

Perancangan Sistem Kendali Manuver Berbasis Logika Fuzzy untuk Anti Tabrakan Kapal Berdasarkan Nilai DCPA-TCPA

Nur Okta Milatina¹⁾, Aulia Siti Aisjah²⁾, dan A.A. Masroeri³⁾

Jurusan Teknik Fisika, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahmanto Hakim, Surabaya, 60111

e-mail: oktamilatina@live.com

Abstrak— Tugas akhir ini merupakan pengembangan dari penelitian sebelumnya mengenai perancangan sistem kendali anti tabrakan. Pada penelitian sebelumnya belum terdapat parameter DCPA (*Distance Closest Point Approach*) dan TCPA (*Time Closest Point Approach*) sebagai parameter penentu resiko. Tujuan dari tugas akhir ini adalah didapatkan sebuah rancangan sistem kendali anti tabrakan kapal berbasis logika fuzzy berdasarkan nilai DCPA dan TCPA. DCPA merupakan jarak antara titik *Closest Point Approach* (CPA) dengan kapal kendali, sedangkan TCPA adalah waktu yang didapat dari pembagian jarak terhadap kecepatan relatif kedua kapal. Semakin kecil nilai DCPA dan TCPA merupakan tanda bahwa resiko terjadinya tabrakan kapal semakin besar. Kedua parameter, DCPA dan TCPA menjadi masukan kendali kecepatan kapal. Nilai DCPA dan TCPA dihitung dengan memanfaatkan informasi data statis dan dinamis yang tersedia dari teknologi navigasi yakni AIS. Perancangan sistem kendali anti tabrakan yang telah disusun, disimulasikan menggunakan software Simulink R2013. Dari hasil perancangan sistem kendali anti tabrakan yang telah dilakukan dalam tugas akhir ini, didapatkan hasil bahwa dengan berkurangnya nilai DCPA dan TCPA kecepatan kapal menjadi diperlambat dari 14 km/jam menjadi 7 km/jam.

Kata Kunci—Anti Tabrakan, DCPA, Logika Fuzzy, Manuver, TCPA.

I. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tabrakan kapal merupakan salah satu jenis kecelakaan laut yang sering terjadi. Sebanyak 80% faktor penyebab tabrakan kapal adalah *human error*. Salah satu jenis *human error* dalam tabrakan kapal adalah kesalahan dalam mengestimasi kondisi alam maupun dimensi kapal lain, sehingga sering kali membuat awak kapal kurang tepat mengambil keputusan sehingga tabrakan kapal terjadi^[1].

Pengambilan keputusan aksi anti tabrakan kapal secara umum dapat dilakukan berdasarkan data dimensi, posisi kedua kapal (*ship-based*) dan kondisi alam sekitar. Data-data tersebut digunakan untuk perhitungan resiko tabrakan. Besar kecilnya resiko tabrakan kapal akan menentukan bekerjanya suatu sistem anti tabrakan.

Keberadaan teknologi navigasi yaitu ARPA, GPS dan AIS berperan penting dalam perhitungan resiko tabrakan kapal^[2]. Informasi dari teknologi navigasi terbagi menjadi dua yakni data statis dan data dinamis. Data statis berupa data spesifikasi kapal, panjang kapal, lebar kapal, berat kapal dan nomor induk kapal. Data dinamis terdiri dari data kecepatan kapal, heading kapal, posisi kapal dan lain lain. Data-data dari teknologi navigasi tersebut dapat digunakan sebagai variabel penentu resiko tabrakan.

Salah satu variabel penentu resiko tabrakan adalah DCPA dan TCPA. DCPA (*Distance Closest Point Approach*) merupakan jarak minimal kapal mencapai CPA (*Closest Point Approach*) atau jarak kapal dari posisinya berada sampai pada titik dimana kapal harus melakukan aksi anti tabrakan^[3].

TCPA (*Time Closest Point Approach*) merupakan waktu minimal yang dibutuhkan untuk mengambil aksi anti tabrakan.

Jarak antar kapal merupakan variabel lain selain DCPA dan TCPA. Jarak antar kapal menggunakan data posisi kedua kapal sebagai masukan sistem anti tabrakan. Variabel penentu lainnya adalah *dangerous zone*. *Dangerous zone* menggunakan batasan jarak pada sumbu y. Mekanisme kerja sistem anti tabrakan dengan *dangerous zone* yakni apabila kedua kapal memasuki zona yang ditentukan maka aksi anti tabrakan akan dilakukan.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya mengenai tabrakan kapal telah digunakan variabel Penggunaan jarak antara kapal sebagai variabel penentu resiko tabrakan sudah digunakan pada tugas akhir Saiko tahun 2011. Variabel lainnya adalah perhitungan *dangerous zone* yang telah digunakan pada penelitian Aulia et al^[4].

