



Peningkatan Akurasi Kontrol Arah Kapal Menggunakan Sensor Kompas BNO055

Dwi Agus Setiyono¹, Afif Zuhri Arfianto², Dimas Pristovani Riananda³, Agus Khumaidi⁴, Noorman Rinanto⁵, Zindhu Maulana Ahmad⁶

¹²⁴⁵Teknik Otomasi, Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya ³⁶Teknik Kelistrikan Kapal, Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya

¹dwiagus10@student.ppns.ac.id, ²afif@ppns.ac.id, ³dimaspristovani@ppns.ac.id, ⁴aguskhumaidi@ppns.ac.id,

⁵noormanrinanto@ppns.ac.id, ⁶zindhu@ppns.ac.id

Abstract

The accuracy of a ship's heading measurement is an important element in ensuring the ship moves towards its destination precisely and safely. One of the key parameters in this system is the ship's heading, which indicates the direction of the ship relative to a specific reference point, such as magnetic north. However, heading measurements are often affected by environmental disturbances, magnetic interference and sensor calibration errors, which can degrade measurement accuracy. This research proposes the use of the BNO055 sensor, which combines an accelerometer, gyroscope and magnetometer in a single module to measure ship orientation in three dimensions. An STM32 microcontroller is used to process the data from the BNO055 sensor and calculate the ship's heading and relative bearing with high precision. The calculation results are then displayed on the Nextion Display, providing visual information needed by the user. Test results show that the system provides high accuracy, with an average percentage error of 0.002% for heading and 0.208% for angle. The system can steer the ship with high precision, despite magnetic field disturbances. Thus, this BNO055 and STM32-based system is expected to improve efficiency and accuracy in ship direction measurement applications.

Keywords: *BNO055, ship navigation system, heading, dan relative bearing.*

Abstrak

Keakuratan pengukuran *heading* kapal merupakan elemen penting dalam memastikan kapal bergerak menuju tujuan dengan tepat dan aman. Salah satu parameter utama dalam sistem ini adalah *heading* kapal, yang menunjukkan arah kapal relatif terhadap titik acuan tertentu, seperti utara magnetik. Namun, pengukuran *heading* sering kali terpengaruh oleh gangguan lingkungan, interferensi magnetik, dan kesalahan kalibrasi sensor, yang dapat menurunkan akurasi pengukuran. Penelitian ini mengusulkan penggunaan sensor BNO055, yang menggabungkan *akselerometer*, *giroskop*, dan *magnetometer* dalam satu modul untuk mengukur orientasi kapal secara tiga dimensi. Mikrokontroler STM32 digunakan untuk memproses data dari sensor BNO055 dan menghitung *heading* kapal serta *relative bearing* dengan presisi tinggi. Hasil perhitungan kemudian ditampilkan pada Nextion Display, memberikan informasi visual yang dibutuhkan oleh pengguna. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini memberikan akurasinya tinggi, dengan persentase *error* rata-rata sebesar 0.002% untuk *heading* dan 0.208% untuk sudut. Sistem ini dapat mengarahkan kapal dengan presisi tinggi, meskipun ada gangguan medan magnet. Dengan demikian, sistem berbasis BNO055 dan STM32 ini diharapkan dapat meningkatkan efisiensi dan akurasi dalam aplikasi pengukuran arah kapal.

Kata kunci: BNO055, sistem navigasi kapal, *heading*, dan *relative bearing*.

Diterima Redaksi :30-04-2025 | Selesai Revisi : 20-05-2025 | Diterbitkan Online : 30-06-2025

1. Pendahuluan

Navigasi yang akurat merupakan salah satu elemen penting dalam operasi kapal, terutama dalam memastikan bahwa kapal dapat bergerak ke tujuan yang tepat dan aman. Dalam berbagai aplikasi navigasi, baik di laut maupun di darat, pengukuran orientasi dan arah kapal memegang peran yang sangat penting. Salah satu parameter yang sangat penting dalam sistem navigasi

adalah *heading* kapal, yang menunjukkan arah kapal

relatif terhadap titik acuan tertentu, seperti utara magnetik atau geografis [1]. Ketepatan dalam menentukan *heading* sangat krusial dalam mengarahkan kapal ke tujuan yang diinginkan. Salah satu tantangan dalam mengukur *heading* secara akurat adalah pengaruh faktor eksternal seperti interferensi

