

DESAIN SISTEM PENDUKUNG KEPUTUSAN STATUS KESTABILAN KAPAL *ROLL ON-ROLL OVER* (RORO) BERBASIS *FUZZY SUGENO*

Dani Rofianto¹, Jaka Fitra², Khusnatul Amaliah³, Fathurrahman K Ikhsan⁴

^{1,2,3,4} Jurusan Ekonomi dan Bisnis, Program Studi Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak, Politeknik Negeri Lampung, Bandar Lampung, Indonesia

^{1*} danirofianto@polinela.ac.id, ² jakafitra@polinela.ac.id, ³ khusnatul@polinela.ac.id, ⁴ fathurrahman@polinela.ac.id

Abstract

Ship stability is a crucial aspect in the shipping industry, especially on inter-island transport ships which serve a large number of passengers and vehicles every day. Efforts to reduce the risk of maritime transportation accidents, especially on RORO vessels, require a careful approach. Therefore, this research aims to design and develop a decision support system that adopts Fuzzy logic to provide information about the ship's stability status which makes it possible to take appropriate and fast action. The system designed uses a gyroscope sensor to measure the degree of tilt. The research results show that the integration of the Fuzzy model with the Arduino microcontroller has succeeded in making this system practical and can be implemented in real world situations. The Arduino microcontroller can operate well under various changing conditions. Various test results, including tests at various slope levels, confirm the reliability of the Fuzzy model in producing accurate and responsive warnings.

Keywords: Ship stability, Decision support systems, Fuzzy Logic, Gyroscope sensors, RORO ships

Abstrak

Stabilitas kapal adalah aspek krusial dalam industri pelayaran, terutama pada kapal angkutan antar pulau yang melayani sejumlah besar penumpang dan kendaraan setiap harinya. Upaya untuk mengurangi risiko kecelakaan transportasi laut, terutama pada kapal RORO, memerlukan pendekatan yang cermat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan sebuah sistem pendukung keputusan yang mengadopsi logika *Fuzzy* untuk memberikan informasi tentang status kestabilan kapal yang memungkinkan untuk mengambil tindakan yang tepat dan cepat. Sistem yang dirancang menggunakan sensor *gyroscope* untuk mengukur derajat kemiringan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa integrasi model *Fuzzy* dengan *microcontroller* Arduino telah berhasil membuat sistem praktis yang dapat diimplementasikan dalam situasi dunia nyata. *Microcontroller* Arduino dapat beroperasi dengan baik dengan berbagai perubahan kondisi yang telah diujikan. Hasil pengujian yang bervariasi termasuk pengujian pada berbagai tingkat kemiringan, menegaskan kehandalan model *Fuzzy* dalam menghasilkan peringatan yang akurat dan responsif.

Kata Kunci: Kestabilan kapal, Sistem pendukung keputusan, Logika Fuzzy, Sensor gyroscope, Kapal RORO

1. PENDAHULUAN

Indonesia adalah sebuah negara kepulauan yang memiliki lebih dari 17 ribu pulau, dengan luas wilayah perairan yang mencapai 3.257.483 kilometer persegi. Sebagai negara kepulauan terbesar di dunia, Indonesia sangat bergantung pada transportasi laut sebagai salah satu moda transportasi utama untuk menghubungkan berbagai wilayah dan pulau-pulau yang tersebar di seluruh nusantara ini [1]. Salah satu daerah yang sangat

mengandalkan transportasi laut adalah daerah Lampung, yang terletak di ujung selatan Pulau Sumatera.

Kemajuan ekonomi, perdagangan, dan interaksi sosial di antara berbagai wilayah di Indonesia sangat bergantung pada efisiensi dan keandalan sistem transportasi laut [2]. Namun, seperti pada semua jenis moda transportasi, transportasi laut juga memiliki risiko terkait dengan kecelakaan dan insiden yang dapat membahayakan nyawa manusia, lingkungan, serta keberlangsungan aktivitas ekonomi [3].

Komitmen pemerintah Indonesia untuk meningkatkan keselamatan dan efisiensi dalam transportasi laut sangat serius, mengingat riwayat kecelakaan kapal yang terjadi di perairan Indonesia. Laporan dari Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) dalam periode 2018 hingga 2022 mencatat adanya 108 kecelakaan kapal di Indonesia. Dari jumlah tersebut, sebanyak 29 kasus mengakibatkan tenggelamnya kapal, 31 kasus melibatkan kebakaran atau ledakan, 19 kasus terjadi tabrakan, 15 kasus kapal terkandas, dan 14 insiden kecelakaan lainnya [4].