Berdasarkan latar belakang di atas maka dalam tugas akhir ini dilakukan penelitian yang menambahkan variabel masukan untuk sistem anti tabrakan kapal. Variabel yang ditambahkan adalah DCPA dan TCPA. Dalam tugas akhir ini dilakukan perancangan kendali otomatis dengan menggunakan DCPA dan TCPA sebagai variabel pengambilan keputusan.

B. Rumusan Permasalahan

Rumusan masalah pada tugas akhir ini adalah

- Apakah DCPA-TCPA dapat dijadikan variabel masukan anti tabrakan?
- Bagaimana cara membangun rule pada sistem logika fuzzy sebagai bagian dari pengendali anti tabrakan?
- Apakah performansi keluaran sistem kendali mampu memberikan rekomendasi sebuah sistem kendali anti tabrakan?

C. Batasan Masalah

Batasan masalah pada tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

- Kapal yang digunakan dalam penelitian adalah kapal yang telah dilengkapi dengan teknologi AIS (*Automatic Identification System*).
- Variabel yang dikendalikan adalah 3 derajat kebebasan (dof) yang didekati dengan model 1 dof untuk gerak *yaw*, dengan asumsi bahwa secara eksperimen gerak *surge*, *sway*, *pitch*, *roll* dan *heave* tidak berpengaruh pada gerak manuver kapal. Disamping *yaw*, variabel lain yang dikendalikan adalah kecepatan kapal.
- Data masukan dalam sistem kendali adalah DCPA, TCPA dan rasio kecepatan kapal target dengan kapal kendali.
- Metode perancangan sistem pengendalian berdasar kendali logika fuzzy.
- Gangguan (*disturbance*) pada dinamika kapal sepanjang jalur pelayaran adalah arus.

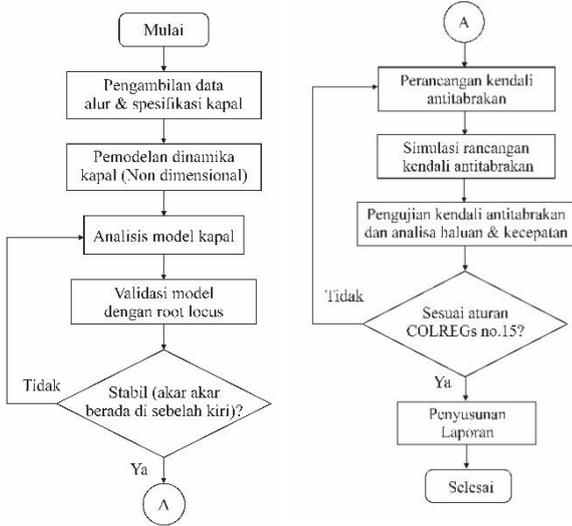
6. Kasus tabrakan kapal terjadi pada dua kapal dalam situasi crossing kapal kendali "Give way" (memberikan jalan).

D. Tujuan

Tujuan dari tugas akhir ini adalah perancangan sistem pengendalian haluan dan kecepatan kapal untuk menghindari tabrakan berdasarkan nilai DCPA-TCPA. Nilai DCPA dan TCPA dihitung berdasarkan data AIS sebagai data masukan pada sistem logika fuzzy.

II. URAIAN PENELITIAN

Metodologi penelitian merupakan serangkaian kegiatan yang dilakukan dari awal hingga akhir untuk tercapainya tujuan tugas akhir ini. Gambar 1 merupakan alur metodologi penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 1 Metodologi penelitian

A. Pengambilan Data Tugas Akhir

Data-data yang digunakan diantaranya adalah:

- Data spesifikasi kapal, meliputi: Lpp (panjang), U (kecepatan), B (lebar), T (tinggi), C_B (koefisien Blok), XG (center of gravitation), A_δ dan m (displacement).

Tabel 1
Spesifikasi MV. Caraka Niaga III-7^[5]

No	Spesifikasi	Besar	Satuan
1	Panjang (L)	92.53	m
2	Lebar (B)	16.5	m
3	Kedalaman (T)	7.8	m
4	Koefisien Blok (CB)	0.41	-
5	Kecepatan (U)	14	m/s
6	Pusat gravitasi (XG)	6.8	m
7	Displacement(m)	5245	Ton
8	A _δ	0.69	-
9	XG'	0,010303	-

- Data koordinat lintasan kapal dari Pelabuhan Tanjung Perak menuju Karang Jamuang.