magnetik, gangguan lingkungan, dan kesalahan kalibrasi sensor yang dapat mengurangi keakuratan pengukuran [2]. Untuk mengatasi tantangan tersebut, sensor kompas seperti BNO055 menjadi pilihan yang semakin populer. Sensor BNO055 yang digunakan merupakan modul *Inertial Measurement Unit* (IMU) yang menggabungkan akselerometer, giroskop, dan magnetometer untuk menyediakan data orientasi tiga dimensi secara *real-time* [3][4]. Keunggulan utama dari sensor ini adalah kemampuannya untuk memberikan data yang presisi mengenai *yaw* (arah utara), *pitch*, dan *roll* dalam satu perangkat, yang menjadikannya pilihan ideal untuk aplikasi navigasi, termasuk pada kapal [5].

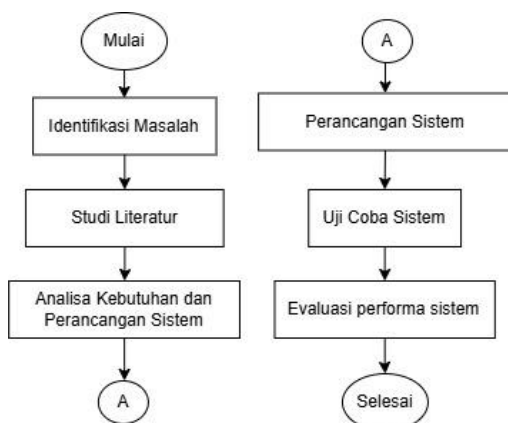
Selain pemilihan sensor, pemrosesan data yang cepat dan akurat juga sangat penting dalam sistem navigasi. Untuk itu, mikrokontroler STM32 dipilih dalam penelitian ini sebagai pusat pengolahan data. Mikrokontroler STM32 memiliki kemampuan pemrosesan yang cepat dalam mengelola data sensor, sehingga dapat meminimalkan latensi dalam sistem navigasi. Dengan memanfaatkan STM32, data IMU yang diperoleh dari BNO055 akan diproses untuk menghitung *heading* kapal dan membandingkannya dengan *bearing* tujuan yang telah ditentukan [6].

2. Metode Penelitian

Pada penelitian ini bertujuan untuk mengintegrasikan sensor kompas BNO055 dan mikrokontroler STM32.

2.1. Kerangka Penelitian

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini mencakup beberapa tahapan penting, mulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi performa sistem. Dibawah ini merupakan *flowchart* keseluruhan sistem sebagai landasan penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 1.

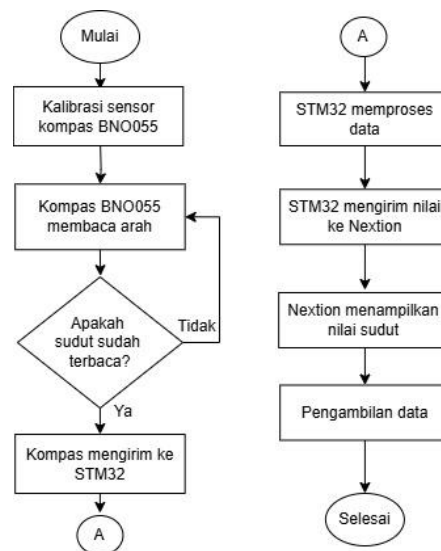


Gambar 1. Flowchart Penelitian

2.2. Diagram Alir Sistem Pengambilan Data

Proses pengambilan data dalam sistem navigasi kapal dimulai dengan kalibrasi sensor kompas BNO055, yang bertujuan untuk memastikan pembacaan arah kapal

yang akurat. Setelah kalibrasi selesai, sensor BNO055 mulai membaca arah kapal atau *heading* kapal terhadap utara magnetik. Sistem kemudian memverifikasi apakah sudut *heading* kapal telah terbaca dengan benar. Jika pembacaan belum berhasil, proses akan diulang, namun jika sudah terbaca, sensor BNO055 mengirimkan data *heading* kapal ke mikrokontroler STM32. Mikrokontroler ini memproses data yang diterima untuk menghitung relative bearing kapal. Setelah pemrosesan, STM32 mengirimkan nilai *heading* kapal yang telah dihitung ke layar Nextion, yang kemudian menampilkan nilai sudut tersebut untuk memberikan informasi visual kepada pengguna. Proses ini memastikan bahwa sistem navigasi kapal berfungsi dengan baik, memungkinkan pemantauan posisi kapal secara *real-time*, serta pengambilan data yang tepat dan efisien. Alur pengambilan data dapat dilihat pada Gambar 2.



