapal datang dalam jangkauan kapal lain, atau stasiun pantai, AIS secara otomatis mengidentifikasinya kapal di mana ia ditempatkan. Ini memfasilitasi identifikasi lebih awal dan lebih mudah kapal daripada yang mungkin dilakukan hanya dengan menggunakan radar.

GPS neo -M8N

GPS adalah singkatan dari *Global Positioning System*, yang merupakan sistem navigasi dengan menggunakan teknologi satelit yang dapat menerima sinyal dari satelit. Sistem ini menggunakan 24 satelit yang mengirimkan sinyal gelombang mikro ke bumi. Sinyal ini diterima oleh alat penerima (*receiver*) di permukaan, dimana GPS *receiver* ini akan mengumpulkan informasi dari satelit GPS.

Mikrokontroler

Menurut Berynta Dalimunte Mikrokontroler secara bahasa berasal dari kata “*micro*” yang berarti kecil dan kontrol yang berarti kendali, maka mikrokontrol dapat kita artikan

sebagai pengendali kecil. Mikrokontroler merupakan sebuah komputer fungsional dalam sebuah chip.

Battery Lithium 3,7 Volt

Battery merupakan sebuah media yang dapat mengubah energi kimia yang terkandung dalam bahan aktif secara langsung menjadi energi listrik melalui reaksi reduksi dan oksidasi elektro kimia yang terjadi pada elektroda (Tanjung et al., 2022). Baterai memiliki dua terminal masing masing sisi kiri dan kanan, pada satu sisi memiliki tanda negatif (-) dan sisi lainnya memiliki tanda positif (+). Pada umumnya difungsikan sebagai penyimpan energi listrik. Pada penelitian ini penulis menggunakan battery lithium 3,7 Volt .

LoRA

LoRa (*Long Range*) adalah suatu format modulasi yang dibuat oleh Semtech. Modulasi yang dihasilkan menggunakan modulasi FM. Inti pada pemrosesan menghasilkan nilai frekuensi yang stabil. Metode transmisi juga bisa menggunakan PSK (*Phase Shift Keying*), FSK (*Frequency Shift Keying*) dan lainnya.

Battery Module Charging

Baterai adalah perangkat penyimpanan energi listrik yang mampu menyimpan energi dalam jumlah besar untuk jangka waktu yang lama. Battery module adalah komponen yang berfungsi sebagai penyimpan dan penyedia energi listrik dalam suatu sistem elektronik. Modul ini terdiri dari satu atau lebih sel baterai yang dikonfigurasi secara seri atau paralel untuk memenuhi kebutuhan daya perangkat yang terhubung.

Modulasi

Modulasi data AIS ialah Modulasi adalah proses mencampurkan dua sinyal yang berbeda untuk menghasilkan sinyal baru yang membawa informasi dari kedua sinyal tersebut.

Transmitter

Transmitter pada sistem radar berfungsi untuk memancarkan gelombang elektromagnetik melalui reflektor antena agar sinyal objek yang berada pada daerah tangkapan radar dapat dikenali, umumnya *Transmitter* mempunyai *bandwidth* yang besar dan tenaga yang kuat serta dapat bekerja efisien, dapat dipercaya, tidak terlalu besar ukurannya dan juga tidak terlalu berat serta mudah perawatannya. (SH Allen, 2018)

Regulasi AIS

Pada penelitian kali ini penulis bertujuan untuk memasang AIS pada kapal nelayan di Indonesia, sehingga menurut Pusat Riset Kelautan, BRSDM KP, Kementerian Kelautan dan Perikanan Kementerian Perhubungan, mengeluarkan Peraturan Menteri (Permen-Hub) no. 07, tahun 2019, tentang Pemasangan dan Pengaktifan Sistem Identifikasi Otomatis Bagi Kapal yang Berlayar di Wilayah Perairan Indonesia. Jenisnya adalah AIS kelas B. Alat ini wajib dipasang untuk kapal ikan (Standar SOLAS) 60 GT keatas, dan kapal penumpang dan non-konvensi (Non-SOLAS) ukuran 35 GT keatas. Diluar persyaratan diatas, pemasangan AIS bersifat sukarela (*voluntary*).

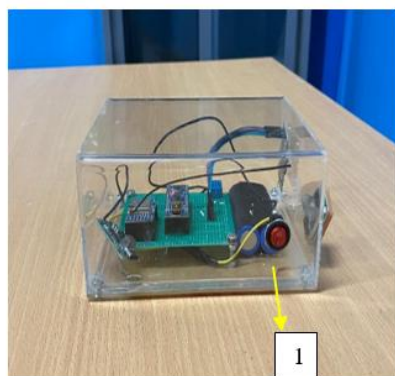
3. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, penulis menerapkan metode eksperimental, di mana setidaknya terdapat satu variabel yang dimanipulasi untuk meneliti hubungan sebab dan akibat. Perancangan alat dan software dilakukan secara terintegrasi untuk memastikan sistem yang dihasilkan dapat berfungsi sesuai kebutuhan. Proses ini melibatkan identifikasi spesifikasi teknis, yang terbagi menjadi 2 yaitu *hardware* dan *software*. Lokasi penelitian dilakukan di Politeknik Pelayaran Surabaya. Untuk mendapatkan data penelitian pengujian alat dilakukan dengan dua pengujian alat dilakukan dengan dua pengujian yaitu Uji Statis dan Uji Dinamis.

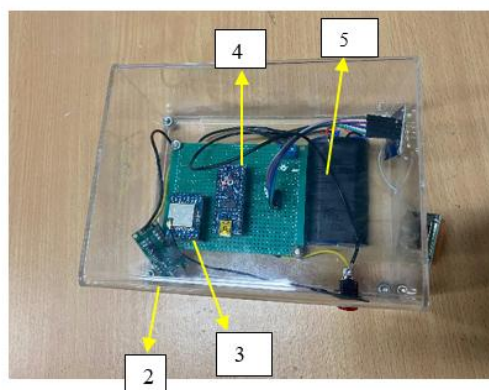
4. HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Hasil Penelitian

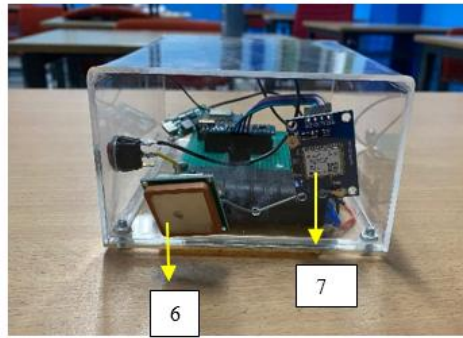
Perakitan Komponen



(a)



(b)



(c)

Sumber: Dokumen pribadi

**Gambar 1. bagian alat (a) tampak depan (b) tampak atas
(c) tampak kanan**

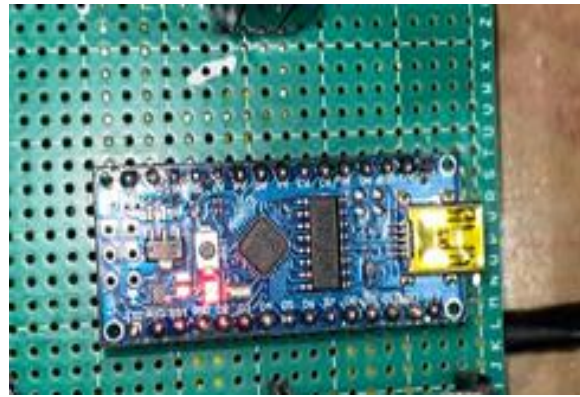
Keterangan:

- 1) Tombol switch ON OFF
- 2) Module charger
- 3) LORA RA-02
- 4) Arduino nano
- 5) Battery Lithium 3,7 V
- 6) Gps Anthena
- 7) GPS NEO M8N

Pengujian Statis

Pengujian Arduino Nano

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan bahwa komponen tersebut dapat berfungsi dengan baik serta beroperasi secara akurat dan efisien. Pengujian mencakup kemampuan dalam mengirim dan menerima data, keandalan koneksi, pengenalan objek, serta pengelolaan data yang dapat diterapkan dengan optimal. Dalam pengujian ini arduino digunakan sebagai media untuk media pengolah data dengan menggunakan software arduino IDE. Dalam pengembangan ini arduino nano digunakan sebagai media pembaca dan pengaplikasian untuk menggabungkan antara GPS M8N dan LORA RA-02.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 2. Pengujian Arduino Nano

Pengujian GPS NEO M8N

Pengujian GPS M8N dilakukan untuk memastikan kemampuan perangkat dalam menerima dan memproses data lokasi secara akurat. Proses ini mencakup pengujian sensitivitas sinyal, kecepatan akuisisi data satelit, dan keakuratan koordinat yang diperoleh. Pengujian dilakukan dengan menghubungkan GPS M8N ke mikrokontroler menggunakan protokol komunikasi yang sesuai, seperti UART atau I2C, dan hasilnya ditampilkan melalui perangkat lunak monitoring. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi performa GPS dalam berbagai kondisi lingkungan dan memastikan kompatibilitasnya dengan sistem yang dikembangkan.



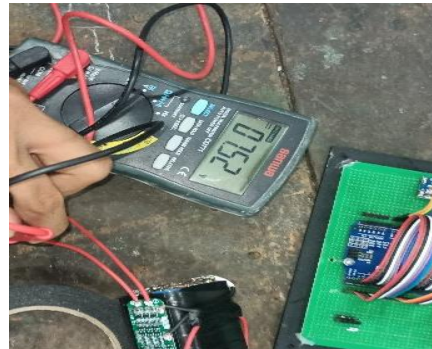
Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 3. Pengujian GPS NEO M8N dan Tampilan data yang diterima
Receiver

Pada pengujian tersebut *indicator* pada GPS menyala yang menandakan GPS dapat menerima sinyal dengan baik.

Pengujian Battery

Pengujian baterai lithium dilakukan untuk mengevaluasi kinerjanya dalam menyimpan dan melepaskan energi secara efisien. Proses ini melibatkan pengujian kapasitas, durasi pengisian, tingkat pengosongan, serta stabilitas tegangan dalam berbagai kondisi. Selain itu, pengujian juga bertujuan untuk mengukur keandalan baterai terhadap perubahan suhu, arus beban, dan siklus penggunaan guna memastikan baterai memenuhi spesifikasi yang dibutuhkan untuk mendukung sistem yang dikembangkan dalam tugas akhir.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 4. Pengujian Battery

Pada pengujian 4 menandakan bahwa battery tersebut dapat bekerja dengan baik dan memenuhi spesifikasi.

Pengujian module charger

Pengujian modul charger dilakukan untuk memastikan kinerja optimal dan keandalannya dalam mengisi daya perangkat. Pengujian mencakup pengukuran tegangan keluaran, arus pengisian, efisiensi daya, serta pengujian perlindungan terhadap lonjakan arus atau hubungan pendek. Selain itu, uji ketahanan termal dilakukan untuk mengevaluasi performa modul dalam kondisi suhu tinggi yang dapat terjadi selama penggunaan.



Sumber : Dokumen pribadi

Gambar 4. Pengujian module *charger*

Dalam pengujian 5 menampikan bahwa module charger dapat berjalan dengan baik

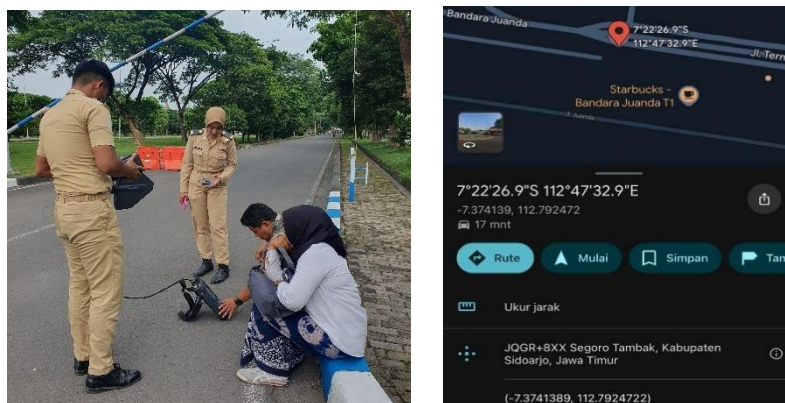
Pengujian Dinamis

Pengujian Lora Ra-02

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat keberhasilan pengaplikasian lora untuk penelitian ini, dengan melakukan pengujian jarak, waktu dan keakuratan dalam membaca jarak dengan melakukan pengujian 100m, 500 m, dan 1km dengan metode tanpa hambatan atau di area terbuka seperti di lapangan. Pengujian ini memastikan bahwa transmitter mampu mengirim data AIS berisi informasi posisi kapal (latitude dan longitude) dikirim ke receiver LoRa. Pengujian dilakukan dengan menguji kinerja perangkat penerima dalam menerima data yang dikirim oleh perangkat pengirim pada berbagai jarak. Hasil pengujian menunjukkan bahwa transmitter berhasil mengirim data kemudian data akan diterima receiver

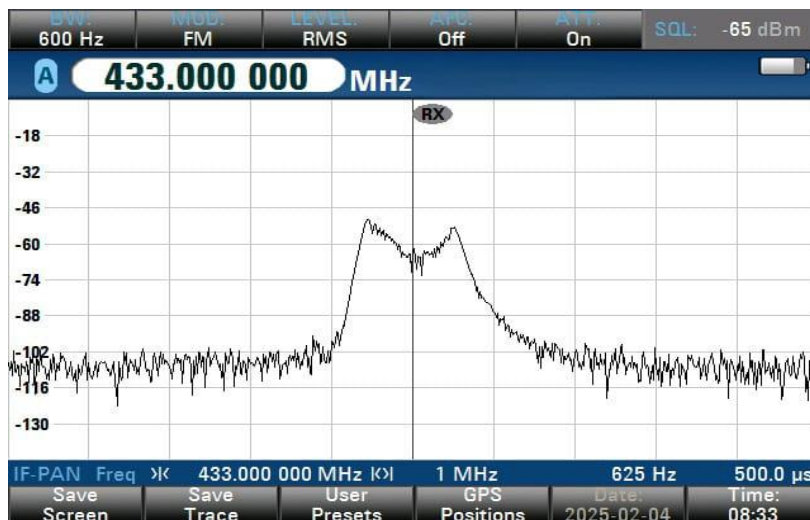
Pengujian LoRa menggunakan *Spectrum Analyzer*