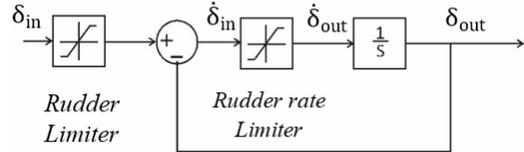
Tabel 2.2
Alur Pelayaran Tj. Perak-Karang Jamuang

Titik	Bujur (km)	Lintang (km)	Titik	Bujur (km)	Lintang (km)
12	0.000	0.000	6	-24.389	-5.924

11	-4.041	-1.986	5	-27.423	-3.554
10	-5.484	-2.492	4	-28.333	-1.834
9	-8.750	-4.670	3	-28.712	-0.267
8	-10.015	-7.185	2	-28.826	0.458
7	-20.559	-6.802	1	-29.319	0.573

B. Diagram Blok Simulasi Rudder

Diagram blok untuk simulasi rudder pada kapal menggunakan model yang direkomendasikan oleh Van Amorgen untuk kendali otomatis. Diagram blok yang digunakan tertera pada gambar 2. Dalam diagram blok tersebut terdapat blok saturasi yang berfungsi sebagai limit nilai rudder Van Amorgen yakni dari -35 sampai 35^[6].



Gambar 2 Diagram blok rudder^[6]

C. Model Matematis Thruster

Pemodelan matematis thruster dalam tugas akhir ini dilakukan menggunakan pemodelan Horigome (persamaan 2^[7]). Model ini dipilih karena mesin thruster yang digunakan pada kapal memiliki kecepatan putar 150 rpm. Dengan informasi rpm kapal maka dapat dihitung delay time fungsi alih thruster pada persamaan 1.

$$T_y = (0.9 \cdot 2\pi / n) = (0.9 \cdot 2\pi / 150) = 0.03768 \quad (1)$$

sehingga delay time adalah 0.03768. Gain fungsi alih thruster bernilai 1. Dari delay time and gain fungsi alih thruster, didapat fungsi alih thruster pada persamaan 2.

$$\frac{Q_m(s)}{Y_{er}(s)} = \frac{1}{1 + 0.03768s} \quad (2)$$

D. Pemodelan Dinamika Kapal

Data spesifikasi kapal digunakan untuk mendapatkan koefisien hidrodinamika, menggunakan rumusan dari regresi Clark^[6]. Dari perhitungan tersebut didapatkan nilai koefisien hidrodinamika. Selanjutnya, nilai koefisien hidrodinamika tersebut di bentuk ke dalam bentuk matrik Davidson & Schiff sehingga didapatkan variabel-variabel untuk persamaan model Nomoto sebagai berikut pada tabel 2.

Tabel 2
Koefisien Nomoto

Koefisien	Besaran
T ₁ T ₂	499.4286287
T ₁ +T ₂	42.28789902
K _r	0.004571747
K _r T ₃	0.003976923
T ₃	8.698913397

Model matematis kapal MV. Caraka Niaga III-7 berdasarkan hasil perhitungan dituliskan dalam persamaan 3.

$$\frac{\psi}{\delta_R}(s) = \frac{0.004571747 + -0.003979233s}{499.4286287s^3 + 42.28789902s^2 + s} \quad (3)$$

E. Validasi Model

Koefisien hidrodinamika yang telah didapatkan dari persamaan regresi Clarck divalidasi dengan membandingkan koefisien hidrodinamika yang terdapat dalam tesis yang berjudul “*Veryfying and Validation of Manouvering Model for NTNU’s research vessel MV “Gunnerus”*” oleh Sissel Tjoswold. Kapal yang digunakan pada tesis tersebut adalah kapal prototipe MV-Gunnerus [8]. Hasil validasi koefisien hidrodinamika hasil perhitungan pada tugas akhir ini dengan jurnal yang telah tersebut di atas terdapat pada tabel 3.

Tabel 3
Validasi Koefisien Hidrodinamika

No	Koefisien	Hasil Perhitungan	Jurnal [8]	Error
1	Y'_v	-0.021478	-0.021478	0.000000
2	Y'_r	-0.002336	-0.005187	0.002851
3	N'_v	-0.002446	-0.006323	0.003877
4	N'_r	-0.003836	-0.000213	0.003623
5	Y''_v	-0.030053	-0.051047	0.020994
6	Y''_r	0.006178	0.001379	0.004799
7	N''_v	-0.015671	-0.020719	0.005048
8	N''_r	-0.005191	-0.005693	0.000502
Error rata rata				0.005212
Persen error rata-rata				0.521175

F. Perancangan Kendali Anti tabrakan

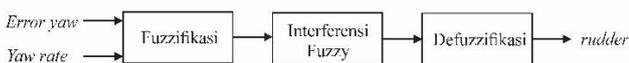
Perancangan kendali anti tabrakan menggunakan 2 sistem kendali yakni kendali kecepatan dan kendali haluan. Jenis kendali yang digunakan dalam tugas akhir ini merupakan kendali logika fuzzy (KLF). KLF dalam perancangan tugas akhir ini mengendalikan dua parameter yakni *heading (yaw)* dan kecepatan.

