

APLIKASI SISTEM PERINGATAN TABRAKAN PADA KAPAL BERBASIS DATA GPS MENGGUNAKAN LOGIKA FUZZY

Sryang T. Sarena, Ryan Y. Adhitya, Catur R. Handoko, Noorman Rinanto

Jurusan Teknik Kelistrikan Kapal, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya
Kampus ITS, Keputih Sukolilo Surabaya 60111

ABSTRACT

Automatic Identification System (AIS) is an important equipment in ship for giving ship's information to other ships or harbour. Unfortunately, there is still no ship collision warning system included in AIS. Hence, an application of ship collision early warning system based on Global Positioning System (GPS) data is proposed in this paper. Here, the zero-order sugeno fuzzy logic is used to process the ships speed and position data. The output of this warning system are recommended ships speed and heading direction to prevent the ship collision based on IMO (International Maritime Organization) regulation. The object used is a ship prototype equipped with GPS. The testing is held in four position of the ship prototype against static object. The positions are -45° , -25° , 25° dan 45° . The testing results yield 100% accuracy to the IMO regulation of the head on situations case.

Keywords: GPS, Zero-Order Sugeno Fuzzy Logic, Ship Collision

ABSTRAK

Automatic Identification System (AIS) pada kapal, memberikan informasi mengenai identitas dan beberapa kondisi suatu kapal kepada kapal lain maupun kepada pihak otoritas darat. Namun didalam AIS tidak tersedia suatu rekomendasi terhadap pengaturan arah dan kecepatan kapal secara otomatis. Pada penelitian ini dibuat sebuah aplikasi sistem peringatan dini otomatis untuk menghindari tabrakan berdasarkan data AIS yang disimulasikan menggunakan GPS receiver. Metode yang digunakan adalah logika fuzzy sugeno orde nol yang berfungsi untuk mengolah data posisi dan kecepatan kapal. Obyek dalam penelitian ini adalah prototype kapal dengan perangkat GPS. Respon yang dihasilkan oleh sistem peringatan ini adalah informasi berupa kecepatan dan arah haluan yang harus ditempuh agar tidak terjadi tabrakan sesuai dengan aturan yang telah ditentukan IMO (International Maritime Organization). Pengujian dilakukan dalam beberapa posisi prototype kapal terhadap objek statis. Berdasarkan empat pengujian bertahap yaitu posisi -45° , -25° , 25° dan 45° , hasil pengujian menunjukkan aplikasi ini mampu memenuhi kriteria IMO dalam kasus head on situations dengan persentase kesesuaian 100%.

Kata Kunci: GPS, fuzzy sugeno orde nol, tabrakan kapal.

PENDAHULUAN

Kondisi pelabuhan internasional di Indonesia yang memiliki alur pelayaran sempit dan dan lalu lintas padat seperti contohnya pelabuhan Tanjung Perak, dapat menyebabkan terjadinya tabrakan antar kapal. Rekap data Komite Nasional Keselamatan Transportasi (KNKT) pada tahun 2011-2014 [1] menyebutkan bahwa selama kurun waktu tersebut di Indonesia telah terjadi total 21 kecelakaan laut dimana 33% di antaranya adalah tubrukan antar kapal. Kecelakaan laut akibat tubrukan antar kapal ini selalu terjadi setiap tahun dengan persentase antara 25%-50% dari total kecelakaan laut per tahunnya. Salah satunya bahkan tubrukan yang terjadi antara tiga kapal sekaligus pada tahun 2014 di alur pelayaran Tanjung Perak, Surabaya [2].

Allianz Safety and Shipping Review 2015 mencatat perairan Indonesia sebagai salah satu “*top loss hotspots*”, yaitu perairan dengan tingkat kecelakaan di laut yang tinggi [3]. Salah satu upaya peningkatan keselamatan maritim melalui penggunaan teknologi navigasi dilakukan dengan diberlakukannya pemasangan AIS (*Automatic Identification System*) untuk beberapa tipe dan

ukuran kapal yang diwajibkan oleh Organisasi Maritim Internasional atau International Maritime Organisation (IMO).

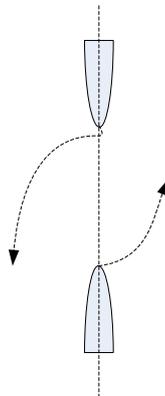
AIS digunakan oleh pusat pengaturan lalu lintas pelayaran atau Vessel Traffic Service (VTS) di suatu pelabuhan untuk mendapatkan informasi tentang kapal-kapal yang beroperasi di area tersebut. Hal ini dilakukan untuk memudahkan pengaturan lalu lintas sehingga tabrakan antar kapal dapat dihindari. Selain pada pelabuhan, AIS juga terdapat pada setiap kapal yang spesifikasinya memenuhi syarat kapal yang diharuskan memasang AIS oleh IMO [4]. AIS yang terpasang pada kapal secara kontinyu mengirim informasi mengenai identitas kapal, tipe, posisi, kecepatan, dll kepada kapal-kapal lain dan pelabuhan terdekat. Begitu pula sebaliknya, AIS pada kapal akan menerima informasi tersebut dari kapal-kapal lain yang sedang melintas. Di sisi lain, terdapat beberapa kelemahan yang ditemui pada teknologi ini, salah satunya adalah: pada AIS tidak tersedia rekomendasi pengaturan arah dan kecepatan kapal secara otomatis pada sistem informasi pelayaran sebagai saran bagi nahkoda [5].

