



TUGAS AKHIR TF141581

**PERANCANGAN *AUTOCONTROL TUG BOAT*
BERBASIS LOGIKA *FUZZY* UNTUK SISTEM
GUIDANCE KAPAL LNG**

NI'MAT BAGUS ADIAWAN
NRP. 2412 100 091

Dosen Pembimbing
Prof.Dr.Ir.Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Eng. Trika Pitana. S.T., M.Sc.

JURUSAN TEKNIK FISIKA
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT TF141581

**DESIGN OF *TUG BOAT AUTOCONTROL* BASE ON
FUZZY LOGIC FOR LNG SHIP *GUIDANCE* SYSTEM**

NI'MAT BAGUS ADIAWAN
NRP. 2412 100 091

Supervisor
Prof.Dr.Ir.Aulia Siti Aisjah, M.T.
Dr. Eng. Trika Pitana. S.T., M.Sc.

DEPARTMENT OF ENGINEERING PHYSICS
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**PERANCANGAN *AUTOCONTROL TUG BOAT* BERBASIS
LOGIKA *FUZZY* UNTUK SISTEM *GUIDANCE KAPAL*
LNG**

TUGAS AKHIR

Oleh :
Ni'mat Bagus Adiawan
NRP : 2412 100 091

Surabaya, Juli 2016
Mengetahui/Menyetujui

Pembimbing I ,

Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
NIP. 19660116 198903 2 001

Pembimbing II ,

Dr. Eng. Trika Pitana, ST., MSc.
NIP. 19760129 200112 1 001

Ketua Jurusan
Teknik Fisika FTI-ITS



Agus Muhammad Hatta, ST, M.Si, Ph.D
NIP. 19780902 200312 1 002

Halaman ini sengaja dikosongkan

**PERANCANGAN *AUTOCONTROL TUG BOAT*
BERBASIS LOGIKA *FUZZY* UNTUK SISTEM
*GUIDANCE KAPAL LNG***

TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar
Sarjana Teknik

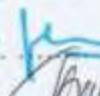
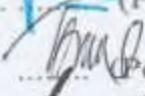
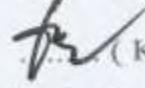
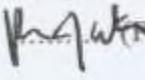
pada

Bidang Studi Rekayasa Instrumentasi dan Kontrol
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Fisika
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

NI'MAT BAGUS ADIAWAN
NRP. 2412100091

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir:

1. Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, M.T.  (Pembimbing I)
2. Dr. Eng. Trika Pitana, S.T., M.Sc.  (Pembimbing II)
3. Dr. Ir. Ali Musyafa, M.Sc.  (Ketua Penguji)
4. Ir. Ronny Dwi Noriyati, M.Kes.  (Penguji I)

SURABAYA
JULI 2016

Halaman ini sengaja dikosongkan

PERANCANGAN *AUTOCONTROL TUG BOAT* BERBASIS LOGIKA *FUZZY* UNTUK SISTEM *GUIDANCE* KAPAL LNG

Nama : Ni'mat Bagus Adiawan
NRP : 2412100091
Jurusan : Teknik Fisika, FTI - ITS
Pembimbing I : Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
Pembimbing II : Dr. Eng. Trika Pitana. ST., M.Sc.

Indonesia memiliki wilayah perairan yang luas. Oleh sebab itu perlu dilakukan pengembangan IPTEK guna membangun sistem transportasi laut yang modern. Pada tugas akhir ini telah dirancang autocontrol tug boat berbasis logika fuzzy untuk sistem guidance kapal LNG. Tujuannya agar tercipta rancangan sistem kendali guidance yang dapat meminimalisir error lintasan pada kapal LNG yang dibantu oleh navigasi dari kapal tug boat sebagai referensi. Sistem *autocontrol* yang digunakan dalam simulasi ini menggunakan Kendali Logika Fuzzy (KLF) Sugeno-Takagi. Pada simulasi dirancang dua sistem pengendalian yang saling terintegrasi yaitu sistem pengendali tug boat dan LNG, agar hasil simulasi mendekati dengan kondisi yang sebenarnya maka diberikan gangguan berupa angin dengan variasi kecepatan angin dan sudut datang angin yang berbeda. Hasil penelitian menunjukkan bahwa simulasi sistem *Guidance* kapal LNG dengan kapal tug boat dapat mengikuti trayektori yang telah ditentukan. Hasil simulasi sistem tanpa gangguan diperoleh nilai error lintasan maksimum kapal LNG sebesar 1,19 m dan nilai error minimum sebesar 0,01 m. Sedangkan hasil simulasi dengan gangguan angin diperoleh nilai error lintasan maksimum sebesar 1,88 m dan nilai error lintasan minimum sebesar 0,10 m.

Kata Kunci: Sistem *Guidance*, *Autocontrol*, logika fuzzy, error lintasan

Halaman ini sengaja dikosongkan

DESIGN OF TUG BOAT AUTOCONTROL BASE ON FUZZY LOGIC FOR LNG SHIP GUIDANCE SYSTEM

Name : Ni'mat Bagus Adiawan
NRP : 2412100091
Department : Engineering Physics, FTI - ITS
Supervisor I : Prof. Dr. Ir. Aulia Siti Aisjah, MT
Supervisor II : Dr. Eng. Trika Pitana. ST., M.Sc.

Indonesia has a vast territorial waters. Therefore it is necessary for the development of science and technology in order to build a modern marine transport system. In this final project has been designed autocontrol tug boat fuzzy logic-based guidance system for LNG ships. The goal is to create a draft guidance control system to minimize errors in the trajectory of LNG ships assisted by a tug boat navigation of the ship as a reference. Autocontrol system used in this simulation using Fuzzy Logic Control (KLF) Sugeno-Takagi. n simulations designed two mutually integrated control system ie control system and LNG tug boat, so that the simulation results closer to the actual conditions it is provided in the form of wind interference with the variation of wind speed and wind angle of incidence different. The results showed that the simulation system Guidance LNG ship with tug boat can follow a predetermined trajectory. The results of the simulation system without interruption maximum track error values obtained LNG vessel of 1.19 m and a minimum error value of 0.01 m While the results of the simulation with wind disturbance trajectory error values obtained maximum of 1.88 m and a minimum value of the track error of 0.10 m.

Key word : Guidance system, Autocontrol, fuzzy logic, error trajectory.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i	
COVER	iii	
LEMBAR PENGESAHAN	v	
ABSTRAK	ix	
ABSTRACT	xi	
KATA PENGANTAR	xiii	
DAFTAR ISI	xv	
DAFTAR GAMBAR	xvii	
DAFTAR TABEL	xix	
BAB I PENDAHULUAN		
1.1	Latar belakang	1
1.2	Rumusan Masalah	2
1.3	Tujuan	3
1.4	Batasan Masalah	3
BAB II DASAR TEORI		
2.1	Pemodelan Dinamika Kapal	5
2.2	Pemodelan Dinamika Rudder	8
2.3	Pemodelan Dinamika Propeller	9
2.4	Kapal Tug Boat	10
2.5	Sistem Guidance	12
2.6	Sistem Navigasi dan Komunikasi Data	12
2.7	<i>Wind Disturbance</i>	13
2.8	Logika Fuzzy	17
BAB III METODOLOGI PENELITIAN		
3.1	Diagram Alir Penelitian	21
3.2	Studi Literatur	22
3.3	Data Spesifikasi Kapal	22
3.4	Penentuan Trajectory di Pelabuhan Arun	24
3.5	Pemodelan Dinamika Kapal	28
3.6	Perancangan Autocontrol Kapal Tug Boat	34

	untuk Sistem Guidance Kapal LNG	
3.7	Pemodelan Gangguan Angin	44
3.8	Pengujian Simulasi	46
3.9	Analisa Performansi Sistem	48
3.10	Pembahasan dan Penyusunan Laporan	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1	Analisa Pengujian Sistem Kontrol Rudder dan Propeller	49
4.2	Analisa Kontrol Sistem Guidance Kapal LNG dengan Kapal Tug Boat	52
4.3	Analisa Pengendalian Kapal LNG dengan Kapal AHTS	53
4.4	Analisa Pengendalian Kapal LNG dengan Kapal Vier Goliath	59
4.5	Analisa Sistem Pengendalian dengan Gangguan Berupa Angin	66
BAB V PENUTUP		
5.1	Kesimpulan	79
5.2	Saran	79
DAFTAR PUSTAKA		81
LAMPIRAN A		
LAMPIRAN B		
BIOGRAFI PENULIS		

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Notasi dan Gerakan Standart pada Kapal	6
Gambar 2.2	Diagram <i>Control Loop Rudder</i>	9
Gambar 2.3	Visualisasi Kapal Tugboat mendorong Kapal Tongkang	11
Gambar 2.4	Visualisasi Kapal Tugboat Menarik Kapal Tongkang	11
Gambar 2.5	Sistem Navigasi dan Komunikasi Kapal	12
Gambar 2.6	Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Heading Kapal	16
Gambar 2.7	Arsitektur Logika <i>Fuzzy</i>	18
Gambar 3.1	Diagram Alir Penelitian	22
Gambar 3.2	Trayektori Kapal LNG	24
Gambar 3.3	Diagram Blok Sistem Guidance Kapal LNG	34
Gambar 3.4	Kontrol Logika Fuzzy Rudder	36
Gambar 3.5	Membership Function Error Yaw	36
Gambar 3.6	Membership Function Yaw Rate	37
Gambar 3.7	Membership Function Rudder	37
Gambar 3.8	Surface Viewer Rudder	38
Gambar 3.9	Perancangan KLF LNG	39
Gambar 3.10	Membership Function Error Yaw	40
Gambar 3.11	Membership Function Yaw Rate	40
Gambar 3.12	Membership Function Distance	41
Gambar 3.13	Membership Function Rudder Tug Boat	41
Gambar 3.14	Surface Viewer Hubungan Error Yaw dan Distance	43
Gambar 3.15	Surface Viewer yaw rate dan Distance	43
Gambar 3.16	<i>Surface Viewer Error yaw</i> dan <i>Yaw rate</i>	44
Gambar 3.17	Uji Open Loop Rudder	46
Gambar 3.18	Uji Close Loop Rudder	47
Gambar 3.19	Uji Open Loop Propeller	47
Gambar 4.1	Uji Open Loop Rudder	50
Gambar 4.2	Uji Close Loop Rudder	51
Gambar 4.3	Uji Open Loop Rudder	52

Gambar 4.4	Respon Rudder Kapal LNG	53
Gambar 4.5	Respon Rudder Kapal AHTS	54
Gambar 4.6	Respon Heading Kapal LNG	55
Gambar 4.7	Respon Heading Kapal Tug Boat	55
Gambar 4.8	Lintasan Aktual Kapal LNG dan AHTS	56
Gambar 4.9	Respon Rudder Kapal Vier Goliath	60
Gambar 4.10	Respon Rudder Kapal LNG	60
Gambar 4.11	Heading aktual Kapal LNG	61
Gambar 4.12	Heading aktual Kapal Vier Goliath	62
Gambar 4.13	Lintasan Aktual Kapal LNG dan Vier Goliath	63
Gambar 4.14	Respon Lintasan dengan gangguan angin 7 knot dan 30 ⁰	67
Gambar 4.15	Respon Lintasan dengan gangguan angin 7 knot dan 60 ⁰	69
Gambar 4.16	Respon Lintasan dengan gangguan angin 7 knot dan 90 ⁰	71
Gambar 4.17	Respon Lintasan dengan gangguan angin 15 knot dan 30 ⁰	73
Gambar 4.18	Respon Lintasan dengan gangguan angin 15 knot dan 60 ⁰	75
Gambar 4.19	Respon Lintasan dengan gangguan angin 15 knot dan 90 ⁰	77

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Derajat Kebebasan Kapal	5
Tabel 2.2	Parameter gaya angin pengaruh <i>surge</i>	14
Tabel 2.3	Parameter gaya angin pengaruh <i>sway</i>	15
Tabel 2.4	Parameter momen angin pengaruh <i>yaw</i>	15
Tabel 3.1	Data Koordinat Lintasan Kapal Tug Boat	25
Tabel 3.2	Role Base Pengendalian KLF pada Rudder	38
Tabel 3.3	Role Base KLF Rudder Kapal LNG	42
Tabel 3.4	Parameter dari data spesifikasi kapal	45
Tabel 4.1	<i>Root Square Error</i> Trayektori Kapal LNG	56
Tabel 4.2	<i>Root Square Error</i> Trayektori Kapal AHTS	58
Tabel 4.3	<i>Root Square Error</i> Trayektori Kapal LNG	63
Tabel 4.4	<i>Root Square Error</i> Trayektori Kapal Vier Goliath	65
Tabel 4.5	<i>Error</i> Lintasan LNG dengan gangguan angin 7 knot dan 30°	68
Tabel 4.6	<i>Error</i> Lintasan LNG dengan gangguan angin 7 knot dan 60°	70
Tabel 4.7	<i>Error</i> Lintasan LNG dengan gangguan angin 7 knot dan 90°	72
Tabel 4.8	<i>Error</i> Lintasan LNG dengan gangguan angin 15 knot dan 30°	74
Tabel 4.9	<i>Error</i> Lintasan LNG dengan gangguan angin 15 knot dan 60°	76
Tabel 4.10	<i>Error</i> Lintasan LNG dengan gangguan angin 15 knot dan 90°	78

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia adalah negara kepulauan dengan jumlah pulau yang mencapai 17.499 pulau dan luas wilayah perairan mencapai 5,8 juta km², serta panjang garis pantai yang mencapai 81.900 km, hanya ada tiga perbatasan darat dan sisanya adalah perbatasan laut. Perbatasan laut Indonesia berbatasan dengan 10 negara diantaranya Malaysia, Singapura, Filipina, India, Vietnam, Republik Palau, Australia, Timor Leste, dan Papua Nugini. Sedangkan untuk wilayah darat, Indonesia berbatasan langsung dengan tiga negara, yakni Malaysia, Papua Nugini, dan Timor Leste dengan garis perbatasan darat secara keseluruhan adalah 2914,1 km (Aditya, 2007). Indonesia disebut juga sebagai negara maritim, karena wilayah perairannya lebih luas daripada wilayah daratannya, dimana 2/3 wilayahnya berupa perairan. Oleh karena itu, Indonesia memiliki potensi yang sangat strategis dalam mengembangkan wilayah perairannya.

Dalam mengembangkan wilayah perairan tersebut perlu diikuti dengan berkembangnya IPTEK yang memadai guna membangun sistem transportasi perairan yang modern. Salah satunya adalah dikembangkannya sistem *guidance* kapal LNG yang dibangkitkan oleh *autocontrol* kapal *tug boat*. Dengan adanya sistem *guidance* ini dapat mempermudah kapal LNG untuk melakukan Berthing ke pelabuhan, manfaat lain yang didapat yaitu waktu bersandar kapal LNG menjadi lebih cepat dan efisien sehingga dapat mengoptimalkan proses pengangkutan LNG dari kapal ke pelabuhan.

Tug Boat adalah Kapal yang fungsinya menarik atau mendorong kapal-kapal lainnya. Dibedakan atas beberapa jenis antara lain kapal tunda samudra, kapal tunda pelabuhan dan lain-lain. Selain itu *Tug Boat* adalah jenis kapal pemandu yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal besar di

pelabuhan, memandu kapal besar pada jalur yang berbahaya, memperbaiki kapal dilaut, melakukan penyelamatan pada air seperti memadamkan api dan salvage. Medan yang dilalui *Tug Boat* biasanya cukup menyulitkan seperti sungai kecil yang berliku dan laut dangkal berkarang hingga laut luas antar pulau besar, sehingga *Tug Boat* harus melakukan manuver yang baik (Prakoso, 2010).

Sistem guidance merupakan aksi sistem yang kontinu untuk melakukan perhitungan variabel-variabel berupa posisi, kecepatan, dan percepatan kapal yang digunakan untuk masukan sistem control. Data-data tersebut biasanya disediakan untuk operator manusia dan sistem navigasi. Komponen dasar sistem guidance adalah sensor (compas, GPS, dan gyrocompas), data eksternal seperti data cuaca (kecepatan dan arah angin, tinggi gelombang dan kemiringan, kecepatan arus dan arah arus). Komputer mengumpulkan dan mengolah informasi tersebut untuk diumpankan ke sistem kontrol. Informasi dari sistem kontrol tersebut digunakan untuk membuat trayektori baru untuk mengendalikan kapal agar dapat menuju lokasi yang diharapkan (Robbi, 2012). Berdasarkan uraian diatas maka pada Tugas Akhir ini akan dirancang *autocontrol* kapal *tug boat* berbasis logika *fuzzy* untuk sistem *guidance* kapal LNG.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas maka rumusan masalah yang dalam penelitian adalah sebagai berikut:

- a. Apakah error lintasan akibat trayektori navigasi dari tug boat untuk kapal LNG memenuhi kriteria diinginkan?
- b. Apakah trayektori navigasi dari tug boat dapat diikuti oleh trayektori kapal LNG?

1.3 Tujuan

Adapun tujuan penelitian yang ingin dicapai dalam pengerjaan tugas akhir ini sebagai berikut:

- a. Merancang sistem kendali guidance yang dapat meminimalisir error lintasan kapal LNG.
- b. Merancang sistem kendali trayektori pada kapal LNG dengan model referensi trayektori hasil kapal tug boat.

1.4 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah yang digunakan dalam pengerjaan tugas akhir ini adalah sebagai berikut :

1. Metode kontrol yang digunakan pada penelitian ini yaitu logika fuzzy.
2. Kapal yang dijadikan objek dalam penelitian ini adalah Kapal Tangker Tangguh Towuti, Kapal AHTS, Kapal TB Vier Goliath
3. Distribusi massa kapal homogen
4. Diasumsi bahwa eksperimen gerak *surge*, *sway*, *pitch*, *roll*, dan *heave* tidak berpengaruh terhadap gerak manuver kapal
5. Simulasi menggunakan Software Matlab R2014a.

Halaman ini sengaja dikosongkan

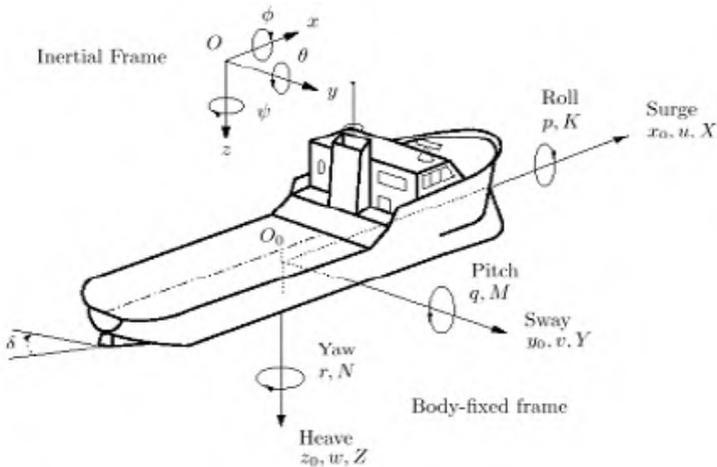
BAB II DASAR TEORI

2.1 Pemodelan Dinamika Kapal

Model dinamik kapal merupakan suatu hasil dari ilmu statika dan dinamika. Dimana statika digunakan saat kapal mempertahankan posisinya dan bergerak dengan kecepatan konstan dan dinamika saat kapal melakukan akselerasi. Model matematika ini diawali dengan penemuan Archimedes terhadap gerakan hidrostatis yang menjadi dasar statika pada suatu kendaraan laut. Secara dinamika dirumuskan oleh Newton mengenai dinamika gerak yang terbagi menjadi kinematika dan kinetika. Pada model dinamik kapal dirumuskan sebagai suatu rigid body dengan 6 derajat kebebasan. Derajat kebebasan kapal ini terdiri dari 3 derajat kebebasan terhadap sumbu x, y, z dan 3 derajat kebebasan lainnya mengacu kepada arah rotasi dan orientasi dari kapal. Keenam derajat kebebasan dari kapal laut biasa disebut sebagai : *Surge, Sway, Heave, Roll, Pitch, Yaw*. Derajat kebebasan ini juga biasa disebut sebagai komponen gerak (Fossen, 1994). Komponen gerak dari kapal dengan 6 komponen gerak dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 2.1 Derajat Kebebasan Kapal (Fossen, 1994)

DOF	Gerakan	Gaya dan Momen	Kecepatan Linier dan Anguler	Posisi dan Sudut Euler
1	Gerak arah x (Surge)	X	U	X
2	Gerak arah y (sway)	Y	V	Y
3	Gerak arah z (heave)	Z	W	Z
4	Rotasi sumbu x (roll)	K	P	ϕ
5	Rotasi sumbu y (pitch)	M	Q	θ
6	Rotasi sumbu z (yaw)	N	R	ψ



Gambar 2.1 Notasi dan gerakan standart pada kapal (Fossen, 1994)

Persamaan umum yang digunakan pada manuver kapal adalah sebagai berikut (Fossen, 1994):

$$M\dot{v} + C(v)v = \tau \quad (2.1)$$

dengan keterangan sebagai berikut :

M = matrik inersia

$C(v)$ = matrik coriolis

$D(v)$ = matrik redaman

$g(\eta)$ = vektor momen dan gaya gravitasi

τ = vektor input control ($\tau = [X, Y, N]^T$)

v = vektor kecepatan linear dan angular ($v = [u, v, r]^T$)

Persamaan kecepatan dan sistem kemudi kapal dapat diperoleh berdasarkan beberapa asumsi:

- Distribusi massa homogen dan bidang xz simetris ($I_{xy} = I_{yz} = 0$)
- Mode heave, roll dan pitch dapat diabaikan ($\omega = p = q = \dot{\omega} = \dot{p} = \dot{q} = 0$)

Persamaan keseimbangan momen inersia dalam 6 derajat kebebasan dinyatakan pada persamaan 2.2 s/d 2.7

$$m[\ddot{u} - vr + wq - x_G(q^2 + r^2) + y_G(pq - \dot{r}) + z_G(pr + \dot{q})] = X \quad (2.2)$$

$$m[\ddot{v} - wp + ur - y_G(r^2 + p^2) + z_G(qr - \dot{p}) + x_G(qp + \dot{r})] = Y \quad (2.3)$$

$$m[\ddot{w} - uq + vp - z_G(p^2 + q^2) + x_G(rp - \dot{q}) + y_G(rq + \dot{p})] = Z \quad (2.4)$$

$$\dot{p} + (I_z - I_y)qr + m[y_G\dot{w} - uq + vp] - z_G(\dot{v} - wp + ur) = K \quad (2.5)$$

$$I_y\dot{q} + (I_x - I_y)rp + m[z_G\dot{u} - vr + wq] - x_G(\dot{w} - uq + vp) = M \quad (2.6)$$

$$I_z\dot{r} + (I_y - I_z)pq + m[x_G\dot{v} - wp + ur] - y_G(\dot{u} - vr + wq) = N \quad (2.7)$$