Perancangan kendali menggunakan *thruster* dan *rudder* sebagai aktuator. *Thruster* untuk aktuator kecepatan dan *rudder* untuk aktuator haluan. *Thruster* dilengkapi dengan KLF kecepatan guna mengatur kecepatan kapal agar sesuai dengan peraturan IMO ketika bertabrakan. Sedangkan, *rudder* yang dikendalikan oleh KLF haluan untuk mengikuti trayektori pelayaran.

G. Perancangan Kendali Logika Fuzzy

1. KLF Sistem Pengendalian Haluan

Kendali haluan pada perancangan ini memiliki dua masukan yakni *error yaw* dan *yaw rate* dengan satu keluaran yakni sudut *rudder*. Gambar 4 merupakan diagram sistem kendali logika fuzzy dalam kendali haluan.

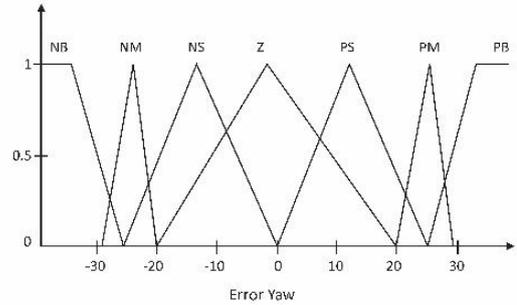


Gambar 4 Diagram blok sistem KLF haluan

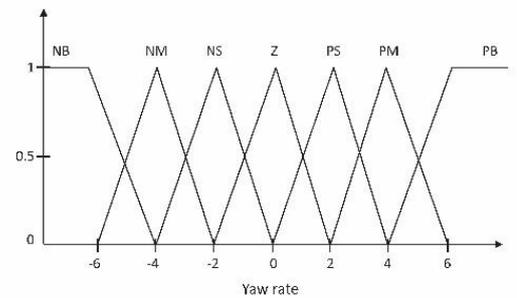
Fuzzifikasi

Masukan kendali haluan kapal adalah variabel *error yaw* dan *yaw rate* dengan masing masing variabel menggunakan 7 fungsi keanggotaan. Fungsi keanggotaan *error yaw* dan *yaw rate* adalah NB (*Negative Big*), NM (*Negative Medium*), NS (*Negative Small*), ZE (*Zero*), PS (*Positiive Small*), PM (*Positive Medium*) dan PB (*Positive Big*).

Struktur kendali logika fuzzy yang digunakan untuk kendali haluan kapal adalah Sugeno. Masukan kendali haluan berupa *error* dan *yaw rate* dengan keluaran berupa perubahan *rudder*. Fungsi keanggotaan *error* dan *yaw rate* pada tugas akhir ini menggunakan nilai MF diwakilkan pada gambar 6 dan 7. Range *error yaw* berada pada angka -35° sampai 35° sedangkan untuk range *yaw rate* -7 sampai dengan 7. Range MF pada perancangan ini disesuaikan dengan karakteristik rudder Van Amorgen [6].



Gambar 5 Fungsi keanggotaan error



Gambar 8 Fungsi keanggotaan yaw rate

Interferensi Fuzzy

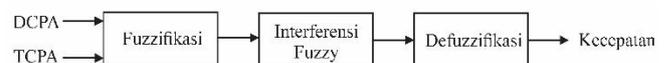
Sebelum interferensi fuzzy, perlu dilakukan penyusunan basis aturan. Basis aturan Fuzzy diambil dari tugas akhir sebelumnya. Basis aturan untuk kendali haluan dapat dilihat pada tabel 4.

Tabel 4
Basis aturan KLF Haluan

r\e	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PB	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
PM	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
PS	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
Z	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NS	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
NB	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB

2. KLF Sistem Pengendalian Kecepatan

Kendali kecepatan memiliki dua masukan yakni DCPA dan TCPA. DCPA dalam satuan km sedangkan TCPA dengan satuan menit. Diagram blok dari KLF pengendalian kecepatan ditunjukkan oleh gambar 9.