Beberapa penelitian tentang sistem untuk menghindari tabrakan kapal menggunakan metode fuzzy telah dilakukan [5,6] namun baru sebatas perancangan dan simulasi, karena itu penelitian ini dibuat untuk mengaplikasikan sistem yang praktis untuk menghindari tabrakan kapal, dimulai dengan uji coba pada prototipe.

TINJAUAN PUSTAKA

Peraturan IMO Mengenai Tabrakan

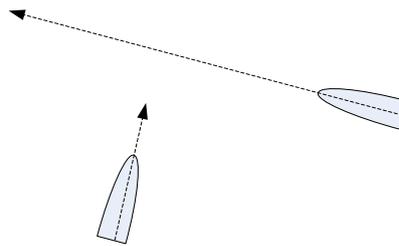
Aturan IMO [7] yang akan diterapkan dalam penelitian ini diambil dari bagian B mengenai pengemudian kapal dan pelayaran pada *Convention on the International Regulations for Preventing Collisions at Sea* (COLREGs), khususnya untuk situasi kapal berhadapan dan kapal bersimpangan. Aturan tersebut adalah sebagai berikut :



Gambar 1. *Head-on situation*

1. Situasi Kapal Berhadapan (*Head-on situation*)

Saat dua kapal motor bertemu secara berhadapan dan beresiko tabrakan seperti diilustrasikan pada Gambar 1, masing-masing kapal harus mengubah haluan ke kanan sehingga saling melintasi bagian kiri masing-masing. Situasi tersebut dianggap ada saat sebuah kapal melihat ada kapal didepannya dan pada waktu malam, saat lampu tiang (*mast head light*) kapal lain terlihat. Saat sebuah kapal ragu apakah terdapat situasi seperti atau tidak, maka harus diasumsikan bahwa terdapat situasi tersebut dan bertindak sesuai aturan.



Gambar 2. Crossing situation

2 Situasi Kapal Bersimpangan (*Crossing situation*)

Saat dua kapal motor saling bersimpangan seperti ilustrasi pada Gambar 2 sehingga menimbulkan resiko tabrakan, kapal yang berada di sebelah kiri kapal lain atau dengan kata lain melihat kapal lain di sebelah kanannya, harus memberi jalan pada kapal lain tersebut.

Sistem Inferensi Fuzzy Metode Sugeno

Metode fuzzy sugeno merupakan metode yang ditemukan oleh Takagi, Sugeno dan Kang atau biasa dikenal dengan istilah TSK. Secara umum memiliki tahapan yang sama dengan metode fuzzy mamdani dengan perbedaan yang mendasar adalah pada pembentukan aturan dasar dan proses defuzzifikasi. Tahapan yang pertama adalah fuzzifikasi, merupakan proses klasifikasi bilangan semesta kedalam bentuk himpunan fuzzy, masing - masing himpunan memiliki fungsi keanggotaan khusus atau membership function diantaranya fungsi keanggotaan segitiga (triangle mf), fungsi keanggotaan trapesium (trapezoid mf) dan fungsi keanggotaan Gaussian. Ketiga fungsi keanggotaan tersebut seringkali digunakan untuk menyelesaikan permasalahan prediksi dan kontrol [8,9,10]. Untuk mendefinisikan hubungan atau korelasi antar himpunan, berbeda dengan fuzzy mamdani, metode fuzzy sugeno memiliki definisi output (konsekuen) berupa konstanta (orde nol) atau persamaan linier (orde satu) sedangkan output dalam metode Mamdani berbentuk langsung himpunan fuzzy [11]. Berikut adalah bentuk persamaan metode fuzzy sugeno [12,13] :

a) Fuzzy Sugeno Orde Nol

Bentuk persamaan metode fuzzy sugeno orde nol adalah :

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } B_1) \circ (x_2 \text{ is } B_2) \circ (x_3 \text{ is } B_3) \circ \dots (x_N \text{ is } B_N) \text{ THEN } z=j$$

B_i merupakan himpunan fuzzy ke - i (anteseden) dan j_i adalah konstanta sebagai konsekuen.

b) Fuzzy Sugeno Orde Satu

Bentuk persamaan metode fuzzy sugeno orde satu [10,11] adalah:

$$\text{IF } (x_1 \text{ is } B_1) \circ (x_2 \text{ is } B_2) \circ \dots (x_N \text{ is } B_N) \text{ THEN } z=j_1 * x_1 + \dots + j_N * x_N + m$$

B_i merupakan himpunan fuzzy ke - i (anteseden), j_i konstanta tegas ke-i dan m adalah konstanta sebagai konsekuen.