Berdasarkan asumsi poin a dan b di atas terhadap persamaan 2.2 s/d 2.7 diperoleh persamaan keseimbangan momen untuk gerak *surge*, *sway*, dan *yaw* adalah sebagai berikut:

$$\text{Surge} : m(\dot{u} - vr - x_G r^2) = X \quad (2.8)$$

$$\text{Sway} : m(\dot{v} + ur + x_G \dot{r}) = Y \quad (2.9)$$

$$\text{Yaw} : I_z \dot{r} + m x_G (\dot{v} + ur) = N \quad (2.10)$$

Pada tahun 1957, Nomoto mengusulkan model fungsi alih sederhana untuk simulasi pengendalian arah pada gerak kapal. Berikut adalah model matematis dari Nomoto (Fossen, 1994):

$$\frac{\psi}{\delta_R}(s) = \frac{K_R(1+T_3s)}{s(1+T_1s)(1+T_2s)} \quad (2.11)$$

Parameter dari fungsi di atas diperoleh dari:

$$T_1 T_2 = \frac{\det(M)}{\det(N)} \quad (2.12)$$

$$T_1 + T_2 = \frac{n_{11}m_{22} + n_{22}m_{11} - n_{12}m_{21} - n_{21}m_{12}}{\det(N)} \quad (2.13)$$

$$K_R = \frac{n_{21}b_1 - n_{11}b_2}{\det(N)} \quad (2.14)$$

$$K_R T_3 = \frac{m_{21}b_1 - m_{11}b_2}{\det(N)} \quad (2.15)$$

Dimana elemen m_{ij} , n_{ij} dan b_i ($i = 1,2$ dan $j = 1,2$) didapatkan dari matriks berikut:

$$M = \begin{bmatrix} m - Y_{\dot{v}} & mx_g - Y_{\dot{r}} \\ mx_g - N_{\dot{v}} & I_z - N_{\dot{r}} \end{bmatrix}; \quad (2.16)$$

$$N(u_0) = \begin{bmatrix} -Y_v & mu_0 - Y_r \\ -N_v & mx_g u_0 - N_r \end{bmatrix}; \quad b = \begin{bmatrix} Y_{\delta} \\ N_{\delta} \end{bmatrix} \quad (2.17)$$

Dengan:

$$\det(N) = Y_v(N_r - mx_g u_0) - N_v(Y_r - mu_0) \quad (2.18)$$

$$\det(M) = (m - Y_{\dot{v}})(I_z - N_{\dot{r}}) - (mx_g - N_{\dot{v}})(mx_g - Y_{\dot{r}}) \quad (2.19)$$

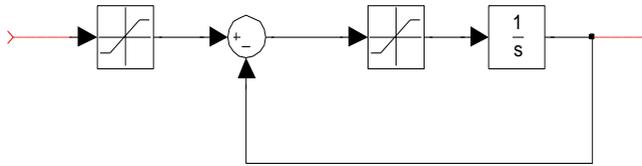
Dimana $n_{11} = -Y_v$, $n_{21} = N_v$

$$b_1 = \frac{(I_z - N_{\dot{r}})Y_{\delta} - (mx_g - Y_{\dot{r}})N_{\delta}}{\det(M)} \quad (2.20)$$

$$b_2 = \frac{(m - Y_{\dot{v}})N_{\delta} - (mx_g - N_{\dot{v}})Y_{\delta}}{\det(M)} \quad (2.21)$$

2.2 Pemodelan Dinamika Rudder

Rudder merupakan kemudi pada kapal yang berfungsi untuk menentukan arah kapal sesuai dengan perintah kontroller. Kemudi yang sering digunakan pada kapal adalah tipe Van Amerongen. Rudder memiliki spesifikasi sudut sebesar -35° sampai 35° dengan laju kerja rudder antara $2,3^{\circ}/s$ – $7^{\circ}/s$. Gambar 2 merupakan diagram blok untuk mensimulasikan dinamika dari rudder Van Amerongen (Fossen, 1994).



Gambar 2.2 Diagram *control loop rudder* (Fossen, 1994)

Secara matematis, diagram blok pada gambar 2 dapat didekati dengan persamaan:

$$\delta = \frac{k}{\sigma s + 1} \quad (2.22)$$

dengan nilai K adalah penguat rudder ($\Delta O/\Delta I$) dan σ adalah *time constant*.

2.3 Pemodelan Dinamika Propeller

Propeller merupakan alat penggerak kapal berbentuk baling-baling yang berfungsi untuk mengatur kecepatan kapal saat berlayar. Baling-baling yang terpasang pada kapal berfungsi untuk merubah gaya putar menjadi gaya dorong, sehingga semakin cepat putaran baling-baling maka semakin cepat kapal berjalan (Fossen, 1994).

Propeller pada kapal dapat dimodelkan secara matematis dengan pendekatan Horigome, Hara, Hotta dan Hotsu (1990) sebagai berikut:

$$\frac{Q_m}{y} = \frac{K_y}{1 + T_y s} \quad (2.23)$$

dengan nilai T_y yang diperoleh dari persamaan:

$$T_y \approx 0,9 \frac{2\pi}{n} \quad (2.24)$$

Keterangan :

K_y = gain constant

T_y = time constant

n = rotation per second (propeller)

2.4 Kapal Tug Boat

Tug boat adalah kapal yang fungsinya menarik atau mendorong kapal kapal lainnya. Jenis kapal tug boat dibedakan peruntukannya antara lain kapal tunda samudra, kapal tunda pelabuhan dan lain-lain (Djaya, 2008). Selain itu tug boat adalah jenis kapal pemandu yang biasa digunakan untuk menarik dan mendorong kapal besar di pelabuhan, memandu kapal besar pada jalur yang berbahaya, memperbaiki kapal di laut, melakukan penyelamatan pada air seperti memadamkan api dan *salvage*. Medan yang dilalui tug boat biasanya cukup menyulitkan seperti sungai kecil yang berliku dan laut dangkal berkarang hingga laut luas antar pulau besar, sehingga tug boat harus melakukan manuver yang baik (Prakoso, 2010). Berdasarkan tempat dan kinerja tug boat, terdapat 3 jenis tug boat:

1. *Seagoing Tug*

Fungsi dan peran dari Tugboat untuk pelayaran bebas yaitu menarik atau mendorong kapal yang tidak memiliki alat penggerak sendiri.

2. *Escort Tug*

Kapal Tug Boat ini digunakan untuk mengawal kapal besar disepanjang bagian berbahaya

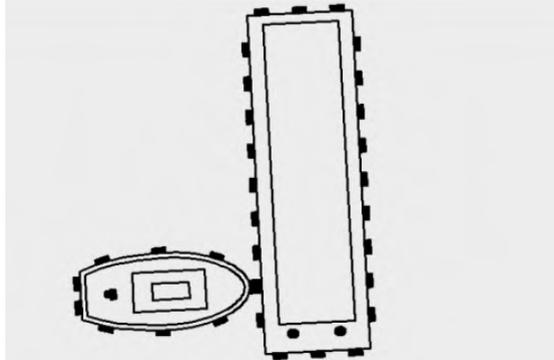
3. *Harbours Tug*

Harbour Tugs digunakan di pelabuhan, perairan dalam dan daerah pesisir.

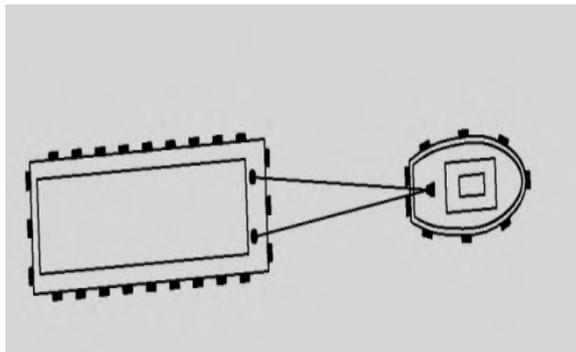
Kapal tug boat memiliki tenaga yang besar bila dibandingkan dengan ukurannya. Kapal tunda jaman dulu menggunakan mesin uap, saat ini menggunakan mesin diesel. Mesin induk kapal tunda biasanya berkeuatan antara 750 sampai 5000 tenaga kuda (500 s.d. 3500 kW). Kebanyakan mesin yang digunakan sama dengan mesin kereta api, tetapi di kapal menggerakkan baling-baling dan untuk keselamatan biasanya digunakan minimum dua buah mesin induk. Kapal tunda memiliki kemampuan manuver yang tinggi, tergantung dari unit penggerak. Kapal tunda dengan penggerak konvensional memiliki baling-baling dibelakang, efisien efisien

untuk menarik kapal dari pelabuhan ke pelabuhan lainnya , jenis penggerak lainnya sering disebut schottel propulsion system (azimuth thruster/Z-peller) dimana baling-baling dibawah kapal dapat bergerak 360⁰ atau sistem propulsi Voith-Schneider yang menggunakan semacam pisau di bawah kapal yang dapat membuat kapal berputar 360⁰ (Prakoso ,2010).

Visualisasi operasional kapal tug boat dan kapal tongkang:



Gambar 2.3 Visualisasi kapal Tugboat mendorong kapal tongkang (Mulyanto, 2015)



Gambar 2.4 Visualisasi kapal Tugboat menarik kapal tongkang (Mulyanto, 2015)

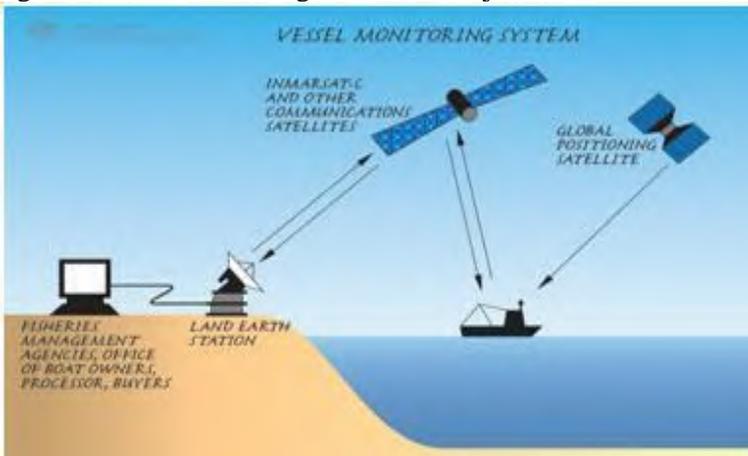
2.5 Sistem Guidance

Sistem *guidance* merupakan aksi dari sistem secara kontinyu melakukan perhitungan referensi (*setpoint*) berupa posisi, kecepatan, dan percepatan (PVA) dari kapal sebagai masukan untuk sistem kontrol. Data PVA tersebut biasanya disediakan oleh operator dan sistem navigasi. Komponen dasar dari sistem *guidance* meliputi sensor (*Compas*, GPS, dan *Gyrocompas*), eksternal data seperti data cuaca (kecepatan dan arah angin, tinggi gelombang dan kemiringan, kecepatan arus dan arah arus).

Dalam sistem *guidance* ada beberapa tahapan yang diperlukan yaitu; pembangkitan trayektori, database trayektori, dan perhitungan posisi kapal (Robbi, 2012).

2.6 Sistem Navigasi dan Komunikasi Data

Sistem navigasi komunikasi VMS Online merupakan suatu perangkat transmitter dan receiver yang digunakan untuk mengetahui posisi koordinat maupun rute suatu kapal. Posisi diperoleh dari Global Position Satellite (GPS), sehingga server di base station dapat memantau pergerakan kapal tersebut serta dapat melakukan komunikasi dua arah selama dalam area jangkauan. Berikut adalah gambar cara kerja VMS online.



Gambar 2.5 Sistem Navigasi dan Komunikasi Kapal (Daud, 2010).

Arsitektur sistem navigasi dan komunikasi kapal ditunjukkan pada gambar 2.5. Cara kerja VMS online sebagai berikut :

1. Satelit GPS Menerima Sinyal dari Transmitter Kapal
2. GPS mengirim sinyal posisi ke kapal
3. Transmitter (rangkain pemancar) kapal mengirim sinyal ke satelit
4. Sinyal yang diterima kemudian diteruskan ke antena penerima di base station (BS)
5. Sinyal diolah dan didapati gambaran posisi kapal.

2.7 Wind Disturbance

Model gaya angin pada *surge* dan *sway*, maka model momen angin pada yaw berdasarkan Isherwood (1972) adalah sebagai berikut (Fossen, 1994):

$$X_{wind} = \frac{1}{2} C_X(\gamma_R) \rho_a V_R^2 A_T \quad (\text{N}) \quad (2.25)$$

$$Y_{wind} = \frac{1}{2} C_Y(\gamma_R) \rho_a V_R^2 A_L \quad (\text{N}) \quad (2.26)$$

$$N_{wind} = \frac{1}{2} C_N(\gamma_R) \rho_a V_R^2 A_L L \quad (\text{Nm}) \quad (2.27)$$

Dimana C_X dan C_Y adalah koefisien gaya, C_N adalah koefisien momen, ρ_a adalah densitas udara (Kg/m^3), V_R adalah kecepatan angin (m/s), A_T dan A_L adalah luas transversal dan lateral dalam m^2 dan L adalah panjang keseluruhan kapal dalam m. Perlu diingat bahwa V_R dalam satuan knots.

Berdasarkan persamaan, perhitungan data yang dianalisa dengan teknik multiple regression dari 8 parameter berikut:

L = Panjang keseluruhan kapal

B = Lebar

A_L = Luas lateral

A_T = Luas transversal

A_{SS} = Luas lateral dari superstructure

S = Panjang perimeter dari model proyeksi lateral tidak termasuk waterline dan slender body seperti tiang dan ventilator.

C = jarak dari pusat lateral ke bow

M = Nomor grup yang berbeda dari tiang atau kingpost dilihat dari proyeksi lateral.

Menurut Isherwood, C_X , C_Y , dan C_N didapatkan dari persamaan berikut (Fossen, 1994):

$$C_X = A_0 + A_1 \frac{2A_L}{L^2} + A_2 \frac{2A_T}{B^2} + A_3 \frac{L}{B} + A_4 \frac{S}{L} + A_5 \frac{C}{L} + A_6 M \quad (2.28)$$

$$C_Y = B_0 + B_1 \frac{2A_L}{L^2} + B_2 \frac{2A_T}{B^2} + B_3 \frac{L}{B} + B_4 \frac{S}{L} + B_5 \frac{C}{L} + B_6 \frac{A_{SS}}{A_L} \quad (2.29)$$

$$C_N = C_0 + C_1 \frac{2A_L}{L^2} + C_2 \frac{2A_T}{B^2} + C_3 \frac{L}{B} + C_4 \frac{S}{L} + C_5 \frac{C}{L} \quad (2.30)$$

Dengan A_0 - A_6 , B_0 - B_6 , dan C_0 - C_5 yang diperoleh dari tabel 2.2, 2.3, dan 2.4 berturut-turut.

Tabel 2.2. Parameter gaya angin pengaruh *surge* (Fossen, 1994)

γ_R (deg)	A_0	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	S.E.
0	2.152	-5.00	0.243	-0.164	-	-	-	0.086
10	1.714	-3.33	0.145	-0.121	-	-	-	0.104
20	1.818	-3.97	0.211	-0.143	-	-	0.033	0.096
30	1.965	-4.81	0.243	-0.154	-	-	0.041	0.117
40	2.333	-5.99	0.247	-0.190	-	-	0.042	0.115
50	1.726	-6.54	0.189	-0.173	0.348	-	0.048	0.109
60	0.913	-4.68	-	-0.104	0.482	-	0.052	0.082
70	0.457	-2.88	-	-0.068	0.346	-	0.043	0.077
80	0.341	-0.91	-	-0.031	-	-	0.032	0.090
90	0.355	-	-	-	-0.247	-	0.018	0.094
100	0.601	-	-	-	-0.372	-	-0.020	0.096
110	0.651	1.29	-	-	-0.582	-	-0.031	0.090
120	0.564	2.54	-	-	-0.748	-	-0.024	0.100
130	-0.142	3.58	-	0.047	-0.700	-	-0.028	0.105
140	-0.677	3.64	-	0.069	-0.529	-	-0.032	0.123
150	-0.723	3.14	-	0.064	-0.475	-	-0.032	0.128
160	-2.148	2.56	-	0.081	-	1.27	-0.027	0.123
170	-2.707	3.97	-0.175	0.126	-	1.81	-	0.115
180	-2.529	3.76	-0.174	0.128	-	1.55	-	0.112
							Mean S.E.	0.103

Tabel 2.3. Parameter gaya angin pengaruh *sway* (Fossen, 1994)

γ_R (deg)	B_0	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6	<i>S.E.</i>
10	0.096	0.22	--	--	--	--	--	0.015
20	0.176	0.71	--	--	--	--	--	0.023
30	0.225	1.38	--	0.023	--	-0.29	--	0.030
40	0.329	1.82	--	0.043	--	-0.59	--	0.054
50	1.164	1.26	0.121	--	-0.242	-0.95	--	0.055
60	1.163	0.96	0.101	--	-0.177	-0.88	--	0.049
70	0.916	0.53	0.069	--	--	-0.65	--	0.047
80	0.844	0.55	0.082	--	--	-0.54	--	0.046
90	0.889	--	0.138	--	--	-0.66	--	0.051
100	0.799	--	0.155	--	--	-0.55	--	0.050
110	0.797	--	0.151	--	--	-0.55	--	0.049
120	0.996	--	0.184	--	-0.212	-0.66	0.34	0.047
130	1.014	--	0.191	--	-0.280	-0.69	0.44	0.051
140	0.784	--	0.166	--	-0.209	-0.53	0.38	0.060
150	0.536	--	0.176	-0.029	-0.163	--	0.27	0.055
160	0.251	--	0.106	-0.022	--	--	--	0.036
170	0.125	--	0.046	-0.012	--	--	--	0.022
Mean <i>S.E.</i>								0.044

Tabel 2.4 Parameter momen angin pengaruh *yaw* (Fossen, 1994)

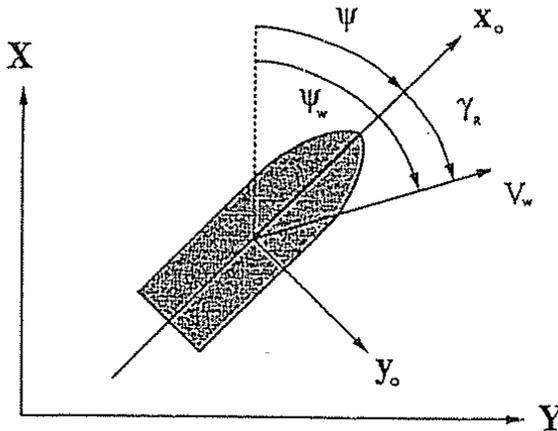
γ_R (deg)	C_0	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	<i>S.E.</i>
10	0.0596	0.061	--	--	--	-0.074	0.0048
20	0.1106	0.204	--	--	--	-0.170	0.0074
30	0.2258	0.245	--	--	--	-0.380	0.0105
40	0.2017	0.457	--	0.0067	--	-0.472	0.0137
50	0.1759	0.573	--	0.0118	--	-0.523	0.0149
60	0.1925	0.480	--	0.0115	--	-0.546	0.0133
70	0.2133	0.315	--	0.0081	--	-0.526	0.0125
80	0.1827	0.254	--	0.0053	--	-0.443	0.0123
90	0.2627	--	--	--	--	-0.508	0.0141
100	0.2102	--	-0.0195	--	0.0335	-0.492	0.0146
110	0.1567	--	-0.0258	--	0.0497	-0.457	0.0163
120	0.0801	--	-0.0311	--	0.0740	-0.396	0.0179
130	-0.0189	--	-0.0488	0.0101	0.1128	-0.420	0.0166
140	0.0256	--	-0.0422	0.0100	0.0889	-0.463	0.0162
150	0.0552	--	-0.0381	0.0109	0.0689	-0.476	0.0141
160	0.0881	--	-0.0306	0.0091	0.0366	-0.415	0.0105
170	0.0851	--	-0.0122	0.0025	--	-0.220	0.0057
Mean <i>S.E.</i>							0.0127

Gangguan angin merubah pergerakan kapal terhadap arah *sway*, membuat kapal menyimpang dari rute sebenarnya. Dalam kasus ini, pergerakan *surge* dan *yaw* tidak berdampak signifikan terhadap manuver kapal, jadi hal ini dapat diabaikan. Sehingga fungsi transfer dari kapal berdasarkan pengaruh angin pada gerak *sway* dapat didefinisikan sebagai model gaya angin pada gerak *sway* dibagi dengan hambatan kapal. Pendekatan hambatan kapal menggunakan determinan matriks M . Berikut adalah persamaan fungsi transfer akibat pengaruh angin (Fossen, 1994).

$$\text{Wind Transfer Function} = \frac{Y_{wind}}{\text{Ship Resistance}} \quad (2.31)$$

Untuk mencari determinan M , membutuhkan variabel massa dari kapal. Perbedaan disini adalah variabel massa yang akan dinormalisasi menggunakan sistem prime dari SNAME (1950) yang dijelaskan di bawah ini.

$$\text{Variabel normalisasi massa} = \frac{\rho}{2} \cdot Lpp^3 \quad (2.32)$$



Gambar 2.6 Pengaruh Kecepatan Angin terhadap Heading Kapal (Fossen, 1994)

2.8 Sistem Logika Fuzzy

Dewasa ini dalam kehidupan sehari-hari, banyak permasalahan yang tidak bisa di selesaikan dengan “ya” atau “tidak”. Tetapi pada kedua pilihan tersebut terdapat beberapa nilai relatif yang perlu dipertimbangkan. Teori himpunan klasik (crisp) menjelaskan bahwa keberadaan suatu elemen hanya memiliki 2 kemungkinan keanggotaan (chak, 1998). Oleh karena itu, Prof. L.A. Zadeh mencetuskan sebuah gagasan logika fuzzy dengan memodifikasi teori himpunan dimana setiap anggotanya memiliki derajat keanggotaan yang bernilai kontinyu antara 0 sampai 1 dan disebut dengan himpunan kabur (Fuzzy Set) (Kusumadewi, 2002 dan Zadeh, 1965).

Logika fuzzy merupakan suatu cara yang tepat untuk memetakan suatu ruang *input* ke dalam suatu ruang *output*, mempunyai nilai kontinyu. *Fuzzy* dinyatakan dalam derajat dari suatu keanggotaan dan derajat dari kebenaran. Oleh karena itu, sesuatu dapat dikatakan sebagian benar dan sebagian salah pada waktu yang sama (Kusumadewi.2004). *Logika fuzzy* memungkinkan nilai keanggotaan antara 0 dan 1, tingkat keabuan dan juga hitam dan putih, dan dalam bentuk *linguistik*, konsep tidak pasti seperti “sedikit”, “lumayan”, dan “sangat” (Zadeh. 1965). Kelebihan dari teori logika *fuzzy* adalah kemampuan dalam proses penalaran secara bahasa (*linguistic reasoning*). Sehingga dalam perancangannya tidak memerlukan persamaan matematik dari objek yang akan dikendalikan. Secara umum, logika *fuzzy* terdiri dari beberapa komponen, yaitu *Fuzzifier*, *Fuzzy Rule Base*, *Fuzzy Inference Engine* dan *Defuzzifier*, seperti diperlihatkan pada gambar berikut.