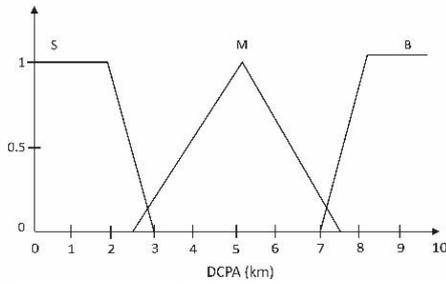


Gambar 9 Diagram blok sistem KLF kecepatan

Fuzzifikasi

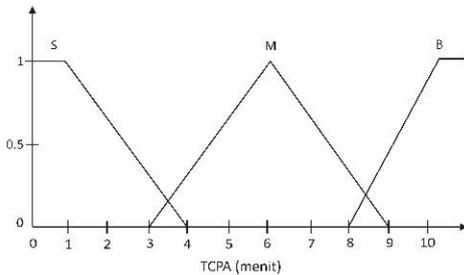
Fungsi keanggotaan dari DCPA terdiri dari 3 yakni *Big*, *Small*, dan *Medium*. Gambar 10 merupakan gambar fungsi keanggotaan DCPA. DCPA akan bernilai *Big*(B) apabila hasil perhitungan berada pada range 7-10 km, bernilai *Medium* untuk nilai 2.5-7.5 km dan bernilai *Small*(S) untuk nilai 0-3 km.

Fungsi keanggotaan dari DCPA terdiri dari 3 yakni *Big*, *Small*, dan *Medium*. Gambar 10 merupakan gambar fungsi keanggotaan DCPA. DCPA akan bernilai *Big*(B) apabila hasil perhitungan berada pada range 7-10 km, bernilai *Medium* untuk nilai 2.5-7.5 km dan bernilai *Small*(S) untuk nilai 0-3 km.



Gambar 10 Fungsi keanggotaan DCPA

TCPA memiliki 3 fungsi keanggotaan yakni *Big* (B), *Medium* (M) dan *Small* (S). *Big* (B) merupakan kelas untuk T CPA dengan nilai 8-11 menit, *medium*(M) untuk 3-9 menit dan *Small*(S) pada 0-4 menit. Fungsi keanggotaan T CPA dapat dilihat pada gambar 11.



Gambar 11 Fungsi keanggotaan T CPA

Interferensi Fuzzy

Basis aturan untuk kendali kecepatan disusun berdasarkan aturan IMO Part B nomor 15. Dalam peraturan tersebut dikatakan bahwa apabila sebuah kapal melihat ada kapal lain datang dari arah *starboard* (kanan) maka kapal tersebut wajib melakukan tindakan anti tabrakan dengan mengubah haluan dan atau mengubah kecepatan kapal^[9]. Pembentukan peraturan ke dalam *fuzzy rules* terlampir pada tabel 3.6.

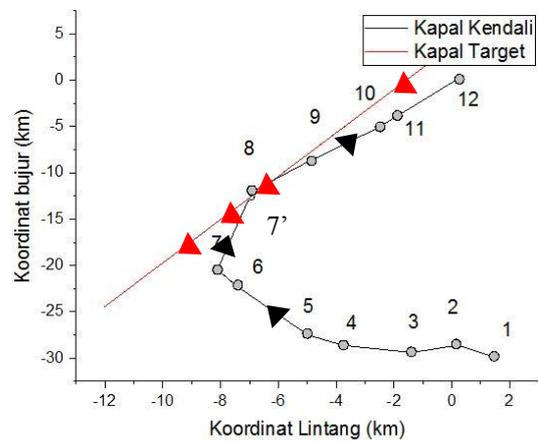
Tabel 5
Basis Aturan KLF Kecepatan

DCPA	TCPA	Thruster
S	S	S
	M	S
	B	S
M	S	N
	M	N
	B	N
B	S	N
	M	N
	B	N

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

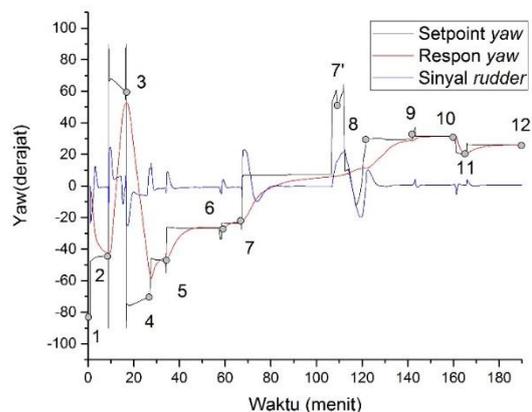
Uji dengan halangan dan gangguan arus dilakukan menggunakan tabrakan tipe *give way*. Kapal kendali berlayar dengan kecepatan 14 km/jam dari (Tanjung Perak menuju Karang Jamuang-panah hitam) mengikuti trayektori yang telah ditentukan. Kapal target sebagai halangan bergerak kapal kendali, berlayar dari barat ke timur (panah merah). Kecepatan kapal target adalah 23 km/jam. Kedua kapal diprediksi akan bertabrakan pada menit ke 110 dengan daerah tabrakan di titik 7'. Titik 7' berada di antara titik 7 dan titik 8.