Bentuk persamaan fuzzy sugeno digunakan untuk proses pembentukan aturan dasar. Sebuah sistem inferensi terdiri dari beberapa aturan dasar, dan untuk menentukan nilai inferensi dapat diperoleh dari korelasi aturan yang telah ditentukan sebelumnya. Hasil perhitungan inferensi

diperoleh dengan menghitung $\sum_{r=1}^R \alpha_r z_r$ dengan R banyaknya rule, α_r fire strength atau nilai bobot

ke-r dan z_r output pada anteseden aturan ke-r.

Proses terakhir adalah Defuzifikasi, proses ini dilakukan dengan menghitung nilai rata - rata

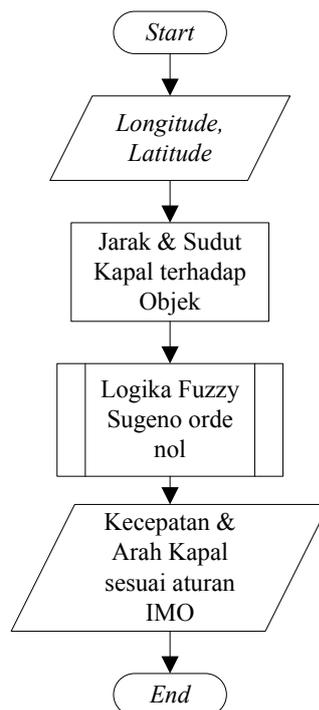
kalkulasi bobot dan anteseden (*Center Average Defuzzifier*)
$$z = \frac{\sum_{r=1}^R \alpha_r z_r}{\sum_{r=1}^R \alpha_r} \quad [4].$$

METODE

Perancangan Sistem

Hardware yang digunakan pada penelitian ini adalah prototype kapal RC (remote control), mikrokontroller arduino uno dan sensor GPS u-blox 6m. Dari pergerakan kapal tersebut akan dilakukan pengamatan terhadap respon sistem peringatan aplikasi AIS, dan hasil dari informasi berupa peringatan kecepatan dan arah haluan yang disarankan divalidasi berdasarkan aturan IMO.

Untuk mendapatkan posisi kapal secara real time maka sensor GPS digunakan, sensor GPS menghasilkan pembacaan koordinat posisi berupa longitudo dan latitude. Data berupa latitude dan longitudo tersebut digunakan sebagai penanda posisi kapal, dari perubahan posisi kapal dapat ditentukan jarak dan sudut kapal dari objek yang dituju. Masukan data berupa perubahan sudut dan jarak kapal dipakai sebagai variabel masukan logika fuzzy sugeno orde nol. Diagram alir kerja sistem ditunjukkan pada Gambar 3.



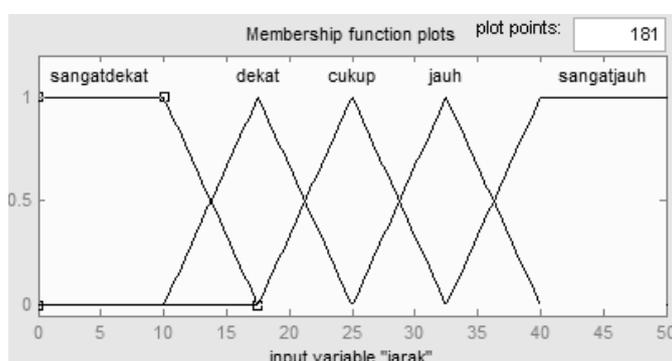
Gambar 3. Diagram alir kerja sistem

Variabel masukan yang pertama adalah jarak, jarak disini merupakan jarak antara objek yang dinamis (bergerak) dengan jarak objek statis. Objek dinamis atau prototype kapal dengan posisi awal yang sudah ditentukan yaitu dengan empat posisi yang membentuk garis horizontal sejajar, dimana garis horizontal tersebut tegak lurus 90° terhadap sumbu vertikal utama objek statis. Dari data GPS dapat ditentukan perbedaan sudut antara kedua objek, sehingga dengan aturan cosinus dapat ditentukan jarak objek dinamis terhadap objek statis. Tabel 1 menunjukkan fungsi keanggotaan untuk variabel jarak.

Berdasarkan Tabel 1 terdapat lima fungsi keanggotaan dengan bentuk keanggotaan kombinasi antara *trapezoid* (trapesium) dan *triangle* (segitiga), jarak maksimum antar kedua objek adalah 50 meter, sehingga grafik hubungan fungsi keanggotaan atau himpunan variabel jarak dapat digambarkan pada Gambar 4.

Tabel 1. Fungsi keanggotaan variabel jarak

No	Fungsi keanggotaan	Bentuk keanggotaan	Range (matriks)
1	Sangat dekat	<i>Trapezoid</i>	(0 0 10 17.5)
2	Dekat	<i>Triangle</i>	(10 17.5 25)
3	Cukup	<i>Triangle</i>	(17.5 25 32.5)
4	Jauh	<i>Triangle</i>	(25 32.5 40)
5	Sangat jauh	<i>Trapezoid</i>	(32.5 40 50 50)



Gambar 4. Plot fungsi keanggotaan variabel jarak

Sumbu y pada Gambar 4 adalah besar nilai derajat keanggotaan dengan nilai antara 0 sampai dengan 1, sehingga perubahan nilai keanggotaan berupa floating point atau angka dibelakang koma. Dan sumbu x adalah jarak antar objek yaitu dikisaran 0 meter sampai dengan 50 meter.