Salah satu faktor yang berpotensi menjadi penyebab kecelakaan kapal adalah masalah kestabilan kapal [5]. Stabilitas kapal menjadi faktor kunci yang mempengaruhi keselamatan perjalanan laut [6]. Faktor-faktor seperti geometri kapal, distribusi beban, dan variasi cuaca dapat memengaruhi stabilitas kapal. Ketika sebuah kapal kehilangan keseimbangan pada sudut kemiringan tertentu, risiko terguling dan tenggelam menjadi signifikan [7]. Ketika kapal mengalami kehilangan keseimbangan pada sudut kemiringan tertentu, maka kapal tidak mampu untuk kembali ke posisi semula. Kondisi ini dapat menyebabkan kapal terguling dan tenggelam [8].

Saat ini, di Indonesia kapal-kapal penumpang umumnya masih mengandalkan jenis kapal *Roll On-Roll Over* (RORO) sebagai sarana utama untuk mengangkut kendaraan dan penumpang [9]. Di pelabuhan Bakauheni Lampung misalnya, terdapat sekitar 33 kapal RORO dan beberapa masih menggunakan metode manual dalam mendeteksi stabilitas kemiringan kapal dengan menggunakan alat *clinometer* yang memerlukan tindakan manual untuk mengukur dan mengetahui kemiringan kapal. Kondisi ini menimbulkan sejumlah masalah, termasuk keterlambatan dalam mendapatkan informasi tentang status kapal, terutama dalam situasi darurat. Untuk mengatasi permasalahan ini dan memberikan bantuan yang lebih efektif kepada nahkoda kapal dalam menentukan status kapal dengan cepat, penelitian ini bertujuan untuk merancang sebuah sistem peringatan status kapal. Sistem ini akan mengintegrasikan konsep *Fuzzy Inference System* dengan model Sugeno, yang merupakan pendekatan yang cerdas dalam pengambilan keputusan berbasis logika *fuzzy*. Langkah selanjutnya adalah menerapkan sistem ini pada *microcontroller* Arduino, yang merupakan platform *embedded* yang dapat diandalkan. Sensor *gyroscope* akan digunakan sebagai input utama untuk mengukur dan memantau kemiringan kapal secara *real-time*. Dengan adanya sistem ini, kami berharap dapat memberikan solusi yang lebih canggih dan otomatis untuk mendeteksi kemiringan kapal, memproses data secara cepat, dan memberikan peringatan kepada nahkoda kapal ketika ada ancaman terhadap stabilitas kapal.

Dengan mengintegrasikan konsep logika *fuzzy* dalam sistem ini, kami berupaya untuk memberikan kecerdasan tambahan dalam pengambilan keputusan, yang dapat menghasilkan peringatan yang lebih akurat dan responsif. Dengan demikian, penelitian ini memiliki potensi untuk meningkatkan keselamatan kapal dan efisiensi operasional, terutama dalam situasi-situasi darurat di perairan Indonesia.

Beberapa penelitian sebelumnya telah dilakukan mengenai stabilitas kapal, termasuk penelitian yang dilakukan oleh Alamsyah et al. [10]. Dalam penelitian ini fokus utama pekerjaan yaitu menentukan stabilitas kapal berdasarkan distribusi beban muatan dan merekomendasikan penempatan muatan yang dapat menghasilkan stabilitas yang optimal pada beban muatan statis. Mashuda & Kholis [11] merancang dan membangun sistem pengukur kestabilan kapal berbasis arduino Uno. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penempatan sistem pengukur kestabilan pada bagian depan, tengah, atau belakang kapal tidak memengaruhi pembacaan sistem. Kafila et al. [12] juga merancang sebuah sistem keselamatan pelayaran berdasarkan arah dan kekuatan angin dengan menggunakan metode *fuzzy* sugeno, dan memberikan informasi status angin untuk berlayar. Yingjie et al. [13] mengembangkan sistem kontrol menggunakan logika *fuzzy* untuk mengoptimalkan kecepatan dan mengendalikan jalur perjalanan kapal yang menggunakan layar bantu (*sail-assisted ships*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan menggunakan sistem kontrol berbasis logika *fuzzy*, kapal berlayar dapat mengoptimalkan kecepatan dan mengikuti jalur perjalanan dengan lebih efisien, terutama dalam menghadapi variasi angin dan situasi cuaca yang berubah-ubah.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Dalam rangka menjalankan penelitian ini, dua pendekatan metodologi telah digunakan untuk menyelidiki dan memahami lebih dalam masalah kestabilan kapal. Pendekatan ini mencakup studi pustaka dan wawancara dengan pakar/ahli di bidang tersebut.

