

Pengembangan AIS Mobile Berbasis GPS dan Sensor Tekanan Udara dengan Evaluasi Packet Delivery Ratio untuk Kapal Nelayan

Hollanda Arief Kusuma*, Handallah Jabbal Nur

Program Studi Teknik Elektro, Universitas Maritim Raja Ali Haji, Indonesia

ARTICLE INFO

Riwayat Artikel:

Draft diterima: 09 Februari 2025

Revisi diterima: 06 Maret 2025

Diterima: 14 Maret 2025

Tersedia Online: 21 April 2025

Corresponding author:

hollandakusuma@umrah.ac.id

ABSTRAK

Keselamatan pelayaran kapal nelayan masih menghadapi tantangan akibat keterbatasan perangkat navigasi dan komunikasi. Automatic Identification System (AIS) adalah solusi navigasi yang dapat meningkatkan keselamatan kapal, namun harga perangkat AIS yang tinggi menjadi kendala bagi kapal nelayan kecil. Penelitian ini mengembangkan perangkat AIS Mobile berbasis GPS, sensor tekanan udara BME280, dan GSM (SIM7000E) sebagai alternatif yang lebih ekonomis. Perangkat ini mampu mengirimkan data posisi kapal, arah, kecepatan, tekanan udara, suhu, dan ketinggian tempat ke platform IoT Ubidots secara *real-time*. Analisis dilakukan terhadap akurasi sensor, efisiensi konsumsi daya, dan keberhasilan pengiriman data yang diukur melalui *Packet Delivery Ratio* (PDR). Hasil kalibrasi sensor BME280 menunjukkan akurasi 99,7% dengan nilai RMSE 0,0022 hPa. Pengujian lapangan di perairan Tanjung Berakit menunjukkan bahwa perangkat dapat mengirimkan data posisi dengan PDR sebesar 85,5%. Implementasi AIS Mobile ini menawarkan solusi yang lebih terjangkau dibandingkan AIS konvensional, sekaligus meningkatkan keselamatan kapal nelayan melalui pemantauan data navigasi dan kondisi lingkungan secara *real-time*.

Kata kunci: AIS, SIM7000E, BME280, Ubidots, Rasio Pengiriman Paket Data.

ABSTRACT

The safety of fishing vessel navigation still faces challenges due to limitations in navigation and communication devices. The Automatic Identification System (AIS) is a navigation solution that can enhance vessel safety. However, the high cost of AIS devices becomes a constraint for small fishing vessels. This study develops a Mobile AIS device based on GPS, the BME280 air pressure sensor, and GSM (SIM7000E) as a more economical alternative. The device can transmit ship position, direction, speed, air pressure, temperature, and altitude data to the Ubidots IoT platform in *real-time*. Analysis was conducted on sensor accuracy, power consumption efficiency, and data transmission performance measured through *Packet Delivery Ratio* (PDR). The calibration results of the BME280 sensor showed 99.7% accuracy with an RMSE value of 0.0022 hPa. Field testing in the waters of Tanjung Berakit demonstrated that the device successfully transmitted position data with a PDR of 85.5%. The implementation of this Mobile AIS provides a more affordable solution compared to conventional AIS while improving the safety of fishing vessels through *real-time* monitoring of navigation data and environmental conditions.

Keywords: AIS, SIM7000E, BME280, Ubidots, Packet Delivery Ratio.

1. PENDAHULUAN

Kecelakaan kapal di perairan Indonesia tetap menjadi permasalahan serius, dengan berbagai insiden seperti tenggelam, kebakaran, tabrakan, dan kandas [1], [2]. Beberapa faktor utama yang memicu kecelakaan tersebut meliputi kesalahan manusia, gangguan teknis, kondisi cuaca yang buruk, aspek konstruksi, alat keselamatan, alat navigasi, alat komunikasi, pengawakan, manajemen, pengawasan, peraturan [1], [3], [4]. Berdasarkan analisis data Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT), kebakaran merupakan jenis kecelakaan yang paling sering terjadi (37%), sementara Laut Jawa menjadi wilayah dengan tingkat risiko tertinggi (36,7% dari total kasus) [2]. Pengawasan ketat oleh pemerintah, penerapan regulasi yang efektif oleh operator, dan pemanfaatan fasilitas pelayaran secara optimal dilakukan untuk meningkatkan keselamatan pelayaran [1]. Selain itu, disiplin awak kapal, kelaiklautan kapal, alat keselamatan yang memadai, dan sarana bantu navigasi yang baik juga berpengaruh positif

terhadap keselamatan pelayaran kapal penangkap ikan [5]. Oleh karena itu, penggunaan perangkat navigasi yang andal sangat diperlukan untuk meningkatkan keselamatan kapal, termasuk kapal nelayan.

Salah satu perangkat navigasi yang berperan penting dalam keselamatan kapal adalah Sistem Identifikasi Otomatis atau lebih dikenal dengan nama *Automatic Identification System* (AIS). AIS adalah sistem navigasi berbasis radio VHF yang memungkinkan pertukaran informasi kapal, sehingga meningkatkan keselamatan maritim dan efisiensi operasional [6]. AIS mengirimkan data penting seperti identitas kapal, posisi, kecepatan, dan arah, yang dapat digunakan untuk melacak pergerakan kapal, sebagaimana ditunjukkan dalam studi tentang pergerakan kapal di Selat Singapura dan Perairan Batam [7]. AIS mampu digunakan untuk memantau pergerakan kapal, mencegah tabrakan, serta mendukung operasi *search and rescue* (SAR) [8], [9]. AIS terbagi menjadi dua kelas, yakni AIS Kelas A untuk kapal besar yang wajib mengikuti regulasi SOLAS dan AIS Kelas B untuk kapal non-SOLAS seperti kapal nelayan kecil [10]. Namun, harga perangkat AIS yang tinggi menjadi kendala bagi nelayan, sehingga banyak kapal kecil yang tidak menggunakan sistem ini [11].

Beberapa penelitian telah mengembangkan AIS untuk kapal nelayan kecil guna meningkatkan keselamatan pelayaran. Widyanto [12] telah mengembangkan AIS Kelas B berbasis VHF untuk kapal tradisional yang mampu mengirimkan data lokasi kapal, sinyal bahaya, dan informasi lokasi ikan. Namun, sistem ini masih memiliki keterbatasan dalam jangkauan komunikasi, karena bergantung pada frekuensi radio VHF yang rentan terhadap interferensi dan kondisi cuaca. Selain itu, tidak ada integrasi dengan platform IoT, sehingga data tidak dapat diakses secara *real-time* melalui perangkat mobile.

Penelitian lain oleh Kuncoro [11] juga telah mengembangkan perangkat AIS PELAYAR'S, yaitu desain ulang AIS berbasis VHF dengan ukuran yang lebih kompak dan dilengkapi soket pengisian daya baterai agar lebih praktis digunakan oleh nelayan. Sistem ini bekerja dengan cara mentransmisikan data ke stasiun darat seperti *Base Transceiver Station* (BTS), memungkinkan kapal nelayan untuk tetap terpantau. Namun, solusi ini tetap memiliki keterbatasan dalam hal jangkauan komunikasi, karena masih bergantung pada infrastruktur AIS onshore base station. Selain itu, penelitian ini tidak menyertakan sensor lingkungan untuk mendukung informasi cuaca atau analisis keberhasilan pengiriman data.

Selanjutnya, penelitian oleh Maulidi [9] mengembangkan AIS berbasis Mini PC dengan modul GPS, kompas, dan VHF transmitter. Sistem ini dapat mengirimkan posisi, kecepatan, dan arah kapal serta diakses melalui Web Server. Keunggulan utama dari penelitian ini adalah biaya perangkat yang lebih murah dibandingkan AIS komersial. Namun, penelitian ini masih terbatas pada komunikasi berbasis VHF, tanpa adanya sensor cuaca atau analisis performa transmisi data yang lebih mendalam.