2.8.1 Himpunan Fuzzy

Himpunan fuzzy merupakan keanggotaan dari suatu variabel fuzzy. Di dalam setiap variabel terdapat beberapa anggota yang memiliki nilai berbeda. Misalkan setiap orang memiliki ketinggian yang berbeda-beda, dari perbedaan tersebut dapat digolongkan menjadi 3 yaitu tinggi, sedang dan

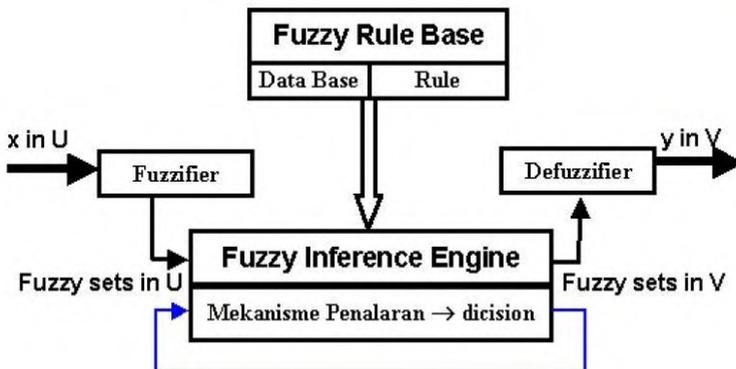
pendek. Setiap variabel tersebut bisa memiliki range yang berbeda-beda sesuai dengan kepakaran yang dimiliki.

2.8.2 Jenis-Jenis Fungsi Keanggotaan F

Terdapat dua cara dalam mendefinisikan keanggotaan himpunan fuzzy, yaitu secara numeris dan fungsional. Definisi numeris menyatakan fungsi derajat keanggotaan sebagai vektorjumlah yang tergantung pada tingkat diskritisasi. Misalnya, jumlah elemen diskrit dalam semesta pembicaraan. Definisi fungsional menyatakan derajat keanggotaan sebagai batasan ekspresianalitis yang dapat dihitung. Standar atau ukuran tertentu pada fungsi keanggotaan secara umum ditentukan oleh semesta X bilangan real. Fungsi keanggotaan fuzzy yang sering digunakan antara lain, fungsi representasi linier, dan fungsi representasi segitiga.

2.8.3 Struktur Dasar Logika Fuzzy

Struktur logika fuzzy tersusun atas 4 unit, yaitu: *fuzzifier*, *fuzzy rule base*, *fuzzy inference engine*, dan *defuzzifier*. Gambar 2.7 menyatakan struktur dari logika fuzzy.



Gambar 2.7 Arsitektur Logika Fuzzy (Syamsul, 2011)

Fungsi bagian pada gambar 3 adalah sebagai berikut:

1. *Fuzzifier* berfungsi untuk mentransformasikan sinyal masukan yang bersifat *crisp* (bukan *fuzzy*) ke himpunan *fuzzy* dengan menggunakan operator fuzzifikasi. Pemetaannya dilakukan dengan menggunakan fungsi yang disebut *membership function*. Terdapat beberapa metode fuzzifier, 3 diantaranya yaitu: *Singleton fuzzifier*, *Gaussian fuzzifier* dan *Triangular fuzzifier*.
2. *Fuzzy rule base* berisi pernyataan-pernyataan logika *fuzzy* (*fuzzy statement*), yang berbentuk pernyataan *If-Then*.
3. *Fuzzy inference engine* menerjemahkan pernyataan-pernyataan *fuzzy* dalam *rule base* menjadi perhitungan matematika (*fuzzy combinational*).
4. *Defuzzifier* berfungsi untuk mentransformasikan kesimpulan tentang aksi atur yang bersifat *fuzzy* menjadi sinyal sebenarnya yang bersifat *crisp* dengan menggunakan operator defuzzifikasi. Terdapat beberapa metode defuzzifier, 3 diantaranya yaitu: *Center of gravity defuzzifier*, *Center average defuzzifier*, *Maximum defuzzifier*[12].

2.8.4 Kelebihan Logika Fuzzy

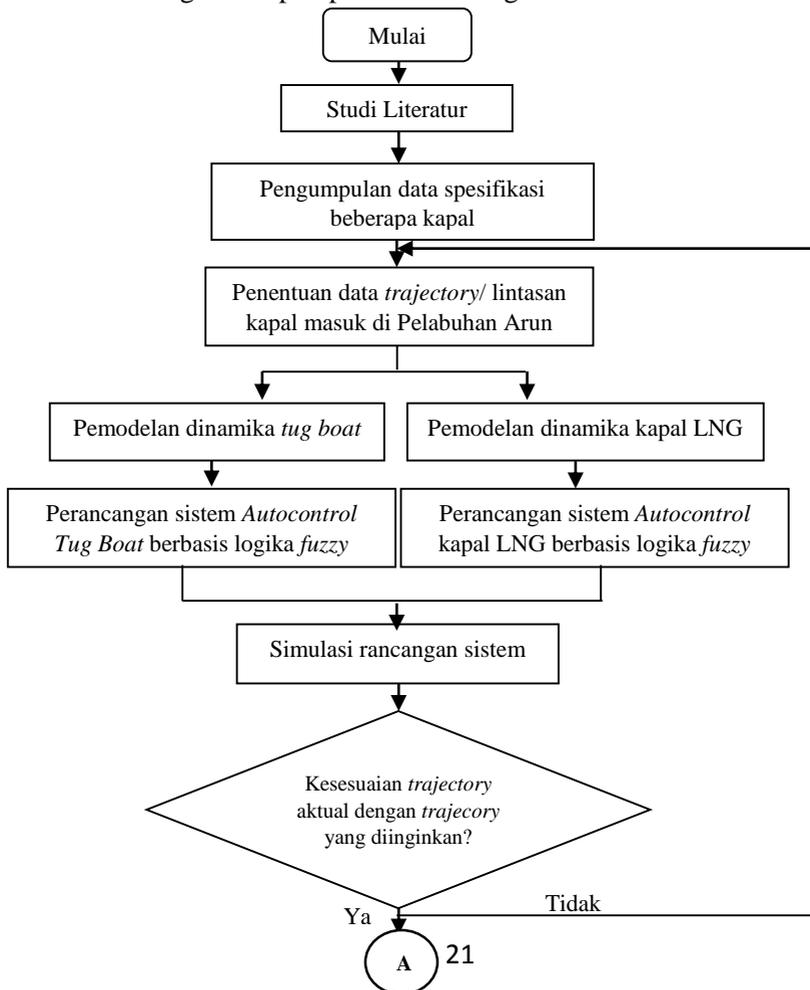
- a. Konsep logika fuzzy mudah dimengerti. Konsep matematis yang mendasari penalaran fuzzy sangat sederhana dan mudah dimengerti.
- b. Logika fuzzy sangat fleksibel.
- c. Logika fuzzy memiliki toleransi terhadap data-data yang tidak tepat.
- d. Logika fuzzy mampu memodelkan fungsi-fungsi non linier yang sangat kompleks.
- e. Logika fuzzy dapat membangun dan mengaplikasikan pengalaman-pengalaman para pakar secara langsung tanpa harus melalui proses pelatihan.
- f. Logika fuzzy dapat bekerja sama dengan teknik-teknik kendali secara konvensional.
- g. Logika fuzzy didasarkan pada bahasa alami.

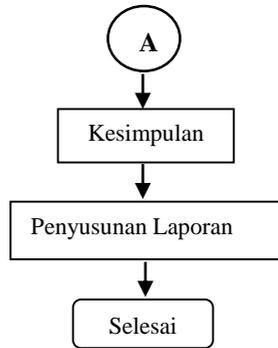
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Diagram Alir Penelitian

Penelitian tugas akhir ini melakukan perancangan 2 sistem kendali, yaitu kendali pada tug boat dan kendali pada kapal LNG. Gambar 3.1 adalah diagram alir proses perancangan autokontrol kapal tug boat berbasis logika fuzzy untuk sistem guidance kapal LNG dengan tahapan penelitian sebagai berikut:





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.2 Studi Literatur

Penyusunan laporan tugas akhir ini diperlukan konsep dan ide awal untuk pelaksanaannya. Sehingga diperlukan studi literatur yang berhubungan erat sistem autokontrol kapal tug boat dan beberapa referensi dari penelitian sebelumnya. Selain itu juga dilakukan pendalaman materi mengenai dinamika kapal, manuver kapal, trayektori yang dilintasi kapal dan sistem kontrol otomatis menggunakan logika fuzzy. Penelitian ini dilakukan secara simulasi dengan matlab R2014a maka diperlukan studi pembelajaran tentang pemrograman yang dijalankan.

3.3 Data Spesifikasi Kapal

Kapal yang digunakan dalam penelitian ini ada 2 jenis, yaitu kapal tug boat sebagai pemberi guidance dan kapal LNG yang melakukan aksi, berikut adalah beberapa data spesifikasi kapal:

1. Spesifikasi Kapal Tangker Tangguh Towuti

Data yang diperlukan untuk memodelkan dinamika kapal dengan menggunakan metode Nomoto orde II adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned}
L_{pp} (\text{panjang, m}) &= 285,4 \\
B (\text{lebar, m}) &= 43,4 \\
T (\text{kedalaman, m}) &= 26 \\
m (\text{displacement, ton}) &= 112.887 \\
U (\text{kecepatan, m/s}) &= 10 \\
C_B (\text{coefficient block}) &= 0,7561 \\
X_G (\text{center of gravity}) &= 0 \\
A_s (\text{rudder area, m}^2) &= 63,41 \\
r (\text{jari-jari, m}) &= 57,48 \\
m' &= 0,000009578
\end{aligned}$$

2. Spesifikasi Kapal AHTS (*Anchor Handling Tug Supply*)

Data yang diperlukan sebagai acuan manuever kapal *Anchor Handling Tug Supply* (AHTS) dengan menggunakan model Nomoto orde II adalah sebagai berikut (Nomoto, 1957).

$$\begin{aligned}
L_{pp} (\text{panjang, m}) &= 55 \\
B (\text{lebar, m}) &= 13 \\
T (\text{kedalaman, m}) &= 5,75 \\
m (\text{displacement, ton}) &= 1680 \\
U (\text{kecepatan, m/s}) &= 10 \\
C_B (\text{coefficient block}) &= 0,4086 \\
X_G (\text{center of gravity}) &= 3,45 \\
A_s (\text{rudder area, m}^2) &= 2,212 \\
r (\text{jari-jari, m}) &= 8,25 \\
m' &= 0,00000199
\end{aligned}$$

3. Spesifikasi Kapal TB Vier Goliath

Data yang diperlukan sebagai acuan manuever kapal *TB Vier Goliath* dengan menggunakan model Nomoto orde II adalah sebagai berikut (Nomoto, 1957):

$$\begin{aligned}
L_{pp} (\text{panjang, m}) &= 32 \\
B (\text{lebar, m}) &= 9,2 \\
T (\text{kedalaman, m}) &= 4,6 \\
m (\text{displacement, ton}) &= 694,88
\end{aligned}$$

$$U \text{ (Kecepatan, m/s)} = 6$$

$$C_B \text{ (coefficient block)} = 0,500604$$

$$X_G \text{ (Center of gravity)} = 2,76$$

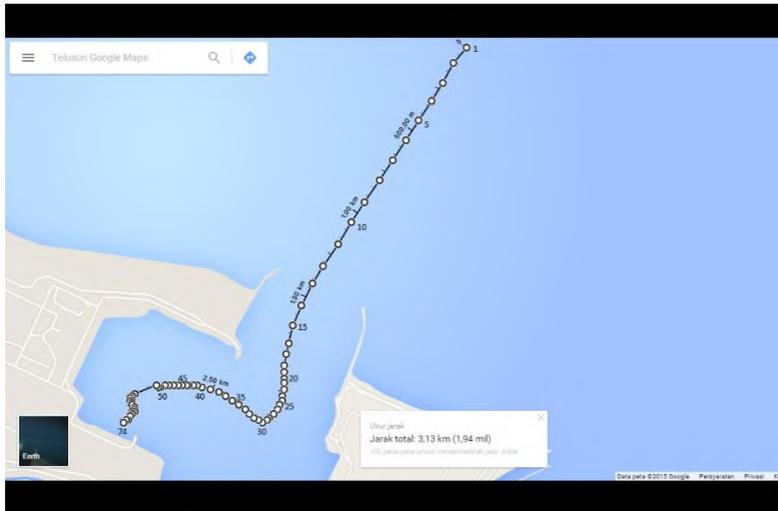
$$A_\delta \text{ (rudder area, m}^2\text{)} = 0,69$$

$$r \text{ (jari-jari, m)} = 4,8$$

$$m' = 0,0000418$$

3.4 Penentuan Trajectory di Pelabuhan Arun

Pada tahap ini dilakukan penentuan trayektori kapal agar mempermudah proses perancangan simulasi. Trayektori ditentukan berdasarkan data aktual dari pelabuhan Arun. jalur masuk kapal tidak sama dengan jalur keluar, hal ini dikarenakan untuk menghindari tabrakan kapal. Gambar 3.2 menggambarkan kondisi sebenarnya di Pelabuhan.



Gambar 3.2 Trayektori Kapal LNG

Gambar diatas merupakan gambar lintasan untuk kapal yang akan berlabuh ke Pelabuhan Arun, lintasan tersebut telah ditetapkan oleh pihak pelabuhan, setiap kapal yang berlabuh

harus mengikuti lintasan yang telah ditetapkan. Karena luas area perairan di Pelabuhan yang tidak begitu luas maka untuk kapal yang berukuran besar mengalami kesulitan dalam memenuhi lintasan yang ditetapkan, oleh sebab itu diperlukan sebuah kapal tug boat yang berfungsi untuk mengarahkan (*Guidance*) Kapal LNG agar memenuhi lintasan yang ditetapkan.

Tabel 3.1 Data Koordinat Lintasan Kapal Tug Boat

No	Latitude	Longitude	Time
1	5,2342	97,1145	7:13
2	5,2335	97,1139	7:14
3	5,2326	97,1134	7:15
4	5,2318	97,1129	7:16
5	5,2309	97,1123	7:17
6	5,2300	97,1117	7:18
7	5,2291	97,1111	7:19
8	5,2282	97,1105	7:20
9	5,2272	97,1098	7:21
10	5,2263	97,1092	7:22
11	5,2253	97,1086	7:23
12	5,2243	97,1079	7:24
13	5,2235	97,1074	7:25
14	5,2225	97,1069	7:26
15	5,2216	97,1065	7:27
16	5,2208	97,1063	7:28
17	5,2203	97,1062	7:29
18	5,2198	97,1061	7:30
19	5,2195	97,1061	7:31
20	5,2192	97,1061	7:32
21	5,2190	97,1061	7:33
22	5,2187	97,1061	7:34

Tabel 3.1 Lanjutan

No	Latitude	Longitude	Time
23	5,2184	97,1060	7:35
24	5,2182	97,1060	7:36
25	5,2180	97,1059	7:37
26	5,2178	97,1058	7:38
27	5,2176	97,1056	7:39
28	5,2174	97,1054	7:40
29	5,2173	97,1053	7:41
30	5,2172	97,1051	7:42
31	5,2173	97,1049	7:43
32	5,2174	97,1047	7:44
33	5,2176	97,1045	7:45
34	5,2178	97,1043	7:46
35	5,2180	97,1040	7:47
36	5,2182	97,1037	7:48
37	5,2184	97,1034	7:49
38	5,2186	97,1031	7:50
39	5,2187	97,1027	7:51
40	5,2188	97,1023	7:52
41	5,2189	97,1021	7:53
42	5,2189	97,1019	7:54
43	5,2189	97,1017	7:55
44	5,2189	97,1016	7:56
45	5,2189	97,1014	7:57
46	5,2189	97,1012	7:58
47	5,2189	97,1010	7:59
48	5,2189	97,1008	8:00
49	5,2189	97,1006	8:01
50	5,2188	97,1004	8:02

Tabel 3.1 Lanjutan

No	Latitude	Longitude	Time
51	5,2188	97,1003	8:03
52	5,2189	97,1002	8:04
53	5,2185	97,0992	8:12
54	5,2184	97,0991	8:13
55	5,2183	97,0990	8:14
56	5,2183	97,0990	8:15
57	5,2182	97,0990	8:16
58	5,2182	97,0991	8:17
59	5,2181	97,0991	8:18
60	5,2180	97,0991	8:19
61	5,2179	97,0992	8:20
62	5,2178	97,0992	8:21
63	5,2178	97,0992	8:22
64	5,2177	97,0992	8:23
65	5,2177	97,0992	8:24
66	5,2177	97,0992	8:25
67	5,2177	97,0992	8:26
68	5,2177	97,0991	8:27
69	5,2176	97,0991	8:29
70	5,2175	97,0990	8:32
71	5,2175	97,0990	8:35
72	5,2173	97,0989	8:38
73	5,2173	97,0988	8:41
74	5,2172	97,0987	8:44

Tabel 3.1 merupakan data trayektori masuk kapal dipelabuhan arun berdasarkan latitude dan longitude. Komponen waktu dalam tabel merupakan salah satu contoh dari gerakan riil

kapal yang akan berlabuh ke pelabuhan. Waktu yang ditempuh ketika akan masuk ke pelabuhan sampai bersandar ditetapkan selama 74 menit.

3.5 Pemodelan Dinamika Kapal

Pemodelan dinamika kapal dilakukan berdasarkan data spesifikasi kapal yang diperoleh dan diolah dengan menggunakan metode pendekatan Nomoto orde II. Parameter-parameter yang telah diketahui disubstitusikan kedalam persamaan fungsi transfer Nomoto untuk mendapatkan nilai koefisien hidrodinamik kapal. Koefisien hidrodinamik derivative diperoleh dari persamaan 3.1 s/d 3.6:

$$\frac{-Y'_v}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.16 \frac{C_B B}{T} - 5.1 \left(\frac{B}{L} \right)^2 \quad (3.1)$$

$$\frac{-Y'_r}{\pi(T/L)^2} = 0.67 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.0033 \left(\frac{B}{T} \right)^2 \quad (3.2)$$

$$\frac{-N'_v}{\pi(T/L)^2} = 1.1 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.041 \left(\frac{B}{T} \right) \quad (3.3)$$

$$\frac{-N'_r}{\pi(T/L)^2} = \frac{1}{12} + 0.017 \frac{C_B B}{T} - 0.33 \left(\frac{B}{L} \right) \quad (3.4)$$

$$\frac{-Y'_v}{\pi(T/L)^2} = 1 + 0.4 \frac{C_B B}{T} \quad (3.5)$$

$$\frac{-Y'_r}{\pi(T/L)^2} = -\frac{1}{2} + 2.2 \left(\frac{B}{L} \right) - 0.08 \left(\frac{B}{T} \right) \quad (3.6)$$

Berdasarkan persamaan-persamaan di atas maka diperoleh nilai koefisien hidrodinamik dari masing-masing kapal adalah sebagai berikut.