Studi pustaka yang dilakukan dalam penelitian ini bertujuan untuk mengkaji berbagai aspek yang terkait dengan kestabilan kapal. Proses studi pustaka melibatkan penelusuran literatur dan referensi terkait dalam berbagai sumber, termasuk jurnal ilmiah, buku, artikel teknis, dan sumber daya lainnya yang relevan. Studi pustaka ini membantu dalam memahami konsep dasar, teori, dan metode yang berkaitan dengan kestabilan kapal, serta mengidentifikasi masalah-masalah yang umumnya muncul dalam konteks ini.

Selain studi pustaka, wawancara dengan pakar menjadi komponen penting dari metodologi

penelitian ini. Wawancara ini dilakukan dengan dosen ahli pada jurusan perikanan tangkap di Politeknik Negeri Lampung. Dosen-dosen tersebut telah memiliki pengalaman dan pengetahuan yang mendalam dalam bidang kestabilan kapal. Hasil dari wawancara ini digunakan untuk memperoleh wawasan praktis, pemahaman yang lebih mendalam tentang tantangan sehari-hari dalam menjaga kestabilan kapal, serta pengetahuan yang lebih luas tentang bagaimana konsep-konsep teoritis diterapkan dalam situasi nyata.

Salah satu hasil utama dari wawancara ini adalah pembentukan aturan atau *rule* yang digunakan dalam pengembangan model dengan metode *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS). *Rule-rule* ini menjadi landasan dalam proses prediksi kestabilan kapal dengan menggunakan ANFIS. Dalam penerapan metode ANFIS, ada beberapa parameter awal yang perlu dikonfigurasi, seperti jumlah *membership function*, *error goal*, dan jumlah iterasi (*epoch*). Selanjutnya, model ANFIS dilatih dan diuji menggunakan data yang relevan untuk menemukan model yang paling akurat dan sesuai untuk digunakan dalam prediksi kestabilan kapal.

Evaluasi performa model *Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System* (ANFIS) yang telah dikembangkan dalam penelitian ini merupakan langkah penting dalam menentukan sejauh mana model ini efektif dalam menghasilkan prediksi yang akurat dan relevan. Untuk melakukan evaluasi ini, digunakan metrik penting dalam analisis regresi, yaitu nilai *Mean Squared Error* (MSE), yang sering kali digunakan untuk mengukur seberapa baik model dapat memprediksi data dengan tepat.

Mean Squared Error (MSE) adalah metrik statistik yang mengukur seberapa besar deviasi antara prediksi yang dihasilkan oleh model dengan nilai sebenarnya dari data. Secara matematis, MSE dihitung dengan mengambil selisih antara setiap prediksi model dengan nilai sebenarnya, kemudian mengkuadratkannya, dan kemudian mengambil rata-rata dari seluruh kuadrat selisih tersebut. Semakin kecil nilai MSE, semakin baik model dalam memprediksi data dengan akurat [14].

Proses validasi model dengan menggunakan MSE ini memungkinkan untuk secara objektif mengevaluasi kinerja model ANFIS dalam menghadapi data empiris. Hasil evaluasi ini akan memberikan indikasi sejauh mana model dapat menggambarkan hubungan antara variabel-variabel yang ada dalam data, termasuk kemungkinan variabilitas dan ketidakpastian yang mungkin terjadi dalam konteks kestabilan kapal.

Selain mengandalkan pemahaman teoritis dari studi pustaka, penelitian ini juga memanfaatkan pengalaman praktis melalui wawancara dengan pakar dalam pengembangan dan evaluasi model prediksi kestabilan kapal yang canggih dan efektif. Hasil wawancara dengan para

ahli ini memberikan pemahaman yang lebih mendalam tentang tantangan yang mungkin dihadapi dalam memprediksi kestabilan kapal, serta kebutuhan untuk memastikan model yang dikembangkan sesuai dengan kondisi dan persyaratan yang sesungguhnya di lapangan.

Melalui pendekatan yang mengintegrasikan teori dan praktik ini, penelitian ini berusaha untuk menghasilkan model ANFIS yang dapat memberikan hasil prediksi yang akurat dan berguna dalam konteks kestabilan kapal.