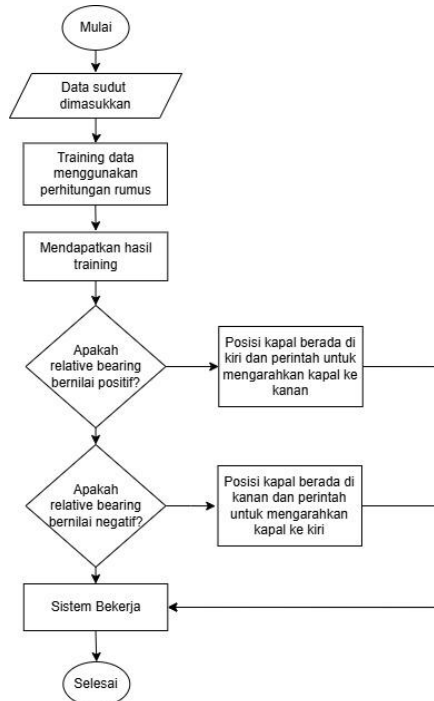
Gambar 2. Diagram Alir Pengambilan Data

2.3. Diagram Alir Training Data

Proses dimulai dengan pemasukan data sudut, yang mencakup informasi terkait *heading* kapal dan *bearing*. Data ini kemudian diproses menggunakan perhitungan rumus untuk melakukan *training* data, yang bertujuan untuk menentukan posisi relatif kapal terhadap tujuan. Setelah perhitungan selesai, hasil *training* digunakan untuk mengevaluasi apakah *relative bearing* yang dihitung bernilai positif atau negatif. Jika *relative bearing* bernilai positif, sistem memberikan perintah untuk mengarahkan kapal ke kanan. Sebaliknya, jika *relative bearing* bernilai negatif, kapal akan diarahkan ke kiri. Proses ini memastikan bahwa sistem navigasi dapat memberikan perintah yang tepat kepada kapal untuk menuju posisi yang diinginkan. Setelah itu, sistem siap untuk bekerja berdasarkan perhitungan dan perintah yang dihasilkan, dan akhirnya, proses dinyatakan selesai dapat dilihat pada Gambar 3.

2.4. Skema Penyambungan

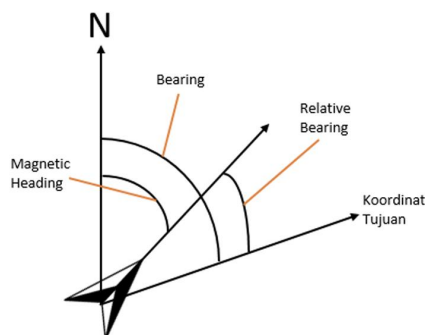
Dalam sistem ini, STM32 berfungsi sebagai pusat pengolahan data. Mikrokontroler STM32 menerima data dari sensor kompas BNO055, yang mengukur parameter



Gambar 3. Diagram Alir Training Data

orientasi kapal seperti *magnetic heading*, *yaw*, dan *pitch*. Data yang diperoleh dari sensor ini digunakan untuk menghitung *heading* kapal dan *relative bearing*, yang penting untuk mengetahui arah kapal relatif terhadap utara magnetik. Mikrokontroler mengolah data dari sensor, dan hasil pengambilan data kompas ditampilkan pada layar LCD, yang memungkinkan pengguna untuk memantau orientasi kapal secara *real-time*. Sistem ini memungkinkan pengambilan data secara mandiri dan visualisasi informasi yang dibutuhkan untuk navigasi kapal.

2.5. Metode Penentuan Bearing



Gambar 4. Visualisasi Heading, Bearing dan Relative Bearing

Persamaan untuk *relative bearing* sebagai berikut :

$$\text{Relatif bearing} = \text{bearing} - \text{magnetic heading} \quad (1)$$

Nilai *heading* kapal yang menunjukkan arah hadapnya terhadap Utara kompas (N), sehingga rumus untuk mendapatkan *bearing* tujuan sebagai berikut pada notasi :

$$\theta = \text{atan2}(X, Y) \quad (2)$$

Dimana, X dan Y adalah dua nilai yang dihitung dari :

$$X = -\sin\Delta\lambda \cdot \cos\phi_2 \quad (3)$$

$$Y = \cos\phi_1 \cdot \sin\phi_2 - \sin\phi_1 \cdot \cos\phi_2 \cdot \cos\Delta\lambda \quad (4)$$