Namun, seluruh penelitian tersebut menggunakan pendekatan VHF, yang memiliki keterbatasan dalam jangkauan komunikasi dan biaya operasional. Data AIS umumnya dikirimkan melalui gelombang VHF ke server, kemudian diteruskan ke kapal lain serta base station darat [13]. Selain itu, salah satu komponen penting dalam sistem AIS adalah GPS, yang berfungsi untuk memantau posisi kapal secara akurat. Informasi meteorologi juga menjadi aspek krusial dalam mengurangi risiko kecelakaan, seperti dengan memantau tekanan udara dan kondisi cuaca secara *real-time* [14].

Berbeda dengan penelitian sebelumnya, penelitian ini mengembangkan AIS Mobile berbasis GSM (SIM7000E), GPS, dan sensor tekanan udara BME280 sebagai alternatif AIS berbasis VHF. Teknologi transmisi berbasis GSM mulai dikembangkan sebagai solusi yang lebih fleksibel dan hemat biaya dibandingkan sistem AIS konvensional [15]. Sistem ini mampu mengirimkan data posisi kapal, arah, kecepatan, tekanan udara, suhu, dan ketinggian ke platform IoT Ubidots secara *real-time*, yang dapat diakses dengan mudah melalui smartphone, tanpa memerlukan stasiun darat tambahan.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan mengevaluasi AIS Mobile berbasis GSM, dengan fokus pada akurasi sensor, efisiensi transmisi data yang diukur melalui *Packet Delivery Ratio* (PDR), serta perbandingan kualitas dan manfaat ekonomi dibandingkan AIS konvensional. Dengan pendekatan ini, sistem yang dikembangkan menawarkan solusi yang lebih fleksibel, ekonomis, serta mampu memberikan informasi navigasi dan kondisi lingkungan secara lebih akurat untuk meningkatkan keselamatan kapal nelayan.

2. METODE PENELITIAN

1. Perancangan Sistem

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental dengan pendekatan kuantitatif untuk mengembangkan dan menguji AIS Mobile berbasis GSM dalam skenario operasional nyata. Sistem ini dirancang untuk kapal nelayan kecil agar dapat mengirimkan data posisi, kecepatan, arah kapal, serta informasi tekanan udara dan suhu secara *real-time* ke platform Ubidots. Dengan pendekatan ini, dilakukan perancangan perangkat keras dan lunak, pengujian sistem di lapangan, serta analisis akurasi sensor dan efisiensi transmisi data guna memastikan performa yang optimal.

Perangkat AIS Mobile ini terdiri dari Arduino Mega Pro 2560, sensor BME280, TFT Display, dan SIM 7000E. Blok diagram perangkat terlihat pada **Gambar 1**. Arduino Mega Pro 2560 berfungsi sebagai pusat kendali. Arduino Mega Pro 2560 dipilih karena memiliki jumlah pin input/output yang banyak, kapasitas memori besar, serta kemampuan pemrosesan lebih baik dibandingkan

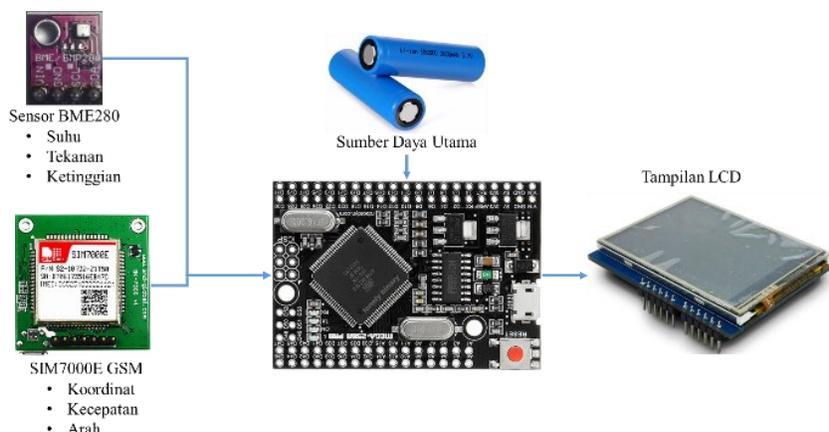
varian Arduino lainnya [16]. Dengan spesifikasi ini, berbagai sensor dan modul komunikasi dalam sistem dapat dikendalikan secara optimal.

Pemantauan kondisi lingkungan dilakukan menggunakan sensor BME280 yang mampu mengukur tekanan udara, suhu, dan kelembaban dengan akurasi tinggi [17]. Penggunaan sensor ini memungkinkan perubahan tekanan udara dipantau untuk memperkirakan kondisi cuaca, sehingga berkontribusi dalam peningkatan keselamatan pelayaran bagi nelayan. Data tekanan udara dari sensor ini digunakan untuk memperkirakan perubahan cuaca, sehingga dapat meningkatkan keselamatan pelayaran bagi nelayan. Antarmuka pengguna disediakan melalui TFT Display, yang menampilkan informasi posisi kapal, kondisi cuaca, dan status komunikasi secara *real-time*. TFT Display dipilih karena tampilan warnanya yang jelas, sehingga tetap mudah dibaca dalam berbagai kondisi pencahayaan di laut.

SIM 7000E digunakan sebagai modul komunikasi yang berfungsi sebagai pengirim data secara *real-time* ke server Ubidots dan penerima informasi dari jaringan komunikasi. Modul ini mendukung konektivitas GSM, GPRS, LTE Cat-M1, dan NB-IoT, sehingga cocok untuk aplikasi maritim [18]. Keunggulannya mencakup konsumsi daya rendah dan efisiensi komunikasi jarak jauh, yang menjadikannya lebih andal dalam berbagai kondisi operasional di laut.

Setelah perancangan sistem selesai, dilakukan pembuatan skematik PCB, penyolderan komponen, serta pengecekan koneksi jalur sebelum modul ditempatkan pada PCB yang telah dibuat. Firmware dikembangkan menggunakan Arduino IDE, dengan pemrograman yang memastikan setiap komponen bekerja sesuai dengan spesifikasi yang dirancang.

Sistem pemantauan ini berbasis IoT melalui platform Ubidots, yang digunakan untuk menampilkan sinyal komunikasi, ketinggian tempat, tekanan udara, dan suhu udara. Proses awal pengembangan *dashboard* mencakup registrasi akun Ubidots, pembuatan channel data, serta pengaturan tampilan informasi agar sesuai dengan kebutuhan pengguna.



Gambar 1. Diagram perancangan perangkat

2. Analisis Data

Pada tahap analisis data, sensor BME280 dikalibrasi untuk menentukan seberapa besar perbedaan antara hasil pembacaan sensor (\hat{y}_i) dengan nilai referensi dari alat kalibrator (y_i). Selisih nilai ini digunakan untuk menghitung persentase kesalahan (% error) yang dapat dilihat pada Persamaan 1. Dari nilai % error tersebut, persentase akurasi (% akurasi) dihitung dengan rumus pada Persamaan 2. Selain itu, nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) dihitung untuk menentukan tingkat kesalahan data pada sensor secara keseluruhan dengan menggunakan formula pada Persamaan 3 [19]. Hasil kalibrasi ini memberikan gambaran seberapa konsisten sensor dalam mengukur parameter lingkungan. Jika terdapat perbedaan yang signifikan antara nilai sensor dan nilai kalibrator, sensor dianggap tidak layak untuk digunakan dalam penelitian ini. Dalam kalibrasi, persamaan regresi linear ini diperoleh dengan metode *Least Squares Regression*, yang menghasilkan hubungan antara pembacaan sensor BME280 (x) dan nilai referensi tekanan udara dari BMKG (y). Berdasarkan hasil analisis regresi, diperoleh persamaan koreksi tekanan udara yang ditunjukkan pada Persamaan 5. y merupakan nilai tekanan udara setelah dikoreksi, sementara x adalah nilai tekanan udara yang diukur oleh sensor BME280. Parameter a berfungsi sebagai intersep, sedangkan b mewakili kemiringan (*slope*) dari hubungan regresi antara kedua variabel.