Dalam pengujian ini, pengujian dilakukan di Bandara Juanda dengan penggunaan spectrum analyzer, berperan dalam mendeteksi potensi gangguan atau interferensi dari perangkat lain yang beroperasi pada frekuensi 433 MHz. Jika terdapat sinyal lain di sekitar frekuensi tersebut, maka kemungkinan besar akan terjadi interferensi yang dapat memengaruhi kualitas komunikasi LoRa. Oleh karena itu, analisis spektrum sangat berguna untuk mengidentifikasi gangguan yang ada, sehingga direkomendasikan dalam pengujian berbasis long-range guna memastikan sistem dapat berfungsi dengan optimal serta menentukan frekuensi transmisi yang paling sesuai. Proses pengambilan data dapat dilihat pada gambar 4



Sumber: Dokumen Pribadi

Gambar 5. Dokumentasi *Spectrum Analyzer* LoRa dan koordinat titik lokasi di bandara Juanda



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 7. Pengujian Spectrum Analyzer LoRa

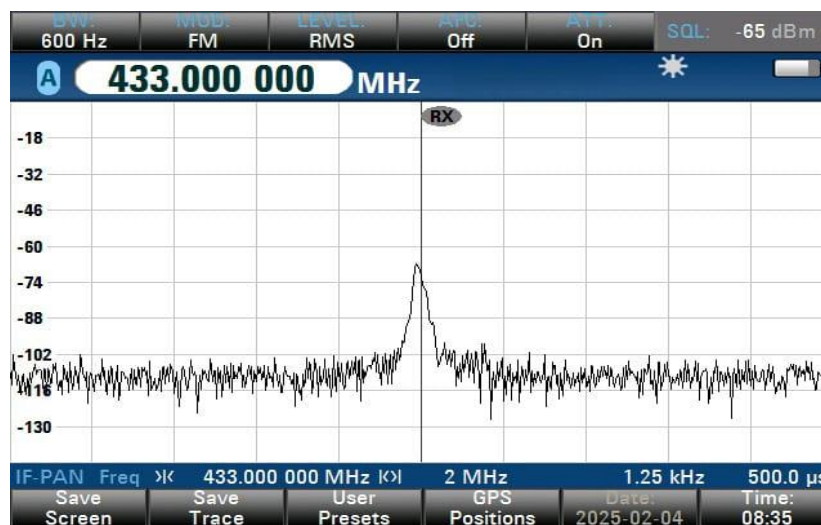
Spektrum analyzer yang digunakan dalam pengujian ini berhasil mendeteksi sinyal LoRa pada frekuensi 433 MHz, yang merupakan frekuensi operasi LoRa di pita ISM. Hasil pengukuran menunjukkan adanya spektrum dengan dua puncak karakteristik, yang menjadi ciri khas modulasi Chirp Spread Spectrum (CSS) yang digunakan oleh LoRa. Sinyal yang terdeteksi memiliki kekuatan -120.3 dBm, menunjukkan bahwa penerimaan sinyal cukup lemah. Beberapa faktor yang dapat menyebabkan hal ini antara lain jarak antara pemancar dan penerima yang terlalu jauh, atau penggunaan antenna dengan gain yang kurang optimal.

Dalam konteks pengujian *Automatic Identification System* (AIS) menggunakan LoRa, spektrum ini menunjukkan bahwa sinyal sedang dikirim dan diterima sesuai dengan rentang frekuensi yang diharapkan. Parameter lainnya, seperti bandwidth pengukuran sebesar 1 MHz dan *resolution bandwidth* 625 Hz, memberikan informasi tambahan mengenai kejelasan spektrum yang dianalisis. Jika bentuk spektrum terlihat stabil dan tidak terdapat gangguan signifikan, maka sistem komunikasi LoRa bekerja dengan baik. Namun, jika terdapat interferensi atau *noise* tinggi di sekitar frekuensi ini, bisa jadi ada sumber gangguan eksternal yang mempengaruhi transmisi. Dari hasil ini, dapat disimpulkan bahwa sistem AIS berbasis LoRa yang diuji menunjukkan adanya aktivitas komunikasi yang sesuai, dan pengukuran lebih lanjut dapat dilakukan untuk memastikan optimasi transmisi dan penerimaan sinyal.

Untuk meningkatkan kualitas penerimaan, beberapa langkah yang dapat dilakukan meliputi mengurangi jarak antara perangkat LoRa, meningkatkan daya pancar, atau menggunakan antenna dengan gain yang lebih tinggi. Spektrum analyzer yang digunakan dalam pengujian ini memiliki bandwidth resolusi sebesar 600 Hz, yang memungkinkan pendeteksian

detail spektrum sinyal, namun kurang optimal untuk menampilkan keseluruhan spektrum LoRa. Mengingat LoRa beroperasi dengan bandwidth 125 kHz, 250 kHz, atau 500 kHz, disarankan untuk menyesuaikan pengaturan spektrum analyzer agar tampilan sinyal lebih optimal.

Selain itu, IF-PAN yang digunakan dalam pengukuran ini menunjukkan bahwa rentang pemantauan spektrum berada di sekitar 1 MHz, yang cukup untuk menangkap sinyal LoRa dengan bandwidth standar. Dengan penyesuaian parameter yang tepat, spektrum analyzer dapat memberikan hasil yang lebih akurat.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 8. Pengujian Spectrum Analyzer LoRa

Gambar 8 menunjukkan hasil pengukuran sinyal menggunakan *spectrum analyzer* pada frekuensi 433 MHz. Dari tampilan spektrum, terlihat bahwa sinyal memiliki frekuensi tengah sebesar 433.000 MHz dengan kekuatan sinyal sekitar -58.2 dBm, yang jauh lebih kuat dibandingkan dengan pengukuran sebelumnya (-120.3 dBm). Grafik ini menampilkan distribusi spektrum di mana sumbu horizontal mewakili frekuensi, sedangkan sumbu vertikal menunjukkan kekuatan sinyal dalam satuan dBm. Bentuk spektrum yang terlihat lebih sempit dan tajam dibandingkan dengan gambar sebelumnya mengindikasikan adanya perbedaan dalam karakteristik transmisi, kemungkinan karena perubahan dalam parameter modulasi atau daya pemancar.

Beberapa parameter penting lainnya dalam pengukuran ini adalah bandwidth pengukuran (*span*) sebesar 2 MHz, dengan *resolution bandwidth* (RBW) 1.25 kHz. Nilai RBW yang lebih besar dibandingkan pengukuran sebelumnya (625 Hz) memungkinkan analisis spektrum dengan resolusi lebih rendah, tetapi cakupan frekuensi yang lebih luas. Kekuatan

sinyal yang meningkat menunjukkan bahwa sinyal yang diterima lebih kuat, kemungkinan karena pemancar berada lebih dekat ke penerima atau daya keluaran transmisi ditingkatkan. Jika pengujian ini dilakukan untuk sistem Automatic Identification System (AIS) berbasis LoRa, hasil ini menunjukkan bahwa sinyal LoRa berhasil ditransmisikan dengan baik dan diterima dengan kekuatan yang lebih optimal.