Tabel 1. *Rule gyroscope*

No	Derajat Kemiringan	Keterangan
1	$> -2^\circ$ && Kemiringan $< 0^\circ$	Stabil
2	$< 2^\circ$ && Kemiringan $> 0^\circ$	Stabil
3	$\geq -2^\circ$ && Kemiringan $< -5^\circ$	Miring Kiri
4	$\geq 2^\circ$ && Kemiringan $\leq 5^\circ$	Miring Kanan
5	$\geq -5^\circ$ && Kemiringan $\leq -10^\circ$	Sangat Miring Kiri
6	$\geq 5^\circ$ && Kemiringan $\leq 10^\circ$	Sangat Miring Kanan

Tabel 2. *Rule status*

No	Status Waktu	Keterangan
1	Miring kiri && waktu > 7 menit	Waspada
2	Miring kanan && waktu > 7 menit	Waspada
3	Sangat miring kiri && waktu > 7 menit	Berbahaya
4	Sangat miring kanan && waktu > 7 menit	Berbahaya
5	Stabil	Stabil

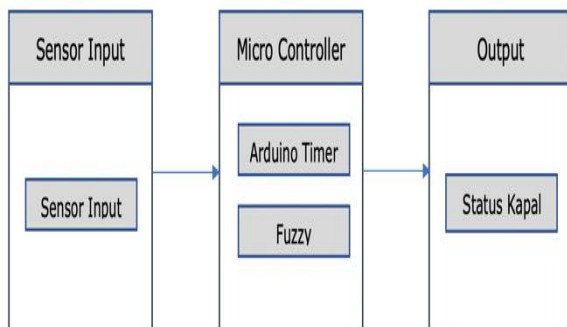
Dalam penelitian ini, fokus utama adalah implementasi sistem *Fuzzy Inference Model* Sugeno pada platform *embedded*. Pilihan untuk menggunakan model Sugeno dalam sistem ini didasarkan pada kemampuannya untuk mengatasi sejumlah besar kasus pengambilan keputusan yang

berbeda, yang membuatnya sangat relevan dalam berbagai aplikasi. Melalui pendekatan ini, kami bertujuan untuk meningkatkan kinerja sistem dalam mengatasi masalah yang melibatkan ketidakpastian, kompleksitas, dan variasi.

Arsitektur sistem yang telah dirancang dapat dijelaskan dan dilihat secara lebih detail melalui gambar 1. Gambar ini memberikan pandangan keseluruhan tentang bagaimana model *Fuzzy Inference System* kami terintegrasi ke dalam sistem *embedded*. Selain itu, gambar tersebut juga menggambarkan aliran data dan komunikasi antara komponen-komponen yang ada dalam sistem, yang akan sangat penting untuk pemahaman yang lebih baik tentang bagaimana sistem ini beroperasi secara keseluruhan.

Penerapan model Sugeno pada sistem *embedded* adalah langkah penting dalam menguji keberhasilan konsep ini dalam situasi dunia nyata. Ini akan memungkinkan kami untuk mengukur kinerja model dalam menangani data yang bervariasi dan mengambil keputusan yang sesuai dengan lingkungan yang berubah-ubah.

Selanjutnya, pada bagian ini kami akan memaparkan detail lebih lanjut mengenai arsitektur sistem, konfigurasi model Sugeno yang digunakan, serta hasil-hasil dari pengujian yang telah kami lakukan untuk mengevaluasi performa sistem secara keseluruhan.



Gambar 1. Arsitektur sistem

2.1 Sensor input

Sensor yang digunakan sebagai input dalam sistem adalah *sensor gyro* MPU 6050. Sensor ini berfungsi untuk mengukur derajat kemiringan kapal. Data yang diperoleh dari sensor ini akan digunakan sebagai salah satu input dalam proses peringatan status kapal.

2.2 Microcontroller

Microcontroller yang digunakan adalah *Arduino Nano*. *Arduino Nano* akan berperan penting dalam pengolahan data sensor dan proses *Fuzzy Inference System*. *Timer* pada *Arduino* akan digunakan untuk mengukur waktu dari seluruh

proses *fuzzy inference* akan dilakukan di dalam *microcontroller* ini.

2.3 Output

Output di sini akan mengeluarkan informasi berupa sudut kemiringan kapal serta status kapal yang akan di tampilkan pada LCD.

Fuzzy inference system adalah sistem yang dapat melakukan penalaran dengan prinsip serupa dengan manusia, dalam membangun sebuah sistem *fuzzy* terdapat tiga metode penalaran yaitu Tsukamoto, Mamdani dan sugeno [15], pada penelitian ini akan di gunakan metode sugeno karena metode sugeno memiliki output konsekuen. Pada model *fuzzy* yang akan di bangun akan memiliki 2 inputan yaitu gyro dengan 5 himpunan *fuzzy*, yaitu: sangat miring kiri, miring kiri, stabil, miring kanan, sangat miring kanan dan waktu dengan 2 himpunan *fuzzy* yaitu aman dan bahaya, Serta akan terdapat 10 *rule* yang dapat di lihat pada gambar 2.