Selanjutnya, perangkat diuji di lapangan untuk memperoleh data posisi, arah, kecepatan kapal, suhu, ketinggian, dan tekanan udara. Data yang dikumpulkan disimpan di SD card dan dibandingkan dengan data yang dikirimkan ke platform Ubidots guna menghitung *Packet Delivery Ratio* (PDR) [20]. Rumus PDR ditunjukkan pada Persamaan 4. Analisis data ini memungkinkan evaluasi

menyeluruh terhadap akurasi sensor dan efisiensi transmisi data sistem AIS Mobile berbasis GSM, sehingga dapat diketahui apakah sistem yang dikembangkan memenuhi spesifikasi yang diharapkan dalam kondisi operasional nyata.

$$\%error = \left| \frac{Nilai\ Kalibrator - Nilai\ Sensor}{Nilai\ Kalibrator} \right| \times 100\% \tag{1}$$

$$\%akurasi = 100\% - \%error \tag{2}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \tag{3}$$

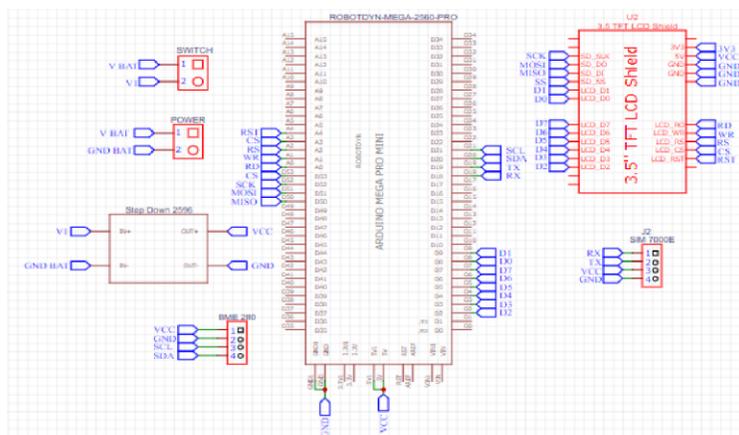
$$y = a + bx \tag{5}$$

$$PDR = \left(\frac{Paket\ Data\ Dikirim - Paket\ Data\ Terkirim}{Paket\ Data\ yang\ Dikirim} \right) \times 100\% \tag{6}$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Fabrikasi Perangkat

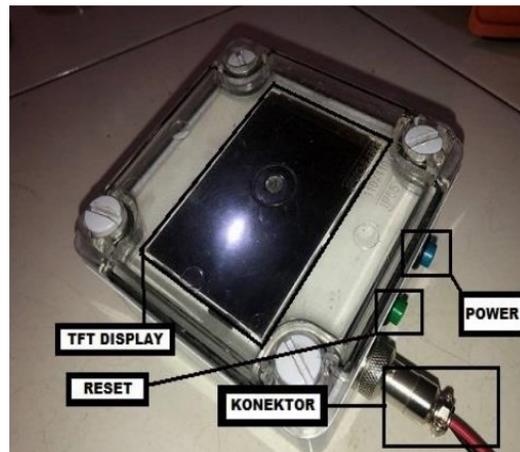
Proses fabrikasi perangkat diawali dengan perancangan skematik *Printed Circuit Board* (PCB), *routing* jalur koneksi, penyolderan, pemeriksaan koneksi, serta integrasi seluruh modul dan komponen yang digunakan dalam penelitian. Skematik rangkaian dan tata letak PCB dibuat menggunakan perangkat lunak EasyEDA (**Gambar 2**). Pada sistem ini, komponen utama terhubung ke mikrokontroler Arduino Mega Pro 2560 melalui berbagai antarmuka komunikasi. Sensor BME280 berkomunikasi menggunakan I2C, yang terdiri dari dua jalur utama: *Serial Data* (SDA) dan *Serial Clock* (SCL). Selain itu, TFT LCD dan microSD menggunakan komunikasi SPI, dengan empat pin utama, yaitu *Serial Clock* (SCK), *Master Input Slave Output* (MISO), *Master Output Slave Input* (MOSI), dan *Chip Select* (CS). Sementara itu, modul komunikasi SIM 7000E bertukar data dengan Arduino melalui antarmuka serial UART1.



Gambar 2. Skematik rangkaian perangkat

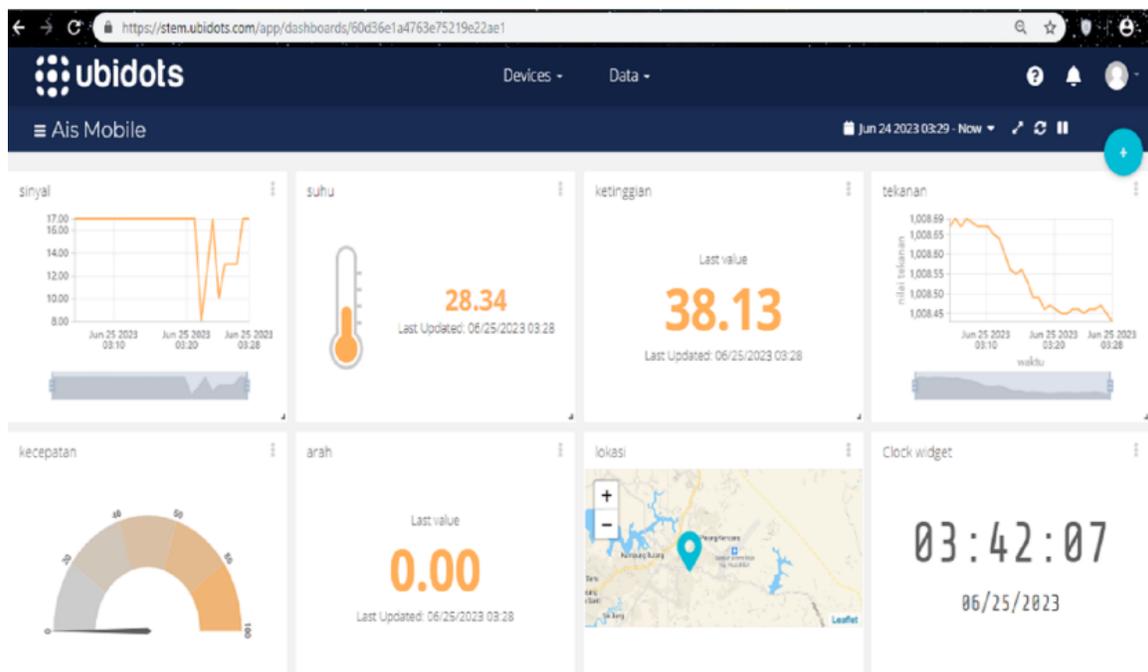
Seluruh komponen ditempatkan dalam kotak tahan air untuk melindungi sistem dari kondisi lingkungan laut yang ekstrem. Kotak ini dilengkapi dengan tutup transparan, memungkinkan pengguna untuk memantau tampilan perangkat tanpa harus membuka wadah. Di dalam kotak, terdapat lembar akrilik sebagai pelindung tambahan bagi PCB dan komponen elektronik guna memastikan stabilitas sistem. Sensor BME280 diposisikan di bagian atas kotak, sehingga dapat mengukur suhu, tekanan udara, dan ketinggian lokasi secara optimal tanpa terpengaruh panas dari komponen elektronik di dalam perangkat. Pada bagian bawah perangkat, tersedia konektor dua pin untuk menyambungkan perangkat ke sumber daya eksternal. Selain itu, sistem ini juga

dilengkapi dengan tombol biru sebagai sakelar ON/OFF dan tombol hijau sebagai tombol reset, yang memungkinkan perangkat diinisialisasi ulang jika diperlukan. Bentuk fisik perangkat dan peletakan komponennya ditunjukkan pada **Gambar 3**.