Berdasarkan analisis ini, sistem komunikasi LoRa tampaknya bekerja lebih baik pada pengukuran ini dibandingkan sebelumnya, dengan sinyal yang lebih kuat dan lebih terfokus. Pengukuran lebih lanjut dapat dilakukan untuk memastikan stabilitas sinyal dan memeriksa adanya kemungkinan interferensi dari sumber eksternal. Pada pengujian sebelumnya, LoRa menggunakan teknik spread spectrum dengan cakupan yang lebih lebar, namun kali ini sinyal yang terlihat lebih terpusat. Hal ini dapat mengindikasikan penggunaan bandwidth yang lebih kecil atau adanya pengaturan khusus pada modulasi. Secara keseluruhan, perubahan pola dalam hasil pengujian menunjukkan bahwa sinyal LoRa yang diterima lebih kuat dan lebih terfokus dibandingkan dengan pengukuran sebelumnya. Jika pengujian ini dilakukan dalam konteks komunikasi LoRa untuk AIS, maka hasil tersebut mengindikasikan adanya peningkatan kualitas sinyal yang berpotensi meningkatkan keberhasilan penerimaan data. Adapun hasil pengujian yang diperoleh dari spectrum analyzer, termasuk data mengenai frekuensi, kekuatan sinyal, bandwidth, resolusi, kualitas sinyal, dan keterangan, dapat dilihat pada Tabel 4.4.

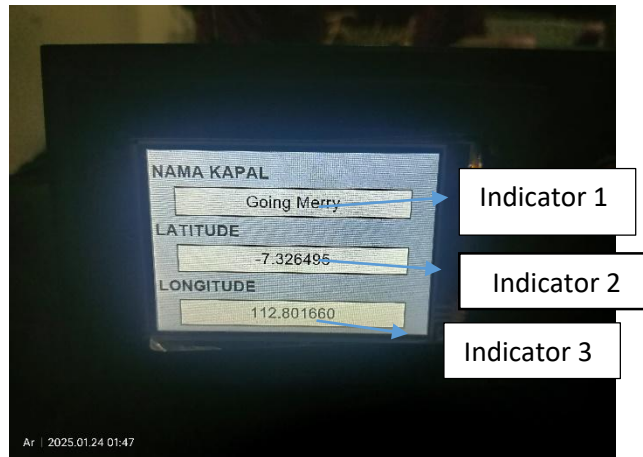
Tabel 1. Hasil pengujian LoRa Spectrum Analyzer

Jarak	RSSI / Signal Strenght	Keterangan
1-3 m	-48 dBm	<i>Line Of Sight (LOS)</i>
4-7 m	-56 dBm	<i>Line of sight (LOS)</i> frekuensi masih stabil
8-10 m	-74 dBm	LOS, ada objek yang mempengaruhi sinyal transceiver seperti orang lewat
11-13 m	-82 dBm	LOS , ada gangguan sedang seperti kendaraan sehingga mengganggu pengiriman dan penerimaan transceiver
14-16 m	-95 dBm	Sinyal yang diterima lemah dikarenakan semakin banyak gangguan dari objek sekitar
17-19 m	-120 dBm	Error sudah tidak terbaca oleh spectrum

Penyajian Data

Hasil uji penerimaan dari jarak yang berbeda

Pengujian ini bertujuan untuk memastikan arduino dapat transmitter dan receiver untuk mengukur performa dan tingkat akurasi alat maka dilakukan pengujian sebagai berikut. dalam pengujian berikut kita akan menampilkan pengujian sebagai berikut :



Sumber: Dokumen Pribadi

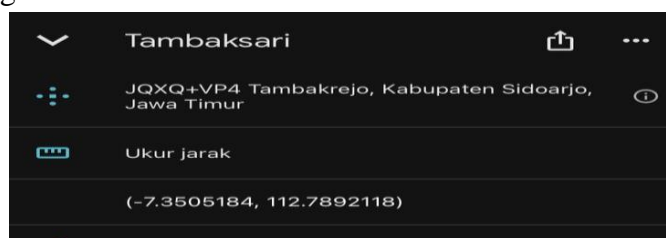
Gambar 9. Tampilan LCD di Receiver

Pada hasil pengujian diatas menampilkan data nama kapal, *Latitude* ,*Longitude* seperti data diatas pada percobaan kali ini penguji data dengan cara menggunakan membuat indikator penjelasan tersebut dijelaskan dalam bentuk tabel sebagai berikut ini :

Tabel 2. Penjelasan Presentase

Presentase	Keterangan
100%	Jika seluruh indicator terkirim
66%	Jika hanya 2 indicator
33%	Hanya 1 indicator
0%	Tidak ada indicator

Pada tabel 2 pengujian dilakukan di jalan SMP petra pegujian ini dilakukan dengan cara mengukur jarak yang dikirim dari transmitter ke receiver.



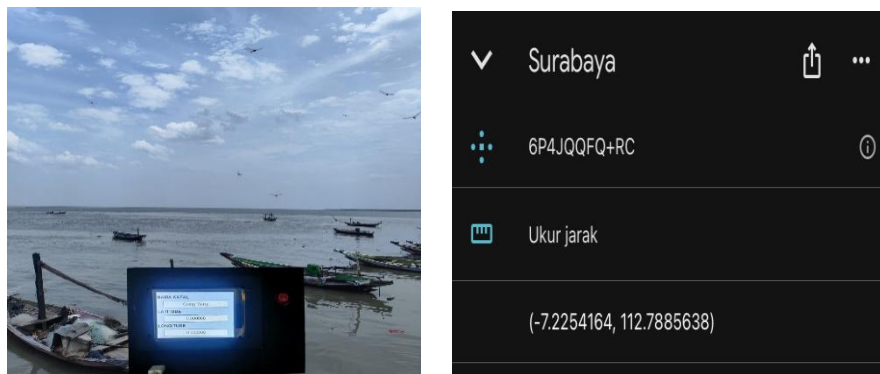
Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 10. Koordinat Titik Lokasi Pengujian

Tabel 3. Pengujian Alat di Darat

Jarak	Performa AIS	Time delay	Keterangan
1 Meter	100 %	0,1 dtk	Sangat baik
3 Meter	100 %	0,35 dtk	Sangat baik
5 Meter	100 %	0,53 dtk	Sangat baik
7 Meter	100 %	0,95 dtk	Sangat baik
9 Meter	66 %	2,39 dtk	Cukup baik
11 Meter	66 %	3,71 dtk	Cukup baik
13 Meter	66 %	5,34 dtk	Cukup baik
15 Meter	33 %	8,75 dtk	Kurang baik
17 Meter	0 %	-	Buruk
19 Meter	0%	-	Buruk

Pengujian ini dilakukan di selat Madura menggunakan perahu nelayan pengujian ini dilakukan sebanyak 4 kali percobaan. dilakukan dengan cara boalak balik yaitu dengan kapal dari darat menuju kelaut dan kapal dari laut menuju kedarat transmitter yang dibawa ke laut sedangkan receiver tetap pada posisinya didarat.