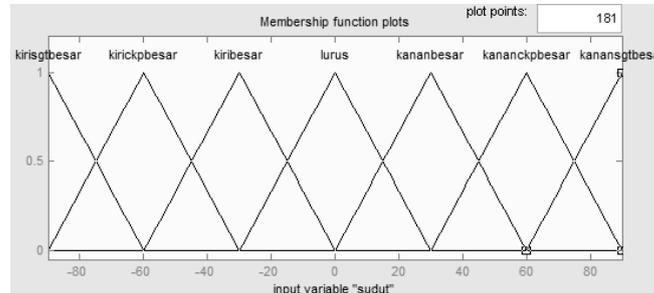
Variabel masukan kedua adalah sudut, perubahan sudut antar kedua objek merepresentasikan posisi prototype kapal terhadap objek statis. Sehingga dapat ditentukan aturan dasar sesuai dengan kriteria - kriteria IMO, apakah prototype kapal dapat melaju dengan kecepatan maksimum atau kapal diharuskan untuk menurunkan kecepatan dan merubah arah haluan kapal untuk menghindari terjadinya tabrakan. Variabel sudut memiliki *range* atau kisaran antara -90° hingga 90° dengan posisi minus (-) objek statis berada disebelah kanan badan kapal, posisi 0° objek statis berada tegak lurus dengan badan kapal dan posisi plus (+) objek statis berada disebelah kiri badan kapal. Pembagian fungsi keanggotaan untuk variabel sudut kapal terhadap objek statis pada Tabel 2.

Tabel 2. Fungsi keanggotaan variabel sudut

No	Fungsi keanggotaan	Bentuk keanggotaan	Range (matriks)
1	Kiri sgt besar	<i>Triangle</i>	(-90 -90 -60)
2	Kiri ckp besar	<i>Triangle</i>	(-90 -60 -30)
3	Kiri besar	<i>Triangle</i>	(-60 -30 0)
4	Lurus	<i>Triangle</i>	(-30 0 30)
5	Kanan besar	<i>Triangle</i>	(0 30 60)
6	Kanan ckp besar	<i>Triangle</i>	(30 60 90)
7	Kanan sgt besar	<i>Triangle</i>	(60 90 90)

Tabel 2 menunjukkan terdapat tujuh fungsi keanggotaan dengan bentuk keanggotaan keseluruhan adalah triangle (segitiga), bentuk keanggotaan segitiga dipilih karena setiap himpunan

bersifat dominan dengan derajat keanggotaan yang sama atau dapat diartikan perubahan sudut dari himpunan satu ke himpunan yang lain menjadi hal yang sangat diperhatikan pada penelitian ini. Sehingga grafik hubungan fungsi keanggotaan atau himpunan variabel sudut dapat digambarkan sebagai berikut:



Gambar 5. Plot fungsi keanggotaan variabel sudut

Setelah menentukan variabel masukan, selanjutnya adalah variabel keluaran dari sistem inferensi fuzzy, karena informasi keluaran pada aplikasi AIS adalah berupa saran kecepatan dan arah yang harus ditempuh berdasarkan aturan IMO sehingga besarnya konstanta untuk masing-masing variabel ditentukan terlebih dahulu.

Kecepatan pada prototype kapal ditentukan dengan persentase, karena motor drive pada prototype kapal menerima masukan berupa modulasi sinyal (pulse width modulation) dengan persentase lebar pulsa yang dapat dimodifikasi dengan kondisi 0% pada kecepatan minimum dan 100% pada kecepatan maksimum. Perubahan kecepatan motor yang sebanding atau linear terhadap persentase lebar pulsa, sehingga untuk variabel kecepatan dibagi menjadi 5 himpunan dengan nilai konstan sesuai Tabel 3.

Tabel 3. Himpunan keluaran variabel kecepatan

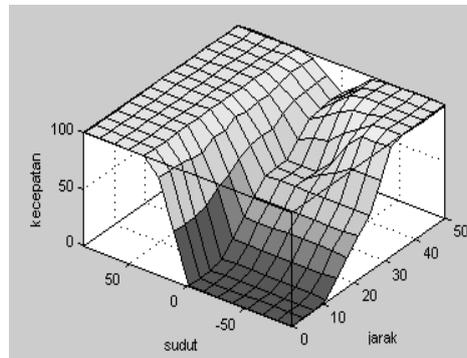
No	Himpunan	Konstanta
1	Sangatcepat	100%
2	Cepat	75%
3	Sedang	50%
4	Lambat	25%
5	Sangat lambat	0%

Arah haluan yang merupakan variabel keluaran yang kedua pada sistem inferensi fuzzy, memiliki range antara 0° sampai dengan 180°. Arah haluan yang disarankan untuk objek yang bergerak atau dinamis (prototipe kapal) memiliki tujuh himpunan dengan nilai konstanta masing-masing pada Tabel 4.