2.6. Algoritma Pengujian Menggunakan Matlab

Script function

```

% Data Input
phi1;
lambda1;
phi2;
lambda2;
heading;

% Perhitungan bearing
delta_lambda = lambda2 - lambda1;
bearing = atan2d(sin(deg2rad(delta_lambda)) *
cos(deg2rad(phi2)), ...
cos(deg2rad(phi1)) * sin(deg2rad(phi2)) -
sin(deg2rad(phi1)) * cos(deg2rad(phi2)) *
cos(deg2rad(delta_lambda)));

if bearing < 0
    bearing = bearing + 360;
end

% Perhitungan relative bearing
relative_bearing = bearing - heading;

% relative bearing > 180 derajat
if relative_bearing > 180
    relative_bearing = relative_bearing - 360;
elseif relative_bearing < -180
    relative_bearing = relative_bearing + 360;
end
    
```

Algoritma ini dirancang untuk menghitung arah kapal menuju tujuan berdasarkan posisi geografis kapal dan target. Program dimulai dengan memasukkan data posisi kapal dan target, serta arah kapal saat ini (*heading*). Selanjutnya, algoritma menghitung *bearing* kapal terhadap target menggunakan rumus trigonometri berdasarkan selisih koordinat *longitude* dan *latitude*. Setelah itu, dihitung *relative bearing*, yaitu seberapa besar perubahan arah kapal yang diperlukan untuk menuju target. Penyesuaian dilakukan pada *bearing* dan *relative bearing* agar hasilnya berada dalam rentang yang sesuai. Hasil akhir memberikan informasi tentang arah kapal saat ini, arah menuju tujuan, serta instruksi apakah kapal perlu berputar ke kiri atau kanan untuk mencapai tujuan.

2.7. Spesifikasi Hardware dan Software

Ada beberapa komponen untuk pengujian pada penelitian kali ini. Penulis menggunakan mikrokontroler STM32F411CEU6 sebagai komponen penting dalam pengambilan data terintegrasi dengan sensor kompas BNO055 9-axis yang menggabungkan *accelerometer*, *gyroscope*, dan *magnetometer* dalam satu modul. BNO055 dirancang untuk memberikan data orientasi yang akurat dalam berbagai aplikasi, termasuk sistem navigasi. Dengan menggunakan Nextion Display, sistem dapat menampilkan nilai data yang diperoleh dari sensor kompas BNO055 secara *real-time*. Dengan menggunakan tampilan ini, pengguna dapat memonitor sudut *heading* kapal.

Tabel 1. Software dan Hardware Pendukung

Hardware	Software	Spesifikasi
1x Power Supply	-	12 Volt
1x Buck Converter	-	Input: 24V, Output: 12V, 5A
1x AMS1117	-	Input: 5V, Output: 3.3 V
1x STM32 F411CEU6	-	ARM Cortex-M4, 32-bit, 512KB Flash, 128KB RAM
1x Netion Display	-	7" HMI, Touchscreen, 800x480 resolution, I2C Interface
1x Sensor Kompas BNO055	-	9-axis Sensor, I2C Interface, $\pm 1^\circ$ accuracy
1x Laptop	STM32CUBEIDE Matlab 2021	Windows 11, RYZEN 7 processor, 16GB RAM

2.8. Kalibrasi Sensor Kompas BNO055

Proses kalibrasi sensor kompas BNO055 dalam penelitian ini diimplementasikan melalui metode manual rotation, yang melibatkan rotasi sensor secara sistematis dan terkontrol pada berbagai orientasi tridimensional. Prosedur ini dilaksanakan untuk mengakuisisi data medan magnetik dari beragam arah, sehingga memungkinkan kalkulasi dan kompensasi *offset* (efek *hard iron*) serta *distorsi* (efek *soft iron*) yang diinduksi oleh interferensi magnetik lingkungan. Kalibrasi tersebut menghasilkan peningkatan signifikan pada akurasi dan stabilitas pembacaan magnetometer,

yang merupakan parameter krusial dalam penentuan heading kapal dengan presisi tinggi [7].