Sumber: Dokumen pribadi

Gambar 11. Pengujian Alat di Selat Madura dan Koordinat Titik Lokasi Pengujian**Tabel 4. Pengujian Alat Laut di Selat Madura 1**

Jarak	Performa AIS	Time delay	Keterangan
1 Meter	100 %	0,12 dtk	Sangat baik
3 Meter	100%	0,40 dtk	Sangat baik
5 Meter	100%	0,60 dtk	Sangat baik
7 Meter	100%	1,14 dtk	Sangat baik
9 Meter	66 %	2.56 dtk	Cukup baik
11 Meter	66 %	5,48 dtk	Cukup baik
13 Meter	33 %	7.21 dtk	Kurang baik
15 Meter	0 %	-	Buruk

Berdasarkan hasil pengujian AIS yang dilakukan di darat dan laut, dapat disimpulkan bahwa performa AIS sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor utama, termasuk jarak antara pemancar (*transmitter*) dan penerima (*receiver*), kondisi geografis seperti keberadaan

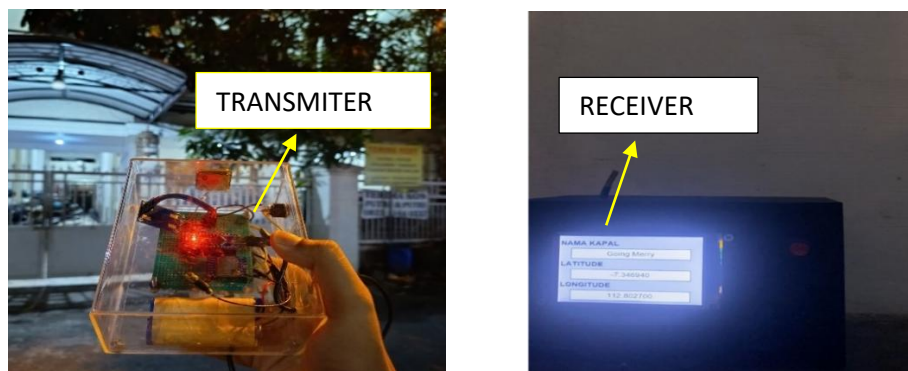
bangunan atau pegunungan yang dapat menghalangi sinyal, serta kondisi cuaca yang dapat memengaruhi propagasi gelombang radio. Semakin jauh jarak antara pemancar dan penerima, serta semakin kompleks kondisi lingkungan di sekitarnya, semakin besar potensi gangguan terhadap kualitas dan keakuratan data yang diterima.

Tabel 4. Pengujian Alat Laut di Selat Madura 2

Jarak	Performa AIS	<i>Time delay</i>	Keterangan
15 Meter	0 %	-	Buruk
13 Meter	33 %	8,32 dtk	Kurang baik
11 Meter	66 %	7,54 dtk	Cukup baik
9 Meter	66 %	5,12 dtk	Cukup baik
7 Meter	100 %	3,45 dtk	Sangat baik
5 Meter	100 %	0,57 dtk	Sangat baik
3 Meter	100 %	0,38 dtk	Sangat baik
1 Meter	100 %	0,11 dtk	Sangat baik

Pengujian NLOS

NLOS (*Non-Line of Sight*) adalah kondisi dalam komunikasi nirkabel di mana sinyal tidak dapat langsung menjangkau penerima karena terhalang oleh objek seperti bangunan, pohon, atau medan geografis. pengujian ini dilakukan dengan receiver diletakkan didalam ruangan dan transmitter di luar ruangan yang bertujuan untuk mengetahui NLOS dari alat tersebut.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 12. Pengujian NLOS (*Non Light Of Sight*)

Tabel 6. Pengujian NLOS (*Non Line of Sight*)

Jarak	Performa AIS	<i>Time delay</i>	Keterangan
1 Meter	100 %	0,19 dtk	Masih lancar
3 Meter	100%	0,46 dtk	Ada hambatan rumah
5 Meter	100%	1,03 dtk	Ada hambatan di jalan
7 Meter	66%	1,30 dtk	Hambatan pepohonan
9 Meter	33 %	2,30 dtk	Latitude dan longitude mulai tidak terdeteksi
11 Meter	0%	3,05 dtk	Receiver tidak dapat mendeteksi atau eror

Pada pengujian tabel diatas dapat disimpulkan bahwa saat pengujian NLOS banyak hambatan yang mengganggu kinerja dari alat yang diuji sehingga pada pengujian inibertujuan untuk mengetahui berapa jarak yang mampu diterima oleh alat untuk pengujian ini. dan disimpulkan bahwa alat hanya mampu mencapai pengujian pada jarak 11 meter, dikarenakan adanya hambatan yang menghalangi.

Kesimpulan dari pengujian di bandara

Pada kedua pengujian transmitter AIS diatas penguji menggunakan spectrum analysis untuk pengujian frekuensi yang dikeluarkan LoRa apakah sesuai dengan kaidah ,dan didapatkan hasil dalam pengujian tersebut frekuensi yang terkirim adalah 433 MHz pada jarak 11-13 m dan sinyal frekuensi mulai melemah di jarak 14-16 m sedangkan pada jarak 17-19m frekuensi sudah tidak dibaca oleh *spectrum* .sedangkan dalam pengujian laut dan darat jarak pengujian di laut lebih memiliki jarak yang lebih pendek daripada didarat . pada pengujian ini perangkat modul GPS M8N menggunakan antena jenis helikal, Antena helikel adalah jenis antena yang terdiri dari kawat konduktor yang dililit dalam bentuk spiral atau heliks. antena helikel pada modul GPS seperti NEO-M8N berfungsi sebagai **penerima pasif**. Artinya, antena ini tidak memancarkan sinyal, melainkan hanya menerima sinyal yang dipancarkan oleh satelit. Oleh karena itu, konsep "jarak maksimum" dalam konteks ini mengacu pada kemampuan antena. **Sensitivitas Receiver** Kemampuan modul untuk mendeteksi sinyal lemah. RSSI biasanya diukur dalam **dBm** (decibel-milliwatt), dengan nilai lebih tinggi (lebih dekat ke 0) menunjukkan sinyal yang lebih kuat. Dalam sistem komunikasi satelit atau GPS, RSSI dapat berada dalam rentang berikut:

Tabel 7. RSSI antena helical GPS M8N

Deskripsi	RSSI
Sinyal sangat kuat	-50 dBm hingga -70 dBm
Sinyal baik	-70 dBm hingga -90 dBm
Sinyal lemah	-90 dBm hingga -110 dBm
Sinyal hampir hilang	Di bawah -110 dBm

Analisa data antena lora RA-02

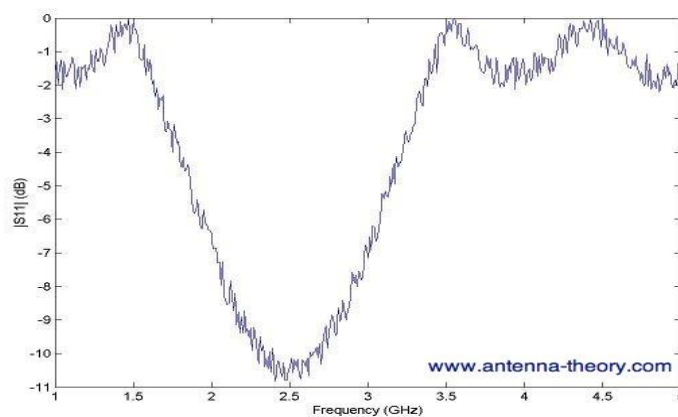
Modul LoRa RA-02 menggunakan teknologi komunikasi LoRa dengan kemampuan jangkauan luas dan konsumsi daya rendah. Salah satu komponen utama dalam sistem komunikasi ini adalah antena, yang berperan dalam efisiensi propagasi sinyal. Analisis antena menjadi penting untuk memahami performa transmisi dan penerimaan sinyal dalam berbagai kondisi lingkungan. Spesifikasi antena helical/spiral LoRa yang mana frekuensi operasionalnya 410-525 MHz atau 862-1020 MHz sesuai varian dari antena helical/spiral, penulis menggunakan frekuensi 433 yang mana dapat memancarkan daya hingga +20 dBm dan daya penerimaan hingga sampai dengan 148 dBm yaitu helix multilayer yang dapat meningkatkan resonansi dan gain. Lebih efisien dalam transmisi daya dalam jarak tertentu. Pada pengujian tabel 4.1 frekuensi lora hanya dapat diterima sampai dengan -120 dBm sedangkan pada spesifikasi data lora penerima dapat menerima sampai -148 dBm itu dikarenakan pada pengujian ini dilakukan di bandara sehingga banyak frequency yang berinterferensi sehingga mengganggu sensitivitas penerima dan menyebabkan terjadinya pergeseran frequency dari 433 Mhz ke 434 Mhz.