1. Kapal Tangguh Towuti

Berikut adalah nilai koefisien hidrodinamik yang diperoleh dari perhitungan:

$$\begin{array}{ll}
 -Y'_{\dot{v}} = 0,02825 & -N'_{\dot{v}} = 0,00257 \\
 -Y'_{\dot{r}} = 0,00241 & -N'_{\dot{r}} = 0,00142 \\
 -Y'_{v} = 0,03921 & -N'_{v} = 0,01872 \\
 -Y'_{r} = -0,00779 & -N'_{r} = 0,00599 \\
 Y'_{\delta} = 6,80202 & N'_{\delta} = -3,40101
 \end{array}$$

Nilai-nilai tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan 2.6 dan 2.7 sehingga diperoleh hasil matriks momen inersia M dan N, serta matriks momen b sebagai berikut.

$$\begin{array}{ll}
 M' = \begin{bmatrix} 0,02825 & 0,00241 \\ 0,00257 & 0,00142 \end{bmatrix} & N = \begin{bmatrix} 0,00392 & -0,21959 \\ 0,00187 & 0,17095 \end{bmatrix} \\
 N' = \begin{bmatrix} 0,03921 & -0,00769 \\ 0,01872 & 0,00599 \end{bmatrix} & b' = \begin{bmatrix} 6,80202 \\ -3,40101 \end{bmatrix} \\
 M = \begin{bmatrix} 0,08065 & 1,96302 \\ 0,00733 & 1,15695 \end{bmatrix} &
 \end{array}$$

Setelah diperoleh matriks M dan N, serta b substitusi ke dalam persamaan 2.12 s/d 2.15, sehingga diperoleh parameter nomoto sebagai berikut:

$$T_1 T_2 = 72,973$$

$$K_R = 24,106$$

$$T_1+T_2=15,0364$$

$$K_R T_3=299,792$$

Maka fungsi transfer kapal LNG yang diperoleh dari persamaan 2.1 adalah sebagai berikut:

$$\frac{\psi(s)}{\delta_R(s)} = \frac{299,792s+24,106}{72,9736s^3+15,0364s^2+s} \quad (3.7)$$

2. Kapal AHTS

Berikut adalah nilai koefisien hidrodinamik yang diperoleh dari perhitungan:

$$-Y'_{\dot{v}} = 0,02961$$

$$-N'_{\dot{v}} = 0,00574$$

$$-Y'_{\dot{r}} = 0,00485$$

$$-N'_{\dot{r}} = 0,00557$$

$$-Y'_{\dot{v}} = 0,04700$$

$$-N'_{\dot{v}} = 0,02577$$

$$-Y'_{\dot{r}} = -0,00552$$

$$-N'_{\dot{r}} = 0,00706$$

$$Y'_{\delta} = 5,567525$$

$$N'_{\delta} = -2,78376$$

Nilai-nilai tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan 2.6 dan 2.7 sehingga diperoleh hasil matriks momen inersia M dan N, serta matriks momen b sebagai berikut.

$$M' = \begin{bmatrix} 0,02963 & 0,00486 \\ 0,00574 & 0,00557 \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} 0,00470 & -0,02927 \\ 0,00257 & 0,038917 \end{bmatrix}$$

$$N' = \begin{bmatrix} 0,04700 & -0,00532 \\ 0,025771 & 0,00707 \end{bmatrix}$$

$$b' = \begin{bmatrix} 5,5675 \\ -2,7837 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0,01629 & 0,14693 \\ 0,00315 & 0,16859 \end{bmatrix}$$

Setelah diperoleh matriks M dan N, serta b substitusi ke dalam persamaan 2.12 s/d 2.15, sehingga diperoleh parameter nomoto sebagai berikut:

$$T_1 T_2 = 2,1685$$

$$K_R = 106,183$$

$$T_1 + T_2 = 2,49077$$

$$K_R T_3 = 243,6932$$

Maka fungsi transfer kapal AHTS yang diperoleh dari persamaan 2.1 adalah sebagai berikut:

$$\frac{\psi(s)}{\delta_R(s)} = \frac{243,6932s + 106,183}{2,1685s^3 + 2,49077s^2 + s} \quad (3.8)$$

3. Kapal Vier Goliath

Berikut adalah nilai koefisien hidrodinamik yang diperoleh dari perhitungan:

$$-Y'_{\dot{v}} = 0,04792$$

$$-N'_{\dot{v}} = 0,01029$$

$$-Y'_{\dot{r}} = 0,01164$$

$$-N'_{\dot{r}} = 0,01029$$

$$-Y'_{\dot{v}} = 0,09087$$

$$-N'_{\dot{v}} = 0,05483$$

$$-Y'_{\dot{r}} = -0,00178$$

$$-N'_{\dot{r}} = 0,01084$$

$$Y'_{\delta} = 3,73120$$

$$N'_{\delta} = -1,86560$$

Nilai-nilai tersebut disubstitusikan ke dalam persamaan 2.6 dan 2.7 sehingga diperoleh hasil matriks momen inersia M dan N, serta matriks momen b sebagai berikut.

$$M' = \begin{bmatrix} 0,04796 & 0,01164 \\ 0,01520 & 0,01029 \end{bmatrix}$$

$$N' = \begin{bmatrix} 0,09087 & -0,00153 \\ 0,05482 & 0,01085 \end{bmatrix}$$

$$M = \begin{bmatrix} 0,04263 & 0,33125 \\ 0,01351 & 0,29286 \end{bmatrix} \quad b' = \begin{bmatrix} 3,7312 \\ -1,8656 \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} 0,01514 & -0,00818 \\ 0,00913 & 0,05790 \end{bmatrix}$$

Setelah diperoleh matriks M dan N, serta b substitusi ke dalam persamaan 2.12 s/d 2.15, sehingga diperoleh parameter nomoto sebagai berikut:

$$T_1 T_2 = 8,4172$$

$$K_R = 65,512$$

$$T_1 + T_2 = 4,1903$$

$$K_R T_3 = 136,561$$

Maka fungsi transfer kapal Vier Goliath yang diperoleh dari persamaan 2.1 adalah sebagai berikut:

$$\frac{\psi(s)}{\delta_R(s)} = \frac{136,561s + 65,512}{8,4172s^3 + 4,1903s^2 + s} \quad (3.9)$$

Rudder merupakan kemudi pada kapal yang berfungsi untuk menentukan arah kapal sesuai dengan perintah controller. Dalam pemodelannya keluaran dari KLF yang berupa command rudder (δ_c) diubah menjadi aktuatorrudder (δ_a). Rudder yang digunakan memiliki spesifikasi Vcc sebesar 380 Volt dan time constant sebesar 0.05. Sehingga diperoleh persamaan fungsi transfer dari persamaan (2.12) sebagai berikut:

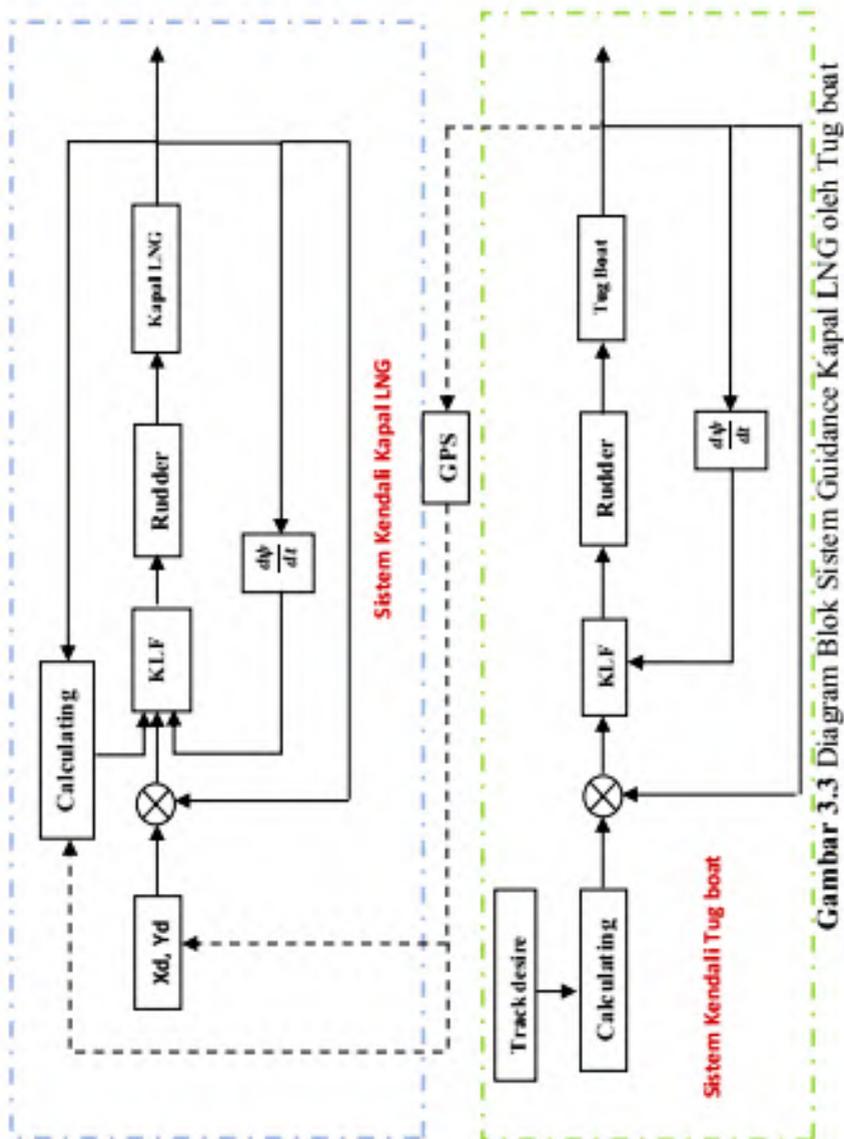
$$\delta = \frac{0,6/380}{0,05s + 1} \quad (3.10)$$

Pemodelan propeller sebagai penggerak kapal dilakukan dengan pendekatan dari Horigome, Hara, Hotta dan Hotsu (1990).

Pemodelan dari spesifikasi kapal nilai K_y (gain constant) adalah 1, dan n propeller 500 rpm. Dari hasil perhitungan T_y diperoleh nilai 0,339 sehingga didapatkan fungsi alih propeller menjadi:

$$\frac{Q_m}{y}(s) = \frac{1}{1+0,339s} \quad (3.11)$$

3.6. Perancangan Autocontrol Kapal Tug Boat untuk sistem guidance kapal LNG.



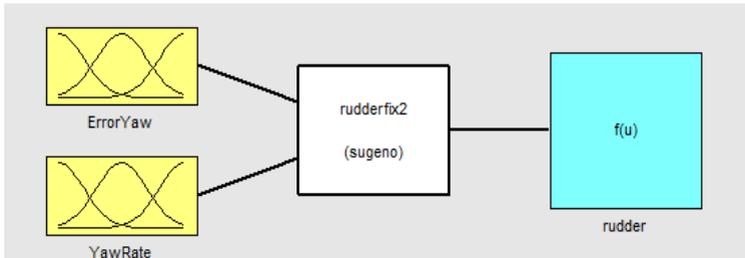
Gambar 3.3 Diagram Blok Sistem Guidance Kapal LNG oleh Tug boat

Diagram blok pada gambar 3.3 menjelaskan proses pengendalian sistem guidance kapal LNG oleh tug boat yang akan berlabuh ke Pelabuhan Arun, dalam prosesnya kapal LNG akan dipandu oleh kapal Tug boat agar kapal LNG dapat bersandar sesuai dengan trayektori yang telah ditetapkan. Terdapat dua loop sistem pengendalian, loop sistem yang atas merupakan pengendalian pada kapal LNG sedangkan pada loop bagian bawah merupakan pengendalian kapal tug boat. output pada pengendalian kapal Tugboat akan menjadi masukan pada pengendalian kapal LNG, outputan dari kapal Tug Boat menjadi setpoint kapal LNG untuk mengatur sudut pergerakan kapal dengan menggunakan kendali logika fuzzy. Rule base yang dirancang telah disesuaikan dengan kondisi lapangan untuk memberikan perintah kepada aktuator berupa rudder agar sudut pergerakan kapal sesuai dengan yang diinginkan. Output dari aktuator akan menjadi input terhadap fungsi alih kapal tug boat. Posisi dan arah kapal ditunjukkan oleh GPS dan kompas.

3.6.1. Kontrol Logika Fuzzy Rudder Kapal Tug boat

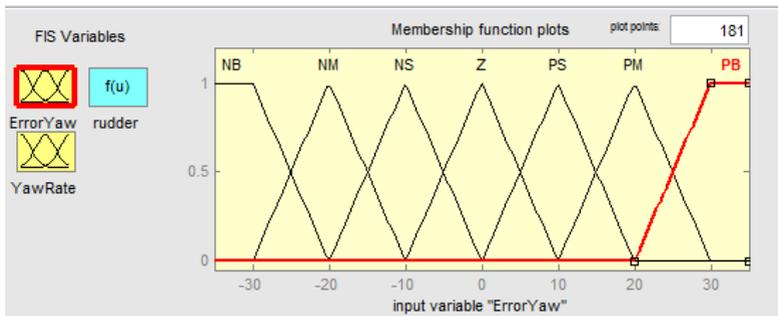
- **Fuzzifikasi**

Fuzzifikasi dalam KLF berfungsi mengubah input yang berupa crisp menjadi himpunan fuzzy (variable linguistic). Masukan dari kontroler berupa nilai error yaw dan yaw rate sedangkan keluarannya berupa command rudder. Pendekatan dalam pemilihan fungsi keanggotaan dengan menggunakan metode Sugeno-Takagi menghasilkan keluaran berupa nilai pasti pada command rudder. Rudder berpengaruh dalam mengatur sudut pergerakan kapal agar mengikuti trayektori. Perancangan kontrol rudder dengan menggunakan kontrol logika fuzzy ditunjukkan pada gambar 3.4.



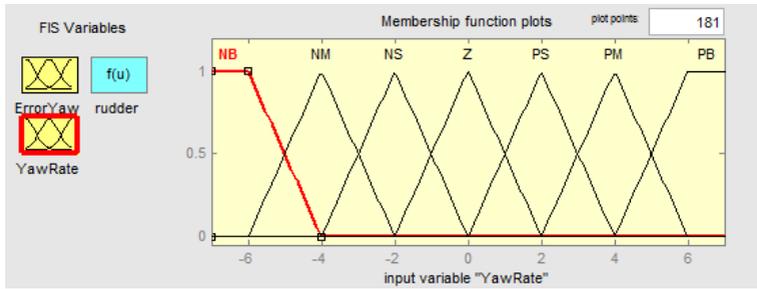
Gambar 3.4 Kontrol Logika Fuzzy Rudder

Nilai masukan error yaw pada gambar 3.4 dibagi menjadi 7 tingkatan yaitu Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), dan Positive Big (PB) dari rentang nilai $-35^{\circ} - 35^{\circ}$. Pemilihan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga dan trapesium ini dikarenakan untuk sistem yang berupa aktuator akan menghasilkan nilai yang terbaik.



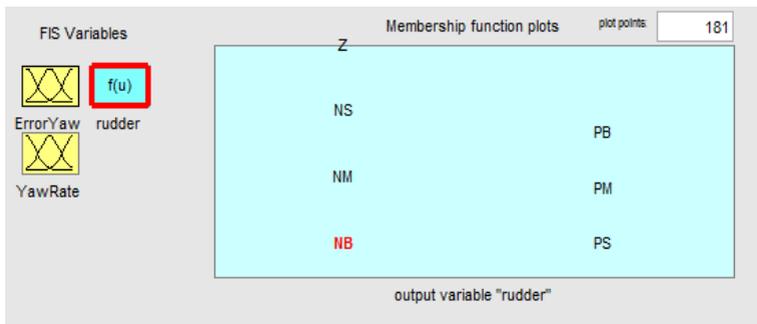
Gambar 3.5 Membership Function Error Yaw

Nilai masukan pada yaw rate dibagi menjadi 7 tingkatan yaitu Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), dan Positive Big (PB) dari rentang nilai $-7^{\circ} - 7^{\circ}$. Membership function yaw rate ditunjukkan gambar 3.6.



Gambar 3.6 Membership Function Yaw Rate

Gambar 3.6 adalah hasil keluaran yang diharapkan dari rudder yang dapat mewakili arah gerak kapal dengan rentang nilai $-35^0 - 35^0$.



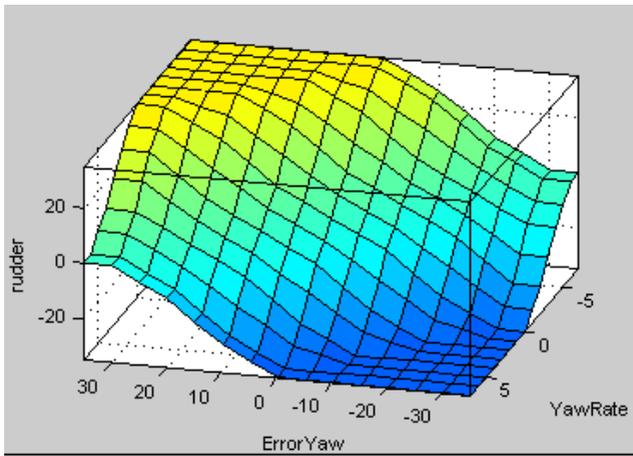
Gambar 3.7 Membership Function Rudder

- **Rule Base**

Dalam kontrol logika fuzzy dibutuhkan nilai kepakaran yang dimiliki oleh perancang. *Rule base* disusun untuk merepresentasikan hasil yang mendekati kebenaran jika diterapkan terhadap sistem yang sebenarnya. Tabel 3.1 adalah *rule base* yang digunakan untuk mengendalikan kontrol rudder.

Tabel 3.2. *Rule Base* Pengendalian KLF pada Rudder

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

**Gambar 3.8** *Surface Viewer Rudder*

Gambar 3.8 menunjukkan hubungan permukaan input dan output dalam bentuk tiga dimensi yaitu dua masukan berupa error yaw dan yaw rate dan satu keluaran rudder. Grafik tersebut menunjukkan adanya gabungan dari dua

buah nilai yang menghasilkan sebuah nilai keluaran sudut rudder. Dari grafik tersebut terlihat bahwa semua nilai saling berhubungan sehingga dapat merepresentasikan nilai dengan lebih mudah.

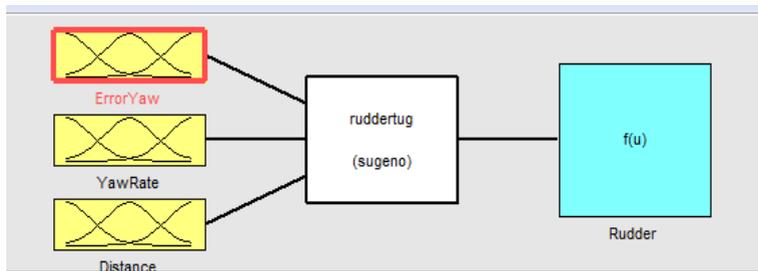
- **Defuzzifikasi**

Masukan dari proses defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy yang diperoleh dari rule base yang telah dibuat sebelumnya. Masukan dari rule base masih dalam domain bentuk himpunan fuzzy. Oleh karena itu harus diubah kembali menjadi bentuk crisp. Untuk model Sugeno yang digunakan adalah defuzzifikasi jenis Average.

3.6.2. Kontrol Logika Fuzzy Rudder Kapal LNG

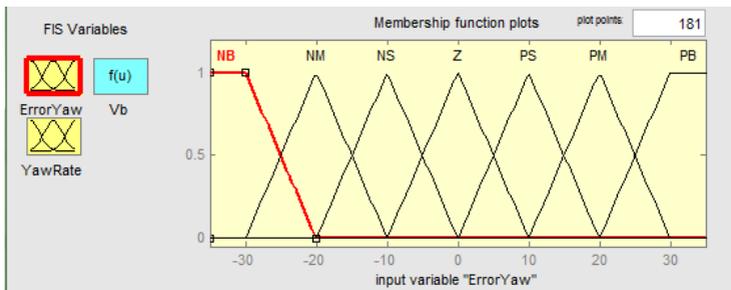
- **Fuzzifikasi**

Kontroler yang digunakan untuk mengatur besarnya pergerakan sudut kapal dengan masukan berupa nilai error yaw, yaw rate dan jarak kapal. Dari ketiga masukan tersebut diolah dengan menggunakan pendekatan Sugeno-Takagi sehingga menghasilkan keluaran berupa pergerakan sudut kapal pada kapal LNG. Gambar 3.9 menunjukkan perancangan KLF Rudder Kapal LNG.



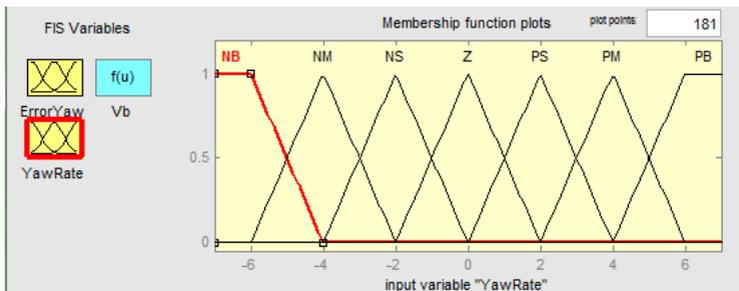
Gambar 3.9 Perancangan KLF LNG

Gambar 3.10 menunjukkan nilai masukan dari error yaw yang dibagi menjadi 7 tingkatan yaitu Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), dan Positive Big (PB) dari rentang nilai -35° - 35° . Pemilihan fungsi keanggotaan berbentuk segitiga dan trapesium ini dikarenakan untuk sistem yang berupa peralatan akan menghasilkan nilai yang terbaik.



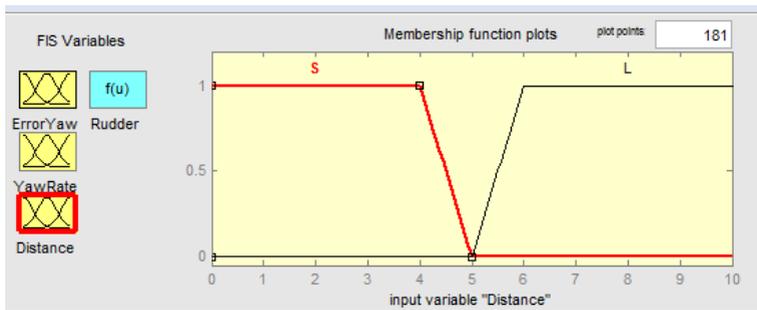
Gambar 3.10 Membership Function Error Yaw

Gambar 3.11 menunjukkan nilai masukan dari yaw rate dibagi menjadi 7 tingkatan yaitu Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), dan Positive Big (PB) dari rentang nilai $-7^{\circ}/s$ - $7^{\circ}/s$.



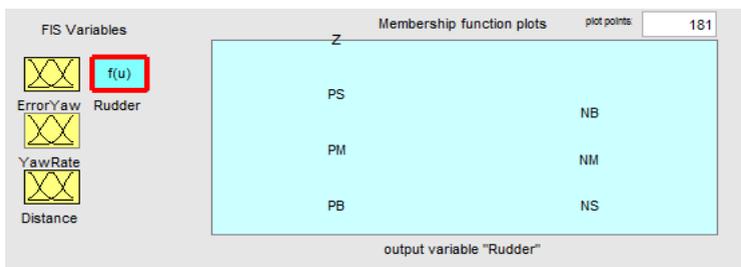
Gambar 3.11 Membership Function Yaw Rate

Gambar 3.12 menunjukkan nilai masukan dari KLF yang berupa beda lintasan antara nilai error lintasan aktual dari kedua kapal. Nilai beda lintasan dibagi menjadi 2 tingkatan yaitu Short (S) dan Long (L) dengan rentang nilai antara 0 meter sampai 10 meter.



Gambar 3.12 Membership Function Distance

Gambar 3.13 merupakan Nilai keluaran dari Kontrol Logika Fuzzy pada kapal LNG, dimana pada nilai keluaran berupa sudut rudder yang dibagi menjadi 7 tingkatan yaitu Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (Z), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), dan Positive Big (PB) dari rentang nilai -35° - 35° .



Gambar 3.13 Membership Function Rudder Kapal LNG

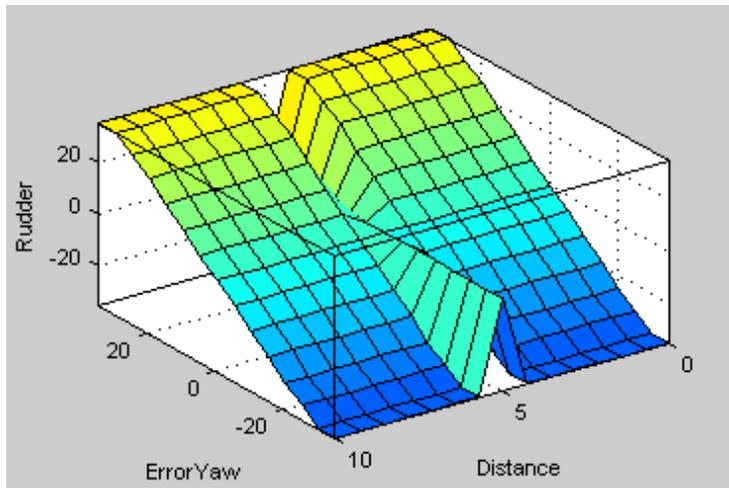
- *Rule Base*

Tabel 3.3 merupakan rule base yang diterapkan pada kontrol ini, rule base telah disesuaikan dengan penerapan pada Kapal LNG yang bekerja sesuai dengan set point yang telah ditentukan. Penyusunan rule base ini berdasarkan kepakaran dari perancang.