Hasil simulasi tabrakan kapal terdapat di gambar 12. Dapat dilihat bahwa tabrakan terjadi pada daerah titik 7'. Adanya mekanisme antitabrakan membuat kapal menghindari pertemuan dengan kapal target pada titik tabrakan. Alur trayektori kapal yang sebelumnya berbentuk garis miring dari titik 7 ke 8 mengalami sedikit perubahan dengan adanya belokan sebelum kapal berada pada titik 7'.



Gambar 12 Lintasan dengan halangan datang dari arah kanan

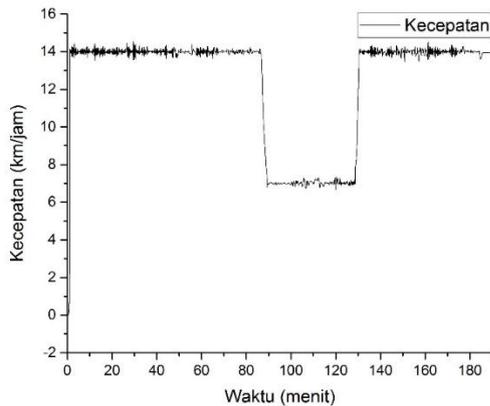
Respon dinamika kapal saat terjadi tabrakan dapat dilihat pada gambar 4.9. Perjalanan kapal dari titik 1 sampai dengan 7 tidak memiliki perbedaan yang signifikan dengan respon dinamik kapal tanpa halangan pada gambar 12. Perbedaan baru terlihat pada titik 7 ke 8 dimana antara kedua titik ini terjadi tabrakan kapal.



Gambar 13 Respon dinamik kapal dengan gangguan halangan

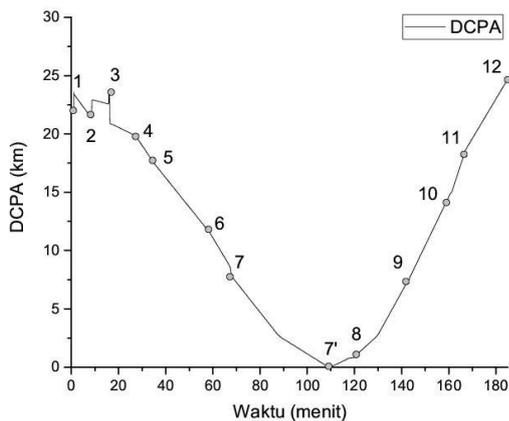
Respon kecepatan kapal dalam menghadapi tabrakan dapat dilihat pada gambar 14. Dari grafik tersebut terlihat bahwa kapal mengurangi kecepatan pada menit ke 90 sampai dengan 130. Tabrakan kapal diperkirakan terjadi pada menit ke 110. Rentang waktu tersebut merupakan rentang waktu

terjadinya tabrakan. DCPA dan TCPA yang bernilai *small* mengakibatkan kapal mengurangi kecepatan. Berdasarkan gambar 14 dapat diartikan pula bahwa pada rentang waktu 90-130 menit DCPA bernilai *small*.



Gambar 14 Grafik kecepatan kapal dengan gangguan halangan

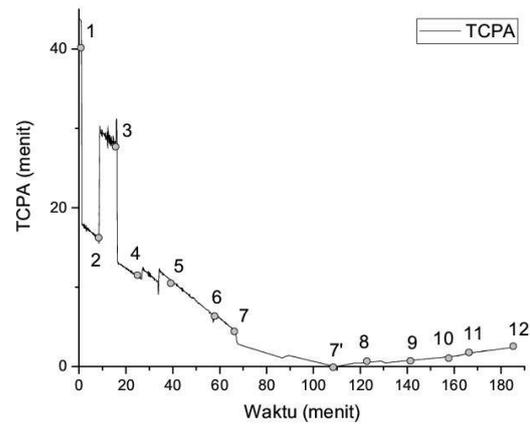
Grafik DCPA sebelum adanya kendali berbelok, ditunjukkan pada gambar 15. DCPA pada titik 1 ke 2 hingga mencapai titik 7' terus mengalami penurunan dari 21.935 km sampai dengan 0 km. Nilai DCPA nilai terendah berada pada titik 7'. Nilai DCPA mencapai 0 km pada titik ini namun, pergerakan nilai DCPA kembali naik dari titik 7 ke 8 dan seterusnya sampai titik 12. Hal ini menunjukkan bahwa kedua kapal saling mendekat ketika kapal target berlayar dari titik 1 ke titik 7'. Perancangan simulasi anti tabrakan yang dilakukan dalam tugas akhir ini akan terus berjalan walaupun telah terjadi tabrakan, sehingga dari titik 7' ke titik 8 kapal diasumsikan masih berlayar. Dari grafik DCPA pada gambar 15 terlihat bahwa pergerakan kedua kapal dari titik 7' sampai dengan titik 12 terus menerus meningkat. Nilai DCPA setelah mencapai titik 7' naik dari 0 km sampai dengan 24.558 km. Hal ini dapat diartikan bahwa setelah mengalami tabrakan, kedua kapal terus bergerak saling menjauh.