Gambar 3. Bentuk fisik perangkat dan peletakan komponennya

Sebagai bagian dari sistem pemantauan, dikembangkan *dashboard* Ubidots yang digunakan untuk menampilkan parameter penting secara *real-time*, yang dikirimkan oleh perangkat selama operasional di lapangan. *Dashboard* ini menampilkan informasi kekuatan sinyal, ketinggian lokasi, tekanan udara, suhu lingkungan, serta data lokasi perangkat (**Gambar 4**). Pengaturan *dashboard* dilakukan dengan membuat akun pada platform Ubidots, menghubungkan perangkat ke server melalui kode API, serta mengonfigurasi tampilan informasi sesuai kebutuhan pengguna. Dengan implementasi ini, data yang dikirim dari perangkat dapat diakses dan dimonitor secara langsung melalui antarmuka berbasis web, sehingga memudahkan nelayan atau pengguna untuk memperoleh informasi terkait kondisi kapal dan lingkungan sekitarnya.



Gambar 4. Tampilan *Dashboard* Ubidots

Gambar 4 menunjukkan tampilan *dashboard* Ubidots yang dirancang untuk menampilkan data pemantauan dari AIS Mobile berbasis GSM secara *real-time*. *Dashboard* ini terdiri dari beberapa elemen utama yang memberikan informasi mengenai kondisi perangkat dan lingkungan sekitar kapal. Salah satu elemen penting dalam *dashboard* ini adalah indikator kekuatan sinyal, yang menampilkan kualitas jaringan GSM yang digunakan untuk transmisi data. Nilai kekuatan sinyal ditampilkan dalam satuan bawaan

dari modul SIM7000E, yang menunjukkan intensitas sinyal berdasarkan parameter internal perangkat. Data ini membantu pengguna dalam memantau kestabilan komunikasi data, terutama saat perangkat bergerak di laut dan menghadapi variasi kondisi jaringan. Selain itu, *dashboard* menampilkan ketinggian lokasi, yang diukur menggunakan sensor BME280 dan ditampilkan dalam satuan meter (m). Informasi ini dapat membantu dalam analisis kondisi geografis kapal selama perjalanan. Parameter ini juga berguna dalam memantau perubahan elevasi yang dapat mempengaruhi tekanan udara dan kondisi lingkungan kapal.

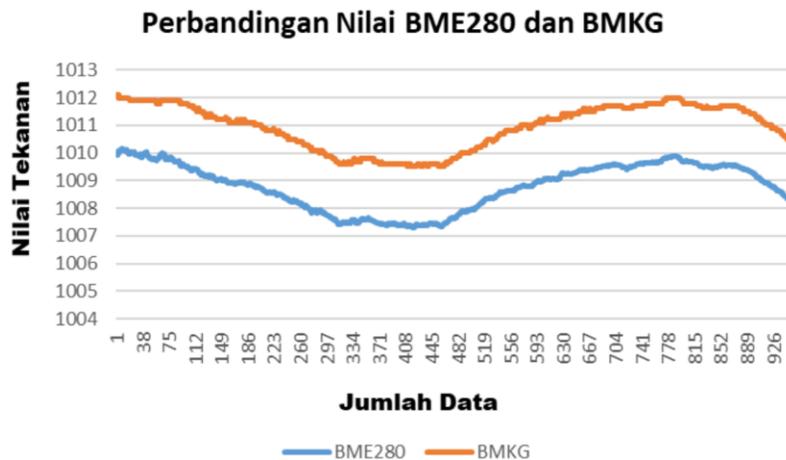
Tekanan udara dan suhu lingkungan juga ditampilkan dalam format numerik dan grafik. Sensor BME280 mengukur tekanan udara dalam satuan hPa (hectopascal) dan suhu dalam satuan °C (derajat Celsius). Data ini penting untuk pemantauan cuaca, karena penurunan tekanan udara secara tiba-tiba dapat menjadi indikator adanya perubahan cuaca ekstrem, yang dapat memengaruhi keselamatan kapal. Selain itu, *dashboard* juga menampilkan kecepatan kapal dalam satuan meter per detik (m/s) serta arah kapal dalam satuan derajat (°) berdasarkan data dari modul GPS. Informasi ini berguna untuk pemantauan navigasi kapal dan analisis pergerakan kapal secara lebih akurat.

Data lokasi perangkat ditampilkan dalam bentuk peta interaktif dan titik koordinat latitude serta longitude yang diperoleh dari modul GPS. Titik koordinat ini tersimpan di server dan dapat diakses kapan saja melalui *dashboard* Ubidots. Dengan adanya fitur ini, sistem AIS Mobile berbasis GSM dapat memberikan informasi navigasi yang lebih lengkap dan mendukung keselamatan pelayaran. Selain parameter utama, *dashboard* juga dilengkapi dengan Clock Widget, yang menampilkan waktu sistem secara *real-time*. Fitur ini membantu pengguna dalam menyesuaikan pencatatan waktu untuk setiap data yang dikirimkan dan diterima dari perangkat. Dengan adanya *dashboard* ini, pengguna dapat memantau kondisi lingkungan kapal secara *real-time*, menganalisis kestabilan komunikasi GSM, serta memperoleh informasi navigasi dan cuaca secara praktis melalui antarmuka berbasis web.

2. Kalibrasi Sensor BME280

Kalibrasi dilakukan dengan menempatkan sensor BME280 pada lokasi yang memiliki ketinggian sama dengan lokasi alat referensi BMKG Tanjungpinang, sehingga kedua sensor menerima pembacaan tekanan udara yang seragam. Tujuan dari kalibrasi ini adalah untuk mengevaluasi tingkat akurasi sensor dengan membandingkan hasil pengukuran BME280 dengan sensor tekanan udara standar BMKG.

Proses kalibrasi dilakukan dengan mengambil data tekanan udara dari sensor BME280 setiap 1 menit selama pengujian, menghasilkan total sekitar 950 sampel data (**Gambar 5**). Data ini kemudian dibandingkan dengan data tekanan udara dari alat referensi BMKG yang diperoleh pada waktu yang sama. Perbandingan ini dilakukan untuk menghitung persentase kesalahan (% error), persentase akurasi (% accuracy), serta nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) guna mengetahui sejauh mana deviasi sensor terhadap nilai standar.