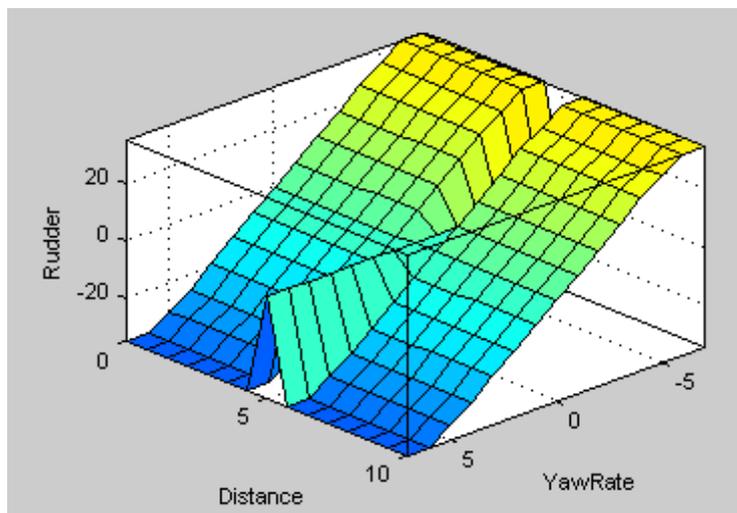
Tabel 3.3 Rule Base KLF Rudder kapal LNG

e*d\r		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	S	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB
	L	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB
NM	S	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
	L	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
NS	S	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
	L	NM	NS	Z	PS	PM	PB	PB
Z	S	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
	L	NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
PS	S	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
	L	NB	NB	NM	NS	Z	PS	PM
PM	S	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
	L	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
PB	S	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
	L	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z

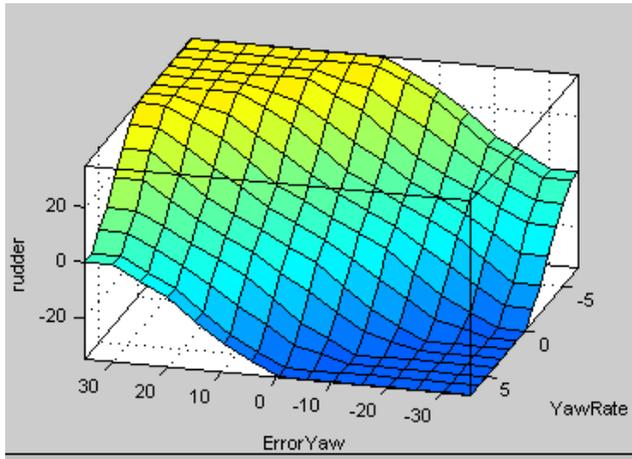
Dari hasil input basis aturan diperoleh hasil surface viewer dengan grafik hubungan antara error yaw, yaw rate, distance dan Sudut Rudder yang ditunjukkan pada Gambar 3.14 dan 3.15, dan 3.16:



Gambar 3.14 Surface Viewer Hubungan Error Yaw dan Distance



Gambar 3.15 Surface Viewer yaw rate dan Distance



Gambar 3.16 *Surface Viewer Error yaw dan Yaw rate*

- **Defuzzifikasi**

Masukan dari proses defuzzifikasi adalah himpunan fuzzy yang diperoleh dari rule base yang telah dibuat sebelumnya. Masukan dari rule base masih dalam domain bentuk himpunan fuzzy. Oleh karena itu harus diubah kembali kedalam bentuk crisp. Untuk model Sugeno yang digunakan adalah defuzzifikasi jenis Average.

3.7 Pemodelan Gangguan Angin

Pemodelan dinamika kapal dengan gangguan angin dinyatakan dalam persamaan 2.25 – 2.30. persamaan tersebut menggunakan data spesifikasi kapal sebagai parameternya. Model dasar kapal LNG membutuhkan asumsi untuk menghasilkan parameter tersebut. Model ini diperoleh menggunakan 8 parameter dari data spesifikasi kapal antara lain sebagai berikut:

Tabel 3.4 Parameter dari data spesifikasi kapal

Symbol	Value	Value Unit
L	285,4	<i>m</i>
B	43,4	<i>m</i>
A_L	4138,3	m^2
A_T	629,3	m^2
A_{SS}	12386,36	m^2
S	131	<i>m</i>
C	142,7	<i>m</i>
M	100	<i>unit</i>

Dimana:

L = Panjang keseluruhan kapal

B = Lebar

A_L = Luas lateral

A_T = Luas transversal

A_{SS} = Luas lateral dari superstructure

S = Panjang perimeter dari model proyeksi lateral tidak termasuk waterline dan slender body seperti tiang dan ventilator.

C = jarak dari pusat lateral ke bow

M = Nomor grup yang berbeda dari tiang atau kingpost dilihat dari proyeksi lateral.

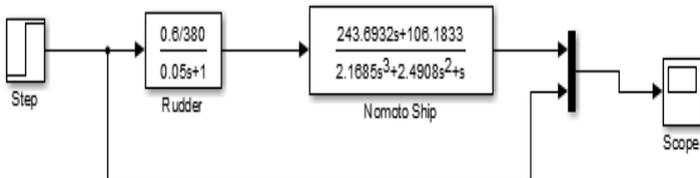
Perhitungan, A_L , A_T , A_{SS} , S, C, dan M berdasarkan tipe kapal LNG dinyatakan pada tabel 3.4.

3.8. Pengujian Simulasi

Untuk mengetahui sistem yang dirancang sudah sesuai atau belum dengan tujuan, maka dilakukan beberapa pengujian dengan menggunakan tools pada Matlab. Terdapat beberapa pengujian yang telah dilakukan yang dijelaskan sebagai berikut:

3.8.1. Uji Open Loop Rudder

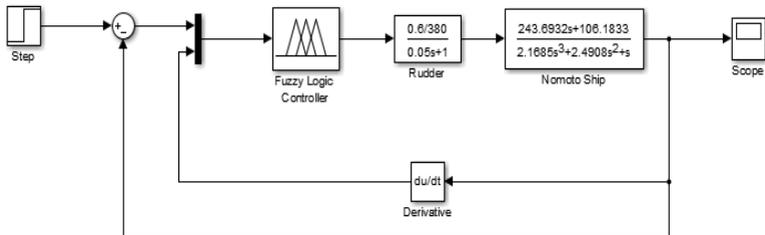
Pengujian open loop pada rudder bertujuan untuk mengetahui respon dari aktuator, apakah telah sesuai atau tidak. Untuk mengetahui sistem yang dirancang telah bekerja dengan baik, maka perancang memberikan inputan step dengan inisial value sebesar 20. nilai 20 merupakan standar dari pengujian manuver kapal IMO (International Maritime Organization). Gambar 3.17 merupakan pengujian open loop dengan fungsi transfer rudder dan kapal sebagai komponen dari pengujian ini.



Gambar 3.17 Uji Open Loop Rudder

3.8.2. Uji Close Loop Rudder

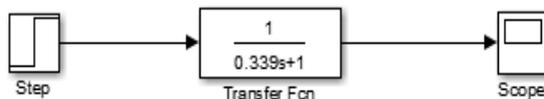
Pada pengujian close loop diberikan inputan step dengan inisial value sebesar 20. Selain itu sistem diberi tambahan berupa kontroler logika fuzzy Sugeno-Takagi. Hasil keluaran dari kontroler tersebut menjadi masukan command rudder untuk fungsi transfer rudder dan menghasilkan aktuator rudder dalam bentuk sudut yang mengatur kemudi kapal.



Gambar 3.18 Uji Close Loop Rudder

3.8.3. Uji Open Loop Propeller

Pengujian propeller digunakan untuk mengetahui respon dari fungsi transfer. Dengan pendekatan orde satu maka didapatkan grafik yang naik dan akan stabil sesuai dengan set point meskipun tanpa ada kontroler. Berikut adalah gambar pengujian open loop pada propeller. Gambar 3.19 berikut menjelaskan pengujian open loop propeller.



Gambar 3.19 Uji Open Loop Propeller

3.8.4. Uji Trayektori dan Sistem Guidance kapal

Setelah didapatkan hasil pengujian close loop stabil dilanjutkan untuk tahap uji simulasi perancangan sistem guidance kapal LNG yang dipandu oleh kapal Tug Boat. Untuk menyesuaikan posisi kapal LNG dengan lintasan kapal diperlukan beberapa sensor yaitu kompas, gyrocompas dan GPS. Dari sensor tersebut didapatkan koordinat posisi kapal dengan arah kapal (yaw) dan kecepatan kapal. Selain itu

juga dibutuhkan sebuah kapal pandu yang berfungsi untuk mengguidance kapal LNG agar dapat memenuhi trayektori yang ditetapkan. Pada saat kapal berjalan melintasi trayektori maka GPS akan mendeteksi posisi kapal dan akan mengarahkan kapal pada tujuan sandar kapal. Dari pengujian trayektori tidak menggunakan gangguan arus laut. Sehingga diharapkan kapal dapat berjalan sesuai dengan set point yang telah ditetapkan. Simulasi program trayektori kapal dapat dilihat pada Gambar 3.18. Untuk pemrograman simulasi sistem guidance kapal menggunakan aktuator berupa rudder untuk menggerakkan dinamika kapal. Kontrol Logika Fuzzy akan Sangat menentukan heading kapal yang dihasilkan. Dari posisi awal ketika kapal LNG memasuki pelabuhan telah sesuai dengan set point yang di tentukan sebelumnya seperti koordinat (x,y) dan heading kapal (yaw). Pada saat kapal LNG akan bersandar dengan dipandu oleh kapal Tug Boat diharapkan sesuai dengan set point yang ditentukan. Sensor jarak digunakan untuk mengetahui posisi kapal sedangkan gyrocompass dan kompas digunakan untuk mengetahui arah heading kapal. Berikut adalah hasil simulasi sistem guidance kapal LNG yang dipandu oleh kapal Tug Boat.

3.9. Analisa Performansi Sistem

Analisa dilakukan dari hasil pengujian yang telah dilakukan. Berdasarkan hasil yang diperoleh dapat diketahui apakah program yang dirancang sudah sesuai dengan set point yang diharapkan.

3.10. Pembahasan dan Penyusunan Laporan

Dari hasil data yang diperoleh berdasarkan pengujian dilakukan analisa dan pembahasan sampai dengan kesimpulan dan saran.

BAB IV

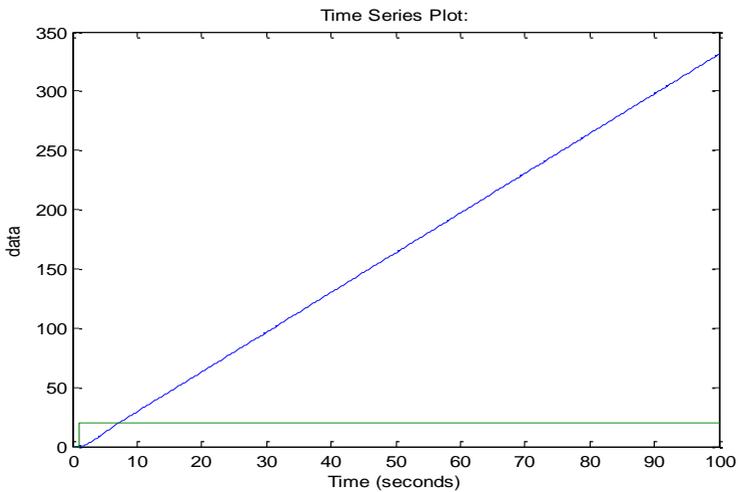
ANALISA DATA DAN PEMBAHASAN

Tugas Akhir ini menjelaskan hasil simulasi pengendalian kapal Tug Boat dengan menggunakan metode kontrol logika fuzzy Sugeno-Takagi untuk membantu kapal LNG dalam proses berlabuh di pelabuhan Arun, Lhokseumawe. Untuk itu dalam proses guidance kapal LNG, kapal tug boat berperan sebagai guide. Tujuannya agar kapal LNG dapat memenuhi lintasan yang telah disediakan. Tahapan pertama dilakukan pengujian open loop dan close loop terhadap rudder kapal untuk mengetahui respon dari sistem yang telah dirancang. Sedangkan pada tahap kedua, dilakukan pengujian terhadap sistem secara keseluruhan yaitu mengintegrasikan sistem pengendalian Kapal LNG dengan kapal Tug Boat. Output dari Sistem pengendalian tug boat akan menjadi masukan pada sistem pengendalian LNG sekaligus menjadi referensi Kapal LNG.

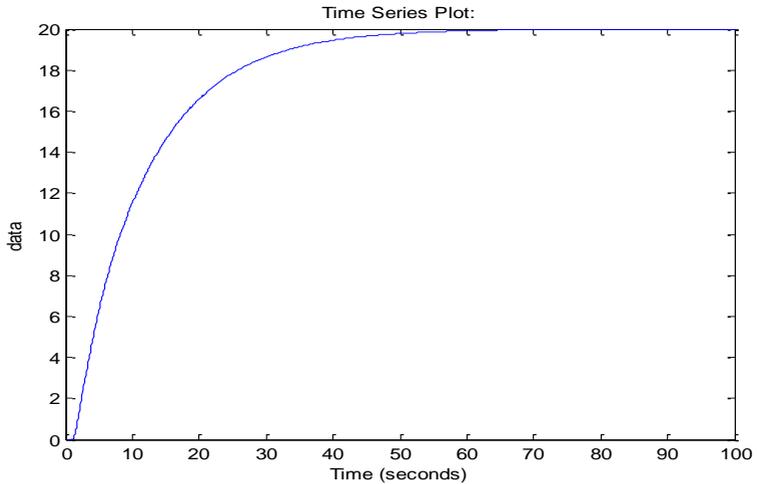
4.1 Analisa Hasil Pengujian Sistem Kontrol Rudder dan Propeller

Tahapan perancangan yang telah dilakukan berupa fungsi alih kapal Nomoto Orde 2 propeller dan rudder. Pada kedua fungsi alih tersebut dilakukan pengujian open loop tanpa adanya kontroler sehingga dapat dilihat grafik terus naik. Pada perancangan ini input heading rudder yang diberikan sebesar 20° dan 30° sesuai dengan standard International Maritime Organization (IMO). Tahap selanjutnya adalah melihat respon dari kontroler yang telah di rancang menggunakan KLF dengan input berupa error yaw dan yaw rate, maka dilakukan pengujian close loop dengan inputan berupa sinyal step. Pemilihan KLF Sugeno-Takagi ini didasarkan pada fungsi dan kegunaan dari kontroler ini yang memiliki karakteristik dengan respon lebih cepat dibandingkan dengan KLF

Mamdani. Selain itu, penggunaan KLF Sugeno-Takagi sesuai untuk kontrol yang berbasis peralatan kemudi. Dari hasil pengujian turning kapal didapatkan bahwa respon sistem tidak mengalami over shoot dan mencapai set point pada saat heading kapal 20^0 dengan waktu 58 detik dan heading kapal 30^0 dengan waktu 52 detik. Respon sistem tidak menghasilkan error steady state untuk mencapai set point. Hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 4.1 dan 4.2.

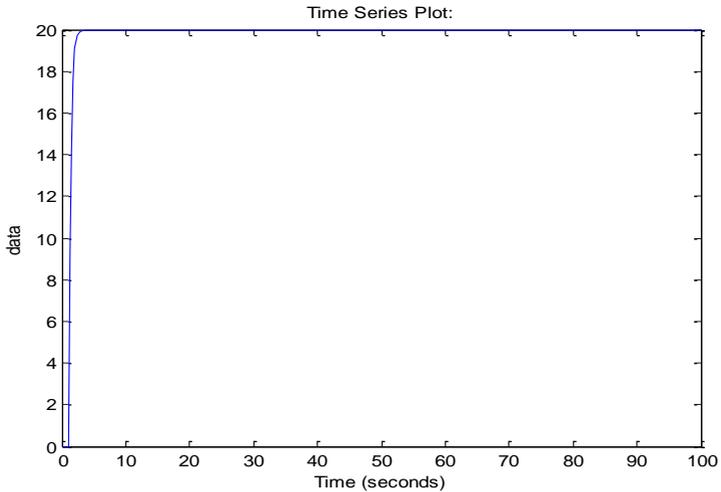


Gambar 4.1 Uji Open Loop Rudder



Gambar 4.2 Uji Close Loop Rudder

Dari hasil pemodelan secara matematis propeller pada kapal Tug Boat diperoleh fungsi transfer dengan orde satu sesuai persamaan. Sehingga, agar dapat mencapai set point dilakukan uji open loop dan diperoleh hasil seperti pada Gambar 4.3. Dari hasil pengujian tersebut, respon kapal terlihat stabil.



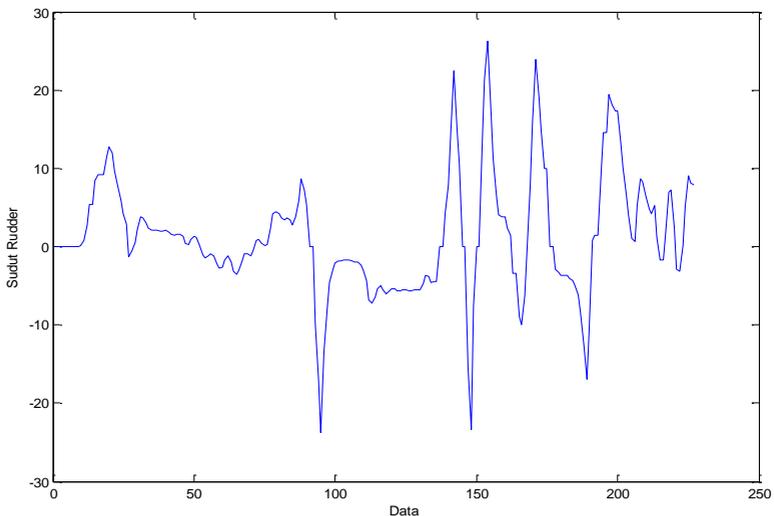
Gambar 4.3 Uji Open Loop Rudder

4.2. Analisa kontrol Sistem Guidance Kapal LNG dengan Kapal Tug boat

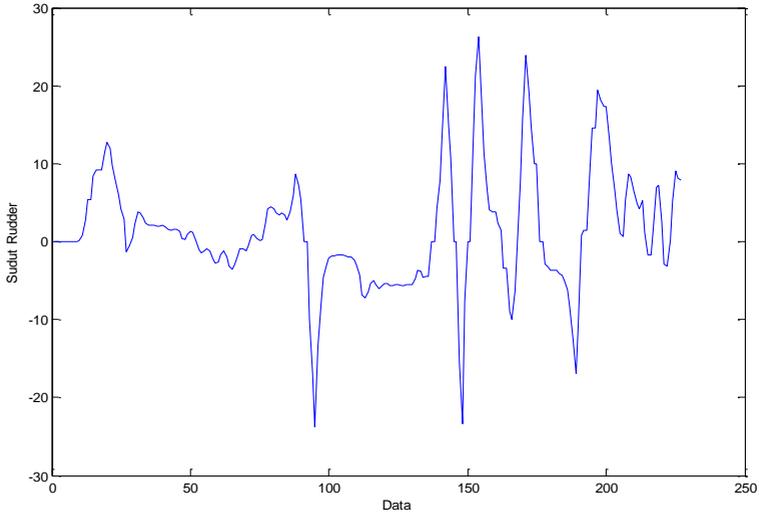
Proses sistem guidance pada penelitian ini melibatkan dua kapal, dimana kapal tug boat berperan untuk memandu kapal LNG yang bersandar. Terdapat dua sistem loop pengendalian, yaitu sistem pengendalian Kapal LNG dan Pengendalian Kapal Tug Boat. Kedua pengendalian tersebut akan diintegrasikan satu sama lain, nilai keluaran dari kapal tug boat berupa posisi kapal akan dijadikan inputan ke sistem pengendalian kapal tug boat. Untuk mengatur manuver pada kapal maka aktuator berupa rudder dikontrol sesuai dengan rule base logika fuzzy. dapat diketahui bahwa perubahan sudut dari rudder sendiri tidak banyak mengalami perubahan. Dengan lintasan yang relatif lurus, perubahan sudut rudder hanya terjadi pada saat lintasan berbelok dan tidak ada gangguan berupa arus yang masuk di dalam sistem.

4.3 Analisa Pengendalian Kapal LNG dengan Kapal AHTS

Berikut adalah hasil simulasi dari sistem guidance Kapal LNG dengan Kapal AHTS tanpa adanya gangguan dari luar. Dari gambar 4.4 dan 4.5 terlihat bahwa respon dari rudder kedua kapal sesuai dengan yang diharapkan. Kedua respon rudder menunjukkan bahwa rudder bekerja dengan optimal dengan respon tidak melebihi batas yang ditetapkan yaitu -35° - 35° . Perubahan rudder yang signifikan terjadi pada saat $t=30$ dimana pada saat itu arah kapal berubah tajam, yang mengakibatkan kapal harus bermanuver sehingga respon rudder pun ikut berubah beresilasi semakin besar. Pada respon rudder tug boat terlihat sedikit lebih banyak mengalami osilasi, hal ini dikarenakan kapal tug boat bergerak lebih aktif dibandingkan kapal LNG.

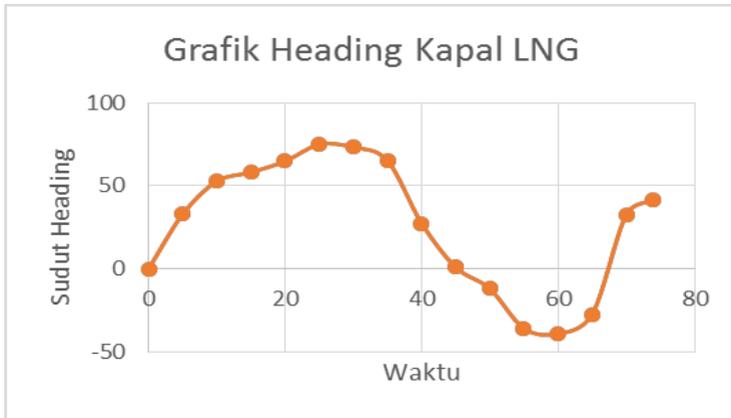


Gambar 4.4 Respon Rudder Kapal LNG

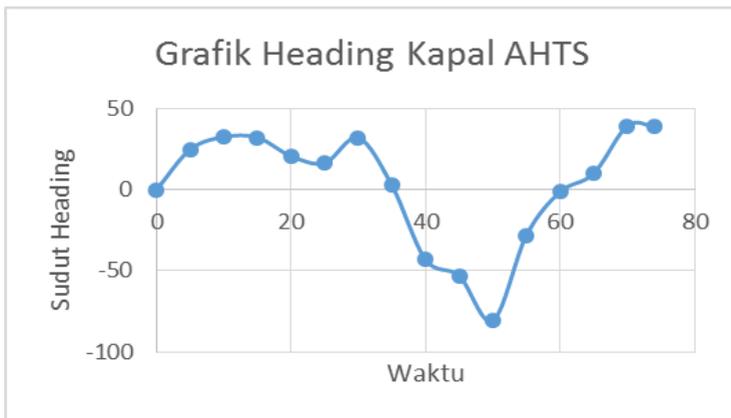


Gambar 4.5 Respon Rudder kapal AHTS

Sedangkan Untuk respon heading dari masing-masing kapal dapat dilihat pada gambar 4.6 dan 4.7 bahwa respon heading dari kapal LNG secara keseluruhan dapat memenuhi lintasan. Respon heading LNG telah sesuai dengan yang diharapkan. Pada $t = 30$ menit heading LNG mengalami perubahan yang signifikan yaitu dari 64^0 menjadi -21^0 , hal ini disebabkan karna track kapal berbelok tajam, yang membuat sudut kapal juga ikut berubah. Sedangkan pada respon heading kapal AHTS tidak jauh berbeda dengan kapal LNG. Respon Heading kapal AHTS mampu memenuhi track yang ditentukan dikarenakan kapal AHTS dapat bermanuver lebih baik ketimbang kapal LNG. Pada respon heading Kapal AHTS terlihat bahwa sering terjadi perubahan sudut kapal hal ini dikarenakan kapal AHTS selalu menjaga agar kapal LNG dapat memenuhi trayektori yang ditentukan.