Tabel 8. Spesifikasi Antena LoRa RA-02

Parameter	Nilai
Frekuensi Operasional	410 – 525 MHz / 862 – 1020 MHz (tergantung varian)
Impedansi	50 Ohm
Daya Pancaran (TX Power)	Hingga +20 dBm
Sensitivitas Penerima (RX Sensitivity)	Hingga -148 dBm
Jenis Modulasi	LoRa Spread Spectrum (CSS)

Teori tentang S. parameter

S-parameter (*Scattering Parameter*) yang digunakan dalam analisis sistem radio frekuensi (RF) dan gelombang mikro. S Parameter menggambarkan hubungan input-output antara port (atau terminal) dalam sistem kelistrikan. Port dapat didefinisikan secara bebas sebagai tempat di mana kita dapat menyalurkan tegangan dan arus. Jadi, jika kita memiliki sistem komunikasi dengan dua radio (radio 1 dan radio 2), maka terminal radio (yang menyalurkan daya ke dua antena) akan menjadi dua port. S11 kemudian akan menjadi daya pantul yang coba disalurkan radio 1 ke antena 1. S22 akan menjadi daya pantul yang coba disalurkan radio 2 ke antena 2. Dan S12 adalah daya dari radio 2 yang disalurkan melalui antena 1 ke radio 1. Perhatikan bahwa secara umum parameter S merupakan fungsi frekuensi (yaitu bervariasi dengan frekuensi).



Sumber: <https://www.antennatheory.com/definitions/sparameters.php>

Gambar 13. plot S11 parameters

S11 biasanya diukur menggunakan Vector Network Analyzer (VNA), yang dapat memetakan nilai refleksi antena. Dari gambar yang tersedia, terlihat bahwa antena mencapai kinerja radiasi optimal pada frekuensi 2,5 GHz, di mana S11 bernilai -10 dB. Sebaliknya, pada 1,5 GHz, hampir tidak ada radiasi yang dipancarkan karena S11 mendekati 0 dB, yang menunjukkan bahwa seluruh daya dipantulkan. Selain itu, gambar tersebut juga memungkinkan penentuan lebar pita antena. Jika lebar pita didefinisikan sebagai rentang frekuensi dengan S11 kurang dari -6 dB, maka antena memiliki lebar pita sekitar 1 GHz, dengan batas bawah di 2 GHz dan batas atas di 3 GHz.

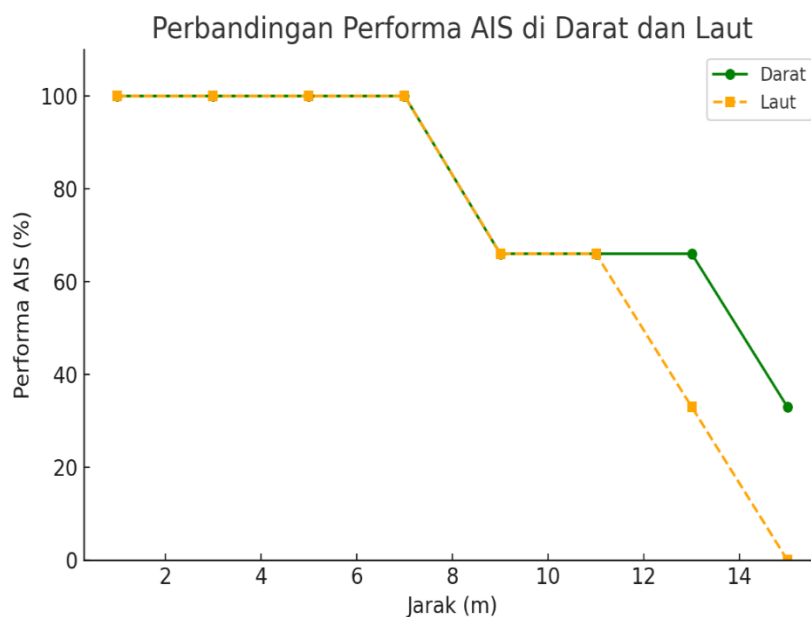
S11 biasanya diukur menggunakan Vector Network Analyzer (VNA), yang dapat memetakan nilai refleksi antena. Dari gambar yang tersedia, terlihat bahwa antena mencapai kinerja radiasi optimal pada frekuensi 2,5 GHz, di mana S11 bernilai -10 dB. Sebaliknya, pada 1,5 GHz, hampir tidak ada radiasi yang dipancarkan karena S11 mendekati 0 dB, yang

menunjukkan bahwa seluruh daya dipantulkan. Selain itu, gambar tersebut juga memungkinkan penentuan lebar pita antenna. Jika lebar pita didefinisikan sebagai rentang frekuensi dengan S_{11} kurang dari -6 dB, maka antenna memiliki.

Analisa Data

Analisa data performa AIS

Berdasarkan hasil pengujian, performa AIS menunjukkan hasil optimal pada jarak 1 hingga 7 meter dengan tingkat keberhasilan penerimaan data mencapai 100%, menandakan tidak adanya kehilangan data dalam rentang tersebut. Namun, setelah melewati 9 meter, terjadi penurunan performa hingga 66%, yang menunjukkan adanya kehilangan data sekitar 34% akibat gangguan sinyal. Penurunan ini semakin tajam pada jarak 15 meter, di mana hanya 33% data yang dapat diterima, sebelum akhirnya sinyal sepenuhnya hilang pada 16 meter (0%). Hasil ini mengindikasikan bahwa sistem memiliki keterbatasan dalam jangkauan komunikasi, di mana semakin besar jarak antara pemancar dan penerima, semakin sulit sinyal AIS diterima dengan optimal. Berikut ini adalah grafik perbandingan performa AIS di darat dan di laut.