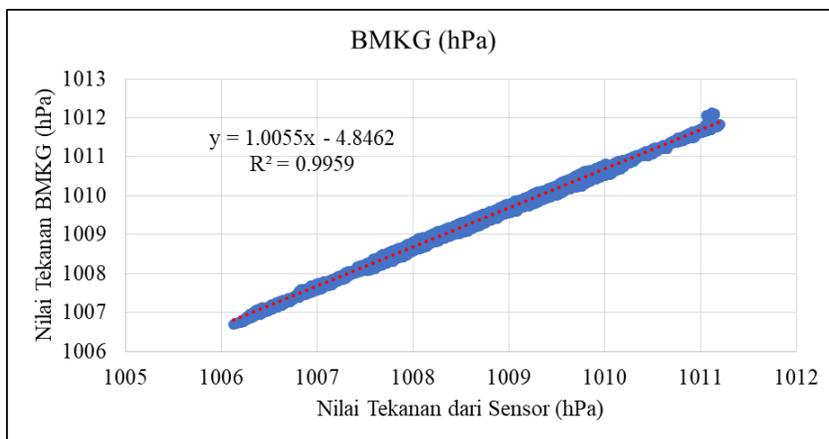


Gambar 5. Perbandingan nilai tekanan BME280 dan BMKG

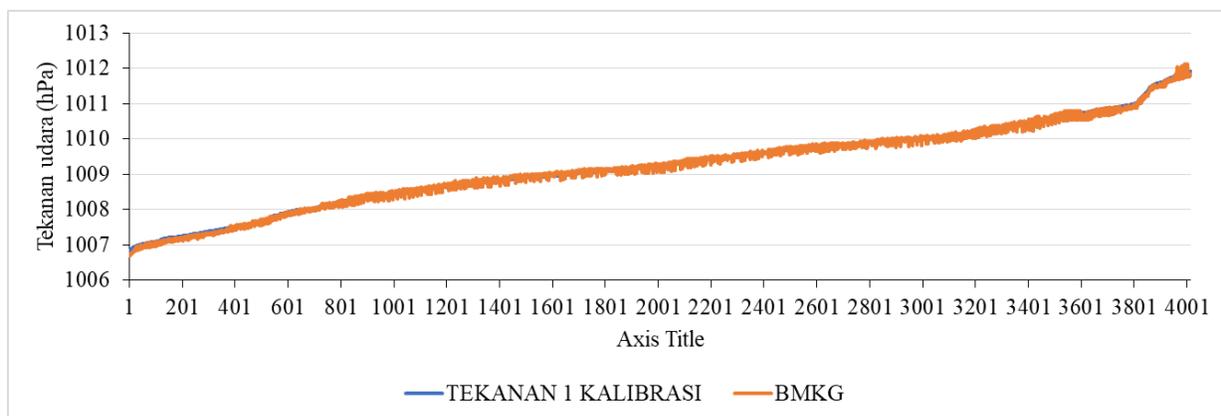
Hasil kalibrasi sensor BME280 menunjukkan bahwa sensor ini memiliki tingkat akurasi yang sangat tinggi dalam mengukur tekanan udara. Dari 950 sampel data yang dikumpulkan dengan interval 1 menit sekali, perbandingan hasil pengukuran dengan sensor referensi BMKG Tanjungpinang menunjukkan bahwa sensor BME280 memiliki akurasi sebesar 99,7%, dengan persentase kesalahan pembacaan hanya 0,3%. Selain itu, nilai *Root Mean Square Error* (RMSE) sebesar 0,0022 hPa menunjukkan bahwa deviasi antara sensor BME280 dan alat referensi sangat kecil. Semakin kecil nilai RMSE, semakin kecil deviasi standar dalam pembacaan, sehingga dapat dikatakan bahwa sensor ini memiliki performa yang sangat baik dalam kondisi lingkungan yang stabil.

Meskipun hasil kalibrasi menunjukkan keakuratan yang tinggi, masih terdapat sedikit deviasi dalam pembacaan sensor. Kesalahan ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor, seperti resolusi sensor BME280 yang terbatas dalam mendeteksi perubahan tekanan udara dalam skala kecil, variasi lingkungan mikro di sekitar sensor yang dapat mempengaruhi hasil pengukuran, serta perubahan kondisi atmosfer yang terjadi selama pengujian. Selain itu, interval pengambilan data setiap 1 menit sekali juga dapat menyebabkan beberapa fluktuasi tekanan udara yang tidak terekam secara langsung.

Dari hasil kalibrasi ini, dibuat persamaan regresi linear untuk meningkatkan akurasi pembacaan sensor BME280 dengan mengoreksi deviasi terhadap nilai referensi BMKG (Gambar 6). Persamaan regresi linear yang diperoleh ini kemudian diterapkan dalam Arduino IDE untuk mengoreksi pembacaan sensor sebelum data dikirim ke platform Ubidots. Implementasi ini bertujuan untuk meminimalkan kesalahan pembacaan sensor secara otomatis, sehingga sistem AIS Mobile berbasis GSM dapat memberikan data tekanan udara yang lebih akurat untuk pemantauan kondisi lingkungan kapal secara *real-time*. Hasil pemantauan tekanan udara yang sudah dikoreksi dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 6: Grafik regresi linear antara tekanan udara sensor BME280 dan nilai referensi dari BMKG Tanjungpinang



Gambar 7: Perbandingan data tekanan udara sensor BME280 yang sudah dikalibrasi dengan referensi BMKG

3. Pengujian Perangkat

Uji lapang dilaksanakan pada perairan Tanjung Berakit, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau, pada tanggal 04 Juli 2023 pukul 16:00 WIB hingga 17:38 WIB. Sebelum pengujian dilakukan, perangkat dihidupkan terlebih dahulu untuk memastikan akuisisi sinyal GPS yang optimal. Saat dinyalakan, tampilan awal pada *display* menunjukkan logo dan tulisan Universitas Maritim Raja Ali Haji, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 8a. Setelah itu, perangkat menampilkan antarmuka utama (*User Interface*), yang dapat dilihat pada Gambar 8b.

Hasil uji lapang menunjukkan bahwa perangkat berhasil membaca dan mengakuisisi data posisi, arah, kecepatan, ketinggian, suhu, serta tekanan udara dengan baik. Perangkat ditempatkan pada haluan kapal untuk memastikan akurasi pembacaan arah sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 9. Data yang dikirimkan ke server ditampilkan melalui *dashboard* Ubidots secara *real-*

time (Gambar 10), di mana hasil pengukuran dari sensor menunjukkan kesesuaian dengan data yang diperoleh secara langsung di perangkat.

Tampilan *dashboard* Ubidots menyajikan berbagai parameter yang dikirimkan oleh perangkat. Pada bagian kiri atas terdapat grafik yang menunjukkan perubahan nilai sinyal dalam rentang waktu tertentu. Panel Sinyal menampilkan grafik kekuatan sinyal dari modul komunikasi (SIM7000E). Namun, satuan yang digunakan masih dalam format bawaan dari modul dan belum dikonversi ke dBm. Grafik ini menunjukkan fluktuasi kekuatan sinyal dalam periode tertentu, yang dapat digunakan untuk menganalisis stabilitas komunikasi selama pengujian.

Di sampingnya, terdapat panel suhu yang menampilkan suhu lingkungan dalam satuan derajat Celsius. Panel Suhu menunjukkan suhu lingkungan yang diukur oleh sensor BME280 dengan pembaharuan terakhir. Panel Ketinggian menyajikan informasi mengenai elevasi lokasi perangkat dalam satuan meter (m). Data terakhir yang terbaca adalah 40,72 m, yang diperbarui pada waktu yang sama dengan panel suhu. Panel Tekanan Udara menampilkan grafik tren perubahan tekanan udara yang diukur oleh sensor BME280 dalam satuan hectopascal (hPa). Grafik ini memberikan gambaran tentang variasi tekanan udara selama pengujian. Panel arah menunjukkan sudut arah pergerakan perangkat dalam satuan derajat, sementara kecepatan ditampilkan dalam meter per detik (*m/s*). Panel Lokasi menyajikan informasi berbasis koordinat GPS dengan tampilan peta. Pin yang terdapat pada peta menunjukkan lokasi perangkat saat uji coba. Panel Jumlah Paket menampilkan jumlah paket data yang telah berhasil dikirimkan oleh perangkat ke server.