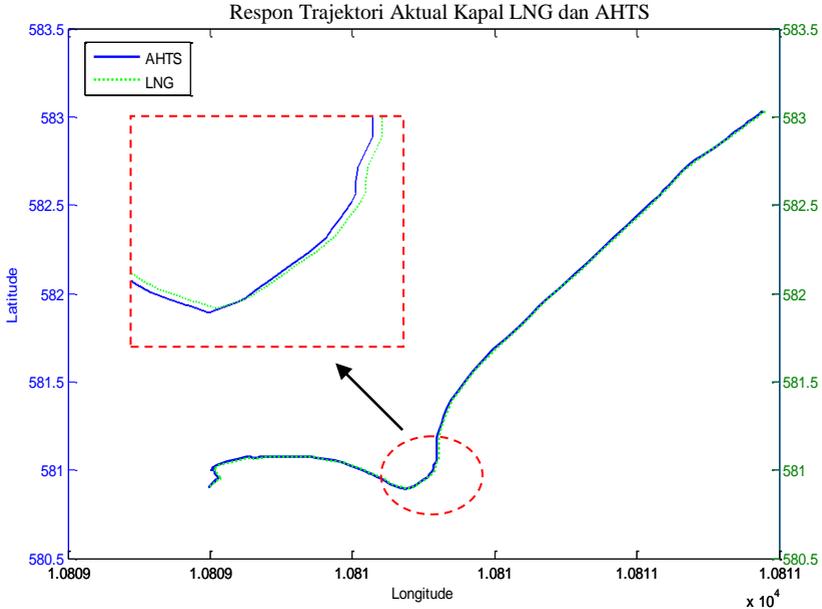
Gambar 4.6 Respon Heading kapal LNG



Gambar 4.7 Respon Heading Kapal Tug Boat

Sedangkan untuk hasil respon lintasan aktual kapal LNG dan kapal AHTS, berdasarkan hasil simulasi dengan software Matlab telah memenuhi lintasan yang diinginkan. Pada saat lintasan lurus tidak terjadi penyimpangan lintasan dari kedua kapal, penyimpangan terjadi pada saat kapal melewati track yang berbelok hal ini dikarenakan kedua kapal melakukan manuver, dimana saat bermanuver respon dari rudder sedikit

lambat, selain itu dimensi dan berat kapal juga memengaruhi gerakan kapal saat bermanuver. Berikut adalah gambar lintasan aktual dari kedua Kapal.



Gambar 4.8 Lintasan Aktual Kapal LNG dan AHTS

Tabel 4.1 Root Square Error Trayektori Kapal LNG

t (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	H (derajat)	Error (m)
0	10810,95	583,0304	10810,95	583,0304	0	0
5	10810,61	582,6038	10810,507	582,6013	33,03307	0,105832
10	10810,28	582,1087	10810,279	581,8956	52,77895	0,213202
15	10809,95	581,6019	10809,845	581,5988	58,20308	0,105707
20	10809,8	581,1704	10809,796	581,0687	64,88306	0,101887
25	10809,79	581,0179	10809,585	581,0168	74,96997	0,206748

Tabel 4.1 Lanjutan

T (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Ship Angle (derajat)	Error (m)
30	10809,72	580,9174	10809,719	580,7145	73,31905	0,203001
35	10809,62	580,9349	10808,718	580,1547	65,18852	1,19631
40	10809,46	581,0426	10809,055	580,848	27,37733	0,448815
45	10809,31	581,0732	10809,209	580,8793	0,924023	0,219608
50	10809,2	581,0721	10809,204	580,9791	-12,0743	0,093004
55	10809,03	581,0315	10809,029	580,8344	-35,93	0,197221
60	10809,02	581,0012	10808,916	580,9007	-39,2403	0,146423
65	10809,03	580,9578	10808,928	580,8561	-27,4457	0,147135
70	10809,02	580,9479	10809,017	580,9038	32,58853	0,044361
74	10809	580,9058	10808,995	580,8818	41,65108	0,024447

Tabel 4.1 menjelaskan tentang error yang terjadi ketika kapal LNG yang melewati lintasan. Pada setiap 5 menit sekali dilakukan pengambilan data selama 74 menit, durasi 74 menit diambil karena kapal LNG ketika bergerak dari diposisi awal sampai ketempat tujuan memerlukan waktu selama 74 menit. Berdasarkan data dari tabel terlihat bahwa saat waktu $t = 35$ menit terjadi perubahan arah kapal secara signifikan dari $65,18^0$ menjadi $27,37^0$ hal ini disebabkan karna lintasan yang berubah arah. Hal ini dikarenakan pada titik tersebut kecepatan kapal LNG dan perubahan sudut rudder memerlukan waktu untuk menyesuaikan kembali dengan trayektori. Arah kapal LNG disesuaikan dengan arah mata angin dengan arah Timur untuk 0^0 , Utara 90^0 dan Selatan -90^0 . Trayektori kapal actual dan desired mengalami error pada saat kapal LNG mulai berjalan. Posisi awal kapal berjalan dengan trayektori yang telah ditentukan mengalami perbedaan. Posisi awal kapal LNG sebesar 0^0 sedangkan arah dari lintasan sebesar $33,03^0$ sehingga kapal tidak dapat langsung menuju set point .Posisi

awal kapal berada pada koordinat (5,23, 97,11) dengan arah kapal LNG mula-mula $33,03^0$ dan posisi akhir kapal pada koordinat (5,21, 97,09) dengan arah kapal $41,65^0$. Posisi akhir kapal tersebut menjadi acuan untuk kapal LNG dalam tahap bersandar. Selama kapal melintasi trayektori terdapat selisih dengan trayektori yang diharapkan dengan root square error maksimum sebesar 1,19 m dan minimum 0,02 m. Selisih simpangan antara track actual dan track desired disebabkan oleh kecepatan kapal yang konstan saat melewati lintasan. Sehingga pada koordinat kapal tersebut melebihi set point trayektori.

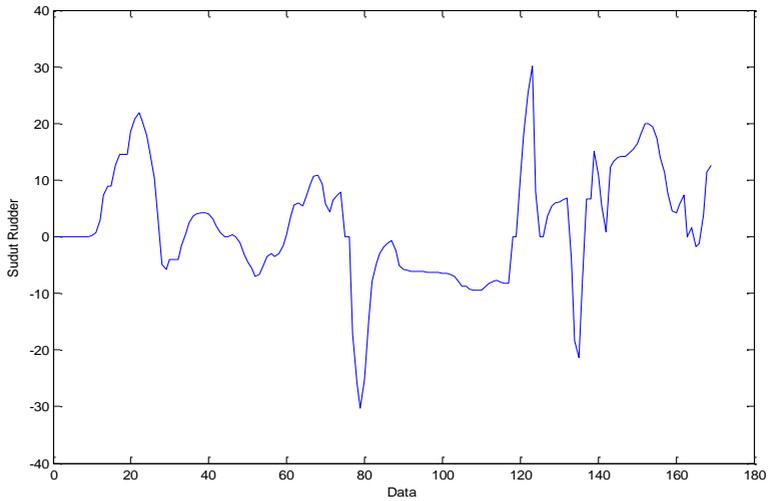
Tabel 4.2 *Root Square Error* Trayektori Kapal AHTS

T (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	H (derajat)	Error (m)
0	10810,73	582,7825	10810,73	582,7825	0	0
5	10810,42	582,3149	10810,61	582,6038	24,7697	0,347738
10	10810,07	581,7917	10810,28	582,1087	32,42798	0,380705
15	10809,82	581,2908	10809,95	581,6019	32,12005	0,338241
20	10809,8	581,0904	10809,8	581,1704	20,67996	0,080265
25	10809,76	580,9568	10809,79	581,0179	16,4776	0,067747
30	10809,66	580,9012	10809,72	580,9174	31,9194	0,065147
35	10809,53	581,0013	10809,92	580,2349	2,528055	0,862857
40	10809,35	581,0793	10809,46	581,0426	-43,1196	0,115774
45	10809,25	581,0793	10809,31	581,0734	-53,1082	0,059183
50	10809,15	581,0681	10809,2	581,0721	-80,6301	0,054313
55	10809,01	581,0125	10809,03	581,0315	-28,1018	0,034963
60	10809,03	580,9679	10809,02	581,2012	-1,36973	0,233261
65	10809,03	580,9457	10809,03	581,0578	9,931389	0,112356
70	10809,01	580,9234	10809,02	580,9479	39,36479	0,029682
74	10808,97	580,89	10809	580,9058	39,05664	0,032063

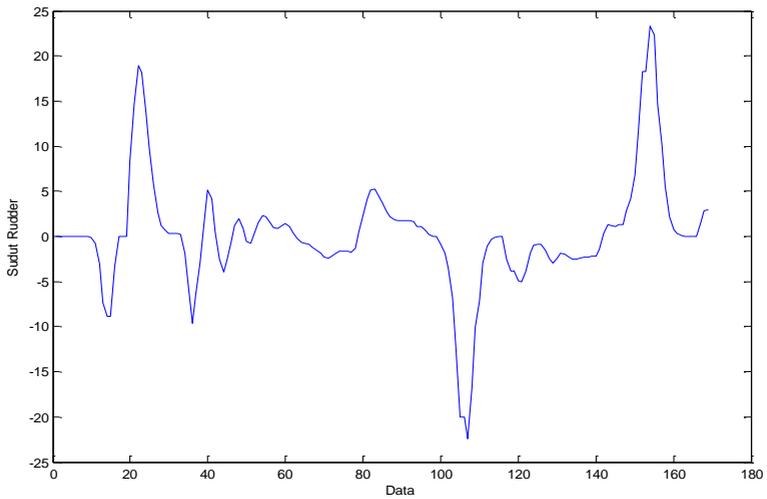
Tabel 4.2 merupakan tabel root square error dari kapal AHTS. Trayektori kapal actual dan desired mengalami error pada saat kapal AHTS mulai berjalan. Posisi awal kapal berjalan dengan trayektori yang telah ditentukan mengalami perbedaan. Posisi awal kapal AHTS sebesar 0^0 sedangkan arah dari lintasan sebesar $24,76^0$ sehingga kapal tidak dapat langsung menuju set point. Posisi awal kapal berada pada koordinat (5,22, 97,11) dengan arah kapal AHTS mula-mula $24,76^0$ dan posisi akhir kapal pada koordinat (5,20, 97,09) dengan arah kapal $39,05^0$. Posisi akhir kapal tersebut menjadi acuan untuk kapal AHTS dalam memandu kapal LNG. Selama kapal melintasi trayektori terdapat selisih dengan trayektori yang diharapkan dengan root square error maksimum sebesar 0,86 m dan minimum 0,02 m. Selisih simpangan antara track actual dan track desired disebabkan oleh kecepatan kapal yang konstan saat melewati lintasan. Sehingga pada koordinat kapal tersebut melebihi set point trayektori.

4.4 Analisa Pengendalian Kapal LNG dengan Kapal Vier Goliath

Berikut adalah hasil simulasi dari sistem guidance Kapal LNG dengan Kapal Vier Goliath tanpa adanya gangguan dari luar. Dari gambar 4.9 dan 4.10 terlihat bahwa respon dari rudder kedua kapal sesuai dengan yang diharapkan. Kedua respon rudder menunjukkan bahwa rudder bekerja dengan optimal dengan respon tidak melebihi batas yang ditetapkan yaitu $-35^0 - 35^0$. Perubahan rudder yang signifikan terjadi pada saat $t=30$ dimana pada saat itu arah kapal berubah tajam, yang mengakibatkan kapal harus bermanuver sehingga respon rudder pun ikut berubah beresilasi semakin besar. Pada respon rudder tug boat terlihat sedikit lebih banyak mengalami osilasi, hal ini dikarenakan kapal tug boat bergerak lebih aktif dibandingkan kapal LNG.

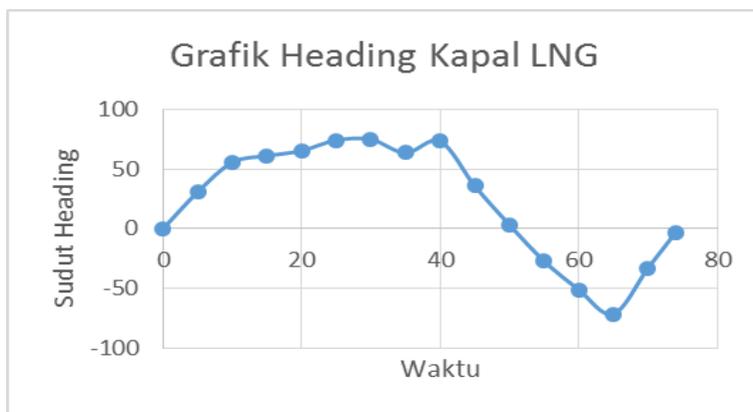


Gambar 4.9 Respon Rudder Kapal Vier Goliath

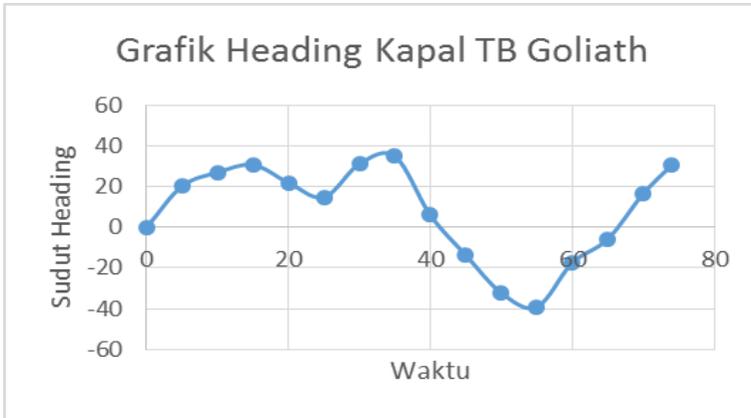


Gambar 4.10 Respon Rudder Kapal LNG

Sedangkan Untuk respon heading dari masing-masing kapal dapat dilihat pada gambar 4.11 dan 4.12 bahwa respon heading dari kapal LNG secara keseluruhan dapat memenuhi lintasan. Respon heading LNG telah sesuai dengan yang diharapkan. Pada $t = 30$ menit heading LNG mengalami perubahan yang signifikan yaitu dari 64° menjadi 1° , hal ini disebabkan karna track kapal berbelok tajam, yang membuat sudut kapal juga ikut berubah. Sedangkan pada respon heading kapal AHTS berbeda dengan kapal LNG, dikarenakan kapal AHTS mampu memenuhi track yang ditentukan dikarenakan kapal AHTS dapat bermanuver lebih baik ketimbang kapal LNG. Pada respon heading Kapal AHTS terlihat bahwa sering terjadi perubahan sudut kapal hal ini dikarenakan kapal tug boat selalu menjaga agar kapal LNG dapat memenuhi trayektori yang ditentukan.

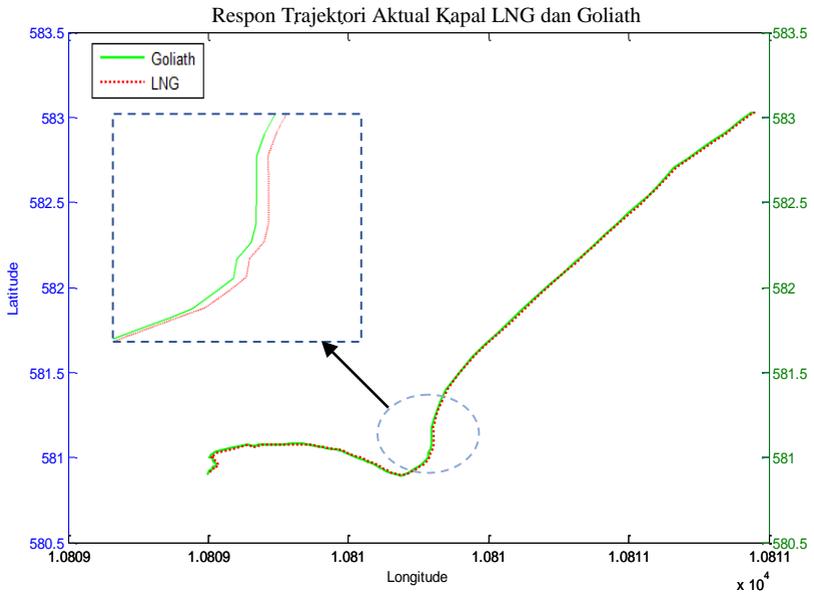


Gambar 4.11 Heading aktual Kapal LNG



Gambar 4.12 Heading aktual Kapal Vier Goliath

Sedangkan untuk hasil respon lintasan aktual kapal LNG dan kapal Vier Goliath, berdasarkan hasil simulasi dengan software Matlab telah memenuhi lintasan yang diinginkan. Pada saat lintasan lurus tidak terjadi penyimpangan lintasan dari kedua kapal, penyimpangan terjadi pada saat kapal melewati track yang berbelok hal ini dikarenakan kedua kapal melakukan manuver, dimana saat bermanuver respon dari rudder sedikit lambat, selain itu dimensi dan berat kapal juga memengaruhi gerakan kapal saat bermanuver. Berikut adalah gambar lintasan aktual dari kedua Kapal.



Gambar 4.13 Lintasan Aktual Kapal LNG dan Vier Goliath

Tabel 4.3 *Root Square Error* Trayektori Kapal LNG

t (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	H (derajat)	Error (m)
0	10810,95	583,0304	10810,95	583,0304	0	0
5	10810,62	582,6213	10810,42	582,4195	30,78382	0,288426
10	10810,27	582,0908	10810,27	582,1883	55,52295	0,09768
15	10809,95	581,5999	10809,84	581,597	60,96454	0,105838
20	10809,8	581,1733	10809,6	581,1714	65,23517	0,206366
25	10809,79	581,028	10809,99	581,227	74,07059	0,277425
30	10809,72	580,9116	10809,31	580,708	74,74422	0,453833
35	10809,63	580,9353	10809,42	581,932	63,39709	1,017671
40	10809,47	581,0471	10809,26	581,0473	73,089	0,206974

Tabel 4.3 Lanjutan

t (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Ship Angle (derajat)	Error (m)
45	10809,32	581,0775	10809,31	581,1798	35,75603	0,102498
50	10809,24	581,0754	10809,33	581,0793	3,194687	0,094891
55	10809,03	581,0293	10809,02	581,0334	-27,1467	0,015357
60	10809,02	580,9992	10809,01	581,2006	-51,1074	0,201524
65	10809,03	580,9554	10809,03	580,7552	-71,494	0,200316
70	10809,02	580,9476	10809,17	580,945	-33,1758	0,143851
74	10809	580,9049	10808,99	580,8011	-3,25713	0,103898

Tabel 4.3 menjelaskan tentang error yang terjadi ketika kapal LNG yang melewati lintasan. Pada setiap 5 menit sekali dilakukan pengambilan data selama 74 menit. Berdasarkan data dari tabel terlihat bahwa saat waktu $t = 40$ menit terjadi perubahan arah kapal secara signifikan dari $73,08^0$ menjadi $35,75^0$ hal ini disebabkan karna lintasan yang berubah arah, Hal ini dikarenakan pada titik tersebut kecepatan kapal LNG dan perubahan sudut rudder memerlukan waktu untuk menyesuaikan kembali dengan trayektori. Trayektori kapal aktual dan desired mengalami error pada saat kapal LNG mulai berjalan. Posisi awal kapal berjalan dengan trayektori yang telah ditentukan mengalami perbedaan. Posisi awal kapal LNG sebesar 0^0 sedangkan arah dari lintasan sebesar $30,78^0$ sehingga kapal tidak dapat langsung menuju set point .Posisi awal kapal berada pada koordinat (5,23, 97,11) dengan arah kapal LNG mula-mula $30,78^0$ dan posisi akhir kapal pada koordinat (5,21, 97,09) dengan arah kapal $-3,25^0$. Posisi akhir kapal tersebut menjadi acuan untuk kapal LNG dalam tahap bersandar. Waktu yang di tempuh kapal untuk sampai ke dermaga adalah 74 menit. Selama kapal melintasi trayektori terdapat selisih dengan trayektori yang diharapkan dengan root

square error maksimum sebesar 1,01 m dan minimum 0,01 m. Selisih simpangan antara track actual dan track desired disebabkan oleh kecepatan kapal yang konstan saat melewati lintasan. Sehingga pada koordinat kapal tersebut melebihi set point trayektori.