Untuk mengatasi gangguan magnetik yang bersifat dinamis dan tak terduga, sistem ini memanfaatkan kemampuan sensor fusion internal BNO055 dari IMU (Inertial Measurement Unit) yang menggabungkan data dari akselerometer, giroskop, dan magnetometer. Dengan algoritma sensor *fusion* bawaan BNO055, data orientasi dihitung secara real-time dengan memanfaatkan kekuatan masing-masing sensor. Jika terdapat gangguan magnetik pada magnetometer, IMU dapat mengandalkan akselerometer dan giroskop untuk menjaga kestabilan dan akurasi estimasi orientasi.

3. Hasil dan Pembahasan

Pada bab ini akan dilakukan pembahasan terhadap hasil penelitian dan pengujian yang telah dilakukan. Pengujian ini meliputi data asli heading, perhitungan *RME* dan penerapan metode perhitungan *relative bearing* kapal berdasarkan data *heading* yang diperoleh dari sensor kompas BNO055 serta *Experimental Position Data*.

3.1. Pengambilan Data

Pada penelitian ini, penerapan model pengambilan data dilakukan untuk mengevaluasi akurasi heading kapal yang diukur menggunakan sensor kompas BNO055. Perhitungan dilakukan dengan membandingkan nilai sudut yang diukur (*actual angle*) dengan sudut prediksi yang dihitung berdasarkan data dari sensor. Untuk itu, persentase error dihitung dengan menggunakan rumus perbandingan antara selisih nilai aktual dan prediksi terhadap nilai aktual, yang kemudian dikalikan dengan 100 untuk mendapatkan nilai dalam bentuk persentase. Proses ini digunakan untuk menilai seberapa besar kesalahan dalam pengukuran orientasi kapal, serta untuk mengidentifikasi potensi sumber kesalahan yang dapat

Tabel 2. Nilai Heading

No	Pengujian	Heading	Error (%)	Error (°)
1	0	0	0.0	0.0
2	30	30.12	0.004	0.398
3	60	60.19	0.003	0.316
4	90	89.98	0.000	0.022
5	120	119.75	0.002	0.209
6	150	149.81	0.001	0.127
7	180	180.44	0.002	0.244
8	210	210.69	0.003	0.327
9	240	240.88	0.004	0.365
10	270	270.06	0.000	0.022
11	300	300.94	0.003	0.312

12	330	330.12	0.000	0.036
13	360	359.56	0.001	0.122
Average			0.002	0.208

mempengaruhi keakuratan sistem navigasi yang diimplementasikan. Data dari pengujian ini didapatkan dari pengujian sensor Kompas BNO055 dengan mikrokontroler STM32F411CEU6. Dengan data pada tabel diatas didapat grafik perbandingan presentase error *heading* dan presentase *error* sudut. Rata rata presentase error nilai yaitu 0.002 % dan presentase error sudut yaitu 0.208 % dengan data aktual.

3.2. Penerapan Pada Model Perhitungan

```

1 - clc
2 - clear
3
4 % Data Input
5 - phi1 = -4.5835; % Latitude posisi kapal (derajat)
6 - lambda1 = 119.1665; % Longitude posisi kapal (derajat)
7 - phi2 = -5.4585; % Latitude target (derajat)
8 - lambda2 = 111.5415; % Longitude target (derajat)
9 - heading = 89.98; % Heading kapal (derajat)
10
11 % Perhitungan bearing
12 - delta_lambda = lambda2 - lambda1; % Selisih longitude
13 - bearing = atan2d(sin(deg2rad(delta_lambda)) * cos(deg2rad(phi2)), ...
14 - cos(deg2rad(phi1)) * sin(deg2rad(phi2)) - sin(deg2rad(phi1))
15
16 % Menambahkan 360 jika bearing negatif
17 - if bearing < 0
18 - bearing = bearing + 360;
19 - end
20
21 % Perhitungan relative bearing
22 - relative_bearing = bearing - heading;
23
24 % Penyesuaian relative bearing jika lebih dari 180 derajat
25 - if relative_bearing > 180
26 - relative_bearing = relative_bearing - 360;
27 - elseif relative_bearing < -180
28 - relative_bearing = relative_bearing + 360;
29 - end

```

Command Window

```

-----
Arah kapal sekarang: 89.98 derajat
Bearing (arah menuju tujuan): 263.1042 derajat
Relative Bearing (perubahan arah yang diperlukan): 173.1242 derajat
Kapal perlu berputar ke kanan.
-----

```

Gambar 5. Hasil *Relative Bearing*

Pada bagian ini, penerapan model perhitungan dilakukan dengan menggunakan MATLAB untuk mensimulasikan sistem navigasi kapal berbasis sensor kompas BNO055. Simulasi dilakukan dengan mengambil data sudut kompas, kemudian menghitung *heading* kapal dan *relative bearing*. Proses perhitungan *error* dilakukan dengan membandingkan sudut yang diukur (*actual angle*) dengan sudut prediksi yang dihitung berdasarkan data *input* sensor.