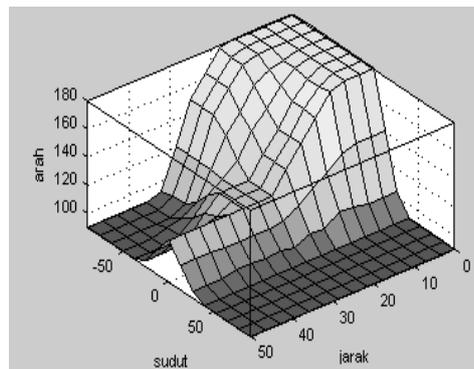
Tabel 4. Himpunan keluaran variabel arah

No	Himpunan	Konstanta
1	Arah0	0°
2	Arah30	30°
3	Arah60	60°
4	Arah90	90°
5	Arah120	120°
6	Arah150	150°
7	Arah180	180°

Langkah selanjutnya adalah menentukan aturan dasar (rule base) berdasarkan kriteria-kriteria yang ada pada aturan International Maritime Organization (IMO) section II tentang *conduct of vessels in sight of one another* poin ke 14 tentang *head on situations*. Sehingga menyesuaikan dengan jumlah fungsi keanggotaan variabel input dan segala kemungkinan yang dapat terjadi maka total keseluruhan aturan untuk sistem inferensi fuzzy sugeno orde nol terdapat 35 aturan dasar (5 (memberhip function jarak) x 7 (membership function sudut)).

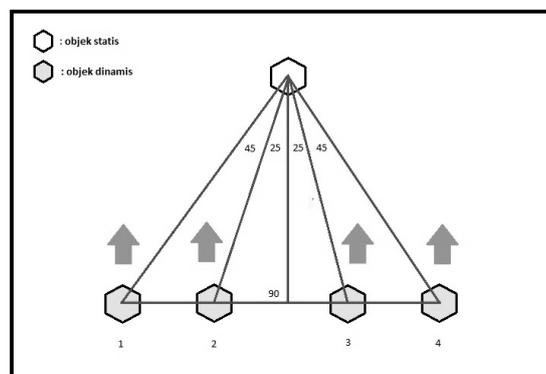


Gambar 6. Hubungan antara sudut, jarak & kecepatan



Gambar 7. Grafik Hubungan antara sudut, jarak & arah kapal

Rule base yang berisi aturan atau kondisi (if (kondisi) then ($z=k$)) dengan operator “and” atau “or” untuk menentukan ada atau tidaknya korelasi atau interaksi antar membership function variabel yang berbeda membentuk surface atau grafik hubungan antara variabel masukan dan keluaran. Hubungan antara variabel masukan dan keluaran berupa kecepatan kapal ditunjukkan pada Gambar 6, sedangkan grafik antara variabel masukan dan keluaran yang berupa arah kapal berada pada Gambar 7.



Gambar 8. Posisi pengujian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini ada empat jenis pengujian dengan posisi awal objek dinamis yang berbeda-beda seperti yang diilustrasikan pada Gambar 8. Prototipe kapal diletakkan pada posisi awal yang sudah ditentukan dan dikendalikan secara manual menggunakan remote control, pergerakan kapal adalah tegak lurus 90° dan selama kapal bergerak data GPS yang berupa *latitude* dan *longitude* disimpan dan diproses menggunakan fuzzy sugeno orde nol. Hasil keluaran logika fuzzy dianalisis berdasarkan aturan IMO.

1. Posisi Objek Statis Berada -45° dari Prototype Kapal yang Bergerak Lurus Mendekati Objek.

Kapal diletakkan -45° dari sumbu vertikal utama objek statis yang tegak lurus dengan sumbu horizontal posisi awal kapal. Karena jarak sumbu vertikal utama dengan sumbu horizontal posisi awal kapal berjarak 25 meter, sehingga secara perhitungan matematis menggunakan aturan cosinus, jarak objek dinamis dengan objek statis jika ditarik garis diagonal maka;

$$\text{Cos}(45^\circ) = 25/x$$

Dengan x adalah garis diagonal yang merupakan jarak aktual kedua objek, sehingga didapatkan;

$$x = 25/0.707$$

$$x = 35.36 \text{ meter}$$

Untuk kondisi pertama posisi awal kapal memiliki jarak 35.36 meter dari objek statis dengan sudut sebesar -45°. Berdasarkan data GPS posisi latitude dan longitude posisi awal kapal adalah -7.278989, 112.793759, sedangkan posisi objek statis adalah konstan yaitu -7.278825, 112.793490. Posisi tersebut dikonversi secara linear melalui penskalaan dan didapatkan jarak kedua objek yaitu 34.01 meter dengan sudut -44.75°, selisih antara perhitungan dan data GPS terjadi karena tingkat kesalahan atau akurasi GPS ± 2 meter dari koordinat aktual objek. kondisi awal kapal ditunjukkan Gambar 9.



Gambar 9. Posisi objek statis berada -45° dari prototype kapal

Gambar 9 menunjukkan karena jarak antar kedua objek masuk kedalam kategori sangat jauh maka sistem menganjurkan kapal untuk mengurangi kecepatan kapal dari kecepatan maksimum menjadi 81.87% dan arah haluan yang harus ditempuh adalah berbelok ke kanan dengan sudut sebesar 100.87° dari sudut pergerakan lurus kapal yaitu 90°. Pengujian tidak hanya terbatas pada posisi awal kapal tetapi pada saat kapal bergerak mendekati objek statis, Tabel 5 adalah hasil respon sistem untuk 5 sampling data dari posisi awal hingga akhir pergerakan prototype kapal.