Tabel 4.4 *Root Square Error* Trayektori Kapal Vier Goliath

t (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	H (derajat)	Error (m)
0	10810,786	582,671	10810,786	582,671	0,000	0
5	10810,474	582,204	10810,593	582,572	20,246	0,387
10	10810,129	581,680	10810,273	582,091	26,998	0,435
15	10809,873	581,179	10809,949	581,600	30,694	0,427
20	10809,851	580,979	10809,802	581,173	21,939	0,200
25	10809,818	580,845	10809,792	581,028	14,820	0,184
30	10809,717	580,790	10809,919	581,212	31,164	0,468
35	10809,584	580,890	10809,757	581,953	34,968	1,077
40	10809,406	580,968	10809,467	581,047	5,959	0,100
45	10809,306	580,968	10809,420	581,478	-13,700	0,522
50	10809,205	580,957	10809,237	581,075	-32,220	0,123
55	10809,061	580,901	10809,032	581,329	-39,154	0,429
60	10809,083	580,857	10809,421	580,999	-17,472	0,367
65	10809,083	580,834	10809,035	580,955	-5,812	0,130
70	10809,061	580,812	10809,023	580,948	16,532	0,141
74	10809,027	580,779	10809,000	580,905	30,516	0,129

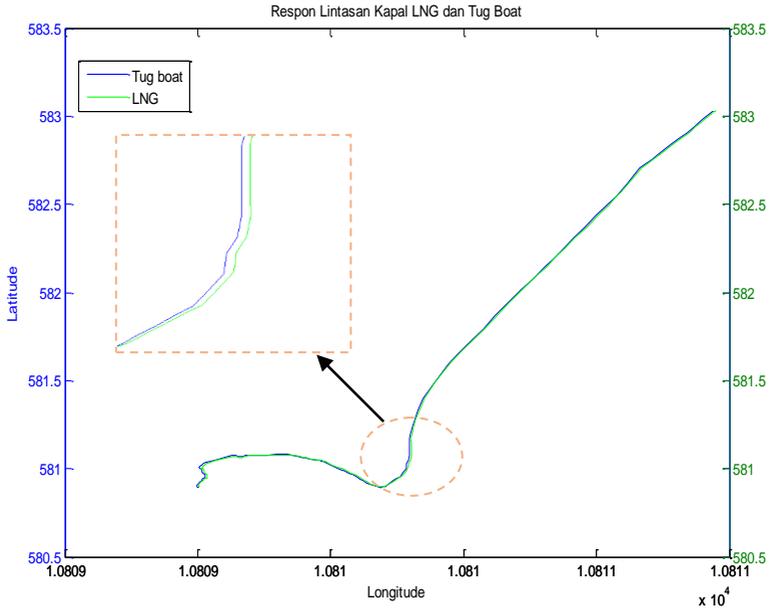
Tabel 4.4 merupakan tabel root square error dari kapal Vier Goliath. Trayektori kapal actual dan desired mengalami error pada saat kapal Vier Goliath mulai berjalan hal ini dikarenakan kondisi rudder yang belum stabil. Posisi awal kapal berjalan dengan trayektori yang telah ditentukan mengalami perbedaan. Posisi awal kapal Vier Goliath sebesar 0^0 sedangkan arah dari

lintasan sebesar $20,24^0$ sehingga kapal tidak dapat langsung menuju set point. Posisi awal kapal berada pada koordinat (5,22, 97,11) dengan arah kapal Vier Goliath mula-mula $20,24^0$ dan posisi akhir kapal pada koordinat (5,20, 97,09) dengan arah kapal $30,51^0$. Posisi akhir kapal tersebut menjadi acuan untuk kapal Vier Goliath dalam memandu kapal LNG. Selama kapal melintasi trayektori terdapat selisih dengan trayektori yang diharapkan dengan root square error maksimum sebesar 1,07 m dan minimum 0,1 m.

4.5 Analisa Sistem Pengendalian dengan Gangguan Berupa Angin

Penelitian ini dilakukan analisa sistem kontrol pada rancangan sistem dengan menambahkan gangguan berupa angin. gangguan angin berupa kecepatan dan sudut angin yang divariasikan berdasarkan data aktual BMKG di pelabuhan arun. Penulis menetapkan kecepatan angin yang divariasikan sebesar 7 dan 15 knot sedangkan untuk sudut datang angin divariasikan sebesar 30^0 , 60^0 , dan 90^0 . Pada penelitian ini yang diasumsikan yang dikenai gangguan hanya kapal LNG, sedangkan untuk kapal tug boat diabaikan. Hal ini dikarenakan kapal tug boat memiliki ukuran yang jauh lebih kecil dibandingkan kapal LNG, selain itu kapal tug boat dapat bermanuver dengan baik meskipun terdapat gangguan sekalipun.

4.5.1 Analisa Respon trayektori Kapal LNG dengan Gangguan Angin Sebesar 7 knot dan Sudut Angin 30° .



Gambar 4.14 Respon Lintasan dengan gangguan angin 7 knot dan 30°

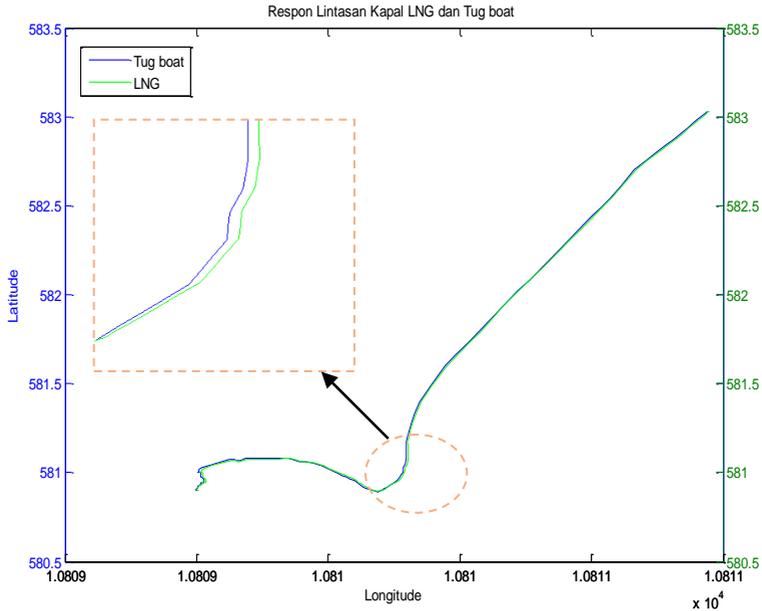
Gambar 4.14 adalah gambar hasil simulasi respon lintasan aktual dari kapal LNG dan tug boat yang diberikan gangguan berupa angin dengan kecepatan angin sebesar 7 knot dan sudut datang angin 30° . Pemilihan kecepatan angin dan sudut datang angin berdasarkan data aktual BMKG dipelabuhan Arun.

Tabel 4.5 Error Lintasan LNG dengan gangguan angin 7 knot dan 30°

T (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Error (m)
0	10810,948	583,0304	10810,948	583,0304	0
5	10810,596	582,57616	10810,99	582,57419	0,3939712
10	10810,289	582,11343	10810,783	582,21095	0,5035785
15	10809,954	581,60761	10809,548	581,60475	0,4058075
20	10809,803	581,18876	10809,697	581,18681	0,1063203
25	10809,791	581,02384	10809,785	580,72291	0,3010112
30	10809,923	581,51465	10809,112	580,21197	1,5344441
35	10809,824	581,1378	10809,318	580,43497	0,8659435
40	10809,475	581,04195	10809,368	580,44235	0,6090746
45	10809,318	581,07714	10809,712	581,07969	0,393918
50	10809,209	581,07454	10809,804	581,07905	0,5954188
55	10809,04	581,03353	10809,235	581,03687	0,1946689
60	10809,023	580,99893	10809,817	580,99981	0,7934056
65	10809,035	580,95575	10809,328	580,95534	0,2929694
70	10809,023	581,14431	10809,017	580,94116	0,203228
75	10809	580,90492	10808,895	580,90105	0,1053428

Tabel 4.5 adalah tabel hasil respon error lintasan dari kapal LNG yang diberi gangguan angin dengan kecepatan 7 knot dan sudut datang angin sebesar 30° , dari tabel didapatkan nilai error lintasan maksimum kapal LNG sebesar 1,53 m sedangkan nilai error lintasan minimum sebesar 0,10 m. berdasarkan nilai error yang telah diketahui dapat dikatakan bahwa performansi dari sistem pengendalian kapal LNG telah bekerja dengan baik. Hal ini dikarenakan kontroller dapat mengantisipasi gangguan yang diberikan pada sistem, sehingga kapal LNG dapat mengikuti navigasi trayektori dari kapal tug boat.

4.5.2 Analisa Respon trayektori Kapal LNG dengan Gangguan Angin Sebesar 7 knot dan Sudut Angin 60° .



Gambar 4.15 Respon Lintasan dengan gangguan angin 7 knot dan 60°

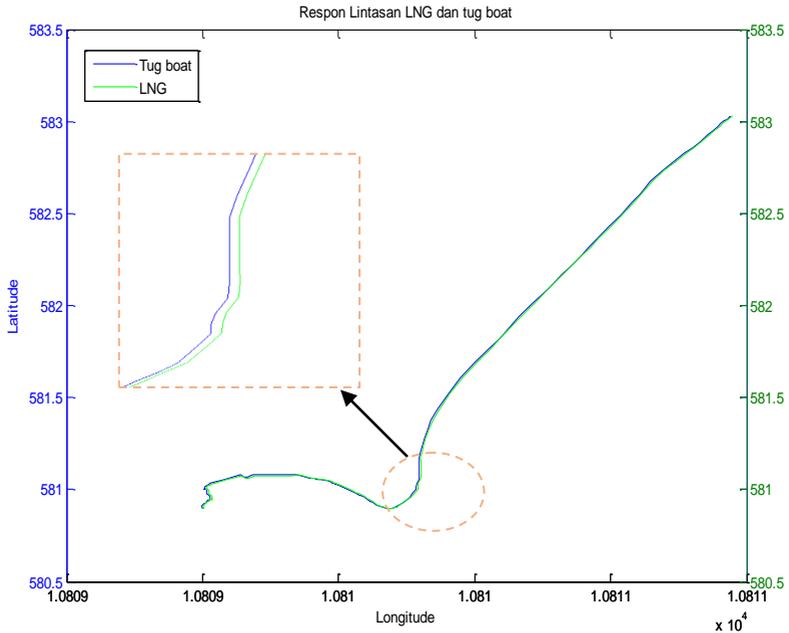
Gambar 4.15 adalah gambar hasil simulasi respon lintasan aktual dari kapal LNG dan tug boat yang diberikan gangguan berupa angin dengan kecepatan angin sebesar 7 knot dan sudut datang angin 60° .

Tabel 4.6 Error Lintasan LNG dengan gangguan angin 7 knot dan 60°

T (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Error (m)
0	10810,95	583,0304	10810,95	583,0304	0
5	10809,802	581,07909	10809,396	581,07809	0,4067214
10	10809,713	580,90542	10809,407	580,90232	0,3058155
15	10809,638	580,92366	10809,233	580,92006	0,4053506
20	10809,543	580,99793	10809,537	580,79679	0,2012435
25	10809,449	581,05145	10809,642	580,75185	0,3563875
30	10809,085	581,47644	10809,995	580,07945	1,6669021
35	10809,155	581,06436	10809,75	581,06804	0,5948734
40	10809,035	580,96218	10809,428	580,76211	0,4409831
45	10809,035	580,94637	10809,028	580,64483	0,3016177
50	10809,017	580,93292	10809,012	580,52914	0,4038097
55	10809,011	580,92707	10809,306	580,92318	0,2946615
60	10809,02	581,01795	10809,714	581,01968	0,6938192
65	10809,035	580,96475	10809,828	580,76474	0,8178396
70	10809,023	580,94853	10809,017	580,64523	0,303351
75	10809	580,90516	10808,995	580,70109	0,2041274

Tabel 4.6 adalah tabel hasil respon error lintasan dari kapal LNG yang diberi gangguan angin dengan kecepatan 7 knot dan sudut datang angin sebesar 60° , dari tabel didapatkan nilai error lintasan maksimum kapal LNG sebesar 1,66 m sedangkan nilai error lintasan minimum sebesar 0,20 m. berdasarkan nilai error yang telah diketahui dapat dikatakan bahwa performansi dari sistem pengendalian kapal LNG telah bekerja dengan baik.

4.5.3 Analisa Respon trayektori Kapal LNG dengan Gangguan Angin Sebesar 7 knot dan Sudut Angin 90° .



Gambar 4.16 Respon Lintasan dengan gangguan angin 7 knot dan 90°

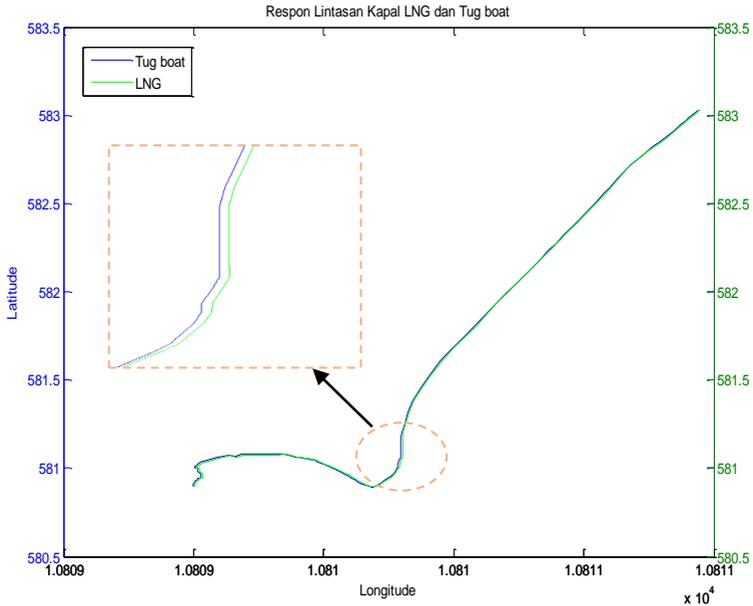
Gambar 4.16 adalah gambar hasil simulasi respon lintasan aktual dari kapal LNG dan tug boat yang diberikan gangguan berupa angin dengan kecepatan angin sebesar 7 knot dan sudut datang angin 90° .

Tabel 4.7 *Error* Lintasan LNG dengan gangguan angin 7 knot dan 90°

T (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Error (m)
0	10810,95	583,0304	10810,95	583,0304	0
5	10810,948	583,03039	10810,842	583,03039	0,106314
10	10810,948	583,03039	10810,742	583,03039	0,206314
15	10810,948	583,03002	10810,341	583,03002	0,606314
20	10810,943	583,02402	10810,536	583,13702	0,4217346
25	10810,933	583,01263	10810,627	583,11263	0,3222237
30	10810,884	582,95189	10810,677	582,75184	0,2873738
35	10810,81	582,86205	10810,103	582,86172	0,7063082
40	10810,697	582,73682	10810,691	581,71566	1,021187
45	10809,581	580,97315	10809,175	580,47139	0,6456808
50	10809,44	581,0533	10809,433	580,85396	0,1994588
55	10809,328	581,07754	10809,322	580,97985	0,0978968
60	10809,206	581,07462	10809,802	581,07919	0,5953724
65	10809,032	581,02962	10809,328	581,0339	0,2953507
70	10809,012	581,00943	10809,341	581,01185	0,3289348
75	10809,02	580,99899	10809,114	581,10059	0,1382223

Tabel 4.7 adalah tabel hasil respon error lintasan dari kapal LNG yang diberi gangguan angin dengan kecepatan 7 knot dan sudut datang angin sebesar 90° , dari tabel didapatkan nilai error lintasan maksimum kapal LNG sebesar 1,02 m sedangkan nilai error lintasan minimum sebesar 0,10 m. berdasarkan nilai error yang telah diketahui dapat dikatakan bahwa performansi dari sistem pengendalian kapal LNG telah bekerja dengan baik.

4.5.4 Analisa Respon Trayektori Kapal LNG dengan Gangguan Angin Sebesar 15 knot dan Sudut Angin 30° .



Gambar 4.17 Respon Lintasan dengan gangguan angin 15 knot dan 30°

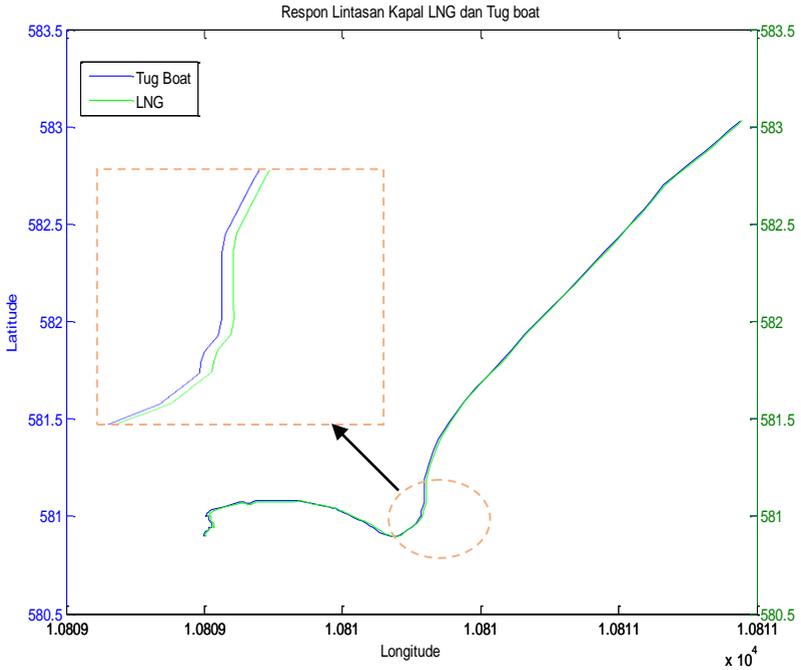
Gambar 4.17 adalah gambar hasil simulasi respon lintasan aktual dari kapal LNG dan tug boat yang diberikan gangguan berupa angin dengan kecepatan angin sebesar 15 knot dan sudut datang angin 30° .

Tabel 4.8 Error Lintasan LNG dengan gangguan angin 15 knot dan 30°

T (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Error (m)
0	10810,95	583,0304	10810,95	583,0304	0
5	10810,942	583,02283	10810,635	583,02285	0,3063143
10	10810,823	582,87863	10810,417	582,67825	0,453032
15	10810,703	582,74314	10810,096	582,44185	0,6769266
20	10810,496	582,72432	10810,09	582,42213	0,5061326
25	10809,802	581,11295	10809,496	581,51166	0,5029614
30	10809,894	581,89659	10809,089	580,19312	1,8843188
35	10809,491	581,0319	10809,884	581,53181	0,6359482
40	10809,31	581,07714	10809,804	581,07968	0,493921
45	10809,217	581,0749	10809,412	581,07911	0,1951709
50	10809,155	581,06425	10809,65	581,06808	0,4949774
55	10809,074	581,04707	10809,769	581,05042	0,6946573
60	10809,035	580,95587	10809,428	580,85586	0,4055384
65	10809,035	580,95609	10809,328	580,95586	0,2929719
70	10809,012	580,92717	10809,306	580,82354	0,3121446
74	10809	580,90495	10808,795	580,80104	0,2300602

Tabel 4.8 adalah tabel hasil respon error lintasan dari kapal LNG yang diberi gangguan angin dengan kecepatan 15 knot dan sudut datang angin sebesar 30° , dari tabel didapatkan nilai error lintasan maksimum kapal LNG sebesar 1,88 m sedangkan nilai error lintasan minimum sebesar 0,19 m. berdasarkan nilai error yang telah diketahui dapat dikatakan bahwa performansi dari sistem pengendalian kapal LNG telah bekerja dengan baik.

4.5.5 Analisa Respon trayektori Kapal LNG dengan Gangguan Angin Sebesar 15 knot dan Sudut Angin 60^0 .



Gambar 4.18 Respon Lintasan dengan gangguan angin 15 knot dan 60^0

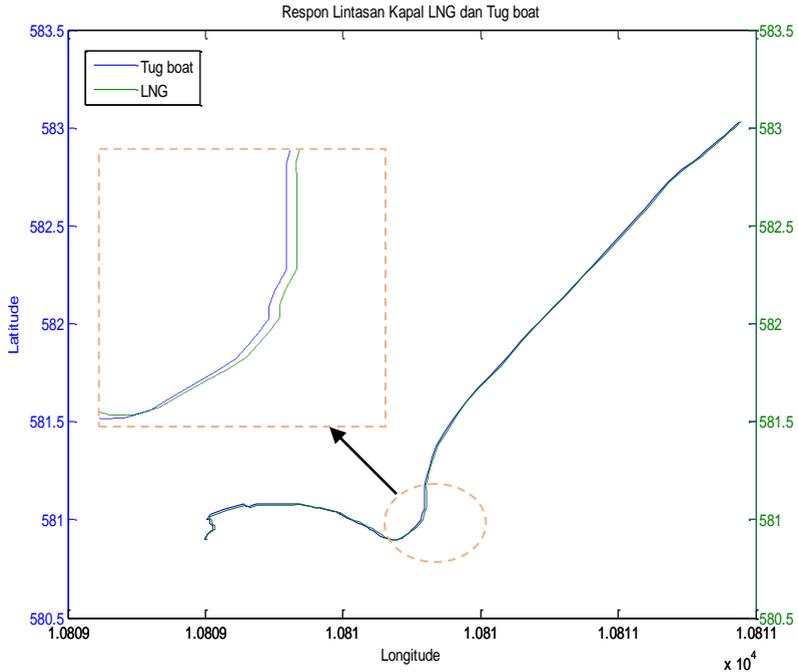
Gambar 4.18 adalah gambar hasil simulasi respon lintasan aktual dari kapal LNG dan tug boat yang diberikan gangguan berupa angin dengan kecepatan angin sebesar 15 knot dan sudut datang angin 60^0 .

Tabel 4.9 Error Lintasan LNG dengan gangguan angin 15 knot dan 60°

t (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Error (m)
0	10810,95	583,0304	10810,95	583,0304	0
5	10810,932	583,0105	10810,625	583,01049	0,3063141
10	10810,819	582,87399	10810,313	582,67371	0,5444828
15	10810,593	582,57174	10810,187	582,76977	0,4517437
20	10810,211	582,29701	10810,705	581,89469	0,6371132
25	10809,804	581,19351	10809,398	580,89153	0,5062216
30	10809,942	581,73376	10809,036	580,23152	1,7544639
35	10809,594	580,965	10809,288	580,46284	0,5881515
40	10809,394	581,06439	10809,887	581,06547	0,4931041
45	10809,203	581,07462	10809,799	581,07918	0,5953664
50	10809,17	581,06501	10809,366	581,06976	0,1956765
55	10809,073	581,04621	10809,469	581,05044	0,3952984
60	10809,013	581,01049	10809,507	581,11325	0,504869
65	10809,034	580,96142	10809,328	580,96198	0,2932325
70	10809,021	580,93535	10809,315	580,73215	0,3575452
74	10809	580,90487	10808,795	580,90112	0,2053317

Tabel 4.9 adalah tabel hasil respon error lintasan dari kapal LNG yang diberi gangguan angin dengan kecepatan 15 knot dan sudut datang angin sebesar 60° , dari tabel didapatkan nilai error lintasan maksimum kapal LNG sebesar 1,75 m sedangkan nilai error lintasan minimum sebesar 0,19 m. berdasarkan nilai error yang telah diketahui dapat dikatakan bahwa performansi dari sistem pengendalian kapal LNG telah bekerja dengan baik.

4.5.6 Analisa Respon trayektori Kapal LNG dengan Gangguan Angin Sebesar 15 knot dan Sudut Angin 90^0 .



Gambar 4.19 Respon Lintasan dengan gangguan angin 15 knot dan 90^0

Gambar 4.19 adalah gambar hasil simulasi respon lintasan aktual dari kapal LNG dan tug boat yang diberikan gangguan berupa angin dengan kecepatan angin sebesar 15 knot dan sudut datang angin 90^0 .