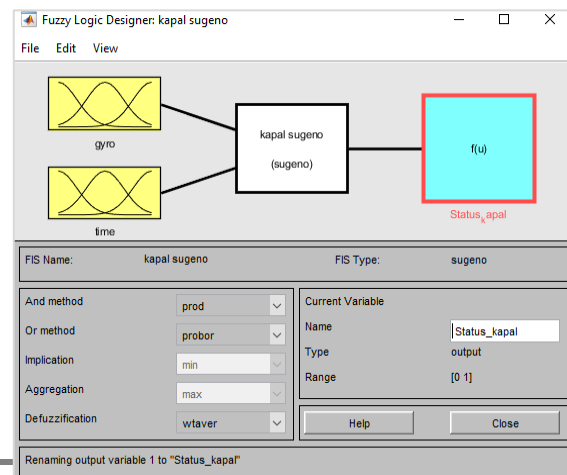
1. If (gyro is SM-Kiri) and (time is aman) then (Status_kapal is waspada) (1)
2. If (gyro is SM-Kiri) and (time is bahaya) then (Status_kapal is bahaya) (1)
3. If (gyro is M-Kiri) and (time is aman) then (Status_kapal is stabil) (1)
4. If (gyro is M-Kiri) and (time is bahaya) then (Status_kapal is waspada) (1)
5. If (gyro is Stabil) and (time is aman) then (Status_kapal is stabil) (1)
6. If (gyro is M-kanan) and (time is aman) then (Status_kapal is stabil) (1)
7. If (gyro is M-kanan) and (time is bahaya) then (Status_kapal is waspada) (1)
8. If (gyro is SM-kanan) and (time is aman) then (Status_kapal is waspada) (1)
9. If (gyro is SM-kanan) and (time is bahaya) then (Status_kapal is bahaya) (1)
10. If (gyro is Stabil) and (time is bahaya) then (Status_kapal is stabil) (1)

Gambar 2. Rule fuzzy

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Pembangunan model fuzzy

Sebelum melakukan implementasi pada mikrokontroler sebelumnya akan di lakukan simulasi pad matlab untuk memastikan bahwa



model yang di bangun dapat berjalan dan sesuai dengan aturan yang ada model *fuzzy* dapat di lihat pada gambar 3.

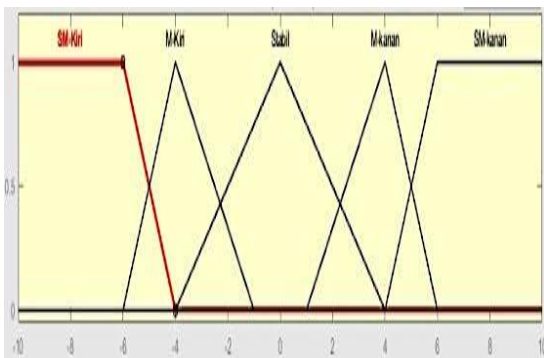
Gambar 3. Model fuzzy sugeno

A. Input

Terdapat 2 input yaitu *gyro* dan waktu. Selengkapnya dapat di lihat pada gambar 4 dibawah ini.

1. Gyro

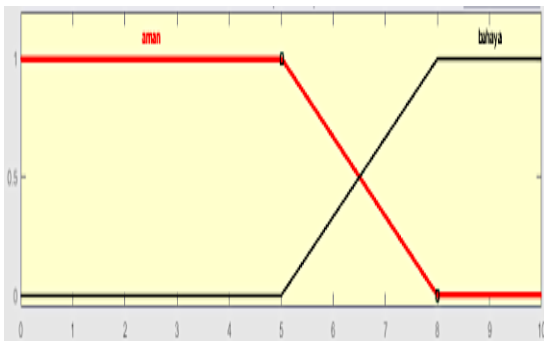
Pada *membership function* (MF) *gyro* terdapat 5 himpunan fuzzy yaitu sangat miring kiri, miring kiri, stabil, miring kanan, sangat miring kanan dengan rentang derajat kemiringan -10 sampai 10 derajat.



Gambar 4. Membership function gyro

2. Waktu

Untuk MF waktu terdapat 2 himpunan fuzzy yaitu aman dan bahaya.