3.3. Percobaan Data *Heading*

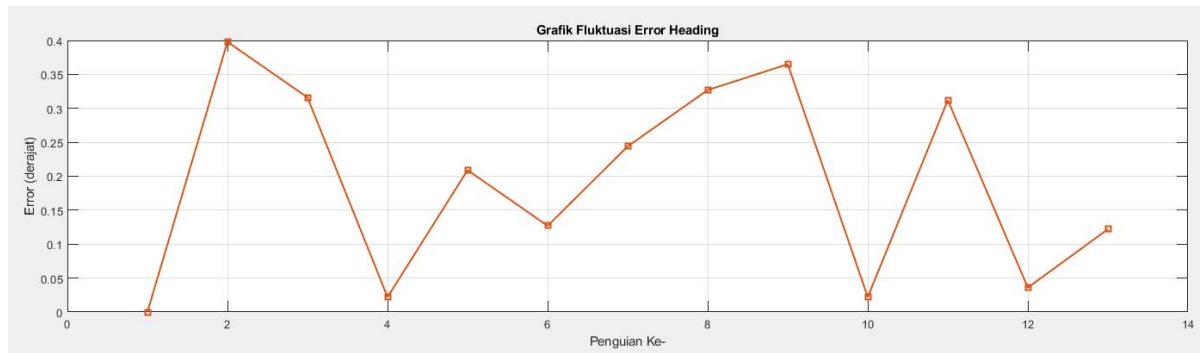
Tabel 3 menunjukkan hasil perhitungan *heading*, *bearing*, dan *relative bearing* kapal, beserta posisi kapal yang dihitung berdasarkan data yang diperoleh. *Heading* kapal menunjukkan arah kapal terhadap utara magnetik, sedangkan *bearing* menunjukkan arah tujuan kapal relatif terhadap utara magnetik. *Relative bearing* dihitung sebagai selisih antara *bearing* dan *heading* kapal, yang menggambarkan orientasi relatif kapal terhadap tujuan. Kolom Posisi menunjukkan arah pergerakan kapal, yaitu Kanan atau Kiri, berdasarkan nilai *relative bearing* yang diperoleh. Data ini digunakan untuk menentukan arah gerakan kapal dalam sistem navigasi berbasis sensor kompas BNO055. Perhitungan tersebut telah disimulasikan menggunakan MATLAB untuk memodelkan dan memvalidasi perhitungan *heading* dan *relative bearing* secara numerik sebelum diaplikasikan pada perangkat keras.

Tabel 3. Hasil Pengujian

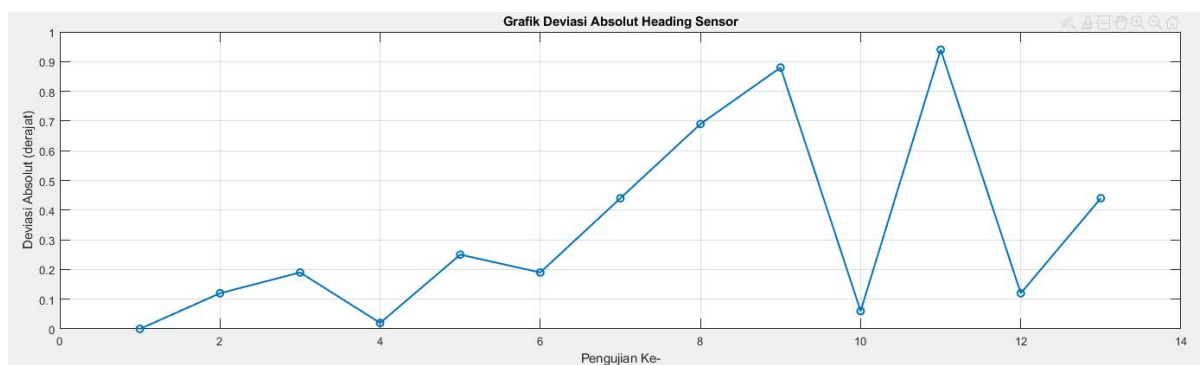
No	Heading	Bearing	Relative Bearing	Posisi
1	0	263.1	-96.9	Kanan
2	30.12	263.1	-127.0	Kanan
3	60.19	263.1	-157.1	Kanan
4	89.98	263.1	173.1	Kiri
5	119.75	263.1	143.3	Kiri
6	149.81	263.1	113.3	Kiri
7	180.44	263.1	82.6	Kiri
8	210.69	263.1	52.4	Kiri
9	240.88	263.1	22.2	Kiri
10	270.06	263.1	-6.9	Kanan
11	300.94	263.1	-37.8	Kanan
12	330.12	263.1	-67.0	Kanan
13	359.56	263.1	-96.4	Kanan