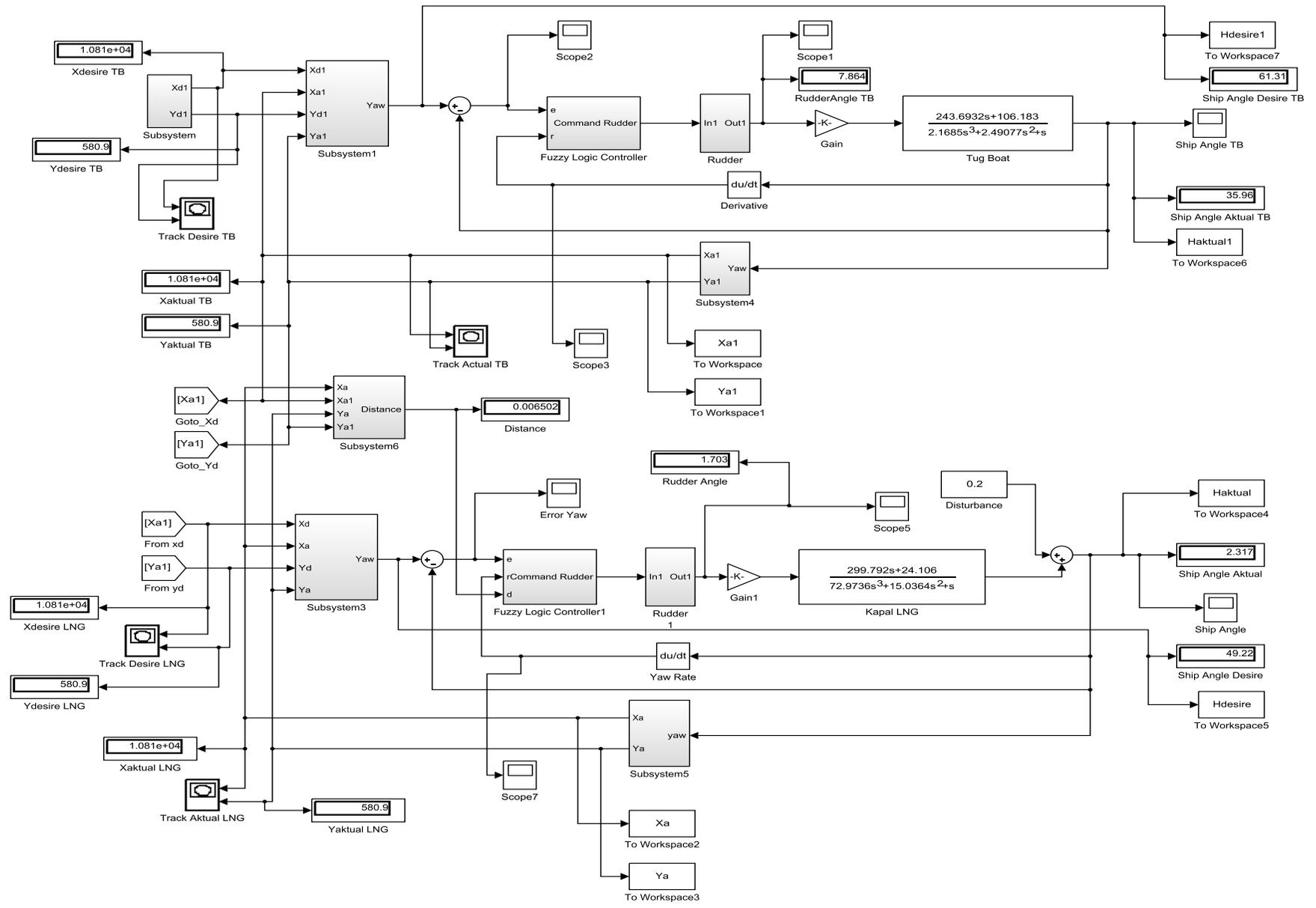
Tabel 4.10 *Error* Lintasan LNG dengan gangguan angin 15 knot dan 90°

t (min)	Xd (m)	Yd (m)	Xa (m)	Ya (m)	Error (m)
0	10810,95	583,0304	10810,95	583,0304	0
5	10810,932	583,0105	10810,725	583,0105	0,206314
10	10810,74	582,78561	10810,333	582,48473	0,505542
15	10810,408	582,2919	10810,102	582,18961	0,3226615
20	10810,188	581,96755	10810,682	581,96492	0,4941003
25	10809,802	581,15271	10809,596	581,05107	0,2301129
30	10809,914	580,90654	10809,108	581,80349	1,2057745
35	10809,493	581,03076	10809,886	581,4307	0,5607716
40	10809,299	581,0766	10809,893	581,3797	0,6669444
45	10809,146	581,07452	10809,641	581,07778	0,4945804
50	10809,023	580,98803	10809,417	580,98828	0,3932973
55	10809,035	580,96531	10809,228	580,96531	0,193113
60	10809,035	580,95332	10809,628	580,95241	0,5931431
65	10809,019	580,9344	10809,414	580,93088	0,3945256
70	10809,008	580,92064	10809,503	580,91687	0,4947839
74	10809	580,90509	10808,795	580,70128	0,2891935

Tabel 4.10 adalah tabel hasil respon error lintasan dari kapal LNG yang diberi gangguan angin dengan kecepatan 15 knot dan sudut datang angin sebesar 90° , dari tabel didapatkan nilai error lintasan maksimum kapal LNG sebesar 1,20 m sedangkan nilai error lintasan minimum sebesar 0,19 m. berdasarkan nilai error yang telah diketahui dapat dikatakan bahwa performansi dari sistem pengendalian kapal LNG telah bekerja dengan baik.

LAMPIRAN A

GAMBAR DIAGRAM BLOK SISTEM GUIDANCE KAPAL LNG DAN TUG BOAT



LAMPIRAN B

- **Iterasi Rule Base Kontrol Logika Fuzzy Kapal LNG dan Tug Boat.**

Dalam perancangan sistem kontrol kapal dengan menggunakan logika fuzzy dilakukan validasi rule base. peneliti telah melakukan beberapa kali iterasi terhadap rule base kontrol logika fuzzy kapal LNG dan tug boat sehingga diperoleh respon yang diinginkan. Berikut adalah hasil iterasi rule base dari kapal LNG dan tug boat:

a) Iterasi Ke-1

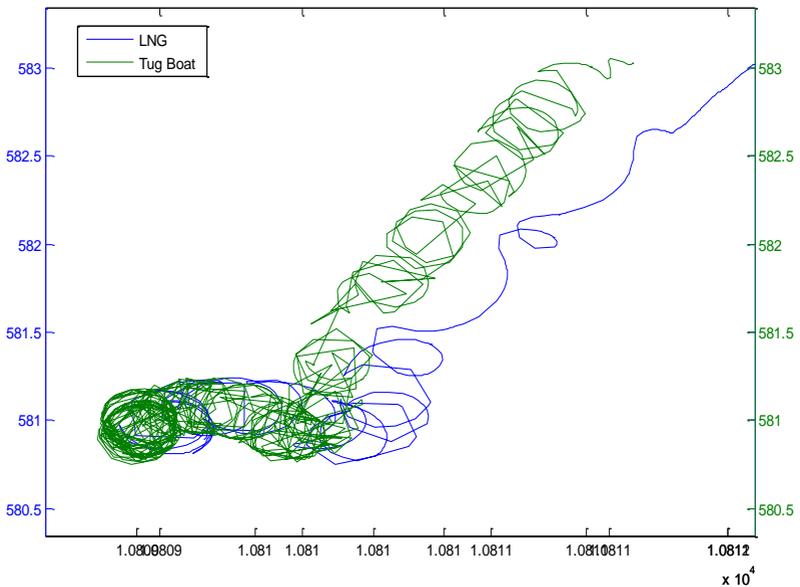
Tabel iterasi I *rule base* kapal LNG

$e^*d \setminus r$		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	S	Z	PS	PS	PM	PB	PB	PB
	L	Z	PS	PS	PM	PB	PB	PB
NM	S	NS	Z	PS	PS	PB	PB	PB
	L	NS	Z	PS	PS	PM	PM	PM
NS	S	NS	NS	Z	PS	PS	PM	PM
	L	NM	NS	Z	PS	PS	PM	PM
Z	S	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PM
	L	NM	NS	NS	Z	PS	PS	PS
PS	S	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS
	L	NM	NM	NS	NS	Z	PS	PS
PM	S	NB	NM	NM	NS	NS	Z	PS
	L	NB	NB	NM	NM	NS	Z	PS
PB	S	NB	NB	NB	NS	NM	NS	Z
	L	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z

Tabel iterasi I *rule base tug boat*

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

Kedua tabel di atas merupakan iterasi I rule base logika fuzzy. Berdasarkan iterasi I tersebut diperoleh hasil trayektori kedua kapal sebagai berikut.



Gambar Respon lintasan aktual Kapal pada Iterasi I

Dari gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa respon dari lintasan kedua kapal masih jauh dengan yang diharapkan, hal ini yang membuat penulis perlu melakukan iterasi lanjutan terhadap rule base kontrol logika fuzzy agar lintasan yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan

b) Iterasi Ke-2

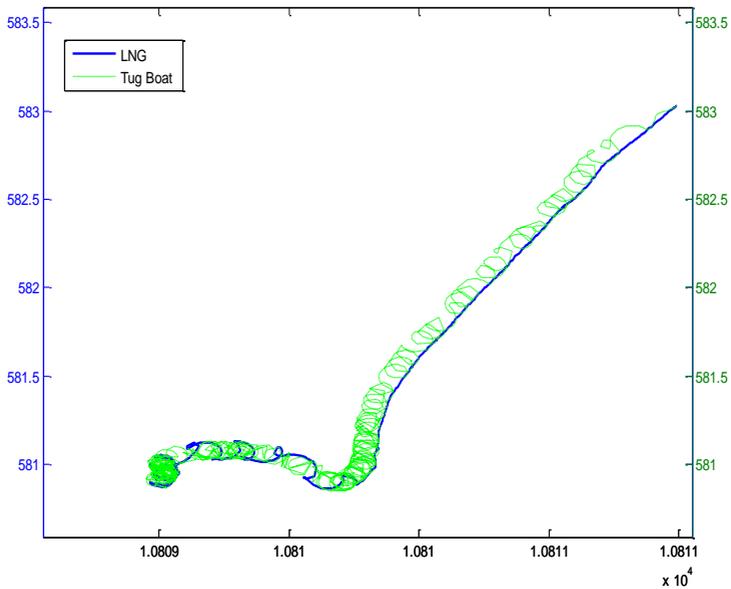
Tabel iterasi II rule base kapal LNG

$e^*d \setminus r$		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	S	Z	PM	PB	PB	PB	PB	PB
	L	Z	PM	PM	PB	PB	PB	PB
NM	S	NM	Z	PM	PM	PB	PB	PB
	L	NM	Z	PM	PM	PB	PB	PB
NS	S	NM	NM	Z	PM	PM	PB	PB
	L	NM	NM	Z	PM	PM	PB	PB
Z	S	NM	NM	NM	Z	PM	PM	PB
	L	NM	NM	NM	Z	PM	PM	PB
PS	S	NB	NM	NM	NM	Z	PM	PM
	L	NB	NB	NM	NM	Z	PM	PM
PM	S	NB	NB	NB	NM	NM	Z	PM
	L	NB	NB	NB	NB	NM	Z	PM
PB	S	NB	NB	NB	NB	NM	NM	Z
	L	NB	NB	NB	NB	NB	NM	Z

Tabel iterasi II rule base tug boat

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

Kedua tabel di atas merupakan hasil iterasi II rule base logika fuzzy. Berdasarkan iterasi II tersebut diperoleh hasil trayektori kedua kapal sebagai berikut:



Gambar Respon lintasan aktual kapal pada iterasi II

Dari gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa respon dari lintasan kedua kapal lebih baik dibandingkan dengan iterasi I, terlihat bahwa lintasan LNG diawal mampu mengikuti jalur yang diinginkan namun ketika lintasan ekstrem kapal LNG tidak mampu mengikuti jalur. hal ini yang membuat penulis perlu melakukan iterasi lanjutan terhadap rule base kontrol logika fuzzy agar lintasan yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan

c) Iterasi Ke-3

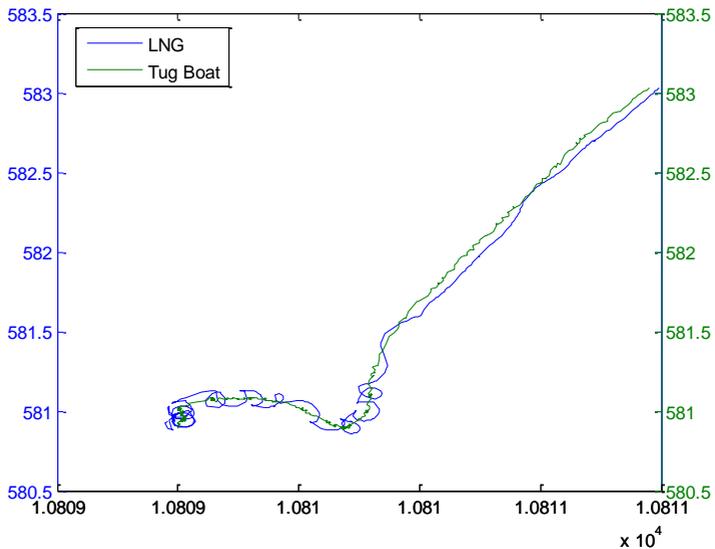
Tabel iterasi III *rule base* kapal LNG

e*d\r		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	S	Z	PS	PS	PB	PB	PB	PB
	L	Z	PS	PM	PB	PB	PB	PB
NM	S	NS	Z	PS	PM	PB	PB	PB
	L	NM	Z	PS	PM	PM	PM	PM
NS	S	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PM
	L	NM	NM	Z	PS	PM	PM	PM
Z	S	NM	NM	NS	Z	PS	PS	PM
	L	NB	NM	NM	Z	PS	PS	PM
PS	S	NB	NM	NM	NS	Z	PS	PS
	L	NB	NB	NM	NM	Z	PS	PS
PM	S	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
	L	NB	NB	NB	NB	NM	Z	PS
PB	S	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
	L	NB	NB	NB	NB	NB	NM	Z

Tabel iterasi III *rule base* tug boat

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

Kedua tabel di atas merupakan hasil iterasi III rule base logika fuzzy. Berdasarkan iterasi III tersebut diperoleh hasil trayektori kedua kapal sebagai berikut:



Gambar Respon lintasan aktual pada iterasi III

Dari gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa respon dari lintasan kedua kapal semakin dapat memenuhi dengan lintasan yang diinginkan. Lintasan kapal tug boat hampir sesuai dengan yang diinginkan, namun lintasan kapal LNG masih belum sesuai. hal ini yang membuat penulis perlu melakukan iterasi lanjutan terhadap rule base kontrol logika fuzzy agar lintasan yang dihasilkan sesuai dengan yang diinginkan.

d) Iterasi ke-4

Tabel iterasi IV *rule base* kapal LNG

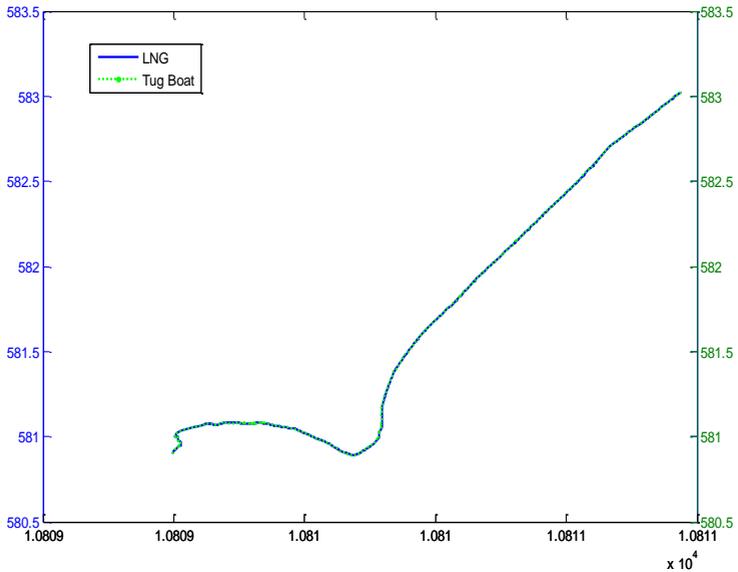
$e^*d \setminus r$		NB	NM	NS	Z	PS	PM	PB
NB	S	Z	PS	PM	PM	PB	PB	PB
	L	Z	PS	PM	PM	PB	PB	PB
NM	S	NM	Z	PS	PM	PB	PB	PB

	L	NM	Z	PS	PM	PM	PB	PB
NS	S	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PB
	L	NM	NS	Z	PS	PM	PM	PM
Z	S	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
	L	NM	NM	NS	Z	PS	PM	PM
PS	S	NB	NM	NM	NS	Z	PS	PM
	L	NB	NM	NM	NS	Z	PS	PM
PM	S	NB	NB	NM	NM	NS	Z	PS
	L	NB	NB	NB	NM	NS	Z	PS
PB	S	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z
	L	NB	NB	NB	NB	NM	NS	Z

Tabel iterasi IV rule base tug boat.

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

Kedua tabel di atas merupakan hasil iterasi III rule base logika fuzzy. Berdasarkan iterasi III tersebut diperoleh hasil trayektori kedua kapal sebagai berikut:



Gambar Respon lintasan aktual pada iterasi IV

Dari gambar grafik di atas dapat dilihat bahwa respon dari lintasan kedua kapal telah memenuhi dengan lintasan yang diinginkan. Sehingga hasil iterasi rule base logika fuzzy yang ke-4 lah yang digunakan sebagai rule base kontrol logika fuzzy pada simulasi rancangan sistem.

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisa penelitian pada tugas akhir ini didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Perancangan Sistem kendali trayektori kapal LNG dengan model referensi trayektori dari kapal tug boat telah sesuai kriteria yang diinginkan.
2. Nilai error lintasan maksimum dari kapal AHTS dan Vier goliath berturut-turut sebesar 0,86 m dan 1,07 m, sedangkan untuk nilai error lintasan minimumnya sebesar 0,02 m dan 0,1 m.
3. Trayektori kapal LNG dapat mengikuti trayektori navigasi dari tug boat dengan nilai error lintasan maksimum sebesar 1.19 m dan nilai error lintasan minimum sebesar 0,01 m tanpa gangguan.
4. Hasil simulasi trayektrori kapal LNG dengan gangguan berupa angin dengan variasi kecepatan dan sudut datang angin tertentu, didapatkan nilai error lintasan maksimal sebesar 1,88 m dengan kecepatan angin 15 knot dan sudut datang angin sebesar 30^0 .

5.2 Saran

Untuk mengembangkan penelitian selanjutnya dari penulis memberikan saran-saran sebagai berikut:

1. Dapat menambahkan beberapa gangguan seperti gelombang laut dan angin sehingga hasil simulasi akan lebih mendekati kondisi sebenarnya.
2. Untuk menyempurnakan kontroler dapat menggunakan gabungan fuzzy dengan jaringan saraf tiruan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Aditya Batara, *Manajemen Garis Perbatasan Indonesia – Sebuah Usaha Menjamin Keamanan Warga Negara*, dalam Aditya Batara & Beni Sukadis (ed) *Reformasi Manajemen Perbatasan di Negara-Negara Transisi Demokrasi*, 2007, Jakarta DCAF-LESPERSSI, hal.50-51
- [2] Handito, Robbi. 2012. “Perancangan Sistem *Guidance* Untuk Membangun Autopilot Kapal PKR KRI Kelas Sigma”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [3] Gozali, Nathanael Leon. 2013. “Estimasi Variabel Dinamik Kapal Menggunakan Metode Kalman Filter”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [4] *Fossen, Thor. I. 1994. “Guidance and Control of Ocean Vehicle”. John Willy & Son.*
- [5] Djaya, I., K. 2008. “Teknik Konstruksi Kapal Baja”. Direktorat Jenderal Manajemen Pendidikan Dasar dan Menengah, Departemen Pendidikan Nasional.
- [6] Prakoso, C., Yannes M.P. 2010. “Pengembangan Anjungan Kapal Tugboat Penarik Tongkang Batubara berbasis Ergonomi”. [Jurnal Tingkat Sarjana Senirupa dan Desain]. Fakultas Seni Rupa dan Desain, ITB. Bogor. 1:1-7.
- [7] Anonim. 2011. Definisi Kapal Tunda. <URL: <http://pengetahuan-kapal.blogspot.co.id/>>.
- [8] Dokkum, K.V. 2003. “*Ship Knowledge A Modern Encyclopedia*”. Dokmar. Enkhuiizen, The Netherlands.
- [9] Saiko, 2010. “Perancangan Sistem Pengendalian Pada Kapal Berbasis Data AIS (*Automatic Identification System*) Untuk Menghindari Tabrakan”, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [10] Jianjun GAO, *Reasonableness of the Bond under Article 292 of the LOS Convention: Practice of the ITLOS.*, dalam <http://chinesejil.oxfordjournals.org/content/7/1/115.full.pdf+html>. Diakses 28 Oktober 2012.

- [11] Yuda Yudistira Sangkya 2009 “*Studi Penetapan Daerah Bahaya (Dangerous Area) Di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya Berdasarkan Ais Data*” Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [12] Arifin, syamsul.2011. Pengantar Sistem Fuzzy.<URL: <http://share.its.ac.id/>>
- [13] Maranata, Novia., Mulyanto, Imam Pujo., Amiruddin, Wilma. Jurnal Teknik Perkapalan, Vol. 3, No. 1 Januari 2015
- [14] Gunawan, Randika. 2013. “Perancangan Sistem Kontrol Sandar Kapal Otomatis Berbasis Logika Fuzzy di Pelabuhan Tanjung Perak Surabaya”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- [15] Daud, Muhyin. 2010. Sistem Kerja VMS. <URL:<http://muhyindaud.wordpress.com/>>

BIOGRAFI PENULIS



Ni'mat Bagus Adiawan – lahir di Serang, 28 Maret 1994. Penulis merupakan anak kedua dari Adi Minto Heri dan Hamdanah. Penulis memulai pendidikan di TK Mulya di tahun 1998, dilanjutkan ke SDN Pejaten 02 pada tahun 2000 hingga 2006. Kemudian melanjutkan pendidikan di SMP NU Kramatwatu dan lulus pada tahun 2009. Pada tahun yang sama penulis melanjutkan pendidikan di MAN 2 Kota Serang hingga lulus pada tahun 2012. Setelah lulus dari sekolah menengah atas, penulis melanjutkan pendidikan di Jurusan Teknik Fisika ITS. Saat berstatus sebagai mahasiswa, penulis aktif dalam kepengurusan Himpunan Mahasiswa Teknik Fisika ITS. Penulis juga pernah melaksanakan kerja praktek di PT. Krakatau Steel Persero pada tahun 2015. Penulis dapat dihubungi melalui email bagus_adiawan@yahoo.co.id.