Gambar 5. Membership function waktu

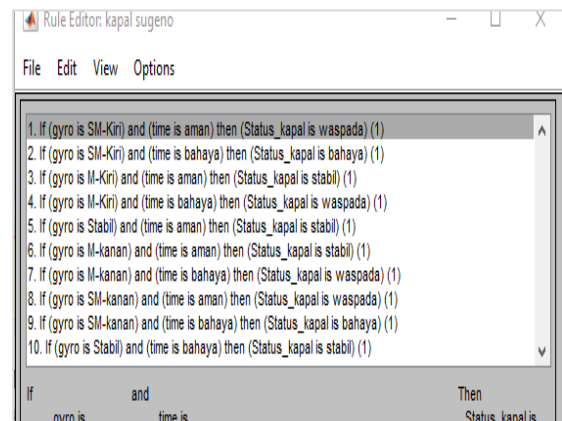
B. Output

Untuk output terdapat 3 output yaitu *output* dengan nilai 0 untuk status stabil, 1 waspada dan 2 bahaya.

C. Generate rule

Dalam pengembangan sistem peringatan status kapal berbasis *Fuzzy Inference System* dengan model Sugeno yang diimplementasikan pada *microcontroller* Arduino, sebuah aspek

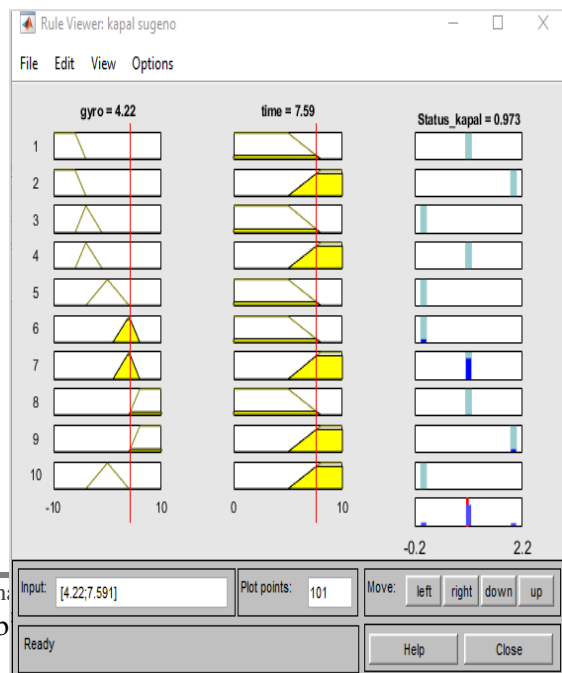
penting adalah konfigurasi aturan (*rules*) yang digunakan dalam sistem ini. Terdapat total 10 aturan yang telah dihasilkan sebagai dasar untuk proses pengambilan keputusan dalam menentukan status kapal. Detail lengkap mengenai aturan-aturan ini disajikan pada gambar 6. Konfigurasi *rule* ini menjadi inti dari sistem karena digunakan oleh sistem untuk menginterpretasikan data input dari sensor *gyroscope* dan menghasilkan output yang sesuai. Masing-masing aturan ini dirancang untuk memahami berbagai tingkat kemiringan kapal dan memberikan respon yang tepat sesuai dengan tingkat bahaya yang mungkin terkait dengan kemiringan tersebut.



Gambar 6. Rule

D. Test model fuzzy

Pada bagian ini akan membahas uji kinerja dari model *fuzzy* yang telah dikembangkan. Melalui serangkaian eksperimen dan pengujian, kami mengevaluasi sejauh mana model ini efektif dalam mengatasi tugas-tugas yang ditetapkan. Hasil-hasil dari pengujian ini akan memberikan wawasan yang dalam pemahaman tentang kemampuan serta keunggulan model fuzzy yang telah dirancang.



Gambar 7. Test model fuzzy

Gambar 7 menunjukkan bahwa model *fuzzy* yang telah berhasil dibuat dalam lingkungan MATLAB mampu beroperasi secara efektif. Oleh karena itu, langkah selanjutnya adalah menerapkannya pada sistem *embedded*. Dalam implementasi ini, kami akan menggunakan Arduino untuk mensimulasikan kemiringan kapal dan mengamati keluaran dari sistem berdasarkan data kemiringan yang dikumpulkan dari sensor *gyroscope*.