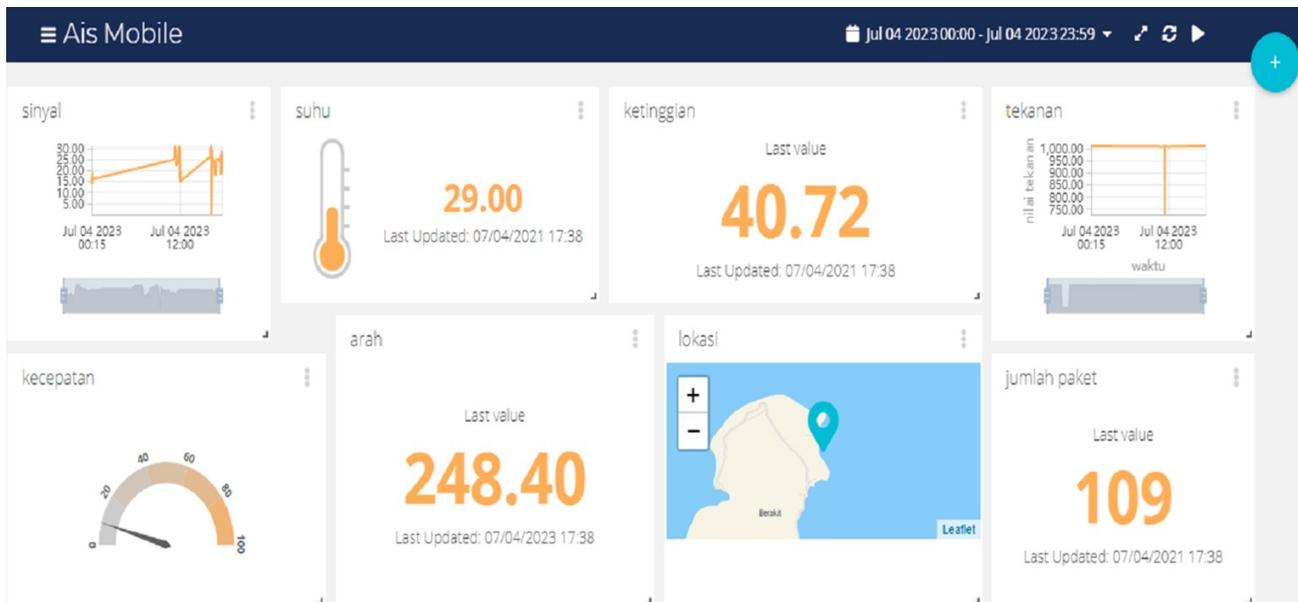
Secara keseluruhan, *dashboard* ini dirancang untuk memantau kondisi perangkat AIS Mobile secara *real-time*, mencakup parameter lingkungan serta kualitas komunikasi. Informasi yang ditampilkan memungkinkan analisis mendalam terhadap keandalan sistem dalam berbagai kondisi operasional dan memastikan efektivitas pengiriman data selama proses pengujian. Selain itu, peta koordinat yang merekam rute pelayaran selama pengujian dapat dilihat pada Gambar 11, yang memberikan visualisasi pergerakan perangkat selama uji coba.



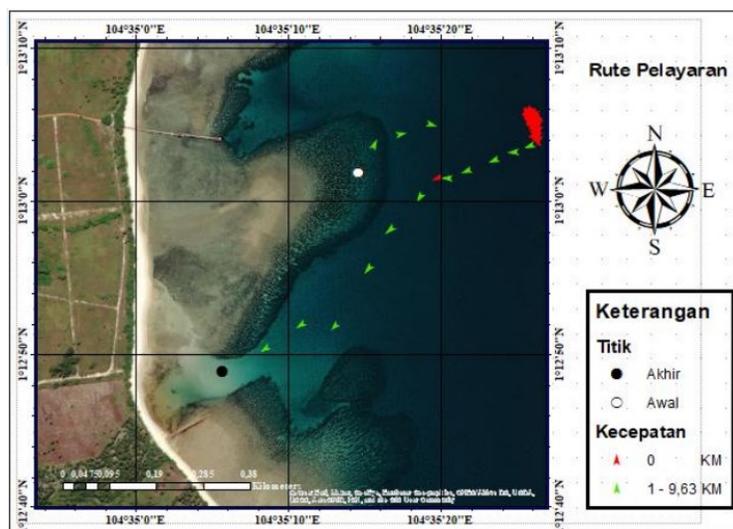
Gambar 8: Tampilan TFT di perangkat saat : (a) awal ; (b) interface utama



Gambar 9: Peletakan perangkat di kapal



Gambar 10: Tampilan data di Ubidots



Gambar 11: Peta koordinat rute pelayaran kapal

Pada saat pengambilan data, kondisi cuaca di laut relatif tenang, dengan angin dan gelombang yang stabil. Hanya terjadi sedikit perubahan gelombang yang disebabkan oleh faktor cuaca, namun hal ini tidak berdampak signifikan terhadap keberhasilan pengiriman data. Dari total 131 paket data yang tersimpan dalam kartu microSD, sebanyak 112 paket berhasil terkirim ke platform Ubidots, menghasilkan packet loss sebesar 14,5% dan Packet Delivery Ratio (PDR) sebesar 85,5%. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem AIS Mobile berbasis GSM mampu digunakan untuk pemantauan lingkungan secara *real-time*, sesuai dengan tujuan penelitian.

Hasil pengujian membuktikan bahwa AIS Mobile berbasis GSM dapat mengirimkan data posisi kapal, tekanan udara, suhu, dan kecepatan kapal secara *real-time* ke platform Ubidots, dengan tingkat keberhasilan pengiriman data 85,5%. Sebagai perbandingan, AIS konvensional berbasis VHF memiliki keterbatasan dalam jangkauan komunikasi, karena bergantung pada frekuensi radio dan memerlukan stasiun penerima darat agar data dapat diakses oleh sistem pemantauan.

Selain itu, akurasi sensor BME280 dalam mengukur tekanan udara dibandingkan dengan perangkat referensi menunjukkan akurasi sebesar 99,7% dengan RMSE 0,0022 hPa. Hal ini menunjukkan bahwa AIS Mobile tidak hanya berfungsi sebagai alat navigasi, tetapi juga mampu memberikan informasi meteorologi yang lebih akurat dibandingkan AIS konvensional, yang umumnya tidak memiliki fitur pemantauan kondisi cuaca. Dari aspek keandalan komunikasi, sistem GSM memungkinkan akses

data yang lebih fleksibel, selama terdapat cakupan jaringan seluler. Sementara itu, AIS berbasis VHF memiliki jangkauan terbatas, yang dapat terpengaruh oleh kondisi atmosfer dan interferensi radio lainnya.

Dari sisi biaya implementasi, AIS Mobile berbasis GSM memiliki keunggulan signifikan dibandingkan AIS konvensional berbasis VHF. Harga perangkat AIS Kelas B berbasis VHF berkisar antara 5–10 juta rupiah, belum termasuk biaya stasiun penerima darat dan lisensi frekuensi radio. Sebaliknya, AIS Mobile berbasis GSM dapat dibuat dengan biaya lebih rendah, karena tidak memerlukan infrastruktur tambahan, seperti antena penerima dan *base station*. Selain itu, biaya operasional AIS berbasis VHF lebih tinggi, karena pengguna harus membayar lisensi frekuensi radio serta perawatan antena dan stasiun penerima. Sementara itu, AIS berbasis GSM hanya memerlukan paket data seluler, yang lebih murah dan mudah diakses, terutama bagi nelayan kecil.

Berdasarkan perbandingan ini, AIS Mobile berbasis GSM tidak hanya memberikan kualitas data yang lebih akurat, tetapi juga menawarkan solusi navigasi yang lebih hemat biaya. Dengan aksesibilitas yang lebih luas dan biaya operasional yang lebih rendah, sistem ini dapat menjadi alternatif yang lebih efisien dibandingkan AIS konvensional, terutama bagi nelayan tradisional dan kapal kecil yang beroperasi di wilayah dengan jaringan GSM yang tersedia.

4. Pembahasan

Penelitian ini berfokus pada pengembangan AIS Mobile berbasis GPS dan sensor tekanan udara sebagai alternatif AIS konvensional yang menggunakan frekuensi VHF. Belum ada pembahasan yang terkait dengan judul, dan belum ada juga yang mengaitkan dengan penelitian terdahulu. Salah satu aspek utama dalam pengembangan sistem ini adalah pemanfaatan modul GSM SIM7000E, yang menawarkan fleksibilitas lebih tinggi dalam transmisi data *real-time*. SIM7000E tidak hanya berfungsi sebagai modul komunikasi GSM, tetapi juga memiliki GPS terintegrasi, yang memungkinkan akuisisi data posisi tanpa memerlukan modul tambahan. Hal ini sejalan dengan penelitian Prayetno et al. [23], yang menunjukkan bahwa sistem berbasis GSM dapat digunakan sebagai solusi pemantauan yang lebih fleksibel dibandingkan AIS berbasis VHF, terutama untuk kapal kecil yang tidak memiliki akses ke stasiun penerima darat.