Tabel 5. Hasil respon sistem saat posisi objek statis berada -45° dari prototype kapal

data ke-	data GPS		hasil konversi		hasil defuzzifikasi		kesesuaian dengan aturan IMO
	latitude	longitude	jarak (m)	sudut	kecepatan (%)	arah	
1	-7,278989	112,793759	34,01	-44,75	81,87	100,87	sesuai
2	-7,278989	112,793717	29,55	-56,81	75,01	114,72	sesuai
3	-7,278994	112,793672	20,73	-62,11	35,98	166,82	sesuai
4	-7,278989	112,793616	14,68	-77,05	14,26	180	sesuai
5	-7,278986	112,793557	11,23	-80,97	6,17	180	sesuai

Sampling data pertama hingga ke lima pada Tabel 5, menunjukkan bahwa hasil respon kecepatan mengalami penurunan hal ini dikarenakan pergerakan objek dinamis yang bergerak mendekati objek statis, sedangkan respon arah yang disarankan telah memenuhi kriteria IMO. Hasil perubahan arah yang cukup signifikan terdapat pada data ketiga dimana kapal dianjurkan untuk berbelok sebesar 166.82° disertai penurunan kecepatan hingga 35.98%, data keempat dan kelima juga menunjukkan arah haluan yang harus ditempuh adalah berbelok maksimum kekanan yaitu 180° karena jarak antara kedua objek masuk kedalam kategori sangat dekat.

2. Posisi Objek Statis Berada -25° dari Prototype Kapal yang Bergerak Lurus Mendekati Objek.

Untuk kondisi kedua kapal diletakkan -25° dari sumbu vertikal utama objek statis yang tegak lurus dengan sumbu horizontal posisi awal kapal. Karena jarak sumbu vertikal utama dengan sumbu horizontal posisi awal kapal sama seperti kondisi pertama yaitu berjarak 25 meter, sehingga secara perhitungan matematis menggunakan aturan cosinus, jarak objek dinamis dengan objek statis jika ditarik garis diagonal maka;

$$\text{Cos}(25^\circ) = 25/x$$

Dengan x adalah garis diagonal yang merupakan jarak aktual kedua objek, sehingga didapatkan;

$$x = 25/0.906$$

$$x = 27.59 \text{ meter}$$

pada kondisi kedua posisi awal kapal memiliki jarak 27.59 meter dari objek statis dengan sudut sebesar -25° . Berdasarkan data GPS posisi latitude dan longitude posisi awal kapal adalah $-7.278900, 112.793748$, sedangkan posisi objek statis adalah konstan yaitu $-7.278825, 112.793490$. Posisi tersebut dikonversi secara linear melalui penskalaan dan didapatkan jarak kedua objek yaitu 25.88 meter dengan sudut -23.9° . kondisi awal kapal ditunjukkan Gambar 10.

Gambar 10 menunjukkan karena jarak antar kedua objek masuk kedalam kategori cukup jauh maka sistem menganjurkan kapal untuk mengurangi kecepatan kapal dari kecepatan maksimum menjadi 50% dan arah haluan yang harus ditempuh adalah berbelok ke kanan dengan sudut sebesar 120° dari sudut pergerakan lurus kapal yaitu 90° .



Gambar 10. Posisi objek statis berada -25° dari prototype kapal

Pengujian tidak hanya terbatas pada posisi awal kapal tetapi pada saat kapal bergerak mendekati objek statis, Tabel 6 adalah hasil respon sistem untuk 5 sampling data dari posisi awal hingga akhir pergerakan prototype kapal.

Tabel 6. Hasil respon sistem saat posisi objek statis berada -25° dari prototype kapal

data ke-	data GPS		hasil konversi		hasil defuzzifikasi		kesesuaian dengan aturan IMO
	latitude	longitude	jarak (m)	sudut	kecepatan (%)	arah	
1	-7,2789	112,793748	25,88	-23,9	50	120	sesuai
2	-7,278905	112,793709	21,32	-31,23	37,71	137,01	sesuai
3	-7,278908	112,793669	16,59	-40,09	20,11	163,97	sesuai
4	-7,278914	112,793625	10,74	-65,52	4,12	180	sesuai
5	-7,278922	112,793574	7,03	-79,1	0	180	sesuai

Sampling data pertama hingga ke lima pada Tabel 6, menunjukkan bahwa hasil respon kecepatan menunjukkan penurunan karena pergerakan objek dinamis yang mendekati objek statis dan respon arah juga telah memenuhi kriteria IMO. Hasil perubahan arah yang cukup signifikan terdapat pada data kelima dimana kapal dianjurkan untuk berbelok maksimum sebesar 180° disertai penurunan kecepatan hingga kecepatan yaitu 0%, hal ini terjadi karena jarak antar kedua objek masuk kedalam kategori sangat dekat dengan derajat nilai keanggotaan sangat dekat sama dengan 1 atau dominan, sehingga jika kecepatan tidak segera diturunkan maka berpotensi mengakibatkan terjadinya tabrakan.