Implementasi sistem peringatan status kapal berbasis *Fuzzy Inference System* dengan model Sugeno merupakan tahap penting dalam pengembangan penelitian ini. Proses implementasi ini dilakukan dengan memanfaatkan platform *microcontroller* Arduino, yang telah terbukti andal dalam berbagai aplikasi *embedded*. Pada tahap ini, tujuan utama adalah untuk menciptakan lingkungan yang sesuai untuk mensimulasikan berbagai tingkat kemiringan kapal dan memantau hasil dari output sistem berdasarkan data kemiringan yang diperoleh dari sensor *gyroscope*.

Arduino sebagai platform utama implementasi adalah pilihan yang tepat karena kemudahannya dalam berinteraksi dengan berbagai jenis sensor dan perangkat keras lainnya. Dalam konteks ini, sensor *gyroscope* akan menjadi perangkat input utama yang digunakan untuk mengukur dan mengidentifikasi kemiringan kapal secara *real-time*. Data dari sensor ini akan dianalisis oleh sistem *Fuzzy Inference Model* Sugeno yang telah dikonfigurasi sebelumnya.

Pada tahap implementasi, kami memastikan bahwa sensor *gyroscope* terhubung dengan Arduino dengan benar dan menghasilkan data yang akurat. Selain itu, kami memprogram Arduino untuk mengambil data dari sensor, menerapkannya pada model Sugeno, dan menghasilkan peringatan sesuai dengan kondisi kemiringan kapal yang diukur. Pengaturan ini akan menciptakan lingkungan simulasi yang memungkinkan kami untuk menguji sistem dalam berbagai skenario kemiringan kapal.



Gambar 8. Implementasi pada Arduino dengan status bahaya



Gambar 9. Implementasi pada Arduino dengan status aman

Gambar 8 dan 9 merupakan visualisasi penting yang menggambarkan pencapaian dan hasil yang signifikan dalam penelitian ini. Melalui gambar-gambar ini, kami dapat dengan jelas melihat bahwa model *fuzzy* yang telah diimplementasikan pada platform Arduino mampu memberikan informasi tentang status kapal berdasarkan derajat kemiringannya dengan sangat efisien.

Gambar 8 secara visual memperlihatkan bagaimana model *fuzzy* ini mampu memproses data yang diterima dari sensor *gyroscope* dan mengonversinya menjadi status kapal yang dapat dimengerti oleh operator. Dengan cara ini, model ini berfungsi sebagai alat yang cerdas dalam membantu dalam pengambilan keputusan. Ini menjadi sangat berharga dalam situasi di mana kapal menghadapi kemungkinan bahaya karena kemiringan yang signifikan. Penggunaan model *fuzzy* membantu dalam menginterpretasikan data kemiringan kapal dengan lebih baik daripada metode manual atau pendekatan konvensional. Selain itu, Gambar 9 menunjukkan bahwa model *fuzzy* ini dapat diintegrasikan dengan sukses pada *microcontroller* Arduino. Ini adalah langkah kunci dalam membuat sistem ini praktis dan terapkan dalam situasi dunia nyata. *Microcontroller* Arduino adalah platform yang tangguh dan dapat diandalkan, yang membuatnya cocok untuk digunakan di lingkungan kapal yang mungkin memiliki kondisi lingkungan yang keras dan berubah-ubah. Selain itu, kami juga telah menguji kinerja sistem ini secara ekstensif melalui serangkaian pengujian yang beragam, yang mencakup berbagai tingkat kemiringan kapal. Hasil dari pengujian ini akan memberikan pemahaman yang lebih dalam tentang sejauh mana model *fuzzy* ini dapat diandalkan dalam menghasilkan peringatan yang akurat dan responsif, yang

tentunya merupakan faktor kunci dalam meningkatkan keselamatan dan kinerja kapal.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang sebuah sistem pendukung keputusan berbasis logika *Fuzzy* yang efektif untuk memantau dan menginterpretasikan status kestabilan kapal dengan menggunakan data dari sensor *gyroscope*. Model *fuzzy* yang dikembangkan dalam lingkungan MATLAB telah terbukti beroperasi secara efisien. Selanjutnya, integrasi model *fuzzy* ke dalam sistem *embedded* menggunakan *microcontroller* Arduino menjadikan sistem ini praktis dan dapat diterapkan dalam situasi dunia nyata. Hasil pengujian yang beragam, termasuk pengujian pada berbagai tingkat kemiringan, secara konsisten menegaskan kehandalan model *fuzzy* ini dalam menghasilkan peringatan yang akurat dan responsif. Dengan demikian, potensi besar sistem ini adalah meningkatkan tingkat keselamatan dan kinerja kapal dalam situasi dunia nyata.