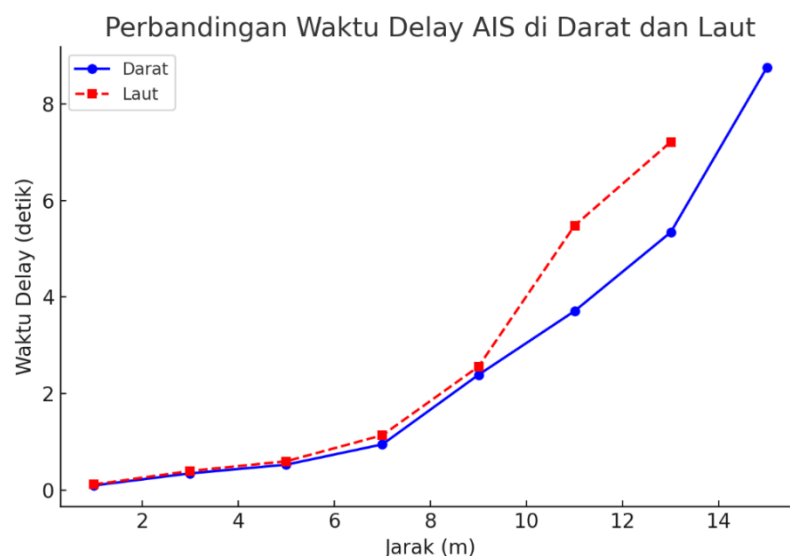


Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 14. Chart data performa AIS

Analisa data *time-delay* AIS

Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu delay meningkat seiring dengan bertambahnya jarak. Pada jarak 1 meter, delay sangat rendah, hanya 0,1 detik, memungkinkan komunikasi berlangsung secara real-time. Namun, seiring bertambahnya jarak, delay juga mengalami peningkatan. Misalnya, pada 7 meter, delay mencapai 0,95 detik, yang masih tergolong baik. Namun, pada rentang 9 hingga 13 meter, delay meningkat secara signifikan dari 2,39 detik hingga 5,34 detik, menandakan adanya hambatan dalam transmisi data. Pada jarak 15 meter, delay mencapai 8,75 detik, mengindikasikan bahwa sistem mulai mengalami kesulitan dalam menjaga koneksi yang stabil. Sementara itu, pada jarak 16 meter, tidak ada data yang diterima, sehingga delay tidak dapat diukur karena sistem telah kehilangan koneksi sepenuhnya. Berikut ini adalah grafik hasil pengujian delay AIS



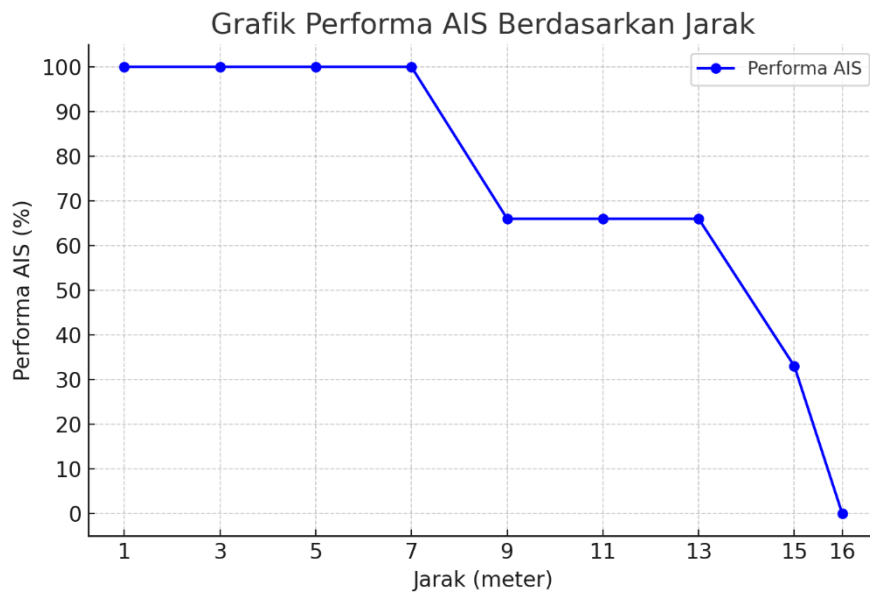
Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 15. Chart Perbandingan Waktu Delay

Analisa data pengujian jarak AIS

Berdasarkan hasil pengujian, AIS berfungsi dengan baik dalam rentang jarak 1 hingga 9 meter, dengan performa yang stabil dan delay masih dalam batas yang dapat diterima. Namun, pada jarak 9 hingga 13 meter, mulai terjadi gangguan sinyal yang ditandai dengan penurunan performa hingga 66% serta peningkatan delay yang cukup signifikan. Pada jarak 15 meter, koneksi menjadi tidak stabil dengan tingkat keberhasilan hanya 33%, sebelum akhirnya pada 16 meter sistem tidak lagi dapat menerima sinyal. Dengan demikian, jarak optimal untuk komunikasi AIS yang akurat dan real-time adalah di bawah 9 meter, sedangkan batas maksimal komunikasi yang masih dapat diterima berada di kisaran 13 hingga 15 meter. Jika sistem

diharapkan dapat menjangkau area yang lebih luas, maka diperlukan upaya optimalisasi, seperti peningkatan daya pemancar atau penggunaan antena dengan gain yang lebih tinggi.



Sumber : Dokumen Pribadi

Gambar 16. Chart data performa AIS berdasarkan jarak

Analisa konsumsi daya

Pengujian daya baterai dilakukan untuk mengevaluasi kapasitas, efisiensi, dan ketahanan baterai dalam berbagai kondisi penggunaan. Pengujian mencakup pengukuran waktu pengisian dan pengosongan daya, efisiensi energi, performa pada berbagai suhu, serta siklus pengisian ulang untuk menilai umur baterai. Selain itu, uji keamanan seperti perlindungan terhadap overcharge, over-discharge, dan lonjakan arus juga dilakukan guna memastikan baterai aman untuk digunakan.

Analisis konsumsi daya listrik merupakan aspek krusial dalam perancangan sistem penerima Automatic Identification System (AIS) berbasis teknologi Long Range (LoRa). Tujuan utama dari analisis ini adalah memastikan bahwa setiap komponen dalam sistem beroperasi secara efisien dan sesuai dengan sumber daya yang tersedia, terutama baterai lithium sebagai penyedia daya utama. Dengan memahami kebutuhan daya masing-masing komponen, penulis dapat memperkirakan lama operasional sistem, mengidentifikasi peluang untuk menghemat energi, serta menjamin kestabilan sistem selama digunakan.

Berikut adalah analisis konsumsi daya dari setiap komponen:

- a. Arduino Nano berfungsi sebagai pusat pemrosesan data dalam sistem, dengan konsumsi daya rata-rata sekitar 100 mA saat menjalankan tugas seperti menerima data dari LoRa