3. Posisi Objek Statis Berada 25° dari Prototype Kapal yang Bergerak Lurus Mendekati Objek.

Kondisi ketiga kapal diletakkan 25° dari sumbu vertikal utama objek statis yang tegak lurus dengan sumbu horizontal posisi awal kapal. Karena sudut bernilai definit positif maka posisi kapal pada kondisi ini berada disebelah kiri objek statis. Jarak sumbu vertikal utama dengan sumbu horizontal posisi awal kapal berjarak 25 meter, sehingga secara perhitungan matematis menggunakan aturan cosinus, jarak objek dinamis dengan objek statis jika ditarik garis diagonal sama seperti persamaan 4.4 dengan x sebesar 27.59 meter.

Sehingga untuk kondisi ketiga posisi awal kapal memiliki jarak 27.59 meter dari objek statis dengan sudut sebesar 25° . Berdasarkan data GPS posisi latitude dan longitude posisi awal kapal adalah -7.278811, 112.793734, sedangkan posisi objek statis adalah konstan yaitu -7.278825, 112.793490. posisi tersebut dikonversi secara linear melalui penskalaan dan didapatkan jarak kedua objek yaitu 26.6 meter dengan sudut 24.71° . kondisi awal kapal ditunjukkan Gambar 11.



Gambar 11. Posisi objek statis berada 25° dari prototype kapal

Gambar 11 menunjukkan karena jarak antar kedua objek masuk kedalam kategori cukup jauh maka sistem menganjurkan kapal untuk menjaga kecepatan kapal pada kategori cepat atau sangat cepat sebesar 86.96% dan arah haluan yang harus ditempuh adalah lurus condong ke kanan dengan sudut deviasi sebesar 97.82° dari sudut pergerakan lurus kapal yaitu 90° . Pengujian tidak hanya terbatas pada posisi awal kapal tetapi pada saat kapal bergerak mendekati objek statis, Tabel 7 adalah hasil respon sistem untuk 5 sampling data dari posisi awal hingga akhir pergerakan prototype kapal.

Sampling data pertama hingga ke lima pada Tabel 7, menunjukkan bahwa hasil respon kecepatan menunjukkan perubahan nilai yang konstan hal ini dikarenakan sesuai aturan IMO jika objek statis berada disebelah kiri badan kapal maka kapal dianjurkan untuk mendahului dengan mempertahankan kecepatan atau meningkatkan kecepatan kapal. Data kedua hingga data kelima tidak menunjukkan perubahan kecepatan maupun arah yang disarankan oleh sistem, kapal dianjurkan untuk menjaga kecepatan pada kondisi maksimum dengan arah haluan lurus atau 90° .

Tabel 7. Hasil respon sistem saat posisi objek statis berada 25° dari prototype kapal

data ke-	data GPS		hasil konversi		hasil defuzzifikasi		kesesuaian dengan aturan IMO
	latitude	longitude	jarak (m)	sudut	kecepatan (%)	arah	
1	-7,278811	112,793734	26,6	24,71	86,96	97,82	sesuai
2	-7,278819	112,7937	20,83	35,39	100	90	sesuai
3	-7,278827	112,793672	17,51	43,11	100	90	sesuai
4	-7,278833	112,793641	13,98	57,02	100	90	sesuai
5	-7,278839	112,793608	9,5	70,59	100	90	sesuai

4. Posisi Objek Statis Berada 45° dari Prototype Kapal yang Bergerak Lurus Mendekati Objek.

Kondisi yang terakhir atau yang keempat kapal diletakkan 45° dari sumbu vertikal utama objek statis yang tegak lurus dengan sumbu horizontal posisi awal kapal. Karena jarak sumbu vertikal utama dengan sumbu horizontal posisi awal kapal berjarak 25 meter, sehingga secara perhitungan matematis menggunakan aturan cosinus, jarak objek dinamis dengan objek statis jika ditarik garis diagonal maka jarak x adalah 35.36 meter.

Sehingga untuk kondisi keempat posisi awal kapal memiliki jarak 35.36 meter dari objek statis dengan sudut sebesar 45°. Berdasarkan data GPS posisi latitude dan longitude posisi awal kapal adalah -7.278739, 112.793734, sedangkan posisi objek statis adalah konstan yaitu -7.278825, 112.793490. posisi tersebut dikonversi secara linear melalui penskalaan dan didapatkan jarak kedua objek yaitu 34.77 meter dengan sudut 44.02°. Kondisi awal kapal ditunjukkan Gambar 12.



Gambar 12. Posisi objek statis berada 45° dari prototype kapal

Gambar 12 menunjukkan karena jarak antar kedua objek masuk kedalam kategori sangat jauh dan posisi objek statis berada jauh disebelah kiri badan kapal maka sesuai aturan IMO sistem menganjurkan kapal untuk tidak mengubah atau menambah kecepatan kapal menjadi kecepatan maksimum 100% dan arah haluan yang harus ditempuh adalah lurus 90°. Pengujian tidak hanya terbatas pada posisi awal kapal tetapi pada saat kapal bergerak mendekati objek statis, Tabel 8 adalah hasil respon sistem untuk 5 sampling data dari posisi awal hingga akhir pergerakan prototype kapal.