Gambar 15 Grafik nilai DCPA tanpa kendali

Pembahasan yang sama juga terlihat pada grafik TCPA di gambar 16. Pergerakan dari titik 1 ke titik 2, TCPA mengalami penurunan. Pada titik 2 ke titik 3, TCPA mengalami peningkatan karena pada bentuk alur pelayaran kapal kendali menuju ke arah sumbu negatif. Pergerakan kapal ke arah sumbu negatif akan memperbesar sudut yaw kapal target (θ_T). Sudut yaw yang membesar akan memperkecil nilai V_r . Hubungan antara nilai TCPA dan V_r

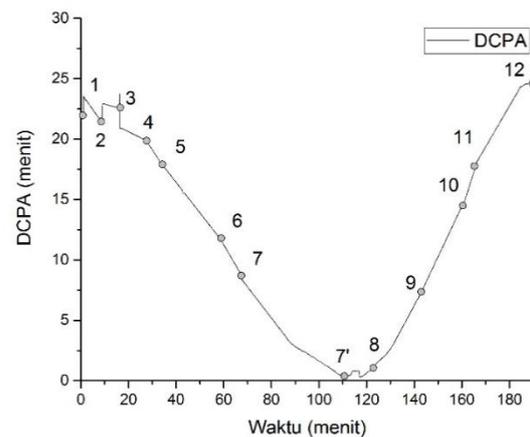
adalah berbanding terbalik. Semakin kecil nilai V_r maka nilai TCPA akan semakin meningkat.



Gambar 16 Grafik nilai TCPA tanpa kendali

Nilai TCPA dari titik 1 ke titik terjadinya tabrakan turun dari 17.954 menit sampai dengan 0 menit, walaupun sempat naik kembali dari titik 2 ke titik 3. Peningkatan nilai TCPA dari titik 2 ke titik 3 disebabkan oleh bentuk alur pelayaran kapal kendali yang menjauhi kapal target namun kembali turun ke 10.976 menit dari titik 3 ke titik 4.

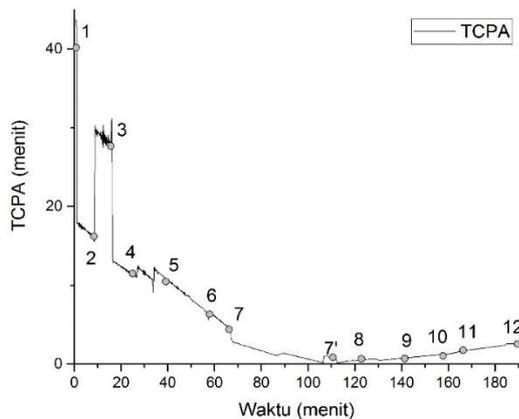
TCPA mengalami penurunan secara terus menerus dari titik 3 ke titik 7'. Hal tersebut dikarenakan oleh pergerakan kedua kapal yang terus menerus mendekat sampai di titik 7' nilai TCPA menyentuh 0 menit. Nilai TCPA kembali naik dari titik 7' sampai dengan titik 12 yang menunjukkan bahwa kedua kapal saling menjauh setelah terjadi tabrakan. Berdasarkan grafik pergerakan DCPA dan TCPA pada gambar 15 dan 16 dapat disimpulkan bahwa dibutuhkan pembelokan kapal untuk menghindari tabrakan kapal.



Gambar 17 Grafik DCPA dengan kendali anti tabrakan

Grafik DCPA dengan belokan terdapat pada gambar 17 sedangkan untuk grafik TCPA terdapat pada gambar 18. Adanya kendali berbelok pada kapal ketika akan bertemu kapal target, menyebabkan nilai DCPA dan TCPA kapal tidak lagi menyentuh nilai 0. Nilai DCPA dengan adanya belokan dari titik 1 sampai dengan 7 memiliki nilai yang sama dengan DCPA tanpa belokan pada gambar 15. Perbedaan utama terletak pada titik 7' yang tidak menyentuh nilai 0 km. Adanya belokan menyebabkan nilai DCPA pada titik 7' menjadi 0.441 km atau 441 meter. Pergerakan kapal dari titik

7' sampai dengan 12 menunjukkan nilai yang sama dengan gambar 15 dimana kedua kapal berlayar menjauhi satu sama lain. Nilai DCPA dan TCPA pada setiap titik tertulis pada lampiran H dan I.