- b. Module GPS M8N berperan sebagai salah satu komponen utama dalam komunikasi data AIS .dalam mode pengiriman konsumsi daya rata-rata sekitar 30-40 mA ,sedangkan dalam mode transmisi dapat mencapai 120 mA.karena module ini lebih sering digunakan dalam mode pengiriman konsumsi dayanya relatif lebih rendah.
- c. Modul LoRa berperan sebagai komponen utama dalam komunikasi data, mengirim informasi AIS ke pemancar. Dalam mode penerimaan, konsumsi daya rata-rata sekitar 50 mA, sedangkan dalam mode transmisi dapat mencapai 120 mA. Karena modul lebih sering berada dalam mode pengiriman, konsumsi dayanya relatif lebih rendah, menjadikannya solusi efisien untuk komunikasi jarak jauh.
- d. Modul Charger berfungsi mengisi daya baterai lithium dan menjaga kestabilan pasokan daya sistem. Konsumsi daya modul ini sangat kecil, hanya sekitar 10 mA, dan hanya aktif saat proses pengisian daya berlangsung. Modul ini dirancang untuk bekerja secara efisien tanpa mengganggu operasi komponen lain.
- e. Baterai lithium menjadi sumber utama daya bagi seluruh sistem. Dengan kapasitas standar 3000 mAh, baterai ini mampu menyuplai daya yang cukup untuk mengoperasikan sistem selama 2-3 jam. Untuk menyesuaikan kebutuhan daya komponen lain.
- f. Kesimpulan dari analisis konsumsi daya listrik ini tidak hanya memberikan gambaran mengenai efisiensi daya dalam sistem, tetapi juga membantu dalam menentukan kapasitas daya yang sesuai serta memperkirakan durasi operasional yang dapat dicapai.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, mulai dari pengujian perangkat hingga sistem kerja transmitter AIS, dapat disimpulkan bahwa transmitter AIS menunjukkan kinerja yang sesuai dengan standar komunikasi maritim, terutama dalam aspek daya pancar, keakuratan transmisi data, dan sensitivitas penerimaan sinyal. Perangkat ini mampu beroperasi pada frekuensi 433 MHz dengan modulasi FSK serta dapat mengirimkan data navigasi secara real-time dengan keterlambatan minimal ke receiver. Meskipun demikian, terdapat penurunan kualitas sinyal dalam kondisi dengan interferensi tinggi atau hambatan geografis, sehingga diperlukan optimalisasi daya pancar dan peningkatan ketahanan terhadap gangguan untuk menjamin keandalan sistem dalam berbagai kondisi operasional. Untuk memenuhi persyaratan kinerja dan regulasi AIS, transmitter berbasis LoRa perlu memiliki spesifikasi teknis yang sesuai dengan standar komunikasi maritim, seperti frekuensi kerja 433 MHz, daya pancar minimal 2W, dan bandwidth sebesar 25 kHz. Selain itu, transmitter harus memiliki sensitivitas

penerimaan yang tinggi, mendukung integrasi dengan sistem navigasi seperti GPS untuk meningkatkan akurasi data posisi, serta mempertimbangkan efisiensi daya dan ketahanan terhadap interferensi agar tetap stabil dalam berbagai kondisi lingkungan. Berdasarkan pengujian dan evaluasi, transmitter AIS LoRa dengan frekuensi kerja 433 MHz dan bandwidth 125 kHz menggunakan modul LoRa RA-02 dengan daya pancar maksimal 13 dBm menunjukkan kemampuan dalam mengirimkan data dengan tingkat keandalan yang baik di lingkungan maritim yang terbatas. Meskipun terdapat kendala akibat hambatan fisik dan kondisi cuaca, teknologi LoRa tetap dapat menjadi alternatif komunikasi AIS dengan jangkauan yang luas dan konsumsi daya rendah. Namun demikian, untuk meningkatkan efektivitasnya di lingkungan maritim yang lebih kompleks, dibutuhkan optimasi lebih lanjut pada konfigurasi sistem dan penempatan perangkat.

Berdasarkan hasil perancangan, implementasi, dan pengujian sistem penerima AIS berbasis LoRa, beberapa rekomendasi dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut. Pertama, peningkatan jangkauan komunikasi dan ketepatan data dapat dilakukan dengan menggunakan modul GPS yang lebih canggih atau antena dengan gain yang lebih tinggi. Kedua, untuk mengoptimalkan efisiensi daya, penggunaan baterai dengan kapasitas yang lebih besar dapat memperpanjang durasi operasional sistem. Ketiga, integrasi dengan perangkat Internet of Things (IoT) sangat disarankan agar sistem mampu melakukan pemantauan data AIS secara jarak jauh melalui jaringan internet, sehingga meningkatkan fleksibilitas dan efektivitas penggunaannya di berbagai kondisi lapangan.

REFERENSI

- Apriani, Y., Oktaviani, W. A., & Sofian, I. M. (2023). Vessel tracking system based LoRa. *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro Komputer dan Informatika (JITEKI)*, 9(3). <https://doi.org/10.26555/jiteki.v9i3.26385>
- Azis, M., & Fahmi, A. (2022). Desain sistem komunikasi kapal menggunakan LoRa untuk wilayah perairan Indonesia. *Jurnal Ilmu Komputer dan Informatika (JIKI)*, 7(2), 110–118. <https://doi.org/10.32672/jiki.v7i2.3572>
- Chandra, H. (2020, January). Rekomendasi.
- Gordon, J. (1982). Electronic communication systems. *Electronics and Power*, 28(10). <https://doi.org/10.1049/ep.1982.0354>
- Ikhsan, M. Y., & Suhata. (2012). Rancang bangun basis data sistem tracking kapal berbasis AIS. *Seminar Nasional Teknologi Kebumihan (SIPTEKGAN)*, XVI, 569–575. http://repository.lapan.go.id/index.php?p=show_detail&id=6087

- Mileski, C. B. G. J. (2019). *Maritime cyber security: A comparative analysis of U.S. and international regulation on AIS data receptors* [Master's thesis, Texas A&M University]. Texas A&M University Repository. <https://hdl.handle.net/1969.1/175401>
- Noor, I., Kusuma, D., & Muhammad, A. (2022). Transmisi. *Jurnal Teknik Mesin Terapan*, 18(1), 5–10. <https://doi.org/10.26905/jtmt.v18i1.7931>
- Putra, R. Y., & Haryanto, A. (2020). Analisis kualitas sinyal LoRa untuk komunikasi data pada sistem monitoring jarak jauh. *Jurnal Teknik ITS*, 9(1), A93–A97. <https://doi.org/10.12962/j23373539.v9i1.52367>
- Rachman, F., & Rizky, F. (2021). Implementasi LoRa untuk sistem pemantauan kapal berbasis IoT. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 9(2), 125–132. <https://doi.org/10.14710/jtsiskom.9.2.2021.125-132>
- Rahman, R., & Hasbi, I. (2021). Perancangan prototipe sistem navigasi kapal berbasis GPS dan LoRa. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JTIK)*, 8(3), 497–504. <https://doi.org/10.25126/jtiik.202183318>
- Santoso, B., & Pratama, A. H. (2021). Pengembangan sistem informasi pemantauan kapal berbasis AIS dan visualisasi berbasis web. *Jurnal Informatika*, 15(1), 32–38. <https://doi.org/10.30591/ji.v15i1.2505>
- Sari, R. P., Lindawati, L., & Soim, S. (2022). Monitoring kapal menggunakan Automatic Identification System (AIS) dengan RTL-SDR dan Low Noise Amplifier (LNA). *Jurnal Ilmiah Teknik Elektro*, 9(2), 119. <https://doi.org/10.33387/protk.v9i2.4691>
- U-Blox. (2016). *u-blox M8 concurrent GNSS modules* [Data sheet]. https://content.u-blox.com/sites/default/files/NEO-M8-FW3_DataSheet_UBX-15031086.pdf
- Wibowo, A. P., & Lestari, D. P. (2020). Perbandingan performa modul komunikasi nirkabel LoRa dan Zigbee dalam sistem monitoring. *Jurnal Teknik Elektro dan Komputer*, 6(1), 15–22. <https://doi.org/10.31294/teknokom.v6i1.7693>
- Wijaya, D., & Setiawan, F. (2019). Studi komparatif LoRa dan NB-IoT pada implementasi sistem pelacakan kapal. *Jurnal Telekomunikasi dan Informatika*, 7(4), 205–212. <https://doi.org/10.25124/jti.v7i4.2387>