Keseluruhan hasil defuzzifikasi keluaran kecepatan dan arah pada Tabel 8 menunjukkan hasil respon kecepatan dan arah yang konstan dikarenakan posisi objek statis yang berada jauh disebelah kiri badan kapal, meskipun perubahan jarak pada data ke-5 posisi kapal terhadap objek statis sangat dekat, aplikasi menganjurkan kapal untuk tidak mengurangi kecepatan maupun arah haluan sesuai dengan aturan IMO.

Tabel 8. Hasil respon sistem saat posisi objek statis berada 45° dari prototype kapal

data ke-	data GPS		hasil konversi		hasil defuzzifikasi		kesesuaian dengan aturan IMO
	latitude	longitude	jarak (m)	sudut	kecepatan (%)	arah	
1	-7,278739	112,793734	34,77	44,02	100	90	sesuai
2	-7,278747	112,793703	28,01	53,94	100	90	sesuai
3	-7,278755	112,79367	19,12	60,15	100	90	sesuai
4	-7,278764	112,793633	14,9	75,13	100	90	sesuai
5	-7,278772	112,793605	11,98	73,92	100	90	sesuai

Dari keempat pengujian tersebut secara garis besar aplikasi sistem peringatan dini berbasis fuzzy sugeno orde nol, dengan metode minmax untuk proses fuzzifikasi dengan hanya menerapkan bentuk keanggotaan trapezoid dan triangle, serta metode weight average value untuk proses defuzzifikasi sudah mampu memenuhi kriteria sebagai aplikasi peringatan dini yang sesuai dengan aturan IMO untuk permasalahan *head on situations*.

KESIMPULAN

Menggunakan fuzzy sugeno orde nol, dengan metode minmax untuk proses fuzzifikasi dengan menerapkan bentuk keanggotaan trapezoid dan triangle, serta metode weight average value untuk proses defuzzifikasi, aplikasi peringatan dini terhadap tabrakan kapal ini sudah mampu memenuhi kriteria aturan IMO untuk permasalahan *head on situations*. Hal tersebut dibuktikan dengan capaian sebesar 100% untuk tingkat kesesuaian respon sistem dengan kriteria IMO pada keempat pengujian yang dilakukan pada penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. http://kemhubri.dephub.go.id/knkt/ntsc_maritime/Laut
- [2]. *Laporan Final Investigasi Kecelakaan Pelayaran, Tubrakan antara KM. Journey dengan KM. Fatima III dan KM.Lambelu*, KNKT, KemenHubRI .
- [3]. G. Dobie, H. Kidston, T. Chamberlain, C. Fields, 2015, *Safety and Shipping Review 2015*, Allianz Global Corporate and Specialty.
- [4]. International Maritime Organisation, "*SOLAS - International Convention for the Safety of Life at Sea*", diamandemen pada tahun 2002.
- [5]. L. P. Perera, J. P. Carvalho dan C. G. Soares, 2011, *Fuzzy logic based decision making system for collision avoidance of ocean navigation under critical collision conditions*, Journal of Marine Science Tehnology.
- [6]. Saiko, 2011, *Perancangan Sistem Pengendalian Pada Kapal Berbasis Data Ais (Automatic Identification System) untuk Menghindari Tabrakan*, Tugas Akhir Jur. Tek. Fisika, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7]. *IMO (1972) Convention on the international regulations for preventing collisions at sea (COLREGs)*. <http://www.imo.org/conventions/>
- [8]. M. R. H. Mohd Adnan, Azlan Mohd Zain, Habibollah Haron, 2012, *Fuzzy rule-based for predicting machining performance for SNTR carbide in milling titanium alloy (Ti-6Al-4v)*, 4th Conference on Data Mining and Optimization (DMO).
- [9]. Behzad Dehkordi, Mehdi Moallem, Amir Parsapour, 2011, *Predicting Foaming Slag Quality in Electric Arc Furnace Using Power Quality Indices and Fuzzy Method*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, Volume: 60, Issue: 12.
- [10]. X. F. Yu, W. L. Xu, F. Alam, J. Potgieter, C. F. Fang, 2012, *Genetic fuzzy logic approach to local ramp metering control using microscopic traffic simulation*, 19th International Conference on Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP). Pages: 290 - 297.
- [11]. H. M. Himawan, O. Setyawati, H. Suyono, 2016, *Pemodelan Fuzzy Logic Control untuk Pengendali PWM pada Buck Converter*, Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi.
- [12]. Wen-Jer Chang, Feng-Ling Hsu, 2015, *Mamdani and Takagi-Sugeno fuzzy controller design for ship fin stabilizing systems*, 12th International Conference on Fuzzy Systems and Knowledge Discovery (FSKD).
- [13]. Jorge Guevara, Roberto Hirata, Stéphane Canu, 2013, *Kernel functions in Takagi-Sugeno-Kang fuzzy system with nonsingleton fuzzy input*, IEEE International Conference on Fuzzy Systems (FUZZ)