Gambar 18 Grafik TCPA dengan kendali anti tabrakan

Gambar 18 menunjukkan grafik TCPA dengan kendali belokan, juga memiliki pola yang sama dengan gambar 16. Perbedaan pada titik 7' dimana TCPA kapal tidak menyentuh angka 0 menit lagi. Peningkatan TCPA disebabkan oleh adanya belokan pada titik tersebut. Adanya belokan menyebabkan nilai θ_T menjadi 60° dari 5° , sehingga nilai $\cos(\theta_T - \theta)$ meningkat. Hal tersebut dan mengakibatkan nilai V_r mengecil. TCPA akan meningkat dengan mengecilnya nilai V_r . Adanya kendali menyebabkan nilai TCPA pada titik seharusnya terjadi tabrakan meningkat dari 0 menit menjadi 0.942 menit. Pada titik titik selanjutnya dari 7' menuju 12 TCPA mengalami peningkatan dengan nilai yang sama, seperti yang terlihat ketika kapal belum diberikan kendali. Data perbandingan antara DCPA dan TCPA sebelum dan setelah diberikan kendali dapat dilihat pada lampiran H dan I.

Gambar 17 dan 18 menunjukkan juga bahwa pada menit ke 90 sampai ke 130, DCPA dan TCPA mulai memasuki nilai *small*. Dari grafik 17, DCPA pada menit tersebut berada pada nilai di bawah 3 km sedangkan TCPA berada pada nilai kurang dari 4 menit. DCPA dan TCPA pada nilai *small* akan mengakibatkan sinyal kendali bernilai *slow* dengan kecepatan 7 km/jam. Hubungan antara DCPA, TCPA dan kecepatan yang telah berhasil mengurangi kecepatan kapal pada nilai *small* dapat diartikan bahwa kendali kecepatan dalam tugas akhir ini telah berhasil memenuhi aturan COLREGs no.15.

IV. PENUTUP

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

- DCPA dan TCPA dapat dijadikan variabel masukan anti tabrakan. DCPA dan TCPA ketika bernilai kecil akan mengakibatkan sinyal kendali kecepatan bernilai *slow*. DCPA dan TCPA akan menunjukkan penurunan ketika kedua kapal akan bertabrakan sedangkan ketika kapal saling menjauh akan terjadi peningkatan.
- Performansi sistem kendali mampu memberikan rekomendasi untuk sistem kendali anti tabrakan. Kecepatan kapal ketika akan bertabrakan berhasil turun dan kembali naik lagi ketika nilai DCPA dan TCPA sudah memasuki level *medium* (M). Dengan

demikian respon kecepatan kapal telah sesuai dengan aturan COLREGS no.15, selain itu sistem kendali juga mampu mengurangi resiko tabrakan dengan meningkatnya nilai DCPA dan TCPA pada titik tabrakan masing masing dari 0 km dan 0 menit menjadi 0.441 km dan 0.942 menit.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A.M, Rothblum. 2002. "Key to Successful Incident Inquiry". US Coast Guard Research.
- [2] J. Hall, Lee, Benin, Armstrong, and Owen. 2015. "Influenced Automatic Identification System (AIS)". IEEE
- [3] AC, Bukhari. 2013. "Expert Systems with Applications an Intelligent Real-Time Multi-Vessel Collision Risk Assessment System from VTS View Point Based on Fuzzy Inference System". Expert Syst.Application, vol.40, pp. 1220-1230.
- [4] Aisyah, Aulia Siti, Masroeri, dan Saiko. 2011. "Perancangan Sistem Pengendalian pada Kapal Berbasis Data AIS untuk Menghindari Tabrakan di Perairan". SENTA: Seminar Nasional Teori dan Aplikasi Teknologi Kelautan 2011.
- [5] Saiko, Aisjah, dan Masroeri, 2011. "Pengendalian pada Kapal Berbasis Data AIS untuk Menghindari Tabrakan" Jurusan Teknik Fisika FTI ITS.
- [6] Fossen, Thor I. 1994, "Guidance and Control of Ocean Vehicles". John Wiley: Chichester.
- [7] F. de Souza. 2009. "Ajuste Iterativo Do Controle de Um Sistema de Propulsao Diesel". UFRJ: Rio de Jenerio.
- [8] S. Thoswold. 2012. "Verifying and Validation of a Manoeuvring Model for NTNU's Research Vessel R/V Gunnerus". Norwegian University of Science and Technology.
- [9] U.C Guard. "Navigational Rule International-Inland".