Selain pemantauan posisi kapal, penelitian ini juga mengintegrasikan sensor tekanan udara BME280 untuk mendukung monitoring kondisi cuaca di laut, yang sangat penting bagi keselamatan kapal nelayan. Integrasi sensor lingkungan dalam sistem AIS bukanlah pendekatan yang umum dalam sistem AIS konvensional, yang umumnya hanya digunakan untuk identifikasi kapal dan navigasi berbasis radio. Sihasale dan Lekatompessy [24] menunjukkan bahwa perubahan tekanan udara dapat menjadi indikator awal perubahan cuaca, yang berpotensi memengaruhi keselamatan kapal di laut. Dalam penelitian ini, sensor BME280 terbukti memiliki akurasi sebesar 99,7% dengan RMSE 0,0022 hPa, yang mendukung keandalannya dalam pemantauan cuaca secara *real-time*. Dengan adanya fitur ini, AIS Mobile berbasis GSM tidak hanya berfungsi sebagai sistem navigasi, tetapi juga sebagai alat pemantauan lingkungan yang dapat membantu nelayan dalam mengantisipasi cuaca buruk sebelum berlayar.

Dari segi teknologi komunikasi, penerapan jaringan GSM dalam AIS Mobile memungkinkan pengiriman data ke server berbasis IoT seperti Ubidots, yang menjadi solusi pemantauan yang lebih modern dan komprehensif. Sistem pemantauan berbasis IoT menunjukkan keunggulan signifikan dibandingkan metode manual dalam berbagai aplikasi, karena mampu menyajikan data dalam berbagai format seperti grafik dan peta interaktif. Hal ini memungkinkan analisis data yang lebih cepat dan efisien, serta mendukung pengambilan keputusan yang lebih akurat dalam pemantauan [25], [26]. Ubidots memiliki kelebihan dalam menampilkan data lebih komprehensif, termasuk grafik perubahan cuaca dan informasi kecepatan kapal secara *real-time*. Hal ini sangat bermanfaat bagi nelayan maupun otoritas perairan dalam memantau pergerakan kapal serta kondisi lingkungan yang dapat memengaruhi keselamatan pelayaran.

Selain aspek teknis, penelitian ini juga mengevaluasi efisiensi transmisi data melalui *Packet Delivery Ratio* (PDR) sebagai indikator keandalan komunikasi dalam lingkungan maritim. Jaringan GSM memiliki karakteristik transmisi yang berbeda dibandingkan komunikasi berbasis VHF, terutama dalam kondisi geografis yang bervariasi. Penelitian sebelumnya [27], [28], [29] menunjukkan bahwa jaringan GSM dapat mengalami fluktuasi sinyal di wilayah pesisir dan laut terbuka, yang berpotensi menyebabkan kehilangan data dalam sistem pemantauan kapal. Dalam penelitian ini, PDR yang diperoleh sebesar 85,5% menunjukkan bahwa meskipun sistem berbasis GSM tidak sekuat VHF dalam hal jangkauan, keberhasilan pengiriman data masih cukup tinggi dan layak digunakan dalam pemantauan kapal nelayan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan AIS berbasis GSM dengan integrasi sensor lingkungan dapat menjadi solusi alternatif yang lebih fleksibel dan ekonomis dibandingkan AIS konvensional berbasis VHF, khususnya untuk kapal nelayan. Dengan mempertimbangkan akuisisi data posisi melalui GPS, pemantauan cuaca melalui sensor tekanan udara, serta evaluasi transmisi data melalui PDR, sistem ini dapat meningkatkan keselamatan pelayaran serta mendukung sistem peringatan dini bagi nelayan. Pendekatan ini juga membuka peluang bagi pengembangan lebih lanjut dalam pemantauan keselamatan kapal serta dukungan terhadap operasi *search and rescue* (SAR) jika terjadi kondisi darurat di laut.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil mengembangkan dan mengevaluasi AIS Mobile berbasis GPS dan sensor tekanan udara sebagai alternatif AIS berbasis VHF, dengan fokus pada akurasi sensor, efisiensi transmisi data, serta manfaat ekonomi bagi kapal nelayan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu mengirimkan data posisi kapal, kecepatan, arah, tekanan udara, dan suhu secara *real-time*. Akurasi sensor tekanan udara BME280 mencapai 99,7% dengan RMSE 0,0022 hPa, membuktikan keandalannya dalam pemantauan cuaca. Evaluasi *Packet Delivery Ratio* (PDR) sebesar 85,5% menunjukkan bahwa komunikasi berbasis GSM dapat digunakan untuk pemantauan kapal, meskipun masih terdapat packet loss sebesar 14,5%. Sistem ini lebih fleksibel dibandingkan dengan AIS konvensional karena hemat biaya, dan tidak memerlukan infrastruktur penerima VHF. Integrasi dengan platform IoT Ubidots juga mempermudah pemantauan dan analisis data secara *real-time*. Dengan keunggulan ini, AIS Mobile berbasis GSM dapat menjadi solusi alternatif bagi kapal nelayan, serta berpotensi dikembangkan untuk *Search and Rescue* (SAR) dan sistem peringatan dini.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan terima kasih diberikan kepada Muhammad Hafiz, Haisyam Banda, dan Hendra Permana atas bantuannya selama melakukan pengambilan data di lapangan. Terima kasih juga kepada Fakultas Teknik dan Teknologi Kemaritiman yang telah mendukung terlaksananya kegiatan penelitian ini.

6. REFERENSI

- [1] S. Hasugian, A. A. I. Sri Wahyuni, M. Rahmawati, and A. Arleiny, "Pemetaan Karakteristik Kecelakaan Kapal di Perairan Indonesia Berdasarkan Investigasi KNKT," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 29, no. 2, pp. 229–240, Jul. 2018, doi: 10.25104/warlit.v29i2.521.
- [2] A. D. Saputra, "Studi Kecelakaan Kapal di Indonesia dari Tahun 2003-2019 Berdasarkan Data Investigasi Komite Nasional Keselamatan Transportasi," *War. Penelit. Perhub.*, vol. 33, no. 2, pp. 87–94, Dec. 2021, doi: 10.25104/warlit.v33i2.1502.
- [3] M. Kendek, I. Iskandar, I. D. Satria, and A. W. Bayuntara, "STUDI KASUS ANALISIS HASIL INVESTIGASI KOMITE NASIONAL KESELAMATAN TRANSPORTASI (KNKT) TERHADAP PENYEBAB TUBRUKAN KAPAL DI PERAIRAN INDONESIA," *JPB J. Patria Bahari*, vol. 2, no. 2, Jan. 2023, doi: 10.54017/jpb.v2i2.60.
- [4] Ismadi, "Banyak Kecelakaan Kapal Ikan, Kelalaian Siapa?" Accessed: Jun. 06, 2022. [Online]. Available: <https://nusantamaritimenews.id/analisis/banyak-kecelakaan-kapal-ikan-kelalaian-siapa/>
- [5] A. A. Samekto, "ANALISIS FAKTOR-FAKTOR YANG MEMPENGARUHI KESELAMATAN PELAYARAN KAPAL PENANGKAP IKAN DI PELABUHAN TASIKAGUNG REMBANG," *J. SAINS DAN Teknol. Marit.*, vol. 19, no. 2, Jun. 2019, doi: 10.33556/jstm.v19i2.208.
- [6] M. Tichavska, F. Cabrera, B. Tovar, and V. Araña, "Use of the Automatic Identification System in Academic Research," 2015, pp. 33–40. doi: 10.1007/978-3-319-27340-2_5.
- [7] H. Saputra, A. B. K. Atmaja, D. Istardi, and ..., "Penggunaan Data Automatic Identification System (AIS) untuk Mengetahui Pergerakan Kapal," *J. Integr.*, vol. 8, no. 2, pp. 139–143, 2016, [Online]. Available: <https://jurnal.polibatam.ac.id/index.php/JI/article/view/44>
- [8] R. A. Wahab, "Penggunaan Alat dan Perangkat Telekomunikasi dalam Sistem Navigasi dan Komunikasi Aktivitas Perikanan di Pelabuhan Perikanan Bitung," *Bul. Pos dan Telekomun.*, vol. 12, no. 4, pp. 279–290, 2014, [Online]. Available: https://web.archive.org/web/20161210230229id_/http://online.bpostel.com:80/index.php/bpostel/article/download/120404/22
- [9] A. Maulidi, "Disain Sistem Navigasi Automatic Identification System (AIS) Transceiver Berbasis Mini Computer Pada Kapal Nelayan Tradisional Di Madura," *INOVTEK POLBENG*, vol. 9, no. 1, p. 12, Jul. 2019, doi: 10.35314/ip.v9i1.878.
- [10] Kementerian Perhubungan, *Peraturan Menteri Perhubungan tentang Pemasangan dan Pengaktifan Sistem Identifikasi Otomatis bagi Kapal yang Berlayar di wilayah Perairan Indonesia*. Indonesia, 2019. [Online]. Available: <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/102493/permenhub-no-7-tahun-2019>
- [11] A. Kuncoro, M. Ma'muri, and M. Agus, "PENGEMBANGAN DESAIN PERANGKAT AIS UNTUK NELAYAN TRADISIONAL," *J. Kelaut. dan Perikan. Terap.*, vol. 3, no. 1, p. 17, Jun. 2020, doi: 10.15578/jkpt.v3i1.8227.
- [12] S. W. Widyanto, M. Agus, S. Wisnugroho, and A. Kuncoro, "Teknik Telekomunikasi Pada Perekayasaan Teknologi Pengawasan Wilayah Konservasi Laut," in *Prosiding Seminar Nasional Kedua Sinergitas Multidisiplin Ilmu Pengetahuan dan Teknologi*, Makassar: Yayasan Pendidikan dan Research Indonesia, 2019, pp. 259–266. [Online]. Available: <https://jurnal.yapri.ac.id/index.php/semnassmipt/article/view/109>
- [13] T. Stupak, "Influence of Automatic Identification System on Safety of Navigation at Sea," *TransNav, Int. J. Mar. Navig.*