3.4 Grafik Percobaan

Pada sub bab ini, disajikan grafik yang menggambarkan hasil percobaan yang telah dilakukan untuk mengukur performa sistem.



Gambar 6. Grafik Fluktuasi Error Heading



Gambar 7. Grafik Deviasi Heading Sensor

4. Kesimpulan

Kesimpulan penelitian ini berhasil mengintegrasikan sensor kompas BNO055 dengan mikrokontroler STM32 untuk sistem navigasi kapal yang dapat mengukur *heading* kapal dan relative *bearing* dengan akurasi tinggi. Hasil percobaan menunjukkan bahwa persentase error *heading* rata-rata mencapai 0.002% dan persentase error sudut sekitar 0.208%, yang mengindikasikan bahwa sensor BNO055 mampu memberikan pembacaan yang sangat akurat. Sistem ini juga menunjukkan kemampuan untuk memantau posisi kapal secara *real-time*. Keterbatasan sistem terletak pada penerapan masih menggunakan simulasi pada *software* MATLAB. Selain itu, sistem juga memiliki sensitivitas terhadap gangguan magnetik dan belum adanya integrasi GPS. Untuk penelitian selanjutnya, prospek pengembangan sistem ini meliputi integrasi dengan sistem GPS untuk mendapatkan data posisi secara absolut, penerapan algoritma kecerdasan buatan untuk pengambilan keputusan arah otomatis, serta pengembangan antarmuka pengguna berbasis *website* untuk pemantauan jarak jauh.

Daftar Rujukan

- [1] R. Y. F. Hutapea, T. D. Pramesthy, R. P. Situmorang, and A. A. Rosalia, 2022. "Identifikasi Peralatan Navigasi Dan Keselamatan Yang Digunakan Di Km Dioskuri 8," *J. Kemaritiman Indones. J. Marit.*, vol. 3, no. 1, pp. 1–10.
- [2] J. Park, M. Kang, Y. Lee, J. Jung, H. T. Choi, and J. Choi, 2023. "Multiple Autonomous Surface Vehicles for Autonomous Cooperative Navigation Tasks in a Marine Environment: Development and Preliminary Field Tests," *IEEE Access*, vol. 11, no. March, pp. 36203–36217.
- [3] N. Piotrowski, 2022. "Implementation and Characterization of Commercial Off-The-Shelf Inertial Measurement Units for the Attitude Determination System of the MOVE-III CubeSat," *Frank J. Redd Student Compet.*, pp. 1–9.
- [4] G. Fukuda, D. Hatta, X. Guo, and N. Kubo, 2021. "Performance evaluation of IMU and DVL integration in marine navigation," *Sensors (Switzerland)*, vol. 21, no. 4, pp. 1–21.
- [5] M. Irfan, Z. Abidin, K. Ismail, and F. Mohd,

2024. "EVALUATION OF AUTONOMOUS NAVIGATION AND PATH ACCURACY FOR UNMANNED SURFACE VEHICLES," vol. 2, pp. 14–20.
- [6] H. Khan, A. S. A Rashid, and N. Nasir, 2025. "Evaluation and calibration of MEMS-IMU sensors for real-time landslide detection and monitoring system," *Eng. Res. Express*, vol. 7, no. 2.
- D. G. Gryazin, T. V. Paderina, and O. O. Belova, 2024. "Magnetic Compass with a Correction System in the Circuit of Ship's Autopilot," *RusAutoCon - Proc. Int. Russ. Autom. Conf.*, no. 2024, pp. 216–222.