REFERENCES

- [1] K. Kundori And P. Pranyoto, "Implementasi Kebijakan Transportasi Laut Dalam Rangka Pengembangan Sistem Logistik Nasional," *Majalah Ilmiah Bahari Jogja*, Vol. 21, No. 1, Pp. 52–60, Feb. 2023, Doi: 10.33489/Mibj.V21i1.317.
- [2] C. Amin, H. Mulyati, E. Anggraini, And T. Kusumastanto, "Impact Of Maritime Logistics On Archipelagic Economic Development In Eastern Indonesia," *The Asian Journal Of Shipping And Logistics*, Vol. 37, Feb. 2021, Doi: 10.1016/J.Ajsl.2021.01.004.
- [3] S. Yahya, H. Supomo, And S. Nugroho, "Risk Analysis Of Ship Collision In Indonesian Water Using House Of Risk," 2021.
- [4] "Buku Statistik Investigasi Kecelakaan Transportasi 2022".
- [5] W. R. Hetharia, F. Gaspersz, A. Feninlambir, And H. Com, "Evaluasi Parameter Stabilitas Kapal-Kapal Penumpang Kecil," *Seminar Nasional "Archipelago Engineering" (Ale)*, 2018.
- [6] Z. Ariany, B. Santoso, Suharto, And Sarwoko, "Ferry Ro-Ro 500 Dwt Vessel Stability Studi In The Effort To Maintain A National Shipping System," 2020, P. 020009. Doi: 10.1063/5.0015262.
- [7] A. Fadillah, S. Manullang, And R. Irvana, "Stabilitas, Hambatan Dan Olah Gerak Kapal Ikan Multi Purpose Net/Line Hauler 20 Gt Berdasarkan Kajian Ukuran Dan Bentuk Kasko Kapal," *Marine Fisheries : Journal Of Marine Fisheries Technology And Management*, Vol. 10, No. 2, Pp. 117–128, Nov. 2019, Doi: 10.29244/Jmf.V10i2.29313.
- [8] P. Titik Stabilitas Secara Melintang Kapal Dengan Percobaan Kemiringan Simulator Stabilitas Kapal Berbasis Mikrokontroler Arduino Budhi Santoso, C. Suzdayan, And P. Negeri Bengkalis, "Politeknik Negeri Bengkalis Oktober 2021, Hlm."
- [9] J. Hasil Karya Ilmiah, A. Bintang Novian, And A. Fauzan Zakki, "Jurnal Teknik Perkapalan Analisis Kekuatan Struktur Stern Ramp Door Dengan Variasi Bentuk Clevis Pada Kapal Ferry Ro-Ro 600 Gt," *Jurnal Teknik Perkapalan*, Vol. 9, No. 2, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/Naval>
- [10] A. Alamsyah, Z. Zulkarnaen, And S. Suardi, "The Stability Analyze Of Km. Rejeki Baru Kharisma Of Tarakan – Tanjung Selor Route," *Teknik*, Vol. 42, No. 1, Pp. 52–62, May 2021, Doi: 10.14710/Teknik.V42i1.31283.
- [11] A. Mashuda And N. Kholis, "Sistem Monitoring Kestabilan Kapal Rancang Bangun Sistem Monitoring Kestabilan Kapal Berbasis Arduino Menggunakan Sensor Gy-521 Secara Wireless."
- [12] K. Wiska Kafila And D. Syauqy, "Sistem Notifikasi Kondisi Angin Menggunakan Metode Fuzzy Untuk Keselamatan Pelayaran," 2018. [Online]. Available: [Http://J-Ptiik.Ub.Ac.Id](http://J-Ptiik.Ub.Ac.Id)
- [13] D. Yingjie, Z. Xianku, And Z. Guoqing, "Fuzzy Logic Based Speed Optimization And Path Following Control For Sail-Assisted Ships," *Ocean Engineering*, Vol. 171, Pp. 300–310, Jan. 2019, Doi: 10.1016/J.Oceaneng.2018.11.006.
- [14] T. O. Hodson, T. M. Over, And S. S. Foks, "Mean Squared Error, Deconstructed," *J Adv Model Earth Syst*, Vol. 13, No. 12, Dec. 2021, Doi: 10.1029/2021ms002681.
- [15] O. Melnyk *Et Al.*, "Application Of Fuzzy Controllers In Automatic Ship Motion Control Systems," *International Journal Of Electrical And Computer Engineering (Ijece)*, Vol. 13, No. 4, P. 3948, Aug. 2023, Doi: 10.11591/Ijece.V13i4.Pp3948-3957.