- Saf. Sea Transp.*, vol. 8, no. 3, pp. 337–341, 2014, doi: 10.12716/1001.08.03.02.
- [14] S. J. Chang, C. H. Huang, and S. M. Chang, “AIS-Assisted Service Provision and Crowdsourcing of Marine Meteorological Information,” *TransNav, Int. J. Mar. Navig. Saf. Sea Transp.*, vol. 13, no. 1, pp. 63–67, 2019, doi: 10.12716/1001.13.01.05.
- [15] S. Nugraha and H. Kurniawan, “Studi Kinerja Rancang Bangun Sistem Penampil Informasi Hybrid Pada Perahu Nelayan Berbasis Google Maps,” *J. Sustain. J. Has. Penelit. dan Ind. Terap.*, vol. 7, no. 2, pp. 39–45, Oct. 2018, doi: 10.31629/sustainable.v7i2.630.
- [16] H. A. Kusuma, *Buku Ajar Dasar Pemograman*, 1st ed. Tanjungpinang, Indonesia: UMRAH Press, 2023.
- [17] H. A. Kusuma, Yuliani, T. Suhendra, D. Devendra, and D. E. D. Setyono, “Evaluating the Accuracy of BMP280 and BME280 Sensors for Sea Level in a Coastal Environment: A Field Study at Tanjung Siambang Pier,” *ILMU Kelaut. Indones. J. Mar. Sci.*, vol. 28, no. 2, pp. 189–202, 2023, doi: 10.14710/ik.ijms.28.2.189-202.
- [18] Shanghai SIMCom Wireless Solutions, “SIM7000 Hardware Design V1.04,” Shanghai, 2018.
- [19] T. Chai and R. R. Draxler, “Root mean square error (RMSE) or mean absolute error (MAE)? -Arguments against avoiding RMSE in the literature,” *Geosci. Model Dev.*, vol. 7, no. 3, pp. 1247–1250, 2014, doi: 10.5194/gmd-7-1247-2014.
- [20] R. Purbakawaca, A. S. Yuwono, I. D. M. Subrata, Supandi, and H. Alatas, “Ambient Air Monitoring System with Adaptive Performance Stability,” *IEEE Access*, vol. 10, no. 2, pp. 1–1, 2022, doi: 10.1109/access.2022.3222329.
- [21] M. F. Irsyaadi, B. Rahmat, and D. Perdana, “Analisis Sistem Monitor pH Tanah Pada Tanaman Teh Berbasis GSM,” *eProceedings Eng.*, vol. 7, no. 3, pp. 8935–8942, 2020, doi: <https://doi.org/10.34818/eoe.v7i3.14012>.
- [22] M. K. Hasin and Adianto, “Prototipe Automatic Identification System Secara Realtime Menggunakan Web dan Android pada Kapal Kecil untuk Kelompok Petani Nelayan,” in *Seminar MASTER 2016*, Surabaya: Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya, 2016. [Online]. Available: <https://journal.ppns.ac.id/index.php/SeminarMASTER/article/view/43>
- [23] E. Prayetno, D. Nusyirwan, S. Nugraha, A. Faturrahman, and D. P. Winata, “Vessel Monitoring System Using GSM Communications Network,” *E3S Web Conf.*, vol. 324, pp. 3–6, 2021, doi: 10.1051/e3sconf/202132405003.
- [24] J. D. C. Sihasale and S. T. A. Lekatompessy, “RANCANG BANGUN WAS (Weather Automatic Station) PENDETEKSI CUACA SECARA REAL TIME DAN TERINTEGRASI GUNA MENDUKUNG KESELAMATAN PELAYARAN KAPAL RAKYAT DI MALUKU,” *ALE Proceeding*, vol. 1, pp. 43–49, Jul. 2021, doi: 10.30598/ale.1.2018.43-49.
- [25] Y. A. Ahmad, N. S. Mustapa, A. H. Razaman, M. N. A. Abdul Hamid, N. Abdul Malik, and M. F. Jamlos, “Integration of LoRa IoT with Cloud Platform in a Stingless Beehive Remote Monitoring System,” *IJUM Eng. J.*, vol. 26, no. 1, pp. 373–397, Jan. 2025, doi: 10.31436/ijumej.v26i1.3531.
- [26] N. Abdullah et al., “Towards Smart Agriculture Monitoring Using Fuzzy Systems,” *IEEE Access*, vol. 9, pp. 4097–4111, 2021, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3041597.
- [27] M. Polo-Castañeda, J. Gomez-Rojas, and J. Linero-Cueto, “Application of AHP and GIS for Determination of Suitable Wireless Sensor Network Zones for Oceanographic Monitoring in the South Caribbean Sea Upwelling Zone,” *Int. J. Adv. Sci. Eng. Inf. Technol.*, vol. 11, no. 5, p. 1696, Oct. 2021, doi: 10.18517/ijaseit.11.5.14293.
- [28] S. Parjuangan, R. Ali, and A. Purnama, “Real-time monitoring and warning system in urban rivers,” *TELKOMNIKA (Telecommunication Comput. Electron. Control.)*, vol. 17, no. 3, p. 1521, Jun. 2019, doi: 10.12928/telkomnika.v17i3.10397.
- [29] R. M. Woo-García, V. Herrera-Nevraumont, E. Osorio-de-la-Rosa, S. E. Vázquez-Valdés, and F. López-Huerta, “Location Monitoring System for Sailboats by GPS Using GSM/GPRS Technology,” *IEEE Embed. Syst. Lett.*, vol. 15, no. 2, pp. 69–72, Jun. 2023, doi: 10.1109/LES.2022.3188935.